

Masarykova Univerzita  
Fakulta sportovních studií

HIGH-INTENSITY FUNCTIONAL TRAINING  
-  
VYSOCE INTENZIVNÍ FUNKČNÍ TRÉNING

Habilitační práce  
Autor: PhDr. Petr Schlegel, Ph.D.

Pracoviště: Pedagogická fakulta, Univerzita Hradec Králové  
Brno: 2023

**Jméno a příjmení autora:** PhDr. Petr Schlegel, Ph.D.

**Název habilitační práce:** High-intensity functional training – Vysoce intenzivní funkční trénink

**Pracoviště:** Pedagogická fakulta, Univerzita Hradec Králové

**Rok zahájení habilitačního řízení:** 2023

**Abstrakt:** High-intensity functional training (HIFT) je mladým sportovním odvětvím, které si získalo poměrně velkou oblibu. Počátky HIFT jsou v 90. letech, ale největšího rozmachu dosáhl až po roce 2010. Typickými znaky jsou vysoké úsilí, používání komplexních pohybů, vysoká variabilita a efektivita. Základním smyslem je rozvoj zdraví, tělesné zdatnosti a výkonnosti. K jeho podstatným atributům se dále řadí silný vztah ke komunitě a genderově vyrovnaný přístup. Plnohodnotné etablování každé sportovní disciplíny vyžaduje také vědeckovýzkumnou činnost postihující mnoho oblastí. Vzhledem ke stáří HIFT je potřeba velké množství výzkumných záměrů přinášející cenné informace pro akademiky, trenéry, lékaře nebo pohybově aktivní jedince. Tato habilitační práce je souborem článků zaměřených na HIFT, které byly vytvořeny autorem (a kolektivem). Použito bylo celkem 11 článků a jsou uvedeny v plném rozsahu a originální formě. Práce obsahuje stručná teoretická východiska a dále komentované oddíly Vymezení pojmu HIFT, Trénink, Výkon, Air bike, Zdravotní aspekty.

***Klíčová slova:*** výkon, air bike, CrossFit, závod, tělesná zdatnost

Souhlasím s půjčováním habilitační práce v rámci knihovnických služeb.

**Author's first name and surname:** PhDr. Petr Schlegel, Ph.D.

**Title of the habilitation thesis:** High-intensity functional training

**Department:** Faculty of Education, University of Hradec Králové

**Habilitation procedure initiation:** 2023

**Abstract:** High-intensity functional training (HIFT) is a young sport that has gained considerable popularity. The origins of HIFT date back to the 1990s, but it reached its greatest momentum after 2010. Typical features are high effort, use of compound movements, high variability, and effectiveness. The basic purpose is to develop health, fitness, and performance. Its essential attributes also include a strong sense of community and a gender-balanced approach. The full establishment of each sport discipline also requires scientific research in many areas. Given the age of HIFT, there is a need for many research projects providing valuable information for academics, coaches, physicians, or physically active individuals. This habilitation thesis is a collection of articles focused on HIFT that have been produced by the author (and collective). A total of 11 articles were used and are presented in their full and original form. The thesis includes a brief theoretical background and further annotated sections on Definition of HIFT, Training, Performance, Air bike, and Health aspects.

**Keywords:** performance, air bike, CrossFit, competition, fitness

I agree the habilitation thesis to be lent within the library service.

Tato habilitační práce je předkládaná ve formě kompilace odborných článků, které byly publikovány v tuzemských nebo zahraničních recenzovaných časopisech.

Prohlašuji, že jsem předkládanou habilitační práci vypracoval samostatně, uvedl všechny použité literární a odborné zdroje a dodržoval zásady vědecké etiky.

V Hradci Králové, 16. srpna 2023

.....  
PhDr. Petr Schlegel, Ph.D.



## Poděkování

Rád bych poděkoval především své manželce za toleranci a podporu, díky kterým se mohu věnovat své práci

## OBSAH

<b>1 ÚVOD .....</b>	<b>2</b>
<b>2 TEORETICKÁ VÝCHODISKA .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Stručná historie HIFT .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2 HIFT jako sportovní oblast.....</b>	<b>6</b>
<b>2.3 Sociální a psychologické aspekty .....</b>	<b>8</b>
<b>3 VYMEZENÍ POJMU HIFT .....</b>	<b>13</b>
<b>4 TRÉNINK .....</b>	<b>23</b>
<b>5 VÝKON .....</b>	<b>57</b>
<b>5 AIR BIKE.....</b>	<b>79</b>
<b>6 ZDRAVOTNÍ ASPEKTY.....</b>	<b>101</b>
<b>7 DISKUSE .....</b>	<b>136</b>
<b>8 SOUHRN.....</b>	<b>148</b>
<b>9 ZÁVĚR.....</b>	<b>150</b>
<b>9 REFERENČNÍ SEZNAM .....</b>	<b>151</b>

## 1 ÚVOD

Historie sportu nám zřetelně ukazuje, že se proměňuje obliba jednotlivých sportovních odvětví. S tím souvisí i vznik nových kategorií, odnoží nebo úplně originálních disciplín. Oblast fitness byla v posledních desetiletích charakteristická vznikem nových aktivit, které často reagovaly na aktuální trendy. Začátkem 21. století se začala výrazně rozšiřovat nabídka skupinových (sálových) aktivit. Desítky různých typů cvičení v kombinaci s novými pomůckami, specifickým hudebním podkresem, lákavým (anglickým) názvem jsou k dispozici dodnes.

Typickým znakem se stala vysoká náročnost cvičení zaručující pot, bolest, intenzivní prožitky. Je pravděpodobné, že do poptávky po pohybových aktivitách se promítly některé společné trendy. Vysoké tempo s vidinou rychlých viditelných výsledků ve výkonnosti nebo přeměně postavy oslovily velké množství lidí. Zároveň to mohl být odklon od „čistého“ prostředí běžného života. Tendence k živelnému tréninku v prašném, upoceném či blátivém prostředí, ale zároveň silné prožitky sdílené se skupinou.

High-intensity functional training (HIFT) přišel v řadě dalších typů cvičení nabízejících náročnou aktivitu se slibnými výsledky ve zlepšení kondice. Jeho obliba dramaticky rostla, ale na rozdíl od jiných, nových typů cvičení, nezaznamenal ani po letech pokles v počtu stoupců. Důvodů je více, ale za nejpodstatnější lze pokládat, že se představuje jako sportovní oblast se silným vztahem ke komunitě a že používá jednoduchý, materiálně nenáročný a efektivní typ pohybové aktivity.

Přístup vědy a výzkumu k HIFT byl z počátku orientován na riziko zranění, fyziologickou odezvu a adaptaci na intervenční programy. HIFT byl považován za nebezpečnou formu cvičení, což se postupně podařilo vyvrátit. Incidence zranění je srovnatelná s běžným odporovým tréninkem a je výrazně nižší než např. u sportovních her. Z pohledu reakce organismu na zátěž se ukázalo, že při cvičení je dosahováno vysokých hodnot tepové frekvence a krevního laktátu. Povaha a intenzita cvičení má dále signifikantní vliv na metabolické a hormonální procesy sledované po zatížení. V neposlední řadě byly realizovány krátkodobé intervence, u kterých se prokázal vliv především na parametry síly a vytrvalosti.

Postupně začala přibývat výzkumná činnost i v dalších oblastech jako výživa, psychologie či sociologie. Rozšířilo se množství studií sledující zdravotní aspekty (rhabdomyolýza, inkontinence, těhotenství) a intervenční programy se přesunuly také na specifické vzorky (školní TV, obézní jedinci). Vzhledem k tomu, že výzkumná činnost o HIFT začala vznikat až kolem roku 2012, v mnoha oblastech je zatím nedostatek evidence.

Autorův vztah k HIFT začal v roce 2011 a od té doby se mu věnoval jako trenér, závodník, majitel tělocvičny, organizátor závodů, rozhodčí, vědec. Po celou dobu vytvářel osvětu a zvyšoval informovanost pro sportovní i obecnou populaci. Díky úzkému vztahu k výkonnostní podobě HIFT byla výzkumná orientace zprvu na oblast tréninku či výkonu. Protože považuje za velmi podstatné přinášet výsledky o zdravotních rizicích a benefitech, ubírá se jeho práce také tímto směrem. Autorovým dlouhodobým záměrem je přispívat ve více oblastech výzkumnou, publikační a přednáškovou činností k tomu, aby bylo HIFT podloženo adekvátním množstvím vědecké evidence. A dále, aby se podařilo vnímat HIFT jako efektivní a bezpečný tréninkový systém a také jako legitimní sportovní oblast.

Habilitační práce je kompilátem publikovaných článků, které se vztahují k tématu HIFT. Celkem bylo použito 11 článků, které jsou uvedeny v plném rozsahu a originální formě. Práce byla rozdělena na oddíly Vymezení pojmu HIFT, Trénink, Výkon, Air bike, Zdravotní aspekty. Rozdělení slouží pouze pro účely práce a tvoří tematické celky vztahující se k autorovu výzkumnému zaměření. Každý oddíl je v krátkosti uveden a diskutován. Práce je doplněna teoretickými východisky, které prezentují stručnou historii HIFT a popisují ho jako sportovní oblast.

## 2 TEORETICKÁ VÝCHODISKA

### 2.1 Stručná historie HIFT

Pro pochopení aktuálního pojetí HIFT je důležité, abychom znali jeho kořeny a genezi, kterou prošlo. Ačkoliv původ HIFT zasazujeme spíše do 90. let 20. století, bylo by naivní předpokládat, že podobné způsoby cvičení se neobjevily již dříve. Aby bylo možné označit některé typy cvičení za předchůdce HIFT, měly by obsahovat kombinované použití více modalit nejen v rámci celkového pohybového režimu, ale především v samotné cvičební jednotce. Jedná se o použití nejrůznějších odporových cviků, vytrvalostních aktivit, bez ohledu na délku trvání, kontinuální či intervalové pojetí.

Pravděpodobně první zmínky o smíšeném cvičení pochází z ruské a pruské armády poloviny 19. století (Campbell, 2012). Obsahovaly různé fyzické drily obsahující gymnastické programy inspirované německým turnérským systémem. Tento přístup převzala také anglická armáda, kde byly v 60. letech 19. století implementovány různé kondiční drily obsahující šplh, ručkování, překonávání překážek, nošení zátěže, cvičení ve zbroji (Campbell, 2012). Cvičení byla koncipována tak, aby se přiblížila reálným situacím v boji. Fyzická příprava vojáků obsahuje podobná cvičení dodnes (Bergeron et al., 2011). Jedním z důvodů je, že představuje efektivní pojetí zvyšování (specifické) tělesné zdatnosti, ale také způsob zvyšování mentální odolnosti vzhledem k vysoké náročnosti.

Ve 40. letech 20. století vznikl rukou A. Steinhouse systém s názvem „peripheral heart action“ (PHA). PHA bylo cvičební metodou, při které bylo cílem udržet zvýšenou cirkulaci krve v celém těle po dobu celého tréninku (Piras et al., 2015). PHA obsahovalo 5-6 cviků, které střídavě zatěžovaly horní a dolní polovinu těla. Cvičení probíhalo systémem kruhového tréninku a mezi cviky byl aktivní odpočinek. Tuto metodu proslavil od 60. let především Robert Gajda. Použité cviky byly z prostředí tehdejšího bodybuildingu, proto nebyly téměř používány posilovací stroje a zároveň nalézáme prvky z Olympijského vzpírání (Dominguez & Gajda, 1982). Ačkoliv docházelo k zadýchání, zařazení běhu bylo pouze v rámci rozcvičení. Metoda se stala inspirací i pro pozdější, resp. paralelně vznikající kruhový trénink.

Ve snaze nalézt ideální způsob rozvoje tělesné zdatnosti přišli výzkumníci Morand & Anderson v roce 1953 s nápadem kruhového tréninku (Gotshalk et al., 2004). V původní podobě obsahoval 9-12 stanovišť, mezi kterými byla krátká nebo žádná pauza. Práce trvala 15-45 sekund s počtem opakování v rozmezí 8-20 a použitá intenzita byla na úrovni 40-60 % 1 RM (jednorázové maximum). Cvičební program mohl obsahovat posilovací stroje, volné váhy,

odporové gumy, cviky s vlastním tělem a bylo možné je kombinovat. Od 50. let probíhaly výzkumy, které potvrdily efektivitu kruhového tréninku (Gettman & Pollock, 1981). Kruhový trénink se postupně stal součástí cvičení běžné populace i přípravy sportovců, a to jak v zahraničí, tak i ČR (Choutka & Dovalil, 1987).

Originální přístup ke cvičení přinesl také souběžný trénink. Původním cílem bylo porovnání adaptačních mechanismů po silovém, vytrvalostním nebo kombinovaném programu (Hickson, 1980). Poprvé se tak začalo používat systematické spojení vytrvalostní aktivity (především běhu) a silových cviků. I přesto, že od počátku vykazoval souběžný trénink horší výsledky než samostatně aplikované modality, získal pozornost v kontextu rozvoje tělesné zdatnosti (Nelson et al., 1990).

Zdá se pravděpodobné, že do vývoje HIFT zasáhl také vysoce intenzivní intervalový trénink (HIIT). Metoda, která si přibližně 100 let nachází své stoupence a stala se původně součástí tréninkové přípravy především vytrvalostních běžců. Velmi krátké zatížení s vysokou až maximální intenzitou se od 70. let 20. století dostalo do zájmů výzkumníků a opakovaně byl prokázán pozitivní účinek pro různé soubory (Tabata, 2019). Začaly se postupně také objevovat protokoly obsahující komplexní cviky, případně v kombinaci s vytrvalostní aktivitou (Monteiro et al., 2008).

90. léta 20. století přinesla tzv. funkční trénink, který používal komplexní pohyby a jeho znakem byla také vysoká intenzita. Jedním ze zástupců byl „Boot camp“ – cvičení situované především do venkovních prostor, které se inspirovalo vojenským cvičením. Obvykle to byl běh kombinovaný se cviky s vlastním tělem, případně s lehkou zátěží typu medicinbal. Dalším typickým zástupcem je TRX, což představuje závěsný systém využívající k zátěži pouze vlastní tělo. V této době, a ještě v prvním deceniu 21. století vzniklo mnoho cvičebních systémů (např. P90X, Insanity) a zároveň se začali používat ve větší míře kettlebells, lana, bulgarian bagy atd. Za atributy těchto forem cvičení lze označit: vysoké úsilí, svalovou bolest, absenci posilovacích strojů, komplexní (dynamické) pohyby.

Jako reakce na kulturistiku a konvenční přístup ke komplexnímu rozvoji tělesné zdatnosti vznikl v roce 1995 CrossFit, jeho zakladatelem byl G. Glassman. CrossFit byl inovativní v přístupu ke cvičení a pravděpodobně jako první přinesl přesný tréninkový systém, ve kterém jsou daná pravidla pro výběr cviků, resp. jednotlivých modalit. Od počátku bylo cílem přinést běžné populaci efektivní způsob, jak rozvíjet tělesnou zdatnost a zdraví (Glassman, 2002). Kombinace prvků ze sportovní gymnastiky, Olympijského vzpírání, powerliftingu a mnoha vytrvalostních aktivit byla inovativní. Velmi podstatné pro masové rozšíření CrossFitu byl také vznik systému fungování crossfitových tělocvičen a pojetí ve

smyslu sportovní disciplíny. CrossFit tak položil základy pro současné pojetí HIFT a patří posledních 15 let mezi celosvětové trendy v oblasti fitness (Kercher et al., 2022).

## 2.2 HIFT jako sportovní oblast

HIFT překročil hranice pouhé metody cvičení a lze jej vnímat jako samostatnou sportovní oblast. Je nutné zdůraznit, že tuto úlohu sehrává především CrossFit. Bohužel vymezení a odlišení HIFT a CrossFitu není jednoduché, i přesto je možné přenést atributy sportu také na HIFT. V následujícím textu bude tematika vztažena spíše na CrossFit.

*„Sport jsou všechny formy tělesné činnosti, které – až již prostřednictvím organizované účasti či nikoliv – si kladou za cíl projevení či zdokonalení tělesné i psychické kondice, rozvoj společenských vztahů nebo dosažení výsledků v soutěžích na všech úrovních.“* (Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy, 2002).

Můžeme využít také definice, která je orientována více na výkon.

*„Organizovaná, pravidly se řídící soutěž, ve které je porovnáváno plnění úkolů, které jsou spojeny se schopnostmi a dovednostmi sportovce.“* (Martínková, 2013).

Byla to právě pravidla a jasné určení sportovního výkonu, čímž mohlo docházet k porovnávání sportovců nebo organizování soutěží. Výkon byl pojat jako splnění kondičního úkolu, a to v co nejkratší době - „for time“ nebo provedením co největšího počtu opakování – „as many repetitions as possible“ (případně zvednutím co největší zátěže). Tento úkol je nazýván WOD (workout of the day) nebo také event (v soutěžní podobě). Délka WOD není vymezená, ale obvykle se pohybuje v rozmezí 5-40 minut. Náplň WOD není přesně určena a může obsahovat téměř jakékoliv cviky v libovolných kombinacích i počtech opakování. Méně často se objevuje zadání intervalového charakteru, ale je také používaným prostředkem. Každý sportovec si určuje tempo a přestávky podle své potřeby a výkonnostní úrovně. Pro WOD je typická vysoká variabilita, obsah se sporadicky opakuje.

Výčet cviků/pohybů není pevně stanoven, nicméně musí být dodržena podmínka o standardu cviku. Každý cvik tak má jasné stanovený standard, který určuje jeho provedení a uznání platnosti. Tělo sportovce, činka apod. se musí dostat do určitých pozic/poloh, aby mohlo být opakování uznáno. Příkladem může být dřep: ve výchozí pozici je atlet ve stoji, šířka postoje maximálně na šířku ramen, ve spodní pozici se musí přední horní trn kyčelní kosti dostat pod úroveň kolenní česky, konečná pozice je opět stoj. Dále jsou uvedeny doplňující body, kdy je

opakování považováno za neplatné. V neposlední řadě jsou popsány body, které jsou v libovolném pojetí sportovce (např. pozice paží při dřepu).

U provedení jakéhokoliv cviku/pohybu není posuzováno technická stránka. V tomto ohledu je možné identifikovat podobnost s většinou sportovních oblastí – podobně jako např. u vytrvalostního běhu není posuzován styl/technika, ale musí být splněny jiné podmínky pro uznání výkonu. Ve světě fitness se jednalo o novum, protože optimální technické provedení bylo charakteristické pro odporový trénink. Neznamena to, že by sportovci nebo trenéři cíleně opomíjeli nácvik efektivní techniky, ale pouze to nebylo přeneseno do hodnocení výkonu.

Díky stanovení pravidel – určení standardů cviků, průběhu WOD a formy výsledku, je možné, aby sportovci mezi sebou soutěžili a mohlo docházet k porovnávání výkonů. Tento princip je aplikován v závodní i nesoutěžní podobě. Podobně jako v jiných sportovních disciplínách provází pravidla určité změny v průběhu času současně s tím, jak se vyvíjí sportovci, výkony nebo vnímání divácké atraktivity (Schlegel & Křehký, 2022).

Cílem HIFT je komplexní rozvoj tělesné zdatnosti a také wellness. Primární orientací tak není dosahování vysokých výkonů, ale zvyšování měřitelných parametrů zdraví a kondice. Konkrétně jde především o rozvoj kardiopulmonální a silové zdatnosti a zlepšení složení těla. V krátkodobých intervenčních programech se prokázal signifikantní vliv na tyto parametry (Schlegel, 2020). Důležitým atributem HIFT je možnost zapojení každého jedince bez ohledu na věk, výkonnostní úroveň nebo zdravotní omezení. Jednou ze základních myšlenek je, že lidé různé úrovně zdatnosti mohou trénovat společně, dochází pouze k úpravě obtížnosti prvků.

Od roku 2007 lze datovat vznik soutěžní podoby HIFT (CrossFit Games). Jeho model lze přirovnat k otevřenému mistrovství světa, do kterého se může přihlásit každý jednotlivec. Finále je koncipováno tak, aby zachovalo principy CrossFitu – sportovci plní velmi pestré kondiční úkoly, které jsou pokaždé originální. Celosvětově i v ČR je pořádáno každoročně mnoho lokálních i mezinárodních závodů (více je uvedeno v kapitole Výkon).

Z pohledu terminologie existuje problém, že v odborných člancích, publikacích apod. jsou užívány pojmy HIFT a CrossFit velmi různě. Stává se, že např. intervenční program je nazván CrossFit, ačkoliv neobsahuje požadované atributy. Podobně se ustálilo, že lidé, kteří uvádějí, že provozují CrossFit, se nedrží původní metodiky. Mezi sportovci není označení HIFT obvyklé a týká se více méně pouze akademického prostoru nebo světa mezinárodních publikací. Vzhledem k respektování originálních myšlenek CrossFitu, je smysluplné, abychom vysoce intenzivní cvičení s komplexními pohyby, které však nemá pevně stanovený rámec, nazývali HIFT. Pro sportující veřejnost však pravděpodobně zůstane zažitě označení CrossFit pro



jakékoliv intenzivní aktivity používající kombinace cviků s externí zátěží, gymnastiky a dalších kondičních prvků.

### 2.3 Sociální a psychologické aspekty

Místa, kde se praktikuje HIFT se nazývají tělocvičny, někdy s použitím anglického „gym“, v případě CrossFitu se používá také označení „box“. V oblasti fitness se tak jednalo o zřejmý odklon od mainstreamového pojetí fitness center a podobných zařízení. Ty byly a jsou typické přítomností posilovacích strojů, zrcadel, klimatizace, případně pak kardio zóny či později menšího prostoru pro funkční trénink. U tělocvičen lze spatřovat návrat „ke kořenům“ a zřejmou podobnost s tělocvičnami z 19. nebo první poloviny 20. století (případně se dají také k bývalým Sokolovnam) (Dawson, 2017). Pro tělocvičny je typický otevřený prostor (nezřídka bývalá průmyslová hala), často s vysokými stropy, ve kterém nenacházíme posilovací stroje. Namísto toho jsou k vidění hrazdy, kruhy, lana, činky, kettlebells, medicinbaly a kardio stroje (Bailey et al., 2019). Obecně se cvičí s relativně malým množstvím vybavení. Původní americký koncept tělocvičen, který je následován, obsahoval velký vstup do venkovních prostor, kde také probíhá trénink.

HIFT se musel vypořádat s poměrně velkým nepřijetím ze strany odborné i širší fitnessové, ale i sportovní veřejnosti. Napadána byla technika cvičení, potencionální vysoké riziko zranění (Crockett & Butryn, 2017). Problematické bylo, že na mnoha místech začali lidé praktikovat HIFT v klasických fitness centrech. Tím narušili tamější pravidla a normy a staly se trnem v oku tradičním návštěvníkům (Hedblom, 2009). Postupně začaly vznikat tělocvičny a taktéž se zvyšovala informovanost o HIFT, čímž se situace zlepšila.

Oproti až sterilnímu prostředí fitness center jsou tělocvičny příznačné určitým stupněm „nečistoty, syrovosti“. Je běžné, že se během cvičení lidé výrazně potí a zanechávají tak stopy na zemi. Nezřídka dochází ke krvavým oděrkám způsobeným hrazdou či olympijskou činkou. Dále je to také používání magnezia, které je viditelné na zemi, činkách, hrazdě. Ačkoliv se nejedná o nehygienické prostředí, jeho návštěvníci počítají s tím, že se „zašpiní“.

Pojetí těla v HIFT lze chápat jako určitého stroje, jehož výkonnost se díky cílenému tréninku zlepšuje. Komunita neposuzuje jeho formu, vzezření, stupeň muskulatury, ale výkonnost, dovednosti, fyzickou kapacitu. I proto je běžné, že lidé cvičí spoře oděni – muži bez trička, ženy ve sportovní podprsence. Kromě prezentace výkonného těla se jedná o funkční prostředek, protože během krátkých, velmi intenzivních WOD se zvyšuje teplota těla a tímto je dobře ochlazováno.

Orientace na tělo (výkonnost, vzhled) bývá důvodem pro první návštěvy tělocvičny. Poté se však do motivů promítají složky jako vtaž ke komunitě, interpersonální vztahy apod. Prokázalo se, že HIFT má pozitivní vliv na vnímání tělesného sebepojetí a také že jeho úroveň pozitivně korelovala se schopnostmi a dovednostmi v kontextu HIFT (Dominski et al., 2021).

Znakem praktikujících HIFT se staly viditelné následky cvičení na těle. Jedná se o modřiny od činky na holenních, stehnech, klíčních kostech; odřené prsty od vzpírání; mozoly nebo ztržené mozoly od cviků na hrazdě nebo s kettlebellem (Malíková, 2018). Drobná poranění jsou nedílnou součástí (emblemem), která jsou příznačná především pro méně pokročilé, nicméně mohou postihnout každého.

Cvičení je charakteristické vysokou náročností a úsilím. Jedná se o znak, který sami cvičenci propagují. Hesla jako „Never quit“ nebo „I don't stop when I'm tired, I stop when I'm done“ odkazují na to, že sportovce čeká náročná situace představující určitý stupeň fyzické i mentální výzvy. Svalová bolest či stav blížící se funkční kapacitě sportovce je přijímán pozitivně. Pravidelné překonávání velmi nekomfortních situací v průběhu tréninku je nejen nedílnou součástí, ale také něčím, čím se lidé rádi pyšní (Feito, Heinrich, et al., 2018). Náročnost tréninků bývá v porovnání s jinými fitnessovými aktivitami vyšší, na což opět odkazuje např. heslo „Your workout is my warm up“. Důkazem může být také to, že po dokončení tréninku lidé nezděravě padnou k zemi.

Na druhé straně se používají hesla, která mají podpořit nováčky jako „starting at PVC“ odkazující na fakt, že i pokročilí atleti začínali technickými drily s umělohmotnou tyčí (tzn. téměř bez zatížení). I přesto, že může HIFT působit zastrašujícím způsobem (uzavřená komunita; pouze pro mladé, fyzicky velmi zdatné jedince apod.), prostředí tělocvičen je naopak velmi otevřené a akceptující diverzitu návštěvníků. I přesto někteří členové připouštějí, že je možné, že se začátečníci mohou cítit jako že nezapadají nebo že se do prostředí nehodí (Lautner et al., 2021).

Nejčastější forma cvičení je skupinová. Základním atributem je společné trénování jedinců s odlišným stupněm výkonnosti. WOD zůstává pro všechny stejné, používá se úprava obtížnosti („scaling“). Podobné je to s genderovým přístupem. Ženy a muži cvičí společně, pro některé pohyby/cviky je upravena obtížnost, což se obvykle týká cviků s externí zátěží a někdy vytrvalostních disciplín. Výkony tak jsou běžně porovnávány i mezi muži a ženami. Crockett & Butryn (2017) popisují, že HIFT podporuje společné cvičení lidí různého pohlaví, sociálního statutu, etnické a rasové příslušnosti nebo výkonnostní úrovně.

U HIFT se projevuje silný smysl pro vnímání komunity. U jedinců praktikujících HFT jsou reportovány silnější sociální vazby a vyšší míra sounáležitosti s komunitou oproti

návštěvníkům fitness center (Whiteman-Sandland et al., 2018). Vztah s (lokální) komunitou se projevuje také nošením oblečení či doplňků s názvy tělocvičny, běžně doplněné různými hesly. V USA je navíc patrné patriotské cítění a veřejná adorace vojáků, policistů, hasičů. Pro HIFT je typická přátelská a vřelá atmosféra, při cvičení pak coaching, hlasitá hudba, povzbuzování. Po dokončení tréninku často následuje „plácnutí“ s trenérem a ostatními cvičenci (Bailey et al., 2019). Výsledky WOD jsou pak společně se jménem napsány na tabuli, kde se také nachází program lekce.

Enviromentální a sociální faktory byly nejdůležitějšími pro iniciaci a adherenci u cvičenců HIFT (Bycura et al., 2017). Potvrdilo se, že skupinová koheze a sociální podpora mají významný vliv na prožitek ze cvičení. Pomáhá i povzbuzování od trenéra, coaching, což vede k častějšímu a radostnějšímu navštěvování tréninků. HIFT představuje sociálně suportivní prostředí s pozitivním přístupem ke zdraví a cvičení (Lautner et al., 2021). Návštěvníci tělocvičen udávají sounáležitost s touto komunitou, vnímají radost ze cvičení nebo samotné přítomnosti v tělocvičně. Podstatnými znaky jsou: neustálé osobní (kondiční) výzvy; vnímání pocitu jednoty tím, že společně absolvují kondiční výzvy, sdílejí pocity ze cvičení; společný cíl – rozvoj zdraví a kondice (Bailey et al., 2019).

HIFT (CrossFit) můžeme označit za subkulturu uvnitř sportovního prostředí – malou skupinu se specifickými znaky, které ji odlišují od většinové kultury. Nese nepsaná pravidla, která jsou jejími členy/komunitou vnímána. Hedblom (2009) používá označení „gym culture“ jako sociální fenomén vztahující se na tělocvičny, fitness centra.

Komunita společně sdílí pravidla sportu, normy, ale také jazyk (Heinrich et al., 2017). Standard cviků je vnímán jako součást oficiálních i nepsaných pravidel, což je komunitou citlivě posuzováno (podobně u podvádění při nedodržení předepsaného počtu opakování). HIFT má vlastní (sportovní) terminologii, která vychází z anglické označení cviků. Některé pojmy jsou originální, jiné přímo přejaté ze disciplín gymnastiky, vzpírání apod. Vytvořil se též specifický slang („dnes jedeme Grace“; „v tréninku byly těžké toes to bary“, „je dobré rozdělit činku“ atd.), který je lidem mimo komunitu nesrozumitelný.

Jedinci praktikující HIFT vykazují vysokou motivaci pro trénink a jako důvody pro cvičení udávají potěšení, fyzickou i mentální výzvu, afiliaci (Claudino et al., 2018). Zdá se, že HIFT pomáhá uspokojit základní psychologické potřeby autonomie, kompetence a vztahů (Simpson et al., 2017). HIFT se přenáší i za hranice tělocvičny, lidé společně tráví volný čas jinými sportovními aktivitami, saunováním nebo setkáváním v kavárnách či restauracích. Kromě samotné pohybové aktivity jsou ovlivňovány i další aspekty životního stylu. Nežádka lidé mění návyky týkající se konzumace alkoholu, spánkového režimu, stravování. Do osobního

i pracovního života se přenáší také vůle, sebedisciplína, které patří mezi sdílené hodnoty členů (Malíková, 2018).

## Seznam použitých článků

- Schlegel, P. (2020). CrossFit training strategies from the perspective of concurrent training: A systematic review. *Journal of Sport Science and Medicine*. 19, 670-680.
- Schlegel, P. (2020). Nový trend v používání zakázaných látek v CrossFitu. *Tělesná kultura*. 43 (1), 41-50.
- Schlegel, P., Režný, L., & Fialová, D. (2020). Pilot study: Performance-ranking relationship analysis in Czech crossfitters. *Journal of human Sport and exercise*. 16(1).
- Schlegel, P. CrossFit ve výuce školní tělesné výchovy. In Schlegel, P. a kolektiv. (2020). *Funkční trénink v tělesné výchově* (s. 113-126). Hradec Králové: Gaudeamus. ISBN: 978-80-7435-803-6.
- Schlegel, P., & Křehký, A. (2020). Anaerobic Fitness Testing in Crossfit. *Acta Facultatis Educationis Physicae Universitatis Comenianae*, 60(2), 217-228.
- Schlegel, P., Hiblbauer, J., Agricola, A. (2020). Near infrared spectroscopy and spiroergometry testing in Crossfit. *Studia Sportiva*, 14 (1), 6-14.
- Schlegel, P. (2021). Vymezení aktuálních pojmů z oblasti fitness: vysoce intenzivní funkční trénink, vysoce intenzivní intervalový trénink, funkční trénink, kruhový trénink, CrossFit®. *Tělesná kultura*. 44 (1). 1-8.
- Schlegel, P. (2022). Health benefits of using air biking: a systematic review. *Journal of Sport and Health Research*. 14(3), 345-358.
- Schlegel, P., Křehký, A. (2022). Performance sex differences in CrossFit. *Sports*. 10, 165.
- Schlegel, P., Křehký, A., Hiblbauer, J. (2022). Physical Fitness Improvement after 8 Weeks of High-intensity Interval Training with Air Bike. *Sport Mont*. 20 (3), 75-80
- Schlegel, P. (2022). High-intensity functional training in pregnancy: a case study. *Studia Sportiva*. 16 (2), 64-72.

### 3 VYMEZENÍ POJMU HIFT

Definování sportovní oblastí je nutným kokem pro její pochopení, praktickou aplikaci, ale také vědeckou práci. I přesto, že jsou si fitnessové aktivity určitým způsobem podobné, musí být rozlišeny. Je potřeba, aby bylo zřejmé, jaká pravidla by měla daná aktivita obsahovat. Problematické to může být např. u statistického vyhodnocení incidence zranění (hospitalizace), kdy pacient udává příčinu (Stracciolini et al., 2020). Nebo v případě, že je sledována efektivita cvičebního programu na důležité zdravotní parametry, je pro praktická doporučení zásadní, aby obsahovala požadované atributy (Dehghanzadeh Suraki et al., 2021).

Protože se HIFT jako sportovní oblast postupně rodila, docházelo k mísení se zažitými aktivitami jako kruhový trénink. Důvodem je používání některých podobných prvků (postupné střídání cviků v „kruhovém“ pořadí). Dále také, že za předpokladu dodržení požadovaných pravidel (výběr cviků, nastavení intenzity) může být kruhový trénink formou HIFT. Místo pokusu o přesnou definici obsahuje článek podrobný popis znaků a popisuje také odlišnosti vůči podobným pojmům.

Feito et al. (2018) definovali HIFT jako „...*training style [or program] that incorporates a variety of functional movements, performed at high-intensity [relative to an individual's ability], and designed to improve parameters of general physical fitness (e.g., cardiovascular endurance, strength, body composition, flexibility, etc.) and performance (e.g., agility, speed, power, strength, etc.).*“.

Autoři chápou HIFT jako formu cvičení / tréninkový program a z toho plyne daná definice. S tím to však lze souhlasit jen do určité míry, protože HIFT má mnohé atributy přesahující „pouhou“ formu cvičení. Ve zmíněném je posun od uvedeného článku, který HIFT prezentuje jako cvičební / tréninkový systém a rovinnu sportovní oblasti přisuzuje CrossFitu. Jak bylo uvedeno, toto rozlišení není jednoduché ani jednoznačné a zároveň je problematické vnímání mezi praktikujícími HIFT, resp. CrossFit. Samotný pojem HIFT není odbornou veřejností používán shodně, někteří autoři používají označení např. functional fitness, cross-training. Tím, že ale přibývá odborných článků uvádějící označení HIFT, zdá se smysluplné tento pojem používat a zároveň ho separovat od CrossFitu. Vycházet lze z předpokladu, že CrossFit spadá pod HIFT a zároveň, že může obsahovat i další cviky/tréninkové metody, které zde nejsou aplikovány (např. cviky bez stanoveného standardu).

I přesto, že HIFT neobsahuje konkrétní tréninkový systém – předpis cviků, forem, metod, je potřeba ho chápat jako větší celek. Tréninková jednotka může obsahovat např. pouze 5 km běh nebo také 6 sérií pro 2 opakování mrtvého tahu. Pokud bychom hodnotili pouze jednu

vybranou jednotku, mohlo by to působit zavádějícím způsobem. Kombinace cviků, použité metody atd. mohou být libovolné a ani v dlouhodobém horizontu nemusí být používány všechny modality. Lze se věnovat HIFT, aniž by jedinec používal cviky s externí zátěží anebo podobně, bez aplikace cviků s vlastním tělem. Jednalo by se o extrémní případy, nicméně neodporující pojetí HIFT. Tradičně se však setkáváme s pestrými kombinacemi nejen na bázi tréninkových jednotek, ale i dlouhodobého programu.

Tento článek není v práci diskutován, protože se jedná o jedinou takto zaměřenou publikaci, jejíž součástí je prezentace výsledků i diskuse.

Schlegel, P. (2021). Vymezení aktuálních pojmů z oblasti fitness: vysoce intenzivní funkční trénink, vysoce intenzivní intervalový trénink, funkční trénink, kruhový trénink, CrossFit®. *Tělesná kultura*. 44 (1). 1-8.

## Vymezení aktuálních pojmů z oblasti fitness: vysoce intenzivní funkční trénink, vysoce intenzivní intervalový trénink, funkční trénink, kruhový trénink, CrossFit®

Petr Schlegel\*

*Pedagogická fakulta, Univerzita Hradec Králové, Hradec Králové, Česká republika*

**Copyright:** © 2021 P. Schlegel. Toto je open access článek vydaný pod Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

**Východiska:** Oblast fitness je příznačná častými změnami, objevují se nové trendy, metody nebo cviky. Současným trendem je „high intensity“ neboli způsob cvičení, který je spojen s vysokým úsilím, intenzivními prožitky, vysokou tepovou frekvencí apod. „High-intensity“ je zahrnuto do více oblastí a používáno širokou sportovní veřejností. Vzhledem k rozsáhlému využívání je důležité, aby terminologie byla používána a interpretována správně. **Cíle:** Vymezení vybrané aktuální pojmy spojené s „high intensity“ a zřetelně popsat jejich odlišnosti. Jednalo se o HIFT (high-intensity functional training), HIIT (high-intensity interval training), kruhový trénink, CrossFit® a funkční trénink. **Metodika:** Byla provedena literární rešerše v databázích Pubmed, Semantic scholar, Google scholar a Scopus. Využity byly i tuzemské nedigitalizované zdroje. Do analýzy byly zahrnuty pouze zdroje, u kterých bylo možné jasně určit použití daného pojmu. **Výsledky a závěry:** Vybrané pojmy byly vymezeny a zároveň byly popsány rozdílné znaky. Každý z uvedených pojmů má svá jasná specifika, a proto by neměly být zaměňovány nebo nevhodně použity. Vzhledem k neustálému vývoji ve fitness je nutné tento sektor stabilně sledovat i z pohledu terminologie.

*Klíčová slova:* intenzita, interval, fitness, terminologie

### Úvod

Oblast fitness patří dlouhodobě mezi odvětví, kde se objevují nové trendy. Jedná se o formy cvičení, cvičební pomůcky nebo specifické prostředí. Na rozdíl od rigidních sportovních disciplín, je možné zaznamenat velké rozdíly i za dobu jedné dekády. Novým směrům se nevyhnulo ani 21. století, kde lze spatřovat paralelu k výkonově orientované společnosti. Prostor dostaly formy cvičení vyznačující se vysokým úsilím a náročností (Feito et al., 2018), které s sebou přinášejí intenzivní prožitky, prožívání akutního diskomfortu (následně silných emocí přicházejících po skončení). Dalším atributem je zvýšený potenciál přinášet relativně rychle objektivní výsledky ve složení těla nebo fyzických výkonech (Muñoz-Martínez et al., 2017). Za pomoci mediální podpory se tak vysoce intenzivní způsob cvičení stal populární, a to nejen u mladých lidí.

Pojem fitness má různé konotace (Hedblom, 2009; Schlegel, 2016; Štumbauer et al., 2013), nicméně v článku je vnímán jako sportovní odvětví zahrnující

cvičení v posilovnách, cvičebních sálech, tělocvičnách apod.

Fitness již dávno nepředstavuje pouze cvičení v posilovnách na posilovacích strojích, s činkami a v přidružené kardio zóně. V současnosti fitness zcela běžně zahrnuje také cvičení ve funkčních zónách, sálech orientujících se na skupinová cvičení, vzpírání nebo závěsné systémy. Nová odvětví s sebou často přinášejí vlastní terminologii, případně dochází k mísení se zavedeným stavem (např. u kruhového tréninku). Není ojedinělé, že i v odborných publikacích panuje nesoulad v použití pojmů (Moreno et al., 2020; Osipov et al., 2019; Sobrero et al., 2019; Sperlich et al., 2017; Wilke et al., 2019), z označení tak není patrné, jaké prostředky, metody nebo cviky byly aplikovány. Nejen u laické veřejnosti může docházet ke zmatení v pojmech a tím i k nevhodnému používání nebo interpretaci. Značný vliv v tomto kontextu mohou mít sociální sítě, kde lze snadno šířit informace týkající se cvičení. Situaci zhoršuje i absence zastřešující organizace, která by tento aspekt řešila.

Je důležité, aby vzniklé pojmy byly správně používány a nedocházelo k desinterpretacím, k mylnému nebo odlišnému používání. Článek se zaměřuje na oblasti, které jsou spojovány s cvičením ve vysoké intenzitě: High-intensity functional training (HIFT),

\* Korespondenční adresa: Petr Schlegel, Katedra tělesné výchovy a sportu, Pedagogická fakulta, Univerzita Hradec Králové, Rokytanského 62, 500 02 Hradec Králové, e-mail: petr.schlegel@uhk.cz



High-intensity interval training (HIIT), kruhový trénink, CrossFit® a funkční trénink. Vysoká intenzita cvičení je zde chápána jako stav organismu, při kterém je dosahováno vysoké tepové frekvence, hladiny krevního laktátu anebo je subjektivně vnímán jako velmi náročný. Jedná se také o aktivity, které často v různé podobě sdružují silové a vytrvalostní zatížení. Kromě HIFT jsou to termíny, které jsou běžně užívány v českém prostředí. Cílem článku je vymezit vybrané pojmy takovým způsobem, aby bylo možné je zřetelně oddělit, což je nutným krokem pro teorii i praktické využití.

## Metodika

Pro vymezení vybraných pojmů byl proveden sběr dat pomocí databází Pubmed, Semantic scholar, Scopus, Google scholar. Byly využity i tuzemské zdroje v digitalizované i papírové podobě. Vyhledávání proběhlo na základě zadání klíčových slov v českém i anglickém jazyce. Ty byly použity samostatně nebo v kombinacích (s použitím spojek „a“, „nebo“, či bez nich): „high-intensity“, „crossfit“, „functional“, „training“, „interval“, „circuit“. Zdroje byly z hlediska kvality, obsahu a relevantnosti zhodnoceny autorem. Nebyl kladen žádný specifický požadavek na podobu zdroje (druh studie, povaha knihy apod.). Sběr dat byl ukončen v únoru 2021. Vyřazeny byly zdroje, u kterých nebylo možné jasně identifikovat daný pojem nebo jeho určení nebylo jednoznačné. Z vybraných zdrojů byla následně provedena pro každý pojem zvlášť analýza na bázi přehledové studie.

U analýzy pojmů bylo zohledňováno více kritérií: povaha cviků (komplexní – izolované, s externí zátěží), použití kardio a posilovacích strojů, existence systému cvičení, metody rozvoje motorických schopností, využití silového a vytrvalostního zatížení, organizace cvičení, cílová skupina.

## Výsledky a diskuse

### HIFT

High intensity functional training (HIFT) v překladu vysoce intenzivní funkční trénink je označení, které se začalo v rozšířené podobě objevovat v mezinárodním akademickém prostředí. Poprvé bylo použito ve výzkumu Heinricha et al. (2014). Základním atributem je zahrnutí funkčních cviků vyžadující pohyb velkých svalových skupin a velkých kloubů (dřep, mrtvý tah, klik, shyb, trh, nadhoz, běh atd.) (Feito et al., 2018). Téměř vždy se také mění poloha těžiště v prostoru a tělo se pohybuje v různých rovinách (frontální, sagitální, transversální) (Browne et al., 2020). Obvykle je organizováno jako skupinové cvičení pod vedením trenéra či instruktora.

Tento model cvičení by měl vyvolat adaptaci na bázi kardiovaskulární soustavy a muskuloskele-

tálního systému podobnou se silovým i vytrvalostním cvičením (Browne et al., 2020). Smyslem HIFT je rozvoj komponent tělesné zdatnosti a zlepšení „výkonu“ v pohybových aktivitách běžného dne (Mangine et al., 2018). Cvičení nemusí být orientováno nutně na absolutní fyzický výkon.

Znakem HIFT je zapojit pestrou škálu prostředků ovlivňujících více motorických schopností najednou v rámci jedné cvičební jednotky. Měl by představovat potenciál pro rozvoj aerobní i anaerobní vytrvalosti, ale také absolutní nebo výbušné síly (Falk Neto & Kennedy, 2019). Dále je možné využití pro management hmotnosti nebo změnu složení těla. Crawford et al. (2018) uvádějí čtyři mechanismy, které jsou typické pro HIFT: 1. zapojení různých domén (aerobní a odporové cvičení); 2. aplikace funkčních cviků vyžadující zapojení obecných pohybových vzorů; 3. současné kombinování aerobních a odporových cviků ve cvičební jednotce; 4. stabilní koncentrace na vysoké úsilí.

Cvičební jednotky by měly vykazovat vysokou intenzitu ve smyslu zvýšených fyziologických parametrů (tepová frekvence >85% TFmax, krevní laktát 8–12 mmol/l) a také vysoké subjektivní hodnocení náročnosti (podle RPE – rated perceived exertion) (Mangine et al., 2018). Dalšími znaky by měla být krátká doba trvání (obvykle do 20 minut) a stále variování obsahu (jednotky se málokdy zcela opakují) (Kliszczewicz et al., 2018). Podle autorů jsou všechny cvičební jednotky příznačné kombinací několika cviků/stanovišť (cviky s vlastním tělem anebo s činkami, použití kardio strojů apod.) resp. jejich různou povahou (odporové cviky, vytrvalostní disciplíny) (Browne et al., 2020). Cviky pocházejí z mnoha oblastí – gymnastika, olympijské vzpírání, kettlebells, veslování atd. (Kliszczewicz et al., 2018). Smyslem je provádění cviků co nejrychleji resp. minimalizovat pauzy mezi nimi. HIFT tréninky jsou typicky prováděny ve formátu kruhového tréninku – cviky jsou střídány sousledně v předem uvedeném pořadí, po vykonání posledního se navazuje prvním cvikem (Brisebois et al., 2018).

Obvykle není nastaven odpočinek mezi jednotlivými cviky, což je jeden ze zásadních rozdílů oproti kruhovému tréninku. Pauzy si stanovuje každý podle potřeby, lze odpočívat kdykoliv v průběhu cvičení. Odpočinek není předepsán, ale obvykle je krátký a závislý na zdatnosti jedince (Feito et al., 2018). Další odlišností od klasického kruhového tréninku je počet cviků, který je nižší a pohybuje se nejčastěji v rozmezí 2–6.

HIFT představuje koncept, který se vyvinul z CrossFitu®, ale měl by přesahovat jeho rozměr. Společným znakem je mimo jiné použití základních metod jako AMRAP (as many repetitions as possible) nebo FT (for time), spojování různých modalit během cvičení a variabilita cvičení (Crawford et al., 2018). Odlišnost je ve volnějším pojetí systému cvičení. Není stanoven přesný (krátkodobý i dlouhodobý) formát, jak by mělo

být cvičení organizováno. Z dostupných zdrojů není zřejmé, podle jakého klíče by se měli trenéři řídit – zapojení svalových skupin / částí těla, poměr určitých cviků nebo modalit apod. U HIFT není k dispozici žádná obecná metodologie, proto lze vycházet pouze z výzkumů používající toto označení. Pokud by měl být CrossFit® jednou z částí HIFT, měly by se zde objevovat i typické metody a přístupy z crossfitového systému: použití jedné modalit v tréninkové jednotce (např. pouze cviky s vlastním tělem); čistě silové pojetí tréninkové jednotky bez zapojení vytrvalostních cvičení; použití metod intervalového zatížení apod. V uvedených studiích se tak nestalo, ani to nebylo uvedeno jako možná alternativa.

V některých případech nebývá jasně rozlišováno mezi HIFT a CrossFitem® (Falk Neto & Kennedy, 2019). Autoři sice používají označení HIFT, ale metodika intervenčních programů je shodná se systémem, který používá CrossFit® (Crawford et al., 2018; Mangine et al., 2018; Tibana et al., 2018). Tento přístup ztěžuje vymezení pojmů. Lze se domnívat, že jedním z důvodů bude ochranná známka značky CrossFit®, která je také závazná pro použití metod nebo výběru cviků. V případě označení HIFT nejsou výzkumníci vázáni na konkrétní požadavky. V jiných případech je uváděn CrossFit® jako jedna z alternativ HIFT (Feito et al., 2018). HIFT by tak měl představovat nadřazený pojem zahrnující širší spektrum cvičebních forem a metod.

Na základě uvedených informací nelze popsat ucelené a jasné vymezení HIFT. Ačkoliv se zmínění autoři snaží o vytvoření nadřazeného pojmu ke CrossFitu®, působí dojmem, že aplikují jen některé crossfitové metody a při praktickém použití neuvádějí nic originálního. Je zapotřebí další činnosti k potvrzení této konotace, a proto by měl být tento pojem používán s opatrností.

### HIIT

High-intensity interval training (HIIT) je metodou, která se začala objevovat u běžců ve 30. letech 20. století a jedním z prvních průkopníků byl např. Paavo Nurmi. Dalším věhlasným sportovcem používající HIIT byl Emil Zátopek (Laursen & Buchheit, 2019). Tato metoda je spojena především s cyklickými vytrvalostními sporty s potenciálem rozvoje aerobních i anaerobních parametrů. Často je dáváno do kontrastu s kontinuálním zatížením střední (submaximální) intenzity.

Představuje metodu, která je obvykle příznačná relativně nízkým objemem práce a vysokou intenzitou (Batacan et al., 2017). Jedná se o přerušovanou metodu, kdy se střídá krátké zatížení s pasivním odpočinkem nebo velmi lehkou zátěží (20–40%  $VO_{2max}$ ) (Norton et al., 2010). Intenzita je určována pomocí různých parametrů jako RPE,  $VO_{2max}$ , tepová frekvence, výkon ve watttech, rychlost. Společným jmenovatelem

je pohyb sportovce v submaximální až maximálních hodnotách.

HIIT se liší od klasického intervalového tréninku délkou zatížení a odpočinku. Pracovní interval se pohybuje v rozmezí 6 s – 4 min, fáze odpočinku 10 s – 5 min a celková doba 4 – 30 min (Sloth et al., 2013), nicméně pro určité sportovní disciplíny nebo účely může být pracovní interval delší (Laursen & Buchheit, 2019). Prostředkem pro HIIT jsou obvykle jednorozměrné modalit jako běh, cyklistika, veslování, které mezi sebou nebyvají kombinovány.

HIIT se osvědčil jako vhodný a bezpečný prostředek pro rozvoj kardio-metabolických, silových nebo výkonnostních parametrů u zdravotně oslabených, běžné populace i výkonnostních sportovců (Batacan et al., 2017; Cassidy et al., 2017; Laursen & Buchheit, 2019; Weston et al., 2014).

S příchodem funkčního tréninku se touto metodou inspiroval i sektor fitness, a proto se stala velmi rozšířenou a známou. Často používaným protokolem je Tabata training, kde se střídá 20s práce a 10s odpočinek v 7–8 sériích (Tabata, 2019). V praxi je paradoxně (a mylně) aplikován na běžné cviky. Nyní se objevují i kombinované formy, které k typickým cyklickým aerobním cvičením přidávají běžné cviky nebo je nahrazují úplně (Schlegel, Hiblbauer et al., 2020). Efektivita nebo fyziologická odezva takových programů zatím není dostatečně zmapována. I přesto se zdá, že z pohledu rozvoje vytrvalostních schopností nemají takový potenciál.

Metoda HIIT může být využita jako součást CrossFitu® nebo funkčního tréninku, ale měla by být nahlížena jako jedna z mnoha možných variant. I přes určitý trend ve fitness jsou zde patrné odlišnosti od kruhového tréninku. HIIT by měl být spojována především s vytrvalostními sporty typu běh, cyklistika, plavání, veslování atd. Při použití (odporových) cviků nebo kombinace se zdá být vhodnější označení HIFT.

### Kruhový trénink

Označení kruhový trénink je velmi rozšířené a užívané širokou sportovní veřejností. Původ metody lze datovat do 50. let 20. století, kdy Morgan a Andersen publikovali studii zabývající se „circuit training“ (Seo et al., 2019). Smyslem bylo střídání a opakování cviků v kruhovém systému. Původně byly používány pouze silové cviky, proto také vzniklo označení „circuit weight training“ (Gettman & Pollock, 1981) nebo „resistance circuit training“ (Muñoz-Martínez et al., 2017). Postupem času však začali být implementovány i cviky aerobního charakteru. Nicméně převažovat by měly odporové cviky. Ačkoliv může mít kruhový trénink různou podobu, k dispozici jsou především studie používající resistenční cviky bez přítomnosti aerobních prvků (švihadlo, stacionární kolo apod.) (Buch et al., 2017; Hermassi

et al., 2019; Seo et al., 2019). V literatuře je možné se setkat v označení kruhový provoz, které má shodný význam, ale je dáváno spíše do souvislosti se školní tělesnou výchovou (Fialová & Rychtecký, 2002).

Kruhový trénink se využívá pro různé výkonnostní kategorie včetně vrcholových sportovců pro účely rozvoje „atletického“ výkonu (Hermassi et al., 2019). Jedná se o efektivní, časově i organizačně nenáročnou metodu, která by měla vést k rozvoji silových i vytrvalostních schopností. Z těchto důvodů je rozšířená v mnoha sportovních disciplínách, kde byla prokázána její účinnost (Falk Neto & Kennedy, 2019; Freitas et al., 2016). Přenos do vytrvalostních výkonů není tak markantní, nicméně experimentální studie dokazují pozitivní signifikantní výsledky (Alcaraz et al., 2008; Buch et al., 2017).

Neexistuje přesné vymezení cviků, které by měly být použity. Mohou být využity cviky s vlastním tělem, volnými vahami nebo posilovacími stroji. Je také možná jejich libovolná kombinace (Seo et al., 2019). Lehnert et al. (2014) doporučují střídání podle zaměření např. agonista-antagonista nebo horní – dolní končetiny. Nicméně exaktní předpis pro výběr nebo pořadí cviků není stanoven (Jarkovská, 2009).

Organizace kruhového tréninku může být podle počtu opakování na jednotlivém stanovišti v rozmezí 10–15 (Buch et al., 2017), resp. 8–20 (Seo et al., 2019). Odpočinek mezi stanovišti v takovém případě bývá 30–120 s. Dalším způsobem pojetí je určením časového pracovního a odpočinkového intervalu (např. 40 s práce – 20 s pauza) (Lehnert et al., 2014). Z pohledu intenzity je obvykle pracováno v rozmezí 40–60 % 1 RM (Muñoz-Martínez et al., 2017). Zároveň nebývá požadavkem provedení maximální rychlostí. Počet stanovišť je udáván na 6–12, celková doba trvání se pohybuje mezi 20–40 minutami (Dovalil, 2008).

Zásadní odlišností od HIFT nebo funkčního tréninku je možnost využití posilovacích strojů, vyšší počet stanovišť nebo organizace cviků podle zatížení svalových skupin. Specifikem je také řízený odpočinek nebo absence vytrvalostních disciplín. Souhrnně se jedná o dlouhodobě využívanou metodu, která díky své variabilitě může být (spíše okrajově) využita i v rámci HIFT nebo CrossFitu®.

Aktuálně je nejčastěji využívána ve smyslu vysokofrekvenčního intervalového cvičení s nižší intenzitou odporu, kde výrazně převyšuje poměr práce nad odpočinkem. V této konotaci by tak měl být kruhový trénink používán.

#### *CrossFit®*

CrossFit® vznikl ve Spojených státech amerických v polovině 90. let a jeho tvůrcem je Greg Glassman. Postupem času se z lokální záležitosti stal celosvětový fenomén, který patří k nejrychleji rostoucím směrům/

sportům 21. století. Ačkoliv je vnímán především jako cvičební systém, jeho rozměr je mnohem širší. Základním cílem je rozvoj tělesné zdatnosti (fitness) a zlepšení zdraví, kde je zmíněn i rozměr wellness. Aktuálně lze vnímat CrossFit® v několika rovinách: 1. cvičební systém, 2. životní styl, 3. sportovní disciplína.

Od začátku je filozofie CrossFitu® založena na úpravě životního stylu a zaměřuje se i na oblast výživy. Z pohledu výživových doporučení představuje kombinaci zónové diety a Paleo stravování. Úprava jídelníčku by tak měla být nedílnou součástí provozování CrossFitu®. Dalším přesahem je provozování a učení se novým sportům (pohybovým aktivitám), které nejsou přímo zahrnuty do cvičebního systému (Glassman, 2002).

Na světě je přibližně 11 500 oficiálních crossfitových tělocvičen, jejich otevření je podmíněno absolvováním licenčního kurzu a také zaplacením příslušného ročního poplatku (Schlegel, 2020). Podstatné je zmínit množství neoficiálních míst, které provozují stejné nebo velmi podobné cvičení. Díky tomu, že „život“ v crossfitových tělocvičnách přesáhl rozměr pouhého cvičení nebo skupinových lekcí, lze hovořit o subkultuře. Působení crossfitové komunity je zřejmé a má silný vliv na psychosociální aspekty jednotlivce (Pickett et al., 2016).

Cvičební systém je založen na třech pilířích: 1. používání funkčních (komplexních) pohybů, 2. vysoká intenzita (pro silové i vytrvalostní zatížení), 3. neustálá změna (cvičební jednotky se málokdy opakují). Funkční pohyby jsou rozděleny do modalit: gymnastika (cviky s vlastním tělem), vzpírání (cvičení s externí zátěží), kardio (vytrvalostní disciplíny). Tyto modalitty jsou v systému zahrnuty stejnou měrou a v předepsaných kombinacích. Základem nebo jedinou částí cvičební jednotky je WOD (“workout of the day”), které obsahuje jednu nebo více zmíněných modalit. Z pohledu aplikovaných metod jsou nejčastěji používány AMRAP a FT, ale není to striktně určeno, proto je možné využít i jiné jako HIIT. V případě cvičebních jednotek zaměřených čistě na gymnastiku nebo vzpírání nemusí nutně docházet k zatížení stimulující rozvoj vytrvalostních schopností.

Vytvořila se i výkonnostní, resp. závodní podoba CrossFitu®, která splňuje atributy sportovní disciplíny. Má jasná pravidla, podle kterých je možné porovnávat výsledky závodníků. Závodní podoba je v současnosti spojena s dlouhodobou tréninkovou přípravou (Schlegel, 2020). Ačkoliv je výkonnostní pojetí často sdružováno s cvičením ve smyslu původních myšlenek, je nutné tyto oblasti jasně oddělit. Ke CrossFitu® lze tedy přistupovat jako k ostatním sportovním disciplínám, čímž se také odlišuje od HIFT nebo funkčního tréninku.

Zásadní odlišností od HIFT nebo funkčního tréninku je systematická organizace cvičebních jednotek

a přístup ke cvičení na základě modalit gymnastiky, vzpírání a kardia. Jedná se o dlouhodobé organizované nastavení pohybového režimu. CrossFit® přinesl do sportovního světa mnoho nového – cvičební systém, kombinace různých modalit, metody cvičení atd. To se stalo inspirací pro HIFT nebo funkční trénink, a proto může docházet ke nejasnému rozlišení.

#### Funkční trénink

Pojem funkční trénink se začal objevovat v 60. a 70. letech v oblasti fyzioterapie. Byl dáván do kontextu běžných denních aktivit („activities of daily living“), zvládání přirozených pohybů (vzpažit, sebrat předmět ze země, posadit se apod.). Používán byl především u jedinců s výrazným zdravotním omezením, u kterých bylo cílem obnovit normální funkci pohybového aparátu (Inaba et al., 1973). V rehabilitačních programech byl funkční trénink také spojován s odporovým cvičením, protože se prokázal synergický efekt takového postupu. V oblasti medicíny, fyzioterapie nebo rehabilitace se používá i v současnosti (Liu et al., 2014).

Postupem času se označení přeneslo také do oblasti fitness, kde začalo být spojováno s komplexními pohyby, různými pomůckami (TRX, BOSU apod.) a cvičením ve vyšší intenzitě. Vytvořily se i varianty cvičení s houbou (např. Les Mills) nebo cvičení organizovaná v přírodě. Pojem funkční trénink se přenesl také do oblasti sportovního tréninku a je součástí kondiční přípravy sportovců (Boyle, 2016).

I přes odlišný oborový přístup lze nalézt společné znaky. Výběr cviků a metod by měl cílit na rozvoj tě-

lesné zdatnosti. Celkový přístup by tedy měl rozvíjet širší spektrum silových a vytrvalostních schopností, flexibilitu a také zlepšovat parametry složení těla. Funkční trénink používá komplexní (vícekloubové pohyby) cviky s cílem harmonicky zatěžovat celé tělo. Dále je zde návaznost na přirozené lidské pohyby (skákání, lezení, plazení, běhání, házení, manipulace s břemenem atd.) (Schlegel, Dostálová et al., 2020). Přístup není založen na využití izolovaného posilování, ačkoliv i to lze v aplikovat. Jedná se o obecné označení, které není vázáno na využití konkrétní pomůcky nebo zaměření na určitou část těla (např. střed těla – core).

Ačkoliv je základním přístupem využití (posilovacích) cviků, měl by být v rámci cvičení zahrnut i rozvoj vytrvalosti. Není nutné, aby docházelo k vysokému zatížení jako u HIIT nebo HIFT, nicméně zvýšení fyziologických hodnot (např. tepové frekvence) je nezbytné. Ve funkčním tréninku je běžné využití (cyklických) vytrvalostních cvičení.

Základním požadavkem pro funkční trénink je volba takových metod a prostředků, aby docházelo k pozitivnímu ovlivnění tělesné zdatnosti a přenosu do aktivit běžného života. Silové i vytrvalostní zatížení může probíhat i v nižších intenzitách, mohou být také využity koncepty typu Primal move, Ido Portal apod. Nejsou zde konkrétní požadavky na strukturu cvičební jednotky nebo dlouhodobé systematické pojetí. Jedná se tak o určitý přístup k pohybu a výběru pohybových aktivit, který lze pojmut velmi odlišně a přizpůsobit individuálním cílům a potřebám (Schlegel, Dostálová et al., 2020). Označení funkční trénink je vhodné použí-

Tabulka 1  
Komparace pojmů

Charakteristiky	HIFT	HIIT	kruhový trénink	funkční trénink	CrossFit®
organizace zatížení podle času	ano	ano	ano	ano	ano
organizace zatížení podle počtu opakování	ano	ne	ne	ano	ano
použití intervalových metod	ne	ano	ano	ano	ano
použití posilovacích strojů	ne	ne	ano	ne	ne
použití kardio strojů	ano	ano	ne	ano	ano
použití výhradně komplexních pohybů	ano	ano	ne	ano	ano
systematická organizace cvičení	ne	ne	ne	ne	ano
cvičení ve vysoké intenzitě	ano	ano	spíše ano	není podmínkou	ano
vymezené určení aplikace silových a vytrvalostních cvičení	ne	ano	ne	ne	ano
počet cviků ve cvičební jednotce	nízký až střední	nízký	spíše vysoký	nelze určit	nízký–střední
počet opakování	nízký až vysoký	nelze určit	střední	nelze určit	nízký až vysoký
používání v ČR	ne	ano	ano	ano	ano

Legenda: HIFT – vysoce intenzivní funkční trénink; HIIT – vysoce intenzivní intervalový trénink



vat pro pohybové aktivity nevykonnostního charakteru, v kontextu sportovního tréninku je přesnější používat terminologii tradičně spojenou s rozvojem motorických schopností. Zmíněné platí pro oblast kinantropologie a české prostředí. V případě jiných oborů nebo mezinárodního použití nelze význam zobecnit.

Pro přehled byla vytvořena Tabulka 1, kde jsou zobrazeny charakteristiky jednotlivých pojmů. Stejně jako je obtížné vytvořit přesnou definici, která by postihla všechny různorodé varianty cvičení, znamenají některá pole spíše většinové pojetí než absolutní určení.

## Závěry

Vymezení pojmů v rámci určité sportovní oblasti je zásadním krokem pro teorii i praxi. Fitness představuje specifické odvětví, které dlouhodobě zažívá velké změny ve výběru forem cvičení, cvičebních pomůcek nebo metod. Díky tomu se objevují nová slova nebo vznikají nové konotace. V článku byly popsány vybrané pojmy, které jsou spojovány s „high-intensity“ cvičením a jsou také silně rozšířeny mezi sportující populací. Vzhledem k vysoké variabilitě použití u nich nelze vytvořit exaktní definici, proto byla zvolena podrobná deskripce zahrnující jasná specifika. V některých aspektech byly mezi sebou porovnávány, aby bylo zřejmé jejich vymezení. Ukázalo se, že HIFT, HIIT, kruhový trénink, CrossFit®, funkční trénink bude možné dobře rozlišit při jejich použití. Nové trendy a pojetí pohybových aktivit, forem či metod cvičení se stále mění, proto je důležité sledovat vývoj v této oblasti.

## Reference

- Alcaraz, P. E., Sánchez-Lorente, J., & Blazevich, A. J. (2008). Physical performance and cardiovascular responses to an acute bout of heavy resistance circuit training versus traditional strength training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(3), 667–671. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31816a588f>
- Batacan, R. B., Duncan, M. J., Dalbo, V. J., Tucker, P. S., & Fenning, A. S. (2017). Effects of high-intensity interval training on cardiometabolic health: A systematic review and meta-analysis of intervention studies. *British Journal of Sports Medicine*, 51(6), 494–503. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095841>
- Boyle, M. (2016). *New functional training for sports* (2nd ed.). Human Kinetics.
- Brisebois, M. F., Rigby, B. R., & Nichols, D. L. (2018). Physiological and fitness adaptations after eight weeks of high-intensity functional training in physically inactive adults. *Sports*, 6(4), 146. <https://doi.org/10.3390/sports6040146>
- Browne, J., Carter, R., Robinson, A., Waldrup, B., Zhang, G., Carrillo, E., Dinh, M., Arnold, M., Hu, J., Dolezal, B. (2020). Not all hift classes are created equal: Evaluating energy expenditure and relative intensity of a high-intensity functional training regimen. *International Journal of Exercise Science*, 13, 1206–1216. <http://www.intjexersci.com>
- Buch, A., Kis, O., Carmeli, E., Keinan-Boker, L., Berner, Y., Barer, Y., Shefer, A., Marcus, Y., Stern, N. (2017). Circuit resistance training is an effective means to enhance muscle strength in older and middle aged adults: A systematic review and meta-analysis. *Ageing Research Reviews*, 37, 16–27. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2017.04.003>
- Cassidy, S., Thoma, C., Houghton, D., & Trenell, M. I. (2017). High-intensity interval training: A review of its impact on glucose control and cardiometabolic health. *Diabetologia*, 60(1), 7–23. <https://doi.org/10.1007/s00125-016-4106-1>
- Crawford, D. A., Drake, N. B., Carper, M. J., DeBlauw, J., & Heinrich, K. M. (2018). Are changes in physical work capacity induced by high-intensity functional training related to changes in associated physiologic measures? *Sports (Basel, Switzerland)*, 6(2), 26. <https://doi.org/10.3390/sports6020026>
- Dovalil, J. (2008). *Lexikon sportovního tréninku*. Karolinum.
- Falk Neto, J. H., & Kennedy, M. D. (2019). The multimodal nature of high-intensity functional training: potential applications to improve sport performance. *Sports (Basel, Switzerland)*, 7(2), 33. <https://doi.org/10.3390/sports7020033>
- Feito, Y., Heinrich, K. M., Butcher, S. J., & Poston, W. S. C. (2018). High-intensity functional training (HIFT): Definition and research implications for improved fitness. *Sports (Basel, Switzerland)*, 6(3), 76. <https://doi.org/10.3390/sports6030076>
- Fialová, L., & Rychtecký, A. (2002). *Didaktika školní tělesné výchovy* (2nd ed.). Karolinum.
- Freitas, T. T., Calleja-González, J., Alarcón, F., & Alcaraz, P. E. (2016). Acute effects of two different resistance circuit training protocols on performance and perceived exertion in semiprofessional basketball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(2), 407–414. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001123>
- Gettman, L. R., & Pollock, M. L. (1981). Circuit weight training: A critical review of its physiological benefits. *The Physician and Sportsmedicine*, 9(1), 44–60. <https://doi.org/10.1080/00913847.1981.11710988>
- Glassman, G. (2002). What is fitness. *CrossFit Journal*, 10, 1–10.
- Hedblom, C. (2009). *Body is made to move: Gym & fitness culture in sweden*. Stockholm Universitet.
- Heinrich, K. M., Patel, P. M., O'Neal, J. L., & Heinrich, B. S. (2014). High-intensity compared to moderate-intensity training for exercise initiation, enjoyment, adherence, and intentions: An intervention study. *BMC Public Health*, 14, 789. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-14-789>
- Hermassi, S., Wollny, R., Schwesig, R., Shephard, R. J., & Chelly, M. S. (2019). Effects of in-season circuit training on physical abilities in male handball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(4), 944–957. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002270>
- Inaba, M., Edberg, E., Montgomery, J., & Gillis, K. M. (1973). Effectiveness of functional training, active exercise, and resistive exercise for patients with hemiplegia. *Physical Therapy*, 53(1), 28–36. <https://doi.org/10.1093/ptj/53.1.28>
- Jarkovská, H. (2009). *Posilování: Kondiční kruhový trénink*. Grada.
- Kliszczewicz, B., Williamson, C., Bechke, E., McKenzie, M., & Hoffstetter, W. (2018). Autonomic response to a short and long bout of high-intensity functional training. *Journal of Sports Sciences*, 36(16), 1872–1879. <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1423857>

- Laursen, P., & Buchheit, M. (2019). *Science and application of high-intensity interval training: Solutions to the programming puzzle*. Human Kinetics.
- Lehnert, M., Botek, M., Sigmund, M., Směkal, D., & Šťastný, P. (2014). *Kondiční trénink*. Univerzita Palackého v Olomouci.
- Liu, C., Shiroy, D. M., Jones, L. Y., & Clark, D. O. (2014). Systematic review of functional training on muscle strength, physical functioning, and activities of daily living in older adults. *European Review of Aging and Physical Activity*, 11(2), 95–106. <https://doi.org/10.1007/s11556-014-0144-1>
- Mangine, G. T., Van Dusseldorp, T. A., Feito, Y., Holmes, A. J., Serafini, P. R., Box, A. G., & Gonzalez, A. M. (2018). Testosterone and cortisol responses to five high-intensity functional training competition workouts in recreationally active adults. *Sports (Basel, Switzerland)*, 6(3), 62. <https://doi.org/10.3390/sports6030062>
- Moreno, M. R., Rodas, K. A., Bloodgood, A. M., Dawes, J. J., Dulla, J. M., Orr, R. M., & Lockie, R. G. (2020). The influence of aerobic fitness on heart rate responses of custody assistant recruits during circuit training sessions. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(21), 8177. <https://doi.org/10.3390/ijerph17218177>
- Muñoz-Martínez, F. A., Rubio-Arias, J. Á., Ramos-Campo, D. J., & Alcaraz, P. E. (2017). Effectiveness of resistance circuit-based training for maximum oxygen uptake and upper-body one-repetition maximum improvements: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 47(12), 2553–2568. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0773-4>
- Norton, K., Norton, L., & Sadgrove, D. (2010). Position statement on physical activity and exercise intensity terminology. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(5), 496–502. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2009.09.008>
- Osipov, A., Nagovitsyn, R., Zekrin, F., Vladimirovna, F., Zubkov, D., & Zhavner, T. (2019). CrossFit training impact on the level of special physical fitness of young athletes practicing Judo. *Sport Mont*, 16(2), 510–512. <https://doi.org/10.26773/smj.191014>
- Pickett, A. C., Goldsmith, A., Damon, Z., & Walker, M. (2016). The influence of sense of community on the perceived value of physical activity: A cross-context analysis. *Leisure Sciences*, 38(3), 199–214. <https://doi.org/10.1080/01490400.2015.1090360>
- Seo, Y.-G., Noh, H.-M., & Kim, S. Y. (2019). Weight loss effects of circuit training interventions: A systematic review and meta-analysis. *Obesity Reviews*, 20(11), 1642–1650. <https://doi.org/10.1111/obr.12911>
- Schlegel, P. (2016). *Tělesné sebepojetí a vyhledávání intenzivních prožitků u návštěvníků fitness centra*. Disertační práce, Univerzita Karlova, Fakulta tělesné výchovy a sportu, Praha.
- Schlegel, P. (2020). CrossFit® training strategies from the perspective of concurrent training: A systematic review. *Journal of Sports Science & Medicine*, 19(4), 670–680. <http://www.jssm.org>
- Schlegel, P., Dostálová, R., & Agricola, A. (2020). *Funkční trénink v tělesné výchově*. Gaudeamus.
- Schlegel, P., Hiblbauer, J., & Agricola, A. (2020). Physiological response to non-traditional high-intensity interval training. *Acta Facultatis Educationis Physicae Universitatis Comenianae*, 60(1), 1–14. <https://doi.org/10.2478/afepuc-2020-0001>
- Sloth, M., Sloth, D., Overgaard, K., & Dalgas, U. (2013). Effects of sprint interval training on VO2max and aerobic exercise performance: A systematic review and meta-analysis. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 23(6), e341-352. <https://doi.org/10.1111/sms.12092>
- Sobrero, G., Arnett, S., Schafer, M., Stone, W., Tolbert, T. A., Salyer-Funk, A., Crandal, J., Farley, L., Brown, J., Lyons, S., Maples, J. (2017). A comparison of high intensity functional training and circuit training on health and performance variables in women: A pilot study. *Women in Sport and Physical Activity Journal*, 25(1), 1–10. <https://doi.org/10.1123/wspaj.2015-0035>
- Sperlich, B., Wallmann-Sperlich, B., Zinner, C., Von Stauffenberg, V., Losert, H., & Holmberg, H.-C. (2017). Functional high-intensity circuit training improves body composition, peak oxygen uptake, strength, and alters certain dimensions of quality of life in overweight women. *Frontiers in Physiology*, 8, 172. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00172>
- Štumbauer, J., Maleček, J., & Šimberová, D. (2013). *Odborná terminologie vybraných sportovních disciplín*. Masarykova univerzita.
- Tabata, I. (2019). Tabata training: One of the most energetically effective high-intensity intermittent training methods. *The Journal of Physiological Sciences: JPS*, 69(4), 559–572. <https://doi.org/10.1007/s12576-019-00676-7>
- Tibana, R. A., de Sousa, N. M. F., Cunha, G. V., Prestes, J., Fett, C., Gabbett, T. J., & Voltarelli, F. A. (2018). Validity of session rating perceived exertion method for quantifying internal training load during high-intensity functional training. *Sports (Basel, Switzerland)*, 6(3), 68. <https://doi.org/10.3390/sports6030068>
- Weston, K. S., Wisløff, U., & Coombes, J. S. (2014). High-intensity interval training in patients with lifestyle-induced cardiometabolic disease: A systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 48(16), 1227–1234. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092576>
- Wilke, J., Kaiser, S., Niederer, D., Kalo, K., Engeroff, T., Morath, C., Vogt, L., Banzer, W. (2019). Effects of high-intensity functional circuit training on motor function and sport motivation in healthy, inactive adults. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 29(1), 144–153. <https://doi.org/10.1111/sms.13313>

## **Definition of actual fitness terms: high-intensity functional training, high-intensity interval training, functional training, circuit training, CrossFit®**

---

**Background:** Frequent changes, new trends characterize the fitness industry, methods or exercises appear. The current trend is “high intensity”, or a way of exercising, associated with high effort, intense experiences, increased heart rate, etc. “High-intensity” is included in several areas and used by the general sporting public. Due to its widespread use, it is important that terminology is used and interpreted correctly. **Objective:** To define selected current concepts associated with “high intensity” and clearly describe their differences. These were HIFT (high-intensity functional training), HIIT (high-intensity interval training), circuit training, CrossFit, functional training. **Methods:** Literature research was performed in the databases Pubmed, Semantic scholar, Google scholar, Scopus. Domestic non-digitized sources were also used. Only sources for which the use of the term could be clearly identified were included in the analysis. **Results and conclusions:** Selected terms were defined, and at the same time, different attributes were described. Each of these terms has its precise specifics and should therefore not be confused or inappropriately used. Due to the constant development in the fitness industry, it is necessary to monitor this sector stably.

---

*Keywords:* intensity, interval, fitness, terminology

## 4 TRÉNINK

Pro výkonnostně orientované jedince je samozřejmé, že přizpůsobují tréninkovou přípravu vzhledem k požadavkům dané disciplíny, ale také vůči individuální charakteristice, cílům a podmínkám. HIFT je mladou sportovní disciplínou, u které se stále vyvíjí cyklování / strukturování tréninku, výběr metod apod. Současně s tím není ustálené sledování a testování sportovců.

*„Sportovní trénink je chápán jako proces systematického rozvoje jednotlivých složek v závislosti na době trvání sportovní přípravy směřující k dosažení maximální výkonnosti v seniorském věku ve zvolené sportovní disciplíně.“* (Zahradník & Korvas, 2012). Jeho složky jsou kondiční, technická, taktická, psychologická. Uvedené články se zaměřují na kondiční složku.

Ačkoliv je výkon v HIFT velmi komplexní, lze identifikovat některé faktory, které se významněji podílejí na úspěchu. Mezi podstatné se řadí absolutní síla, dynamická síla (spíše při práci s externí zátěží), relativní síla (týká se především horní poloviny těla), krátkodobá a střednědobá vytrvalost (prostřednictvím různých modalit). Rychlostní schopnost nebývá součástí eventů/WOD, proto není její cílený rozvoj zařazován do tréninku.

Je patrné, že vzhledem k pestré povaze výkonu v HIFT, je nutné se současně věnovat rozvoji mnoha oblastí. Díky tomu se používají různé přístupy, metody a čerpá se ze zkušeností z jiných sportovních oblastí (sportovní gymnastika, vzpírání, powerlifting, kulturistika, vytrvalostní běh, veslování atd.).

Jedním z informačních zdrojů je souběžný trénink, jehož cílem je současné rozvíjení silových a vytrvalostních schopností. Tento aspekt je zásadní pro HIFT, protože silová i vytrvalostní složka dominantně rozhodují o úspěchu. Souběžný trénink používá jen vybrané disciplíny, ale i přesto je možné některé zásady přejímat (Schlegel, 2020). V tomto směru se ukazuje, že HIFT je potřeba vnímat jako sportovní disciplínu s originálními impulsy pro adaptaci (např. „barbell conditioning“, kdy aktivita probíhá prostřednictvím cviků s činkou, ale současně dochází k vysokým požadavkům na kardiorepirační funkce).

Výkon v HIFT je založen také na vysoké úrovni anaerobní vytrvalosti. Dokonce je zde premisa, že by mohla být jedním z prediktorů pro komplexní výkon (Feito et al., 2019). Testování obecné úrovně anaerobní vytrvalosti je tradiční v mnoha disciplínách a používají se k němu zažité prostředky jako např. Wingate test. Pro HIFT je však důležitá i anaerobní vytrvalost horní poloviny těla, proto je smysluplné ji zařadit do testování (Schlegel & Křehký, 2020). Air bike je zajímavým prostředkem, který vyžaduje intenzivní práci celého těla a



zároveň je součástí tréninku i závodů. Kromě exportovaných hodnot ( $W_{max}$ ,  $W/kg$  apod.), je vhodné připojit měření hladiny krevního laktátu, což přináší důležitou informaci o aktuálním stavu organismu a jeho reakci na (maximální) zatížení.

Sledování fyziologické odezvy při HIFT bylo opakovaně cílem výzkumné činnosti (Jacob et al., 2020). Z pohledu terénního testování jsou výzkumy omezeny na sledování srdeční frekvence a krevního laktátu. Spiroergometrie sledující parametry  $VO_{2max}$  byla provedena pouze v laboratoři. Přiblížení se reálným podmínkám je podstatným krokem, protože oproti laboratoři (běh, cyklistický trenažér) se jedná o velmi odlišné prostředí. Zatížení v HIFT není většinou kontinuální, odpočinek si volí sportovec sám a je velmi variabilní. Společně s tím dochází vlivem cviků (frekvence opakování, komprese hrudníku, „Valsalvův manévr“) k nepravidelnému dýchání i svalové práci. Do hry zasahuje také vzhledem k vyššímu počtu opakování lokální svalová vytrvalost, která je mimo jiné závislá na využití kyslíku nebo laktátovém metabolismu daného svalu. Sledování sportovce pomocí více diagnostických zařízení může pomoci v kvalitnější analýze a přesnějšimu hledání funkčních (výkonnostních) limitací (Schlegel, Hiblbauer, et al., 2020). I přesto, že přenosná spiroergometrie a blízká infračervená spektroskopie představují nákladnější formu diagnostiky, ukazují zajímavý směr pro sledování výkonově orientovaných sportovců.

Schlegel, P. (2020). CrossFit training strategies from the perspective of concurrent training: A systematic review. *Journal of Sport Science and Medicine*. 19, 670-680.

Schlegel, P., & Křehký, A. (2020). Anaerobic Fitness Testing in Crossfit. *Acta Facultatis Educationis Physicae Universitatis Comenianae*, 60(2), 217-228.

Schlegel, P., Hiblbauer, J., Agricola, A. (2020). Near infrared spectroscopy and spiroergometry testing in Crossfit. *Studia Sportiva*, 14 (1), 6-14.

## CrossFit® Training Strategies from the Perspective of Concurrent Training: A Systematic Review

Petr Schlegel ✉

Department of Physical Education and Sport, Faculty of Education, University of Hradec Králové, Czech Republic

### Abstract

In the basic principles of CrossFit®, the goal is to improve fitness, related to the simultaneous development of strength and endurance. This is also the main idea of concurrent training, which has been researched since the 1980s. This article aimed to analyze the acute and chronic effects of CrossFit® and to assess the relevance of using the concurrent training methodology. The findings show that CrossFit® is an intense form of exercise that affects the function of the endocrine, immune, and central nervous systems. It also has potential in the development of strength and endurance parameters. These conclusions were compared with relevant concurrent training studies. Although the CrossFit® interventions (workouts of the day) have much in common with concurrent training, methodological recommendations can only be partially transferred. The approach for training and athlete development must be based on the originality of this sport.

**Key words:** Performance, high intensity, concurrent exercise, training load.

### Introduction

CrossFit® has developed into a popular sport, there are more than 11,481 affiliated gyms worldwide (Official CrossFit® Affiliate Map, 2020), which have an extensive base of athletes. The first CrossFit® Games were held in 2007, which can be described as the birth of the CrossFit® competitive form. Performance and competition have become part of this sport, as evidenced by the number of participants in the CrossFit® Games Open from 26000 in 2011 to more than 400,000 (Aucher, 2014; Mangine et al., 2020) as well as a significant number of international and local competitions. Many competitions are not officially organized by CrossFit® HQ, however, their concept is similar.

Every sport needs to find effective methods to increase athlete performance. The purpose of CrossFit® is to develop a wide range of abilities that also require maximum strength, long endurance, or mixed modal performance. In performance-oriented and competitive form, the goal is to test athletes in a variety of fitness aspects (Serafini et al., 2018; Tibana et al., 2019a). These fitness tasks are very diverse and require comprehensive readiness. An important attribute of most competitions is the non-publication of workout of the day (WOD), announced just before or even during the competition. The athlete must, therefore, be prepared to complete a variety of workouts.

Not only training preparation, but also the performances themselves are connected with the principles of concurrent training. Training sessions are often applied

that contain strength and endurance components (Schlegel et al., 2020). During training cycles, the combination of different types of strength and endurance is essential for CrossFit® performance. Therefore, it is essential to optimize the training process to be as efficient as potential and to avoid possible interference (adverse effect on adaptation mechanisms in the development of strength or endurance during concurrent training) of these modals (Berryman et al., 2019). One of original goals of CrossFit® is to develop ten physical skills (Cosgrove et al., 2019), but this paper focuses mainly on strength and endurance.

This article aims to analyze the short-term and long-term effects of CrossFit® and evaluate training strategies in conjunction with concurrent training.

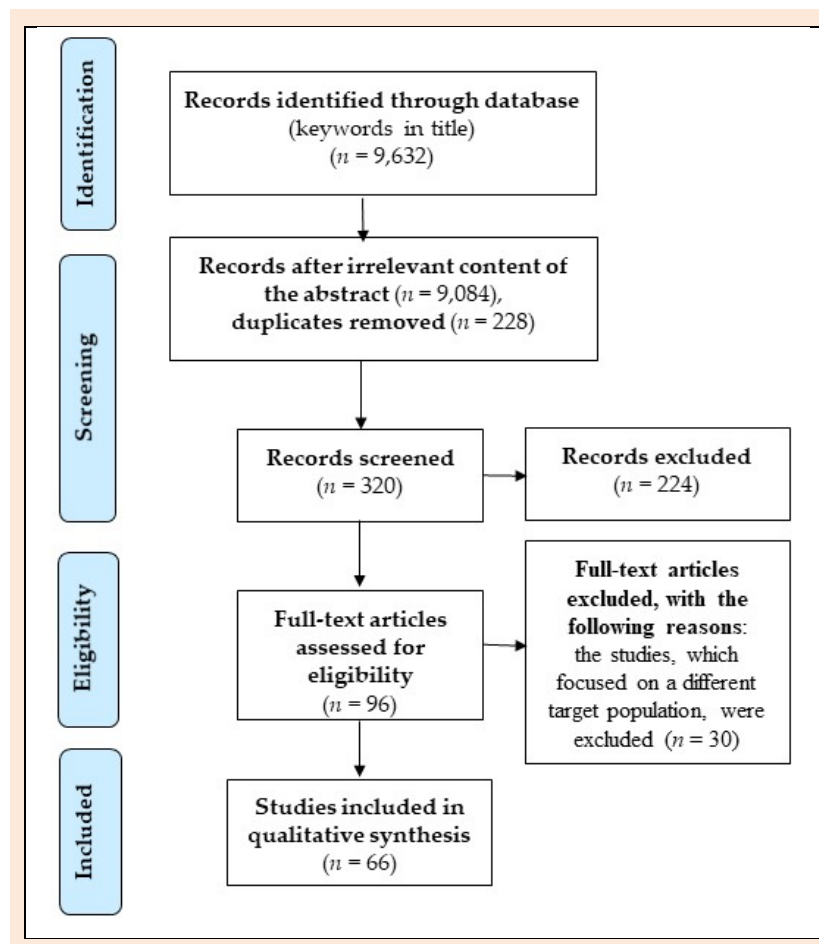
### Methods

The author performed a systematic literature review of available human studies on the research topic describing CrossFit®, high-intensity functional training, and concurrent training. CrossFit® is seen in the context of this article primarily as a sport. There are terms such as Functional fitness, Sport of fitness, or Extreme conditioning programs, which are not identical to the concept of sports performance or competition design. Some authors use the term High-intensity functional training; however, it is not yet in full agreement with other scientists and athletes or the community. The research studies were selected based on research topics such as acute response, strength, endurance, training, interference effect, chronic adaptation, CrossFit, high-intensity functional training, high-intensity interval training, weightlifting, concurrent training found in four databases Web of Science, PubMed, Springer, and Scopus. The terms used were searched using AND to combine the keywords listed and using OR to remove search duplication where possible. The search period ended in April 2020. Altogether 9,632 articles were identified across the databases. After removing duplicates and titles/abstracts unrelated to the research topic, 320 studies remained. Of these, only 66 articles were relevant to the research topic – CrossFit® and concurrent training strategies. These research studies were classified according to their relevancy (Figure 1). The information found in the selected studies on CrossFit®, long- and short-term effects, and concurrent training are described and discussed in the following sections. Studies on acute effects and interventions involving CrossFit® (a total of 25) are described in the tables and commented in the text.

The inclusion criteria were as follows: the publica-

tion period of the article was limited to March 2020; only reviewed full-text studies in scientific journals in English were included; the subjects had to be: adult healthy population and athletes, without age restriction. The exclusion

criteria involved: specific target groups - children, seniors, and people with disabilities. Figure 1 below, then illustrates the selection procedure.



**Figure 1.** An overview of the selection procedure.

## Results

### Training session

The basic principle of the CrossFit® training session is based on the uniform application of the modalities weightlifting (W), gymnastics (G), metabolic conditioning (M) (Crawford et al., 2018b). The aim is to select such methods that will be efficient for the development of partial parts and will also have a transfer to the overall development of fitness. These three domains are used either separately or in combination. Weightlifting and gymnastics are a type of resistance exercise using external load, respectively person's bodyweight designed to develop absolute and relative strength. Metabolic conditioning means (monostructural) cardio or an/aerobic training, which aims at progression in endurance performance. Original CrossFit® template programming, is also used for research purposes (Barfield and Anderson, 2014; Poderoso et al., 2019; Cosgrove et al., 2019 et al.), all modalities alternate evenly,

regularly and in predetermined combinations. All combinations are used in a closed interval of 2-3 weeks (G-W-M model: W, GW, GM, WGM, G, WG, M).

The original assembly of the CrossFit® session represents warm up, preparation, and WOD. Over time, the content of the training session began to expand, and more parts were added, which aim to develop a specific modality or technical aspects. Brisebois et al. (2018) report resistance exercise (weightlifting, powerlifting) and metabolic conditioning in each training session, in addition, to warm up and cool down. The combination of strength and cardio parts is also reported by Feito et al. (2018b). The example showed Tibana et al. (2016): in a workout of the day 1, subjects completed: (a) five sets of one repetition of snatch from the block at 80% of one-repetition maximum (1RM) with 2–5 min of rest intervals; (b) 3 sets of 5 Touch & Go Snatches (full) at 75% of 5RM with 90 s of rest between sets; (c) 3 sets of 60 s of weighted plank hold with 90 s of rest; After the third set of the exercises mentioned

above, 5 min of rest was allowed, and then endurance conditioning was performed with 10 min of as many rounds as possible (AMRAP) 30 double-unders and 15 power snatches (34 kg).

The unique form of the training sessions (not following CrossFit® programming) was chosen by Murawska-Cialowicz et al. (2015). Each contained two different WODs (triplets); there was no part focused directly on strength. However, this was specific programming that is not generally used (cf. Drake et al., 2017; Poderoso et al., 2019).

### Workout of the Day (WOD)

Workout of the Day (WOD) is usually the main or only part of a training session. The nature of the WOD can be very different; the content can be conditioning, strength, or mixed, and they constantly vary also in duration (Crawford et al., 2018a). Thanks to this, the physiological response to the load and the subsequent adaptation potential also differ.

Mixed WOD content means a composition of several exercises and modalities. Kliszczewicz et al. (2018) chose to test 15 min of work where participants repeated the following sequence for as many rounds as possible (AMRAP): 250m row, 20 kettlebell swings, 15 dumbbell thrusters. It is a continuous diverse load, where one endurance exercise and two strength-endurance exercises alternate. Tibana et al. (2018) used "Fran": 21-15-9 reps of thrusters (42.5kg) and pull-ups. Another example is Maté-Muñoz et al. (2018) when "Cindy" was selected, an AMRAP in 20 minutes of: 5 pull-ups, 10 push-ups, 15 squats. Butcher et al. (2015) tested "Grace": 30 Clean & Jerks (60kg) for time. From the above, it is clear that the time or content of WOD can vary dramatically, and thus the physiological response to exercise also varies.

The originality of CrossFit® lies, among other things, in the combination of fitness development through strength exercises. Heavens et al. (2014) used the "for time" scheme for WOD: 10-9-8... 2-1 repetitions for the back squat, bench press, deadlift exercises (for all 75% of 1 repetition maximum - RM). Although these are purely strength exercises, there will be significant involvement of muscle endurance in the process. The mean duration of the protocol was 34 minutes for women and 39 minutes for men. High levels of lactate (14.2 and 9.1 mmol/L) demonstrate a significant effect of aerobic and anaerobic components and demonstrate high exercise intensity.

Participants' physiological responses to the CrossFit® type of training are shown in Table 1. In the studies, different WODs were used, which had different compositions and lengths. Some WODs lasted on average between 4 and 6 minutes (Maté-Muñoz et al., 2018; Tibana et al., 2018), but most did not last longer than 20 minutes (Kliszczewicz et al., 2015). Benchmark workouts (bearing female names such as "Grace", "Fran", or "Cindy"), which are notorious in the CrossFit® community, were selected several times (Fernandez-Fernandez et al., 2015; Kliszczewicz et al., 2015; Tibana et al., 2018). It can be seen that during exercise, athletes achieve high heart rates that exceed 170 beats per minute on average (Tibana et al., 2018; 2019a). Another common feature is high blood lactate values, ranging from 10.4-18.4 mmol/L (Perciavalle

et al., 2016; Maté-Muñoz et al., 2018; Timón et al., 2019). These data are in synergy with the rate of perceived exertion (RPE), which did not fall below 7. In the studies of Heavens et al. (2014), Mangine et al. (2018b), and Tibana et al. (2019a), increased elevated testosterone levels were found. Similarly, the cortisol level was monitored, which also reached elevated values after training (Szivak et al., 2013; Mangine et al., 2018b). High training intensity was also reflected in pro/anti-inflammatory reactions by increasing interleukin-6/10 activity (Heavens et al., 2014; Tibana et al., 2016).

### Adaptation to CrossFit®

The adaptation of the organism to CrossFit® has only appeared in research in recent years. Table 2 describes the CrossFit® intervention programs. In some cases (e.g., Cosgrove et al., 2019), the term "High-Intensity Functional Training" was used, but the content and principle fully resonate with other research. The duration of interventions ranges from 4 weeks to 6 months. The authors used official CrossFit® template programming more often, which means that a template was used that determines the concept and number of training sessions (G-W-M model). Specific content (workouts) has always been prepared directly by the authors. In other cases, a custom template was created (Murawska-Cialowicz et al., 2015; Brisebois et al., 2018).

Maximum strength was often chosen as the test criterion. Brisebois et al. (2018) and Cosgrove et al. (2019) noted a significant improvement in back squat or deadlift. Similarly, an improvement was noted in 5 RM front squats (Feito et al., 2018b). However, no significant effect on the 1 RM back squat was observed by Kephart et al. (2018), which could be due to the ketogenic diet used. The impact on upper body strength performance (1 RM bench press, 1 RM strict shoulder press, maximum repetition of pull-ups) was tested by Brisebois et al. (2018), Crawford et al. (2018a) and Cosgrove et al. (2019), in all cases with a positive result.

Effects on the development of endurance parameters were also confirmed, such as VO<sub>2</sub>max testing (Barfield and Anderson, 2014; Crawford et al., 2018a; Brisebois et al., 2018) and the positive effect was not confirmed by Drake et al. (2017) or only partially by Cosgrove et al. (2019). The studies of Kephart et al. (2018) and Durkalec-Michalski et al. (2019) have mixed conclusions, however, the training program was not specified, and it was connected with a specific diet. Only Murawska-Cialowicz et al. (2015) tested anaerobic fitness using the Wingate test and found significant improvement.

The CrossFit® program has also been shown to be effective in improving body composition - an increase in lean body mass (Brisebois et al., 2018) and a decrease in body fat (Murawska-Cialowicz et al. 2015; Feito et al. 2018b). Only Drake et al. (2017) did not show any effects on body composition.

### Training experience

The main distinction in the research literature is between general athletes, regular gym visitors, and competition-oriented athletes. Mangine et al. (2020) state that in addition to the lower fat percentage and higher lean body mass,

advanced Crossfitters also have a different muscle morphological characteristic compared to the gym visitors. The difference was also found in aerobic and anaerobic performance (14-18%); on the contrary, no difference was found in terms of hormone levels between groups (Mangine et al., 2020). The relationship between groups with different

CrossFit® experience levels was tested using two WODs (Bellar et al., 2015). Here, CrossFit® experience (more than 12 months) proved to be the strongest predictor of performance. Other essential variables for predicting workout performance were aerobic capacity and aerobic power.

**Table 1. Acute physiological effects of CrossFit®**

Study	N (M/F)	Participants	WOD	Main outcome
Szivak et al. (2013)	9/9	resistance-trained	for time: 10-9-8-7...3-2-1 Back squats, bench presses, deadlifts (75% 1 RM)	lactate 14.2/9.1 mmol/L; elevated cortisol level; no significant sex differences
Heavens et al. (2014)	9/9	resistance-trained	for time: 10-9-8-7...3-2-1 Back squats, bench presses, deadlifts (75% 1 RM)	increased myoglobin - 10.0 nmol/L; elevated testosterone level; increased interleukin-6 3.5 pg/mL
Fernandez-Fernandez et al. (2015)	10/0	12+ months experience with CrossFit®	1. "Fran", for time: 21-15-9 of thrusters (42,5kg), pull-ups 2. "Cindy", 20 minutes AMRAP: 5 pull-ups, 10 push-ups, 15 squats	1. HRavg 179 bpm; RPE 8.4; lactate 14.0 mmol/L 2. HRavg 182.2 bpm; RPE 8; lactate 14.5 mmol/L
Kliszczewicz et al. (2015)	10/0	3+ month experience with CrossFit®	"Cindy", 20 minutes AMRAP: 5 pull-ups, 10 push-ups, 15 squats	increased acute blood oxidative stress (comparable with high-intensity running)
Tibana et al. (2016)	9/0	6+ month experience with CrossFit	2 days/ 2 mixed training sessions; 1. strength, gymnastics, metabolic conditioning; 10 minutes AMRAP: 30 double-unders, 15 power snatches (34kg) 2. strength, gymnastics, metabolic conditioning; 12 minutes AMRAP: 250m row, 25 target burpees	1. lactate 11.8 mmol/L; glucose concentration 115 mg/dL 2. lactate 9.1 mmol/L; glucose concentration 89.9 mg/dL after both increased interleukin-6; increased interleukin-10 after 2.
Perciavalle et al. (2016)	15/0	advanced CrossFitters	for time: 27-21-15-9 of row (calories), thrusters (43kg)	lactate 13.8 mmol/L; worsening of attentional performance
Drum et al. (2016)	101	CrossFitters	questionnaire	average RPE 7.3; high muscle soreness; shortness of breath
Maté-Muñoz et al. (2018)	32/0	6+ month experience with strength training	1. "Cindy", 20 minutes AMRAP: 5 pull-ups, 10 push-ups, 15 squats 2. 8 rounds: 20 s work : 10 s rest of double-unders 3. 5 minutes AMRAP: power cleans (40% 1 RM)	1. HRavg 178 bpm; RPE 17; lactate 12.2 mmol/L 2. HRavg 178 bpm; RPE 16; lactate 10.4 mmol/L 3. HRavg 171 bpm; RPE 15.6; lactate 11.5 mmol/L
Mangine et al. (2018b)	5/5	CrossFitters	CrossFit OPEN 2016 (5 weeks, 5 workouts)	elevated testosterone level in workouts 2.-5., in 1. unchanged elevated cortisol level after each workout
Kliszczewicz et al. (2018)	10/0	3+ month experience with CrossFit®	1. "Grace": 30 clean and jerks (60kg) 2. 15 minutes AMRAP: 250m row, 20 kettlebell swings (16kg), 15 dumbbell thrusters (15kg)	1. HRavg 170 bpm; lactate 14.3 mmol/L 2. HRavg 172 bpm; lactate 13.7 mmol/L both workouts same effect on autonomic nervous system
Tibana et al. (2018)	23/0	CrossFitters	1. "Fight gone bad": 3 rounds: 1 minute wall balls, 1 minute sumo deadlift high-pulls (35kg), 1 minute box jumps (60cm), 1 minute push presses (35kg), 1 minute row (for calories), 1 minute rest 2. "Fran": for time: 21-15-9 of thrusters (42,5kg), pull-ups	1. HRmax 184 bpm; lactate 17.2 mmol/L; RPE 8.5 2. HRmax 182 bpm; lactate 17.8 mmol/L; RPE 9.5
Tibana et al. (2019a)	9/0	6+ month experience with CrossFit®	3 consecutive competition days, 5 workouts	elevated testosterone level (24 hours after) cortisol level unchanged elevated immunoglobulin A-IgA (24-72 hours after)
Timón et al. (2019)	12/0	CrossFitters	1. 5 minutes AMRAP: 1-2-3-4... of burpees and toes to bar 2. 3 rounds: 20 wall balls, 20 power cleans (40% 1 RM)	1. HRavg 127 bpm; lactate 13.3 mmol/L; RPE 7.2 2. HRavg 160 bpm; lactate 18.4 mmol/L; RPE 8.2 creatine kinase and hepatic transaminase at normal level after 48 hours in both workouts

WOD - Workout of the Day; HRavg- average heart rate; HRmax - maximal heart rate; RPE - rated perceived exertion; AMRAP - as many repetitions as possible; RM - repetition maximum



**Table 2. CrossFit® intervention studies.**

Study	N (M/F)	Participants	Duration	Program	Main outcome
Barfield and Anderson (2014)	25/0	active	12 weeks	CrossFit® template program (5 d/w)	↑ aerobic capacity (6%); muscle endurance (22%)
Murawska-Cialowicz et al. (2015)	15/15	active	3 months	2d/w; 2 mixed WOD every day	↑ lean body mass; Wingate test; VO <sub>2</sub> max (just women); brain-derived neurotrophic factor ↓ body fat (in women)
Drake et al. (2017)	6/0	active	4 weeks	CrossFit® template program (5 d/w)	↑ inflammatory status ↓ mood state performance no significant changes in strength, endurance, body composition
Brisebois et al. (2018)	4/10	active	8 weeks	3d/w; unique program, mixed training sessions	↑ VO <sub>2</sub> max; lean body mass; strength 1 RM (bench press, leg press)
Crawford et al. (2018a)	13/12	untrained	6 weeks	CrossFit® template program (5 d/w)	↑ 1 RM back squat, strict press, deadlift; VO <sub>2</sub> max
Feito et al. (2018b)	9/17	3+ months experience with CrossFit®	16 weeks	2d/w; unique program; 51% strength workouts, 49% metabolic conditioning	↑ 3 mixed WOD; 5 RM front squat; lean body mass; bone mineral content improvements (greater in women) ↓ body fat
Kephart et al. (2018)	9/3	6+ months experience with CrossFit®, on ketodiet	3 months	not described	↑ push-up test ↓ body fat no changes in 1 RM back squat, 400m run, VO <sub>2</sub> peak
Crawford et al. (2018b)	13/12	untrained	6 weeks	CrossFit® template program (5 d/w)	no relationship between RPE and heart rate variability
Tibana et al. (2019b)	0/1	elite CrossFitter	6 months	5d/w competition CrossFit program	acute chronic workload ratio (ACWR): 50% of weeks outside the "safe zone"; no relationship between RPE, heart rate variability, ACWR; no influence on well-being status
Poderoso et al. (2019)	17/12	6+ months experience with CrossFit®	6 months	CrossFit® template program (5 d/w)	elevated testosterone level (greater changes in men); lower cortisol level (greater changes in women); no changes in lymphocytes
Cosgrove et al. (2019)	22/23	0-6 and 7+ months experience with CrossFit®	6 months	CrossFit® template program (5 d/w)	↑ 1 RM back squat, bench press, deadlift, pull-up test; 1,5 km run (women with less experience)
Durkalce-Michalski et al. (2019)	11/10	CrossFitters on ketodiet	4 weeks	not described	↑ utilization of fat under aerobic load (just men)

↓↑ - significant changes; WOD - Workout of the Day; M - male; F - female; w- week; d- day; RPE - rated perceived exertion

Schlegel et al. (2020) discussed the identification of the relationship between performance parameters, including strength and endurance elements, with the placement in the CrossFit® Open. The correlation showed the strongest association in placement with the maximum performance in Olympic weightlifting (snatch, clean & jerk). On the other hand, the weakest relationship was shown with body-weight exercises (pull-up, handstand push-up). A similar comparison was made by Martínez-Gómez et al. (2019), where squat performance proved to be a determining factor for success in CrossFit® Open workouts. It should be noted that Olympic weightlifting was not tested in this study, but only strength performances. A certain specificity of the CrossFit® Open must be emphasized: 5 days to complete a workout, adapted to the conditions of a regular gym in terms of space and equipment, workouts must be able to distinguish thousands of athletes with a similar performance level, etc. It is not identical to CrossFit® Games, sanctioned or CrossFit-style competitions.

Studies by Butcher et al. (2015) and Dexheimer et al. (2019) tested the relationship between benchmark

WODs ("Fran", "Nancy", "Cindy", "CrossFit Total") and selected performance parameters. In both cases, participants were advanced CrossFitters. The measurements show that it is impossible to determine precisely the mean aspect of fitness that would be most important concerning all WODs. Depending on the nature of the WOD, VO<sub>2</sub>max (for "Nancy", "Cindy"), anaerobic power, and strength performance (for "CrossFit Total") proved to be essential for better workout results. The importance of high performance in anaerobic power (Wingate test) and VO<sub>2</sub>max relative to results of the 12-minute WOD is demonstrated by Bellar et al. (2015). Similarly, Feito et al. (2019) note the positive relationship between results of repeated Wingate tests and performance in the original (has never been used before) WOD (15 minutes).

Best competitive CrossFitters (n = 1,500) were compared according to their performance, the sample was divided into groups, and a clear difference was shown between the quantiles generated (Serafini et al., 2018). With increasing overall performance, strength performances (back squat, deadlift, strict press) and Olympic weightlift-

ing (snatch, clean & jerk) increased significantly. Almost no development was shown in aerobic (5km run) or (mainly) anaerobic performance (400 m run).

On a large sample (more than 130,000 athletes), Mangine et al. (2018a) tried to create standards for self-reported performance in benchmark workouts ("Grace", "Fran", "Helen", "Fight gone bad", "Filthy 50 "). From the created deciles, a specific athlete can be assigned to a performance group. For example, for "Grace" (30 clean and jerks for time), a range of 64-296 seconds was set for men.

## Discussion

Acute physiological reactions and the long-term effects of CrossFit® are essential for determining the training plan and selecting the optimal training methods (Bellar et al., 2015; Tibana et al., 2018; Serafini et al., 2018). It is a new topic which, due to the growing popularity of performance-oriented CrossFit®, deserves its attention. Thanks to similar elements with concurrent training, it is possible to compare these concepts and possibly use some conclusions for CrossFit® training.

The CrossFit® training session has one central part (WOD) in its original form (see G-W-M model). In this case, there is no need to select the intra-session exercise sequence. Usually, however, a multi-part model is used (Brisebois et al., 2018). Traditionally, the strength part is preferred to the endurance-oriented part, which would correspond to the recommendations of concurrent training (Doma et al., 2017). However, the assembly of a CrossFit® session is not absolute and can take various forms. The preference of the strength part does not have to be absolute. Positive effects are also demonstrated from the opposite combination: development of endurance at the beginning, and then strength-oriented part (Berryman et al., 2019). It is crucial to determine the main goal of the training session and its desired effect (development of absolute strength, power, muscle hypertrophy, an/aerobic endurance, etc.). It is possible (under certain conditions) to choose any exercise combination according to a specific goal.

Methods of resistance and endurance training are applied in one training session. This combination can lead to degraded performance (Bishop et al., 2019). If resistance training (followed by endurance) is preferred in the training session, it should be beneficial for lower limb strength, and at the same time, it should not negatively affect aerobic capacity (Murlasits et al., 2018). Otherwise, if endurance training is followed by resistance training, deterioration may occur (Karavirta et al., 2011; Jones et al., 2017). It must be taken into account that after strength training, muscle glycogen is lost by up to 39% (Jensen et al., 2011). This effect can limit the following endurance performance in the order of hours (Doma et al., 2017). Another factor, along with muscle glycogen depletion, is nervous system fatigue, which occurs after both types of exercise (Doma and Deakin, 2013). It can subsequently affect strength and coordination skills (movement economics) or modify the internal training load and intensity (Maté-Muñoz et al., 2017). Regardless of the nature of the training load, it is necessary to

prioritize the modality that is more important in a given training session (Methenits, 2018). Therefore, it is necessary to carefully choose the combination of individual components, the set intensity (RPE, %RM, or % heart rate) for the first part of the session will be decisive. In the case of advanced CrossFitters, where it is necessary to maximally support all performance parameters' progress, it will be appropriate to separate these components on the basis of multiphase training (Bishop et al., 2019; Schlegel et al., 2020).

The concept of concurrent training often works with the application of continuous endurance activities. In the study of Berrymann et al. (2019), for example, cycling is shown to better results than running in the context of interference. Similarly, a positive outcome of a combination of rowing and resistance training has been demonstrated (Gallagher et al., 2010). High-intensity interval training (HIIT) has also been shown to be very efficient in short-term interventions (Petré et al., 2018; Sabag et al., 2018). One of the probable causes is the use of glycolytic muscle fibers, which are important for developing strength or hypertrophy. (Doma et al., 2017). Along with positive effects on VO2max, maximal aerobic power has been demonstrated in HIIT. But in some regards, it is challenging to replace long continuous training with HIIT (Laursen and Buchheit, 2019). In CrossFit® programming, it is possible to use a wide range of endurance activities (running, rowing, swimming, etc.), including methods (continuous, interval, fartlek); there are no restrictions. In the case of a combination of monostructural cardio and a strength part in one session, it will, therefore, be more appropriate to apply HIIT.

CrossFit® includes strength and endurance development of the upper and lower part of the body. Skattebo et al. (2016) prove that the application of strength training to the upper half of the body for cross-country skiers is beneficial and can improve their double-poling performance. On the other hand, Doncaster and Twist (2012) demonstrated a reduction in maximal endurance performance (arm cranking) after bench press. Therefore, it seems that the muscles of the upper half of the body will react similarly to the training load as the lower limbs in concurrent training. Endurance activities, such as cross-country skiing or swimming, which are dominant for the upper half of the body, are not generally used to such an extent in CrossFit® (Feito et al., 2018a). It is more common to combine an upper body strength load along with endurance running or rowing. There is a theory that if in one training session there are strength loads of specific muscles and at the same time endurance loads of others (for example bench press and running), the effects should not interfere. Unfortunately, no valid study is available for such confirmation.

The concept of concurrent training works with a combination of strength exercises and classic endurance activities (running, cycling, rowing). CrossFit® develops endurance both with these tools and with the help of body-weight or free weight exercises. This model proves to be efficient for the current development of strength and endurance components (Crawford et al., 2018a). When combin-

ing the strength part and WOD containing, for example, weightlifting exercises (see "Grace"), there is strength endurance activity, which is also demanding in terms of (aerobic, anaerobic) endurance. By involving not only slow fibers, interference may not occur, but there is excellent synergistic potential (Berryman et al., 2019). However, it is crucial to consider the metabolic effect on a given muscle, which may not respond to the necessary strength-oriented adaptation in case of significant exhaustion. Very little information is available in this regard; classical concurrent training does not deal with this combination (Methenitis, 2018).

In endurance sports, the term energy cost of locomotion is used to evaluate movement technique (di Prampero, 1986). The aim is to make the activity as economical as possible in terms of energy consumption. This factor can be influenced by concurrent training (training sessions) (Berryman et al., 2019). By working with resistance exercises under metabolic stress in CrossFit®, the economics of movement are essential as well. Especially for dynamic exercises like the snatch and clean & jerk, which are characterized by high speed, and therefore high energy consumption is important at the workout to find the optimal technical skill that will be effective and also energy efficient. In training, it would be appropriate to include similar strength or dynamic exercises before the WOD, which do not exhaust the muscle and help with the optimal technique. The principle of post-activation potentiation (short-term improvement in performance as a result of using conditioning exercise) also manifests itself here (Do-cherty and Hodgson, 2007).

Strength or strength-hypertrophic training causes acute changes in hormone levels, such as testosterone, growth hormone, or cortisol. These changes affect proteo-synthesis and associated regeneration, muscle growth, and strength gains (Tremblay et al., 2004). After endurance exercise, similar hormonal changes are observed, but rather the overall catabolic effect concerning to muscle growth predominates (Kindermann et al., 1982). After a mixed load caused by resistance and endurance training, fluctuations of these hormone levels are also monitored (Taipale et al., 2014). The acute physiological effects after CrossFit® (Table 1) show the potential to change hormone levels. Mixed WODs, including resistance exercises, appear to increase testosterone levels (Heavens et al., 2014; Mangine et al., 2018b; Tibana et al., 2019a). It is a different effect compared to concurrent training, wherein one session, the strength part was applied and then the endurance block (Taipale and Häkkinen, 2013), and a decrease was noted even after 48 hours. The original nature of CrossFit® sessions can lead to an increase in testosterone levels, which is a difference compared to the effect of concurrent training (cf. Schumann et al., 2013). Measurements after completing a WOD also showed an increase in cortisol levels (Szivak et al., 2013; Mangine et al., 2018b), identical to the responses after concurrent training. However, in the study of Tibana et al. (2019a), the level didn't change. Despite the inconsistent findings, an increase in cortisol levels can be expected due to the high intensity of exercise. The hormonal response after concurrent training (also due to different methodologies) is not uniform. The relationship

between acute hormonal response and long-term adaptation has not been confirmed (Taipale et al., 2010; Cadore et al., 2012). Although a similar result can be expected with CrossFit®, the exact conclusion cannot yet be made.

After the application of concurrent training, a decrease in muscle glycogen, an increase in lactate levels, heart rate, and central nervous system fatigue are observed (Methenitis, 2018). Measured blood lactate values, heart rate, or RPE in CrossFit® also indicate a high load associated with high stress in the body. Such an exercise disrupts the homeostasis of the autonomic nervous system (Kluszczewicz et al., 2018). This stress is also manifested by changes in the immune system (Tibana et al., 2016). Such an effect can affect the organism's condition and performance for several days (Bishop et al., 2019). It is important to emphasize that in the mentioned studies (Table 1), the participants were motivated to maximum effort. Although high intensity is a feature of CrossFit® (Drum et al., 2016), a distinction should be made between training and competition performance because of different effort, motivation, etc. Then we can expect a difference in physiological biomarkers.

The ratio of individual components is essential for optimal simultaneous development of strength and endurance parameters. To induce positive changes, it is necessary to complete at least 2-3 training sessions per week containing exercises to develop the ability (Bishop et al., 2019). In the case of excessive predominance, one of them, interference may occur (Wilson et al., 2012). CrossFit® interventions (Table 2) show that they can to develop both strength performance and endurance parameters (Crawford et al., 2018a; Feito et al., 2018b). Due to the varied nature of the WOD content, it is difficult to determine the strength/ endurance ratio in such a program. Although WODs usually do not focus directly on the development of strength or endurance, both factors are included (Barfield and Anderson, 2014). Although the conclusions are not unambiguous (Kephart et al., 2018), the intervention was not precisely described in this study, i.e. it was impossible to analyze the cause of such results. It is necessary to take into account that the specific content of training sessions may significantly differ, which is related to the effects. Although the positive effects of concurrent training on the development of strength or endurance have been demonstrated (Methenitis, 2018), there are too many methodological differences in study designs to compare the results in more detail.

To reduce the risk of interference, it is recommended to separate the training session's single modalities because the interaction can occur even after 24-72 hours (Wilson et al., 2012). This guideline to separate modalities is based on studies using hypertrophic training and continuous endurance activity, or maximum effort performance until exhaustion (Doma et al., 2017). The original CrossFit® programming uses five sessions per week (5 training days – 2 days rest or 3 training days – 1-day rest), and most have mixed content (Poderoso et al., 2019). Because of the application of HIIT methods and WOD involving strength exercises, separating modalities rule does not seem to apply (Tibana et al., 2019a). However, it is crucial to consider the recovery time after high-intensity training, which can



adversely affect adaptation mechanisms.

To assess the acute response or long-term adaptation of the organism, it is important to consider the group's training experience. Training experience usually means the total time that an individual engages in a particular activity. Researchers made a distinction between a "trained" individual with at least 3-9 months of experience with a given physical activity (Fyfe and Loenneke, 2017). Otherwise, the improvement can be attributed to a new stimulus, to which the organism responds more willingly. Beginners with no previous experience with CrossFit® were included in multiple studies (Barfield and Anderson, 2014; Murawska-Cialowicz et al., 2015; Drake et al., 2017; Brisebois et al., 2018; Crawford et al., 2018a). And it has been confirmed that a CrossFit® program is effective in physically active individuals for the development of maximum strength or V02max (Barfield and Anderson, 2014; Murawska-Cialowicz et al., 2015; Brisebois et al., 2018).

In advanced athletes, it is essential to specifically develop the abilities, which has also been confirmed (Cosgrove et al., 2019). It is necessary to take into account the total training time, the number of training sessions, or also the performance level of the athlete (Buckner et al., 2017). Determining important performance parameters or morphological variables by testing is key to identifying optimal training methods (Dexheimer et al., 2019; Butcher et al., 2015). Only one intervention study (Tibana et al., 2019b) deals with an elite Crossfitter; in other cases, the research sample was untrained or moderately advanced athletes. Elite CrossFit® athletes have been shown to have excellent performance especially in Olympic weightlifting and fundamental strength exercises (Martínez-Gómez et al., 2019; Schlegel et al., 2020), furthermore, by above-average VO2max results (> 50ml/ kg) or strong anaerobic capacity (Feito et al., 2019). Unfortunately, there are no concurrent training studies that address the development of Olympic weightlifting performance and endurance parameters.

The elite athletes and competitors need to have an excellent level of a wide range of strength and endurance abilities. Due to the tasks that are usually in the competition, the "CrossFit® performance" includes maximum strength (especially Olympic weightlifting, free weight), strength endurance (bodyweight, external load), aerobic capacity (using different domains), maximum aerobic power (different domains), anaerobic capacity (different domains) or a combination of each other (Serafini et al., 2018; Martínez-Gómez et al., 2019; Tibana et al., 2019b). Performance-oriented CrossFitters, therefore, need a specific composition of the training program, which has not yet been the subject of research.

### Practical applications

- In the "mixed training session", it is appropriate to give priority to strength training.

- In the "mixed training session", the first part should not be too exhausting (RPE, %RM, HR) concerning muscle glycogen, the central nervous system, so as not to affect the upcoming exercise.

- When choosing exercises and methods for one training session, consider the local load, and combine the the upper and lower half of the body (gymnastics – running; squat – ski erg).

- When applying pure endurance exercise combined with the strength part, it is advisable to choose HIIT methods, or rowing, cycling.

- Single modality training sessions should be separated as much as possible (> 48 hours), especially for continuous endurance and hypertrophy-oriented exercises.

- For advanced athletes, it is appropriate to divide pure strength and endurance exercises into separate training sessions.

- Before WOD, it is possible to choose a higher load for previous exercises to improve the economic cost of locomotion (clean and jerk – "Grace"; front squat – wall balls).

- When organizing training, consider the intensity of exercise, which can significantly impact the endocrine or immune system for up to several days.

- The original CrossFit® template program is functional for the development of strength and endurance parameters for beginners.

- "Barbell conditioning" could be beneficial for the development of strength and endurance.

- Strength : endurance ratio is applicable in CrossFit®

### Conclusion

CrossFit® is a young sports discipline that falls by nature partly into the category of concurrent training. The findings show that CrossFit® training can influence the function of the endocrine, immune, central nervous systems and also has a potential in the development of strength and endurance parameters. For training, it is necessary to identify optimal procedures for the ideal development of strength, endurance, power, speed, accuracy, and other specific (CrossFit®) performances. In certain aspects, it is possible to involve the training methodology of concurrent training. However, it is confirmed that in many ways, CrossFit® is a sport that requires unique training methods, for which the amount of information is limited. Further research is needed to verify some of the conclusions.

### Acknowledgements

The study comply with the current laws of the country in which they were performed. The authors have no conflict of interest to declare.

### References

- Aucher, H. (2014) 209,585: *Rise of the Open*. Retrieved 26th of June' 2020, from <https://games.crossfit.com/article/209585-rise-open>.
- Bailey, B., Benson, A. J. and Bruner, M. W. (2019) Investigating the organisational culture of CrossFit, *International Journal of Sport and Exercise Psychology* **17**(3), 197–211.
- Barfield, J. and Anderson, A. (2014) Effect of CrossFit on health related physical fitness: A pilot study. *Journal of Sport and Human Performance*, **2**(1), 23–28.
- Bellar, D., Hatchett, A., Judge, L., Breaux, M. and Marcus, L. (2015) The relationship of aerobic capacity, anaerobic peak power and

- experience to performance in CrossFit exercise, *Biology of Sport* **32(4)**, 315–320.
- Berryman, N., Mujika, I. and Bosquet, L. (2019) Concurrent Training for Sports Performance: The 2 Sides of the Medal. *International Journal of Sports Physiology and Performance* **14(3)**, 279–285.
- Bishop, D., Bartlett, J., Fyfe, J. and Lee, M. (2019) Methodological Considerations for Concurrent Training: Scientific Basics and Practical Applications. In: *Concurrent Aerobic and Strength Training*. Cham: Springer. 183–196.
- Brisebois, M. F., Rigby, B. R. and Nichols, D. L. (2018) Physiological and Fitness Adaptations after Eight Weeks of High-Intensity Functional Training in Physically Inactive Adults. *Sports* **6(4)**, 1–13.
- Buckner, S. L., Mouser, J. G., Jesse, M. B., Dankel, S. J., Mattocks, K. T. and Loenneke, J. P. (2017) What does individual strength say about resistance training status?. *Muscle & Nerve* **55(4)**, 455–457.
- Butcher, S. J., Neyedly, T. J., Horvey, K. J. and Benko, C. R. (2015) Do physiological measures predict selected CrossFit® benchmark performance?. *Open Access Journal of Sports Medicine* **6**, 241–247.
- Cadore, E. L., Izquierdo, M., dos Santos, M. G., Martins, J. B., Rodrigues Lhullier, F. L., Pinto, R. S., Silva, R. F. and Kruegel, L. F. M. (2012) Hormonal responses to concurrent strength and endurance training with different exercise orders. *Journal of Strength and Conditioning Research* **26(12)**, 3281–3288.
- Cosgrove, S. J., Crawford, D. A. and Heinrich, K. M. (2019) Multiple Fitness Improvements Found after 6-Months of High Intensity Functional Training. *Sports* **7(9)**, 1–13.
- Crawford, D. A., Drake, N. B., Carper, M. J., DeBlauw, J. and Heinrich, K. M. (2018a) Are Changes in Physical Work Capacity Induced by High-Intensity Functional Training Related to Changes in Associated Physiologic Measures? *Sports* **6(2)**, 1–10.
- Crawford, D. A., Drake, N. B., Carper, M. J., DeBlauw, J. and Heinrich, K. M. (2018b) Validity, Reliability, and Application of the Session-RPE Method for Quantifying Training Loads during High Intensity Functional Training. *Sports* **6(3)**, 1–9.
- Official CrossFit Affiliate Map. (2020) Retrieved 25<sup>th</sup> of June' 2020, from <https://map.crossfit.com>
- Dexheimer, J. D., Schroeder, E. T., Sawyer, B. J., Pettitt, R. W., Aguinaldo, A. L. and Torrence, W. A. (2019) Physiological Performance Measures as Indicators of CrossFit® Performance. *Sports (Basel, Switzerland)*, **7(4)**, 1–13.
- Docherty, D. and Hodgson, M. J. (2007) The application of postactivation potentiation to elite sport. *International Journal of Sports Physiology and Performance* **2(4)**, 439–444.
- Doma, K. and Deakin, G. B. (2013) The effects of strength training and endurance training order on running economy and performance. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism* **38(6)**, 651–656.
- Doma, K., Deakin, G. B. and Bentley, D. J. (2017) Implications of Impaired Endurance Performance following Single Bouts of Resistance Training: An Alternate Concurrent Training Perspective. *Sports Medicine* **47(11)**, 2187–2200.
- Doncaster, G. and Twist, C. (2012) Exercise-induced muscle damage from bench press exercise impairs arm cranking endurance performance. *European Journal of Applied Physiology* **112**, 4135–4142.
- Drake, N., Smeed, J., Carper, M. and Crawford, D. (2017) Effects of Short-Term CrossFit Training: A Magnitude-Based Approach. *Journal of Exercise Physiology Online* **20**, 111–133.
- Drum, S., Bellovary, B., Jensen, R., Moore, M. and Donath, L. (2016) Perceived demands and postexercise physical dysfunction in CrossFit® compared to an ACSM based training session. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* **57**, 604–609.
- Durkalec-Michalski, K., Nowaczyk, P. M. and Siedzik, K. (2019) Effect of a four-week ketogenic diet on exercise metabolism in CrossFit-trained athletes. *Journal of the International Society of Sports Nutrition* **16(1)**, 16.
- Falk Neto, J. H. and Kennedy, M. D. (2019) The Multimodal Nature of High-Intensity Functional Training: Potential Applications to Improve Sport Performance. *Sports (Basel, Switzerland)*, **7(2)**, 1–14.
- Feito, Y., Giardina, M. J., Butcher, S. and Mangine, G. T. (2019) Repeated anaerobic tests predict performance among a group of advanced CrossFit-trained athletes. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism* **44(7)**, 727–735.
- Feito, Y., Heinrich, K. M., Butcher, S. J. and Poston, W. S. C. (2018a) High-Intensity Functional Training (HIFT): Definition and Research Implications for Improved Fitness. *Sports (Basel, Switzerland)* **6(3)**, 1–19.
- Feito, Y., Hoffstetter, W., Serafini, P. and Mangine, G. (2018b) Changes in body composition, bone metabolism, strength, and skill-specific performance resulting from 16-weeks of HIFT. *PLoS One* **13(6)**, e0198324.
- Fernandez-Fernandez, J., Sabido, R., Moya, D., Sarabia Marín, J. M. and Moya, M. (2015) Acute physiological responses during CrossFit® workouts. *European Journal of Human Movement* **35**, 114–124.
- Fyfe, J. J. and Loenneke, J. P. (2018) Interpreting Adaptation to Concurrent Compared with Single-Mode Exercise Training: Some Methodological Considerations. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)* **48(2)**, 289–297.
- Gäbler, M., Prieske, O., Hortobágyi, T. and Granacher, U. (2018) The Effects of Concurrent Strength and Endurance Training on Physical Fitness and Athletic Performance in Youth: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Physiology* **9**, 1–13.
- Gallagher, D., DiPietro, L., Visek, A. J., Bancheri, J. M. and Miller, T. A. (2010) The effects of concurrent endurance and resistance training on 2,000-m rowing ergometer times in collegiate male rowers. *Journal of Strength and Conditioning Research* **24(5)**, 1208–1214.
- Heavens, K. R., Szivak, T. K., Hooper, D. R., Dunn-Lewis, C., Comstock, B. A., Flanagan, S. D., Looney, D. P., Kupchak, B. R., Maresh, C. M., Volek, J. S. and Kraemer, W. J. (2014) The effects of high intensity short rest resistance exercise on muscle damage markers in men and women. *Journal of Strength and Conditioning Research* **28(4)**, 1041–1049.
- Jensen, J., Rustad, P. I., Kolnes, A. J. and Lai, Y.-C. (2011) The Role of Skeletal Muscle Glycogen Breakdown for Regulation of Insulin Sensitivity by Exercise. *Frontiers in Physiology* **2**, 1–11.
- Jones, T. W., Howatson, G., Russell, M. and French, D. N. (2017) Effects of strength and endurance exercise order on endocrine responses to concurrent training. *European Journal of Sport Science* **17(3)**, 326–334.
- Karavirta, L., Häkkinen, K., Kauhanen, A., Arija-Blázquez, A., Sillanpää, E., Rinkinen, N. and Häkkinen, A. (2011) Individual responses to combined endurance and strength training in older adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise* **43(3)**, 484–490.
- Kephart, W. C., Pledge, C. D., Roberson, P. A., Mumford, P. W., Romero, M. A., Mobley, C. B., Martin, J. S., Young, K. C., Lowery, R. P., Wilson, J. M., Huggins, K. W. and Roberts, M. D. (2018) The Three-Month Effects of a Ketogenic Diet on Body Composition, Blood Parameters, and Performance Metrics in CrossFit Trainees: A Pilot Study. *Sports* **6(1)**, 1–11.
- Kindermann, W., Schnabel, A., Schmitt, W. M., Biro, G., Cassens, J. and Weber, F. (1982) Catecholamines, growth hormone, cortisol, insulin, and sex hormones in anaerobic and aerobic exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* **49(3)**, 389–399.
- Kliszczewicz, B., Quindry, C. J., Blessing, L. D., Oliver, D. G., Esco, R. M. and Taylor, J. K. (2015) Acute Exercise and Oxidative Stress: CrossFit™ vs. Treadmill Bout. *Journal of Human Kinetics* **47**, 81–90.
- Kliszczewicz, B., Williamson, C., Bechke, E., McKenzie, M. and

- Hoffstetter, W. (2018) Autonomic response to a short and long bout of high-intensity functional training. *Journal of Sports Sciences* **36**(16), 1872–1879.
- Laursen, P. and Buchheit, M. (2019) *Science and Application of High-Intensity Interval Training: Solutions to the Programming Puzzle*. Human Kinetics.
- Mangine, G., Stratton, M., Almeda, C., Roberts, M., Esmat, T., VanDusseldorp, T. and Feito, Y. (2020) Physiological Differences Between Advanced Crossfit Athletes, Recreational Crossfit Participants, and Physically-Active Adults. *PLoS One* **15**(4), 1–21.
- Mangine, G. T., Cebulla, B. and Feito, Y. (2018a) Normative Values for Self-Reported Benchmark Workout Scores in CrossFit® Practitioners. *Sports Medicine - Open* **4**(1), 1–8.
- Mangine, G. T., Van Dusseldorp, T. A., Feito, Y., Holmes, A. J., Serafini, P. R., Box, A. G. and Gonzalez, A. M. (2018b) Testosterone and Cortisol Responses to Five High-Intensity Functional Training Competition Workouts in Recreationally Active Adults. *Sports (Basel, Switzerland)*, **6**(3), 1–14.
- Martínez-Gómez, R., Valenzuela, P. L., Barranco-Gil, D., Moral-González, S., García-González, A. and Lucía, A. (2019) Full-Squat as a Determinant of Performance in CrossFit. *International Journal of Sports Medicine* **40**(09), 592–596.
- Maté-Muñoz, J. L., Lougedo, J. H., Barba, M., Cañuelo-Márquez, A. M., Guodemar-Pérez, J., García-Fernández, P., Lozano-Estevan, M. D. C., Alonso-Melero, R., Sánchez-Calabuig, M. A., Ruiz-López, M., de Jesús, F. and Garnacho-Castaño, M. V. (2018) Cardiometabolic and Muscular Fatigue Responses to Different CrossFit® Workouts. *Journal of Sports Science and Medicine* **17**(4), 668–679.
- Maté-Muñoz, J. L., Lougedo, J. H., Barba, M., García-Fernández, P., Garnacho-Castaño, M. V. and Domínguez, R. (2017) Muscular fatigue in response to different modalities of CrossFit sessions. *PLoS One*, **12**(7), 1–17.
- Methenitis, S. (2018) A Brief Review on Concurrent Training: From Laboratory to the Field. *Sports (Basel, Switzerland)*, **6**(4), 1–17.
- Murawska-Cialowicz, E., Wojna, J. and Zuwała-Jagiello, J. (2015) Crossfit training changes brain-derived neurotrophic factor and irisin levels at rest, after wingate and progressive tests, and improves aerobic capacity and body composition of young physically active men and women. *Journal of Physiology and Pharmacology: An Official Journal of the Polish Physiological Society* **66**(6), 811–821.
- Murlasits, Z., Kneffel, Z. and Thalib, L. (2018) The physiological effects of concurrent strength and endurance training sequence: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Sports Sciences* **36**(11), 1212–1219.
- Perciavalle, Valentina, Marchetta, N. S., Giustiniani, S., Borbone, C., Perciavalle, Vincenzo, Petralia, M. C., Buscemi, A. and Cocco, M. (2016) Attentive processes, blood lactate and CrossFit®. *The Physician and Sportsmedicine* **44**(4), 403–406.
- Petré, H., Löfving, P. and Psilander, N. (2018) The Effect of Two Different Concurrent Training Programs on Strength and Power Gains in Highly-Trained Individuals. *Journal of Sports Science and Medicine*, **17**(2), 167–173.
- Poderoso, R., Cirilo-Sousa, M., Júnior, A., Novaes, J., Vianna, J., Dias, M., Leitão, L., Reis, V., Neto, N. and Vilaça-Alves, J. (2019) Gender Differences in Chronic Hormonal and Immunological Responses to CrossFit®. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **16**(14), 1–9.
- di Prampero, P. E. (1986) The energy cost of human locomotion on land and in water. *International Journal of Sports Medicine* **7**(2), 55–72.
- Sabag, A., Najafi, A., Michael, S., Esgin, T., Halaki, M. and Hackett, D. (2018) The compatibility of concurrent high intensity interval training and resistance training for muscular strength and hypertrophy: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Sports Sciences* **36**(21), 2472–2483.
- Schlegel, P., Režný, L. and Fialová, D. (2020) Pilot study: Performance-ranking relationship analysis in Czech crossfitters. *Journal of Human Sport and Exercise*, **16**, 1–12.
- Schumann, M., Eklund, D., Taipale, R. S., Nyman, K., Kraemer, W. J., Häkkinen, A., Izquierdo, M. and Häkkinen, K. (2013) Acute neuromuscular and endocrine responses and recovery to single-session combined endurance and strength loadings: “order effect” in untrained young men. *Journal of Strength and Conditioning Research* **27**(2), 421–433.
- Serafini, P. R., Feito, Y. and Mangine, G. T. (2018) Self-reported Measures of Strength and Sport-Specific Skills Distinguish Ranking in an International Online Fitness Competition. *Journal of Strength and Conditioning Research* **32**(12), 3474–3484.
- Skattebo, Ø., Hallén, J., Rønnestad, B. R. and Losnegard, T. (2016) Upper body heavy strength training does not affect performance in junior female cross-country skiers. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* **26**(9), 1007–1016.
- Szivak, T. K., Hooper, D. R., Dunn-Lewis, C., Comstock, B. A., Kupchak, B. R., Apicella, J. M., Saenz, C., Maresch, C. M., Denegar, C. R. and Kraemer, W. J. (2013) Adrenal cortical responses to high-intensity, short rest, resistance exercise in men and women. *Journal of Strength and Conditioning Research* **27**(3), 748–760.
- Taipale, R. S. and Häkkinen, K. (2013) Acute hormonal and force responses to combined strength and endurance loadings in men and women: the “order effect”. *PLoS One* **8**(2), 1–10.
- Taipale, R. S., Mikkola, J., Nummela, A., Vesterinen, V., Capostagno, B., Walker, S., Gitonga, D., Kraemer, W. J. and Häkkinen, K. (2010) Strength training in endurance runners. *International Journal of Sports Medicine* **31**(7), 468–476.
- Taipale, R. S., Schumann, M., Mikkola, J., Nyman, K., Kyröläinen, H., Nummela, A. and Häkkinen, K. (2014) Acute neuromuscular and metabolic responses to combined strength and endurance loadings: the “order effect” in recreationally endurance trained runners. *Journal of Sports Sciences* **32**(12), 1155–1164.
- Tibana, R. A., de Almeida, L. M., Frade de Sousa, N. M., Nascimento, D. da C., Neto, I. V. de S., de Almeida, J. A., de Souza, V. C., Lopes, M. de F. T. P. L., Nobrega, O. de T., Vieira, D. C. L., Navalta, J. W. and Prestes, J. (2016) Two Consecutive Days of Crossfit Training Affects Pro and Anti-inflammatory Cytokines and Osteoprotegerin without Impairments in Muscle Power. *Frontiers in Physiology* **7**, 260.
- Tibana, R. A., Prestes, J., de Souza, N. M. F., de Souza, V. C., de Toledo Nobrega, O., Baffi, M., Ferreira, C. E. S., Cunha, G. V., Navalta, J. W., Trombeta, J. C. D. S., Cavaglieri, C. R. and Voltarelli, F. A. (2019a) Time-Course of Changes in Physiological, Psychological, and Performance Markers following a Functional-Fitness Competition. *International Journal of Exercise Science* **12**(3), 904–918.
- Tibana, R. A., de Sousa, N. M. F., Cunha, G. V., Prestes, J., Fett, C., Gabbett, T. J. and Voltarelli, F. A. (2018) Validity of Session Rating Perceived Exertion Method for Quantifying Internal Training Load during High-Intensity Functional Training. *Sports (Basel, Switzerland)* **6**(3), 1–8.
- Tibana, R. A., de Sousa, N. M. F., Prestes, J., Feito, Y., Ernesto, C. and Voltarelli, F. A. (2019b) Monitoring Training Load, Well-Being, Heart Rate Variability, and Competitive Performance of a Functional-Fitness Female Athlete: A Case Study. *Sports* **7**(2), 1–11.
- Timón, R., Olcina, G., Camacho-Cardenosa, M., Camacho-Cardenosa, A., Martínez-Guardado, I. and Marcos-Serrano, M. (2019) 48-hour recovery of biochemical parameters and physical performance after two modalities of CrossFit workouts. *Biology of Sport* **36**(3), 283–289.

- Tremblay, M. S., Copeland, J. L. and Van Helder, W. (2004) Effect of training status and exercise mode on endogenous steroid hormones in men. *Journal of Applied Physiology* **96**(2), 531–539.
- Wilson, J. M., Marin, P. J., Rhea, M. R., Wilson, S. M. C., Loenneke, J. P. and Anderson, J. C. (2012) Concurrent training: a meta-analysis examining interference of aerobic and resistance exercises. *Journal of Strength and Conditioning Research* **26**(8), 2293–2307.

### Key points

- CrossFit® training is efficient in the development of strength and endurance in short-term and long-term programs.
- Some concurrent training strategies are suitable for CrossFit® (application of HIIT and strength exercise; a combination of strength exercise with rowing, cycling or cross-country skiing; a ratio of strength and endurance exercise in the training program).
- CrossFit® is sports discipline with unique training principles (using barbell conditioning; preparation for any combination of strength and endurance in one workout; a combination of Olympic weightlifting with other exercises; energy cost of locomotion in bodyweight and free weight exercises).

### AUTHOR BIOGRAPHY



#### **Petr SCHLEGEL**

#### **Employment**

University of Hradec Králové, Personal trainer

#### **Degree**

PhD

#### **Research interests**

Exercise physiology, sport training, CrossFit, strength and endurance training adaptation

**E-mail:** petr.schlegel@gmail.com

#### ✉ **Petr Schlegel**

Department of Physical Education and Sport, Faculty of Education, University of Hradec Králové, Czech Republic

## ANAEROBIC FITNESS TESTING IN CROSSFIT

Petr Schlegel<sup>1</sup>, Adam Křehký<sup>1</sup>

*<sup>1</sup>Department of Physical Education and Sports, Faculty of Education, University of Hradec Kralove, Czech Republic*

**Summary:** CrossFit is one of the sports disciplines where endurance play a significant role in the performance. For testing anaerobic fitness it is important to choose the means that are part of the exercise and have a good transfer to the sport. A sample of competitive crossfitters ( $n = 12$ ) underwent stress tests on the assault air bike (AB) (60 s) and Wingate. In addition to the performance parameters ( $W_{max}$ ,  $W_{mean}$ ,  $W/kg$ , cal), lactate values after exercise (1st, 5th, 10th and 15th minute) were monitored. The results showed significant differences in both the absolute values of lactate and the development of the lactate curve ( $\alpha = 0.05$ ). The correlation of the selected variables showed a significant relationship between the average Watts value and the calories traveled (0.894). Testing anaerobic fitness with AB appears to be a suitable variant for CrossFit, as well as monitoring the development of lactate curve. Due to the original design of the study, it is necessary to verify the results.

**Keywords:** performance, Wingate, assault air bike, lactate, VLamax, conditioning

### Introduction

CrossFit is a worldwide phenomenon, which gradually evolved in a performance, respectively racing form. The races are organized at a local and international level and require a long-term and specific training. Therefore, it is necessary to analyze individual aspects and transfer the results to the training practice (Feito et al. 2018; Schlegel et al. 2020).

By its nature, CrossFit ranks among relatively short and highly intensive sport disciplines. Most of the load usually lasts between 5 – 20 minutes and consists of various modalities including not only the traditional endurance sports (running or rowing), but also exercises with bodyweight or external load. The level of load is evidenced by heart rate values, lactate levels or elevated creatine kinase parameters (Dexheimer et al. 2019). A good level of

aerobic and anaerobic fitness is important for the mentioned endurance performance. Both components are involved in the outcome and their ratio must be in good balance (Butcher et al. 2015). Therefore, attention should also be paid to the level of anaerobic metabolism.

Testing anaerobic fitness represents a very short load at maximum intensity, which is mainly dependent on the energy substrates creatine phosphate, glycogen (Medbø & Tabata 1993). The duration of the tests ranges from 30 to 60s and parameters, such as a lactate level and course, peak power, mean power, fatigue index, or VO<sub>2</sub>max are monitored (Noorhof et al. 2013). The level of these parameters is also dependent on strength, muscle fiber ratio or lactate metabolism. The monitoring of the blood lactate levels is a good feedback for evaluating the intensity of indoor stress (Brooks 2018).

A very common means is to use the Wingate test (Wingate), which uses a bicycle treadmill with a gradual increase in resistance. It is a valid and reliable device that is applied in various sports disciplines (Murawska-Cialowicz 2015). However, it uses only the lower half of the body and therefore its informative value may in some cases be limiting. In CrossFit, the upper body is also heavily involved, which is why it is tested. Assault air bike (AB) is a special free-wheeled wheel that allows you to engage the pull and push forces of the upper limbs. The load is therefore more complex with a likely overlap in the use of energy resources and a physiological response. It is also a commonly used training and racing device.

The aim of this research was to determine whether AB is a suitable means for testing anaerobic fitness in performance crossfitters and further compare the results with the Wingate test. Thus, a standardized and a non-standardized anaerobic fitness test were compared.

## **Methods**

### ***Study design***

The participants underwent two stress tests to assess the level of anaerobic fitness. First, the AB test, then the Wingate test; the interval between tests was a week. In both tests it is necessary to work with the maximum effort to which individuals were motivated. The testing included a measurement of the lactate development after loading; performance values from both devices were also monitored. The tests were then compared in terms of the lactate curve and the measured parameters.

### ***Participants***

12 men (age 28.1 years, height 183.3 cm, weight 86.9) participated in the research. They were competitive crossfitters with experience with CrossFit for at least 2 years and with participation in competitions at least at the regional level. All of them were currently in a similar

stage of preparation without a significant variation in the training regimen or specific development of anaerobic fitness. The average number of training units was 6 and their content contained strength, weightlifting, gymnastic and conditioning parts. They all had experience with AB and the method of loading in tests. Two days prior to the test, they should only have a light training intensity. None of the participants had a significant low/high-carbohydrate diet. 48 hours before the test, carbohydrate intake should not be increased. The dietary supplements supporting the exercise have been banned.

**Table 1**  
*Description of the research sample*

	<b>Mean</b>	<b>SD</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	<b>Median</b>
<b>Age</b>	28.1	5.3	20	34	31
<b>Height</b>	183.3	5.7	174	193	182.5
<b>Weight</b>	86.9	9.8	73	107.5	84

SD – standard deviation

### **Testing**

The same protocol was set for both tests. The test experienced a warm-up phase (5 minutes) on a bicycle or AB. The heating was done at light intensity to avoid a subsequent lactate increase and a significant increase in respiratory rate/depth. The targeted breathing techniques were also not allowed. This was followed by a 3 min passive pause and the first lactate collection. On instruction the participant took the test, where he was strongly motivated by the researchers in the limit performance from the beginning. The test was followed by a passive sitting position, in which he had to endure until the end of the test, any further movement was prohibited. The lactate collection after the exercise was performed at 1, 5, 10 and 15 minutes.

#### **Wingate test**

This is a 30s test on a Wattbike (Monark exercise AB, Sweden). The principle is isokinetic cycle sprint by 7.5% of the weight of the tested person. Peak power (W<sub>max</sub>), mean power (W<sub>mean</sub>) and W/kg (maximum weight index) were monitored.

#### **Assault air bike test**

It is a special bike, where it is also possible to work with free arms that allow pushing and pulling upper body. The arms and pedals are mechanically dependent on each other and have the same frequency. The machine cannot adjust the difficulty, which increases as speed increases on the principle of an aerodynamic brake (resistance is created by flywheel). Here, the calories traveled (a separate unit of measure whose value is derived from the output force

in watts) were monitored. The participants worked for 60s with maximum effort, right from the start.

### Lactate

The enzymatic-amperometric method for the determination of lactate in fresh capillary blood (Lactate scout, EKF diagnostics) was used. The sample was taken from the earlobe.

### Analyses of data

Using TIBCO Statistics, Desktop version, a t-test was applied between the measured lactate values after loading on AB and Wingate. Furthermore, the correlation analysis (Spearman coefficient) was used to determine the relationship between selected variables that were obtained from both tests.

## Results

Table 2 shows selected values from the AB and Wingate stress tests. The results of Wmax, where the average was 1268, 8 Watts, reveal that they were the athletes with very good strength abilities of the lower limbs. Greater dispersion was recorded in calories traveled, values ranged from 34 – 57.

**Table 2**  
*Description of the performance values on AB and Wingate*

	Mean	SD	Minimum	Maximum	Median
<b>Wmax</b>	1268.8	130.2	1045.0	1467.0	1264.5
<b>Wmean</b>	771.5	55.9	700.0	873.0	755.5
<b>W/kg</b>	14.6	1.1	13.4	16.9	14.3
<b>Cal (AB)</b>	43.9	7.2	34.0	57.0	41.5

Wmax - the maximum achieved value of Watts (Wingate); Wmean – average value of Watts (Wingate); W/kg - index of maximum power in terms of mass (Wingate); cal - calories traveled (AB)

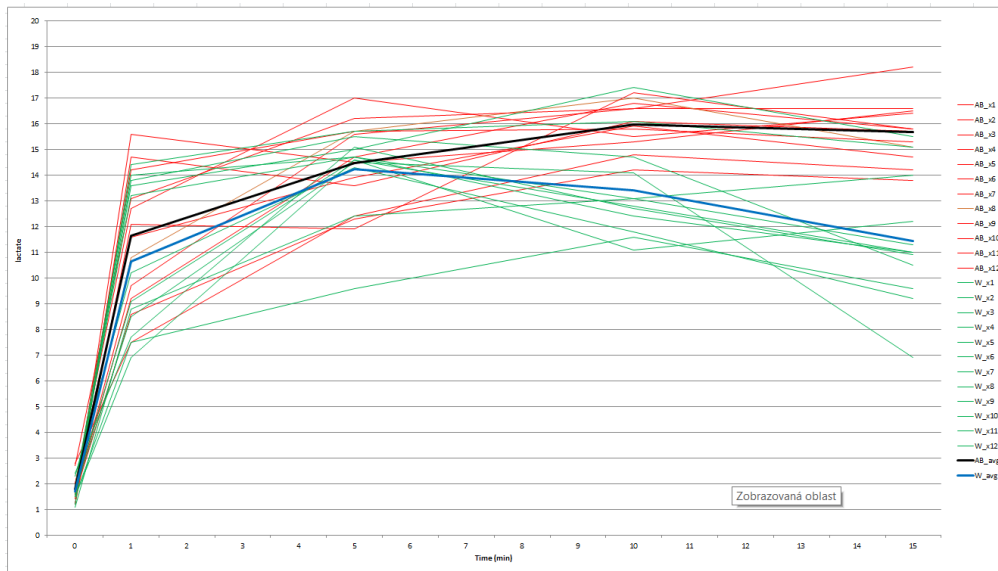
The athletes achieved high levels of lactate during the tests (Table 3). During the first minutes there was a rapid increase, which reached a maximum in the 5th minute (Wingate), respectively in the 10th minute (AB). The development of the lactate curve of all participants is shown in Fig. 1 below. It is evident that after the loading on AB, lactate accumulated for a longer time, reached higher values and also decreased more slowly. Even after 15 minutes the average value was 15.7 compared to Wingate with 11.4. In addition, the lactate values at Wingate showed greater variance at 10 and 15 minutes. The figure also shows the course of changes in the lactate levels based on average values (AB - black, Wingate - blue). The curve shows a similar course, but is significantly different at the end.



**Table 3**  
Average lactate values in minutes

	0	1	5	10	15
<b>AB</b>	1.78	11.65	14.46	15.98	15.68
<b>SD</b>	0.52	2.56	1.66	0.92	1.19
<b>Wingate</b>	1.75	10.30	14.09	13.16	11.10
<b>SD</b>	0.38	2.92	1.67	1.87	2.48

SD – standard deviation



**Figure 1**  
Lactate curve after Wingate and AB

**Table 4**  
T-test for the average AB and Wingate values per minute

	Mean AB	Mean W	t - value	df	p	Valid N AB	Valid N W	SD AB	SD W	F-ratio variances	Variances
<b>AB1 vs W1</b>	11.65	10.64	0.90	22.00	0.38	12.00	12.00	2.56	2.92	1.30	0.67
<b>AB5 vs W5</b>	14.46	14.23	0.34	22.00	0.73	12.00	12.00	1.66	1.67	1.01	0.99
<b>AB10 vs W10</b>	15.98	13.41	4.28	22.00	0.00	12.00	12.00	0.92	1.87	4.16	0.03
<b>AB15 vs W15</b>	15.68	11.43	5.34	22.00	0.00	12.00	12.00	1.19	2.48	4.34	0.02

W – Wingate; AB – assault air bike; SD – standard deviation; mean AB – lactate average value for AB; MeanW – lactate average value for Wingate

A comparison of the lactate values in individual minutes is given in Table 4. A statistically significant difference can be observed at 10 and 15 minutes. Conversely, at 1 and 5 minutes it was not confirmed although the values for AB were higher.

Furthermore, the development of the lactate curve was analyzed and the increase, respectively the decrease in average values (Table 5). Although lactate increased by 555.2 % for Wingate and 611.9 % for AB between the 1st and 2nd measurements, the statistical significance was not confirmed. Similarly, between the 2nd and 3rd measurements, when there was an increase (28.8 % for AB, 41.3 % for Wingate). A statistically significant difference can be observed in the development between the 3rd and 4th measurement (absolute deviation of 16.6%) and also between the 4th and 5th measurement.

**Table 5**  
*Assessment of a different development of the lactate curve*

	Mean AB (%)	Mean W (%)	t - value	df	p	Valid N AB	Valid N W	SD AB	SD W	F-ratio variances	Variances
<b>AB 0-1 vs W 0-1</b>	9.87 (611.9)	8.93 (555.20)	0.80	22.00	0.44	12.00	12.00	2.76	2.98	1.16	0.80
<b>AB 1-5 vs W 1-5</b>	2.81 (28.80)	3.58 (41.30)	-0.75	22.00	0.46	12.00	12.00	2.53	2.52	1.01	0.99
<b>AB 5-10 vs W 5-10</b>	1.53 (11.70)	-0.82 (-4.90)	3.25	22.00	0.00	12.00	12.00	1.65	1.87	1.29	0.68
<b>AB 10-15 vs W 10-15</b>	-0.31 (-1.80)	-1.98 (-14.40)	2.39	22.00	0.03	12.00	12.00	1.07	2.17	4.10	0.03

W – Wingate; AB – assault air bike; SD – standard deviation; mean AB – lactate average value for AB; MeanW – lactate average value for Wingate

A correlation analysis was performed to assess the relationship between the selected variables (Table 6). The expected strong relationship ( $\alpha = 0.01$ ) was shown between weight and Wmax (0.713) and also with Wmean (0.683). Neither age nor height showed a strong relationship with any of the selected variables. Calories traveled had a strong correlation with Wmean (0.894). Other statistically significant relationships were not shown.

**Table 6**  
*Correlation analysis of the selected variables*

	Age	height	weight	Wmax	W_mean	W/kg	cal
<b>Age</b>	1	0.442	0.558	0.536	0.420	-0.116	0.471
<b>height</b>	0.442	1	0.224	0.172	-0.035	-0.090	0.094
<b>weight</b>	0.558	0.224	1	0.713**	0.683*	-0.473	0.519
<b>Wmax</b>	0.536	0.172	0.713**	1	0.568	0.268	0.474
<b>W_mean</b>	0.420	-0.035	0.683*	0.568	1	-0.310	0.894**
<b>W/kg</b>	-0.116	-0.090	-0.473	0.268	-0.310	1	-0.204
<b>cal</b>	0.471	0.094	0.519	0.474	0.894**	-0.204	1

Wmax - the maximum achieved value of Watts; Wmean – average value of Watts; W/kg - index of maximum power in terms of mass; cal - calories traveled

## Discussion

The use of Wingate for testing the anaerobic endurance is common in sports training (Noordhof et al. 2013). In CrossFit, it has been used several times, but as a potential predictor of the CrossFit performance (Butcher et al. 2015). For some workout of the day (WOD),  $W_{max}$  or  $W_{mean}$  may be related to the end result (Dexheimer et al. 2019), but this cannot be broadly claimed (see Bellar et al. 2015, Martínez-Gómez et al. 2019).

The absolute achievements ( $W_{max}$ ,  $W_{mean}$ ) in Wingate are relatively high and comparable, for example, with hockey players (Lau et al. 2001). In this research, the participants reached higher values compared to the tested CrossFit samples (Feito et al. 2018 or Butcher et al. 2015). The overall performance level of the group seems to be a significant factor. These were the athletes who have competing experience at least on a local level. In such a case, it is possible to assume high strength abilities not only of the lower limbs (Serafini et al. 2018) and thus a high power production on the bicycle simulator.

This was the first known study to test the load using AB and therefore, no comparable studies can be referred to. Ozkaya et al. (2013) dealt with the use of an elliptical trainer, which also engages the upper and lower half of the body, but it is different from AB. As with this research, the treadmill showed higher physiological values than the Wingate. In most WODs the whole body is involved, and therefore, all the large muscle groups (Feito et al. 2018). AB also requires the use of upper body pushing and pulling forces, as demonstrated by the lactate accumulation that was higher than that of Wingate or equally long stress tests (Carey & Richardson 2003; Carter et al. 2005; Miladi et al. 2011).

The correlation results show that AB and Wingate cannot be fully substitutable. AB was used with calories traveled, showing a high correlation (.871) with  $W_{mean}$  only. In addition to the maximum power output, both values also reflect strength endurance and work efficiency in a short maximum load - anaerobic work capacity. This includes not only the physiological aspects - the involvement of muscle fibers, the proportion of aerobic and anaerobic metabolism, the ability of glycolysis, lactate production (Brooks et al. 2018), but also the mental readiness to perform the limit performance. However, due to the high levels of lactate achieved (15.98 for AB and 14.2 for Wingate), both intensities and excessive activation of anaerobic metabolism appeared to be maximal in both tests.

The Wingate values, such as  $W_{max}$ , fatigue index or  $W/kg$  are not very significant for the CrossFit performance. These variables can, of course, show when retesting the physiological changes that occurred during the training (Murawska-Cialowicz et al. 2015). Because of the nature of CrossFit,  $W_{mean}$  is more important because the load takes a longer

time and more in the context of strength endurance than the maximum power output (Butcher et al. 2015). The calories traveled can therefore substitute for  $W_{mean}$ .

The lactate curve showed deviations after the stress tests. Already in the first measurement the values differed by 0.7. This is probably due to the involvement of more muscles and thus a slightly higher total lactate production (Noordhof et al. 2013). At 5 minutes the difference between the values decreased to 0.3, which is probably due to the organism's limit capacity to accumulate excessive amounts of lactate in the body. It appears that it will not be possible to achieve significant differences in lactate levels in the tests during the first minutes due to the physiological limitations mentioned (Öztürk et al. 1998). At the 10th minute, the lactate curve developed in reverse and this was confirmed statistically ( $\alpha = 0.01$ ). In AB, the amount of lactate increased further and reached its maximum, unlike Wingate, where it has already decreased. This is due to the more complex load at AB and probably also due to the length of load, although even tests lasting 45-90s do not always show such a course (Carter et al. 2005, Miladi et al. 2011). With Wingate, it is possible that the peak could be reached between 5 and 10 minutes (see Öztürk et al. 1998). The high accumulation of lactate in AB had an effect on the further course, when there was only a small decrease compared to Wingate, where the decrease was already marked (to 11.4). In Wingate, it is possible to observe the earlier peak of the lactate curve and also the steeper decrease of the lactate level.

The Crossfitters achieved high lactate absolute values in Wingate, which are higher than in similar studies (Spierer et al. 2004; Miladi et al. 2011). The reason could be a higher proportion of type I muscle fibers, which are the primary producer of lactate. It is typical of the CrossFit that athletes must possess very good strength and dynamic-strength abilities associated with the Olympic weightlifting (Schlegel et al. 2020), which confirms this premise. For AB the values were even higher and the onset was steeper. Therefore, it would be better to approach  $V_{Lamax}$  (maximum rate of energy production using the glycolytic system). High lactate levels are one indicator of good levels of the anaerobic system (Vandewalle et al. 1987). This is an important feedback with respect to the training process.

The stress tests for anaerobic fitness testing usually range from 30 to 60s. The 60s load is sufficient for the maximum lactate production and at the same time, the aerobic processes are not so strongly involved (Green & Dawson 1993; Medbø & Tabata 1993; Carter et al. 2005). In the case of CrossFit, it is important to achieve  $V_{Lamax}$  when testing anaerobic fitness and therefore, a longer loading time seems more appropriate. Unlike a short Wingate load, a more anaerobic work capacity is projected to an AB performance of 1 minute, which is more important for the CrossFit performance. Therefore, the calories traveled will be a valuable

indicator of the ability. The test time chosen therefore seems appropriate. Although the proportion of aerobic metabolism can reach as much as several tens of percent in the second half of the test (Medbø & Tabata 1989), it is nevertheless an optimal means for testing anaerobic fitness.

In the protocol a passive way of rest after the exercise was chosen. The method of rest after the exercise has a significant effect on the subsequent development of the lactate curve (Spierer et al. 2004; Ghorbani et al. 2015). The active method significantly reduces the rate of lactate degradation (Miladi et al. 2011). The passive rest clearly slows the transfer of lactate into oxidative fibers and other muscles. It is degraded primarily through glycolytic muscle fibers and metabolized through the liver (Brooks 2018). Especially in AB it was clear that the decline is very slow and even after 15 minutes was high (15.7). The steeper decline in recovery phase is due to better lactate clearance (Martin et al. 1998), which is a physiological component that is also involved in the CrossFit performance. This represents a relatively short load of usually 5 – 20 minutes of high intensity (Dexheimer et al. 2019). For testing purposes, an active way of rest could also be used, where the other processes mentioned above would be significantly affected by the process, but the development of these processes may also be a training goal.

Wingate is very often used across different sports (Butcher et al. 2015). As a result, it is also used for comparison with other anaerobic tests, as in the case of this research. Comparisons of unequal load lengths are reported by Carey & Richardson (2003) or Nebelsick-Gullett et al. (1988) using 60 s interval, similarly to Maud & Schulz (1989) with a load of 40 s on cycle ergometer. Wingate is also compared with specific tests that are close to the sport discipline. Tharp et al. (2013) monitored the load during the Wingate and the 600-yard run, where the average times were 119.7 s. Another example is the study by Sands et al. (2004), in which a comparison was made with the Bosco anaerobic test lasting 60 s.

The selected tests are not fully substitutable and identical results were not expected (due to the loading time, different amount of muscles involved, different devices). The purpose was to compare a standardized and non-standardized anaerobic fitness test. It seems that AB could be a suitable tool for testing this endurance in CrossFit and, due to its nature, is more suitable than Wingate. This is an original study, therefore it is necessary to confirm the results and conclusions regarding AB. A variant of shorter test time is offered for future research.

## Conclusion

The CrossFit performance is influenced by both aerobic and anaerobic fitness, which must be matched in the context of training load and specific development. Both systems should therefore be included in fitness testing. For the purposes of CrossFit, it is advisable to use resources such as ABs they are part of the sporting discipline. Compared to Wingate, Wmean and calories have been shown to be related to the anaerobic work capacity that is important for CrossFit. After the AB test, the participants had higher lactate levels and, depending on the higher accumulation, there was also a different development of the lactate curve in the passive resting phase. The all-out AB stress test is not standardized, but it can be a good mean of testing anaerobic fitness when adhering to the test protocol. Testing the lactate level and the lactate curve in conjunction with the calories traveled seems to be a suitable mean for analyzing the current readiness of the anaerobic system.

### *Acknowledgements*

*We would like to acknowledge Jan Hiblbauer, M.D. for his help to carrying the research.*

## References

1. BELLAR, D., A. HATCHETT, LW JUDGE, ME BREAUX, & L. MARCUS, 2015. „The relationship of aerobic capacity, anaerobic peak power and experience to performance in CrossFit exercise". *Biology of Sport*. **32**(4):315-20.
2. BROOKS, G. A., 2018. „The Science and Translation of Lactate Shuttle Theory". *Cell Metabolism*. **27**(4):757-85.
3. BUTCHER, SCOTTY J., TYLER J. NEYEDLY, KARLA J. HORVEY & CHAD R. BENKO., 2015. „Do Physiological Measures Predict Selected CrossFit(®) Benchmark Performance?" *Open Access Journal of Sports Medicine*. 6:241–47.
4. CAREY, DANIEL G., & MARK T. RICHARDSON., 2003. „Can Aerobic and Anaerobic Power Be Measured in a 60-Second Maximal Test?" *Journal of Sports Science & Medicine*. **2**(4):151–57.
5. CARTER, HELEN, JEANNE DEKERLE, GARY BRICKLEY, & CRAIG A. WILLIAMS., 2005. „Physiological Responses to 90 s All Out Isokinetic Sprint Cycling in Boys and Men". *Journal of Sports Science & Medicine*. **4**(4):437-45.
6. DEXHEIMER, JOSHUA D., E. TODD SCHROEDER, BRANDON J. SAWYER, ROBERT W. PETTITT, ARNEL L. AGUINALDO, & WILLIAM A. TORRENCE., 2019.

- „Physiological Performance Measures as Indicators of CrossFit® Performance". *Sports (Basel, Switzerland)*. **7**(4).
7. FEITO, Y., M. J. GIARDINA, S. BUTCHER, & G. T. MANGINE., 2018. „Repeated anaerobic tests predict performance among a group of advanced CrossFit-trained athletes". *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. **44**(7):727-35.
  8. GHORBANI, S., H. MOHEBBI, S. SAFARIMOSAVI, & M. GHASEMIKARAM., 2015. „The Effect of Different Recovery Methods on Blood Lactate Removal in Wrestlers". *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. **55**(4):273-79.
  9. GREEN, S., & B. DAWSON., 1993. „Measurement of Anaerobic Capacities in Humans. Definitions, Limitations and Unsolved Problems". *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*. **15**(5):312-27.
  10. LAU, S., K. BERG, R. W. LATIN, & J. NOBLE., 2001. „Comparison of Active and Passive Recovery of Blood Lactate and Subsequent Performance of Repeated Work Bouts in Ice Hockey Players". *Journal of Strength and Conditioning Research*. **15**(3):367-71.
  11. MARTIN, NANCY A., ROBERT F. ZOELLER, ROBERT J. ROBERTSON, & SCOTT M. LEPHART, 1998. „The Comparative Effects of Sports Massage, Active Recovery, and Rest in Promoting Blood Lactate Clearance After Supramaximal Leg Exercise". *Journal of Athletic Training*. **33**(1):30-35.
  12. MARTÍNEZ-GÓMEZ, R., P. L. VALENZUELA, D. BARRANCO-GIL, S. MORAL-GONZÁLEZ, A. GARCÍA-GONZÁLEZ, & A. LUCIA, 2019. „Full-Squat as a Determinant of Performance in CrossFit". *International Journal of Sports Medicine*. **40**(09):592-96.
  13. MAUD, P. J., & B. B. SHULTZ. 1989. „Norms for the Wingate Anaerobic Test with Comparison to Another Similar Test". *Research Quarterly for Exercise and Sport*. **60**(2):144-51.
  14. MEDBØ, J. I., & I. TABATA., 1989. „Relative Importance of Aerobic and Anaerobic Energy Release during Short-Lasting Exhausting Bicycle Exercise". *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*. **67**(5):1881-86.
  15. MEDBØ, JON, & I. TABATA., 1993. „Anaerobic energy release in working muscle during 30 s to 3 min of exhausting bicycling". *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*. **75**:1654-60.
  16. MILADI, IMED, A. TEMFEMO, S. H. MANDENGUÉ, & S. AHMAIDI., 2011. „Effect of Recovery Mode on Exercise Time to Exhaustion, Cardiorespiratory Responses, and

- Blood Lactate After Prior, Intermittent Supramaximal Exercise": *Journal of Strength and Conditioning Research*. **25**(1):205-10.
17. MURAWSKA-CIALOWICZ, E., J. WOJNA, & J. ZUWALA-JAGIELLO., 2015. „Crossfit Training Changes Brain-Derived Neurotrophic Factor and Irisin Levels at Rest, after Wingate and Progressive Tests, and Improves Aerobic Capacity and Body Composition of Young Physically Active Men and Women". *Journal of Physiology and Pharmacology: An Official Journal of the Polish Physiological Society*. **66**(6):811-21.
  18. NEBELSICK-GULLETT, L. J., T. J. HOUSH, G. O. JOHNSON, & S. M. BAUGE, 1988. „A comparison between methods of measuring anaerobic work capacity". *Ergonomics*. **31**(10):1413-19.
  19. NOORDHOF, DIONNE A., PHILIP F. SKIBA, & JOS J. DE KONING., 2013. „Determining Anaerobic Capacity in Sporting Activities". *International Journal of Sports Physiology and Performance*. **8**(5):475-82.
  20. OZKAYA, O., M. COLAKOGLU, O. KUZUCU, & A. DELETRAT., 2013. „An Elliptical Trainer May Render the Wingate All-out Test More Anaerobic". *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*. **28**.
  21. ÖZTÜRK, M., M. OZER, & E. GÖKÇE., 1998. „Evaluation of blood lactate in young men after wingate anaerobic power test". *Eastern Journal of Medicine*. **3**:13-16.
  22. SANDS, W. A., J. R. MCNEAL, M. T. OCHI, T. L. URBANEK, M. JEMNI, & M. H. STONE, 2004. „Comparison of the Wingate and Bosco Anaerobic Tests". *Journal of Strength and Conditioning Research*. **18**(4):810-15.
  23. SERAFINI, P. R., Y. FEITO, & G. T. MANGINE. 2018., „Self-Reported Measures of Strength and Sport-Specific Skills Distinguish Ranking in an International Online Fitness Competition". *Journal of Strength and Conditioning Research*. **32**(12):3474-84.
  24. SCHLEGEL, P., L. REŽNÝ, & D. FIALOVÁ. 2020., „Pilot study: Performance-ranking relationship analysis in Czech crossfitters". *Journal of Human Sport and Exercise*. **16**.
  25. SPIERER, D., R. GOLDSMITH, DA BARAN, K. HRYNIEWICZ, & S. KATZ., 2004. „Effects of Active vs. Passive Recovery on Work Performed During Serial Supramaximal Exercise Tests". *International journal of sports medicine*. **25**:109-14.
  26. THARP, G. D., R.T K. NEWHOUSE, L. UFFELMAN, W. G. THORLAND, & G. O. JOHNSON, 1985. „Comparison of Sprint and Run Times with Performance on the Wingate Anaerobic Test". *Research Quarterly for Exercise and Sport*. **56**(1):73-76.
  27. VANDEWALLE, H., G. PÉRÈS, & H. MONOD. 1987., „Standard Anaerobic Exercise Tests": *Sports Medicine*. **4**(4):268-89.



## Near Infrared Spectroscopy and Spiroergometry Testing in Crossfit

Petr Schlegel, Jan Hiblbauer, Adrián Agrícola

*University of Hradec Králové, Faculty of Education, Hradec Králové, Czech Republic*

### **Abstract**

**PURPOSE:** *CrossFit is a young sport discipline which offers varied strength and endurance training through complex exercises. Currently there are relatively few studies focusing on performance analysis in terms of the physiological response of organism. The aim of the research was to verify near infrared spectroscopy (NIRS) in combination with spiroergometry as a functional means for specific load testing in CrossFit and to find out what physiological changes occur in CrossFit.*

**METHODS:** *Elite crossfitter (male, age 20, body height 185 cm, body weight 87 kg) formed part of this study. Two Moxy sensors (placed on the vastus lateralis muscle and the intercostal muscles) and chest (strap) heart rate (HR) sensor were used for obtaining the data. The Cortex MetaMax 3BR2 system was used for portable spiroergometry. The AMRAP method (as many repetitions as possible) was used for testing. The selected test consisted of (1) 10 Deadlifts, 100 kg, 15 Assault Air Bike Calories; (2) 12 lunges (with two 20 kg Kettlebell), 10 push-ups, 8 ring pull up; (3) 20 SkiErg Calories, 10 50 kg back squat, 10 toes to bar.*

**RESULTS:** *The testing has confirmed that breathing functions and muscle oxidation can be well observed under load in given exercises and movements. It has been confirmed that CrossFit provides a very varied load to which the organism must respond immediately. The strength load changes, causing deflection in SmO<sub>2</sub> and VCO<sub>2</sub> which consequently imposes demands on the respiratory component.*

**CONCLUSIONS:** *This is the first study which monitors the load in the combination of strength and endurance load through crossfit elements. Based on our result, it seems that linking NIRS and spirometry is a suitable combination for a comprehensive analysis of the athlete not only for CrossFit. The information obtained can be applied in practice in the context of optimal training load settings.*

**Keywords:** *CrossFit, near infrared spectroscopy, spiroergometry, performance*

### **INTRODUCTION**

CrossFit has become a world-wide phenomenon over the last 10 years. Originally intended as training system, it has gradually developed into a full-fledged sport discipline. The goal of CrossFit is to comprehensively develop physical fitness (Glassman, 2007), thus influencing also health. It is a very variable high intensity exercise involving functional movements. The source of exercises and training approaches are three modalities (weightlifting, gymnastics, metabolic conditioning), which are represented to the same extent. The result is so called WOD (workout of the day), which consists of one, two or all three modalities and usually lasts 5–20 minutes. The nature of the exercise can be described as High-Intensity Functional Training (Feito, 2018), which includes multi-joint exercises with the involvement of major muscle groups. At the same time, the exercise takes place at a high heart rate and is usually relatively short. It is a functional tool for the development of metabolic and cardiorespiratory parameters. The purpose of CrossFit, however, is also a targeted effect on strength abilities including work with one's own bodyweight as well as

external load. Although there is a concern about the safety of CrossFit (rhabdomyolysis, risk of injury, etc.), it has been confirmed that it meets the requirements stated in the American College of Sports Medicine. Drum (2017) notes that there is no serious risk with properly adjusted load and suitably selected regeneration. There is also a higher oxidative stress during exercise, but it is comparable with running load (Kluszczewicz, 2015). Even in terms of muscle damage indicated through creatine kinase marker, CrossFit does not stand out among other sport disciplines in terms of training load (Heavens, 2014).

High load in CrossFit was confirmed by Fernández, Solana, Moya, Marin, and Ramón (2015), where physical indicators were monitored. After 'Cindy' and 'Fran' WODs, the athletes achieved high levels of heart rate, VO<sub>2</sub>max and lactate. Also Perciavalle (2016) reaches similar conclusions except that the monitored workout consisted of a rowing machine and a big dumbbell. The mean lactate values measured after exercise were 13.8mmol/L, which mean a high intensity. The Tibana research (2016) was conducted under similar load and achieved similar conclusions. Moreover, it came to the conclusion that, after two demanding training days, the athletes have shown high cytokine values; therefore, the research recommended optimizing intensity in training load.

The physiological response after a CrossFit exercise was examined also by Maté-Muñoz (2018). Here the load consisted of separate gymnastics ('Cindy'), metabolic conditioning (double skip rope jumps), weightlifting (power cleans). Individual modalities differed from each other, for instance they reached lower values of maximum heart rate in power clean. However, in all cases they exceeded the lactate level of 10mmol/L and evaluated the activities with a high RPE. CrossFit performance is determined by many aspects and so far it is not quite clear which of them are key for achieving success, resp. high performances. In terms of physiological determinants, it seems that VO<sub>2</sub>max and anaerobic peak power are very important (Bellar, 2015; Dexheimer, 2019). Nevertheless, also the level of strength abilities occupies an important position and the exact determination of the effect of specific parameters is not clear (Butcher, 2015). Similarly, as in other sport disciplines, it is important to find a suitable test means to determine performance and functional limitation.

Near infrared spectroscopy (NIRS) is an imaging technique developed in the 1970ies that has expanded during the 1990. Originally focused on brain research, it was later gradually introduced also in other fields of science (Ferrari & Quaresima, 2012). It is a non-invasive imaging of oxidation and hemodynamics in the muscle using infrared radiation. It was used for the first time to monitor haemoglobin resaturation in quadriceps muscles in racing rowers (Chance, 1992). Since then, it has been applied to groups of runners, cyclists, rugby players, swimmers, etc. as well as to various muscle groups (Perry & Ferrarri, 2017). So far, only one study has been aimed at examining the effect of the strength load on lower limbs; the means was isolated knee extension motion (Paradis-Dechênes, 2016). The response to local isometric loading is presented by Freyer (2015) on climbers. Currently, there is no known research which would monitor muscle oxidation through the means of complex training load or combination of strength and endurance loads.

Moxy oxygen monitor is a device which measures, among others, local oxygen saturation (SmO<sub>2</sub>) and total haemoglobin mass (tHb mass), value of which corresponds to the current muscle blood flow. The validity and reliability of the device has been confirmed on a sample of high performance cyclists (Crum, 2017). It has also proven itself in comparison with a similar PortaMon device. However, the authors add that the comparison of results from various devices may differ (McManus, 2018).

Spiroergometry is a tool for a qualitative and quantitative assessment of cardiovascular, pulmonary and metabolic responses to exercise. Measuring oxygen consumption, carbon dioxide production, minute ventilation and heart rate provides significant diagnostic and prognostic information across a wide range of scientific fields (Wonisch, 2003). The most important variable

in spiroergometry is the maximum oxygen consumption (VO<sub>2</sub>max). It defines the capacity of cardiopulmonary system and provides an objective estimate of physical fitness. Minute ventilation (VE) consists of breathing frequency and tidal volume (V<sub>t</sub>). The VE maximum value (VE<sub>max</sub>) during exercise is important to achieve a high VO<sub>2</sub>max value. In addition, the ventilation threshold and 'respiratory compensation point' can be determined as submaximal fitness parameters. The methodology of spiroergometric examination is based on the analysis of the inhaled and exhaled air composition and serves to determine the functional response of the organism to the load (Corrà, 2018). Oxygen consumption and exhaled carbon dioxide levels are monitored during exercise; pulmonary ventilation and heart rate are also monitored. Repeated testing is an important diagnostic parameter in monitoring the adaptation of the organism to training load. Spiroergometry is, in contrast with our research, commonly performed in standardized conditions with precisely defined test parameters.

The physiological reaction of the organism to the load is an important element for optimal adjustment of training intensity, therefore the selection of specific methods, etc. CrossFit uses a very variable load, for which acute physiological responses are not yet clear. The aim of the study was to monitor physiological changes through CrossFit training and to verify whether NIRS in combination with spiroergometry is a suitable means for such testing.

## METHODS

### *Participant*

The presented case study is based on the results of the diagnostic process of an elite crossfitter – 4 year experience, result in CrossFit OPEN 2019 in the Czech Republic among top 20, (male; age 20 years; body height 185cm; body weight 87kg). The tested athlete had no special preparation before testing. The athlete was instructed to follow his normal diet and standard daily regimen. He had a rest the previous day before testing.

### *Material*

To obtain the research data, two Moxy sensors were used which were placed on the body of the athlete (on the *vastus lateralis* muscle and the intercostal muscles) and chest (strap) heart rate sensor (HR). The Cortex MetaMax 3BR2 system was used for portable spiroergometry.

### *Procedure*

The selected test consisted of three six-minute sections, between which there were two-minute breaks.

- (1) 10 Deadlifts, 100kg, 15 Assault Air Bike Calories<sup>1</sup>
- (2) 12 lunges (with two 20 kg Kettlebell), 10 push-ups, 8 ring pull up
- (3) 20 SkiErg Calories, 10 50kg back squat, 10 toes to bar

The AMRAP method (as many repetitions as possible) was used, where the athlete tried to do the maximum repetition of given exercises within a set time limit. The breaks or pauses were organized by the athlete himself, as well as exercise speed or pace. The break between the intervals was not organized; the athlete did not have to rest actively. He got time for individual warm-up and preparation before the test.

---

<sup>1</sup> Calories are the unit of measurement used for cardio machines as Assault Air Bike, SkiErg, rowing machine.

The methodology of the research is based on the evaluation of individual organ energy systems through specific parameters:

- (1) Breathing – EV (minute ventilation – L/min) = BF (breathing frequency – 1/min) × VT (tidal volume – L); %BR (breathing reserve percentage) – the amount of remaining breathing capacity
  - (2) Cardiovascular system – HR (heart rate), VO<sub>2</sub> (oxygen consumption/HR (pulse oxygen), tHb (total haemoglobin mass)
  - (3) Metabolism – indicative value of the level of aerobic/anaerobic metabolism using Respiratory Equivalent Ratio (RER = VCO<sub>2</sub>/VO<sub>2</sub>);
  - (4) carbon dioxide production (VCO<sub>2</sub>); METS – metabolic equivalents – multiple of resting energy expenditure (VO<sub>2</sub>=3.5 ml/kg/min)
- Muscle tissue – SmO<sub>2</sub> (muscle oxygen saturation), tHb



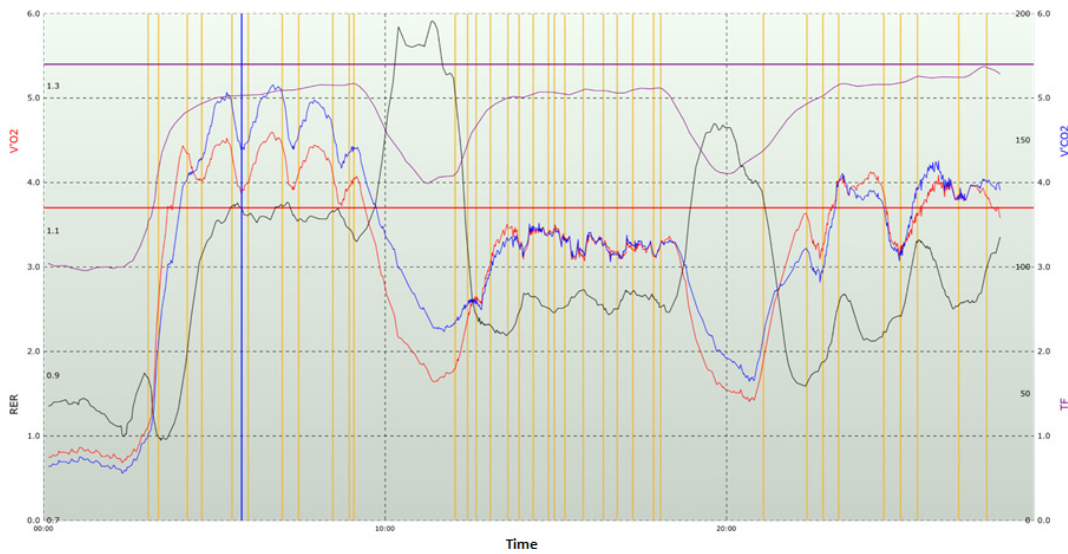
**Fig. 1:** Assault Air Bike



**Fig. 2:** A ring pull up

## RESULTS

The results showed high heart rate values above the level of anaerobic threshold, while also the rate of their decrease was monitored. Heart pulse rate corresponded to breathing functions. These values were significantly reduced during rest. Figure 3 shows the regeneration process by individual intervals and the speed of return of muscle oxygenation.



**Fig. 3:** VO<sub>2</sub>, RER, VCO<sub>2</sub> and HR values

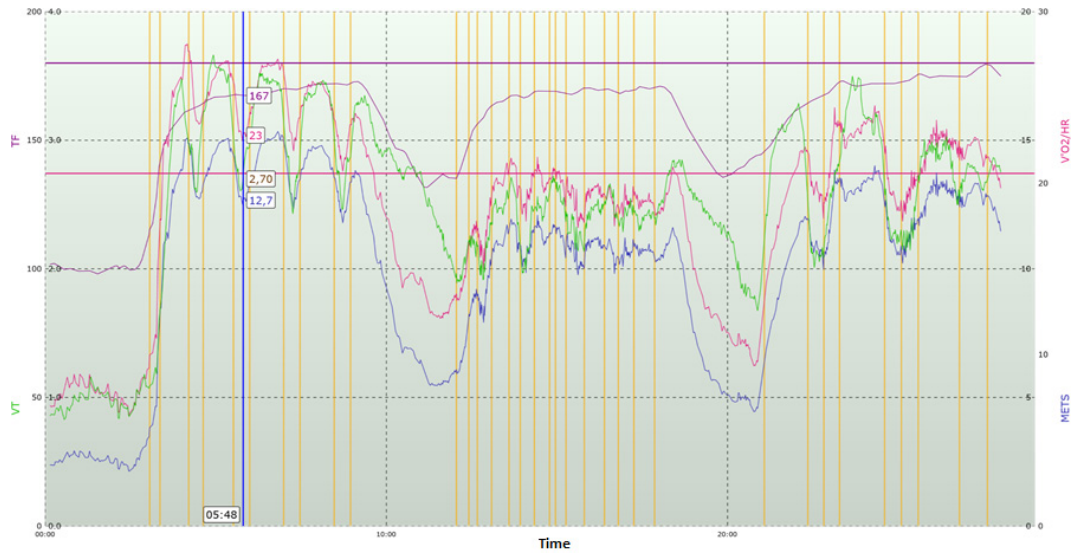
Note: VO<sub>2</sub> – oxygen consumption; RER – Respiratory Equivalent Ratio; VCO<sub>2</sub> – carbon dioxide production; HR – heart rate

The first interval composed of a power exercise aimed at a large muscle group followed by an intense endurance performance led to high absolute levels of O<sub>2</sub> compared to the second interval which was composed of exercises with a low external load. During the load, especially *m. vastus lateralis* showed a lower blood supply associated with reduced oxygen delivery to the muscle. In the following phase, however, there was a good recovery (whether on the Assault Air Bike or SkiErg – in both cases, the lower limbs needed to do some work; nevertheless, it was sufficient to improve the oxidative supply).

The changes of VCO<sub>2</sub> can be monitored at each interval. The load on the lower limbs was lower in the second part, but there were still significant changes. Compared to the first interval, this part was less metabolically demanding. The connection of isotonic and isometric work of the quadriceps in lunges and push-ups kept the oxidation at lower values. Even though the push-up concentrates on the upper half of the body, it was not an ideal means for the acute full recovery of the lower limb.

The third interval already clearly shows fatigue accumulation from the previous parts. The athlete maintained a high intensity associated again with lower oxygen delivery in both muscles. However, it did not reach such values as in the first part, which dramatically loaded the lower limbs. Good tolerance to anaerobic load and to strength and conditioning load can be observed during testing.

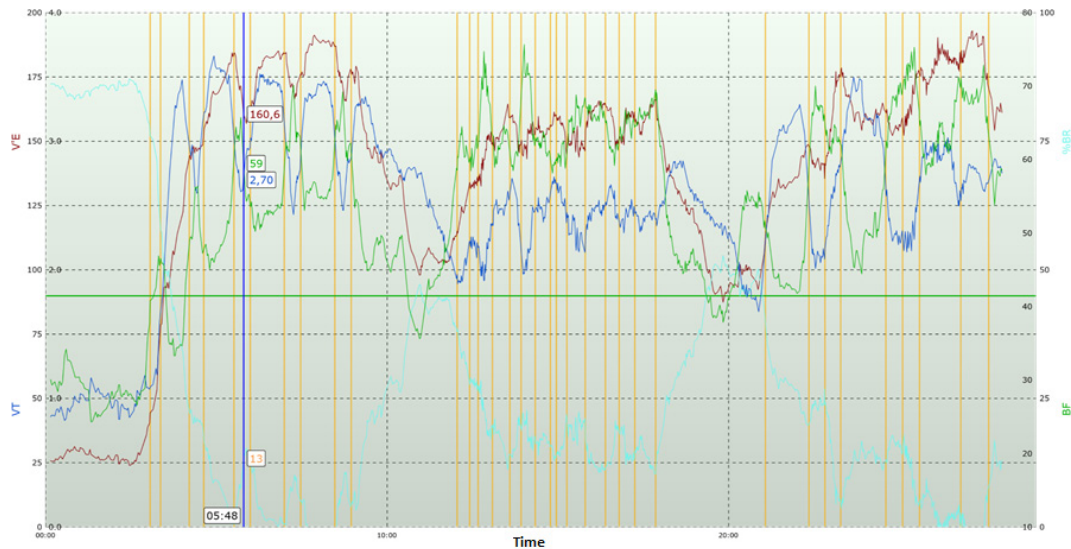




**Fig. 4:** VT, VO<sub>2</sub>/HR, METS and HR values

Note: VT – tidal volume; VO<sub>2</sub>/HR – pulse oxygen; METS – metabolic equivalents; HR – heart rate

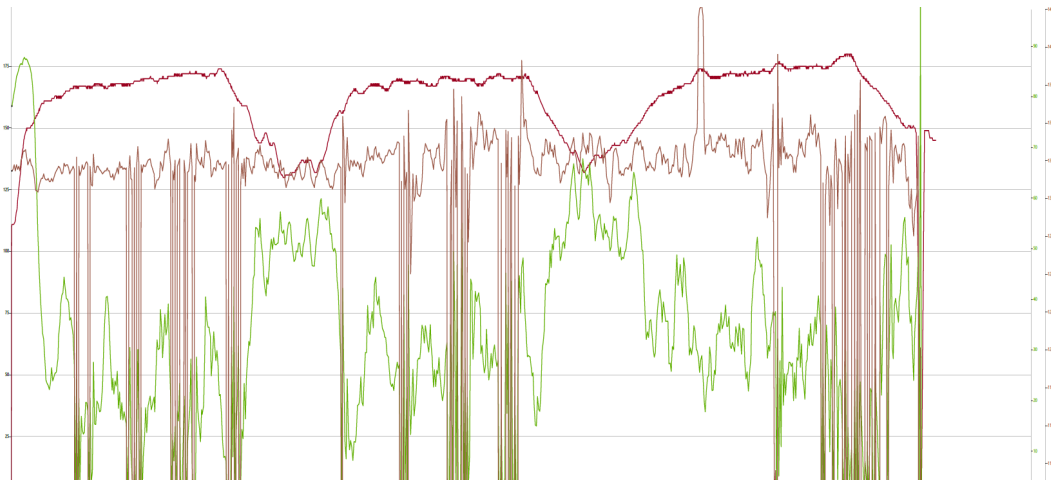
Figure 4 shows, among others, that HR may not always correspond to the metabolic demand of the exercises. All three intervals take place in comparable HF (160–170/min), but the values of RER, VO<sub>2</sub>, VCO<sub>2</sub> and METS differ significantly, thus determining different metabolic demands. Each interval was different not only in intensity, but also in structure, which can be clearly seen in different graph curves.



**Fig. 5:** VT, VE, BF and %BR values

Note: VT – tidal volume; VE – minute ventilation; BF – breathing frequency, %BR – breathing reserve percentage

It can be clearly seen from Figure 5 that, during the first interval after 2.5 minutes, the athlete had already reached the phase in which he used his ventilation capacity almost up to 100%. It is also possible to observe changes in breathing frequency and in inhalation / exhalation quality during the intervals. The specific load for instance in deadlift or exercises on the horizontal bar and rings had led to a change in breathing pattern and partly also to an occasional decrease in respiratory depth.



**Fig. 6:** Moxy record from the intercostal muscle

The record shows the effect of the load on respiratory muscles, which is, among others, related to the detection of the risk of metaboreflex. The green curve shows the course of oxygen utilization in the muscle, the brown one the rate of blood flow, the red curve corresponds to HR.

## DISCUSSION

This is the first study which monitors the load in the combination of strength and endurance load through crossfit elements. Isolated muscle work can be seen in Paradis-Dechènes (2016) or Freyer (2015) with a corresponding change of haemodynamics. Nevertheless, it is more important for practical use to apply a load similar to a specific sport performance. The testing has also confirmed that breathing functions and muscle oxidation can be well observed under load in given exercises and movements. Most studies deal with the physiological response in cyclic movements like running, rowing, etc. (Perrey & Ferrari, 2017), from which it is clear that they represent a legitimate tool for monitoring the use of oxygen in the muscle. Here the concept of combined load was applied and, at the same time, specific tools were used. Similarly, however, we note large changes in oxygen saturation during intense load.

It has been confirmed that CrossFit provides a very varied load to which the organism must respond immediately. The strength load changes, causing deflection in  $SmO_2$  and  $VCO_2$  which consequently imposes demands on the respiratory component. The position of the body is not constant either, which has resulted in a change in spirometric parameters for instance in pull ups or toes to bar. During rest periods, an increase in RER was noted ( $RER > 1.0$  indicates significant anaerobic metabolism) which can be explained by the intensity of activity in the anaerobic zone and by good individual fitness predisposition of the athlete. The athlete used almost his maxi-

imum ventilation capacity, which indicates an automatic response to the load at a given intensity, where there is a large consumption of O<sub>2</sub> and thus also the production of CO<sub>2</sub>, of which the body has to automatically dispose (extended spinal cord reflex). Higher breathing capacity is a positive prerequisite for a high intensity of endurance performance. High demands on the work of respiratory muscles can be linked with their fatigue and consequent negative effect on CO<sub>2</sub> exhaling, which is main factor determining centrally perceived fatigue (Guynet & Bayliss, 2015). Measurements have shown a significant influence of breathing parameters on performance in CrossFit; therefore, it seems important to monitor the performance of respiratory muscles, which are susceptible to fatigue, but can also be trained like other striated muscles (HajGhanbari, 2013).

HR is a commonly used intensity indicator which, however, has its limitations. There is a delayed response to the load (in tens of seconds) in contrast with NIRS (Morgan & Mora, 2017). The measurements show that there is no direct link between HR and the observed metabolic variables (unlike Maté-Muñoz, 2018). Therefore, HR cannot be perceived as an accurate indicator of body's overall workload during strength-endurance exercises (Born, 2017).

The purpose of testing was to simulate the environment which is identical with the load in CrossFit. The selection of exercises had to be adapted to the conditions. For instance, the measuring devices (see Fig. 1) did not allow the inclusion of Olympic weightlifting or demanding gymnastic exercises which are commonly used in CrossFit. The intervals were put together according to the combination of various modalities to load the athlete in very different ways and to change the strength and endurance demand.

Unlike laboratory tests, where the objective is to expose the body to increasing work intensity, the performance here has moved, from the very beginning, to the area close to the anaerobic threshold. It is therefore not possible to use routine procedures for the evaluation.

It can be stated from the results that the athlete has a tolerance to high load exceeding the anaerobic threshold, in which (in contrast with purely endurance activities) he has to be able to maintain an optimum concentration level for performing movements demanding on coordination.

## CONCLUSION

It is possible to analyse very well from the results of the test the overall performance of the athlete and read the physiological response to strength, endurance or combined stimuli in CrossFit. This test gives a good feedback on the response of organism to the load, which may well be used for the subsequent optimization of training. Joining NIRS and spirometry seems to be a good combination for the comprehensive body load analysis: the use of the method could be beneficial also for other sport disciplines. At the same time, it is confirmed that the parameters from both measurements are related and, together with heart rate values, they create the overall picture of the organism's response during testing. Due to the originality of the research, more studies are needed to confirm some conclusions (e.g. magnitude of drop and return smO<sub>2</sub> rate, RER values or importance of respiratory rate for CrossFit performance).

## REFERENCES

- Bellar, D., Hatchett, A., Judge, L., Breaux, M., & Marcus, L. (2015). The relationship of aerobic capacity, anaerobic peak power and experience to performance in CrossFit exercise. *Biology of Sport*, 32(4), 315–320.
- Born, D., Stöggl, T., Swarén, M., & Björklund, G. (2017). Running in Hilly Terrain: NIRS is More Accurate to Monitor Intensity than Heart Rate. *International journal of sports physiology and performance*, 12, 440–447.



- Butcher, S. J., Neyedly, T. J., Horvey, K. J., & Benko, C. R. (2015). Do physiological measures predict selected CrossFit® benchmark performance? *Open Access Journal of Sports Medicine*, 6, 241–247.
- Corrà, U., Agostoni, P. G., Anker, S. D., Coats, A. J. S., Crespo Leiro, M. G., de Boer, R. A., ... Piepoli, M. F. (2018). Role of cardio-pulmonary exercise testing in clinical stratification in heart failure. A position paper from the Committee on Exercise Physiology and Training of the Heart Failure Association of the European Society of Cardiology. *European Journal of Heart Failure*, 20(1), 3–15.
- Crum, E. M., O'Connor, W. J., Van Loo, L., Valckx, M., & Stannard, S. R. (2017). Validity and reliability of the Moxy oxygen monitor during incremental cycling exercise. *European Journal of Sport Science*, 17(8), 1037–1043.
- Dexheimer, J. D., Schroeder, E. T., Sawyer, B. J., Pettitt, R. W., Aguinaldo, A. L., & Torrence, W. A. (2019). Physiological Performance Measures as Indicators of CrossFit® Performance. *Sports* (Basel, Switzerland), 7(4).
- Drum, S. N., Bellovary, B. N., Jensen, R. L., Moore, M. T., & Donath, L. (2017). Perceived demands and postexercise physical dysfunction in CrossFit® compared to an ACSM based training session. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 57(5), 604–609.
- Feito, Y., Heinrich, K. M., Butcher, S. J., & Poston, W. S. C. (2018). High-Intensity Functional Training (HIFT): Definition and Research Implications for Improved Fitness. *Sports* (Basel, Switzerland), 6(3).
- Fernández, J. F., Solana, R. S., Moya, D., Marin, J. M. S., & Ramón, M. M. (2015). Acute physiological responses during crossfit® workouts. *European Journal of Human Movement*, 35(0), 114–124.
- Ferrari, M., & Quaresima, V. (2012). A brief review on the history of human functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) development and fields of application. *NeuroImage*, 63(2), 921–935.
- Fryer, S., Stoner, L., Scarrott, C., Lucero, A., Witter, T., Love, R., ... Draper, N. (2015). Forearm oxygenation and blood flow kinetics during a sustained contraction in multiple ability groups of rock climbers. *Journal of Sports Sciences*, 33(5), 518–526.
- Glasman, G. (2007). Understanding CrossFit. *The CrossFit Journal*, 56, 1–2.
- Guyenet, P. G., & Bayliss, D. A. (2015). Neural control of breathing and CO<sub>2</sub> homeostasis. *Neuron*, 87(5), 946–961.
- HajGhanbari, B., Yamabayashi, C., Buna, T. R., Coelho, J. D., Freedman, K. D., Morton, T. A., ... Reid, W. D. (2013). Effects of respiratory muscle training on performance in athletes: a systematic review with meta-analyses. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(6), 1643–1663.
- Heavens, K. R., Szivak, T. K., Hooper, D. R., Dunn-Lewis, C., Comstock, B. A., Flanagan, S. D., ... Kraemer, W. J. (2014). The effects of high intensity short rest resistance exercise on muscle damage markers in men and women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(4), 1041–1049.
- Chance, B., Dait, M. T., Zhang, C., Hamaoka, T., & Hagerman, F. (1992). Recovery from exercise-induced desaturation in the quadriceps muscles of elite competitive rowers. *The American Journal of Physiology*, 262(3 Pt 1), C766–775.
- Jiménez Morgan, S., & Molina Mora, J. A. (2017). Effect of Heart Rate Variability Biofeedback on Sport Performance, a Systematic Review. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 42(3), 235–245.
- Kluszczewicz, B., Quindry, C. J., Blessing, L. D., Oliver, D. G., Esco, R. M., & Taylor, J. K. (2015). Acute Exercise and Oxidative Stress: CrossFit(TM) vs. Treadmill Bout. *Journal of Human Kinetics*, 47, 81–90.
- Maté-Muñoz, J. L., Lougedo, J. H., Barba, M., Cañuelo-Márquez, A. M., Guodemar-Pérez, J., García-Fernández, P., ... Garnacho-Castaño, M. V. (2018). Cardiometabolic and Muscular Fatigue Responses to Different CrossFit® Workouts. *Journal of Sports Science & Medicine*, 17(4), 668–679.
- McManus, C. J., Collison, J., & Cooper, C. E. (2018). Performance comparison of the MOXY and PortaMon near-infrared spectroscopy muscle oximeters at rest and during exercise. *Journal of Biomedical Optics*, 23(1), 1–14.
- Perciavalle, V., Marchetta, N. S., Giustiniani, S., Borbone, C., Perciavalle, V., Petralia, M. C., ... Coco, M. (2016). Attentive processes, blood lactate and CrossFit®. *The Physician and Sportsmedicine*, 44(4), 403–406.
- Perrey, S., & Ferrari, M. (2018). Muscle Oximetry in Sports Science: A Systematic Review. *Sports Medicine*, 48(3), 597–616.
- Tibana, R. A., de Almeida, L. M., Frade de Sousa, N. M., Nascimento, D. da C., Neto, I. V. de S., de Almeida, J. A., ... Prestes, J. (2016). Two Consecutive Days of Crossfit Training Affects Pro and Anti-inflammatory Cytokines and Osteoprotegerin without Impairments in Muscle Power. *Frontiers in Physiology*, 7, 260.
- Wonisch, M., Hofmann, P., Pokan, R., Kraxner, W., Hödl, R., Maier, R., ... Fruhwald, F. M. (2003). Spiroergometry in cardiology – Physiology and terminology. *Journal fur Kardiologie*, 10, 383–390.

## 5 VÝKON

CrossFit určil povahu sportovního výkonu, díky čemuž bylo možné, aby vznikla závodní podoba. Princip se přenesl i mimo CrossFit, ale nese jeho znaky. Největším závodem jsou již 15 let CrossFit Games, jejichž pojetí je podrobněji popsáno v článku Schlegel & Křehký (2022). Existuje pouze několik málo crossfitových závodů, které díky ochranné známce, mohou mít v názvu CrossFit. Všechny ostatní soutěže nejsou nijak regulovány a je pouze na organizátorovi, jakou budou mít konkrétní podobu. Nejpodstatnějším rozdílem je přístup k modalitám gymnastika, vzpírání, kardio, které jsou v CrossFitu zastoupeny srovnatelně, ale v ostatních závodech tento aspekt není podmínkou. Proto všechny neoficiální závody lze označit jako HIFT.

Závody jsou obvykle rozloženy do 1-3 dnů, během kterých na závodníky čeká cca 5-8 kondičních úkolů nazývaných jako eventy / WOD. Principem je komplexně prověřit závodníky v nejrůznějších disciplínách a jejich kombinacích. Jejich trvání je většinou do 20 minut a jejich podoba je srovnatelná s eventy na CrossFit Games. Eventy jsou na každých závodech jiné a nemají obecně tendenci se opakovat. Výjimku tvoří eventy testující prvky z olympijského vzpírání, ale ani ty nejsou nutnou součástí. Závodníci získávají body podle umístění v jednotlivých eventech, nezáleží tak na absolutním výkonu, ale pořadí.

Eventy se běžně zveřejňují s odstupem hodin až dnů před samotným závodem. Principem je, aby si je závodníci již nestačili vyzkoušet a byl pro ně nový. Díky obrovské variabilitě v sestavování eventů, musejí být závodníci připraveni na „jakýkoliv“ kondiční úkol. Jedno z hesel HIFT, které se přeneslo do závodní podoby je „be prepared for the unknown“.

Pro účast na závodech se tradičně používá video-kvalifikace. Jedná se originální formát, který je však již považován za standard. Závodníci dostanou 1-3 kvalifikační WOD / eventy, které musí splnit do stanoveného termínu. Video musí obsahovat určité náležitosti (viditelnost sportovce, časomíry, ukázka náčiní atd.), aby mohlo být uznáno. Opět záleží na pořadí, díky kterému jsou přiděleny body a umožněn postup vybranému počtu účastníků.

Stejně jako u jiných sportovních disciplín, jsou velmi přínosná data o závodnících na různých úrovních. Tyto informace se přenášejí do tréninkové přípravy nebo organizace závodů. Článek Schlegel et al. (2021) cílil na české crossfity, kteří se výkonnostně velmi odlišují od evropské či světové elity. Výzkumu se zúčastnila většina předních českých závodníků a díky tomu jsme získali obrázek o silových, vytrvalostních schopnostech a také nepřímo o vztahu k jejich osobnímu testování. Neméně důležitým zjištěním pak bylo určení vztahu silových výkonů a konečného pořadí. Výkon v CrossFitu (HIFT) je založen na mnoha faktorech a nelze

nalézt konkrétní prediktor, který by dominantně rozhodl o úspěchu. Existují výzkumy, které se o identifikaci prediktorů pokoušeli (Dexheimer et al., 2019; Feito et al., 2019; Martínez-Gómez et al., 2019; Serafini et al., 2018), nicméně provedené korelace se vztahovaly pouze k 1-5 konkrétním WOD/eventům, což má jen omezenou výpovědní hodnotu.

Analýza výkonů byla předmětem i druhého článku (Schlegel & Křehký, 2022), výzkum se však orientoval na podrobný rozbor účastníků CrossFit Games 2021. Kromě jiného byl diskutován „scaling“, což je úprava obtížnosti modality nebo cviků, která se používá při běžném tréninku. Změny se týkají jedinců s nižší výkonností, věkových skupin, osob se zdravotním postižením. Scaling je aplikován také u žen (týká se především úpravy cviků s externím zatížením) a obdobným způsobem se přenáší i do závodů. Neexistuje konkrétní předpis, nicméně u základních cviků s olympijskou činkou, jednoruční činkou nebo kettlebellem se přepočít ustálil a vytvořilo se nepsané pravidlo. Nastavení scalingu je důležitým procesem při soutěžích a umožňuje mimo jiné genderové srovnání.

Schlegel, P., Režný, L., & Fialová, D. (2021). Pilot study: Performance-ranking relationship analysis in Czech crossfitters. *Journal of human Sport and exercise*. 16 (1).

Schlegel, P., Křehký, A. (2022). Performance sex differences in CrossFit. *Sports*. 10, 165.

# Pilot study: Performance-ranking relationship analysis in Czech crossfitters

PETR SCHLEGEL<sup>1</sup> , LUKÁŠ REŽNÝ<sup>2</sup>, DANA FIALOVÁ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Physical Education and Sport, Faculty of Education, University of Hradec Králové, Czech Republic

<sup>2</sup>Department of Economics, Faculty of Informatics and Management, University of Hradec Králové, Czech Republic

## ABSTRACT

CrossFit is one of the fastest growing sports. Its growing popularity also applies to its competition form. This pilot study aims to analyse strength, endurance performance and their relationship to the resulting ranking in the CrossFit Open. Furthermore, the forms of training of elite Czech crossfitters are described in more detail. The research sample consisted of the 20 best Czechs (average height, age, and bodyweight of 180cm, 28.5 years and 90.7 kg respectively) according to the CrossFit Open ranking. The questionnaire was used to collect information regarding the training regime and their current performance parameters. Descriptive statistics include the correlation between individual performances and overall ranking. Crossfitters had very good strength parameters in exercises with external load and also with their bodyweight (average values: clean and jerk 141.5 kg, snatch 113.9 kg, back squat 184.1 kg, strict press 87.2 kg, deadlift 217.9 kg, strict handstand push-ups 21.5 reps., pull-ups 20.6 reps.). The Olympic weightlifting performance (snatch and clean and jerk) was the strongest predictor for placing (-.606 resp. -.625,  $\alpha=.01$ ). The weekly training time was 800-900 minutes and contained mostly combined training units with a total of 9.2. Given the interesting results achieved in this pilot study, more detailed and validated studies are needed. **Keywords:** Sports performance; Workout; Power; High intensity; Weightlifting.

### Cite this article as:

Schlegel, P., Režný, L., & Fialová, D. (2020). Pilot study: Performance-ranking relationship analysis in Czech crossfitters. *Journal of Human Sport and Exercise*, in press. doi:<https://doi.org/10.14198/jhse.2021.161.17>



**Corresponding author.** Department of Physical Education and Sport, Faculty of Education, University of Hradec Králové, Czech Republic.

E-mail: [petr.schlegel@gmail.com](mailto:petr.schlegel@gmail.com)

Submitted for publication October 16, 2019

Accepted for publication January 13, 2020

Published in press February 17, 2020

JOURNAL OF HUMAN SPORT & EXERCISE ISSN 1988-5202

© Faculty of Education. University of Alicante

doi:10.14198/jhse.2021.161.17

## INTRODUCTION

CrossFit is still one of the young sports disciplines and a sector that has seen a huge boom over the past 15 years. CrossFit is mainly operated by officially licensed gyms, which are found almost all over the world, and their number has exceeded 10,000 (Beers, 2014).

Over time, the competition form and the system by which competitions are organized has also been developed. In this respect, CrossFit is an original and similar concept in the sense of the world championship in other sports branches (Dawson, 2017). Since 2009, there have existed the so-called CrossFit Games. It is currently an "open world championship in CrossFit" that anyone can apply for. During the five weeks ('2019 Leaderboard', 2019), competitors have to pass 5 fitness tests (workouts) online, one each week (Kuhn, 2013), then proceed to the main competition.

This year more than 185,000 men and 140,000 women entered the CrossFit Open, joined by 327 men and 180 women from the Czech Republic<sup>1</sup>. The CrossFit Open is the only opportunity where most of the best crossfitters meet. It is, therefore, a relatively objective overview, which also serves as a feedback for coaches and competitors.

Serafini attempted to describe the performance of crossfitters entered for the CrossFit Open 2016 for the 1500 best-placed crossfitters in the world ranking (Serafini, Feito, & Mangine, 2018). The values were divided by level into five quantiles. One of the important findings was that with the increasing levels of crossfitters strength (snatch, clean and jerk, back squat) endurance performance (running 400m, 5000m) did not change significantly. A similar description is reported by Mangine (Mangine, Cebulla, & Feito, 2018), but they worked only with benchmark workouts and the research sample is a broad crossfitter base from the same competition. These performances show, among other things, a specific level of endurance ability where all modalities are mixed in different forms.

Dexheimer describes the determination of predictors for performance in CrossFit (Dexheimer et al., 2019), where the association of physiological variables (VO<sub>2</sub>max, Wingate test, 3 min running test), strength parameters in the form of "CrossFit Total" (include maximal lifted weight of back squat, deadlift and strict press) and their relationship to the selected benchmark workouts Fran, Grace, Nancy. VO<sub>2</sub>max was the strongest predictor, but only for the Nancy workout. Furthermore, a positive relationship between CrossFit Total and Wingate test was noted.

Butcher (Butcher, Neyedly, Horvey, & Benko, 2015) presents similar research, but he only used Cindy instead of Nancy's workout, but its composition is comparable. In this case, no statistical correlations were found between the physiological parameters and workout performance. Again, the research sample did not represent elite crossfitters, which can be judged by the reported average performance (Fran - 203s, Grace - 136s, back squat - 147 kg, strict press 69 kg).

The relationship of the physiological parameters (VO<sub>2</sub>max, Wingate test), experience with CrossFit and performance in original workouts were examined by Bellar (Bellar, Hatchett, Judge, Breaux, & Marcus, 2015). In one workout, a relationship with several factors (VO<sub>2</sub>max, age, experience) was found; respectively the time they spend training specifically for CrossFit.

---

<sup>1</sup> According to CrossFit Games Open Leaderboard 2019.

In the study of Feito (Feito, Heinrich, Butcher, & Poston, 2018), the relationship of repeated intervals on Wattbike with the original 15 min workout was investigated. The competitive crossfitters participated in the research and it was stated that the ability to regenerate quickly between the intervals of maximum intensity was the most important for the chosen workout. Given the nature of the research, it can be hypothesized that a high level of aerobic and anaerobic endurance is essential to CrossFit performance.

CrossFit typically uses its own training methods but also applies the principles of competitive training (Wilson et al., 2012). In general, there is a lack of more accurate information on how to train individual crossfitters for the level of certain performance parameters (Goins, 2014). The analysis of strength and endurance performance is important to determine their position in overall CrossFit performance (success of an athlete) and subsequent transfer to practice (see Gerhart, Bayles, 2014 (Gerhart & Bayles, 2014)). The way of training, the number of training units and their content are essential for planning, tapering and increasing the overall performance of the athlete (Franchini & Takito, 2014).

The purpose of this research was to discover what strength and endurance performances elite Czech crossfitters achieve and to verify the importance of individual performances in the final ranking in the competition. In addition, the authors aimed to specify the training regime and concept of the content of training units. This is an original pilot study that analyses in detail a sample of athletes selected on the basis of the CrossFit Open results.

## MATERIAL AND METHODS

### *Experimental approach to the problem*

The questionnaire survey was used to collect information concerning anthropometry, selected performance parameters and training regime. It is an unconventional data collection in the context of strength and endurance performance, but Mangine (Mangine et al., 2018) and Serafini (Serafini et al., 2018) work with a similar research plan. The data were collected in April of 2019.

### *Participants*

The research sample consisted of 20 men with the best results in the Czech CrossFit Open ranking. Participants were addressed using an online questionnaire consisting of open questions about their current performance. The respondents were told that the results would be anonymous, without assigning performance to a specific name, in order to limit overestimation of performance. All procedures were approved by the University of Hradec Králové ethics committee (decision no. 5/2019), and the athletes taking part in this study confirmed an informed consent form.

Table 1. Average values for the age, height and weight of the research sample.

	<b>Total sample average</b>	<b>Average for the top 5 athletes</b>
Age	28.5 years	25.2 years
Height	180.7 cm	181.4 cm
Weight	90.7 kg	92 kg

Table 1 shows summary statistics for the respondents, the top five competitors were analysed separately.

### *Measures*

The questionnaire contained questions about the training regime – a number of training units, their length, content. Furthermore, the interviewees filled in their current performance. Their selection was guided by the

CrossFit's orientation and, at the same time, those that could have a meaningful value in relation to the overall performance were chosen. The basic exercises included Olympic weightlifting. Therefore, the maximum lift weights of these exercises were sought clean and jerk, snatch, back squat, front squat, deadlift, strict press. Another important part were the bodyweight elements, where the maximum number of strict handstand push-ups (with a wall support) and strict pull-ups on the horizontal bar were chosen. All exercises had a clear standard, which the competitors know and there is no risk of different technique (e.g. a range of movement). The last part was endurance performance: 5km on the rowing machine, 5km running, "Triangle" (40-minute interval training including assault air bike, rowing machine, concept SkiErg machine). Then the interviewees were given an open question where they could complete their endurance performance lasting at least for 5 minutes.

### Ranking

The ranking of the competitors was based on the performance of the five CrossFit Open 2019 workouts. Athletes are scored by location and their results are added up.

Table 2. CrossFit Open 2019 workouts.

	19.1 (week 1)	19.2 (week 2)	19.3 (week 3)	19.4 (week 4)	19.5 (week 5)
Type	15 min AMRAP	for repetitions and time	for time	for total time	for time
Workout	19 wall ball shots 19 call row	Beginning on an 8-minute clock: 25 toes to bar 50 double unders 15 squat cleans, 135 lb. 25 toes to bar 50 double unders 13 squat cleans, 175 lb.  If completed before 8 minutes, add 4 minutes to the clock and proceed to: 25 toes to bar 50 double unders 11 squat cleans, 225 lb.  If completed before 12 minutes, add 4 minutes to the clock and proceed to: 25 toes to bar 50 double unders 9 squat cleans, 275 lb.  If completed before 16 minutes, add 4 minutes to the clock and proceed to: 25 toes to bar 50 double unders 7 squat cleans, 315 lb.	200 ft dumbbell overhead lunge 50 dumbbell box step-ups 50 strict handstand push-ups 200 ft handstand walks	3 rounds of: 10 snatches 12 bar facing burpees  Then rest 3 minutes before continuing with: 3 rounds of: 10 bar muscle-ups 12 bar facing burpees	33-27-21-15-9 reps of: thruster chest to bar pull-ups
Weights	Throw 20 lb. ball to 10 ft. target	Time cap: 20 min	50 lb dumbbell, 24 in. Box time cap: 10 minutes	Snatch 95 lb.	Thruster 95 lb. Time cap: 20 minutes

Note: AMRAP – as many repetitions as possible.

Table 2 contains the list and description of all the 2019 CrossFit Open workouts.

### Analysis

The data file was sorted out according to the order of individual competitors. Using the IBM SPSS software, version 20, the Spearman rank correlation coefficient was computed for all the obtained variables to verify not only the performance dependence of the selected exercises on the overall rank, but also the performance dependence of each exercise. The described software was also used for creating box graphs and descriptive statistics for the obtained data sample.

## RESULTS

No endurance performance was included in the results section. This is because each response category had less than 50% filled items (unlike the rest of the responses that were complete) and therefore no valid statistical conclusions can be drawn. However, even this fact has a certain informative value, which is further discussed. In addition, average values from incomplete results for 5 km rowing (17:58) and 5 km run (21:50) are provided.

Table 3. Athlete performance summary: minimum, maximum, average and standard deviation of the tested exercises for the whole research subject sample.

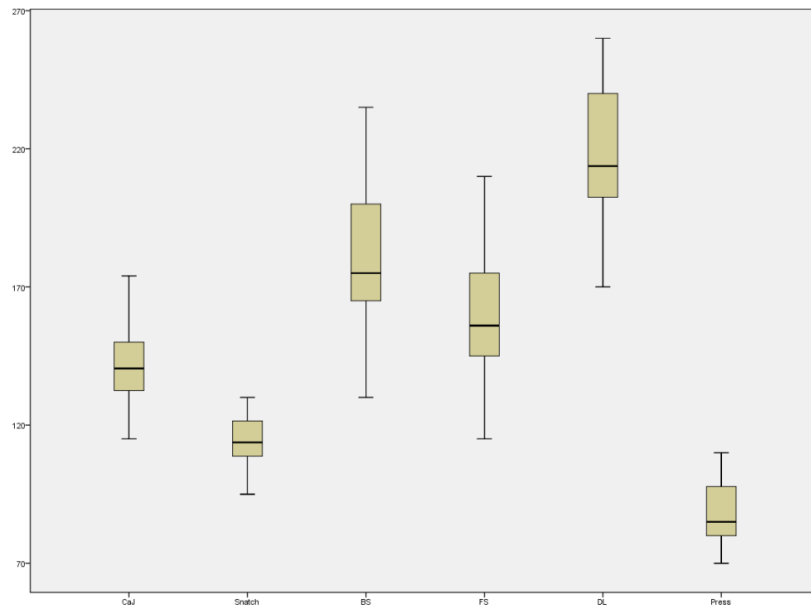
	Minimum	Maximum	Average	Standard deviation
CaJ	115	174	141.5	14.41
Snatch	95	130	113.9	10.37
BS	130	235	184.1	26.93
FS	115	210	160.9	23.4
DL	170	260	217.9	24.32
Press	70	110	87.2	10.84
HSPU	12	32	21.5	6.32
Pull-up	10	31	20.6	4.76

CaJ – Clean and jerk, Snatch, BS – Back squat, FS – Front squat, DL – Deadlift, Press, HSPU – Handstand push-up, Pullup. Values with \* represent amount of repetitions, other one repetition maximum weight in kilograms.

Table 3 shows the values in the measured tests. In weight tests with a barbell, the crossfitters showed highly varied performances; the differences were in the order of tens of kilograms. They differed most in the back squat, deadlift and front squat. On the contrary, we observe a consistent performance in gymnastic exercises. In the box graphs, the monitored parameters are further detailed.

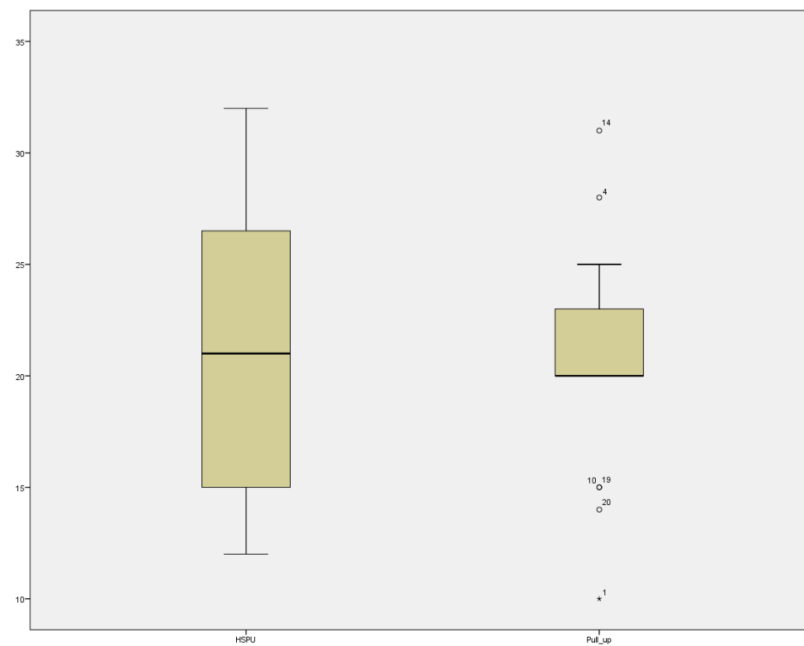
Figure 1 contains box plot for barbell exercises representing one repetition maximums for the previously described athlete sample, while Figure 2 contain the amount of repetitions performed by the same athletes in the selected gymnastic exercises. In the top 5 athletes, we find higher values in all exercises, except for pull-ups, where comparable results were obtained (see Table 4). The greatest difference in terms of absolute values can be seen in the deadlift and both squat variants. In percentage recalculation, the differences between individual parameters are comparable, ranging between 5-9%.





Explanation: Axis Y – Lifted weight in kg, CaJ – Clean and jerk, Snatch, BS – Back squat, FS – Front squat, DL – Deadlift, Press.

Figure 1. Barbell exercises.



Explanation: Axis Y – A number of repetitions, HSPU – Handstand push-up with a wall support, Pull-up.

Figure 2. Gymnastic exercises.

Table 4. Top 5 athletes performance summary: minimum, maximum, average and standard deviation of the tested exercises.

	Minimum	Maximum	Average	Standard deviation
CaJ	125	174	151.3	18.53
Snatch	107.5	127	119.9	8.37
BS	164	235	198.8	34.05
FS	145	210	175	29.15
DL	205	260	233	24.39
Press	83	110	95.6	11.37
HSPU*	21	32	24.4	4.5
Pull up*	10	28	20.8	6.72

CaJ – Clean and jerk, Snatch, BS – Back squat, FS – Front squat, DL – Deadlift, Press, HSPU – Handstand push-up, Pullup. Values with \* represent amount of repetitions, other one repetition maximum weight in kilograms.

Table 5. Spearman's correlation of the selected tests with the overall ranking.

	CaJ	Snatch	BS	FS	DL	Press	HSPU	Pull-up	Ranking
CaJ	1	.884**	.770**	.796**	.666**	.755**	.253	.121	-.606**
Snatch	.884**	1	.716**	.665**	.537*	.696**	.409	.222	-.625**
BS	.770**	.716**	1	.942**	.799**	.808**	.44	.301	-.366
FS	.796**	.665**	.942**	1	.853**	.861**	.438	.282	-.449*
DL	.666**	.537*	.799**	.853**	1	.754**	.407	.292	-.328
Press	.755**	.696**	.808**	.861**	.754**	1	.622**	.405	-.527*
HSPU	.253	.409	.44	.438	.407	.622**	1	.253	-.490*
Pull-up	.121	.222	.301	.282	.292	.405	.253	1	-.124
Rank	-.606**	-.625**	-.366	-.449*	-.328	-.527*	-.490*	-.124	1

\*\* : significant at  $\alpha = .01$ , \* : significant at  $\alpha = .05$

Spearman's correlation showed the strongest relationship between the ranking and the performance in the snatch and clean and jerk ( $\alpha = 0.01$ ). Significant ( $\alpha = 0.05$ ) were also the results in the strict press, handstand push-ups and front squat. The relationship of the back squat and the deadlift was not significant. Interestingly, the strict press performance correlates positively ( $\alpha = 0.01$ ) with all exercises except with bodyweight movements. However, strong correlations were observed for most parameters and their complete list is in the Table 5.

Table 6. Description of the training units (TU).

	Total sample	Top 5
Experience	5.1 years	4.4 years
A number of TU per week	9.2	10.3
TU length	90 mins	80 mins
Mixed TU	4.8	5.4
Strength TU	2.7	2.8

Description of the training habits of the selected athlete sample is displayed in the Table 6. The number of training units per week was 9.2, which means that two-stage training is a common in the selected research sample. The time spent on training specifically for CrossFit was 5.1 years. It is a relatively short time, but it corresponds to the fact that it is a young sport discipline. In more than half of the cases, they use mixed training units that included strength, power and endurance parts or exercises. There are differences between

the top 5 and others in almost all monitored factors, the common feature being the number of pure strength training units. Although it varies in the number of units and their length, the result is comparable when converted to the total training time.

## DISCUSSION

This is an original mapping of the performance and training approach of elite national CrossFit competitors. In contrast to these studies (Bellar et al., 2015; Butcher et al., 2015; Dexheimer et al., 2019; Meyer, Morrison, & Zuniga, 2017), this research takes into account the CrossFit Open performance, which consists of five workouts. These are not known in advance and there is limited time for their completion. All workouts together will test overall performance, not just certain selected modalities, and the end result has a good informative value.

The results section stated that many respondents did not know the answers to their current endurance performance unlike their strength performance, where they had a clear overview. The reason may be a lower accentuation of purely endurance performance (the so-called single modalities) in CrossFit competitions. Another cause may be the limited direct transmission of these parameters to the exercise itself - fitness tasks are usually composed of multiple modalities (Bellar et al., 2015). Also, it is not yet clear what influence, for example, the performance of 5km on the rower has on the multifactorial load typical of CrossFit. At the same time, there is too much variety in endurance testing - varying in length, resources and, moreover, in combination with personal preferences to track specific performance.

Due to the high importance of endurance abilities, which significantly contribute to the most CrossFit performances, it is necessary to capture this area during testing [8]. The essence of both anaerobic and aerobic fitness in the form of VO<sub>2</sub> max was demonstrated by Dexheimer (Dexheimer et al., 2019) or Feito (Feito et al., 2018), although only for some workouts, the results were not related to the complex CrossFit performance.

Certainly, due to the complex nature of CrossFit, it is not possible to find one criterion to assess the potential of a crossfitter. At the same time, the tests should be specific as some devices are still under-used (i.e., assault air bike). A pure endurance activity lasting 5 to 20 minutes could have a certain informative value, where submaximal to maximal intensity is also achieved (see Feito (Feito, Giardina, Butcher, & Mangine, 2019)).

When compared to the Serafini study (Serafini et al., 2018), which included the 1,500 best men in the CrossFit Open 2016, the sample examined is on the border of the 1st best quantile. The top 5 would then rank in the 1st quantile, lagging only in the back squat, which had an average value of 201.6 kg. In terms of endurance ability, a partial comparison can be made for the 5 km run, where athletes from the 1st quantile reported an average of 21.3 min, which is a lower time compared to 21.8 min. However, it is important to mention the increasing level of performance parameters, which would probably be higher this year.

Strength performances in the back squat, deadlift and strict press are among the commonly used indicators in sports training (Ivey & Stoner, 2011). The bench-press is generally used instead of the strict-press (Simmons, 2007), but due to the nature of CrossFit, it is applied less frequently as in Olympic weightlifting. Basic barbell lifts expressed as bodyweight multiples are very often used as benchmarks of an athlete (Rippetoe & Kilgore, 2007), which is not yet widely used in CrossFit. In the case of this sample, obtained averages were the following: back squat 2x, deadlift 2.4x, strict press almost 1x.

An important factor also appears to be the vertical pressing strength, be it with a barbell or with your own body. Again, this shows the complex readiness of the athlete, who must have good strength parameters in many areas. Although the bar exercises are a standard part of the fitness “tasks”, the upper body pulling strength was not significantly correlated with the overall ranking. However, it cannot be concluded that the recurrence parameter is not important. To interpret the correlation, we have to add that the results were very balanced. Therefore, the weak correlation of the monitored traits is described.

In the gymnastics exercises, the crossfitters performed very well. It turned out that even working with one’s own body must be on a very good level. It was not a maximum strength test like other parameters. Results in terms of a small difference between the top 5 and the others suggest that there could be a similar trend to that of Serafini (Serafini et al., 2018). As the level of the crossfitter rises, the power and weightlifting performances are increasing, while in others they show comparable results.

The correlation shows that the strongest predictors for the final ranking were snatch and the clean and jerk performance. A weaker correlation, although still statistically significant, is observed in the case of the strict-press, strict handstand push-ups, and front squat. Obviously, the Olympic weightlifting occupies an important position in relation to CrossFit performance. Working with a barbell is typical of CrossFit type of training, so it is also emphasized in the competitive concept (Mangine et al., 2018). For good placement within this set, it is necessary to reach approximately 113.8 kg in snatch and 141.5 kg in clean and jerk.

For CrossFit performance, it is important to combine power and endurance parameters. This is confirmed by Dexheimer (Dexheimer et al., 2019), Butcher (Butcher et al., 2015) or Bellar (Bellar et al., 2015). Research shows different correlations of individual performances and selected workouts, for which their nature is decisive.

The analysis of the data confirms the importance of back and front squat performance for the Olympic weightlifting and at the same time show a significant link to all strength elements except for gymnastic exercises. It is confirmed that both exercises are a good predictor of the strength performance not only of the lower half of the body (Schoenfeld, 2010). In addition to weightlifting, it is essential for good results in CrossFit also to have a good performance in the basic variants of squat with external load.

As in other sports disciplines, there is a big difference between the best and the rest of the group (Proietti et al., 2017). There are striking differences in weightlifting disciplines (about 10kg) as well as large dumbbell exercises, while in exercises with one’s own body the results are comparable. Lifting performance seems to have a much greater effect on competition placement.

The results show that for the CrossFit success, it is necessary to spend about 800-900 minutes of training per week, which requires two-phase training units. Because CrossFit is characterized by high intensity (Fernández, Solana, Moya, Marin, & Ramón, 2015), it is necessary to optimally set the content and time interval between units to avoid overload and maladaptation (Johnston et al., 2016). This time does not include, for example, regeneration techniques or massages, which are an important part of the training process.

The concept of the content of the training units seems to be a very individual matter. It is difficult to evaluate their exact content, yet it is clear that crossfitters devote a lot of time to mixed training of individual modalities. On the other hand, an analytical approach is applied in the independent development of individual motor skills, which is necessary for success in complex sports disciplines (Kniffin, Howley, & Bardreau, 2017).

For the sake of completeness, the main limitations of the research are presented. The data were collected in an unconventional way using a questionnaire survey. The authors did not have control over conducting the performances and had to rely on the credibility of the answers. However, the standard complex testing of the selected parameters for this sample seems very difficult to perform. It should also be taken into account that the research sample was selected based on the results of the CrossFit Open, which has its specificities and cannot be taken as an absolute measure of crossfitter performance.

### **Practical applications**

- Competitors should devote a lot of time to the Olympic weightlifting, respectively to the activities that will help them improve their performance.
- For success, the strength performances not only with barbell but also with bodyweight are important.
- Pay special attention to the level of aerobic and anaerobic endurance in testing.
- In case of a high number of training units, optimally set their content and combination (with regards to overtraining and interference effect).
- The exact number of training units and their duration is individual.

### **CONCLUSION**

The performance and competition form of CrossFit is still relatively unmapped in terms of specific performance, training analysis and their relationship to overall success. The questionnaire survey showed that the crossfitters have very good weightlifting (snatch 113.9 kg, clean and jerk 141.5 kg) and strength performance (back squat 184.1 kg, deadlift 217.8 kg, strict press 87.2 kg). At the same time, it can be stated that they achieve relatively high repetition amount in gymnastic elements (21.5 hand-stand push-ups). The correlation showed a strongest relationship of  $\alpha=.01$  between clean and jerk (-. 606) and snatch (-. 625) in terms of ranking in the top twenty at the CrossFit Open. The sample also confirmed the strict press as a general predictor of overall strength development. It also turned out that the top 5 crossfitters differ significantly from the rest of the sample, the difference in individual parameters is up to 9%. The weekly training time (800-900 minutes) is comparable to other (semi) professional sports. The content of the training units is mostly of a mixed character, but there is a lot of space devoted to the development of strength. The results are also valuable as information for trainers or competitors from the perspective of training organization, setting specific goals (e.g., strength/ technical development in a given exercise) and feedback compared to other crossfitters. Being the first research of this type, other similarly focused research is needed to verify these conclusions.

### **AUTHOR CONTRIBUTIONS**

P.S. developed the theoretical formalism, collected data, L.R. performed statistical data processing, D.F. supervised the project.

### **SUPPORTING AGENCIES**

The support of the Specific research project of FIM UHK for the year 2020 is gratefully acknowledged. Special thanks go to Michal Měsíček for his helpfulness and assistance.

### **DISCLOSURE STATEMENT**

The authors declare no conflict of interest.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank the athletes for their kind participation in this study.

## REFERENCES

- 2019 Leaderboard. (2019, April 27). Retrieved 27 April 2019, from CrossFit Games website: <https://games.crossfit.com/leaderboard/open/2019>
- Beers, E. (2014). Virtuosity goes viral. *CrossFit Journal*, 6, 1–10.
- Bellar, D., Hatchett, A., Judge, L., Breaux, M., & Marcus, L. (2015). The relationship of aerobic capacity, anaerobic peak power and experience to performance in CrossFit exercise. *Biology of Sport*, 32(4), 315–320. <https://doi.org/10.5604/20831862.1174771>
- Butcher, S. J., Neyedly, T. J., Horvey, K. J., & Benko, C. R. (2015). Do physiological measures predict selected CrossFit(®) benchmark performance? *Open Access Journal of Sports Medicine*, 6, 241–247. <https://doi.org/10.2147/OAJSM.S88265>
- Dawson, M. C. (2017). CrossFit: Fitness cult or reinventive institution? *International Review for the Sociology of Sport*, 52(3), 361–379. <https://doi.org/10.1177/1012690215591793>
- Dexheimer, J. D., Schroeder, E. T., Sawyer, B. J., Pettitt, R. W., Aguinaldo, A. L., & Torrence, W. A. (2019). Physiological Performance Measures as Indicators of CrossFit® Performance. *Sports*, 7(4). <https://doi.org/10.3390/sports7040093>
- Feito, Y., Giardina, M. J., Butcher, S., & Mangine, G. T. (2019). Repeated anaerobic tests predict performance among a group of advanced CrossFit-trained athletes. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism = Physiologie Appliquee, Nutrition Et Metabolisme*, 44(7), 727–735. <https://doi.org/10.1139/apnm-2018-0509>
- Feito, Y., Heinrich, K. M., Butcher, S. J., & Poston, W. S. C. (2018). High-Intensity Functional Training (HIFT): Definition and Research Implications for Improved Fitness. *Sports (Basel, Switzerland)*, 6(3). <https://doi.org/10.3390/sports6030076>
- Fernández, J. F., Solana, R. S., Moya, D., Marin, J. M. S., & Ramón, M. M. (2015). Acute physiological responses during crossfit® workouts. *European Journal of Human Movement*, 35(0), 114–124.
- Franchini, E., & Takito, M. Y. (2014). Olympic Preparation in Brazilian Judo Athletes: Description and Perceived Relevance of Training Practices. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(6), 1606. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000300>
- Gerhart, D. H., & Bayles, M. P. (2014). A Comparison of CrossFit Training to Traditional Anaerobic Resistance Training in Terms of Selected Fitness Domains Representative of Overall Athletic Performance. *International Journal of Exercise Science: Conference Proceedings*, 9(2). Retrieved from <https://digitalcommons.wku.edu/ijesab/vol9/iss2/26>
- Goins, J. M. (2014). Physiological and performance effects of Crossfit (Thesis, University of Alabama Libraries). Retrieved from <http://ir.ua.edu/handle/123456789/2005>
- Ivey, P. A., & Stoner, J. D. (2011). *Complete Conditioning for Football* (Pap/DVD edition). Champaign, IL: Human Kinetics Publishers.
- Johnston, M. J., Cook, C. J., Drake, D., Costley, L., Johnston, J. P., & Kilduff, L. P. (2016). The Neuromuscular, Biochemical, and Endocrine Responses to a Single-Session Vs. Double-Session Training Day in Elite Athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 30(11), 3098. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001423>
- Kniffin, K. M., Howley, T., & Bardreau, C. (2017). Putting Muscle Into Sports Analytics: Strength, Conditioning, and Ice Hockey Performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(12), 3253. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002211>

- Kuhn, S. (2013). The Culture of CrossFit: A Lifestyle Prescription for Optimal Health and Fitness. Senior Theses - Anthropology. Retrieved from <https://ir.library.illinoisstate.edu/sta/1>
- Mangine, G. T., Cebulla, B., & Feito, Y. (2018). Normative Values for Self-Reported Benchmark Workout Scores in CrossFit® Practitioners. *Sports Medicine - Open*, 4(1), 39. <https://doi.org/10.1186/s40798-018-0156-x>
- Meyer, J., Morrison, J., & Zuniga, J. (2017). The Benefits and Risks of CrossFit: A Systematic Review. *Workplace Health & Safety*, 65(12), 612–618. <https://doi.org/10.1177/2165079916685568>
- Proietti, R., di Fronso, S., Pereira, L. A., Bortoli, L., Robazza, C., Nakamura, F. Y., & Bertollo, M. (2017). Heart Rate Variability Discriminates Competitive Levels in Professional Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(6), 1719–1725. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001795>
- Rippetoe, M., & Kilgore, L. (2007). *Starting Strength: Basic Barbell Training*. Aasgaard Company.
- Schoenfeld, B. J. (2010). Squatting kinematics and kinetics and their application to exercise performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(12), 3497–3506. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181bac2d7>
- Serafini, P. R., Feito, Y., & Mangine, G. T. (2018). Self-reported Measures of Strength and Sport-Specific Skills Distinguish Ranking in an International Online Fitness Competition. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(12), 3474–3484. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001843>
- Simmons, L. (2007). *The Westside Barbell Book of Methods*. Westside Barbell.
- Wilson, J. M., Marin, P. J., Rhea, M. R., Wilson, S. M. C., Loenneke, J. P., & Anderson, J. C. (2012). Concurrent training: A meta-analysis examining interference of aerobic and resistance exercises. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(8), 2293–2307. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31823a3e2d>



This work is licensed under a [Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/) (CC BY-NC-ND 4.0).

Article

# Performance Sex Differences in CrossFit®

Petr Schlegel \* and Adam Křehký

Department of Physical Education and Sports, Faculty of Education, University of Hradec Kralove, Hradec Králové 500 03, Czech Republic

\* Correspondence: petr.schlegel@uhk.cz

**Abstract:** CrossFit® has a unique standard for workout of the day for women and men. Scaling is used to set difficulty levels for women in CrossFit® gyms and competitions. This type of scaling is applied for weightlifting (60–82% of men’s load); however, there are usually no differences in difficulty settings for gymnastics and monostructural metabolic conditioning. Performance analysis is essential for every sports discipline, and statistical data comparing men’s and women’s results from athletics, running, swimming, weightlifting, etc., are available. However, CrossFit® lacks these statistics. The aim of our study was to analyze how the performances of men and women differed at the 2021 CrossFit Games®. Our sample comprised 40 female (age  $27.8 \pm 5.1$ ) and 40 male participants (age  $27.2 \pm 3.7$ ) competing in the Rx division. Data obtained from all events were analyzed using effect size and percentage. In 14 out of 15 events, men achieved better results than women. Even with the implementation of scaling, women’s results differed by 0.1–33.1% (effect size from small to large). Scaling for women is designed according to general strength and power differences; however, primarily because of anatomic and physiological differences, men attain better results. However, CrossFit Games® events are always unique, and the events rarely repeat; therefore, our study does not provide firm conclusions. As our study is the first to compare CrossFit Games® performance between the sexes, further research is needed.

**Keywords:** gender; endurance; strength; competition

**Citation:** Schlegel, P.; Křehký, A. Performance Sex Differences in CrossFit®. *Sports* **2022**, *10*, 165. <https://doi.org/10.3390/sports10110165>

Academic Editor: Gregory C. Bogdanis

Received: 19 August 2022

Accepted: 21 October 2022

Published: 25 October 2022

**Publisher’s Note:** MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



**Copyright:** © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## 1. Introduction

CrossFit® is more than just an activity to keep you fit, it can be regarded as a sports discipline, community, or lifestyle. Since its establishment in 1990, CrossFit® has been advocating for gender equality [1], and its approach questions traditional femininity and sex differences [2]. Its competitions also place importance on equal conditions, and the number of events for men and women competing is always equal.

CrossFit® uses scaling to create optimal conditions for various age groups, adaptive athletes, or performance levels. Its WOD (workout of the day) was created with specific options for both men and women [3]. CrossFit® comprises three individual and equally valued modalities: gymnastics (G), weightlifting (W), and monostructural metabolic conditioning (M). Women’s scaling applies mostly to W, which involves Olympic weightlifting, powerlifting, dumbbells, medicine balls, etc. The modalities of G (pull-up, handstand push-up, muscle-up, one-leg squat, etc.) and M (running, rowing, swimming, rope jumping, etc.) are almost always equal [4]. The same principle is used in competitions. However, exceptions are possible. In the last five years of the CrossFit Games®, exceptions were applied to a total of six events—four in M (number of calories) and two in G.

The CrossFit Games® event has similar features to a championship. Over four days, athletes take part in multiple events that are similar to training for the general population of individuals who do CrossFit. However, the environments are different. Events take place “out of the gym”—in fields, stadiums, beaches, etc., and with less common equipment (paddleboard, mountain bike, “Pig”, etc.). The equipment and difficulty of



movements in some events differ (e.g., handstand walking across parallel bars). Competition events are usually extremely variable in terms of their program duration and modalities. During the events, the G, W, and M modalities are either combined or only one is used [5]. The athletes have to show top-level performance in a broad spectrum of skills and abilities, such as maximum strength, strength endurance, and aerobic or anaerobic endurance. The aim is to find the “fittest on earth”.

Researchers have conducted several studies concerning the important predictors for CrossFit® performance. For instance, Dexheimer et al. [6] and Feito et al. [7] identified aerobic and anaerobic endurance as important parameters. However, their conclusions were based on a specific workout that did not meet the broad CrossFit® requirements. Serafini et al. [5] analyzed benchmark performances from both sexes (the data were taken from the profiles of competitors) and compared deadlift, back squat, and snatch results. According to the level of the athletes, performance increases were comparable in both sexes; however, women reached approximately 65% of men’s load. Martínez-Gómez et al. [8] and Schlegel et al. [9] conducted research on the relationship between ranking in the CrossFit Open (first qualifying round for CrossFit Games® and strength and endurance tests, and they determined back squat and Olympic weightlifting performance as key predictors for high ranking. However, CrossFit Games® athletes have not been analyzed in terms of predictors and ranking. The relationship between exercise in the CrossFit Open and physiological fitness measures and self-reported fitness has been studied with a sample of amateur and (semi)professional CrossFit competitors [10]. Body-fat percentage and vastus lateralis cross-sectional area were key predictors. A medium to high positive correlation was found for  $VO_{2peak}$  in all workouts except weightlifting.

Some researchers also included women in their study sample, and there were no differences in the analyses concerning men and women [6,7,10]. Tibana et al. [11] found comparable predictors (strength, specific muscle endurance test) for the CrossFit Open for both men ( $n = 11$ ) and women ( $n = 6$ ). For women, in contrast to men,  $VO_{2max}$  had a large positive correlation with event results. Significant sex differences emerged from correlation analyses between rankings and selected benchmark workouts [12]. Among men, no significant relationship was found in any workout; however, among women, variables such as the 400 m run and weights in the clean, jerk, and snatch events had a significant correlation to ranking. Despite this existing research, the information concluded in these studies is not sufficient to determine differences between men’s and women’s performances.

Physiological factors may be considerable when comparing performance results between men and women. Each sex has different anatomic and physiological predispositions for strength- and endurance-related performance. Men have more muscle mass; less fat mass; more type 2 muscle fibers; and higher levels of muscle glycogen storage,  $VO_{2peak}$ , hemoglobin and red blood vessels, maximal anaerobic power, and testosterone and growth hormones [13,14]. Women have more type 1 muscle fibers, more effective beta-oxidation of fatty acids, less vascular occlusion during muscle work, lower central and local fatigability, higher muscle endurance, and higher levels of estrogen, progesterone, and luteinizing hormone [15–17]. However, both groups have shown comparable results in terms of movement economy [18].

Performance differences among men and women are apparent in all disciplines of CrossFit®. In Olympic weightlifting, women’s performance is around 64–80% of men’s; furthermore, in powerlifting, it is 61% [19,20]. In gymnastic exercises focused on the upper body, men performed 1.6–2.3 times more repetitions with the difference being 40–62% [21–23]. In short-distance (<20 min) endurance disciplines (running, rowing, swimming, mountain skiing, etc.), the difference is 6–11% [14,16,24].

Statistical data on performance differences between men and women are essential for every sports discipline—they provide considerable information about current states or trends [22]. The analysis also helps determine sex-specific aspects of sports performance

(e.g., physical preparedness) and gives considerable information for coaching and training [14].

Unlike other disciplines in which the topic of differences between men and women has been already studied, research in CrossFit® is still lacking. While the performance data significantly differed in strength- and endurance-oriented disciplines, scaling in CrossFit® is unique and considers strength differences only when exercising with external loads. Our article aimed to analyze and compare athletes' performances in the 2021 CrossFit Games®. Our second aim was to discover to what extent the applied scaling is related to general physical differences between male and female athletes.

## 2. Materials and Methods

We selected 40 women (age  $27.8 \pm 5.1$ , height  $164.6 \pm 4.5$  cm, weight  $66.3 \pm 4.7$  kg) and 40 men (age  $27.2 \pm 3.7$ , height  $177 \pm 5.5$  cm, weight  $88.9 \pm 4.9$  kg) who competed in the 2021 CrossFit Games® for our analysis. Although we recruited 40 women and 40 men for our study, the number of participants varied for each event (mostly due to their injuries), as explained in the results section. During the competition, women and men athletes were cut based on rankings after events 9 and 10 to 30 and 20 athletes, respectively.

Qualifying for the CrossFit Games® is specific in many aspects and cannot be compared to any other discipline. The criteria has changed several times in the past; here, we used the requirements for 2021 [25]. The first phase is the online initial round called CrossFit Open, in which anyone aged 14 and older can participate. It lasts for three weeks, each Thursday one event is announced, and the athletes must submit their scores within the following four days. The top 10% from each continent advance to the quarterfinals, which are also held online. In two days, the athletes take part in four events. Then, the best 30 athletes qualify for 10 in-person semifinals. From here, the best three advance to the CrossFit Games®. Then, there is a last-chance qualifier for all the athletes who missed the cut in the semifinals. They take part in four events and the best 10 also advance to the CrossFit Games®. A total of 40 men and 40 women take part in the Rx division of the CrossFit Games®.

We extracted all data from the CrossFit Games® official website and obtained information about the athletes from their profiles [25]. Other data—ranking, distribution of points, results (time, number of repetitions, lifted weight, etc.)—are shown on the leaderboard. We analyzed all results for each event. We evaluated the representation of modalities G, W, and M, and the scaling for each event, separately.

### 2.1. Performance

The CrossFit Games® lasted for four days during which the athletes took part in 15 events (Table 1). After the 9th event, there was a cut to 30 athletes and after the 10th event, another cut to 20 athletes. The specific composition of the events is announced during the contest. Rankings (relative scoring system) and appropriate points are awarded according to event results (100 points for 1st place). Points distribution depends on the number of athletes—the last athlete obtains 1, 2, or 5 points after the last cut. The athlete with the highest total sum of points from all the events wins.

There are two basic variations of events: you can either finish a given task in the shortest time possible (*the time variation*) or do as many repetitions as possible in the given time. There is a time cap for *the time variation*. Our research results consist of a specific time and the number of missing or completed repetitions (weight lifted). The athletes did not complete all repetitions within the time cap in six events (2, 4, 6, 7, 8, 14). We converted scores into repetitions per second to accurately process the results. Mangine et al. used the same procedure [10].

The events were designed according to the traditional CrossFit® standards—the conditions for men and women in G and M were set as equal with the following exceptions: for event no. 5, the distance on Ski Erg was lowered to 400 m (−20%) in the women's category. For event no. 6, the time caps were 7 and 6 min for men and women, respectively.

The women's load in W was scaled to 64–82% of men's weight. The scale of more commonly used exercises (Olympic weightlifting, dumbbell) was between 64–72% in the women's category.

The number of modalities (G, W, M) that a CrossFit performance comprises should be equal. In the case of the 2021 CrossFit Games®, it was 8x G, 11x W and 11x M. Although G is included fewer times, there were two events where G was a single modality, which makes the total number more balanced.

**Table 1.** CrossFit Games® 2021 events.

Event 1	Event 2	Event 3	Event 4
For time: 1-mile swim with fins 3-mile kayak	For time: 126-ft. sled drag, 180   220 lb. 5 Pig flips, 350   510 lb. 12 muscle-ups 12 bar muscle-ups 12 bar muscle-ups 12 muscle-ups 5 Pig flips 126-ft. sled drag Time cap: 12 min.	For time: 550-yard sprint Time cap: 4 min.	For time: 10-9-8-7-6-5-4-3-2-1 reps of: Wall walks Thrusters, 135   185 lb. (short bars) Time cap: 20 min
Event 5	Events 6/7	Event 8	Event 9
4 rounds for time: 4 rope climbs 500/400 ski erg Sandbag carry	5 rounds for time of: 250-m run 1 clean Women: 165   175   185   195   205 lb. Men: 245   265   285   305   315 lb. Time cap: 6/7 min.  5 rounds for time of: 200-m run out of the Coliseum 1 clean Women: 210   215   220   225   230 lb. Men: 325   335   340   345   350 lb. Time cap: 8 min	For time: Navigate the handstand walking course Time cap: 5 min.	21-15-9: Echo bike (cal.) Snatch, 75   105 lb. (short bars) Time cap: 8 min.
CUT TO 20 ATHLETES			
Event 11	Event 12	Event 13	Event 14
11-min. AMRAP: 1 pegboard ascent 7 single-arm dumbbell overhead squats, 50   70 lb. 15 heavy double-unders	1-rep-max snatch	4 rounds of: 20 GHD sit-ups 8 cheese curd burpees over the hay bale, 70   100 lb. 168-ft. yoke carry, 425   605 lb. 1-min. reset Time caps by round: 2   2   2   3 min	6-10-14 reps of: Deadlifts, 275   405 lb. (short bars) Freestanding handstand push-ups Time cap: 7 min.
Event 15	-	-	-
For time: 600-m row 90 chest-to-bar pull-ups 36-ft. back-rack walking lunge 36-ft. front-rack walking lunge 36-ft. overhead walking lunge 135   185 lb., short bar Time cap: 11 min.	-	-	-

Weights and time caps for women are listed first.

## 2.2. Statistical Analysis

Because this is an exploratory study, descriptive statistics and effect size were used for statistical processing. In descriptive statistics, the data are presented as the mean  $\pm$  standard deviation (SD). To support the effect size results, differences between men and women were calculated as the percentage difference. The IBM SPSS 18.0.1 statistics program was used for data processing. As each event has its particular features, the data are presented as time averages (h: mm: ss), load averages (kg), and an average of the recalculation of the duration of each repetition (ss.ss). Cohen's  $d$  with the scale  $<0.20$  = trivial,  $0.20$ – $0.49$  = small,  $0.50$ – $0.79$  = medium,  $\geq 0.80$  = large was used to assess the material significance of performance differences [26]. This procedure was selected due to the independence of the sample size (i.e., the decreasing number of competitors during events), the characteristics of the effect size of the differences, as well as the context (i.e., the difference between men and women) [27].

## 3. Results

Athletes took part in 15 events that were different both in terms of their nature and duration. The average event durations were 14 min and 24 s for women and 13 min and 23 s for men (event no. 1 differed considerably in this regard, and when using the median, the overall result was 8 min and 6 s for women and 7 min and 26 s for men). The differences are 7.1% and 8.2% for women and men, respectively.

Table 2 shows the results for men and women in individual events, including absolute and percent differences. In six events, the athletes who failed to complete all repetitions in the time cap are in italics. Event no. 4 is the only one in which women achieved better results. The results are presented as time averages (hours: minutes: seconds) (events nos. 1, 3, 5, 9, 10, 13, 15), load averages (kg) (event no. 12), and the averages of the recalculation of the duration of each repetition (seconds) (events nos. 2, 4, 6, 7, 8, 12, 14).

For events no. 7 and 8, the difference between the results for men and women was 17.2% and 12.9%, respectively, although the effect size was  $d = -0.112$  and  $d = 0.082$ , respectively. The reason is a large standard deviation; however, according to the comparison of averages, the difference can be considered meaningful.

There were only marginal differences between men and women in events no. 1, 5, 6, and 14 if we take the effect size and percentage into account. In event no. 5, contrary to other endurance disciplines, the distance on SkiErg in the women's category was shortened.

The differences between event results ranged from 0.1% (event no. 6) to 33.1% (event no. 12). We observed the biggest difference between the sexes for the event that comprised weightlifting (1 RM snatch)—weights in the ladder were scaled. We observed the greatest statistical differences (large size effect) in events no. 2, 3, 9, 10, 11, and 12.

**Table 2.** Comparison of men's and women's results.

Event	Modality (G. W. M)	N Women	N Men	Women Average	SD (s)	Men Average	SD (s)	Difference	Difference %	Cohen's $d$	Size of Effect
1	M	36	38	1:16:55	354.62	1:14:41	249.24	0:02:13	2.9	0.437	small
2	M.W	36	38	<i>10.36</i>	<i>1.2</i>	<i>8.62</i>	<i>1.07</i>	<i>1.74</i>	20.1	1.523	large
3	M	36	37	0:01:31	5.1	0:01:20	4.53	0:00:11	12.1	2.366	large
4	G. W	36	37	9.77 *	1.29	11.23	5.44	1.47	13.1	-0.372 *	small
5	G. W. M	35	36	0:13:17	57.57	0:12:58	44.22	0:00:19	2.4	0.368	small
6	W. M	34	35	40.7	3.99	40.66	3.62	0.04	0.1	0.01	small
7	W. M	34	34	70.4	105.1	60.1	76.8	10.32	17.2	-0.112 *	small
8	G	34	34	8.74	13	7.74	11.2	1	12.9	0.082	small
9	W. M	34	34	0:05:12	31.91	0:04:05	22.72	0:01:07	21.5	2.422	large
10	G. M	30	30	0:24:05	88.51	0:22:41	78.17	0:01:24	5.8	1.008	large
11	G. W. M	20	20	184.55 ' <i></i>	29.95	227.3 ' <i></i>	33.39	42.75	18.7	1.348	large
12	W	20	20	82,6 ^ <i></i>	4.32	123.3 ^ <i></i>	10.2	40.7	33.1	5.218	large

13	G. W. M	19	20	0:08:16	192.95	0:07:20	150.17	0:00:56	11.3	0.323	small
14	G. W	19	20	<i>10.86</i>	<i>3.4</i>	<i>10.65</i>	<i>3.4</i>	<i>0.2</i>	1.9	0.036	small
15	G. W. M	19	20	0:07:55	42.29	0:07:32	42.29	0:00:23	4.8	0.626	medium

G—Gymnastics; W—Weightlifting; M—Monostructural metabolic conditioning; \*—better performance among women; ^—kg; '—repetitions; italics—event, where all athletes failed complete all repetitions.

#### 4. Discussion

Our study aimed to describe the performance differences between male and female athletes at the 2021 CrossFit Games®. We analyzed 15 events from the 2021 event and evaluated percentage differences. Women performed better in one of the events; furthermore, differences between men and women were not meaningful in five other events. The purpose of our study was to also compare final scores between men and women after scaling. Even though the data demonstrated that scaling reduces differences between men and women for absolute performance, men still performed better in most events.

Although CrossFit® uses scaling, men and women did not obtain identical results. Women were more successful in event no. 4, which consisted of two exercises, thrusters, and wall walks, and it was most demanding on upper-body strength, with a difference of 13.1%. The barbell's weight was scaled to 135 lbs (72% of men's load). Women appeared to have better predispositions for such types of physical activity—a high dependence on arm muscle recovery, in particular on beta-oxidation, aerobic glycolysis, and lactate metabolism [13]. Men achieved better results in 14 out of 15 events, ranging from 0.1 to 33.1%. Nevertheless, the differences were not meaningful in three of these events, confirming that there are differences among men and women in their performances, even when scaling is applied [14,16,24].

The difference between sexes in the longest endurance event (swimming combined with kayaking) was 2.9%. In general, the difference between men and women decreases for longer (>60 min) tracks [17,24]. The main reason is probably the more effective beta-oxidation of fat among women [13]. A higher difference between the sexes was obvious in the 550-yard sprint (event no. 3)—12.1%. This may be due to muscle morphology, lower absolute muscle force, or lower power output [15].

We observed a small difference ( $d = 0.082$ , 12.9%) in performance between men and women in gymnastics event no. 8. The difference in bodyweight upper-body performance is generally higher (40–62%) [22,23]; however, one-time maximum repetition is usually tested in this event. Event no. 8's duration (handstand walking course) was approximately 3–4 min; therefore, we can expect a lower difference. The differences between sexes are noteworthy even in exercises with a higher repetition count that demand endurance and depend on technical proficiency (not the strict form).

In event no. 12, which comprised only weightlifting (1 RM snatch), the difference between men and women was 33.1%. Scaling in CrossFit® with load adjustments to 64–72% is well set according to weightlifting or powerlifting performance [19,20] and corresponds to the real strength differences in CrossFit athletes. Thanks to that, women and men can participate in the same events; however, the existence of performance sex differences comparable to powerlifting or Olympic weightlifting has been confirmed [19,28].

The scaling for W is adequate for carrying out the same strength task for both sexes. In general, no scaling is used for M and G, so performance differences (like in relative strength or track and field performance) [16,21] are expected. If the aim was to obtain similar results, these modalities would also have to be scaled. Shortening the distance by 20% in event no. 5 led to only a small difference between men's and women's results ( $d = 0.368$ ). Scaling endurance disciplines (M) could be a good way to reduce result differences; however, finding the right scaling levels is difficult because the performances of men and women differ by 6–12% depending on the track and field discipline, and by an even smaller percentage in longer durations (>30 min) [14]. On the other hand, the current goal

of scaling is not to achieve the same result for men and women but to maintain tasks and a similar (external and internal) load.

Most events include multiple modalities that do not have the same difficulty. That is why, for example in the combination of G, W, and M (events no. 5, 11, 13, 15), there is a difference of 4.8–18.7% (from small to large size effect). Due to this, for specific combinations of modalities, it is difficult to determine any general conclusions of performance differences.

The reasons for performance differences are probably not based solely on anatomical and physiological differences. More frequent participation in sports leads to better adaptation and can increase the number of athletes, from whom the best are selected [29]. Other variables could affect performance differences: training regimen (length, methods, volume, etc.), psychological mechanisms (pain resistance, motivation to win), body composition, or incidence of injuries.

Although scaling in CrossFit® follows clear rules [3], there have been random exceptions in recent years. Unfortunately, the reasons for this remain unknown, and the organizers of the CrossFit Games® are not bound by any prescribed rules for compiling events. This condition makes it difficult to analyze and interpret the results. The fact that each CrossFit® competition is unique and the events do not repeat can be regarded as a study limitation, and it is possible that results from previous years could be different. Additionally, we must take into consideration that some athletes dropped out during the competition.

## 5. Conclusions

CrossFit® is a sports discipline that uses original scaling for men and women. Our analysis results of CrossFit Games® athletes show a sex performance difference from 0.1 to 33.1%. The biggest difference was in Olympic weightlifting (1 RM snatch). Similar to other sports disciplines, there were differences in event results between the sexes. Despite scaling, men generally achieved better results because of their anatomical and physiological differences. On the other hand, women achieved better results in one event, and in the other four, the differences were small. However, CrossFit Games® events are always unique and the events rarely repeat; therefore, the results from another year could differ. As this study is the first to compare results between sexes for the CrossFit Games®, additional future studies should be conducted to confirm our results.

**Author Contributions:** Conceptualization, P.S.; methodology, A.K.; validation, P.S.; formal analysis, P.S., A.K.; data curation, A.K.; writing—original draft preparation, P.S.; writing—review and editing, P.S. and A.K.; supervision, P.S. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

**Funding:** This research received no external funding.

**Institutional Review Board Statement:** Not applicable

**Informed Consent Statement:** Not applicable

**Data Availability Statement:** The data used in this research are available at: <https://games.crossfit.com/leaderboard/games/2021?division=1&sort=0>. (accessed on 1 September 2022)

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest.

## References

1. Knapp, B. Rx'd and Shirtless: An Examination of Gender in a CrossFit Box. *Women Sport Phys. Act. J.* **2015**, *23*, 42–53. <https://doi.org/10.1123/wspaj.2014-0021>.
2. Schrijnder, S.; van Amsterdam, N.; McLachlan, F. 'These Chicks Go Just as Hard as Us!' (Un)Doing Gender in a Dutch CrossFit Gym. *Int. Rev. Sociol. Sport* **2020**, *56*, 1–17. <https://doi.org/10.1177/1012690220913524>.
3. Gordon, J. Scaling CrossFit Workouts. *CrossFit J.* **2015**, 1–7.
4. Glassman, G. What Is Fitness. *CrossFit J.* **2002**, 1–10.

5. Serafini, P.R.; Feito, Y.; Mangine, G.T. Self-Reported Measures of Strength and Sport-Specific Skills Distinguish Ranking in an International Online Fitness Competition. *J. Strength Cond. Res.* **2018**, *32*, 3474–3484. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001843>.
6. Dexheimer, J.D.; Schroeder, E.T.; Sawyer, B.J.; Pettitt, R.W.; Aguinaldo, A.L.; Torrence, W.A. Physiological Performance Measures as Indicators of CrossFit® Performance. *Sports* **2019**, *7*, 93. <https://doi.org/10.3390/sports7040093>.
7. Feito, Y.; Giardina, M.J.; Butcher, S.; Mangine, G.T. Repeated Anaerobic Tests Predict Performance among a Group of Advanced CrossFit-Trained Athletes. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* **2019**, *44*, 727–735. <https://doi.org/10.1139/apnm-2018-0509>.
8. Martínez-Gómez, R.; Valenzuela, P.L.; Barranco-Gil, D.; Moral-González, S.; García-González, A.; Lucia, A. Full-Squat as a Determinant of Performance in CrossFit. *Int. J. Sports Med.* **2019**, *40*, 592–596. <https://doi.org/10.1055/a-0960-9717>.
9. Schlegel, P.; Režný, L.; Fialová, D. Pilot Study: Performance-Ranking Relationship Analysis in Czech Crossfitters. *J. Hum. Sport Exerc.* **2021**, *16*, 187–198. <https://doi.org/10.14198/jhse.2021.161.17>.
10. Mangine, G.T.; Tankersley, J.E.; McDougale, J.M.; Velazquez, N.; Roberts, M.D.; Esmat, T.A.; VanDusseldorp, T.A.; Feito, Y. Predictors of CrossFit Open Performance. *Sports* **2020**, *8* (7), 102. <https://doi.org/10.3390/sports8070102>.
11. Tibana, R.A.; de Sousa Neto, I.V.; de Sousa, N.M.F.; Romeiro, C.; Hanai, A.; Brandão, H.; Dominski, F.H.; Voltarelli, F.A. Local Muscle Endurance and Strength Had Strong Relationship with CrossFit® Open 2020 in Amateur Athletes. *Sports* **2021**, *9* (7), 98. <https://doi.org/10.3390/sports9070098>.
12. Barbieri, J.; Correia, R.; Arcila Castaño, L.; Brasil, D.; Ribeiro, A. Comparative and Correlational Analysis of the Performance from 2016 Crossfit Games High-Level Athletes. *Man. Ther. Posturology Rehabil. J.* **2017**, *15*, 521. <https://doi.org/10.17784/mtprehabjournal.2017.15.521>.
13. Hicks, A.L.; Kent-Braun, J.; Ditor, D.S. Sex Differences in Human Skeletal Muscle Fatigue. *Exerc. Sport Sci. Rev.* **2001**, *29*, 109–112. <https://doi.org/10.1097/00003677-200107000-00004>.
14. Sandbakk, Ø.; Solli, G.S.; Holmberg, H.-C. Sex Differences in World-Record Performance: The Influence of Sport Discipline and Competition Duration. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2018**, *13*, 2–8. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2017-0196>.
15. Hunter, S.K. The Relevance of Sex Differences in Performance Fatigability. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2016**, *48*, 2247–2256. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000928>.
16. Ransdell, L.B.; Wells, C.L. Sex Differences in Athletic Performance. *Women Sport Phys. Act. J.* **1999**, *8*, 55–81. <https://doi.org/10.1123/wspaj.8.1.55>.
17. Tiller, N.B.; Elliott-Sale, K.J.; Knechtle, B.; Wilson, P.B.; Roberts, J.D.; Millet, G.Y. Do Sex Differences in Physiology Confer a Female Advantage in Ultra-Endurance Sport? *Sports Med.* **2021**, *51*, 895–915. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01417-2>.
18. Courtright, S.H.; McCormick, B.W.; Postlethwaite, B.E.; Reeves, C.J.; Mount, M.K. A Meta-Analysis of Sex Differences in Physical Ability: Revised Estimates and Strategies for Reducing Differences in Selection Contexts. *J. Appl. Psychol.* **2013**, *98*, 623–641. <https://doi.org/10.1037/a0033144>.
19. Ball, R.; Weidman, D. Analysis of USA Powerlifting Federation Data From January 1, 2012–June 11, 2016. *J. Strength Cond. Res.* **2018**, *32*, 1843–1851. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002103>.
20. Storey, A.; Smith, H.K. Unique Aspects of Competitive Weightlifting. *Sports Med.* **2012**, *42* (9), 22.
21. Alizadeh, S.; Rayner, M.; Mahmoud, M.M.I.; Behm, D.G. Push-Ups vs. Bench Press Differences in Repetitions and Muscle Activation between Sexes. *J. Sports Sci. Med.* **2020**, *19*, 289–297.
22. Agostinho, M.F.; Junior, J.A.O.; Stankovic, N.; Escobar-Molina, R.; Franchini, E. Comparison of Special Judo Fitness Test and Dynamic and Isometric Judo Chin-up Tests' Performance and Classificatory Tables' Development for Cadet and Junior Athletes. *J. Exerc. Rehabil.* **2018**, *14*, 244–252. <https://doi.org/10.12965/jer.1836020.010>.
23. Höög, S.; Andersson, E.P. Sex and Age-Group Differences in Strength, Jump, Speed, Flexibility, and Endurance Performances of Swedish Elite Gymnasts Competing in TeamGym. *Front. Sports Act. Living* **2021**, *3*, 653503. <https://doi.org/10.3389/fspor.2021.653503>.
24. Knechtle, B.; Nikolaidis, P.T.; König, S.; Rosemann, T.; Rüst, C.A. Performance Trends in Master Freestyle Swimmers Aged 25–89 Years at the FINA World Championships from 1986 to 2014. *Age* **2016**, *38* (1), 18. <https://doi.org/10.1007/s11357-016-9880-7>.
25. CrossFit, LLC Crossfit Games. Available online: <https://games.crossfit.com> (accessed on 24 May 2022).
26. Cohen, J. Statistical Power Analysis. *Curr. Dir. Psychol. Sci.* **1992**, *1*, 98–101. <https://doi.org/10.1111/1467-8721.ep10768783>.
27. Wasserstein, R.L.; Schirm, A.L.; Lazar, N.A. Moving to a World Beyond “ $p < 0.05$ .” *Am. Stat.* **2019**, *73*, 1–19. <https://doi.org/10.1080/00031305.2019.1583913>.
28. Huebner, M.; Perperoglou, A. Sex Differences and Impact of Body Mass on Performance from Childhood to Senior Athletes in Olympic Weightlifting. *PLoS ONE* **2020**, *15*, e0238369. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238369>.
29. Deaner, R.O.; Geary, D.C.; Puts, D.A.; Ham, S.A.; Kruger, J.; Fles, E.; Winegard, B.; Grandis, T. A Sex Difference in the Predisposition for Physical Competition: Males Play Sports Much More than Females Even in the Contemporary U.S. *PLoS ONE* **2012**, *7*, e49168. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0049168>.

## 5 AIR BIKE

Jedním z principů HIFT je absence posilovacích strojů a podobných zařízení. Jsou však využívány kardio trenažéry, konkrétně pak veslařský, pro běh na lyžích, cyklistický, běžecký bez pohonu. Po boku běhu či plavání se staly standardní součástí tréninku. Dalším trenažérem, který je celosvětově používán je air bike.

Air bike se řadí se mezi stroje, které jsou určeny pro rozvoj kardiorespirační komponenty tělesné zdatnosti. Jedná se o zajímavé zařízení, které na rozdíl od většiny strojů neimituje žádnou sportovní disciplínu. Je zde sice určitá i historická souvislost s cyklistikou, ale parametry jízdy jsou natolik specifické, že je lze jen vzdáleně srovnávat. HIFT je výjimečný v tom, že air bike využívá nejen v rámci přípravy, ale také jako součást samotného sportovního výkonu.

Na konci 18. století bylo patentováno cvičební zařízení nazvané Gymnasticon, které cyklickým způsobem zatěžovalo současně horní i dolní polovinu těla (Anonymous, 1797). Nebylo na něj však navázáno a podobné stroje se nikde neobjevily. V roce 1977 byl patentován „cycle exerciser“, který můžeme označit jako air bike (Hooper, 1977). Koncem 70. let navázala firma Schwinn na výrobu stacionárních kol a přišla na trh s prvním air bikem (Air-Dyne) („Schwinn Air Dyne ergoMetric Exerciser“, 1979). Osloven byl především americký trh, ale tento trenažér si nezískal příliš velkou plošnou oblibu. Teprve až ve 21. století se stal masivně užívaným, pravděpodobně díky smíšeným bojovým uměním a CrossFitu. Air bike se stal symbolem velmi náročných, intenzivních tréninků a aktuálně je využíván sportovci v mnoha odvětvích (hokej, fotbal, rugby, basketbal atd.).

Pohyb na air biku lze rozdělit na dvě části. Jedna je srovnatelná se strukturou jízdy na bicyklu, druhá je originální a se týká práce horní poloviny těla, která ovládá ramena. Pedály a ramena jsou mechanicky spojené, z čehož vychází synchronní frekvence. Působení a poměr sil je možné libovolně rozložit a také kdykoliv měnit. Air bike disponuje dvěma rameny, jejichž pohyb je na sobě závislý, pracují asynchronně. Pomocí konstrukce jsou mechanicky spojeny s pedály a společně roztáčejí masivní setrvačnick. Ramena se pohybují po mírném oblouku, je možné na ně působit tahovým i tlakovým pohybem. Většina air biku nemá k dispozici změnu odporu jako je tomu např. u veslařských nebo běžkařských trenažérů. Obtížnost se samovolně exponenciálně zvedá podle zvyšující se rychlosti (kadence). Air biky jsou vybaveny monitorem, který je umístěn mezi rameny nad setrvačnickem. Ačkoliv se mohou lišit designem i některými funkcemi, obvykle může uživatel sledovat: čas, vzdálenost, ujeté kalorie (vlastní



měrná jednotka), výkon (watty), rychlost a RPM. Monitory dokáží snímat srdeční frekvenci při použití hrudního pásu.

Konstrukce air biku umožňuje odděleně pracovat dolními i horními končetinami. Toho lze využívat pro specifické tréninkové účely – jízda pouze pažemi, využívání pouze tlakových nebo takových pohybů. Nebo naopak jízda bez pomoci paží, ta se však nejeví jako ideální, pokud není doplněna opora pro ruce. V průběhu jízdy lze variovat mezi tlakem, tahem nebo aktuálnímu poměru zapojení horní a dolní poloviny těla. Na air biku je možná i jízda „ve stoje“, ale nejedná se o efektivní variantu a lze ji využít jen ve specifických momentech (start, chvilkový odpočinek či změna rytmu). Jízda na air biku je silově náročnější, a zdá se, že optimální práce paží bude vytvářet 10-30% celkového výkonu (Nagle et al., 1984).

Tím, že se jedná o prostředek, který je velmi krátkou dobu součástí tréninku, je potřeba analyzovat dostupné informace o působení na organismus (Schlegel, 2022a). Je to podstatným krokem pro využití air biku v praxi i při testování. Air bike přináší zajímavá pozitiva nejen pro sportovce, ale i pro běžnou populaci (Kim et al., 2017).

Důležité je sledování nejen akutního vlivu na organismus, ale také krátko- či dlouhodobého potenciálu pro adaptaci (Schlegel et al., 2022). Air bike lze pro účely intervenčních programů využívat v různých metodách. V běžné praxi je však využíván spíše pro kratší nebo intervalové zatížení (vzhledem k silovější a méně frekvenční povaze jízdy).

Schlegel, P. (2022). Health benefits of using air biking: a systematic review. *Journal of Sport and Health Research*. 14(3), 345-358.

Schlegel, P., Křehký, A., Hiblbauer, J. (2022). Physical Fitness Improvement after 8 Weeks of High-intensity Interval Training with Air Bike. *Sport Mont*. 20 (3), 75-80.



Schlegel, P. (2022). Health benefits of using air biking: a systematic review. *Journal of Sport and Health Research*. 14(3):345-358.

## Review

# BENEFICIOS DE LA UTILIZACIÓN DE AIR BIKING EN LA SALUD: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

## HEALTH BENEFITS OF USING AIR BIKING: A SYSTEMATIC REVIEW

Schlegel, P.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Department of Physical Education and Sport, Faculty of Education, University of Hradec Králové*

---

Correspondence to:

**Petr Schlegel**

Department of Physical Education and Sport, Faculty of Education, University of Hradec Králové (Czech Republic)

[petr.schlegel@uhk.cz](mailto:petr.schlegel@uhk.cz)

---

*Edited by: D.A.A. Scientific Section  
Martos (Spain)*



Received: 29/03/2021

Accepted: 08/06/2021



## RESUMEN

Air bike se ha extendido mucho en todo el mundo y, a menudo, es utilizada por la población en general y los atletas. Para el desarrollo de los aspectos de salud y rendimiento, es necesario un análisis detallado del efecto sobre el organismo. El objetivo del artículo era determinar los efectos de la air biking en el sistema cardiovascular y especificar su uso óptimo. Se realizó una revisión sistemática utilizando la guía PRISMA. Los estudios de investigación se seleccionaron en función de temas de investigación, como “air bike, air braked ergometer, arm-leg, exercise, ergometry, oxygen consumption, rating of perceived exertion, testing, aerobic, fitness, high-intensity, functional, training” que se encuentra en las bases de datos Web of Science, PubMed, Springer y Scopus. Se identificaron un total de 65 artículos de texto completo elegibles, de los cuales 26 se seleccionaron para el análisis final. Se dividieron en dos grupos según la forma en que se utilizó la bicicleta de aire: 1. Protocolo de prueba, 2. Parte de un programa de intervención. Air bike es una herramienta adecuada para probar la aptitud aeróbica y anaeróbica no específica. Tiene el potencial de alcanzar valores elevados de frecuencia cardíaca (FC), relación respiratoria equivalente (RER), ventilación y lactato. Parece ideal para el desarrollo de la función cardiorrespiratoria y la salud. Sin embargo, es necesario tener en cuenta el menor número de estudios encontrados, especialmente en el contexto de programas de ejercicio y muestras de investigación seleccionadas. Se necesita más investigación para sacar conclusiones prácticas específicas, especialmente en los programas de intervención.

**Palabras clave:** brazo-pierna, cardiovascular, alta intensidad, functional training, ergometría, fitness.

## ABSTRACT

Air bike has become very widespread worldwide and is often used by the general population and athletes. For the development of health and performance aspects, a detailed analysis of the effect on the organism is necessary. The aim of the article was to determine the effects of air biking on the cardiovascular system and specify its optimal use. A systematic review was performed using PRISMA guidelines. The research studies were selected based on research topics, such as “air bike, air braked ergometer, arm-leg, exercise, ergometry, oxygen consumption, rating of perceived exertion, testing, aerobic, fitness, high-intensity, functional, training” found in databases Web of Science, PubMed, Springer, and Scopus. A total of 65 eligible full-text articles were identified, of which 26 were selected for the final analysis. They were divided into two groups according to the way the air bike was used: 1. Testing protocol, 2. Part of an intervention program. Air bike is a suitable tool for testing non-specific aerobic and anaerobic fitness. It has the potential to achieve high values of heart rate (HR), respiratory equivalent ratio (RER), ventilation, and lactate. It seems ideal for the development of cardiorespiratory function and health. However, it is necessary to take into account the lower number of studies found, especially in the context of exercise programs and selected research samples. Further research is needed to make specific, practical conclusions, especially in intervention programs.

**Keywords:** arm-leg, cardiovascular, high intensity, functional training, ergometry, fitness.



## INTRODUCTION

The air bike can be described as a type of stationary bike, which is additionally enriched with two bike's arms allowing the work of arms, respectively the upper body. The movement on the air bike can be divided into two parts. One is comparable to the structure of cycling; the other is original and concerns the work of the upper body, which controls the bike's arms. The pedals and bike's arms are mechanically connected, resulting in a same frequency (Hoffman et al., 1996). The action and the ratio of forces can be freely distributed and also changed at any time. The air bike has two bike's arms, the movement of which depends on each other, they work asynchronously. By means of the construction, they are mechanically connected to the pedals, and together, they rotate the massive flywheel. The bike's arms move in a slight arc, and it is possible to act on them by pulling and pushing.

The air bike's starting point was a stationary bike, which began to appear in the late 19th century (Vandewelle & Driss, 2015). Schwinn was the first company to introduce a product called Air-Dyne in its 1979 catalog. The design is comparable to today's air bikes; the weight was similar (almost 35 kg). As with stationary bicycles, air dyne was equipped with a device containing a stopwatch, a dispensing indicator, distance traveled, and speed (Schwinn catalog, 1979).

Mass expansion had not occurred until the 21st century when the air bike became part of HIFT (high-intensity functional training), HIIT (high-intensity interval training) (Haynes & DeBeliso, 2019). It tends to be part of gyms attended by a wide range of people with reduced fitness or disabilities (Jensen et al., 2019). It is used for health and fitness development. It also found its place in sports training, such as hockey, MMA (mixed martial arts), rugby etc.

At the global level, there is a long-term trend in reducing the level of cardiorespiratory fitness. This is closely related to mortality and quality of life (Lamoureux et al., 2019). Therefore, it is important to find effective ways to affect cardiometabolic health. During air biking, large muscle groups of the upper and lower body are activated. Compound movements requiring the work of large muscle groups are characterized by high consumption of energy substrates (Schlegel & Křehký, 2020). At the same time, there is a need for increased oxygen supply

associated with increased respiratory rate and cardiac output (Hoffman et al., 1996). These processes indicate the potential for achieving high physiological values, improving cardiorespiratory fitness, or weight management (Hwang et al., 2019).

For the correct use of the air bike, it is necessary to precisely know the effect on the human body, resulting in the instructions aimed at optimal use for health purposes, fitness development, performance improvement or weight management. On the contrary, improper use can lead to overload, lower efficiency, or improper training volume and exercise intensity settings.

The aim of the article was to determine the effects of air biking on the cardiovascular system and specify its optimal use.

## METHODS

The author performed a systematic literature review of available human studies on the research describing air biking, arm-leg exercise, and their effect on physiological aspects. The methodology follows the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis (PRISMA) guidelines. The end of the search period is limited by November 2020. The research studies were selected based on research topics, such as "air bike, air braked ergometer, arm-leg, exercise, ergometry, oxygen consumption, rating of perceived exertion, testing, aerobic, fitness, high-intensity, functional, training" found in the world's acknowledged databases Web of Science, PubMed, Springer, and Scopus. The terms used were searched using AND to combine the keywords listed and using OR to remove search duplication where possible. In addition, a backward search was also performed, i.e., references of detected studies were evaluated for relevant research studies that the author might have missed during their search. Journals focusing on a given topic or systematic review were also used for the search. Also, a Google search was conducted to identify unpublished (gray) literature (research reports, theses, preprints, conference proceedings etc.). The author performed an independent quality assessment of these studies. He read the articles to assess eligibility and to determine the quality. The author selected these basic quality criteria using the Health Evidence Quality Assessment Tool for review articles. The primary outcome of this review was to explore the physiological response of air biking.



All studies were investigated in full, and they were considered against the following inclusion and exclusion criteria:

- Only peer-reviewed English-written full-text journal articles were involved.
- The time of publishing the article was limited to November 10, 2020.
- An air bike or arm-leg exercise has been included in the protocol or program.
- Arm-leg exercise had to be similar to air biking.
- The stress protocol or intervention program had to be clearly defined
- The primary outcome focused on air biking (arm-leg exercise) and physiological responses or adaptation.

The exclusion criteria were as follows:

- The articles focusing on different research topics.
- The primary focus was on elliptical, rowing machine, Versa climber or other aerobic machines.
- The intervention or testing included arm or leg exercise only.
- There was no clear description of the arm-leg exercise.
- PEDro score below 6

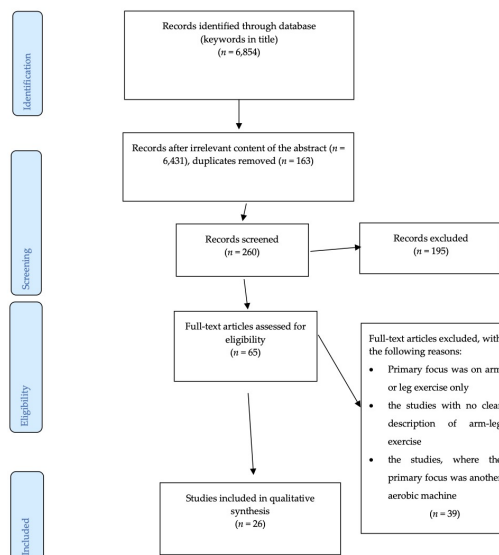


Figure 1. An overview of the selection procedure.

The quality of each article was assessed using the Physiotherapy Evidence Database Scale (PEDro) which has been reported to be valid and reliable to assess the internal validity of randomized controlled trials (Maher et al., 2003). The PEDro scale scores studies using an 11-point scale and includes information about randomization, blinding procedure, statistical analysis, and presentation of the results in the evaluated research. Any studies with a PEDro score below 6 points would have been excluded from the systematic review.

### RESULTS

Altogether 6,854 were identified in all these databases. After removing duplicates and titles/abstracts unrelated to the research topic, 260 English-written studies remained. Of these, 26 articles were relevant to the research topic. The designations VO<sub>2max</sub> and VO<sub>2peak</sub> are used differently in the studies. The original was cited in the tables and results. In the following text, VO<sub>2peak</sub> is used, which better describes the given parameter.

**Table 1.** An overview of the studies using an air bike in the test protocol

Study	N (M/F)	Subjects (age)	Protocol	Main outcome
Nagle et al. (1984)	10 (10/0)	healthy individuals (23,4)	ramp test every 3 minutes, different ratio of arm and leg work	maximum power output and VO <sub>2</sub> max reached at ratio 10 % arms / 90 % legs
Eston & Brodie (1986)	19 (19/0)	healthy individuals (27,7)	ramp test every 4 minutes	HR (121 vs 121 bpm), oxygen consumption, ventilation (41.1 vs 39.8) and RPE (12.4 vs 12.3) similar with stationary bike
Pitetti et al. (1988)	33 (26/7)	mentally retarded (12-49)	2x 3 minutes (60-85% maximum HR)	suitable instrument for testing aerobic fitness
Lamont et al. (1988)	65 (27/38)	active; high trained; sedentary individuals (29,9)	ramp test every 3 minutes	nonlinear growth of power output to RPM; achievement of VO <sub>2</sub> max and theoretical maximum HR (183 ± 12 bpm)
Foster et al. (1991)	16 (10/6)	healthy individuals (41-43)	ramp test every 2 minutes, 30 seconds rest between	linear relationship between power output (Watts) and HR
Lamont et al. (1992)	78, 18 (0/23)	healthy individuals; cardiologic al patients	ramp test every 3 minutes	VO <sub>2</sub> max and oxygen consumption can be derived based on calculation according to air bike power output and body weight
Brown et al. (1993)	23 (0/23)	active adults (41,5)	1. submaximal intensity (85% maximum HR) 2. ramp test every	VO <sub>2</sub> max can be derived based on the air bike power output at 85% maximum HR
Hoffman et al. (1996)	9 (5/4)	healthy individuals (32)	ramp test every 4 minutes, 2 rest between	at the same power output and RPE was higher (p < 0.05) oxygen consumption (0,04 l/min), lactate level, HR than stationary bike
Zeni et al. (1996)	13 (8/5)	healthy individuals (27-35)	5 minutes with different RPE (11,13,15)	lower (p < 0.05) oxygen consumption, HR and total energy expenditure than on a treadmill; lower (p < 0.01) lactate level than stepper, rowing machine
Allen et al. (1998)	28 (20/8)	healthy individuals (23,2)	ramp test every 2 minutes	unproven effect of ginseng supplementation on VO <sub>2</sub> max
Donahue (2001)	12 (6/6)	healthy individuals (23)	ramp test every 5 minutes	lower values (p < 0.05) of maximum HR, VO <sub>2</sub> , RPE than StairMaster upright at the same power output
Looney & Rimmer (2003)	16 (4/12)	seniors (82)	5 minutes on different aerobic machines	Nu-Step and air bike as the most preferred (comfort, display visibility, pedal placement)
Garber et al. (2006)	20 (12/4)	patients with peripheral arterial disease	ramp test every 3 minutes	HR (133 vs 135 bpm), RER (1.13 vs 1.09), RPE (16 vs 16), oxygen uptake (16.7 vs 16.2 ml/kg.min) comparable to a treadmill



Kim et al. (2008)	12 (7/5)	obese (37-71)	15 minutes with RPE 11-12 (15 points scale)	higher ( $p < 0.05$ ) energy consumption, % maximum HR, % $VO_{2peak}$ on elliptical than on air bike, lower values ( $p < 0.05$ ) on stationary bike	Schlege l et al. (2020b)	1 (20)	crossfiter	HIFT, 6 minutes work : 2 minutes rest	1. 10x deadlift (100kg), 15 calories air bike 2. 12x lunge (2x20 kg kettlebell), 10x push up, 8x pull up 3. 20 calories SkiErg, 10x back squat 50 kg, 10x toes to bar	significant reduction of oxygen saturation after air bike; significant effect on RER ( $>1.0$ ) and HR (up to 182 bpm)				
Jensen et al. (2019)	16 (8/8)	active adults (18-25)	5 minutes with different RPE (11,13,15)	lower ( $p < 0.05$ ) oxygen consumption than on a treadmill and stepper, comparable to an elliptical and stationary bike	Browne et al. (2020)	13 (7/6)	active adults (23-59)	mixed circuit training (air bike and compound exercises); work: rest ratio 6:1	a suitable instrument for HIFT; helps maintain exercise intensity (maximum HR 172 bpm)	Schlege l & Křehký (2020)	12 (28,1)	crossfiter	1 minute all out test; Wingate test	air bike as a suitable instrument for anaerobic fitness testing; higher maximum lactate values than Wingate (15.98 vs 14.01 mmol / l); different lactate curve
Schlege l et al. (2020a)	1	crossfiter (35)	HIFT (wall ball, ski erg, toes to bar, air bike); 60 second work : 60-30 second rest	air bike as a suitable for increasing exercise intensity (up to 170 bpm); high fluctuation of local oxygen saturation in the lateral vastus										

*Legend: M - men, F - women, HR - heart rate, RER - respiratory equivalent ratio, HIFT - high-intensity functional training, RPE - rating of perceived exertion, RPM - revolutions per minute*

Table 1 lists the studies in which the air bike was used in the test protocol, and at the same time, it was possible to reach valid conclusions related to this machine, respectively with the resulting load while riding it. The research sample was mostly made up of healthy adults and was not a large group. The air bike was also used in a group of seniors (Looney & Rimmer, 2003), cardiology patients (Lamont et al., 1992; Garber et al. 2006), mentally impaired (Pitetti et al., 1988), obese (Kim et al., 2008) or performance-oriented athletes (Schlegel & Křehký, 2020).

The stationary bike's efficiency has been repeatedly compared to an air bike (Eston & Brodie, 1986; Hoffman et al., 1996; Donahue et al., 2001; Kim et al., 2008). Testing shows that it is possible to achieve greater efficiency on the air bike in energy consumption, higher  $VO_{2peak}$  values or heart rate. However, the conclusions are not uniform. Jensen et al. (2019) report statistically insignificant ( $p < 0.05$ ) differences in oxygen consumption. Eston & Brodie (1986) state comparable minute ventilation. In contrast, when running on a treadmill, participants achieved statistically higher ( $p < 0.05$ ) HR and



oxygen consumption at the same subjective intensity (Zeni et al., 1996; Jensen et al., 2019). Only Garber et al. (2006) found identical  $VO_{2peak}$  results. Testing on the elliptical yielded conclusions in the form of higher ( $p < 0.05$ ) monitored parameters (energy consumption, HR) than with the air bike (Kim et al., 2008). When comparing traditional aerobic machines, inconsistent physiological responses were found (Zeni et al., 1996; Jensen et al., 2019). But the air bike is one of the subjectively more demanding machines with the potential to more easily increase the heart rate or achieve higher  $VO_{2peak}$  values.

The blood lactate parameter is used to monitor the physiological response to exercise. Hoffman et al. (1996) state a faster increase and the potential for higher values on the air bike compared to a stationary bike. The selected test did not run until its termination but was stopped when the 4 mmol/l limit was exceeded. Comparable results were reached by Kim et al. (2008) during continuous work for 15 minutes. Only one study (Schlegel & Křehký, 2020) tested anaerobic fitness using an air bike. The participants were shown to achieve higher lactate levels (15.98 mmol/l) than the Wingate test and showed significant differences in the development of the lactate curve after exercise.

In several cases, graded protocols (ramp tests) have been applied to gradually increase the intensity until rejection (Lamont et al., 1992; Garber et al., 2006). Various grades from 2 to 4 minutes were used, with rests between work intervals in some studies (Foster et al., 1991; Hoffman et al., 1996). These are tests from which it is possible to determine the organism's limit values (e.g.  $VO_{2peak}$ , maximum heart rate, minute ventilation) at high load. In the studies by Zeni et al. (1996), Kim et al. (2008), Jensen et al. (2019), a model with a constant load and identical RPE was applied on different machines. Based on these protocols, it is possible to determine the exercise's effectiveness in connection with the subjective evaluation of the load intensity. Based on the results, the air bike feels more difficult. Brown et al. (1993) also worked with constant intensity testing. Here the intensity was set at 85% of the maximum HR. Furthermore, the air bike was incorporated into HIIT resp. HIFT, where it was part of other exercises using body weight or external load (Browne et al., 2020; Schlegel et al., 2020a; Schlegel et al., 2020b).

In the selected stress tests, the work interval's time significantly prevailed over the rest (6: 1, 6: 2, 2: 1). RER values ( $> 1.0$ ) or local oxygen saturation show the potential to increase load intensity.

The relationship between HR, performance, and  $VO_{2peak}$  was also monitored. A linear relationship can be established between power increase (in Watts) and HR (Foster et al., 1991). Conversely, a nonlinear relationship arises between the power output and RPM. Lamont et al. (1992) conclude that oxygen consumption can be calculated according to mathematical formula (based on  $VO_{2peak}$ , maximum HR), and thus, the intensity of exercise can be regulated. The opposite procedure is provided by Brown et al. (1993), which derives  $VO_{2peak}$  based on submaximal loading.

Air biking allows different arm and leg involvement, which can be reflected in the performance. Nagle et al. (1984) tested the work of the upper and lower body in different proportions. The optimal ratio for the performance was shown in the ratio of 90-10% and 80-20%, and the outputs were comparable. When transmitting 30% to the arm, the performance decreased significantly. The most significant difference was then observed in the independent work of arms or legs.

**Table 2.** An overview of the studies using the air bike as part of the intervention

Study	N (M/F)	Sample	Duration	Program	Main outcome
Pitetti & Tan (1991)	12 (7/5)	mild mentally retarded (25)	3x weekl y, 16 w	maximum 25 minutes, 50-70% $VO_{2peak}$	increase of $VO_{2peak}$ (4.3 ml/kg.min), peak ventilation (8/min)
Fernandez & Pitetti (1993)	7 (5/2)	individuals after cerebral palsy (29-33)	2x weekl y, 8 w	30 minutes, 40-70% work capacity	physical work capacity increase ( $p < 0.01$ )
Nyquist-Byttie et al. (2007)	7 (-/-)	patients after myocardial infarction (-)	3x weekl y, 12 w	40 minutes, 75-85% maximum HR (air bike,	increased test duration by 22% RER by 10%, power output 10.2%; air





				arm ergomet er ARM ExTR, NuStep)	bike as a suitable instrument for patients
Kim et al. (2015)	25 (-/-); (12), MICT (13)	seniors and postmenopausal women (65)	4x weekl y, 8 w	HIIT - 40 minutes, 90% maximum HR MICT - 47 minutes, 70% maximum HR	improving arterial stiffness in MICT (9.26 vs 8.75 m/s)
Hwang et al. (2016)	35 (16/19); HIIT (17), MICT (18)	healthy seniors (55-79)	4x weekl y, 8 w	HIIT - 4x4 minutes 90% maximum HR, MICT - 32 minutes 70% maximum HR	greater improvement in VO <sub>2peak</sub> (11%), ejection fraction (4%) in HIIT; decreased insulin resistance (26%) in HIIT
Kim et al. (2017)	35 (16/19); HIIT (17), MICT (18)	healthy seniors (55-79)	4x weekl y, 8 w	HIIT - 4x4 minutes 90% maximum HR, MICT - 32 minutes 70% maximum HR	improved aortic pulse wave velocity by 0.5 m/s; improved arotid artery compliance (p>0,01) in MICT
Hwang et al. (2019)	58 (30/28); HIIT (23), MICT (19)	diabetic s II. type (46-78)	4x weekl y, 8 w	HIIT - 4x4 minutes 90% maximum HR, MICT - 32 minutes 70% maximum HR	improvement of VO <sub>2peak</sub> by 10% (HIIT) 8% (MICT)

Legend: M - men, F - women, w - week, HIIT - high-intesity interval training, MICT - moderate intesity continuous training, HR - heart rate

The air bike was also used for the intervention programs. These are specific research samples involving seniors (Kim et al., 2015), diabetics II type (Hwang et al., 2019), patients after myocardial infarction (Nyquist-Byttie et al., 2007) or individuals after cerebral palsy (Fernandez & Pitetti, 1993).

Exercise programs were shorter, between 8 and 16 weeks, with a frequency of 2-4 times a week. The content of the interventions was based on continuous and interval loading, lasting up to 40 minutes. The intensity ranged from 70-90% maximum HR.

The studies did not have the same focus but mostly looked at the effect on cardiovascular system's function and condition. Improvement in arterial stiffness (Kim et al., 2017), development of VO<sub>2peak</sub> by up to 11% (Hwang et al., 2016), or aortic pulse wave velocity of 0.5 m / s was confirmed (Kim et al., 2017).

## DISCUSSION

The aim of the review was to analyze studies dealing with air biking with subsequent determination of effects on the cardiovascular system and optimal use of air bike.

Air biking is based on stationary bike movement, so they have been repeatedly tested simultaneously (Eston & Brodie, 1986; Hoffman et al., 1996). The main difference is the involvement of the upper body; the bike's arms allow pushing and pulling, which results in the activity of many muscle groups. It increases the demands on oxygen supply and the function of the cardiovascular system. The air bike can achieve higher VO<sub>2peak</sub>, ventilation, lactate, or HR values (Stenberg et al., 1967; Gleser et al., 1974; Hoffman et al., 1996; Kim et al., 2008). The added arm work increases exercise effectiveness, which is suitable for health-oriented programs or weight management. Another difference is the difficulty of pedaling, which increases exponentially with increasing speed (Foster et al. 1991). Also, a lower cadence can be stated compared to cycling.

From the point of view of VO<sub>2max</sub>, 10-19% higher values were found than leg work only (Gleser et al., 1974; Reybrouk et al., 1975). Similarly, Secher et al. (1974) report 106% in combined work versus the bike. Higher efficiency in terms of HR and ventilation was found in Bevegård et al. (1966). In contrast, lower VO<sub>2max</sub> values of 4-10% were found



compared to the treadmill (Bergh et al., 1976; Kostuck et al., 2020). At maximum effort, HR was measured in the range of 185-189 bpm (Bergh et al., 1976; Secher et al., 1977; Volianitis & Secher, 2002; Kostuck et al., 2020).

It seems the body cannot optimally saturate all the necessary muscles with oxygen under high load, which results in a reduction in blood flow to the arms by up to 19%. On the contrary, when arm cranking is added to pedaling, the leg blood flow decreases by 10%. The resulting vasoconstriction is probably caused by arterial baroreflex (Volianitis & Secher, 2006). This condition also puts high demands on cardiac output, which can be the main limit when delivering high (maximum) performances. Thanks to the complex (strength requiring) involvement of the body, it is easier to reach the point where performance is limited due to insufficient oxygenation. It is one of the reasons why lower values of maximum HR are achieved compared to running (Bergh et al., 1976; Zeni et al., 1996; Kostuck et al., 2020). Therefore, it is important to optimally set the form of exercise and clearly specify which fitness parameter should be developed.

The air bike's arms are structurally connected to the pedals, and they, therefore, work at the same frequency. The overall performance can be affected by different arm and leg involvement. It appears that the optimal ratio should be 90/10% or 80/20% in favor of the legs (Bergh et al., 1976; Nagle et al., 1984). Other ratios lead to reduced performance,  $VO_{2peak}$ , or HR. It is possible that in certain sports oriented more on the upper body (e.g., swimming), the ratio could be different (Volianitis & Secher, 2006). No study focused on distinguishing between pulling and pushing arm movements. In practice, however, pushing is preferably used. The lower body setting is essential for riding, as it is dominant for performance. The results by Sakamoto et al. (2007) or Sakamoto et al. (2014) can contribute to the greater importance of leg work in terms of cadence, which should be determined by the lower body.

Due to a large number of aerobic machines, the air bike was compared with other exercise machines (Zeni et al., 1996; Donahue, 2001; Jensen et al., 2019). The conclusions are not uniform, but with a treadmill or elliptical, individuals achieved higher

HR, oxygen consumption with the same RPE. It was a medium to submaximal load, but the results would likely be confirmed at higher intensities. It is possible due to the higher resistance (it is necessary to make more effort for one repetition/ movement), the feeling of subjective exertion worsens and thus the higher consumption of oxygen or HR is not achieved. The cause will not be the number of muscles involved, which is comparable to the elliptical. The opposite tendency was found for blood lactate levels, which is related to the activity of large muscle groups (Secher et al., 1974; Zeni et al., 1996). Simultaneously, RPE was confirmed to be a suitable tool for determining the intensity in the general population (Jensen et al., 2019; Hill et al., 2020).

Schlegel & Křehký (2020) tested anaerobic fitness using an air bike and compared it with the Wingate test. A very similar study design was performed by Ozkaya et al. (2013) with elliptical. The research sample achieved higher lactate values on the air bike (15.98 mmol/ L) than in the Wingate test or elliptical (14.4 mmol/L). Increased resistance of large working muscles allows attacking the limits of the glycolytic system. It seems the air bike might be suitable for testing non-specific  $VLa_{max}$ . The air bike has, therefore, good potential for HIIT, especially for short intervals (<15 seconds), where it is possible to make a high effort quickly (see Kappenstein et al., 2015). Unfortunately, there has not been any study with such a design yet.

The air bike has repeatedly been used as an instrument of stress testing to determine the cardiovascular system's function. These were ramp tests or short continuous tests to reach maximum values, such as  $VO_{2peak}$ , minute ventilation, or HR (Vander et al., 1984; Hoffman et al., 1996; Allen et al., 1998; Garber et al., 2006; Kostuck et al., 2020). As it turned out, the air bike did not reach such high values as, for example, treadmill running. Higher values can be found also in classic running. Only Garber et al. (2006) report comparable results, but it is necessary to consider the research sample - cardiac patients. During air bike stress testing, it should be considered that these are unlikely to be absolute limit values of the organism. The mentioned lower parameters at high to maximum effort are essential, especially for advanced athletes, but they are not crucial for the general population. Lamont et al. (1992) sought to establish a formula for calculating



VO<sub>2peak</sub> and oxygen saturation values based on the produced performance. The individual's weight was included in the calculation (Lamont, 2000). However, similar mathematical calculations must be considered indicative due to possible deviations and individual differences.

The air bike allows for a relatively comfortable riding and sitting position (Looney & Rimmer, 2002). It appears to be a suitable tool for various specific groups, such as the elderly, obese, or cardiac and neurological patients. It demonstrated functionality in terms of the development of cardiovascular fitness and weight reduction (Nyquist-Byttie et al., 2007; Kim et al., 2017; Hwang et al., 2019). The air bike was applied only to specific samples and it did not include healthy middle-aged individuals or athletes. Although it is likely to bring significant benefits to them, this cannot be confirmed based on available evidence.

In air biking, individuals must overcome the resistance, which leads to significant muscle desaturation (Schlegel et al., 2020a). This increased effort anticipates the involvement of glycolytic fibers. The activation of fibers IIa and IIx leads to more efficient muscle growth and strength development (maintenance). Especially the use of HIIT with short intervals will use a large number of muscle fibers. Therefore, it could be a suitable part of mixed aerobic and strength exercise program (Murlasits et al., 2018).

The air bike construction does not allow adjustment of the bike's arms, only the seats. The handle's rigid position affects the biomechanics of movement, which is manifested mainly in above-average tall or short people, respectively men, and women. The arm's position and work are also transferred to the movement of the torso and the overall riding efficiency. The specific use of pulling and pushing work or pedaling method is also important. The riding technique and the economics of movement, as with other exercises, are essential factors for the performance. However, no attention has been paid to these areas.

In several cases, the air bike was included in HIFT, where its effectiveness in influencing the overall exercise intensity was confirmed (Browne et al.,

2020; Schlegel et al., 2020a; Schlegel et al., 2020b). The evidence is the reduced oxygen saturation in the vastus lateralis with a consequent increase in RER (>1.0). Furthermore, the body responds by increasing HR, ventilation, and oxygen consumption. A combined load with the air bike and other exercises seems to be a suitable tool for a positive impact on physical fitness. Although little evidence-based information is available, real practice (e.g., CrossFit®) shows that it could be an interesting instrument for developing endurance and fitness.

The air bike was also used in a group of seniors (Looney & Rimmer, 2003), cardiology patients (Lamont et al., 1992; Garber et al. 2006), mentally impaired (Pitetti et al., 1988), obese (Kim et al., 2008) or performance-oriented athletes (Schlegel & Křehký, 2020). In the mentioned samples, it was found to be a suitable tool for testing the organism's functional parameters. The air bike is not technically demanding and, at the same time, allows the activity of the upper body.

The results of exercise programs confirm a positive effect on the increase in VO<sub>2peak</sub>, minute ventilation, or work capacity (Pitetti & Tan, 1991; Fernandez & Pitetti, 1993; Hwang et al., 2019). For continuous work, an effect on improving arterial stiffness or aortic pulse wave velocity would be demonstrated (Kim et al., 2015; Kim et al., 2017). A significant impact was reported in reducing insulin resistance and improving cardiovascular fitness (Hwang et al., 2016). Continuous and interval exercising bring different results, however, both variants are safe and effective. Cardiac patients have also been shown to have a positive effect on quality of life (Nyquist-Battie et al., 2007).

Draper & Dustman (1992) study provides ample possibilities of using an air bike as part of a rehabilitation program after a pelvic fracture. Furthermore, it was successfully implemented into a program in patients after leg amputation (Pitetti et al., 1987). Thanks to its stability and low technical complexity, it is also recommended for exercise in individuals with (moderate) mental retardation (Pitetti et al., 1993).



Although the principle of use remains the same, all air bikes are not identical. The design differences are reflected in the flywheel resistance, mechanical inertia, or handle design. It can be significantly exhibited in the power output, RPE or physiological parameters. None of the detected studies addressed these specifics.

### CONCLUSIONS

The air bike is a widespread tool for fitness training, is used by general population or specific groups. Its use is technically relatively simple and convenient. It can be recommended for testing non-specific aerobic and anaerobic endurance. The stress tests show the potential for achieving high physiological values, which can develop aerobic fitness. Furthermore, its effectiveness in positively influencing the parameters of the cardiovascular system has been proven. It seems its use will be ideal for HIIT or HIFT, either alone or in combination with other exercises. Further research would be needed for intervention programs with air bike.

### REFERENCES

- Allen, J. D., McLung, J., Nelson, A. G., & Welsch, M. (1998). Ginseng supplementation does not enhance healthy young adults' peak aerobic exercise performance. *Journal of the American College of Nutrition*, 17(5), 462–466.
- Bergh, U., Kanstrup, I. L., & Ekblom, B. (1976). Maximal oxygen uptake during exercise with various combinations of arm and leg work. *Journal of Applied Physiology*, 41(2), 191–196.
- Bevegård, S., Freyschuss, U., & Strandell, T. (1966). Circulatory adaptation to arm and leg exercise in supine and sitting position. *Journal of Applied Physiology*, 21(1), 37–46.
- Brown, D., Fernhall, B., & Paup, D. (1993). Estimation of VO<sub>2</sub>max in women from submaximal work on the Schwinn Airdyne combined arm-leg ergometer. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 627, 112.
- Browne, J., Carter, R., Robinson, A., Waldrup, B., Zhang, G., Carrillo, E., Dinh, M., Arnold, M., Hu, J., Neufeld, E., & Dolezal, B. (2020). Not All HIFT Classes Are Created Equal: Evaluating Energy Expenditure and Relative Intensity of a High-Intensity Functional Training Regimen. *International journal of exercise science*, 13, 1206–1216.
- Donahue, M. D. (2001). *Physiological responses to submaximal workloads on four exercise ergometers*. Doctoral thesis, University of Wisconsin-La Crosse, Wisconsin, 29.
- Draper, D. O., & Dustman, A. J. (1992). Avulsion fracture of the anterior superior iliac spine in a collegiate distance runner. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 73(9), 881–882.
- Eston, R. G., & Brodie, D. A. (1986). Responses to arm and leg ergometry. *British Journal of Sports Medicine*, 20(1), 4–6.
- Fernandez, J. E., & Pitetti, K. H. (1993). Training of ambulatory individuals with cerebral palsy. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 74(5), 468–472.
- Foster, C., Thompson, N. N., & Bales, S. (1991). Functional translation of exercise responses during combined arm-leg ergometry. *Cardiology*, 78(2), 150–155.
- Garber, C. E., Monteiro, R., Patterson, R. B., Braun, C. M., & Lamont, L. S. (2006). A comparison of treadmill and arm-leg ergometry exercise testing for assessing exercise capacity in patients with peripheral arterial disease. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation*, 26(5), 297–303.
- Gleser, M. A., Horstman, D. H., & Mello, R. P. (1974). The effect on Vo<sub>2</sub> max of adding arm work to maximal leg work. *Medicine and Science in Sports*, 6(2), 104–107.
- Haynes, E., & DeBeliso, M. (2019). The relationship between CrossFit performance and grip strength. *Turkish Journal of Kinesiology*, 5(1), 15-21.
- Hill, M., Puddiford, M., Talbot, C., & Price, M. (2020). The validity and reproducibility of perceptually regulated exercise responses during



- combined arm + leg cycling. *European Journal of Applied Physiology*, 120(10), 2203–2212.
15. Hoffman, M. D., Kassay, K. M., Zeni, A. I., & Clifford, P. S. (1996). Does the amount of exercising muscle alter the aerobic demand of dynamic exercise? *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 74(6), 541–547.
  16. Hwang, C.-L., Lim, J., Yoo, J.-K., Kim, H.-K., Hwang, M.-H., Handberg, E. M., Petersen, J. W., Holmer, B. J., Leey Casella, J. A., Cusi, K., & Christou, D. D. (2019). Effect of all-extremity high-intensity interval training vs. moderate-intensity continuous training on aerobic fitness in middle-aged and older adults with type 2 diabetes: A randomized controlled trial. *Experimental Gerontology*, 116, 46–53.
  17. Hwang, C.-L., Yoo, J.-K., Kim, H.-K., Hwang, M.-H., Handberg, E. M., Petersen, J. W., & Christou, D. D. (2016). Novel all-extremity high-intensity interval training improves aerobic fitness, cardiac function and insulin resistance in healthy older adults. *Experimental Gerontology*, 82, 112–119.
  18. Jensen, M., Hsu-Han, H., Porcari, J., Blaine, A., & Doberstein, S. (2019). A Comparison of Energy Expenditure when Exercising on 10 Indoor Exercise Machines. *International Journal of Research in Exercise Physiology*, 14(2), 84–94.
  19. Kappenstein, J., Fernández-Fernández, J., Engel, F., & Ferrauti, A. (2015). Effects of Active and Passive Recovery on Blood Lactate and Blood pH After a Repeated Sprint Protocol in Children and Adults. *Pediatric Exercise Science* 27(1), 77–84.
  20. Kim, Han-Kyul, Hwang, C.-L., Yoo, J.-K., Hwang, M.-H., Handberg, E. M., Petersen, J. W., Nichols, W. W., Sofianos, S., & Christou, D. D. (2017). All-Extremity Exercise Training Improves Arterial Stiffness in Older Adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 49(7), 1404–1411.
  21. Kim, H.-K., Hwang Chueh-Lung, Yoo Jeung-Ki, Hwang Moon-Hyon, Handberg Eileen M, Nichols Wilmer W, & Christou Demetra D. (2015). Abstract 18329: Aortic Pulse Wave Velocity Improves Following Moderate-intensity Continuous Training but not High-intensity Interval Training in Older Men and Postmenopausal Women. *Circulation*, 132, A18329.
  22. Kim, J.-K., Nho, H., & H Whaley, M. (2008). Inter-modal comparisons of acute energy expenditure during perceptually based exercise in obese adults. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 54(1), 39–45.
  23. Kostuck, J., Frost, J., & Selland, C. (2020). Comparison of Treadmill and Simultaneous Arm and Leg Ergometry in VO<sub>2</sub>max Analysis. *International Journal of Sports Science*, 10, 68–72.
  24. Lamont, L. S. (2000). How to Write an Exercise Prescription for the Airdyne® Ergometer. *ACSM's Health & Fitness Journal* 4(5), 17–19.
  25. Lamoureux, N. R., Fitzgerald, J. S., Norton, K. I., Sabato, T., Tremblay, M. S., & Tomkinson, G. R. (2019). Temporal Trends in the Cardiorespiratory Fitness of 2,525,827 Adults Between 1967 and 2016: A Systematic Review. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 49(1), 41–55.
  26. Lamont, L. S., Rupert, S. J., Director, R. S. F. C. A. M., Alexander, J., & Goldberg, A. (1992). Predicting the Oxygen Cost of Air-Braked Ergometry. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 63(1), 89–93.
  27. Lamont, L. S., Santorelli, C. G., Finkelhor, R. S., & Bahler, R. C. (1988). Cardiorespiratory Response to an Air-Braked Ergometry Protocol. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation and Prevention*, 8(6), 207–212.
  28. Looney, M., & Rimmer, J. (2003). Aerobic exercise equipment preferences among older adults: A preliminary investigation. *Journal of applied measurement*, 4, 43–58.





29. Maher, Christopher G., Catherine Sherrington, Robert D. Herbert, Anne M. Moseley, a Mark Elkins. 2003. „Reliability of the PEDro Scale for Rating Quality of Randomized Controlled Trials". *Physical Therapy*, 83(8),713–21.
30. Murlasits, Z., Kneffel, Z., & Thalib, L. (2018). The physiological effects of concurrent strength and endurance training sequence: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Sports Sciences*, 36(11), 1212–1219.
31. Nagle, F. J., Richie, J. P., & Giese, M. D. (1984). VO<sub>2</sub>max responses in separate and combined arm and leg air-braked ergometer exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 16(6), 563–566.
32. Nyquist-Battie, C., Fletcher, G. F., Fletcher, B., Carlson, J. M., Castello, R., & Oken, K. (2007). Upper-extremity exercise training in heart failure. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation and Prevention*, 27(1), 42–45.
33. Ozkaya, O., Colakoglu, M., Kuzucu, O., & Delextrat, A. (2013). An Elliptical Trainer May Render the Wingate All-out Test More Anaerobic. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*, 28(3), 643-650.
34. Pitetti, K. H., Climstein, M., Campbell, K. D., Barrett, P. J., & Jackson, J. A. (1992). The cardiovascular capacities of adults with Down syndrome: A comparative study. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24(1), 13–19.
35. Pitetti, K. H., Snell, P. G., Stray-Gundersen, J., & Gottschalk, F. A. (1987). Aerobic training exercises for individuals who had amputation of the lower limb. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*, 69(6), 914–921.
36. Pitetti, K. H., & Tan, D. M. (1991). Effects of a minimally supervised exercise program for mentally retarded adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23(5), 594–601.
37. Pitetti, Kenneth H., Fernandez, J. E., Pizarro, D. C., & Stubbs, N. B. (1988). Field Testing: Assessing the Physical Fitness of Mildly Mentally Retarded Individuals. *Adapted Physical Activity Quarterly*, 5(4), 318–331.
38. Reybrouck, T., Heigenhauser, G. F., & Faulkner, J. A. (1975). Limitations to maximum oxygen uptake in arms, leg, and combined arm-leg ergometry. *Journal of Applied Physiology*, 38(5), 774–779.
39. Sakamoto, M., Tazoe, T., Nakajima, T., Endoh, T., & Komiyama, T. (2014). Leg automaticity is stronger than arm automaticity during simultaneous arm and leg cycling. *Neuroscience Letters*, 564, 62–66.
40. Sakamoto, M., Tazoe, T., Nakajima, T., Endoh, T., Shiozawa, S., & Komiyama, T. (2007). Voluntary changes in leg cadence modulate arm cadence during simultaneous arm and leg cycling. *Experimental Brain Research*, 176(1), 188–192.
41. Secher, N. H., Clausen, J. P., Klausen, K., Noer, I., & Trap-Jensen, J. (1977). Central and regional circulatory effects of adding arm exercise to leg exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*, 100(3), 288–297.
42. Secher, N. H., Ruberg-Larsen, N., Binkhorst, R. A., & Bonde-Petersen, F. (1974). Maximal oxygen uptake during arm cranking and combined arm plus leg exercise. *Journal of Applied Physiology*, 36(5), 515–518.
43. Schlegel, P., Hiblbauer, J., & Agricola, A. (2020a). Physiological Response to Non-Traditional High-Intensity Interval Training. *Acta Facultatis Educationis Physicae Universitatis Comenianae*, 60(1), 1–14.
44. Schlegel, P., Hiblbauer, J., & Agricola, A. (2020b). Near infrared spectroscopy and spiroergometry testing in CrossFit. *Studia Sportiva*, 14(1), 6–14.
45. Schlegel, P., & Křehký, A. (2020). Anaerobic Fitness Testing in Crossfit. *Acta Facultatis Educationis Physicae Universitatis Comenianae*, 60(2), 217–228.



46. Schwinn Air Dyne ergoMetric Exerciser. (1979). Schwinn Catalog.
47. Stenberg, J., Astrand, P. O., Ekblom, B., Royce, J., & Saltin, B. (1967). Hemodynamic response to work with different muscle groups, sitting and supine. *Journal of Applied Physiology*, 22(1), 61–70.
48. Vander, L. B., Franklin, B. A., Wrisley, D., & Rubenfire, M. (1984). Cardiorespiratory Responses to Arm and Leg Ergometry in Women. *The Physician and Sportsmedicine*, 12(5), 101–106.
49. Vandewalle, H., & Driss, T. (2015). Friction-loaded cycle ergometers: Past, present and future. *Cogent Engineering*, 2(1), 1029237.
50. Volianitis, S., & Secher, N. H. (2002). Arm blood flow and metabolism during arm and combined arm and leg exercise in humans. *The Journal of Physiology*, 544(3), 977–984.
51. Zeni, A. I., Hoffman, M. D., & Clifford, P. S. (1996). Energy expenditure with indoor exercise machines. *JAMA*, 275(18), 1424–1427.

## ORIGINAL SCIENTIFIC PAPER

# Physical Fitness Improvement after 8 Weeks of High-intensity Interval Training with Air Bike

Petr Sschlegel<sup>1</sup>, Adam Křehký<sup>1</sup>, Jan Hiblbauer<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Physical Education and Sports, Faculty of Education, University of Hradec Kralove, Czech Republic

## Abstract

Physical fitness is an important part of overall health. High-intensity interval training (HIIT) is a popular form of exercise that has been repeatedly proven as a functional way of developing cardiorespiratory fitness. Air bike is a widespread cardio machine suitable for HIIT. The aim of this research was to verify the effect of HIIT using air bike on the development of selected physical fitness parameters and compare it to moderate-intensity continuous training (MICT). Twenty active young adults (age 22.1±2.5) were the subject of the research in the research. The participants underwent a complex strength and endurance test, a spiroergometric examination, and a body composition analysis. The experimental group (EG) did HIIT twice a week with work intervals (15–45 seconds), while the control group did MICT in a comparable time period. The results have shown significant improvement in back squat (8.25%), pulling strength (7.07%), aerobic endurance (18.74%), and VO<sub>2peak</sub> (10.62%). Comparison of the groups has shown a significant difference in bench press (ES=1.01), back squat (ES=0.68), anaerobic endurance (ES=0.97), aerobic endurance (ES=1.456), and VO<sub>2peak</sub> (ES=0.92). According to the results, we can conclude that HIIT using air bike is an effective way of developing multiple aspects of physical fitness and is thus suitable for training programs that aim to develop health and sports performance.

**Keywords:** cardiorespiratory fitness, VO<sub>2peak</sub>, endurance, strength, body composition

## Introduction

Physical fitness is an essential part of health and is directly connected to the quality of life, development of diseases of civilisation or mortality (da Silva Machado et al., 2019). The main aspects of physical fitness are cardiorespiratory fitness, strength, flexibility, and body composition. The secular trend clearly shows a negative trend, especially in cardiorespiratory parameters (by 2.4% per decade) and in an increase of body fat percentage (Blüher et al., 2019; Lamoureux et al., 2019). That is why it is important to look for effective training programs developing physical fitness.

High-intensity interval training (HIIT) is a popular form of exercise used to improve sports performance and health (Gibala & Jones, 2013). HIIT is an activity specific for its short intense intervals with prescribed rest periods. Although HIIT protocols used might be rather variable (number and length of the intervals, type and length of the rest periods, chosen intensity, chosen exercise, etc.), their effect on improving endurance, reducing the

amount of body fat and developing cardiorespiratory fitness is shown in short-term interventions (Keating et al., 2017; Sultana et al., 2019).

Cardiorespiratory fitness, body composition, and strength parameters are most likely the most significant factors influencing overall health and quality of life. The effect of HIIT on developing VO<sub>2peak</sub> or reducing body fat percentage has been proven repeatedly (Batacan et al., 2016; Sultana et al. 2019). The activation of muscle fibres during HIIT and sprint-interval training (SIT) in particular are similar to the activation during resistance training, and analogic adaptation mechanisms can be expected (Callahan et al., 2021). Optimally designed HIIT or SIT could positively affect a wide spectrum of physical fitness aspects.

Frequent HIIT activities are running, cycling or rowing. It is shown that due to their different nature, they lead to unequal physiological reactions (maximal HR, blood lactate, VO<sub>2peak</sub>) (Menz et al., 2019). The chosen activity represents an important factor in the efficiency and effect of a HIIT protocol and it is



Correspondence:

Petr Schlegel  
University of Hradec Kralove, Rokitanskeho 62, 50003, Hradec Kralove, Czech Republic.  
email: petr.schlegel@uhk.cz



crucial to have detailed information about this variable.

Air bike is already a widespread cardio machine used by general population, individuals with health problems, and professional athletes. It has gained great popularity as an option of strenuous exercise like HIIT. Air bike workout differs significantly from classic endurance disciplines. The riding has a low frequency, it is more strength-based and both upper and lower body are involved. The load during the ride is created by a big flywheel and its resistance grows exponentially with the increase of speed. Air bike is a comfortable cardio machine from the user's point of view (Looney & Rimmer, 2002), yet it also allows for high to maximal intensity (Schlegel & Křehký, 2020).

There is a lack of studies investigating the effect of HIIT with an air bike on the development of physical parameters. Hwang et al. (2016) found improvements in aerobic fitness and insulin resistance after an 8-week program. There were also positive changes in blood pressure and body composition. The effect on cardiac parameters (arterial stiffness) is not yet clear and requires further research (Kim et al., 2017). Both studies used a 4x4 minutes training protocol with a 3 minutes rest.

Most of the studies assessing the effect of air biking used ramp test and analysed maximal intensity in the context of spirometry. So far, there has been a small number of intervention studies. Moreover, the studies have focused only on specific groups, such as people with type 2 diabetes, seniors or patients who had suffered a myocardial infarction (Hwang et al., 2016; Kim et al., 2017). It is necessary to find out the exact effects of air biking on physical fitness which can thus improve overall health. The aim of the study was to verify the effect of a HIIT protocol with air bike on developing cardiorespiratory fitness, strength and endurance parameters, and change in body composition.

**Methods**

*Participants*

The experimental group comprised 22 healthy, physically active individuals (average age 22.1±2.5, weight 70.6 kg, height 172.5 cm). Participants (14 women, 6 men) were introduced to the testing and research process. Participants were divided into experimental (EG) and control (CG) groups randomly (7 women and 3 men in both groups). They were supposed to not change their usual daily routines or sleeping and eating habits during the

research. A rest day was prescribed one day before the testing. The anthropometric parameters were measured using bioimpedance scales (Tanita® RD-545), specifically weight, fat-free mass (FFM), body fat percentage, body mass index (BMI). People who have been already engaged in other intense sports activities were not allowed to take part in the research. The participants who missed more than one workout session (n=2) were excluded from the final analysis. The research was approved by the Faculty of Education of the University of Hradec Králové (RD 41/2020).

*Testing*

The testing was done using an air bike (Echo bike, Rogue®). It was preceded by a very light 3 minutes warm-up and 3 minutes passive rest. The testing protocol was a ramp test to failure, the load was increased every 3 minutes with no break (Lamont et al., 1992). The test was ended when the subject was not able to maintain the required speed. In spirometry (METAMAX® 3B, CORTEX Biophysik GmbH), the following parameters were measured: VO<sub>2</sub>peak, respiratory equivalent ratio (RER), heart rate (HR), minute ventilation (V'E), oxygen uptake to work rate (VO<sub>2</sub>/WR) and total test time that corresponds to absolute endurance performance (Total). So far, there have not been enough studies that would use ramp tests on air bike, so it was necessary to rely on own experience combined with researches by Lamont et al. (1992), Hoffman et al. (1996). The increasing intensity in the individual levels was organized by RPM (revolution per minute) and it differed for men and women, the base value was 40 RPM (85 watts) for men and 35 RPM (65 watts) for women.

All the participants had had previous experience with the selected strength tests. The following exercises were chosen to test strength: bench press (BP) and back squat (90°) (BS), the subjects had 20 minutes to find their 1 repetition maximum (1 RM) — the number of sets was not limited; pulling strength dynamometer (SH5007, Saehan Dynamometer) (Pull); standing broad jump (SBJ) (they had three attempts, and the best one was recorded, the same principle was used with the back dynamometer). The following tests were used to assess aerobic and anaerobic endurance: 30sec all-out test on an air bike (AN); 2 km on rowing machine test (Concept2®). Flexibility tests were not included in the research as it does not play such significant role in overall health (Nuzzo, 2020).

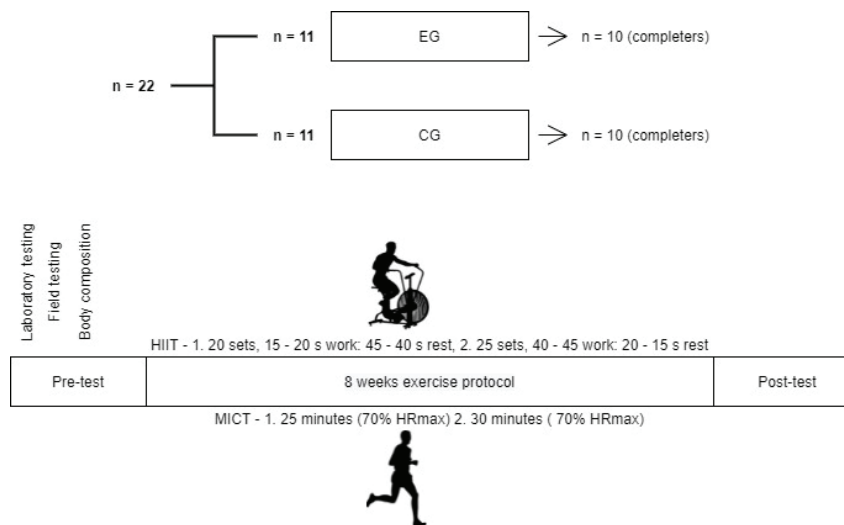


FIGURE 1. Study design

*Intervention*

8-Week training program comprised of three types of sessions. The experimental group did two workout sessions (HIIT and SIT) on air bike (1. 20 sets: 15 sec work, 45 sec rest; 2. 25 sets: 40 sec work, 20 sec rest). It was an original program inspired by studies with HIIT and SIT (Rosenblat et al., 2020). There was a requirement to maintain high intensity during all

work sets—significant intensity drop was to be avoided. The rest was passive, the participants stayed seated on the air bike. The first workout session can be called sprint interval training (Gist et al., 2014), but an unconventional work-to-rest ratio of 1:3, or 1:2 respectively, was chosen and the number of intervals was increased as well. The control group did two MICT running sessions (1. 25 minutes run; 2. 30 minutes run). The intensity was kept by monitoring heart rate in combination

**Table 1.** Testing and body composition results

	EG				CG							
	PRE	POST	% change	Cohen's d	p value	Descriptor	PRE	POST	% change	Cohen's d	p value	Descriptor
Weight (kg)	74.49 ± 13.71	74.29 ± 13.10	-0.27	0.01	0.740	trivial	66.6 ± 9.37	66.07 ± 8.80	-0.80	0.05	0.264	trivial
BMI	24.49 ± 3.09	24.4 ± 2.91	-0.37	0.02	0.611	trivial	22.68* ± 2.28	22.53* ± 2.25	-0.66	0.06	0.476**	trivial
Body fat (%)	18.44* ± 4.64	17.6 ± 4.53	-4.56	0.18	0.169**	trivial	17.41 ± 5.17	17.04 ± 5.02	-2.13	0.07	0.540	trivial
FFM (kg)	57.64 ± 10.84	58.15 ± 10.83	0.88	0.04	0.316	trivial	52.3 ± 8.85	52.18 ± 8.68	-0.23	0.01	0.737	trivial
BS (kg)	82.4 ± 28.75	89.2 ± 31.35	8.25	0.22	0.0117	Small	66.55 ± 19.95	69.9 ± 22.03	5.03	0.15	0.010	trivial
BP (kg)	57.25 ± 22.54	59.25 ± 23.95	3.49	0.08	0.120	trivial	52.05 ± 22.43	50.1 ± 20.30	-3.75	0.09	0.207	trivial
Pull (kg)	183.9 ± 39.29	196.9 ± 36.54	7.07	0.34	0.009	small	148.1* ± 32.29	152.7* ± 34.38	3.11	0.11	0.173**	trivial
SBJ (cm)	215 ± 32.53	223.5 ± 29.02	3.95	0.27	0.018	small	214 ± 33.40	219.5 ± 29.93	2.57	0.17	0.043	trivial
AN (m)	262 ± 29.26	272 ± 28.91	3.82	0.34	0.004	small	249 ± 23.43	251 ± 22.56	0.80	0.08	0.507	trivial
2 km row (s)	530.8 ± 47.89	515.8 ± 50.22	-2.83	0.30	0.025	small	555.7 ± 31.59	534.4 ± 35.05	-3.83	0.64	0.019	medium
Total (s)	862.4 ± 223.56	1024 ± 217.78	18.74	0.73	0.0001	medium	823.9 ± 134.48	898.3 ± 134.98	9.03	0.56	0.0001	medium
VO2peak (l/min/kg)	43.3 ± 5.02	47.9 ± 6.47	10.62	0.79	0.007	medium	44.4 ± 4.88	46.3 ± 5.14	4.28	0.38	0.097	small
RERmax	1.11 ± 0.05	1.14 ± 0.03	2.25	0.72	0.177	medium	1.13 ± 0.03	1.13 ± 0.03	0.09	0.00	0.940	trivial
V'Emax (l/min)	115.21 ± 24.32	124.04 ± 24.83	7.66	0.35	0.045	small	116.72 ± 24.04	118.45 ± 25.47	1.48	0.06	0.590	trivial
HRmax (bpm)	187.5 ± 8.43	190.8* ± 5.93	1.76	0.45	0.110**	small	191.8 ± 7.44	188.6 ± 9.95	-1.67	0.36	0.124	small
VO2/WR (ml/watt)	12.3 ± 1.19	11.6* ± 1.28	-5.69	0.05	0.17**	trivial	12.5* ± 1.63	11.6* ± 0.66	-7.20	0.19	0.11**	trivial

EG – experimental group; CG – control group; FFM – fat-free mass; BS – Back squat; SBJ – standing broad jump; AN- 30 seconds all-out test; Total – Endurance ramp test on air bike; RER – respiratory exchange ratio; HRmax – maximal heart rate.

with the Borg rating of perceived exertion scale. The instruction was to keep heart rate about 70% HRmax and at the same time between 14 and 15 on the Borg scale (Keating et al., 2017). The third workout session was the same for both groups and comprised bodyweight exercises with low demands for space and equipment (squat, push up, lunge, plank, sit up, handstand hold) (similar to Menz et al., 2019). The workout session resembled high-intensity functional training and consisted of two 10-minute parts. The exercise was designed to engage the entire body in a complex way. All the workout sessions contained a general warm-up (5 minutes) and a specific preparation (5 minutes) according to the main part (run, air biking, resistance training).

#### Statistical data processing

The data is presented as an average  $\pm$  SD (standard deviation). Before the statistical testing, to assess statistical significance, data normality was evaluated using two tools: histogram and Shapiro wilk test. When the normality was confirmed, parametric tests were used: two-sample t-tests for unpaired

samples (testing between EG and CG) and two-sample t-test for paired samples (with the premise of an F-test of equality of variances; testing between pre- and posttest in the group). When the data were not distributed, non-parametric tests were used: Wilcoxon signed-rank test and Mann-Whitney U test for unmatched samples. Using non-parametric tests was necessary to ensure coherence of the whole research. To assess statistical significance, Cohen's d with the scale of  $<0.20$  = trivial,  $0.20-0.49$  = small,  $0.50-0.79$  = medium,  $\geq 0.80$  = large was used (Cohen, 1992). The significance was tested at a significance level of  $p>0.05$ .

## Results

### Anthropometric parameters

EG noticed only small changes in weight and body composition (fat  $-0.84\%$ ,  $ES=0.18$ ,  $p=0.169$ ; FFM  $0.51$  kg,  $ES=0.04$ ,  $p=0.316$ ), CG noticed almost no changes. The difference between EG and CG was medium for FFM ( $ES=0.5$ ,  $p=0.3$ ), and small for body fat % ( $ES=0.28$ ,  $p=0.56$ ). Although only small changes can be identified, it can be claimed that EG noticed an

**Table 2.** Comparison of HIIT and MICT group

	EG*	CG*	Cohen's d	p value	Descriptor
Weight (kg)	-0.20 $\pm 1.75$	-0.55 $\pm 1.33$	0.21	0.66	small
BMI	-0.089 $\pm 0.51$	-0.15 $\pm 0.53$	0.11	0.81	trivial
Body fat (%)	-0.84 $\pm 1.63$	-0.37 $\pm 1.74$	0.28	0.56	small
FFM (kg)	0.51 $\pm 1.44$	-0.12 $\pm 1.04$	0.50	0.30	medium
BS (kg)	6.8 $\pm 6.48$	3.35 $\pm 3.09$	0.68	0.17	medium
BP (kg)	2 $\pm 3.50$	-1.95* $\pm 4.30$	1.010	0.06***	large
Pull (kg)	13 $\pm 11.82$	4.56 $\pm 8.88$	0.80	0.11	large
SBJ (cm)	8.5 $\pm 8.79$	5.5* $\pm 7.02$	0.38	0.53***	small
AN (m)	1.8 $\pm 1.83$	0.30 $\pm 2.19$	0.74	0.14	medium
2 km row (s)	-15 $\pm 16.75$	-15.3 $\pm 13.84$	0.02	0.51	trivial
Total (s)	161.6 $\pm 76.97$	74.4 $\pm 35.31$	1.456	0.006	large
VO2peak (l/min/kg)	4.6 $\pm 2.76$	1.9 $\pm 3.08$	0.92	0.06	large
RERmax	0.03 $\pm 0.05$	0.001 $\pm 0.04$	0.53	0.28	medium
V'E <sub>max</sub> (l/min)	8.83 $\pm 11.41$	1.73 $\pm 9.31$	0.68	0.17	medium
HRmax (bpm)	3.30 $\pm 5.73$	-3.20 $\pm 5.65$	1.142	0.02	large
VO2/WR (ml/watt)	-0.7 $\pm 1.42$	-0.9 $\pm 1.45$	0.14	0.77	trivial

\*average change between pre- and posttest; EG – experimental group; CG – control group, FFM – fat-free mass; BS – Back squat; SBJ – standing broad jump; AN- 30 seconds all-out test; Total – Endurance ramp test on air bike; RER – respiratory exchange ratio; HRmax – maximal heart rate

increase in muscle mass while decreasing the amount of fat. That is why the weight changed only slightly.

#### *Strength and endurance testing*

EG noticed a statistically more significant improvement in the basic strength test (ES=0.68-1.01,  $p=0.06-0.17$ ). The greatest improvement was made in the back squat by 6.8 kg. The smallest improvement was made in SBJ, yet the EG still improved more than the CG (ES=0.38,  $p=0.53$ ). 2 km row test was the only one where both groups made similar changes (ES=0.02). As for the anaerobic endurance test, the EG improved significantly (ES=0.97,  $p=0.08$ ).

#### *Spiroergometry*

Both groups improved their VO<sub>2</sub>peak, EG by 4,6 ml/kg/min (10.62%) which was significantly more than CG (ES=0.92,  $p=0.06$ ). A similar result was noticed also in the total duration of the ramp test where the groups improved by 9.03% (CG) and by 18.74% (EG). EG also reached higher RERmax in the posttest which meant medium effect in comparison with CG (ES=0.53,  $p=0.28$ ). EG got a higher value of V'E<sub>max</sub> (124 l/min) compared to CG (118.5 l/min) which was a significant difference (ES=0.68,  $p=0.17$ ).

#### **Discussion**

It was confirmed that HIIT using short intervals is an effective way to develop strength parameters. A positive (even though not significant) progress in isokinetic strength of the lower body (Sökmen et al., 2018) or squat jump (Soylu et al., 2021) was made as a result of running SIT. Although short rest periods were used in our research, there was still significant progress in the upper and lower body strength compared to CG. It seems that not only short intervals of high intensity but also the chosen means (air bike) have potential in strength development. Progress in strength was made also in the bench press (ES=1.01,  $p=0.06$ ) which proves that air biking develops upper body strength too. Although both groups did one resistance training session a week, it did not lead to a significant improvement for CG. The combination with air bike was more effective.

In the studies (Hwang et al., 2016; Kim et al., 2008) that applied air bike in intervention, the work interval was 4 minutes which was also used in other researches focused on endurance athletes (Stepito et al., 1999; Sultana et al., 2019). In this study, a HIIT protocol with 15-45 sec intervals was used which allowed for higher power output, or higher speed. Air biking is more strength-based which is why it is logical to use SIT or HIIT with short intervals. During shorter and more intense intervals, fast-twitch fibres get more engaged and they consequently adapt more which results in strength parameters improvement (Chalmers, 2008). Especially in SIT, it is very important to maintain the correct form. On air bike, it is easier to maintain the correct form and it does not require any previous experience or a longer time to learn the proper technique.

The same modality in the intervention program and the testing program is a common practice (Rosenblat et al., 2020). The 2 km row test was a nonspecific endurance test—the participants were not introduced to the proper form before or during the research. In the posttest, there were similar positive changes in performance (ES=0.02). The nonspecific test might not show such positive transfer as the Total test, where EG improved significantly (ES=1.456;  $p=0.006$ ). When designing HIIT programs, it is necessary to take into account coordination/techni-

cal or mental adaptation to the specific movement which might affect the test results (Franchini et al., 2016).

To develop cardiorespiratory fitness, differently designed HIIT and SIT sessions with modalities, such as running, cycling or rowing, were found effective (Batacan et al., 2016; Sultana et al., 2019; Rosenblat et al., 2020). Based on significant VO<sub>2</sub>peak (by 10.62%) and V'E<sub>max</sub> (by 7.66%) improvement, air bike can also be labelled as an effective tool. In connection to this, Kim et al. (2017) also claim its positive effect on arterial stiffness as another possible result of training programs using air bike. Cervantes (2021) comes with different results when he notices a slight increase in VO<sub>2</sub>peak following a 4-week intervention, which however did not differ significantly from MICT. It is important to note that a low volume SIT was used (8 sets, 20 seconds work: 10 seconds rest).

Despite only small changes in body composition, a certain tendency was found—together with minor fat loss, FFM increased compared to the CG (ES=0.5,  $p=0.3$ ). This trend can be observed in other authors too (Sultana et al., 2019). More significant changes can be expected in a sedentary population or obese individuals (Keating et al., 2017). In physically active population that undergoes a short HIIT program, only minor body composition changes can be expected. It seems that HIIT using air biking can expand the scale of effective ways to change body composition.

The results proved that different HIIT protocols can lead to a VO<sub>2</sub>peak improvement. This fact can be influenced by various variables: improvement in strength parameters, change in metabolic flexibility, muscle fibres conversion, improvement in respiration function, improvement in mental resilience towards physical discomfort during exercise, better movement efficiency (MacDougall et al., 1998; Callahan et al., 2021; Dolci et al., 2021). It is difficult to determine which specific factors were dominant in this research. There are, most likely, multiple factors at work in synergy.

This research has shown that the air bike is a low-tech machine that can develop cardiorespiratory fitness in general population. The air biking technique also allows to develop strength, which is another essential factor for longevity and quality of life. Based on the data and the studies mentioned, short and longer HIIT workout with a total duration of 20-30 minutes can be recommended. For additional benefits, it is suitable to combine air bike with resistance exercise based on high-intensity functional training.

A limitation of this research can be seen in the design of the whole intervention where simple bodyweight strength training sessions was also used. It is another variable affecting the adaptation of the organism and the final tests. However, the combination of resistance and endurance training is often included in programs aiming at the development of cardiometabolic health (Hunter et al., 2020).

It also has to be noted that even though spiroergometric testing using air bike is not a new method, it begins to gain significance only with this cardio machine's extended usage. It is a non-specific tool that engages both the lower and upper body. Due to that, it has different demands for, e.g. cardiac output (Schlegel et al., 2020).

#### **Conclusion**

HIIT has been used for a long time to develop endurance or cardiorespiratory fitness. Given the wide variability of individual programs and modalities, it is necessary to analyse new

tools. Air bike is a new tool whose functionality and efficiency has not yet been sufficiently confirmed. It has been shown that HIIT using air bike can positively influence cardiorespiratory, strength and endurance parameters in an 8-week intervention. A significant effect related to the characteristics of air bike is that

it affects the strength performance of both the upper and lower body at the same time. Based on the findings of the research, air biking can be recommended as a suitable tool for developing physical fitness and performance. Because this is an original research, more related studies are required.

#### Conflict of interest

The authors declare no potential conflicts of interest with respect to research and/or publication of this article.

#### Acknowledgements

We would like to thank all the participants in the research.

**Received:** 02 March 2022 | **Accepted:** 22 September 2022 | **Published:** 01 October 2022

#### References

- Batacan, R.B., Duncan, M.J., Dalbo, V.J., Tucker, P.S., & Fenning, A.S. (2017). Effects of high-intensity interval training on cardiometabolic health: A systematic review and meta-analysis of intervention studies. *British Journal of Sports Medicine*, 51(6), 494–503. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095841>
- Blüher, M. (2019). Obesity: Global epidemiology and pathogenesis. *Nature Reviews Endocrinology*, 15(5), 288–298. <https://doi.org/10.1038/s41574-019-0176-8>
- Callahan, M.J., Parr, E.B., Hawley, J.A., & Camera, D.M. (2021). Can High-Intensity Interval Training Promote Skeletal Muscle Anabolism? *Sports Medicine*, 51(3), 405–421. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01397-3>
- Cervantes, M. (2021). Sprint Interval Training On Stationary Air Bike Shows Benefits To Cardiorespiratory Adaptations While Being Timeefficient: 21. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 53(8S), 6. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000759096.99955.b3>
- Cohen, J. (1992). Statistical Power Analysis. *Current Directions in Psychological Science*, 1(3), 98–101. <https://doi.org/10.1111/1467-8721.ep10768783>
- da Silva Machado, D.G., Costa, E.C., Ray, H., Beale, L., Chatzisarantis, N.L.D., de Farias-Junior, L.F., & Hardcastle, S.J. (2019). Short-Term Psychological and Physiological Effects of Varying the Volume of High-Intensity Interval Training in Healthy Men. *Perceptual and Motor Skills*, 126(1), 119–142. <https://doi.org/10.1177/0031512518809734>
- Dolci, F., Kilding, A.E., Spiteri, T., Chivers, P., Piggott, B., Maiorana, A., & Hart, N. (2021). High-Intensity Interval Training Shock Microcycle Improves Running Performance but not Economy in Female Soccer Players. *International Journal of Sports Medicine*, 42(8), 740–748. <https://doi.org/10.1055/a-1302-8002>
- Franchini, E., Julio, U.F., Panissa, V.L.G., Lira, F.S., Gerosa-Neto, J., & Branco, B.H.M. (2016). High-Intensity Intermittent Training Positively Affects Aerobic and Anaerobic Performance in Judo Athletes Independently of Exercise Mode. *Frontiers in Physiology*, 7, 268. <https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00268>
- Gibala, M.J., & Jones, A.M. (2013). Physiological and performance adaptations to high-intensity interval training. *Nestle Nutrition Institute Workshop Series*, 76, 51–60. <https://doi.org/10.1159/000350256>
- Gist, N.H., Fedewa, M.V., Dishman, R.K., & Cureton, K.J. (2014). Sprint interval training effects on aerobic capacity: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 44(2), 269–279. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0115-0>
- Hoffman, M.D., Kassay, K.M., Zeni, A.I., & Clifford, P.S. (1996). Does the amount of exercising muscle alter the aerobic demand of dynamic exercise? *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 74(6), 541–547. <https://doi.org/10.1007/BF02376770>
- Hunter, J.R., Gordon, B.A., Bird, S.R., & Benson, A.C. (2020). Exercise Supervision Is Important for Cardiometabolic Health Improvements: A 16-Week Randomized Controlled Trial. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 34(3), 866–877. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002980>
- Hwang, C.L., Yoo, J.K., Kim, H.K., Hwang, M.H., Handberg, E.M., Petersen, J.W., & Christou, D.D. (2016). Novel all-extremity high-intensity interval training improves aerobic fitness, cardiac function and insulin resistance in healthy older adults. *Experimental Gerontology*, 82, 112–119. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2016.06.009>
- Chalmers, G.R. (2008). Can fast-twitch muscle fibres be selectively recruited during lengthening contractions? Review and applications to sport movements. *Sports Biomechanics*, 7(1), 137–157. <https://doi.org/10.1080/14763140701683023>
- Keating, S.E., Johnson, N.A., Mielke, G.I., & Coombes, J.S. (2017). A systematic review and meta-analysis of interval training versus moderate-intensity continuous training on body adiposity. *Obesity Reviews: An Official Journal of the International Association for the Study of Obesity*, 18(8), 943–964. <https://doi.org/10.1111/obr.12536>
- Kim, H.K., Hwang, C.L., Yoo, J.K., Hwang, M.H., Handberg, E.M., Petersen, J.W., ... Christou, D.D. (2017). All-Extremity Exercise Training Improves Arterial Stiffness in Older Adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 49(7), 1404–1411. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001229>
- Kim, J.K., Nho, H., & Whaley, M. (2008). Inter-modal comparisons of acute energy expenditure during perceptually based exercise in obese adults. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 54(1), 39–45. <https://doi.org/10.3177/jnsv.54.39>
- Lamont, L.S., Rupert, S.J., Finkelhor, R.S., Alexander, J., & Goldberg, A. (1992). Predicting the Oxygen Cost of Air-Braked Ergometry. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 63(1), 89–93. <https://doi.org/10.1080/02701367.1992.10607562>
- Lamoureaux, N.R., Fitzgerald, J.S., Norton, K.I., Sabato, T., Tremblay, M.S., & Tomkinson, G.R. (2019). Temporal Trends in the Cardiorespiratory Fitness of 2,525,827 Adults Between 1967 and 2016: A Systematic Review. *Sports Medicine*, 49(1), 41–55. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-1017-y>
- Looney, M., & Rimmer, J. (2003). Aerobic exercise equipment preferences among older adults: A preliminary investigation. *Journal of Applied Measurement*, 4, 43–58.
- MacDougall, J.D., Hicks, A.L., MacDonald, J.R., McKelvie, R.S., Geen, H.J., & mith, K.M. (1998). Muscle performance and enzymatic adaptations to sprint interval training. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 84(6), 2138–2142. <https://doi.org/10.1152/jappl.1998.84.6.2138>
- Menz, V., Marterer, N., Amin, S.B., Faulhaber, M., Hansen, A.B., & Lawley, J.S. (2019). Functional Vs. Running Low-Volume High-Intensity Interval Training: Effects on VO2max and Muscular Endurance. *Journal of Sports Science & Medicine*, 18(3), 497–504.
- Nuzzo, J.L. (2020). The Case for Retiring Flexibility as a Major Component of Physical Fitness. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 50(5), 853–870. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01248-w>
- Rosenblat, M.A., Perrotta, A.S., & Thomas, S.G. (2020). Effect of High-Intensity Interval Training Versus Sprint Interval Training on Time-Trial Performance: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 50(6), 1145–1161. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01264-1>
- Schlegel, P., Hiblbauer, J., & Agricola, A. (2020). Near infrared spectroscopy and spirometry testing in CrossFit. *Studia Sportiva*, 14(1), 6–14. <https://doi.org/10.5817/StS2020-1-1>
- Schlegel, P., & Křehký, A. (2020). Anaerobic Fitness Testing in Crossfit. *Acta Facultatis Educationis Physicae Universitatis Comenianae*, 60(2), 217–228. <https://doi.org/10.2478/afepuc-2020-0018>
- Sökmen, B., Witchev, R.L., Adams, G.M., & Beam, W.C. (2018). Effects of Sprint Interval Training With Active Recovery vs. Endurance Training on Aerobic and Anaerobic Power, Muscular Strength, and Sprint Ability. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(3), 624–631. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000002215>
- Soylu, Y., Arslan, E., Sögüt, M., Kilit, B., & Clemente, F. (2021). Effects of Self-Paced High-Intensity Interval Training and Moderate-Intensity Continuous Training on the Physical Performance and Psychophysiological Responses in Recreationally Active Young Adults. *Biology of Sport*, 38(4), 555–562. <https://doi.org/10.5114/biolsport.2021.100359>
- Stepto, N.K., Hawley, J.A., Dennis, S.C., & Hopkins, W.G. (1999). Effects of different interval-training programs on cycling time-trial performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(5), 736–741. <https://doi.org/10.1097/00005768-199905000-00018>
- Sultana, R.N., Sabag, A., Keating, S.E., & Johnson, N.A. (2019). The Effect of Low-Volume High-Intensity Interval Training on Body Composition and Cardiorespiratory Fitness: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 49(11), 1687–1721. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01167-w>

## 6 ZDRAVOTNÍ ASPEKTY

Témata zasahující oblast zdraví jsou vždy nezbytná a měla by být v popředí zájmů výzkumníků. Jedním z cílů je určení, jaká rizika a benefity daná aktivita přináší. Následně přicházejí rozhodnutí, pro jaké osoby je vhodná a jakých konkrétních podob by měla nabývat. HIFT je od počátku přijímán „rezervovaně“, ať už komunitou klasických fitness center nebo odborné veřejnosti. Ačkoliv dosavadní výzkumná činnost neprokázala významná negativa (incidence zranění, nepříznivý vliv na imunitní nebo endokrinní systém, apod.), další zdravotní aspekty postrádají dostatek evidence (Feito, Burrows, et al., 2018; Jacob et al., 2020). U HIFT jde např. o vliv na organismus u specifických skupin jako jsou senioři, děti, těhotné ženy nebo jedinci se zdravotním mezením. Obecně je nedostatek přímých důkazů k tomu, aby bylo možné vytvářet definitivní závěry.

HIFT obsahuje dynamické pohyby, cvičení s činkami a je řazeno mezi aktivity se zvýšeným nebezpečím („high-impact“) pro těhotné. Dalším často připomínaným rizikem je cvičení ve vysoké intenzitě, které by mohlo být v určitých situacích kritické. Na druhé straně existuje již nemalé množství žen, které se rozhodly pokračovat v HIFT i při těhotenství. Nejen pro ně, ale také pro odbornou veřejnost je důležité získávat vědecky podloženou evidenci a tu následně přenášet do praktických doporučení (Schlegel, 2022b).

Pro HIFT není stanovena přesná definice pro vysokou intenzitu, ale není podmínkou dosahovat téměř maximálních fyziologických hodnot (nad 90 %  $HR_{max}$  apod.) (Glassman, 2004). Aktivity v HIFT mohou být s RPE 6–7 nebo vyšší a/nebo se srdeční frekvencí alespoň 70 %  $HR_{max}$  a/nebo s rychlými změnami pohybu a vysokým úsilím (Beetham et al., 2019; Feito, Heinrich, et al., 2018).

HIFT používá kromě komplexních pohybů prvky odporového tréninku, který nebývá v kontextu cvičení dětí a mládeže přijímán bez obav. U školní tělesné výchovy je spíše doporučováno posilování s vlastním tělem. Existují (nepodložené) obavy z přetížení a rizika zranění, která brání učitelům používat pestré metody rozvoje kondičních schopností. Také z tohoto důvodu je potřebné provádět reálné intervenční programy (Schlegel, Dostálová, et al., 2020). Dalším důvodem je hledání efektivních a atraktivních způsobů rozvoje tělesné zdatnosti (Schlegel, 2013).

Výkonnostní sport, který sebou přináší úspěch, finanční odměnu, popularitu apod. bývá více či méně spojen s problematikou dopingů. HIFT je sportovní oblastí, pro kterou jsou podstatné silové a vytrvalostní parametry, a zneužití dopingových látek se tak nabízí. Mnohé z těchto látek jsou snadno dostupné, což problém umocňuje. Dopování se nevyhnul ani HIFT,

resp. CrossFit – každoročně jsou zaznamenány pozitivní případy. Ačkoliv je testování součástí pouze několika vybraných závodů, nebylo by dobrým krokem nedávat tématu doping dostatečný prostor. HIFT není asociovaným sportem a nespadá, stejně jako drtivá většina závodů, pod žádný kontrolní orgán. I přesto je nutné upozorňovat na etické hledisko a zdravotní konsekvence.

Schlegel, P. (2020). Nový trend v používání zakázaných látek v CrossFitu. *Tělesná kultura*. 43 (1), 41-50.

Schlegel, P. CrossFit ve výuce školní tělesné výchovy. In Schlegel, P. a kolektiv. (2020). *Funkční trénink v tělesné výchově* (s. 113-126). Hradec Králové: Gaudeamus. ISBN: 978-80-7435-803-6.

Schlegel, P. (2022). High-intensity functional training in pregnancy: a case study. *Studia Sportiva*, 16 (2), 64-72.



## Nový trend v používání zakázaných látek v CrossFitu®

Petr Schlegel\*

*Katedra tělesné výchovy a sportu, Pedagogická fakulta, Univerzita Hradec Králové, Hradec Králové, Česká republika*

**Copyright:** © 2020 P. Schlegel. Toto je open access článek vydaný pod Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

**Východiska:** Problematika dopingů se nevyhnula ani CrossFitu®, který představuje mladou progresivní sportovní disciplínu. Crossfitový výkon vyžaduje vysokou úroveň silových i vytrvalostních schopností, které jsou navíc v pestrých kombinacích. V posledních letech se nejen zvýšil počet pozitivně testovaných atletů, ale také se objevily nově používané látky SARM (selektivní modulátor androgenního receptoru) a PPARδ (receptory aktivované proliferátory peroxizomů). Jedná se o podpůrné prostředky, které jsou velmi dobře dostupné a představují tak zvýšené riziko. **Cíle:** Vytvořit seznam pozitivně testovaných atletů v CrossFitu®. Představit SARM a PPARδ, jejich účinky a možnosti zneužití. **Metodika:** Z oficiálních zpráv byl sestaven seznam atletů s dopingovým nálezem. Bylo provedeno review literatury týkající se vybraných SARM a PPARδ, vztahující se k danému tématu. K vyhledávání byly použity databáze Scopus, Web of Science, PubMed, Google scholar. **Výsledky:** PPARδ se ukazuje jako účinný lék pro pacienty s diabetem II. typu nebo metabolickým syndromem. Mají funkci ve zvýšení oxidace mastných kyselin, transportu glukózy ve svalu. Dále přispívají ke zvýšení vytrvalostního výkonu. Potenciální vedlejší účinky jsou sice mírné, ale zasahují kosterní a oběhovou soustavu. SARM představují substituci anabolických steroidů. Prokazuje se jejich srovnatelná účinnost. Jejich vedlejší účinky jsou pravděpodobně mírnější, nicméně je zde zřejmý vliv na změnu lipidového nebo hormonálního spektra. U SARM je k dispozici velmi málo validních informací a provedených studií. **Závěry:** Na vzorku profesionálních atletů se ukazuje, že doping je aktuální téma v CrossFitu®. SARM a PPARδ nacházejí oblibu u uživatelů díky účinnosti, dostupnosti a relativně nízkým akutním vedlejším efektům. Obě látky sebou přinášejí zdravotní rizika a v mnohých ohledech nejsou zmapovány jejich dlouhodobé negativní účinky. V tomto ohledu je důležité nadále edukovat sportovní obec a upozorňovat na nové trendy ve zneužívání zakázaných látek.

*Klíčová slova:* doping, SARM, PPAR, síla, vytrvalost

### Úvod

CrossFit® vznikl v 90. letech jako cvičební a tréninkový systém ve Spojených státech amerických. Velmi brzy se začala vytvářet výkonnostní a závodní podoba, což se projevilo organizací prvních CrossFit® Games v roce 2007 (Mangine, Cebulla, & Feito, 2018). Závodní podoba CrossFitu® si postupně získala mnoho příznivců, CrossFit® Games Open se aktuálně účastní stovky tisíc atletů (Serafini, Feito, & Mangine, 2018). Dalším důkazem je pořádání mnoha lokálních i mezinárodních závodů, které sice nejsou přímo organizovány CrossFit®, LLC (limited liability company), ale obsahují shodné atributy.

Sportovci musí v CrossFitu® podávat velmi rozličné výkony. WOD (workout of the day – „trénink dne“) obsahuje čistě silové výkony s externí zátěží, s vlast-

ním tělem, olympijské vzpírání (Tibana et al., 2019). V této oblasti se nejvíce promítá absolutní síla, silová vytrvalost a relativní síla. Na druhé straně jsou kladeny požadavky i na vytrvalostní výkony, které mohou mít různorodou povahu z hlediska délky trvání i zastoupení modalit (běh, veslování, plavání atd.). Unikátním atributem je spojení všech těchto prvků. Pro úspěch v CrossFitu® je tedy nutné disponovat výraznými silovými schopnostmi a též širokou škálou vytrvalostních schopností (Schlegel, Režný, & Fialová, 2020).

Doping je bohužel stále aktuální téma s čímž souvisí i objevování jeho nových forem. Problém používání zakázaných látek se nemohl vyhnout ani CrossFitu®, a proto od roku 2018 spolupracuje s WADA (World Anti-Doping Agency). První odhalený případ se objevil o dva roky později. V posledních letech se začali kromě tradičně zneužívaných zakázaných látek (anabolické steroidy, růstový hormon, stimulanty) objevovat SARM (selektivní modulátor androgenního receptoru) a PPAR (peroxisome proliferator-activated receptor). Ty se staly oblíbenými nejen v CrossFitu®, a to jak u amatérských, tak i profesionálních sportovců (Van Wagoner, Eichner, Bhasin, Deuster, & Eichner, 2017).

\* Korespondenční adresa: Petr Schlegel, Katedra tělesné výchovy a sportu, Pedagogická fakulta, Univerzita Hradec Králové, U Pivovarské flošny 296/3, 500 03 Hradec Králové, email: petr.schlegel@gmail.com



Cílem článku je představit nově používané zakázané látky SARM a PPAR $\delta$ , popsat jejich funkci a související zdravotní rizika. Existuje více druhů zmíněných látek, pozornost bude zaměřena na LGD 4033, RAD 140, Ostarin (SARM) a GW501516 (PPAR $\delta$ ). Sekundárním cílem je upozornit na problematiku dopingů v CrossFitu®.

## Metodika

Na základě dostupných oficiálních zpráv od CrossFit®, LLC (2020) z jejich webového portálu byl sestaven seznam atletů, kteří byli testováni pozitivně při účasti na CrossFit® Games zahrnující i kvalifikační závody, včetně detekovaných látek. Jednalo se o časové rozpětí let 2010–2019. Pro získání relevantních informací k dané problematice byla provedena literární rešerše. Byly použity databáze Scopus, Web of Science, PubMed, Google scholar. Zadána byla klíčová slova a jejich spojení: „CrossFit“, „high intensity functional training“, „performance enhancing drugs“, „doping“, „sarm“, „selective androgen receptor modulator“, „LGD 4033“, „RAD 140“, „Ostarine“, „peroxisome proliferator-activated receptor“, „GW501516“. Sběr dat byl ukončen v září 2020. Pro zařazení byla stanovena kritéria: intervenční studie, bez specifických výzkumného vzorku, ve výzkumu použity látky LGD 4033, RAD 140, Ostarine nebo GW501516. Nebyly zařazeny klinické studie bez publikačního výstupu. Celkem bylo nalezeno 33 studií, které byly rozděleny na dvě skupiny: SARM a GW501516, a přehledně sestaveny do tabulek.

## Výsledky

Tabulka 1 zobrazuje pozitivně testované atlety na CrossFit® Games a Regionals. Seznam byl sestaven podle oficiálních zpráv CrossFit®, LLC (2020). Je patrné, že počet dopingových nálezů se postupně zvyšoval, bohužel nejsou známy celkové počty provedených testů. Zneužívání zakázaných látek se týká především mužů, a to v individuálních kategoriích. Dále je popsáno, jaká látka byla detekována a do jaké kategorie spadá.

Uvedena je i doba zákazu účasti na závodech, zde lze konstatovat postupné ztížení sankcí, které jsou až na výjimky 4 roky. Od roku 2017 jsou zaznamenány případy použití SARM (RAD 140, Ostarine, LGD4033) a také PPAR $\delta$  (GW501516).

PPAR jsou ligandem aktivované transkripční faktory, které se řadí do nukleárních receptorů. Podílejí se na metabolismu živin a mají schopnost regulace lipidů, glukózy nebo cholesterolu (Wright, Bortolini, Tadayon, & Bopst, 2014). Další funkcí je také pozitivní vliv na zánětlivé prostředí. PPAR se prokázaly jako účinné v léčbě metabolického syndromu nebo obezity (d'Angelo et al., 2019). PPAR je více druhů,

jako zakázaná látka byl u crossfiterů detekován PPAR $\delta$  s obchodními názvy GW501516, GW1516, Cardarine, GSK-516, endurobol.

V Tabulce 2 jsou uvedeny studie, které se zabývaly působením GW501516. Lze se setkat i s jinými obchodními názvy, jedná se však o stejnou účinnou látku. Většina studií byla realizovaná na myších, dále se také jednalo o výzkumy in vitro (Kino, Rice, & Chrousos, 2007; Smith, Coleman, Thompson, & Vanden Heuvel, 2016). Pouze tři studie sledovaly účinky na lidském vzorku (Sprecher et al., 2007; Risérus et al., 2008; Olson, Pearce, Jones, & Sprecher, 2012).

GW501516 se zdá být účinným prostředkem ve zvýšení oxidace mastných kyselin (Nagasawa et al., 2006; Chen et al., 2015), transportu glukózy ve svalech (Chen, Wang, Liu, Long, & Li, 2008). Tyto změny přispívají ke zvýšení fyzického (běžeckého) vytrvalostního výkonu (Wang et al., 2004; Zizola et al., 2015; Fan et al., 2017). Došlo také ke zlepšení lipidového spektra, konkrétně snížení hladiny LDL cholesterolu (Sprecher et al., 2007; Risérus et al., 2008; Olson et al., 2012). Potenciál se ukazuje i v protizánětlivé aktivitě (Nagasawa et al., 2006; Kino et al., 2007).

Vliv na nádorová onemocnění není jednotný, prokázaly se protichůdné efekty (Yin et al., 2005; Yuan et al., 2013, Smith et al., 2016). Závěry se však kloní k bezpečnosti z pohledu karcinogenity. Vedlejší účinky při dlouhodobém užívání mohou být kardiologické komplikace nebo zhoršení kostní resorpce (Wright et al., 2014).

SARM je druh ligandního androgenního receptoru, jehož funkce je v působení podobně jako v případě steroidních hormonů. Na jejich vývoji se pracuje od 90. let minulého století a představují možnost nahrazení steroidních hormonů v terapii (Naafs, 2018). Zároveň je zde potenciál ve snížení vedlejších účinků, které sebou tento druh léčby přináší.

Vybrané SARM, které byly zjištěny při pozitivních testech u crossfiterů jsou zobrazeny v Tabulce 3. Připojeny jsou i další obchodní názvy, pod kterými jsou prodávány. Výzkumným souborem byly většinou myší vzorky a kromě Basaria et al. (2013) se jednalo o specifické věkové nebo zdravotní skupiny. Velmi častým výstupem je nárůst svalové hmoty (např. Dobs et al., 2013; Miller et al., 2011; Ponnusamy, Sullivan, Thiagarajan, Tillmann, Getzenberg, & Narayanan, 2017), efekt byl v několika případech srovnatelný s účinkem dihydrotestosteronu (Dubois et al., 2015; Simitsidellis et al., 2019). Dalšími souvisejícími efekty jsou zvýšení svalové síly nebo zlepšení ve funkčních testech (Zilbermint & Dobs, 2009). Pozitivní efekt na zvýšení síly potvrzují Liva et al. (2020).

Obecně nejsou konstatovány androgenní efekty jako u anabolických steroidů (Solomon et al., 2018). U RAD140 a Ostarinu je potenciál v nízkém působení na prostatu (Jayaraman et al., 2014; Zilbermint & Dobs,

Tabulka 1 Pozitivní dopingové nálezy u crossfitových atletů (CrossFit®, LLC, 2020)

rok	M/F	substance	kategorie	zákaz činnosti (roky)	divize
<b>2010</b>					
	M	Methylhexanamin	stimulancia	anulace výsledků	I
	M	Methylhexanamin	stimulancia	anulace výsledků	I
<b>2014</b>					
	F	B-methylphenethylamin	stimulancia	1	I
	F	Metandienon	anabolické androgenní steroidy	2	I
<b>2015</b>					
	M	Anastrozol, Letrozol, 19-norandrosteron	selektivní modulátory estrogenových receptorů, anabolické androgenní steroidy	2	I
	F	Oxandrolon	anabolické androgenní steroidy	2	I
	M	Ostarine	ostatní anabolické látky (SARM)	1	I
	M	odmítnutí		1	I
<b>2016</b>					
	M	Trenbolon	anabolické androgenní steroidy	4	I
	F	Oxandrolon	anabolické androgenní steroidy	2	I
	M	Anastrozol	selektivní modulátory estrogenových receptorů	2	I
	F	Klomifen	selektivní modulátory estrogenových receptorů	1	I
	M	nespecifikované anabolikum	anabolické androgenní steroidy	2	I
<b>2017</b>					
	M	Klomifen	selektivní modulátory estrogenových receptorů	2	I
	M	Ostarin	ostatní anabolické látky (SARM)	2	I
	M	Methylhexaneamin	stimulants	2	I
	M	Klomifen	selektivní modulátory estrogenových receptorů	4	I
	F	Klenbuterol	anabolické androgenní steroidy	4	I
	M	Klomifen	selektivní modulátory estrogenových receptorů	4	I
	M	Klenbuterol, modafinil, zvýšená hladina testosteronu	anabolické androgenní steroidy, stimulancia	4	I
	M	Tamoxifen	selektivní modulátory estrogenových receptorů	4	I
	M	RAD 140, GW501516	ostatní anabolické látky (SARM), metabolické modulátory (PPARδ)	4	I
	M	Anastrozol	selektivní modulátory estrogenových receptorů	4	I
	M	Ostarine and RAD 140	ostatní anabolické látky (SARM)	4	I
<b>2018</b>					
	F	Klomifen, meldonium, drostanolon	selektivní modulátory estrogenových receptorů, anabolické androgenní steroidy	4	I
	F	Epimentendiol, methandienon, oxandrolon, epioxandrolon, methanol, letrozol, amfetamin	selektivní modulátory estrogenových receptorů, anabolické androgenní steroidy, stimulancia	4	I
	M	LGD4033	ostatní anabolické látky (SARM)	4	T
	F	GW1516	metabolické modulátory (PPARδ)	4	I 35–39
	M	GW501516, ostarine	metabolické modulátory (PPARδ), ostatní anabolické látky (SARM)	4	I 40–44
	F	Ibutamoren	peptidové hormony a jejich uvolňovací faktory	4	I
	M	Klomifen	selektivní modulátory estrogenových receptorů	4	T
	F	Ostarine	ostatní anabolické látky (SARM)	4	T
	F	Higenamine	beta-2 agonisté	4	T
	F	Stanozolol	anabolické androgenní steroidy	4	T
	M	Exogenní testosterone	anabolické androgenní steroidy	4	I
	F	GW501516, turinabol	metabolické modulátory (PPARδ), anabolické androgenní steroidy	4	I
	F	Stanozolol	anabolické androgenní steroidy	4	T
	M	GW501516	metabolické modulátory (PPARδ)	4	I
	F	Oxandrolon	anabolické androgenní steroidy	4	I
	F	1,3-dimethylbutylamin	stimulancia	4	I
	M	GW501516	metabolické modulátory (PPARδ)	4	I
	F	Stanozolol	anabolické androgenní steroidy	4	I
	M	Epimentendiol, methandienone, ostarine, LGD4033	anabolické androgenní steroidy, ostatní anabolické látky (SARM)	4	I

rok	M/F	substance	kategorie	zákaz činností (roky)	divize
<b>2019</b>					
	F	GW501516, ostarine	metabolické modulátory (PPAR $\delta$ ), ostatní anabolické látky (SARM)	4	I
	M	Tamoxifen, choriogonadotropin	selektivní modulátory estrogenových receptorů, peptidové hormony a jejich uvolňovací faktory	4	I
	M	GW501516	metabolické modulátory (PPAR $\delta$ )	4	I
	F	Oral turinabol	anabolické androgenní steroidy	4	I
	F	GW501516	metabolické modulátory (PPAR $\delta$ )	4	I 55–59
	M	Oral turinabol	anabolické androgenní steroidy	4	I
	M	Stanozolol	anabolické androgenní steroidy	4	I
	F	Klenbuterol	anabolické androgenní steroidy	4	I
	M	Ostarin, RAD-140	ostatní anabolické látky (SARM)	4	I
	M	Stanozolol	anabolické androgenní steroidy	4	I
	M	Exogenní testosteron	anabolické androgenní steroidy	4	I 55–59
	M	Exogenní testosteron	anabolické androgenní steroidy	4	I 60+
	M	GW501516	metabolické modulátory (PPAR $\delta$ )	4	I 40–44
	F	Stanozolol	anabolické androgenní steroidy	4	I 55–59

*Poznámka:* M – muž; F – žena; I – individuální; T – týmy

2009), což bývá problematické u testosteronové terapie. Dalším společným znakem je snížení tukové hmoty (Miller et al., 2010), Basaria et al. (2013) a Zilbermint a Dobs (2009) však konstatují také snížení HDL cholesterolu. Negativní změny v lipidovém spektru jsou konstatovány Daltonem et al. (2011).

U Ostarinu (Dalton et al., 2011; Zilbermint & Dobs; 2009) se prokázal účinek zlepšení inzulinové rezistence. V některých případech byly popsány vedlejší účinky jako suprese testosteronu (Basaria et al., 2013), nauzea, únava, průjem (Zilbermint & Dobs, 2009) U vybraných SARM lze sledovat podobné efekty, které lze srovnávat s účinky testosteronu.

Z vybraných SARM je nejlépe zdokumentovaný Ostarin, zde bylo provedeno více výzkumů (Crawford et al., 2016; Dobs et al., 2013; Zilbermint & Dobs, 2009). Ačkoliv lze očekávat podobné působení jednotlivých SARM na lidský organismus, nejedná se o shodné látky, proto nelze jejich účinky automaticky sdružovat.

## Diskuse

Výkony v CrossFitu<sup>®</sup> jsou závislé na vysoké úrovni nejen silových, ale také vytrvalostních schopností (Schlegel et al., 2020). Jak ukazují dopingové nálezy (Tabulka 1), jsou pro tyto účely zneužívány také SARM i PPAR $\delta$ . Lze předpokládat, že profesionální atleti představují jen špičku ledovce a převážné množství uživatelů se nachází v řadách amatérů (de Hon et al., 2015). Celkově je k dispozici velmi málo informací o dopování v CrossFitu<sup>®</sup> (Mulrooney & van de Ven, 2019). Testování je záležitostí závodů organizovaných CrossFit<sup>®</sup>, LLC (CrossFit<sup>®</sup> Games, Sanctionals), ostatní lokální i mezinárodní závody fungují nezávisle a testování je na rozhodnutí pořadatele. Bohužel vzhledem

k nákladnosti a absenci systémového přístupu k zakázaným látkám, resp. trestům, kontroly standardně neprobíhají. Kritika se snáší na neprůhlednost testování – je realizováno pouze během závodu, nejsou známy celkové počty testů, výběr konkrétních atletů nebo národností atd.

PPAR $\delta$  se ukazují jako velmi účinné ve schopnosti lépe využívat lipidy jako zdroj pro svalovou práci (Fan et al., 2017). Je také pravděpodobné, že zde bude efektivnější využití aerobní glykolýzy. Tyto efekty vedou ke zvýšení vytrvalostního výkonu (d'Angelo et al., 2019; Wang et al., 2004). CrossFit<sup>®</sup> je příznačný pestrou délkou i povahou crossfitového výkonu, který bývá relativně krátký (do 20 minut) a má vysokou intenzitu (na základě tepové frekvence, laktátu nebo RPE – škála vnímané intenzity) (Feito et al., 2018). Dalším znakem výkonnostních atletů je nízké procento podkožního tuku, i tento aspekt může být dobře ovlivněn užíváním GW501516.

Z pohledu zdravotních rizik se zdá, že PPAR $\delta$  představují relativně bezpečný lék pro pacienty s diabetem II. typu nebo metabolickým syndromem (d'Angelo et al., 2019). Akutní absence vedlejších efektů je dobrou zprávou pro pacienty, bohužel zvyšuje riziko jejich zneužívání sportovci. Je důležité zdůraznit, že obvykle se jednalo v uvedených studiích o krátkodobé výzkumy se specifickým vzorkem (kromě Sprecher et al., 2007), které navíc nesledovali soubor po ukončení intervence. U sportovců se lze setkat nejen s nadužíváním v podobě množství, ale také s prodloužením doby užívání (Vanberg & Atar, 2010). Je zřejmé, že po vysazení GW501516 dojde ke zpomalení metabolismu tuků, což může vést k rychlejšímu nabírání hmotnosti, retenci vody, zvýšení únavy, snížení výkonnosti. Tyto následky se mohou také přenést do body image a ovlivnit i psychické aspekty uživatele.

Tabulka 2 Výzkumy sledující účinky GW501516

Studie	N	Délka (dny)	Výzkumný soubor	Hlavní závěry
Wang et al. (2004)		77	myši	zvýšený počet svalových vláken typu I, pozitivní vliv na únavu, vytrvalost, běžeckou kapacitu
Yin et al. (2005)		140	myši s karcinomem prsu	zrychlená tvorba nádoru
Nagasawa et al. (2006)		35	myši, dieta s deficitem methioninu a cholinu	zlepšení jaterní steatózy pomocí beta-oxidace mastných kyselin; protizánětlivá funkce
Chen et al. (2008)		14	myši s metabolickým syndromem	zvýšení oxidace mastných kyselin ve svalech, tukové tkáni a játrech; zlepšení transportu glukózy ve svalu a tukové tkáni; snížená lokální syntéza glukokortikoidů
Pollock et al. (2010)		56	myši s karcinomem žaludku	rychlý rozvoj metastatických nádorů žaludku
Alvarez-Guardia et al. (2011)		21	myši, vysokotuková dieta	zlepšení zánětlivých markerů
Yuan et al. (2013)		140	myši s karcinomem prsu	snížená latence nádoru
Gu et al. (2014)		28	myši po fototerapeutické keratektomii	inhibice reepitelizace, podpora angiogeneze, aktivace a proliferace keratocytů
Chen et al. (2015)		21	myši	zvýšení běžeckého výkonu; zvýšení hladiny klíčových metabolitů a enzymů při oxidaci mastných kyselin; zvýšení hladiny mastných kyselin v séru
Zizola et al. (2015)		56	myši s ventrikulární dysfunkcí	zlepšená běžecká vytrvalost, ochranný účinek proti poklesu mastných kyselin vyvolaný cytokiny
Fan et al. (2017)		28	myši	zvýšené využití mastných kyselin (optori glykogenu); zvýšení běžecké vytrvalosti; žádné změny ve svalových vláknech nebo množství mitochondrií
Kino et al. (2007)			buňky lidského hepatomu HepG2 (in vitro)	potlačení systémových zánětlivých reakcí
Sprecher et al. (2007)	24	14	zdraví muži	zvýšení hladiny HDL (low-density lipoprotein) cholesterolu, snížení triglyceridů
Risérus et al. (2008)	18	14	středně obézní muži	snížení hladiny triglyceridů, LDL (low-density lipoprotein) cholesterolu, alipoproteinu B, inzulínu a jaterního tuku
Smith et al. (2012)			buňky alergických subjektů (in vitro)	zmírnění eozinofilie
Olson et al. (2012)	37	84	muži s vysokým HDL cholesterolem	snížení hladiny LDL cholesterolu, triglyceridů, volných mastných kyselin; zvýšení hladiny HDL cholesterolu, apolipoproteinu A1
Coleman et al. (2013)			buňky rakoviny pankreatu (in vitro)	regulace invaze buněk rakoviny pankreatu
Smith et al. (2016)			buňky rakoviny pankreatu (in vitro)	suprese prozánětlivé exprese v THP-1 makrofázích, snížení invazivity přes bazální membránu

*Poznámka:* Tabulka rozdělena podle výzkumného souboru, v horní polovině jsou uvedeny studie používající myši vzorek.

Používání látek zvyšující svalovou sílu, nárůst svalové hmoty nebo zlepšení regenerace je velmi rozšířené. Tyto vlastnosti mají anabolické steroidy, které se staly synonymem dopingu (Alquraini & Auchus, 2018; Sagoe et al., 2014). Jak se ukazuje, SARM dokáží působit velmi podobně a v krátkodobém měřítku jsou srovnatelné s externě dodávaným testosteronem (Basaria et al., 2013). Problémem SARM se stává jejich dobrá dostupnost (pomocí e-shopů), orální podání (není nutná injekční aplikace) a také relativně nízké vedlejší efekty (v porovnání s jinými steroidními látkami) (Miklos, 2018). Jedná se však o černý trh, kde se nelze spoléhat na kvalitu produktu. Podle zjištění téměř 50% produktů neobsahovalo uváděné množství účinné látky

nebo obsahovalo látku jinou (van Wagoner et al., 2017). Tímto se takový produkt stává ještě nebezpečnějším.

Jedním ze zásadních rizik u SARM je nedostatek validních studií a podkladů pro jejich používání (Tabulka 2). Např. u RAD140 není k dispozici ani jedna studie na lidském vzorku, u LGD4033 existuje pouze jedna publikovaná studie (Basaria et al., 2013). Na základě takových podkladů nelze konstatovat odpovídající závěry o zdravotních rizicích. Basaria et al. (2013) a Dalton et al. (2011) konstatují zřejmý vliv na hormonální spektrum, které sebou jistě ponese negativní konsekvence po ukončení terapie. Bohužel taková data nejsou k dispozici.

Tabulka 3 Přehled výzkumů sledující vybrané SARM

SARM	Studie	N	Délka (dny)	Výzkumný soubor	Hlavní závěry
<b>LGd4033 (ligandrol)</b>					
	Basaria et al. (2013)	76	21	zdraví muži (21–50)	zvýšení svalové hmoty; suprese celkového testosteronu, sexuální hormon vázající globulin, HDL cholesterolu
<b>RAD 140 (testolone)</b>					
	Miller et al. (2010)			myši	zvýšení svalové hmoty; snížení lipidů; hladina aminotransferáz beze změny
	Jayaraman et al. (2014)		14	myši	stejná efektivita jako testosterone ve snížení zániku buněk způsobených apoptózou; neuroprotektivní efekt; androgenní působení s nízkým vlivem na prostatu
	Yu et al. (2017)			myši s rakovinou prsu	aktivace androgenních receptorů; inhibice růstu rakoviny prsu
<b>Ostarine (enobosarm, GTx-024, S-22)</b>					
	Zilbermint & Dobs (2009)	71	14	senioři, zdraví muži (18–45)	pozitivní změny na svalch; bez negativních efektů na prostatu a kůži
	Dalton et al. (2011)	120	84	muži >60, postmenopauzální ženy	zvýšení svalové hmoty; zlepšení fyzických funkcí a inzulínové resistance, snížení HDL i LDL cholesterolu, suprese testosteronu
	Dobs et al. (2013)	159	113	muži >45, postmenopauzální ženy s rakovinou	zvýšení svalové hmoty; bez toxického efektu
	Kim et al. (2013)			myši	rychlá a úplná absorpce; vysoká orální biologická dostupnost; široká tkáňová distribuce; mírná plazmatická clearance
	Dubois et al. (2015)			myši bez androgenního receptoru	efektivní jako dihydrotestosterone v nárůstu svalové hmoty (levator ani)
	Crawford et al. (2016)	321	86	muži, ženy s rakovinou plic	zvýšení svalové hmoty; zlepšení fyzických funkcí
	Ponnusamy et al. (2016)			postmenopauzální myši	restorace pelvického svalstva; zvýšení svalové hmoty
	Hoffmann et al. (2018)		35	myši s odstraněnými vaječníky	zvýšení kostní density; zvýšení hmotnosti dělohy
	Simitsidellis et al. (2019)		7	myši s odstraněnými vaječníky	zvýšení velikosti a hmoti dělohy; identický efekt jako dihydrotestosteron
	Liva et al. (2020)		14	myši s rakovinou	(v kombinaci s inhibitorem AR-42), zvýšení hmotnosti, svalové hmoty zadních končetin, síly úchopu
	Komrakova et al. (2020)		35	myši s odstraněnými vaječníky, po osteotomii metafýzy tibie	zvýšení hmotnosti m. gastrocnemius; zvýšení hmotnosti dělohy; snížení hladiny cholesterolu; pozitivní efekt na hojení kostí

U žádné studie nebyl vzorek podrobně sledován po ukončení intervence. Změna lipidového spektra, která je typická u působení anabolických steroidů, se vrací do původního stavu v řádu měsíců (v závislosti na době terapie). Podobné je to s návratem hladiny testosteronu (Bhasin et al. 1996; Velho et al., 2017). Tyto změny poté způsobují lavinový efekt v ovlivnění dalších orgánových soustav, behaviorálních aspektů, kvality života atd. (Kanayama et al., 2008). Ačkoliv pro to není opora ve výzkumu, lze se domnívat, že takové konsekvence lze očekávat i při používání SARM.

Nejen výkon, ale i vzhled bývá důvodem k používání zakázaných látek. I proto se objevuje označení

PIED (performance and image enhancing drugs) (Piacentino et al., 2017). SARM i GW501516 mají výrazný potenciál ve změně tělesného složení, siluety těla, snížení podkožního tuku, hypertrofie svalů. I proto se stávají cílem širokého spektra sportovců a jsou pak používány v návaznosti na roční období. U obou látek je však po vysazení téměř jistě následek ve zhoršení všech zmíněných parametrů. Konsekvence je pak možné konstatovat ve zhoršení body image a díky tomu v možné recidivě.

Zneužívání SARM a PPAR $\delta$  není záležitostí jen CrossFitu<sup>®</sup>, ale objevuje se i v jiných sportovních disciplínách. V roce 2017 bylo prostřednictvím WADA



pozitivně testováno 57 sportovců na SARM (Kintz, Ameline, Gheddar, & Raul, 2019). Zmíněné číslo však pravděpodobně představuje vrcholek ledovce. Důležité je zdůraznit, že dominantně jsou tyto látky používány amatérskými sportovci, kteří nepodléhají žádným kontrolám (van Wagener et al., 2017). Podle antidopingového výboru ČR byl zaznamenán jeden případ zneužití GW501516, u SARM žádný. Na základě dostupných informací lze jen spekulovat o rozšíření u české sportující populace, nejsou k dispozici žádné validní údaje. Velmi snadná dostupnost a podpora některými influencery však nasvědčuje nemalému zneužívání těchto látek.

### Závěr

CrossFit® je nová moderní disciplína, která přitahuje pozornost mladých lidí a vyznačuje se vysokou úrovní silových i vytrvalostních výkonů. Na profesionálních atletech se ukazuje, že je zde změna ve zneužívání zakázaných látek. Mezi tyto látky patří SARM a PPAR $\delta$ , které byly původně vytvářeny pro lékařské účely. Díky účinnosti, snadné dostupnosti a relativně malým akutní vedlejším efektům se staly rozšířenými. Bohužel tyto okolnosti nahrávají i zneužívání pro dopingové účely mezi profesionály i amatéry a představují tak zvýšené nebezpečí. Je zapotřebí zdůraznit, že oba produkty nebyly zamýšleny pro sportující populaci, a tedy nebyly ani takovým způsobem testovány. SARM navíc zatím nebyly schváleny jako lék, jejich používání je pouze pro vědecké nebo klinické účely a celkově chybí dostatek informací pro jejich použití.

Kromě etického hlediska jsou zde četná zdravotní rizika, která by měla být zdůrazňována a měla by se stát součástí edukace sportovní obce. U SARM se jedná především o supresi testosteronu, snížení HDL i LDL cholesterolu a narušení vnitřní homeostázy, která vyžaduje dlouhodobý návrat k původním hodnotám. PPAR $\delta$  mohou způsobit kardiologické komplikace nebo zhoršit kostní resorpci. Způsobují také nestandardní změny v povaze a rychlosti metabolismu.

### Reference

- Alquraini, H., & Auchus, R. J. (2018). Strategies that athletes use to avoid detection of androgenic-anabolic steroid doping and sanctions. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 464, 28–33. doi: 10.1016/j.mce.2017.01.028
- Alvarez-Guardia, D., Palomer, X., Coll, T., Serrano, L., Rodríguez-Calvo, R., Davidson, M. M., ... Vázquez-Carrera, M. (2011). PPAR $\beta/\delta$  activation blocks lipid-induced inflammatory pathways in mouse heart and human cardiac cells. *Biochimica Et Biophysica Acta*, 1811(2), 59–67. doi: 10.1016/j.bbali.2010.11.002
- Basaria, S., Collins, L., Dillon, E. L., Orwoll, K., Storer, T. W., Miciek, R., ... Bhasin, S. (2013). The safety, pharmacokinetics, and effects of lgd-4033, a novel nonsteroidal oral, selective androgen receptor modulator, in healthy young men. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 68(1), 87–95. doi: 10.1093/geron/gls078
- Bhasin, S., Storer, T. W., Berman, N., Callegari, C., Clevenger, B., Phillips, J., ... Casaburi, R. (1996). The effects of supraphysiologic doses of testosterone on muscle size and strength in normal men. *New England Journal of Medicine*, 335(1), 1–7. doi: 10.1056/NEJM199607043350101
- Coleman, J. D., Thompson, J. T., Smith, R. W., Prokopczyk, B., & Vanden Heuvel, J. P. (2013). Role of peroxisome proliferator-activated receptor  $\beta/\delta$  and b-cell lymphoma-6 in regulation of genes involved in metastasis and migration in pancreatic cancer cells. *PPAR Research*, 2013, 121956. doi: 10.1155/2013/121956
- Crawford, J., Prado, C. M. M., Johnston, M. A., Gralla, R. J., Taylor, R. P., Hancock, M. L., & Dalton, J. T. (2016). Study design and rationale for the phase 3 clinical development program of enobosarm, a selective androgen receptor modulator, for the prevention and treatment of muscle wasting in cancer patients (POWER Trials). *Current Oncology Reports*, 18(6), 37. doi: 10.1007/s11912-016-0522-0
- CrossFit, LLC. (2020, 10. září). *Breach of drug policy*. Retrieved from: <https://games.crossfit.com/announcement>.
- d'Angelo, M., Castelli, V., Tupone, M. G., Catanesi, M., Antonosante, A., Dominguez-Benot, R., ... Benedetti, E. (2019). Lifestyle and food habits impact on chronic diseases: Roles of PPARs. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(21), 1-31. doi: 10.3390/ijms20215422
- Dalton, J. T., Barnette, K. G., Bohl, C. E., Hancock, M. L., Rodriguez, D., Dodson, S. T., ... Steiner, M. S. (2011). The selective androgen receptor modulator GTX-024 (enobosarm) improves lean body mass and physical function in healthy elderly men and postmenopausal women: Results of a double-blind, placebo-controlled phase II trial. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, 2(3), 153–161. doi: 10.1007/s13539-011-0034-6
- de Hon, O., Kuipers, H., & van Bottenburg, M. (2015). Prevalence of doping use in elite sports: A review of numbers and methods. *Sports Medicine*, 45(1), 57–69. doi: 10.1007/s40279-014-0247-x
- Dobs, A. S., Boccia, R. V., Croot, C. C., Gabrail, N. Y., Dalton, J. T., Hancock, M. L., ... Steiner, M. S. (2013). Effects of enobosarm on muscle wasting and physical function in patients with cancer: A double-blind, randomised controlled phase 2 trial. *The Lancet. Oncology*, 14(4), 335–345. doi: 10.1016/S1470-2045(13)70055-X
- Dubois, V., Simitsidellis, I., Laurent, M., Jardi, F., Saunders, P., Vanderschueren, D., & Claessens, F. (2015). Enobosarm (GTX-024) modulates adult skeletal muscle mass independently of the androgen receptor in the satellite cell lineage. *Endocrinology*, 156, en20151479. doi: 10.1210/en.2015-1479
- Fan, W., Waizenegger, W., Lin, C. S., Sorrentino, V., He, M.-X., Wall, C. E., ... Evans, R. M. (2017). PPAR $\delta$  promotes running endurance by preserving glucose. *Cell Metabolism*, 25(5), 1186-1193.e4. doi: 10.1016/j.cmet.2017.04.006
- Feito, Y., Heinrich, K. M., Butcher, S. J., & Poston, W. S. C. (2018). High-Intensity Functional Training (HIFT): Definition and research implications for improved fitness. *Sports (Basel, Switzerland)*, 6(3), 1-19. doi:10.3390/sports6030076
- Gu, Y., Li, X., He, T., Jiang, Z., Hao, P., & Tang, X. (2014). The antifibrosis effects of peroxisome proliferator-activated receptor  $\delta$  on rat corneal wound healing after excimer laser keratectomy. *PPAR Research*, 2014, 464935. doi: 10.1155/2014/464935

- Hoffmann, D. B., Komrakova, M., Pflug, S., von Oertzen, M., Saul, D., Weiser, L., ... Sehmisch, S. (2018). Evaluation of ostarine as a selective androgen receptor modulator in a rat model of postmenopausal osteoporosis. *Journal of Bone and Mineral Metabolism*, 37(2), 243–255. doi: 10.1007/s00774-018-0929-9
- Chen, W., Gao, R., Xie, X., Zheng, Z., Li, H., Li, S., ... Wang, L. (2015). A metabolomic study of the PPAR $\delta$  agonist GW501516 for enhancing running endurance in Kunming mice. *Scientific Reports*, 5, 9884. doi: 10.1038/srep09884
- Chen, W., Wang, L.-L., Liu, H.-Y., Long, L., & Li, S. (2008). Peroxisome proliferator-activated receptor delta-agonist, GW501516, ameliorates insulin resistance, improves dyslipidaemia in monosodium L-glutamate metabolic syndrome mice. *Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology*, 103(3), 240–246. doi: 10.1111/j.1742-7843.2008.00268.x
- Jayaraman, A., Christensen, A., Moser, V. A., Vest, R. S., Miller, C. P., Hattersley, G., & Pike, C. J. (2014). Selective androgen receptor modulator rad140 is neuroprotective in cultured neurons and kainate-lesioned male rats. *Endocrinology*, 155(4), 1398–1406. doi: 10.1210/en.2013-1725
- Kanayama, G., Hudson, J. I., & Pope, H. G. (2008). Long-term psychiatric and medical consequences of anabolic-androgenic steroid abuse. *Drug and Alcohol Dependence*, 98(1–2), 1–12. doi: 10.1016/j.drugalcdep.2008.05.004
- Kim, J., Wang, R., Veverka, K. A., & Dalton, J. T. (2013). Absorption, distribution, metabolism and excretion of the novel SARM GTx-024 [(S)-N-(4-cyano-3-(trifluoromethyl)phenyl)-3-(4-cyanophenoxy)-2-hydroxy-2-methylpropanamide] in rats. *Xenobiotica; the Fate of Foreign Compounds in Biological Systems*, 43(11), 993–1009. doi: 10.3109/00498254.2013.788233
- Kino, T., Rice, K. C., & Chrousos, G. P. (2007). The PPAR $\delta$  agonist GW501516 suppresses interleukin-6-mediated hepatocyte acute phase reaction via STAT3 inhibition. *European Journal of Clinical Investigation*, 37(5), 425–433. doi: 10.1111/j.1365-2362.2007.01796.x
- Kintz, P., Ameline, A., Gheddar, L., & Raul, J.-S. (2019). LGD-4033, S-4 and MK-2866 – Testing for SARMS in hair: About 2 doping cases. *Toxicologie Analytique et Clinique*, 31(1), 56–63. doi: 10.1016/j.toxac.2018.12.001
- Komrakova, M., Furtwängler, J., Hoffmann, D. B., Lehmann, W., Schilling, A. F., & Sehmisch, S. (2020). The selective androgen receptor modulator ostarine improves bone healing in ovariectomized rats. *Calcified Tissue International*, 106(2), 147–157. doi: 10.1007/s00223-019-00613-1
- Liva, S. G., Tseng, Y.-C., Dauki, A. M., Sovic, M. G., Vu, T., Henderson, S. E., ... Coss, C. C. (2020). Overcoming resistance to anabolic SARM therapy in experimental cancer cachexia with an HDAC inhibitor. *EMBO Molecular Medicine*, 12(2), e9910. doi: 10.15252/emmm.201809910
- Mangine, G. T., Cebulla, B., & Feito, Y. (2018). Normative values for self-reported benchmark workout scores in CrossFit® practitioners. *Sports Medicine – Open*, 4(1), 39. doi: 10.1186/s40798-018-0156-x
- Miklos, A. (2018). Selective androgen receptor modulators (SARMS) in the context of doping. *Farmacia*, 5(66), 758–762. doi: 10.31925/farmacia.2018.5.3
- Miller, C. P., Shomali, M., Lyttle, C. R., O’Dea, L. S. L., Herendeen, H., Gallacher, K., ... Hattersley, G. (2011). Design, synthesis, and preclinical characterization of the selective androgen receptor modulator (SARM) RAD140. *ACS Medicinal Chemistry Letters*, 2(2), 124–129. doi: 10.1021/ml1002508
- Mulrooney, K. J. D., & van de Ven, K. (2019). ‘The fittest on earth’: Performance and image enhancing drugs use within UK CrossFit communities. In T. Raymen & O. Smith (Eds.), *Deviant Leisure: Criminological Perspectives on Leisure and Harm* (pp. 187–211). Cham: Springer International Publishing.
- Naafs, M. A. (2018). Selective androgen receptor modulators (SARMS): A mini-review. *Open Access Journal of Reproductive System and Sexual Disorders*, 1(1), 1–7. doi: 10.32474/OAJRSD.2018.01.000103
- Nagasawa, T., Inada, Y., Nakano, S., Tamura, T., Takahashi, T., Maruyama, K., ... Shibata, N. (2006). Effects of bezafibrate, PPAR pan-agonist, and GW501516, PPAR $\delta$  agonist, on development of steatohepatitis in mice fed a methionine- and choline-deficient diet. *European Journal of Pharmacology*, 536(1–2), 182–191. doi: 10.1016/j.ejphar.2006.02.028
- Olson, E. J., Pearce, G. L., Jones, N. P., & Sprecher, D. L. (2012). Lipid effects of peroxisome proliferator-activated receptor- $\delta$  agonist GW501516 in subjects with low high-density lipoprotein cholesterol: Characteristics of metabolic syndrome. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*, 32(9), 2289–2294. doi: 10.1161/ATVBAHA.112.247890
- Piacentino, D., Kotzalidis, G. D., Longo, L., Pavan, A., Stivali, L., Stivali, G., ... Sani, G. (2017). Body image and eating disorders are common among professional and amateur athletes using performance and image enhancing drugs: A cross-sectional study. *Journal of Psychoactive Drugs*, 49(5), 373–384. doi: 10.1080/02791072.2017.1359708
- Pollock, C. B., Rodriguez, O., Martin, P. L., Albanese, C., Li, X., Kopelovich, L., & Glazer, R. I. (2010). Induction of metastatic gastric cancer by peroxisome proliferator-activated receptor $\delta$  activation. *PPAR Research*, 2010, 571783. doi: 10.1155/2010/571783
- Ponnusamy, S., Sullivan, R. D., Thiagarajan, T., Tillmann, H., Getzenberg, R. H., & Narayanan, R. (2017). Tissue selective androgen receptor modulators (SARMS) increase pelvic floor muscle mass in ovariectomized mice. *Journal of Cellular Biochemistry*, 118(3), 640–646. doi: 10.1002/jcb.25751
- Risérus, U., Sprecher, D., Johnson, T., Olson, E., Hirschberg, S., Liu, A., ... Karpe, F. (2008). Activation of peroxisome proliferator-activated receptor (PPAR) $\delta$  promotes reversal of multiple metabolic abnormalities, reduces oxidative stress, and increases fatty acid oxidation in moderately obese men. *Diabetes*, 57(2), 332–339. doi: 10.2337/db07-1318
- Sagoe, D., Andreassen, C. S., Molde, H., & Torsheim, T. (2014). The global epidemiology of anabolic-androgenic steroid use: A meta-analysis and meta-regression analysis. *Annals of Epidemiology*, 5(24), 383–398. doi: 10.1016/j.annepidem.2014.01.009
- Serafini, P. R., Feito, Y., & Mangine, G. T. (2018). Self-reported measures of strength and sport-specific skills distinguish ranking in an international online fitness competition. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(12), 3474–3484. doi: 10.1519/JSC.0000000000001843
- Schlegel, P., Režný, L., & Fialová, D. (2020). Pilot study: Performance-ranking relationship analysis in Czech crossfitters. *Journal of Human Sport and Exercise*, 16, in press. doi: 10.14198/jhse.2021.161.17
- Simitsidellis, I., Kelepouri, O., Gibson, D. A., Esnal-Zufiurre, A., & Saunders, P. T. (2018). Androgen modulation of mouse uterus: A tissue-based bioassay for testing endogenous and synthetic androgen receptor modulators (SARMS). In *Endocrine Abstracts*, 59. Glasgow, UK: Society for Endocrinology BES 2018. doi: 10.1530/endoabs.59.OC5.5

- Smith, R. W., Coleman, J. D., Thompson, J. T., & Vanden Heuvel, J. P. (2016). Therapeutic potential of GW501516 and the role of Peroxisome proliferator-activated receptor  $\beta/\delta$  and B-cell lymphoma 6 in inflammatory signalling in human pancreatic cancer cells. *Biochemistry and Biophysics Reports*, 8, 395–402. doi: 10.1016/j.bbrep.2016.10.014
- Smith, S. G., Imaoka, H., Punia, N., Irshad, A., Janssen, L. L., Sehmi, R., & Gauvreau, G. M. (2012). The effect of PPAR agonists on the migration of mature and immature eosinophils. *PPAR Research*, 2012, 235231. doi: 10.1155/2012/235231
- Solomon, Z. J., Mirabal, J. R., Mazur, D. J., Kohn, T. P., Lipschultz, L. I., & Pastuszak, A. W. (2018). Selective androgen receptor modulators: Current knowledge and clinical applications. *Sexual Medicine Reviews*, 7(1), 84–94. doi: 10.1016/j.sxmr.2018.09.006
- Sprecher, D. L., Massien, C., Pearce, G., Perlstein, I., Willson, T. M., Hassall, D. G., ... Johnson, T. G. (2007). Triglyceride:high-density lipoprotein cholesterol effects in healthy subjects administered a peroxisome proliferator activated receptor delta agonist. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*, 27(2), 359–365. doi: 10.1161/01.ATV.0000252790.70572.0c
- Tibana, R. A., Prestes, J., de Souza, N. M. F., de Souza, V. C., de Toledo Nobrega, O., Baffi, M., ... Voltarelli, F. A. (2019). Time-course of changes in physiological, psychological, and performance markers following a functional-fitness competition. *International Journal of Exercise Science*, 12(3), 904–918.
- Van Wagoner, R. M., Eichner, A., Bhasin, S., Deuster, P. A., & Eichner, D. (2017). Chemical composition and labeling of substances marketed as selective androgen receptor modulators and sold via the internet. *JAMA*, 318(20), 2004–2010. doi: 10.1001/jama.2017.17069
- Vanberg, P., & Atar, D. (2010). Androgenic anabolic steroid abuse and the cardiovascular system. In D. Thiemé & P. Hemmersbach (Eds.), *Doping in Sports: Biochemical Principles, Effects and Analysis* (pp. 411–457). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Velho, I., Figuera, T. M., Ziegelmann, P. K., & Spritzer, P. M. (2017). Effects of testosterone therapy on BMI, blood pressure, and laboratory profile of transgender men: A systematic review. *Andrology*, 5(5), 881–888. doi: 10.1111/andr.12382
- Wang, Y.-X., Zhang, C.-L., Yu, R. T., Cho, H. K., Nelson, M. C., Bayuga-Ocampo, C. R., ... Evans, R. M. (2004). Regulation of muscle fibre type and running endurance by PPAR $\delta$ . *PLoS Biology*, 2(10), e294. doi: 10.1371/journal.pbio.0020294
- Wright, M. B., Bortolini, M., Tadayyon, M., & Bopst, M. (2014). Minireview: Challenges and opportunities in development of PPAR agonists. *Molecular Endocrinology (Baltimore, Md.)*, 28(11), 1756–1768. doi: 10.1210/me.2013-1427
- Yin, Y., Russell, R. G., Dettin, L. E., Bai, R., Wei, Z.-L., Kozikowski, A. P., ... Glazer, R. I. (2005). Peroxisome proliferator-activated receptor delta and gamma agonists differentially alter tumor differentiation and progression during mammary carcinogenesis. *Cancer Research*, 65(9), 3950–3957. doi: 10.1158/0008-5472.CAN-04-3990
- Yu, Z., He, S., Wang, D., Patel, H. K., Miller, C. P., Brown, J. L., ... Saeh, J. C. (2017). Selective androgen receptor modulator RAD140 inhibits the growth of androgen/estrogen receptor-positive breast cancer models with a distinct mechanism of action. *Clinical Cancer Research: An Official Journal of the American Association for Cancer Research*, 23(24), 7608–7620. doi: 10.1158/1078-0432.CCR-17-0670
- Yuan, H., Lu, J., Xiao, J., Upadhyay, G., Umans, R., Kallakury, B., ... Glazer, R. I. (2013). PPAR $\delta$  induces estrogen receptor-positive mammary neoplasia through an inflammatory and metabolic phenotype linked to mTOR activation. *Cancer Research*, 73(14), 4349–4361. doi: 10.1158/0008-5472.CAN-13-0322
- Zilbermint, M. F., & Dobs, A. S. (2009). Nonsteroidal selective androgen receptor modulator Ostarine™ in cancer cachexia. *Future Oncology*, 5(8), 1211–1220. doi: 10.2217/fon.09.106
- Zizola, C., Kennel, P. J., Akashi, H., Ji, R., Castillero, E., George, I., ... Schulze, P. C. (2015). Activation of PPAR $\delta$  signaling improves skeletal muscle oxidative metabolism and endurance function in an animal model of ischemic left ventricular dysfunction. *American Journal of Physiology. Heart and Circulatory Physiology*, 308(9), H1078–1085. doi: 10.1152/ajpheart.00679.2014



### A new trend in use of performance enhancing drugs in CrossFit®

---

**Background:** The issue of doping also concerns CrossFit®, which represents a young progressive sports discipline. CrossFit® performance requires a high level of strength and endurance skills, which are also in various combinations. Another attribute is the high intensity associated with high demands on subsequent regeneration. As it turns out, these aspects are well influenced by banned substances. **Objective:** In recent years, has not only the number of positively tested athletes increased, but also the newly used substances SARM (selective androgen receptor modulator) and PPARδ (peroxisome proliferator-activated receptors) have appeared. These are enhancing drugs that are very well available and thus pose an increased risk. **Methods:** A list of athletes with a doping finding was compiled from official reports. A literature review was performed on selected SARMs and PPARδ related to the topic. Scopus, Web of Science, PubMed, Google scholar databases were used for searching. **Results:** PPARδ has been shown to be an effective drug for patients with diabetes II. type or metabolic syndrome. They have a function in increasing the oxidation of fatty acids, the transport of glucose in muscle. They also contribute to improving endurance performance. Potential side effects are mild but affect the skeletal and circulatory system. SARMs are a substitution for anabolic steroids. Their comparable effectiveness is proven. Their side effects are probably milder, but there is a noticeable effect on the change in the lipid or hormonal spectrum. Very little valid information and studies are available for SARM. **Conclusions:** A sample of professional athletes shows that doping is a topical issue in CrossFit®. SARM and PPARδ are popular with users due to their efficacy, availability, and relatively low acute side effects. Both substances carry health risks, and in many respects, their long-term adverse effects are not known. In this regard, it is important to continue educating the sports community and drawing attention to new trends in doping.

---

*Keywords:* doping, performance enhancing drugs, PPAR, SARM, strength, endurance

## 4 CROSSFIT VE VÝUCE ŠKOLNÍ TĚLESNÉ VÝCHOVY

Součástí práce lidí ovlivňujících náplň a pojetí hodin tělesné výchovy je mimo jiné hledání způsobů, jak rozvíjet a kultivovat tělesnou zdatnost. Historicky je kladen na tuto složku důraz a její kvalita je spojována s celkovým zdravím jedince. Existuje mnoho forem cvičení na ovlivnění komponent zdatnosti a učitelé mohou čerpat z široké škály. Vzhledem k časové dotaci je důležité vybírat efektivní prostředky, které by mohly mít potenciál měřitelně dané složky ovlivnit. Především oblast fitness disponuje různými druhy cvičení a pomůckami, které mohou být využity s cílem rozvoje silových nebo vytrvalostních schopností. Kromě efektivy je důležité aplikovat i aktivity s vyšším faktorem zábavy, což platí především na základní škole. Proto nebývají ideální pohybové aktivity jako vytrvalostní běh (dlouhý, kontinuální) nebo tradiční kulturistický trénink (cvičení podle svalových partií pro 6–15 opakování s odpočinkem mezi sériemi 2–3 minuty) (Faigenbaum et al., 2009). Tyto aktivity přicházejí do obliby v pozdějším věku, někdy až v dospělosti. Pro děti jsou vhodnější intermitentní zatížení nebo kratší doba práce a také aktivita, při níž mohou spontánně ovlivnit její intenzitu.

Dalším podstatným faktorem výuky je předávání správných návyků spojených se cvičením, které zahrnuje také používání základních pohybových vzorů (dýchání, chůze, běh, skok, lezení apod.) a implementaci základních cviků do pohybového režimu. Orientace právě na tyto cviky by měla být pro cvičení základem (Sibley, 2013).

Často používanou formou pro rozvoj kondičních schopností je kruhový provoz (cvičení na stanovištích), kdy je použito zhruba 6–12 stanovišť s jednotlivými cviky. Mezi nimi pak

žáci rotují, většinou podle časových intervalů (Braaksma, 2017). V mnoha ohledech je však tento způsob neefektivní. Je časově náročný na přípravu/úklid, vysvětlení/ukázkou všech cviků a jejich zapamatování (je nezbytné stanoviště popsat). Během cvičení musí učitel kontrolovat najednou všechna stanoviště, přičemž na každém je prováděn jiný cvik. Organizace je monotónní a obvykle stejná nebo velmi podobná. Je zde malý prostor pro rozvoj technické stránky.

CrossFit představuje samostatnou možnost, jak pracovat s kondičním cvičením, výběrem a kombinací cviků a také s jejich organizací. Základním principem je aplikace komplexních cviků, kdy je věnován dostatečný prostor jejich osvojení. Zde je účelem pracovat s vlastním tělem, s externí zátěží a také rozvíjet funkci energetických systémů či aktivního kloubního rozsahu. Obecně se pracuje s menším počtem cviků, které si žáci snadněji zapamatují, což urychlí i celkovou přípravu. Žáci ve WOD plní stejný kondiční úkol, který lze individuálně přizpůsobit, a to i v jeho průběhu. Nejen pro zvýšení atraktivity lze cvičit týmově, to se pak přidávají benefity v podobě vymyšlení taktiky, komunikace mezi žáky, vzájemného povzbuzování apod. I přesto je nutné počítat s tím, že obecně budou tyto aktivity pravděpodobně méně oceňovány než jiné, obsahující herní prvky (Martínez & Góméz, 2015).

Crossfitové programy zaměřené na teenagery jsou vhodnými a bezpečnými pohybovými aktivitami (Gibson et al., 2018). Jejich potenciál je nejen v rozvoji motorických schopností, ale také v získání dobrého vztahu ke CrossFitu, který představuje samostatnou subkulturu a sportovní disciplínu s osobitými znaky. Na podobném věkovém vzorku byl potvrzen rozvoj aerobní kapacity po osmitýdenní intervenci, která proběhla místo tělesné výchovy (Borras et al., 2017). Účinnost CrossFitu ve školním programu potvrdil také australský výzkumný soubor (Eather et al., 2016), kde došlo ke zlepšení síly, vytrvalosti i flexibility. Použití podobného výzkumu na českém vzorku není autorovi známo.

Byl proveden výzkum, jehož cílem bylo ověřit funkčnost crossfitového programu na základní škole a zjistit, zda zvolená intervence ovlivní vybrané složky tělesné zdatnosti.

Výzkumný soubor tvořily děti ze základní školy v Hradci Králové. Jednalo se o žáky 8. a 9. třídy s celkovým počtem 118 (67 dívek, 51 chlapců). Vzorek byl rozdělen na skupinu experimentální (n = 52) a kontrolní (n = 66). Věk se pohyboval v rozmezí 12–14 let. Jednalo se o běžné třídy bez specifického zaměření, s dotací dvou hodin tělesné výchovy týdně (2x 45 minut). Žáci, kteří měli 2 a více absencí nebo neměli kompletní výsledky z obou testování, byli z hodnocení vyřazeni.

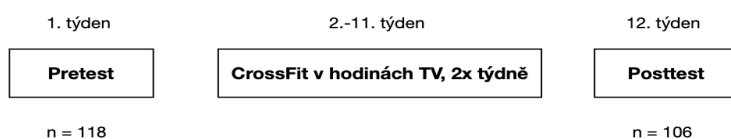
#### *Testová baterie*

Cílem pro výběr testů bylo komplexní zhodnocení tělesné zdatnosti. Výchozím bodem byla testová baterie Fitnessgram, která byla doplněna o prvky hodnotící sílu dolních končetin a výbušnou sílu:

- hod medicinbalem (3 kg) – ze stoje trčením obouruč od hrudníku,
- trojskok – z místa opakované skoky snožmo do dálky,
- výdrž ve shybu – začátek naskočením/vysazením na hrazdu, úchop podhmatem,
- opakované kliky – maximální počet kliků (loket do 90°) v jedné nepřerušené sérii,
- sit and reach – v sedu pravá (levá) skrčmo, předpažit, provést hluboký ohnutý předklon,
- Léger test – stupňovaný člunkový běh (20m úsek) na signál.

Byl připraven 10týdenní program, který byl implementován do hodin experimentální skupiny. Do každé hodiny tělesné výchovy byla zařazena část (zhruba 20 minut) zaměřená na CrossFit. Obsah byl přizpůsoben věku a zdatnosti žáků. Vždy bylo provedeno specifické rozcvičení a proběhla technická příprava (zhruba 10–15 minut) podléhající následnému WOD. Cvičení WOD se skládalo ze základních cviků a kvůli lepší organizaci bylo pojímáno stylem AMRAP v rozmezí 6–10 minut. Pro zvýšení motivace a zábavnosti se WOD cvičilo také ve dvojicích nebo v trojicích. V průběhu intervence byly zahrnuty všechny tři pilíře CrossFitu a současně bylo zapojeno cvičení s vlastním tělem, s externí zátěží a kardio. K dispozici byly standardní podmínky pro tělesnou výchovu. Trénink WOD a náplň programu byly zvoleny tak, aby byly snadno realizovatelné s běžnými pomůckami. Pro cvičení s externí zátěží byly využity medicinbaly. Kontrolní skupina absolvovala klasickou tělesnou výchovu podle tavního školního vzdělávacího programu, který nebyl v daný čas nijak specificky zaměřen (např. na vybranou sportovní hru, rozvoj určitých motorických schopností apod.).

**Obrázek 39. Průběh intervence**



### *Výsledky*

Zobrazené hodnoty pracují s průměrnými výsledky v daných testech. Výkony měly velké individuální odchylky a zároveň mnozí probandi vykazovali nepředpokládané chování v rámci testování.

Tabulka 11. Průměrné hodnoty testů před a po intervenci

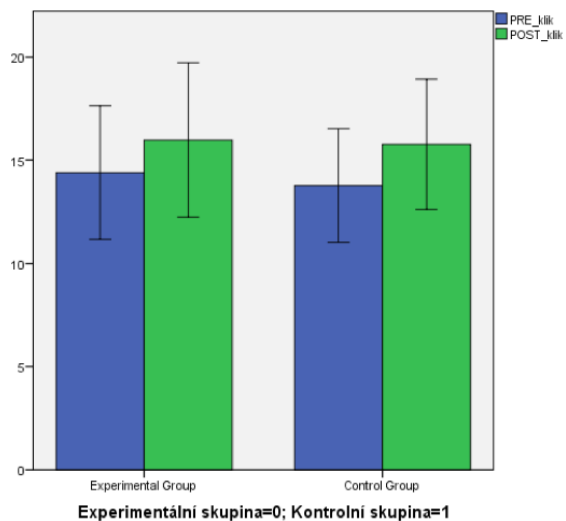
		Klik (op.)	Shyb (s)	Běh (VO <sub>2</sub> max)	Skok (cm)	Hod (cm)	SaR P (cm)	SaR L (cm)
experimentální	pre	14,4	26,3	31,9	537	539	24,5	23,4
	post	16	31,6	32,5	556	597	24,7	24,9
	%	11	20	2	4,4	12		
kontrolní	pre	13,8	28,5	31	536	506	25,4	24,9
	post	15,8	33,7	33,6	556	529	25,2	25,1
	%	15	18	8	3,7	4,5		

Legenda: SaR – sit and reach test pravá/levá; VO<sub>2</sub>max – ml/kg<sup>-1</sup>/min<sup>-1</sup>

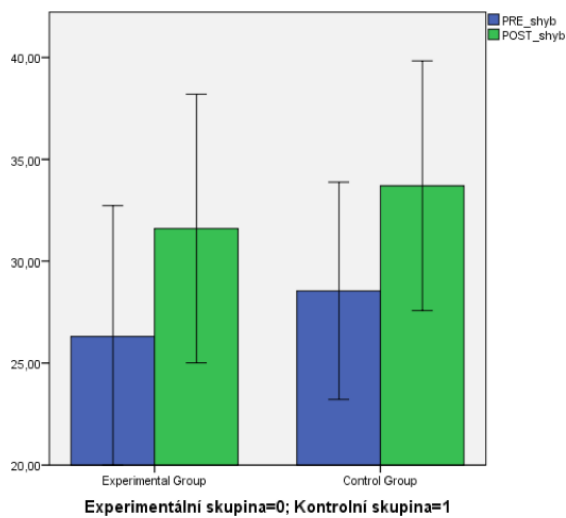
Tabulka 11 uvádí konkrétní průměrné výsledky testů. U Léger testu byl výkon přepočten na VO<sub>2</sub>max.

Dále je uvedeno procentuální zlepšení mezi pre- a posttestem. Zde bylo největší zlepšení v testech Opakované kliky, Výdrž ve shybu a Hod medicinbalem (viz obrázky 40–42). Naopak nejmenší progres byl zaznamenán u Sit and reach testu, kde byly změny téměř nulové, a proto nejsou přesně vyčísleny. V žádném z testů nedošlo ke zhoršení.

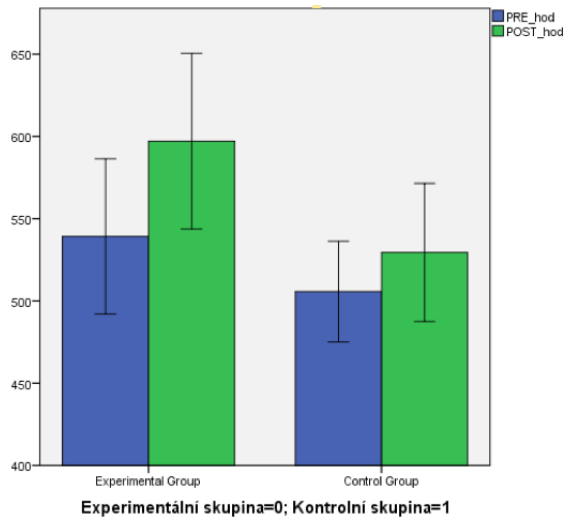
**Obrázek 40. Graf s průměrnými výsledky v testu Opakované kliky před a po intervenci**



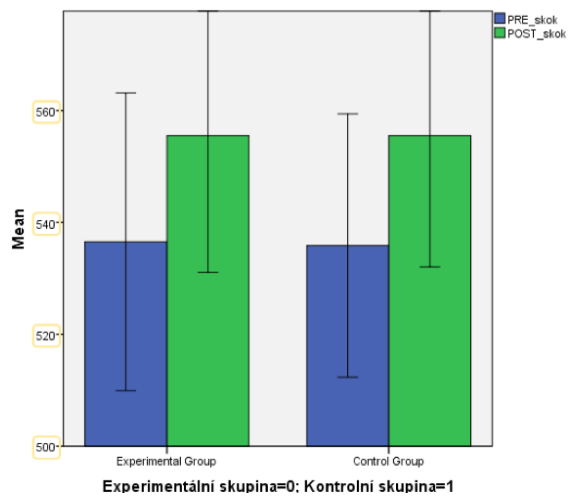
**Obrázek 41. Graf s průměrnými výsledky v testu Výdrž ve shybu před a po intervenci**



Obrázek 42. Graf s průměrnými výsledky v testu Hod medicinbalem před a po intervenci

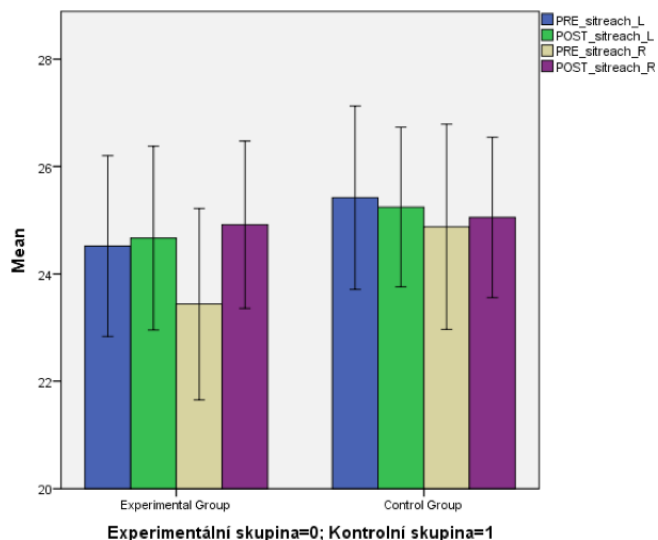


Obrázek 43. Graf s průměrnými výsledky v testu Trojskok před a po intervenci





Obrázek 44. Graf s průměrnými výsledky v testu Sit and reach před a po intervenci



Tabulky 12 a 13 prezentují výsledky párového t-testu. Experimentální i kontrolní skupina vykázaly shodné závěry. Ačkoliv byla v testech zaznamenána zlepšení, žádná z nich nebyla statisticky významná. Nicméně i zde bylo vyhodnocení zatíženo některými nestandardními výsledky (i když byly na individuální bázi), které mohly statistické vyhodnocení zkreslit.

Tabulka 12. Párový t-test (experimentální skupina)

		Paired Samples Test							
		Paired Differences		95% Confidence Interval of the Difference					
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	Lower	Upper	t	df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	POST_klik - PRE_klik	1,583	15,114	2,181	-2,805	5,972	,726	47	,472
Pair 2	POST_shyb - PRE_shyb	5,29375	26,78850	3,86659	-2,48482	13,07232	1,369	47	,177
Pair 3	POST_běh - PRE_běh	,16667	2,41179	,34811	-,53364	,86698	,479	47	,634
Pair 4	POST_skok - PRE_skok	18,958	101,211	14,608	-10,430	48,347	1,298	47	,201
Pair 5	POST_hod - PRE_hod	57,877	230,299	33,241	-8,995	124,749	1,741	47	,088
Pair 6	POST_sitreach_L - PRE_sitreach_L	,146	8,749	1,263	-2,395	2,686	,115	47	,909
Pair 7	POST_sitreach_R - PRE_sitreach_R	1,479	8,272	1,194	-,923	3,881	1,239	47	,222

**Tabulka 13. Párový t-test (kontrolní skupina)**

		Paired Samples Test								
				Paired Differences						
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		t	df	Sig. (2-tailed)	
					Lower	Upper				
Pair 1	POST_klik - PRE_klik	2,000	10,689	1,416	-,836	4,836	1,413	56	,163	
Pair 2	POST_shyb - PRE_shyb	5,15789	24,14975	3,19871	-1,24990	11,56569	1,612	56	,112	
Pair 3	POST_báh - PRE_báh	,85298	2,43638	,32271	-,20652	1,49944	2,643	56	,011	
Pair 4	POST_skok - PRE_skok	19,649	83,157	11,014	-2,415	41,714	1,784	56	,080	
Pair 5	POST_hod - PRE_hod	23,860	138,596	18,358	-12,915	60,634	1,300	56	,199	
Pair 6	POST_sitreach_L - PRE_sitreach_L	-,175	8,233	1,091	-2,360	2,009	-,161	56	,873	
Pair 7	POST_sitreach_R - PRE_sitreach_R	-,175	8,264	1,095	-2,017	2,368	,160	56	,873	

Na individuální bázi byly zaznamenány velké odchylky ve výkonech probandů. Ačkoliv se examinátoři snažili motivovat, ne vždy to vedlo k úspěchu. Ztráta motivace byla patrná a v některých případech nebylo zdaleka dosaženo limitních výkonů – týká se obou měření. I tento fakt ovlivnil výsledky statistického vyhodnocení. Potvrdilo se, že práce s takovým věkovým vzorkem je náročná na optimální motivaci k vysokým výkonům, které předpokládají určitý stupeň odhodlání, odolávání zvýšenému fyzickému diskomfortu apod. Zároveň bylo patrné odlišné psychické nastavení jedinců pro výkon či pohybovou aktivitu obecně. I proto bylo možné se setkat s „nepravděpodobnými“ výkony, kdy v některých případech došlo ke zhoršení o 30 % a více. Takový přístup je typický pro daný věkový soubor a v praxi s ním lze pracovat, bohužel může značně zkreslit statistické vyhodnocení.

Cílem výzkumu nebyla komparace s tabulkovými hodnotami, které uvádí například Fitnessgram (Tomkinson et al., 2017, Cooper Institut, 2010). S těmi se pracovalo v samotné výuce pro získání zpětné vazby z fyzického výkonu a případnou další práci a testování. Soubor navíc obsahoval chlapce i dívky a obě skupiny jsou hodnoceny samostatně. V rámci sledování účinku zvolené intervence je však lze sloučit (Eather et al., 2015).

Obě skupiny vykazovaly podobnou tendenci v podobě mírného zlepšení. Výjimkou byl Sit and reach test, který zůstal

téměř na výchozích hodnotách. Ačkoliv nebylo konstatováno statisticky významné zlepšení, z pohledu procentuálního vyčíslení se jednalo u Opakovaných kliků a Výdrže ve shybu o progres 10–20 %. Z těchto údajů lze dojít k závěru, že primárním důvodem pro zlepšení bylo pravděpodobně obecné navýšení pohybového režimu tělesnou výchovou (Löfgren et al., 2013). Výzkum začal v září a vzhledem k adherenci dětí tohoto věku k pohybové aktivitě lze předpokládat, že v letních měsících tuto aktivitu provozovaly v nižším objemu i intenzitě.

Ačkoliv může být 10 týdnů pohybové intervence dostatečným impulsem pro rozvoj motorických schopností (Braaksma et al., 2018; Behm et al., 2017), z uvedených výsledků to v tomto případě nelze potvrdit. Důležité je zmínit, že jiné programy (Dobbins et al., 2009; Radnor et al., 2017) pracovaly s umělými podmínkami, kdy se věnovali rozvoji daných schopností cíleně a zároveň s větší časovou dotací. Například studie Eather et al. (2016) prokázala účinnost crossfitového programu, nicméně v podobě 2x 60 minut týdně, navíc s použitím odlišných podmínek v podobě činek, kettlebellů apod. Podobně také u Borrassa et al. (2017) u teenagerů 16–18 let – zde se prokázal efekt na rozvoj aerobní zdatnosti (Léger test), ačkoliv intervence proběhla v podobě kruhových tréninků, které nejsou totožné se samotným CrossFitem.

V tomto výzkumu bylo cílem nastavit reálné podmínky běžné školní výuky. V té není optimální, aby po zmíněnou dobu probíhala jen specifická (silově-kondiční) cvičení na rozvoj síly, vytrvalosti atd. Ve výuce je nutné zohlednit i další aspekty a připravit pestrou náplň, která bude vhodnější i z pohledu preferencí žáků a udrží celkovou motivaci. V hodinách tělesné výchovy bylo CrossFitu věnováno 20–25 minut, které zahrnovaly i přípravu nebo úklid. Důležité je zmínit, že aktivita byla pro žáky nová, a proto byla nemalá část času věnována nácviku techniky nebo učení novým přístupům ke cvičení. Zdá se, že pro měřitelný rozvoj vybraných

motorických schopností by bylo nutné CrossFitu věnovat více prostoru nebo pro něj vyčlenit delší dobu. Dalším možným faktorem bylo sestavení programu, který měl obecný charakter a nebylo tedy jeho cílem specificky ovlivnit rozvoj konkrétní motorické schopnosti. Obsah byl připraven obecně tak, aby zahrnoval všechny složky CrossFitu a byl zároveň obtížností i pojetím vhodný pro žáky základní školy. Struktura crossfitového programu se může různit a představuje i podnět k další výzkumné činnosti.

Důležitým prvkem výzkumu bylo ověření, zda by mohl být crossfitový typ cvičení vhodnou složkou tělesné výchovy. CrossFit představoval nový aspekt ve výuce, a také proto byl žáky dobře přijat (viz Gipson et al., 2018). Podle zpětné vazby učitelů se jedná o velmi dobrý prostředek pro zařazení kondičního cvičení do běžné výuky. Podobně jako u jiných pohybových aktivit je nutné zpočátku věnovat více času technické stránce, vysvětlení základních principů. Poté se stává nenáročnou aktivitou na organizaci a přípravu a lze ji kreativně využívat. Nevýhodou je absence typického herního faktoru a určitý diskomfort v prožívané vyšší intenzitě cvičení, což mají podobné aktivity společné (Martínéz & Góméz, 2015).

#### *Praktické závěry*

- CrossFit může představovat vhodnou součást výuky tělesné výchovy.
- Cvičení může být individuálně přizpůsobeno podmínkám školy.
- Žáci si osvojují základní cviky, které jsou součástí funkčního tréninku.
- Jedná se o efektivní prostředek z pohledu využití času.

Tělesná výchova nabízí možnost aplikace různých pohybových aktivit. CrossFit je relativně mladou sportovní disciplínou, resp. cvičebním programem, který se k tomuto účelu nabízí. Aplikovaná intervence ukázala, že takový druh cvičení může být vhodnou součástí tělesné výchovy. Z pohledu rozvoje vybraných parametrů tělesné zdatnosti se tento program neprokázal jako účinnější oproti standardní výuce. Zvolený program měl však svá specifika (obsah, délka atd.), proto nelze výsledky plně zobecnit. Zatím nebylo provedeno mnoho intervencí zahrnujících crossfitové prvky u zvolené věkové skupiny, proto je pro potvrzení zmíněných závěrů nutný další výzkum.

## Literatura:

Behm, D. G., Young, J. D., Whitten, J. H. D., Reid, J. C., Quigley, P. J., Low, J., Li, Y., Lima, C. D., Hodgson, D. D., Chaouachi, A., Prieske, O. & Granacher, U. (2017). Effectiveness of Traditional Strength vs. Power Training on Muscle Strength, Power and Speed with Youth: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Physiology*, 8. Dostupné z: <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00423>

Borras, P. A., Herrera, J. & Ponseti, F. J. (2017). Effects of crossfit lessons in physical education on the aerobic capacity of young students. *Journal of Physical Education & Health – Social Perspective*, 6(10), 5–11.

Braaksma, P., Stuive, I., Garst, R. M. E., Wesselink, C. F., van der Sluis, C. K., Dekker, R. & Schoemaker, M. M. (2018). Characteristics of physical activity interventions and effects on cardiorespiratory fitness in children aged 6–12 years: A systematic review. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 21(3), 296–306. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.07.015>

Cooper institute, Meredith, M. D. & Welk, G. J. (eds.) (2010). *Fitness-gram: Activitygram: Test Administration Manual*. Updated 4th edition. Champaign, IL: Human Kinetics.

Dobbins, M., De Corby, K., Robeson, P., Husson, H. & Tiralis, D. (2009). School-based physical activity programs for promoting physical activity and fitness in children and adolescents aged 6–18. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 1, CD007651. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/14651858.CD007651>

Eather, N., Morgan, P. J. & Lubans, D. R. (2016). Improving health-related fitness in adolescents: The CrossFit Teens™ randomised controlled trial. *Journal of Sports Sciences*, 34(3), 209–223. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1045925>

Faigenbaum, A. D., Kraemer, W. J., Blimkie, C. J. R., Jeffreys, I., Micheli, L. J., Nitka, M. & Rowland, T. W. (2009). Youth resistance training: Updated position statement paper from the national strength and conditioning association. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(5 Suppl), 60–79. Dostupné z: <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31819df407>

Gipson, C. M., Campbell, N. & Malcom, N. L. (2018). Partnerships between an At-Risk Youth CrossFit Program and Local Community Or-

ganizations: Focusing on the Antecedents to Partnership Development. *Sports*, 6(3). Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/sports6030100>

Löfgren, B., Daly, R. M., Nilsson, J.-Å., Dencker, M. & Karlsson, M. K. (2013). An increase in school-based physical education increases muscle strength in children. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 45(5), 997–1003. Dostupné z: <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31827c0889>

Martínez, B. J. S.-A. & Gómez-Mármol, A. (2015). Percepción de esfuerzo, diversión y aprendizaje en alumnos de educación secundaria en las clases de Educación Física durante una Unidad Didáctica de CrossFit. *SPORT TK – Revista EuroAmericana de Ciencias del Deporte*, 4(1), 63–68. Dostupné z: <https://doi.org/10.6018/239841>

Radnor, J. M., Lloyd, R. S. & Oliver, J. L. (2017). Individual Response to Different Forms of Resistance Training in School-Aged Boys. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(3), 787–797. Dostupné z: <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001527>

Rubín, L., Suchomel, A. & Kupr, J. (2014). Aktuální možnosti hodnocení tělesné zdatnosti u jedinců školního věku. *Česká kinantropologie*, 18, 11–22.

Sibley, B. A. (2013). Using Sport Education to Implement a CrossFit Unit. *Journal of Physical Education, Recreation & Dance*, 83, 42–48.

Tomkinson, G. R., Lang, J. J., Tremblay, M. S., Dale, M., LeBlanc, A. G., Belanger, K., Ortega, F. B. & Léger, L. (2017). International normative 20 m shuttle run values from 1 142 026 children and youth representing 50 countries. *British Journal of Sports Medicine*, 51(21), 1545–1554. Dostupné z: <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-095987>

# High-Intensity Functional Training in Pregnancy: A Case Study

Petr Schlegel

*Faculty of Education, University of Hradec Kralove, Czech Republic*

## **ABSTRACT**

High-intensity functional training (HIFT) is a popular activity that combines high effort and compound exercises. Many women aged 20 to 40 who are expected to become pregnant soon are also fond on it. HIFT is an activity in which the heart rate increases significantly, there is an increase in intra-abdominal pressure, free weights are also used. There is poor evidence of HIFT and its effect on pregnancy or childbirth. The subject of this case study was a healthy woman (31 years old) who has long-term experience with HIFT. The aim of the study was to analyze the training regime (length, intensity, heart rate) and the number of steps in the period from the 1st to the 38th week. The effect on the health of the mother and the fetus, the delivery, and the birth weight was monitored. The findings show that with an optimally set training program, HIFT can be a safe activity that has no adverse effect on pregnancy, fetal health, or childbirth. This is the first such study, so further research is needed.

## **INTRODUCTION**

High-intensity functional training (HIFT) is a globally popular physical activity that mainly attracts the population aged 20 to 40 (Kercher et al., 2022). HIFT is an activity that involves a wide spectre of exercises and modalities (weightlifting, running, gymnastics, etc.). The training includes a combination of high-intensity exercises (at least a 7/10 rating of perceived exertion – RPE) and physiological parameters attained (Feito et al., 2018). Variability of exercises is typical as well - the same workouts repeat only rarely and they are a bit shorter, taking from about 5 to 40 minutes. Training sessions also consist of skills development, strength, and power.

High-intensity exercise or weight-bearing exercise during pregnancy has not been accepted in society yet and it is met with apprehension and prejudice. The general recommendation for



physical activity is 150 minutes of moderate-intensity exercise a week (Tinloy et al., 2014). The vigorous intensity with HRmax above 70 % (Beetham et al., 2019) is not regarded as optimal. Strength training is considered appropriate, but it should be very light, or exercises should be isolated (Schoenfeld, 2011).

HIFT is a high-impact activity that might be a potential health risk for the pregnant person or the unborn baby (Owe et al., 2016). Problems can be shocks or the risk of falling or being hit by a barbell. Another negative factor mentioned is exercise intensity associated with metabolic processes affecting fetal heart rate (HR) (bradycardia) or uterine artery volume blood flow (Salvesen et al., 2012). On the other hand, there is evidence that high exercise intensity (up to 90 % HRmax) or strengthening at the level of 1RM may not be associated with adverse effect (Gould et al., 2021; Sigurdardottir et al., 2019).

So far, there is little direct evidence for the suitability of HIFT for a pregnant woman. The author of this paper knows only about the study by Anderson et al. (2021), the subject of which was high-intensity training with functional movements. Other studies either include strength endurance training or work at a low-intensity (Barakat et al., 2008; Garnæs et al., 2017). Considering the number of young women doing HIFT and the fact that some of them might be unwilling to give up the sport while pregnant, it is necessary to know both risks and benefits. The aim of the research was to find out how a pregnant woman is affected if she does HIFT during the state of pregnancy in terms of cardiac activity and what the effect is on the course of pregnancy, parturition, and fetal health.

## METHODS

### *Participant description*

The selection criteria for inclusion in the research were as follows: healthy physically active woman, experience with HIFT for at least 1 year, first pregnancy, age 20–35 years. The subject of the case study was a physically active healthy woman (32-year-old, 170 cm, 62 kg) without any health restrictions. She was monitored for 38 weeks of pregnancy, the parturition was in the 39th week of monitoring. During the whole pregnancy, she was devoted to training without any limitations. The woman has been doing HIFT for a long time (7 years) and she also actively competes at the local level. The usual training regime before pregnancy included 5 training sessions per week. These training sessions included Olympic weightlifting, strength training (powerlifting, gymnastics), and conditioning using combinations of cardio, weightlifting, and bodyweight exercises. Selected strength performances: snatch with 50 kg, clean and jerk with 75 kg, back squat with 90 kg, strict press with 42.5 kg. The training plan was structured and focused on competition performance.

Nutrition before pregnancy was connected to the training regime – 100 grams of protein per day, 100–200 grams of carbohydrates a day, and 30–60 grams of fat a day. The diet was based on all-natural food, as for dietary supplements, she used complex mineral substances. Apart from covering the higher caloric expenditure, there was no special target for nutrition. The sleep schedule was consistent, aiming for 7 to 8 hours. During the state of pregnancy, caloric intake was increased, and vitamin and mineral supplement was taken.

The woman was monitored from the 1st to the 38th week pregnant via a smartwatch (iWatch). These days, smartwatches are a very accurate tool for monitoring HR, heart rate variability (HRV), calorie expenditure, or pedometer (Morresi et al., 2020; Phan et al., 2015). The training was not recorded four times due to low battery. More pauses in the training plan were caused by two cases of virus infection (5–7 days) and holidays (7 days).

### **Training**

If a woman is pregnant, her workout routine is based on her actual medical condition and how she feels. The goal of the training plan was to maintain HIFT principles, regardless of absolute performance and strict adherence to the number and the prescribed content of training sessions. In the third trimester of pregnancy, 12 training sessions were left out and replaced by light physical activities (walking, gardening, etc.). The negative test result showed that she did not have gestational diabetes. Based on the medical examination, the training regime was not limited in any way.

The training plan was to have 4 to 5 training sessions a week. Each training session took from 45 to 70 minutes, starting with a warm-up exercise and with a cool-down exercise at the end of the session. Power/strength training or parts focusing on technique were involved in the training plan as well, the load ranged up to 90 % of the current (or estimated) 1 RM. The main part focused on conditioning, comprised of combinations from 2 to 6 exercises of various modalities. The form was both continuous and intermittent.

The woman did not undergo any cardiac stress exercise. Therefore, her absolute HR was calculated according to the formula  $HR_{max} = 226 - \text{age}$ . However, this is an approximate indicator, therefore the RPE was used as a part of the intensity setting and HR served just as an auxiliary indicator. The woman was instructed about RPE, the requirement was to exercise between 6–8/10. However, adapting to the current feeling was possible as well.

At a later stage of pregnancy, especially in the third trimester, some exercises were modified or eliminated. The reason was perceived discomfort and/or impossibility of performance and/or increased risk of injury (e.g., box jump, jump rope, burpee, SkiErg, squat snatch, toes to bar).

**Table 1.** Examples of the main part of training sessions

30th week	12 minutes AMRAP	12 calories on air bike, 5 handstand push-ups 12 calories on bikeErg, 4 burpee pull-ups
	2 minutes rest	
	12 minutes AMRAP	
36th week	16 minutes AMRAP	12 calories bikeErg, 12 ring rows, 20 squats, 10 strict dumbbell presses 2 x 12.5 kg
37th week	4 rounds of 1 minute work / 1 minute rest (16 minutes)	A. 14 wall balls (6 kg medicine balls), maximum calories on bikeErg,
		B. 14 dumbbell snatch (15 kg), maximum box step ups (50 cm)

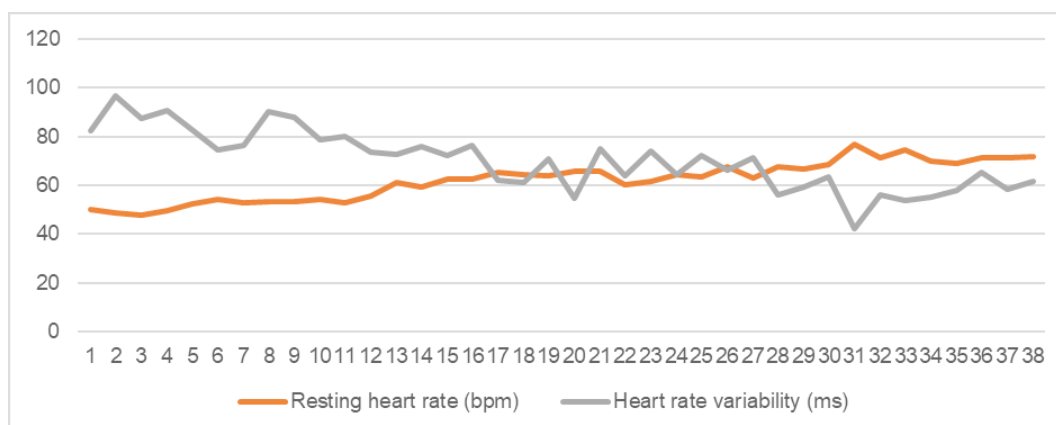
AMRAP- as many repetitions as possible

**Data collection and analysis**

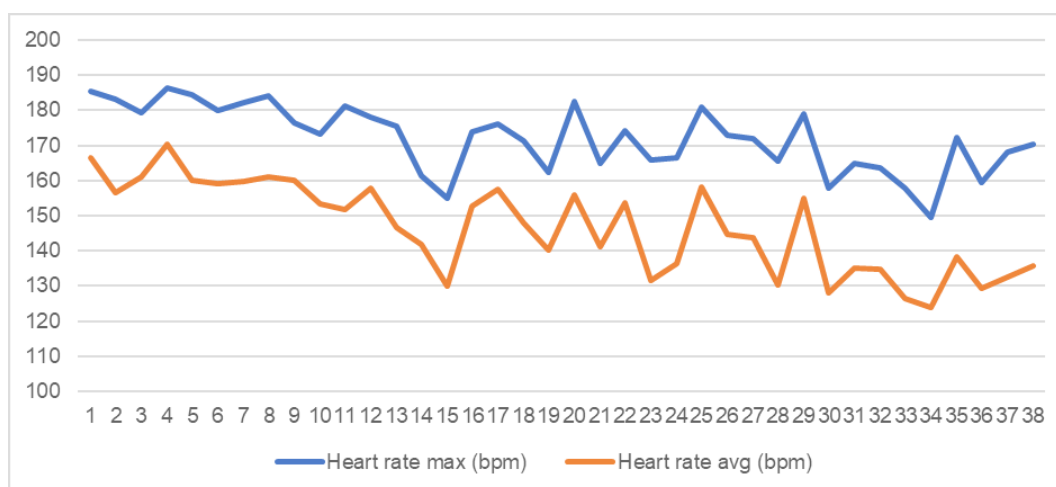
The woman wore the smartwatch 24 hours a day (except for charging time), and data was collected continuously. The watch includes a wrist sensor that monitors heart activity. The watch was also a pedometer that counts each step a person takes by detecting the motion of the person’s hand. Data analysis was performed using Microsoft Excel. The data was downloaded from the smartwatch via firmware. The data is presented as an average ± SD (standard deviation). Figures were also created in Microsoft Excel.

**RESULTS**

Heart activity, step count, and active energy burned were monitored for 266 days. The number of training sessions was 129 with an average length of 30 ± 13,3 minutes. The duration of the training, the recorded heart rate (HRmax, HRavg) included, refers only to the main (conditioning) part (Figure 1, 2). The strength and technical part, warm-up and cool down were not included, but they were reflected in the active energy burned and step count.



**Figure 1.** Average heart rate measurement records (resting HR, SDNN)



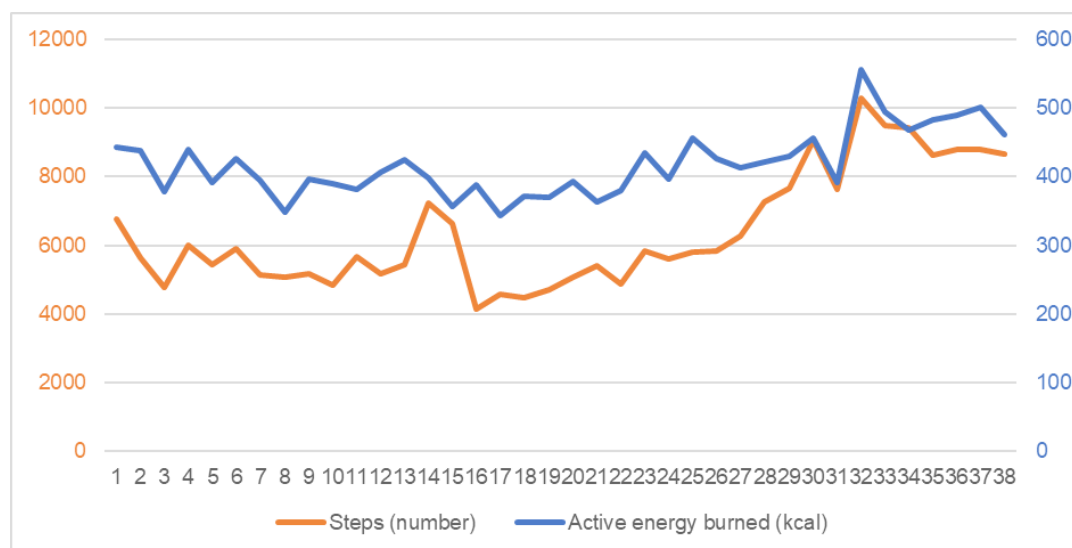
**Figure 2.** Average HRmax and HRavg in training sessions

**Table 2.** Overview of the monitored parameters (average and standard deviation)

	1. trimester	2. trimester	3. trimester	overall
Number of training sessions	48	46	35	129
Length of training sessions (minutes)	27,5 ± 8,6	31 ± 16	32 ± 14	30 ± 13,3
Number of steps (daily)	5467 ± 1664	5461 ± 2045	8700 ± 1955	6400 ± 2394
HRmax (bpm)	180,3 ± 8	170,5 ± 16,8	165 ± 16,5	172,7 ± 15,3
HRavg (bpm)	158,3 ± 10,2	145,7 ± 18	133,8 ± 19	147,2 ± 19
SDNN (ms)	81,7 ± 28,8	68,4 ± 28,8	57,2 ± 25,7	68,3 ± 29,3
Active energy burned (kcal)	404,5 ± 124,7	392,2 ± 127,8	468 ± 117,7	418,4 ± 127,5

Bpm – beats per minute; ms – millisecond; kcal – kilocalories

In the first and the second trimester, the number of training sessions was steady as well as the number of steps. In the third trimester, as has been already mentioned, the number of training sessions was reduced, and, on the contrary, the number of steps increased (Table 2). Thanks to this, the amount of active energy burned increased - however, this parameter depends not only on the number of steps and training sessions but also on the gradual weight gain (from 62 kg to 74 kg). Since it was possible to main the training time, the curves of steps and active burned energy show a similar course (Figure 3).



**Figure 3.** Step counts and active energy burned records

## DISCUSSION

The subject of this case study was a pregnant woman who did HIFT. It was possible to monitor 38 weeks during which heart activity and physical activity parameters were monitored. The woman completed 3-4 training sessions per week in which she achieved high HR values above 80 % of

absolute HRmax. This regime did not affect fatigue monitored by HRV SDNN. Higher physical activity than recommended should not have any detrimental effects on childbirth or the fetus.

The typical features of HIFT are high intensity which was confirmed by the attained HRmax values. During some workouts, the woman's HR attained more than 185 bpm which is about 95 % absolute HRmax. During pregnancy, the average HR was  $172,7 \pm 15,3$  bpm which means 85 % of the absolute maximum. This means that high values were detected and exceeded the given recommendation for pregnant women (Santos-Rocha et al., 2019; Tinloy et al., 2014). It is important that the woman was not instructed to reach this intensity necessarily, but to remain in a mode that would make her feel "comfortable". It seems that female athletes who are adapted to very intense training can continue in such a regime without adverse for both mother and fetus (Weaving, 2020).

Professional female athletes or physically very active women cannot be considered as a normal sample to which we could fully apply recommendation for physical activity in pregnancy. These women are able to achieve large training volumes and high physiological values. Such a regime is perceived positively, and it is not regarded as a risk (Clapp, 1990; Kardel, 2005; Sigurdardottir et al., 2019).

Strength training recommendation is limited to the use of therabands or dumbbells up to 10 kg (Anderson et al., 2021; Liddle & Pennick, 2015; Santos-Rocha et al., 2019). For female strength athletes, this represents rather warm-up activity, and they tend to exercise with a heavier load. Even in the third trimester, the woman practiced Olympic weightlifting and powerlifting with a barbell of 40-60 kg. There might be certain concerns about increased intraabdominal pressure which could represent a risk for the fetus (Cai et al., 2020). It has not been proved yet that there is a clear connection between weight training and a higher risk for the fetus. It is important to emphasize the fact that intraabdominal pressure during lifting reaches lower numbers than while for example running, and jumping and it can be compared to fast walking (Dietze-Hermosa et al., 2020; Gephart et al., 2018).

As shown in Figure 1, resting HR increased gradually which can be seen as standard. Resting HR tends to increase by about 16 bpm tends (Melzer et al., 2010). SDNN showed the opposite tendency. Although average values were normal during the whole pregnancy, a gradual decrease was observed. This trend is nothing unusual and it points to the fact that a growing fetus weakens a female body, and it is necessary to anticipate more time for regeneration or a resting period. The woman had higher SDNN values compared to other pregnant and non-pregnant women (Gandhi et al., 2014; Garg et al., 2020). It is obvious that the woman was used and adapted to HIFT and therefore, there was no significant decrease in SDNN.

There is more evidence that in healthy and physically active women, high-impact or high-intensity activities do not have any negative effect on pregnancy or childbirth (Barakat et al., 2008; Sigurdardottir et al., 2019). This is what this study proved as well (vaginal delivery without any complications, gestational age, Apgar score 10, normal fetal weight). It seems that the only typical consequence for women who are physically active while being pregnant, birthweight may be lower, but this is not considered harmful (Barakat et al., 2008; Kardel, 2005; Sigurdardottir et al., 2019).

In the third trimester of pregnancy, due to the current feelings of the woman, more training sessions were left out. The training sessions were replaced by other physical activities (walking,

gardening). The study has confirmed that the physical activity regime expressed as active energy burned depends on NEAT (non-exercise activity thermogenesis) (Chung et al., 2018). This conclusion resonates with the general view that high-intensity exercise is not a necessary condition for maintaining health during pregnancy and that measuring NEAT plays a significant role for pregnant women as well.

It has been confirmed that women practicing HIFT have a strong attachment to this activity and do not give it up while pregnant (Prewitt-White et al., 2018). Women need to maintain important elements of their lifestyle as it relates to their overall health and well-being. Nevertheless, it is necessary to consult a doctor and follow his / her recommendations for all procedures and exercises.

The conclusion of the paper must be taken with a grain of salt given the fact that this is a case study and, at the same time, the first monitoring of high-level HIFT in pregnancy. Another limiting factor is the history of the woman, she had many years of experience with HIFT. Therefore, movements like Olympic weightlifting, dynamic gymnastics exercises, etc. cannot be unequivocally recommended as safe. There are other significant factors (social, psychological, etc.) affecting pregnancy that this research did not consider. Even though there are strong indications that could draw certain conclusions, further research, following larger samples, or focusing on the fetus (fetal HR, fetal HRV, Doppler changes, etc.).

## CONCLUSION

A significant number of women do HIFT and do not want to give it up while pregnant. HIFT is a young sports discipline, for which no effect on pregnant women has been observed. The present case study aimed to give a picture of the effect of HIFT on a pregnant woman. Her workout plan included Olympic weightlifting, gymnastics, running, etc., while the effort was set on “hard to very hard”. The woman achieved cardiac activity at the level of 80-95% HRmax. This regime did not have any negative effects on HVR SDNN. Pregnancy and delivery were without complications as well. Taking the limitation of the research into account, HIFT can be set up appropriately as a safe activity without any adverse effects.

## REFERENCES

- Anderson, J., Pudwell, J., McAuslan, C., Barr, L., Kehoe, J., & Davies, G. A. (2021). Acute fetal response to high-intensity interval training in the second and third trimesters of pregnancy. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism = Physiologie Appliquee, Nutrition Et Metabolisme*, 46(12), 1552–1558. <https://doi.org/10.1139/apnm-2020-1086>
- Barakat, R., Stirling, J. R., & Lucia, A. (2008). Does exercise training during pregnancy affect gestational age? A randomised controlled trial. *British Journal of Sports Medicine*, 42(8), 674–678. <https://doi.org/10.1136/bjism.2008.047837>
- Beetham, K. S., Giles, C., Noetel, M., Clifton, V., Jones, J. C., & Naughton, G. (2019). The effects of vigorous intensity exercise in the third trimester of pregnancy: A systematic review and meta-analysis. *BMC Pregnancy and Childbirth*, 19(1), 281. <https://doi.org/10.1186/s12884-019-2441-1>
- Cai, C., Vandermeer, B., Khurana, R., Nerenberg, K., Featherstone, R., Sebastianski, M., & Davenport, M. H. (2020). The impact of occupational activities during pregnancy on pregnancy outcomes: A systematic review and metaanalysis. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 222(3), 224–238. <https://doi.org/10.1016/j.ajog.2019.08.059>
- Clapp, J. F. (1990). The course of labor after endurance exercise during pregnancy. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 163(6 Pt 1), 1799–1805. [https://doi.org/10.1016/0002-9378\(90\)90753-t](https://doi.org/10.1016/0002-9378(90)90753-t)

- Dietze-Hermosa, M., Hitchcock, R., Nygaard, I. E., & Shaw, J. M. (2020). Intra-abdominal Pressure and Pelvic Floor Health: Should We Be Thinking About This Relationship Differently? *Female Pelvic Medicine & Reconstructive Surgery*, 26(7), 409–414. <https://doi.org/10.1097/SPV.0000000000000799>
- Feito, Y., Heinrich, K. M., Butcher, S. J., & Poston, W. S. C. (2018). High-Intensity Functional Training (HIFT): Definition and Research Implications for Improved Fitness. *Sports (Basel, Switzerland)*, 6(3), 76. <https://doi.org/10.3390/sports6030076>
- Gandhi, P., Mehta, H., & Gokhale, A. (2014). A study on cardiac autonomic modulation during pregnancy by non-invasive heart rate variability measurement. *International Journal of Medicine and Public Health*, 4(4). <https://doi.org/10.4103/2230-8598.144131>
- Garg, P., Yadav, K., Jaryal, A. K., Kachhawa, G., Kriplani, A., & Deepak, K. K. (2020). Sequential analysis of heart rate variability, blood pressure variability and baroreflex sensitivity in healthy pregnancy. *Clinical Autonomic Research: Official Journal of the Clinical Autonomic Research Society*, 30(5), 433–439. <https://doi.org/10.1007/s10286-020-00667-4>
- Garnæs, K. K., Nyrnes, S. A., Salvesen, K. Å., Salvesen, Ø., Mørkved, S., & Moholdt, T. (2017). Effect of supervised exercise training during pregnancy on neonatal and maternal outcomes among overweight and obese women. Secondary analyses of the ETIP trial: A randomised controlled trial. *PLoS One*, 12(3), e0173937. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173937>
- Gephart, L. F., Doersch, K. M., Reyes, M., Kuehl, T. J., & Danford, J. M. (2018). Intraabdominal pressure in women during CrossFit exercises and the effect of age and parity. *Proceedings (Baylor University. Medical Center)*, 31(3), 289–293. <https://doi.org/10.1080/08998280.2018.1446888>
- Gould, S., Cawyer, C., Dell'Italia, L., Harper, L., McGwin, G., & Bamman, M. (2021). Resistance Training Does Not Decrease Placental Blood Flow During Valsalva Maneuver: A Novel Use of 3D Doppler Power Flow Ultrasonography. *Sports Health*, 13(5), 476–481. <https://doi.org/10.1177/19417381211000717>
- Chung, N., Park, M.-Y., Kim, J., Park, H.-Y., Hwang, H., Lee, C.-H., Han, J.-S., So, J., Park, J., & Lim, K. (2018). Non-exercise activity thermogenesis (NEAT): A component of total daily energy expenditure. *Journal of Exercise Nutrition & Biochemistry*, 22(2), 23–30. <https://doi.org/10.20463/jenb.2018.0013>
- Kardel, K. R. (2005). Effects of intense training during and after pregnancy in top-level athletes. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 15(2), 79–86. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2004.00426.x>
- Kercher, V. M., Kercher, K., Bennion, T., Levy, P., Alexander, C., Amaral, P., Li, Y., Han, J., Liu, Y., Wang, R., Huang, H.-Y., Gao, B.-H., Batrakoulis, A., Gómez, F., Lopez Haro, J., Pelayo, A., Aguirre, L., Veiga, O., Valcarce-Torrente, M., & Romero-Caballero, A. (2022). 2022 Fitness Trends from Around the Globe. *ACSM's Health & Fitness Journal*, 26, 21–37. <https://doi.org/10.1249/FIT.0000000000000737>
- Liddle, S. D., & Pennick, V. (2015). Interventions for preventing and treating low-back and pelvic pain during pregnancy. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 9, CD001139. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD001139.pub4>
- Melzer, K., Schutz, Y., Boulvain, M., & Kayser, B. (2010). Physical activity and pregnancy: Cardiovascular adaptations, recommendations and pregnancy outcomes. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 40(6), 493–507. <https://doi.org/10.2165/11532290-000000000-00000>
- Morresi, N., Casaccia, S., Sorcinelli, M., Arnesano, M., & Revel, G. (2020). *Analysing performances of Heart Rate Variability measurement through a smartwatch* (s. 6). <https://doi.org/10.1109/MeMeA49120.2020.9137211>
- Owe, K. M., Nystad, W., Stigum, H., Vangen, S., & Bø, K. (2016). Exercise during pregnancy and risk of cesarean delivery in nulliparous women: A large population-based cohort study. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 215(6), 791.e1-791.e13. <https://doi.org/10.1016/j.ajog.2016.08.014>
- Phan, D., Lee, Y. S., Pathirana, P., & Seneviratne, A. (2015). *Smartwatch: Performance evaluation for long-term heart rate monitoring* (s. 147). <https://doi.org/10.1109/ISBB.2015.7344944>
- Prewitt-White, T., Connolly, C. P., Feito, Y., Bladek, A., Forsythe, S., Hamel, L., & McChesney, M. R. (2018). Breaking Barriers: Women's Experiences of CrossFit Training During Pregnancy. *Women in Sport and Physical Activity Journal*, 26(1), 33–42. <https://doi.org/10.1123/wspaj.2017-0024>
- Salvesen, K. Å., Hem, E., & Sundgot-Borgen, J. (2012). Fetal wellbeing may be compromised during strenuous exercise among pregnant elite athletes. *British Journal of Sports Medicine*, 46(4), 279–283. <https://doi.org/10.1136/bjism.2010.080259>
- Santos-Rocha, R., Gutiérrez, I. C., Szumilewicz, A., & Pajaujiene, S. (2019). Exercise Testing and Prescription for Pregnant Women. In *Exercise and Sporting Activity During Pregnancy* (s. 183–231). Springer.

Schoenfeld, B. (2011). Resistance Training During Pregnancy: Safe and Effective Program Design. *Strength & Conditioning Journal*, 33(5), 67–75. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e31822ec2d8>

Sigurdardottir, T., Steingrimsdottir, T., Geirsson, R. T., Halldorsson, T. I., Aspelund, T., & Bø, K. (2019). Do female elite athletes experience more complicated childbirth than non-athletes? A case-control study. *British Journal of Sports Medicine*, 53(6), 354–358. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099447>

Tinloy, J., Chuang, C. H., Zhu, J., Pauli, J., Kraschnewski, J. L., & Kjerulff, K. H. (2014). Exercise during pregnancy and risk of late preterm birth, cesarean delivery, and hospitalizations. *Women's Health Issues: Official Publication of the Jacobs Institute of Women's Health*, 24(1), e99–e104. <https://doi.org/10.1016/j.whi.2013.11.003>

Weaving, C. (2020). Prenatal Paranoia: An Analysis of the Bumpy Landscape for the Pregnant Athlete. *Sport, Ethics and Philosophy*, 14(2), 176–191. <https://doi.org/10.1080/17511321.2019.1593233>

**Corresponding Author:**

petr.schlegel@uhk.cz



## 7 DISKUSE

### *Trénink*

Obsah tréninkové jednotky u HIFT není ustálený, ale vychází z CrossFitu, který upřednostňoval jednu ústřední část. Aktuálně je však běžné, že tréninková jednotka obsahuje více stejně důležitých částí, které bývají odlišné z pohledu rozvoje jednotlivých motorických schopností (Brisebois et al., 2018). Tradičně se (mimo oblast HIFT) upřednostňuje silová část před částí zaměřenou na vytrvalost, což by odpovídalo doporučením souběžného tréninku (Doma et al., 2017). Nicméně podoba tréninkové jednotky v HIFT může být velmi různorodá. Pozitivní efekty vykazuje i opačná kombinace – nejprve je zařazena vytrvalostní část a poté následuje silově orientovaný blok (Berryman et al., 2019). Zásadní je určit hlavní cíl tréninku a jeho požadovaný efekt (rozvoj absolutní síly, svalové hypertrofie, an/aerobní vytrvalosti atd.)

Kombinováním rozvoje silových a vytrvalostních schopností v rámci tréninkových jednotek se zabývá souběžný trénink. Z vytrvalostních aktivit jsou ve výzkumné činnosti používány především běh, jízda na kole, veslování a ze silových se jedná o kulturistické metody nebo rozvoj maximální síly pomocí základních cviků. Vzhledem k tomu, že HIFT efektivně používá širší výběr metod a prostředků (Crawford et al., 2018), lze přenést závěry ze souběžného tréninku jen částečně.

Metody silového a vytrvalostního tréninku jsou v HIFT běžně aplikovány v jedné tréninkové jednotce. Tato kombinace však může vést ke zhoršení výkonnosti (Bishop et al., 2019). Pokud se v tréninku upřednostní odporový trénink (následovaný vytrvalostním), měl by být přínosný pro sílu dolních končetin a zároveň by neměl negativně ovlivnit aerobní kapacitu (Murlasits et al., 2018). V opačném případě, pokud po vytrvalostním tréninku následuje trénink odporový, může dojít ke zhoršení (Jones et al., 2017; Karavirta et al., 2011).

Je třeba vzít v úvahu, že po silovém tréninku dochází ke ztrátě svalového glykogenu až o 39 % (Jensen et al., 2011). Tento efekt může omezit následující vytrvalostní výkon v řádu hodin. Dalším faktorem je spolu s úbytkem svalového glykogenu únava centrální nervové soustavy, ke které dochází po obou typech cvičení (Doma & Deakin, 2013). Ta může následně ovlivnit silové a koordinační schopnosti (ekonomiku pohybu) nebo ovlivnit vnímanou intenzitu zatížení (Maté-Muñoz et al., 2017). Proto je třeba pečlivě volit kombinaci jednotlivých složek a optimálně nastavit intenzitu (RPE, % RM nebo % tepové frekvence) pro první část tréninku. V případě pokročilých sportovců, kde je třeba maximálně podpořit progres všech

výkonnostních parametrů, bude vhodné tyto složky oddělit na základě vícefázového tréninku (Bishop et al., 2019).

Po aplikaci souběžného tréninku dochází k poklesu svalového glykogenu, zvýšení hladiny laktátu, srdeční tepové frekvence (TF) a únavě centrálního nervového systému (Methenitis, 2018). Naměřené hodnoty laktátu, TF nebo RPE u HIFT rovněž ukazují na vysokou zátěž spojenou s vysokým stresem organismu. Takové cvičení narušuje homeostázu autonomního nervového systému (Kliszczewicz et al., 2018). Tento stres se projevuje také změnami v imunitním systému a takový účinek může ovlivnit stav organismu a výkonnost na několik dní (Tibana et al., 2016). Je důležité zdůraznit, že ve výzkumech jsou probandí motivováni k podávání velmi vysokých až maximálních výkonů, což nebývá běžnou praxí. Ačkoliv je vysoká intenzita charakteristickým rysem HIFT, v tréninkovém režimu bývá vhodně nastavena, proto bychom mohli očekávat odlišnou fyziologickou odpověď.

HIFT obsahuje metody, které lze označit za originální. Mezi takové patří „barbell conditioning“, což můžeme popsat jako aktivitu s obvykle s olympijským vzpíráním, která však díky většímu počtu opakování v krátkém čase klade vysoké nároky na vytrvalost. Nejedná se tak o typickou vytrvalostní aktivitu, ale acyklický pohyb se zvýšenými nároky na silovou složku a zapojení rychlých svalových vláken, což by nemělo vést k tak významné interferenci (Berryman et al., 2019). Analogické zatížení lze sledovat také u cviků s vlastním tělem, kde však bývá zatížení z pravidla nižší. Proto by v takových situacích mohlo docházet k současnému rozvoji silových i vytrvalostních parametrů. Bohužel pro tuto premisu zatím není dostatek dat.

Nedílnou součástí tréninkové přípravy se stalo testování širokého spektra motorických schopností. U HIFT se ukazuje, že najít významné prediktory není snadné a pravděpodobně jich bude relativně hodně. Existují indicie, že úroveň anaerobní vytrvalosti by mohla hrát důležitou roli (Butcher et al., 2015). Je tedy logické, zabývat se jejím testováním a hledat také vhodné prostředky.

Častým prostředkem pro testování anaerobní vytrvalosti je Wingate test, který postihuje především dolní končetiny. Při HIFT se zapojuje celé tělo, a tedy všechny velké svalové skupiny. Také proto byl našemu výzkumu využit air bike pro zátěžový test. Air bike vyžaduje kromě šlapání použití také tahové a tlakové síly horní poloviny těla, což se projevilo akumulací laktátu, která byla vyšší než u Wingate nebo stejně dlouhých zátěžových testů (Carey & Richardson, 2003; Carter et al., 2005; Miladi et al., 2011). Nicméně se prokázala vysoká korelace (.871) mezi výkony u Wingate a air biku.

Hodnoty Wingate, jako je  $W_{max}$ , index únavy nebo W/kg, pravděpodobně nejsou pro výkon v HIFT zásadní. Jejich testování však může ukázat na změny způsobené tréninkovým zatížením a ověřením efektu tréninkového procesu (Murawska-Cialowicz et al., 2015). Díky podobným testům se mohou také projevit funkční výkonnostní limitace. Vzhledem k povaze HIFT se zdá průměrný výkon ( $W_{mean}$ ) důležitější, protože zátěž trvá delší dobu a více v kontextu silové vytrvalosti než maximálního výkonu (Butcher et al., 2015).

Crossfiteři dosáhli ve Wingate vysokých absolutních hodnot laktátu, které jsou vyšší než v podobných studiích (Miladi et al., 2011; Spierer et al., 2004). Důvodem by mohl být vyšší podíl svalových vláken I typu, která jsou primárním producentem laktátu. Pro HIFT je typické, že sportovci musí disponovat velmi dobrými silovými a dynamicko-silovými schopnosti, mimo jiné spojené s olympijským vzpíráním (Schlegel et al., 2021), což tento předpoklad potvrzuje. U air biku bylo dosaženo ještě vyšších hodnot laktátu a nástup byl strmější. Vysoká hladina laktátu je jedním z ukazatelů dobré úrovně anaerobního systému (Vandewalle et al., 1987).

Zátěžové testy pro testování anaerobní zdatnosti se obvykle pohybují v rozmezí od 30 do 60 sekund. Zátěž 60 sekund je dostatečná pro maximální produkci laktátu a zároveň se při ní aerobní procesy nezapojují v takové míře (Green & Dawson, 1993; Medbø & Tabata, 1993). V případě CrossFitu je při testování anaerobní zdatnosti důležité dosáhnout  $VLa_{max}$ , a proto se delší doba zatížení jeví jako vhodnější. Zároveň mají examinátoři větší prostor k pozorování k poklesu wattáže, což může přinést další zajímavé informace.

Mezi novější testy sledující fyziologické parametry se řadí blízká infračervená spektroskopie (NIRS), která má schopnost sledovat využití kyslíku a hemodynamiku ve svalu. Její využití ve sportovním tréninku je už relativně časté, nicméně u HIFT ještě využité nebylo. Podobně nebyla provedena spirometrie mimo laboratorní prostředí. Jedním z principů testování je přiblížit podmínky reálnému sportovnímu výkonu. HIFT umožňuje, za určitých předpokladů, současné použití NIRS a spirometrie, což bylo předmětem výzkumu.

Potvrdilo se, že CrossFit představuje velmi pestrou zátěž, na kterou musí organismus okamžitě reagovat. Silová zátěž se mění, což způsobuje rychlá a opakovaná vychýlení  $SmO_2$  a  $VCO_2$ , která následně kladou nároky na dechovou složku. Ani poloha těla není konstantní, což má za následek změnu spirometrických parametrů – například při přitazích špiček k hrazdě, kde zároveň dochází ke kompresi hrudníku. V odpočinkových intervalech bylo zaznamenáno zvýšení RER (respiratory equivalent ratio)  $> 1,0$ , což znamená významné zapojení anaerobního metabolismu.

Testovaný crossfiter využíval téměř maximální ventilační kapacitu, což svědčí o automatické reakci na zátěž při dané intenzitě, kdy dochází k velké spotřebě  $O_2$  a tím i zvýšené

produkcí CO<sub>2</sub>. Vyšší dechová kapacita je mimo jiné předpokladem pro vysokou intenzitu vytrvalostního výkonu. Vysoké nároky na práci dýchacích svalů mohou být spojeny s jejich únavou a následným negativním vlivem na vydechování CO<sub>2</sub>, což je hlavní faktor určující centrálně vnímanou únavu (Guyenet & Bayliss, 2015). Využití kyslíku, resp. jeho dodávka do pracujících svalů (v rámci sledování VO<sub>2max</sub>) se prokázalo důležité v kontextu výkonu v HIFT, proto se zdá být důležité sledovat výkonnost dýchacích svalů, které jsou náchylné k únavě (HajGhanbari et al., 2013).

TF je běžně používaný indikátor zatížení, který doznává určitých limitací. Na rozdíl od NIRS dochází ke zpožděné reakci na zátěž (v řádu desítek sekund) (Lucero et al., 2018). Měření ukazují, že nelze jednoduše stanovit přímou souvislost mezi TF a sledovanými metabolickými proměnnými ve svalu (Maté-Muñoz et al., 2018). Díky tomu nelze vnímat TF jako přesný ukazatel celkové zátěže organismu při silově-vytrvalostních cvičeních (Born et al., 2017). Také u našeho výzkumu se prokázalo, že prostřednictvím NIRS můžeme dobře sledovat akutní reakci organismu na zatížení – vliv konkrétního cviku/ jejich kombinace na využití kyslíku, rychlost návratu kyslíku, změnu dechové frekvence, změnu minutové ventilace apod.

Z pohledu budoucího výzkumu se otevírají možnosti v podobě longitudinálního sledování sportovců a analýzy vývoje vybraných výkonnostních parametrů. Zatím také neproběhla snaha o určení potenciálu dechových cvičení (proti odporu), které se ukazují jako slibné.

## *Výkon*

Výkon v HIFT lze posuzovat z různého pohledu, ale jako logický směr se jeví v kontextu CrossFit Games nebo CrossFit Open, které mají určitý zastřešující potenciál a jsou respektovány napříč celou komunitou. Analýza závodníků a jejich výkonů je podstatným krokem nejen pro sportovce a trenéry, ale také pro samotnou sportovní disciplínu. Pozornost byla zaměřena na nejlepší 20 českých účastníků CrossFit Open v roce 2019.

Přestože budou obecné vytrvalostní výkony, resp. parametry podstatné pro CrossFit, na základě našich zjištění je závodníci nesledují tak důkladně jako úroveň silových výkonů. Jedním z důvodů může být, že nejsou tak často zařazovány jako kondiční úkoly (ve smyslu single modalit) v rámci závodů. Dalším důvodem by mohl být fakt, že WOD/eventy jsou většinou složeny z více modalit (Bellar et al., 2015). Zároveň je nutné podotknout, že CrossFit používá mnoho prostředků, jak by vytrvalost mohla být testována (běh, veslování, air bike, Ski erg atd.) a není zřejmé, které z nich upřednostňovat. I přesto by měla cyklická aktivita

v submaximální nebo maximální intenzitě v rozmezí 5-20 minut podat relevantní informace ve vztahu k celkové výkonnosti (Feito et al., 2019).

U českých crossfiterů se prokázalo, že disponují relativně vysokou úrovní silových výkonů vzhledem ke své hmotnosti (zadní dřep 2x, mrtvý tah 2,4x, striktní tlak 1x). Ve srovnání s nejlepšími světovými crossfity jsou hodnoty výrazně nižší, ale týkají se především maximální síly základních cviků (Serafini et al., 2018). Ačkoliv jsou gymnastické pohyby v CrossFitu významně zastoupeny a zároveň je důležité, aby v nich závodník podával dobré výkony, jejich úroveň se dramaticky nezvyšuje s lepším umístěním v CrossFit Open, a to nejen u českého vzorku (Serafini et al., 2018). Cviky s vlastním tělem jsou upozaděny i ve výzkumné činnosti a jejich přímé testování nebylo součástí žádného výzkumu.

Z korelace vyplývá, že nejsilnějšími prediktory pro konečné pořadí byly výkony v olympijském trhu a nadhozu. Pro dobré umístění v rámci tohoto souboru bylo zapotřebí dosáhnout přibližně 113,8 kg v trhu a 141,5 kg v nadhozu. Slabší korelace, i když stále statisticky významná, byla pozorována v případě striktního tlaku, kliků ve stoji na rukou a předního dřepu. Na rozdíl od jiných prací, nebyl zjištěn tak silný vliv výkonu v zadním dřepu (Dexheimer et al., 2019). Je zřejmé, že olympijské vzpírání zaujímá ve vztahu k výkonům v CrossFitu důležité postavení. Práce s externí zátěží včetně cviků z olympijského vzpírání je mimo jiné typická pro závodní CrossFit (Mangine et al., 2018).

Z pohledu analýzy nejlepších sportovců světa existuje zatím málo výzkumů, studie se zaměřovaly na větší vzorky a braly v potaz obecné výkony nebo výsledky v CrossFit Open (Serafini et al., 2018). Tím, že CrossFit Games představují něco ve smyslu mistrovství světa, podrobný rozbor takového závodu a výkonů sportovců jsou důležité pro trenéry, atlety, ale také pro určení závodní podoby tohoto sportu. Analyzovány byly výsledky CrossFit Games 2021 a současně porovnávány výkony mezi ženami a muži. Jednotlivé ročníky nejsou, vzhledem k povaze CrossFitu, totožné, což je také jednou z limitací při interpretaci výsledků. Cílem naší studie bylo také porovnat výsledné skóre mezi muži a ženami po scalingu. Přestože údaje ukázaly, že scaling snižuje rozdíly mezi muži a ženami u absolutních výkonů, muži i přesto dosahovali lepších výsledků ve většině eventů.

Přestože CrossFit® používá scaling, muži a ženy nedosáhli stejných výsledků. Ženy byly úspěšnější v eventu č. 4 (s rozdílem 13,1 %), který se skládal ze dvou cviků (thruster, wall walk) a zatěžoval více horní polovinu těla. Ukázalo se, že ženy by mohly mít lepší předpoklady pro tento typ aktivity – silově vytrvalostní zatěžující více horní polovinu těla s vysokými nároky na rychlou regeneraci energetických systémů zahrnující beta-oxidaci, aerobní glykolýzu a laktátový metabolismus (Hicks et al., 2001). Muži dosáhli lepších výsledků ve 14 z 15 eventů,

a to v rozmezí od 0,1 do 33,1 %. Potvrdilo se, že mezi muži a ženami zůstávají rozdíly ve výkonech i při použití scalingu (Ransdell & Wells, 1999; Sandbakk et al., 2018).

V gymnastickém eventu č. 8 jsme zaznamenali malý rozdíl ( $d = 0,082$ , 12,9 %) ve výkonech mužů a žen. Rozdíl v silových výkonech na horní polovinu těla bývá obecně vyšší (40-62 %) (Höög & Andersson, 2021), ale je potřeba vzít v potaz, že se obvykle testuje jednorázový maximální počet opakování. Doba trvání disciplíny č. 8 (chůze ve stoji na rukou) byla přibližně 3-4 min, proto lze očekávat nižší rozdíl. Rozdíly mezi pohlavími se tak snižují, pokud se více projeví technický a/nebo vytrvalostní faktor.

Většina eventů má multimodální povahu – skládá se ze 2 až 3 modalit (gymnastika, vzpírání, kardio). Rozdíly mezi ženami a muži byly ve těchto eventech 4,8 – 18,7 % (malá až velká velikost účinku). Na základě výsledků a velké variability eventů se nám nepodařilo identifikovat určitý trend v diferencích mezi pohlavími (např. v kontextu modalit, délky eventu apod.).

Důvody pro rozdílné výkony nespočívají pravděpodobně jen v anatomických a fyziologických specifikách. Např. častější účast ve sportu vede k lepší adaptaci a může ovlivnit budoucí výkonnost (Deaner et al., 2012). Výkonnostní rozdíly mohou ovlivňovat i další proměnné jako tréninkový režim (délka, metody, objem atd.), psychologické mechanismy (odolnost vůči bolesti, motivace k vítězství), tělesná stavba nebo výskyt zranění. Žádná z těchto proměnných zatím nebyla v rámci CrossFitu zkoumána.

V HIFT je běžné, že společně trénují ženy a muži a také že mezi sebou porovnávají. Prokázalo se, že scaling pomáhá snížit anatomické a fyziologické předpoklady silové a vytrvalostní výkony, ale i přesto muži dosahují lepších výsledků. Pokud by byla snaha o přesnější vyrovnání výkonů v eventech, musel by být scaling upraven.

V kontextu fyziologické odezvy na zatížení prostřednictvím HIFT máme již poměrně dostatečné množství dat, která vykazují podobnou tendenci a charakter. V oblasti výkonu se však nabízejí další možnosti výzkumu jako např. vliv prostředí nebo podrobný rozbor pacingu (tempo, rychlost provedení opakování apod.) u různých výkonnostních skupin.

### *Air bike*

Air bike je již poměrně rozšířeným prostředkem pro rozvoj kondice a tělesné zdatnosti, který využívají nejen sportovci, ale také běžná pohybově aktivní populace. Díky tomu by bylo vhodné disponovat dostatečným množstvím informací o jeho potenciálu a efektu na organismus. V rámci výzkumu bylo provedeno systematické review, jehož cílem bylo

identifikovat relevantní zdroje týkající se air biku a v návaznosti determinovat účinky na kardiovaskulární systém a specifikovat doporučení pro jeho používání. Je potřeba uvést, že do analýzy byly zahrnuty také studie, které nepoužily přímo air bike, ale cyklickým způsobem podobným air biku zatěžovaly horní a dolní polovinu těla.

Vzhledem k určité podobnosti pohybu byl air bike testován společně s jízdou na stacionárním kole (Hoffman et al., 1996). Hlavním rozdílem je zapojení horní poloviny těla pomocí tahových i tlakových pohybů. To zvyšuje nároky na zásobování kyslíkem a funkci kardiovaskulárního systému. Na air biku lze dosáhnout vyšších hodnot  $VO_{2peak}$ , ventilace, laktátu nebo TF (Gleser et al., 1974; Hoffman et al., 1996; Stenberg et al., 1967). Přidaná práce paží zvyšuje efektivitu cvičení, což je vhodné pro zdravotně orientované programy nebo management hmotnosti. Dalším rozdílem je obtížnost šlapání, která se exponenciálně zvyšuje se zvyšující se rychlostí (Foster et al., 1991). Také lze konstatovat nižší kadenci jízdy ve srovnání s kolem.

Zdá se, že tělo nedokáže při vysoké zátěži optimálně zásobit všechny velké svalové skupiny zároveň, což má za následek snížení průtoku krve do paží až o 19 %. Naopak, když se ke šlapání přidá ještě „arm cranking“, průtok krve dolními končetinami se sníží o 10 %. Výsledná vazokonstrikce je pravděpodobně způsobena arteriálním baroreflexem (Volianitis & Secher, 2002). Tento stav také klade vysoké nároky na srdeční výdej, který může být hlavním limitem při podávání vysokých (maximálních) výkonů. Díky komplexnímu (silovějšímu) zatížení organismu je snazší dosáhnout bodu, kdy je výkon omezen v důsledku nedostatečného oxyličení. Je to jeden z důvodů, proč může být dosahováno nižších hodnot maximální TF ve srovnání s během (Bergh et al., 1976; Kostuck et al., 2020; Zeni et al., 1996). Proto je důležité optimálně nastavit formu cvičení a jasně specifikovat, který výkonnostní parametr má být rozvíjen.

Ramena air biku jsou konstrukčně spojena s pedály, a proto pracují na stejné frekvenci. Celkový výkon může být ovlivněn různým zapojením paží a nohou. Zdá se, že optimální poměr by měl být 90/10 % nebo 80/20 % ve prospěch nohou (Bergh et al., 1976; Nagle et al., 1984). Jiné poměry vedou ke snížení výkonnosti,  $VO_{2peak}$  nebo TF. Je možné, že v některých sportech orientovaných více na horní část těla (např. plavání) by mohl být poměr přirozeně jiný nebo by mohl být upraven pro získání specifického efektu (Volianitis & Secher, 2002). Z praxe se ukazuje, že využití/preference tlakového a tahového pohybu ramen je individuální s vyšší tendencí k tlaku. Nicméně tento aspekt zatím nebyl v žádné studii řešen.

Při jízdě na air biku musí jedinci překonávat odpor, který se zvyšuje s rychlostí jízdy, což vede k výrazné svalové desaturaci (Schlegel, Hiblbauer, et al., 2020). Toto zvýšené úsilí

předpokládá zapojení glykolytických vláken. Aktivace vláken IIa a IIx vede k efektivnějšímu růstu svalů a rozvoji (udržení) síly. Zejména při použití HIIT s krátkými intervaly mohou být vhodnou cestou rozvoje kondičních schopností. Také proto by mohl být vhodnou součástí smíšeného vytrvalostního a silového cvičebního programu (Murlasits et al., 2018). Nespornou výhodou je dále relativně nízká technická náročnost jízdy, což umožňuje poměrně rychlou implementaci do tréninkových plánů.

Výsledky cvičebních programů potvrzují pozitivní vliv air biku na zvýšení  $VO_{2peak}$ , minutové ventilace nebo pracovní kapacity (Fernandez & Pitetti, 1993; Hwang et al., 2019; Pitetti & Tan, 1991). U kontinuální práce by byl prokázán vliv na zlepšení arteriální tuhosti nebo rychlosti aortální pulzové vlny (Kim et al., 2017). Významný vliv byl zaznamenán ve smyslu snížení inzulínové rezistence a zlepšení kardiovaskulární kondice (Hwang et al., 2016). U kardiaků byl rovněž prokázán pozitivní vliv na kvalitu života (Nyquist-Battie et al., 2007). Nutné je doplnit, že ve všech případech se jednalo o zdravotně oslabené jedince a že intervenční programy neobsahovaly krátké intervalové zatížení.

Efekt HIFT v kombinaci s krátkým intervalovým zatížením na air biku, resp. kontinuálním cyklickým zatížením střední intenzity byl předmětem provedeného výzkumu. Výsledky potvrdily pozitivní účinnost HIIT a SIT (sprint interval training) po 8 týdenním programu na rozvoj silových parametrů dolních končetin (Sökmen et al., 2018; Soylu et al., 2021). Progres v síle byl zaznamenán i u bench pressu ( $ES=1,01$ ,  $p=0,06$ ), což dokazuje, že jízda na air biku se podílí na rozvoji také síly horní poloviny těla.

Ve studiích, které v intervenci použily air bike, byl interval práce 4 minuty, což bylo použito i v dalších výzkumech zaměřených na vytrvalostní sportovce (Stepto et al., 1999; Sultana et al., 2019). V našem výzkumu byl použit protokol HIIT s intervaly 15-45 s, který umožňoval vyšší výkon, resp. vyšší rychlost. Jízda na air biku je více silovější, proto se nabízí použití SIT nebo HIIT s krátkými intervaly. Zejména u SIT je velmi důležité udržovat správnou techniku, čehož lze u air biku snadněji dosáhnout.

Pro rozvoj kardiorespirační zdatnosti byly jako účinné shledány různě koncipované programy HIIT a SIT s modalitami jako je běh, jízda na kole nebo veslování (Batacan et al., 2017; Rosenblat et al., 2020; Sultana et al., 2019). Na základě výrazného zlepšení  $VO_{2peak}$  (o 10,62 %) u našeho vzorku, lze za účinný prostředek označit také air bike. Následkem některých SIT programu došlo k výrazně menšímu zlepšení (Cervantes et al., 2021). Nicméně je důležité zdůraznit, že kromě intervalového tréninku absolvovali naši probandi také HIFT, což může umocnit celkový efekt.



Výsledky prokázaly, že různé protokoly HIIT mohou vést ke zlepšení  $VO_{2peak}$  a tedy ke zlepšení kardiopulmonální zdatnosti. Tuto skutečnost mohou ovlivnit různé proměnné: zlepšení silových parametrů, metabolická flexibilita, změna složení svalových vláken, zlepšení respiračních funkcí, zlepšení psychické odolnosti vůči fyzickému diskomfortu během cvičení, lepší efektivita pohybu (Callahan et al., 2021; Dolci et al., 2021; MacDougall et al., 1998). Je obtížné určit, které konkrétní faktory byly v tomto výzkumu dominantní. Pravděpodobně zde působí více faktorů ve vzájemné synergii.

Vycházíme-li z dostupných dat, je možné navázat výzkumnou činností orientovanou na intervenční programy specifických skupin (senioři, obézní jedinci apod.). V oblasti HIFT by bylo možné sledování efektivity programů obsahující air bike na tělesnou zdatnost, management hmotnosti nebo další významné parametry zdraví.

### *Zdravotní aspekty*

Nejen etické, ale také zdravotní hledisko je spojeno se zneužíváním dopingových látek ve sportu. Ani CrossFitu se toto téma nevyhnulo a se zavedením testování atletů bylo zjištěno více pozitivních nálezů. Kromě již známých substancí jako jsou anabolické steroidy se začaly objevovat látky nové. Mezi takové patří selektivní modulátory androgenního receptoru (SARM) a receptory aktivované proliferátory peroxizomů (PPAR $\delta$ ). Proto bylo cílem výzkumu vytvořit seznam pozitivně testovaných atletů na CrossFit Games a blíže představit účinky a možnosti zneužití zmiňovaných látek.

Bylo zjištěno, že existují desítky pozitivně testovaných případů a lze předpokládat, že profesionální atleti představují jen malou část z celkového množství uživatelů (de Hon et al., 2015). Do problému zasahuje fakt, že jen velmi malý počet závodů přistupuje k testování závodníků. Důvodem je pravděpodobně finanční náročnost a absence systémového přístupu k testování. Je zapotřebí zdůraznit, že crossfiteři jsou testováni pouze během závodu, nikoliv náhodně v průběhu roku.

PPAR $\delta$  ukazují velkou účinnost v podpoře efektivnějšího využívání lipidů jako zdroje energie pro svalovou práci (Fan et al., 2017). Tyto receptory také pravděpodobně zvýhodňují využití aerobní glykolýzy, což v konečném důsledku vede ke zvýšení vytrvalostního výkonu (d'Angelo et al., 2019; Wang et al., 2004). CrossFit je příznačný podáváním vysoce intenzivních vytrvalostních výkonů v rozmezí 5-20 minut, což může být pomocí PPAR $\delta$  ovlivněno. Z pohledu zdravotních rizik nebylo identifikováno mnoho negativ – pacienty je dobře tolerován, nicméně většina výzkumů vychází z krátkodobého sledování (d'Angelo et al.,

2019). Bohužel zatím nevíme, jaké jsou dlouhodobé efekty nebo následky nadužívání, což je běžnou praxí u dopování (Vanberg & Atar, 2010).

Prokázalo se, že SARM mohou po krátkodobé intervenci působit srovnatelně s externě dodávaným testosteronem na růst svalů nebo síly (Basaria et al., 2013). Zároveň je potřeba zmínit, že existuje více druhů SARM a chybí dostatek validních výzkumů na lidech. Výzkumy naznačovaly, že by SARM by mohly být zajímavou alternativou pro anabolické steroidy ve zdravotnictví s menší vedlejšími účinky (Dalton et al., 2011). Praktické (nepublikované) zkušenosti uživatelů po celém světě však vypovídají o úplném opaku a vše nasvědčuje tomu, že užívání SARM může mít dlouhodobé následky zasahující především endokrinní systém.

Obě zmíněné látky představovaly velký problém, protože byly volně dostupné v e-shopech. V takových případech je nutné počítat s tím, že značná část takových produktů neobsahuje deklarované množství nebo samotnou látku (Van Wagoner et al., 2017). Podle aktuální legislativy a zásahů policie v České republice se tento stav významně zlepšil, ale tyto látky budou stále kolovat na černém trhu.

HIFT je rozšířeným cvičební programem, který začal být využíván i jinými skupinami než dospělou pohybově aktivní populací. Také proto vznikl koncept CrossFit Kids zaměřený na děti a mládež, který zachovává základní principy v podobě cvičení ve vysoké intenzitě, používání komplexních pohybů a velké variability ve skladbě cviků, modalit a metod. Cílem našeho výzkumu bylo ověřit funkčnost a efektivitu CrossFitu v běžné školní tělesné výchově.

Po intervenci trvající 10 týdnů jsme zaznamenali tendenci ve zlepšení úrovně motorických schopností. U dětí staršího školního věku se obvykle potvrzuje pozitivní efekt cvičebních programů (Dobbins et al., 2013). V našem výzkumu byla naměřena srovnatelná zlepšení s kontrolní skupinou, nicméně je potřeba zdůraznit, že program byl přizpůsoben reálně výuce – CrossFit zabral 20-25 minut z každé vyučovací hodiny, proto aby byla zachována pestrost. Kdyby cvičební program dostal více prostoru, bylo by možné zaznamenat větší zlepšení, jak se ukázalo na adolescentech (Eather et al., 2016).

Ačkoliv to nebylo vědecky potvrzeno, CrossFit byl žáky přijímán pozitivně. Pro děti a mládež se tak jedná o pestrý, moderní a nový způsob kondičního cvičení, který může představovat alternativu pro tradiční přístupy (Gipson et al., 2018). Nicméně se přikláníme k variantě, kdy je doplněn o aktivity s herními prvky, což zvyšuje „fun factor“ hodin. Do reálné výuky bychom dále doporučili nepoužívat tak dlouhé bloky pro udržení motivace do cvičení. V neposlední řadě se potvrdilo, že i se standardním školním vybavením je možné realizovat CrossFit – bez činek, kardo strojů apod.

Mezi specifické skupiny, které se věnují HIFT, se řadí také těhotné ženy. Přestože existují obecná doporučení zahrnující výběr pohybových aktivit, předpisy v kontextu objemu a intenzity silového i vytrvalostního zatížení, nelze je snadno přenést na HIFT. Svou povahou se řadí mezi „high-impact“ aktivity, které by měly představovat zvýšené riziko. Také proto je nutné provádět výzkum u těhotných žen pro jasnou identifikaci rizik i benefitů.

Předmětem výzkumu bylo podrobné sledování těhotné ženy, která se věnovala HIFT na výkonnostní úrovni, v průběhu celého těhotenství. Žena absolvovala 3-4 tréninkové jednotky týdně obsahující cviky s vlastním tělem, externí zátěží i cyklické vytrvalostní aktivity, během nichž dosahovala TF nad 80 %  $TF_{max}$ . Tento režim neměl negativní vliv na hodnoty variability srdeční frekvence (SDNN), porod nebo zdraví plodu.

Často se stávalo, že byla naměřena hodnota TF přesahující 90 %  $TF_{max}$ , což neodpovídá obecným doporučením (Santos-Rocha et al., 2019). Je potřeba doplnit, že žena byla instruována k udržení takové intenzity, která je jí komfortní. Zdá se, že ženy zvyklé na takový typ zatížení, mohou pokračovat ve velmi intenzivním tréninku, aniž by to vedlo k negativním dopadům na porod či plod (Weaving, 2020). Potvrzují to také další studie, u kterých profesionální a výkonnostně orientované ženy výrazně převyšovaly objem i intenzitu běžných doporučení (Clapp, 1990; Kardel, 2005).

Doporučení pro silový trénink se omezuje na použití therabandů nebo činek do 10 kg (Anderson et al., 2021; Santos-Rocha et al., 2019). Pro silové sportovkyně to představuje spíše zahřívací aktivitu a mají tendenci cvičit s těžší zátěží. I ve třetím trimestru se žena věnovala olympijskému vzpírání a cvikům ze silového trojboje s činkou o hmotnosti 40-60 kg. Mohly by panovat určité obavy ze zvýšeného nitrobřišního tlaku, které by mohly představovat riziko pro plod (Cai et al., 2020). Zatím však nebylo prokázáno, že by existovala jasná souvislost mezi posilováním a vyšším rizikem pro plod. Je důležité zdůraznit skutečnost, že nitrobřišní tlak při vzpírání (do 70 % 1 RM) dosahuje nižších hodnot než například při běhu, případně skocích a lze jej srovnat s rychlou chůzí (Dietze-Hermosa et al., 2020; Gephart et al., 2018).

Máme více důkazů o tom, že u zdravých a pohybově aktivních žen nemají aktivity s vysokou zátěží nebo intenzitou žádný negativní vliv na průběh těhotenství nebo porod (Barakat et al., 2015; Sigurdardottir et al., 2019). To prokázal i tento výzkum – vaginální porod bez komplikací, standardní gestační věk, Apgar skóre 10, normální hmotnost plodu. Zdá se, že jediným typickým důsledkem pro ženy, které jsou v těhotenství fyzicky aktivní, může být nižší porodní hmotnost, což však není považováno za škodlivé (Kardel, 2005; Sigurdardottir et al., 2019). Přesto je však potřeba zdůraznit, že se jednalo o případovou studii a že další výzkumná činnost je nezbytná pro potvrzení závěrů v kontextu HIFT.

Potvrdilo se, že ženy praktikující HIFT mají k této činnosti silný vztah a nechtějí se jí vzdát ani v těhotenství (Prewitt-White et al., 2018). Ženy si musí zachovat důležité prvky svého životního stylu, protože ovlivňují úroveň celkového zdraví a well-being. Přesto je nutné konzultovat všechny postupy a cvičení s lékařem a řídit se jeho doporučeními.

Pro navazující výzkumnou práci lze doporučit rozšíření studií sledující děti a mládež a v návaznosti vytvářet doporučení s přenosem do reálné praxe. Dále by bylo přínosné pokračovat v zamření na těhotné ženy ve smyslu HIFT programů a sledování vlivu na průběh těhotenství, porod a zdraví plodu.

## 8 SOUHRN

Díky rozličnému zaměření uvedených článků, jsou pro úplnost popsány nejdůležitější body, které vycházejí ze závěrů provedených výzkumů.

Fitness představuje specifické odvětví, které dlouhodobě zažívá velké změny ve výběru forem cvičení, cvičebních pomůcek nebo metod. Díky tomu se objevují nová slova nebo vznikají nové konotace. Ukázalo se, že HIFT, HIIT, kruhový trénink, CrossFit, funkční trénink mají svébytné atributy. Díky tomu je možné je dobře rozlišit při jejich použití a nemělo by docházet k jejich zaměňování.

Pro trénink CrossFitu je nutné určit optimální postupy pro ideální rozvoj síly, vytrvalosti, výkonu, rychlosti, přesnosti a dalších specifických (crossfitových) výkonů. V určitých aspektech je možné zapojit do tréninku metodiku souběžného tréninku. Potvrzuje se však, že CrossFit je v mnoha ohledech sportem, který vyžaduje jedinečné tréninkové postupy, pro které je pouze omezené množství informací.

Ve srovnání s Wingate testem se ukázalo, že průměrný výkon (W) a kalorie souvisejí s anaerobní pracovní kapacitou, která je pro CrossFit důležitá. Po 1minutovém testu na air biku měli účastníci vyšší hladinu laktátu a v závislosti na vyšší akumulaci došlo také k odlišnému vývoji laktátové křivky během pasivní klidové fáze. Testování hladiny laktátu a laktátové křivky ve spojení s ujetými kaloriemi se zdá být vhodným prostředkem pro analýzu aktuální úrovně anaerobního systému.

Spojení blízké infračervené spektroskopie a spirometrie se zdá být dobrou kombinací pro komplexní analýzu tréninkového (crossfitového) zatížení. Potvrzuje se, že parametry z obou měření spolu souvisejí a společně s hodnotami srdeční frekvence vytvářejí celkový obraz reakce organismu během testování. Z výsledků testování je možné velmi dobře analyzovat celkovou výkonnost sportovce a vyčíst fyziologickou odezvu na silové, vytrvalostní nebo kombinované podněty v CrossFitu. Tento test poskytuje dobrou zpětnou vazbu o odezvě organismu na zatížení, což lze dobře využít pro následnou optimalizaci tréninku.

Nejlepší čeští crossfiteři věnují značné množství času tréninku (800-900 minut týdně). Z výsledků výzkumu vyplývá, že pro umístění v českém žebříčku je velmi podstatný výkon v olympijském vzpírání a základní silové výkony s velkou činkou. Závodníci mají mnohem horší přehled o svých vytrvalostních než o silových výkonech.

Výsledky analýzy sportovců na CrossFit Games® ukazují rozdíl ve výkonnosti žen a mužů od 0,1 do 33,1 %. Největší rozdíl byl v olympijském vzpírání (1 RM trh soupažný). Podobně jako v jiných sportovních disciplínách byly i zde zjištěny rozdíly ve výsledcích

disciplín mezi pohlavími. I přes scaling dosahovali muži obecně lepších výsledků, což je dáno především jejich anatomickými a fyziologickými rozdíly. Rozdíly mezi výkony žen a mužů jsou variabilní - ženy dosáhly lepších výsledků v jedné disciplíně a v dalších čtyřech byly rozdíly malé.

Air bike je rozšířeným nástrojem pro kondiční trénink a je využíván také běžnou populací nebo specifickými skupinami. Jeho použití je technicky poměrně jednoduché a pohodlné. Lze jej doporučit pro testování nesespecifické aerobní a anaerobní vytrvalosti. Zátěžové testy ukazují potenciál pro dosažení vysokých fyziologických hodnot, které mohou rozvíjet kardiorespirační zdatnost. Dále byla prokázána jeho účinnost při pozitivním ovlivňování parametrů kardiovaskulárního systému. Zdá se, že jeho použití bude ideální pro HIIT nebo HIFT, a to buď samostatně, nebo v kombinaci s jinými cviky.

Bylo prokázáno, že HIIT s využitím air biku může v rámci 8týdenní intervence pozitivně ovlivnit kardiorespirační, silové a vytrvalostní parametry. Významným efektem souvisejícím s vlastnostmi air biku je současné ovlivnění silových výkonů horní a dolní poloviny těla. Na základě výsledků výzkumu lze jízdu na air biku doporučit jako vhodný nástroj pro rozvoj tělesné zdatnosti a výkonnosti.

Na profesionálních sportovcích se potvrdilo, že lze identifikovat trend ve zneužívání zakázaných látek. Mezi tyto substance patří SARM a PPAR $\delta$ . Díky účinnosti, snadné dostupnosti a relativně malým akutním vedlejším efektům se staly rozšířenými. Kromě etického hlediska jsou zde četná zdravotní rizika, která by měla být zdůrazňována. Problematika by se měla stát součástí edukace sportovní obce.

Tělesná výchova nabízí možnost aplikace různých pohybových aktivit. CrossFit je sportovní disciplínou, resp. jednoduchým cvičebním programem, který se k tomuto účelu nabízí. Provedená intervence ukázala, že takový druh cvičení může být vhodnou součástí tělesné výchovy. Z pohledu rozvoje vybraných parametrů tělesné zdatnosti nebyla prokázána vyšší účinnost oproti standardní výuce. Nutno dodat, že navržená intervence měla specifika, která měla simulovat běžnou výuku.

Cílem prezentované případové studie bylo poskytnout informace o účinku HIFT u těhotné ženy. Její tréninkový plán zahrnoval olympijské vzpírání, gymnastiku, běh atd., přičemž náročnost byla nastavena na "těžkou až velmi těžkou". Tento režim neměl žádné negativní účinky na variabilitu srdeční frekvence (SDNN). Těhotenství a porod proběhly rovněž bez komplikací. S přihlédnutím k limitacím výzkumu může být optimálně nastavený HIFT vhodnou a bezpečnou aktivitou bez nežádoucích účinků na matku či plod.

## 9 ZÁVĚR

Vznik nové sportovní oblasti představuje výzvu pro vědecko-výzkumnou činnost. Aby byla daná disciplína uznána za legitimní a také společensky respektovanou, je zapotřebí získávat dostatečné množství relevantních vědecky podložených informací. HIFT je stále ještě mladou sportovní oblastí, která je na začátku této cesty.

HIFT se stal přitažlivou aktivitou, která nabízí intenzivní, pestré cvičení, uskutečňuje se v designově specifickém prostředí a je typická silným vztahem ke komunitě. Ačkoliv není znám přesný počet praktikujících, lze vycházet z počtu tělocvičen, které v České republice vznikly v posledních 10 letech a tento počet není zanedbatelný. Nejedná se o krátkodobý trend a zdá se, že HIFT se postupně etabloval v oblasti fitness a dostává se do povědomí širší (sportující) veřejnosti.

Tato habilitační práce si kladla za cíl předložit dosavadní autorovu výzkumnou činnost, která se vztahuje k tématu HIFT. Protože je HIFT často vnímán pouze jako cvičební systém, byly popsány aspekty vysvětlující odlišnosti od jiných metod cvičení a zároveň vyzdviženy atributy, díky kterým jej můžeme označit za sportovní disciplínu. Jedná se o důležitý krok také pro přístup k výzkumu.

Prezentované články zasahují do různých kinantropologických oblastí, proto jsou rozděleny do tematicky blízkých celků. Byly uvedeny články související se sportovním výkonem, které zároveň pomáhají určit jeho důležité aspekty. Dále byly vybrány články zabývající se air bikem, který má v HIFT specifické využití. V neposlední řadě byly připojeny články zaměřené na zdravotní aspekty a využití HIFT ve školní TV.

## 10 REFERENČNÍ SEZNAM

- Anderson, J., Pudwell, J., McAuslan, C., Barr, L., Kehoe, J., & Davies, G. A. (2021). Acute fetal response to high-intensity interval training in the second and third trimesters of pregnancy. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism = Physiologie Appliquee, Nutrition Et Metabolisme*, 46(12), 1552–1558. <https://doi.org/10.1139/apnm-2020-1086>
- Anonymous. (1797). *The repertory of patent inventions, and other discoveries and improvements in arts, manufactures, and agriculture: Being a continuation, on an enlarged plan, of the repertory of arts and manufactures*. G. and T. Wilkie.
- Bailey, B., Benson, A. J., & Bruner, M. W. (2019). Investigating the organisational culture of CrossFit. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 17(3), 197–211. <https://doi.org/10.1080/1612197X.2017.1329223>
- Barakat, R., Perales, M., Garatachea, N., Ruiz, J. R., & Lucia, A. (2015). Exercise during pregnancy. A narrative review asking: What do we know? *British Journal of Sports Medicine*, 49(21), 1377–1381. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094756>
- Basaria, S., Collins, L., Dillon, E. L., Orwoll, K., Storer, T. W., Miciek, R., Ulloor, J., Zhang, A., Eder, R., Zientek, H., Gordon, G., Kazmi, S., Sheffield-Moore, M., & Bhasin, S. (2013). The Safety, Pharmacokinetics, and Effects of LGD-4033, a Novel Nonsteroidal Oral, Selective Androgen Receptor Modulator, in Healthy Young Men. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 68(1), 87–95. <https://doi.org/10.1093/gerona/gls078>
- Batacan, R. B., Duncan, M. J., Dalbo, V. J., Tucker, P. S., & Fenning, A. S. (2017). Effects of high-intensity interval training on cardiometabolic health: A systematic review and meta-analysis of intervention studies. *British Journal of Sports Medicine*, 51(6), 494–503. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095841>
- Beetham, K. S., Giles, C., Noetel, M., Clifton, V., Jones, J. C., & Naughton, G. (2019). The effects of vigorous intensity exercise in the third trimester of pregnancy: A systematic review and meta-analysis. *BMC Pregnancy and Childbirth*, 19(1), 281. <https://doi.org/10.1186/s12884-019-2441-1>
- Bellar, D., Hatchett, A., Judge, L., Breaux, M., & Marcus, L. (2015). The relationship of aerobic capacity, anaerobic peak power and experience to performance in CrossFit exercise. *Biology of Sport*, 32(4), 315–320. <https://doi.org/10.5604/20831862.1174771>
- Bergeron, M. F., Nindl, B. C., Deuster, P. A., Baumgartner, N., Kane, S. F., Kraemer, W. J.,



- Sexauer, L. R., Thompson, W. R., & O'Connor, F. G. (2011). Consortium for Health and Military Performance and American College of Sports Medicine consensus paper on extreme conditioning programs in military personnel. *Current Sports Medicine Reports*, *10*(6), 383–389. <https://doi.org/10.1249/JSR.0b013e318237bf8a>
- Bergh, U., Kanstrup, I. L., & Ekblom, B. (1976). Maximal oxygen uptake during exercise with various combinations of arm and leg work. *Journal of Applied Physiology*, *41*(2), 191–196. <https://doi.org/10.1152/jappl.1976.41.2.191>
- Berryman, N., Mujika, I., & Bosquet, L. (2019). Concurrent Training for Sports Performance: The 2 Sides of the Medal. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *14*(3), 279–285. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0103>
- Bishop, D., Bartlett, J., Fyfe, J., & Lee, M. (2019). Methodological Considerations for Concurrent Training: Scientific Basics and Practical Applications. In *Concurrent Aerobic and Strength Training* (s. 183–196). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-75547-2\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-319-75547-2_13)
- Born, D., Stöggl, T., Swarén, M., & Björklund, G. (2017). Running in Hilly Terrain: NIRS is More Accurate to Monitor Intensity than Heart Rate. *International journal of sports physiology and performance*, *12*, 440–447. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0101>
- Brisebois, M. F., Rigby, B. R., & Nichols, D. L. (2018). Physiological and Fitness Adaptations after Eight Weeks of High-Intensity Functional Training in Physically Inactive Adults. *Sports*, *6*(4). <https://doi.org/10.3390/sports6040146>
- Butcher, S. J., Neyedly, T. J., Horvey, K. J., & Benko, C. R. (2015). Do physiological measures predict selected CrossFit(®) benchmark performance? *Open Access Journal of Sports Medicine*, *6*, 241–247. <https://doi.org/10.2147/OAJSM.S88265>
- Bycura, D., Feito, Y., & Prather, C. (2017). Motivational Factors in CrossFit® Training Participation. *Health Behavior Policy Review*, *4*(6), 539–550. <https://doi.org/10.14485/HBPR.4.6.4>
- Cai, C., Vandermeer, B., Khurana, R., Nerenberg, K., Featherstone, R., Sebastianski, M., & Davenport, M. H. (2020). The impact of occupational activities during pregnancy on pregnancy outcomes: A systematic review and metaanalysis. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, *222*(3), 224–238. <https://doi.org/10.1016/j.ajog.2019.08.059>
- Callahan, M. J., Parr, E. B., Hawley, J. A., & Camera, D. M. (2021). Can High-Intensity Interval Training Promote Skeletal Muscle Anabolism? *Sports Medicine*, *51*(3), 405–421. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01397-3>

- Campbell, J. D. (2012). „*The army isn't all work*": Physical culture in the evolution of the British army, 1860-1920. Ashgate Publishing Ltd.
- Carey, D. G., & Richardson, M. T. (2003). Can Aerobic and Anaerobic Power be Measured in a 60-Second Maximal Test? *Journal of Sports Science & Medicine*, 2(4), 151–157.
- Carter, H., Dekerle, J., Brickley, G., & Williams, C. A. (2005). Physiological Responses to 90 s All Out Isokinetic Sprint Cycling in Boys and Men. *Journal of Sports Science & Medicine*, 4(4), 437–445.
- Clapp, J. F. (1990). The course of labor after endurance exercise during pregnancy. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 163(6 Pt 1), 1799–1805. [https://doi.org/10.1016/0002-9378\(90\)90753-t](https://doi.org/10.1016/0002-9378(90)90753-t)
- Claudino, J. G., Gabbett, T. J., Bourgeois, F., Souza, H. de S., Miranda, R. C., Mezêncio, B., Soncin, R., Cardoso Filho, C. A., Bottaro, M., Hernandez, A. J., Amadio, A. C., & Serrão, J. C. (2018). CrossFit Overview: Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Medicine - Open*, 4(1), 11. <https://doi.org/10.1186/s40798-018-0124-5>
- Crawford, D. A., Drake, N. B., Carper, M. J., DeBlauw, J., & Heinrich, K. M. (2018). Validity, Reliability, and Application of the Session-RPE Method for Quantifying Training Loads during High Intensity Functional Training. *Sports (Basel, Switzerland)*, 6(3). <https://doi.org/10.3390/sports6030084>
- Crockett, M., & Butryn, T. (2017). Chasing Rx: A Spatial Ethnography of the CrossFit Gym. *Sociology of Sport Journal*, 35, 1–34. <https://doi.org/10.1123/ssj.2017-0115>
- Dalton, J. T., Barnette, K. G., Bohl, C. E., Hancock, M. L., Rodriguez, D., Dodson, S. T., Morton, R. A., & Steiner, M. S. (2011). The selective androgen receptor modulator GTx-024 (enobosarm) improves lean body mass and physical function in healthy elderly men and postmenopausal women: Results of a double-blind, placebo-controlled phase II trial. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, 2(3), 153–161. <https://doi.org/10.1007/s13539-011-0034-6>
- d'Angelo, M., Castelli, V., Tupone, M. G., Catanesi, M., Antonosante, A., Dominguez-Benot, R., Ippoliti, R., Cimini, A. M., & Benedetti, E. (2019). Lifestyle and Food Habits Impact on Chronic Diseases: Roles of PPARs. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(21). <https://doi.org/10.3390/ijms20215422>
- Dawson, M. C. (2017). CrossFit: Fitness cult or reinventive institution? *International Review for the Sociology of Sport*, 52(3), 361–379. <https://doi.org/10.1177/1012690215591793>
- Deaner, R. O., Geary, D. C., Puts, D. A., Ham, S. A., Kruger, J., Fles, E., Winegard, B., & Grandis, T. (2012). A sex difference in the predisposition for physical competition:

- Males play sports much more than females even in the contemporary U.S. *PloS One*, 7(11), e49168. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0049168>
- Dehghanzadeh Suraki, R., Mohsenzade, M., Tibana, R., & Ahmadizad, S. (2021). Effects of CrossFit training on lipid profiles, body composition and physical fitness in overweight men. *Sport Sciences for Health*, 17. <https://doi.org/10.1007/s11332-020-00704-9>
- de Hon, O., Kuipers, H., & van Bottenburg, M. (2015). Prevalence of Doping Use in Elite Sports: A Review of Numbers and Methods. *Sports Medicine*, 45(1), 57–69. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0247-x>
- Dexheimer, J. D., Schroeder, E. T., Sawyer, B. J., Pettitt, R. W., Aguinaldo, A. L., & Torrence, W. A. (2019). Physiological Performance Measures as Indicators of CrossFit® Performance. *Sports (Basel, Switzerland)*, 7(4). <https://doi.org/10.3390/sports7040093>
- Dietze-Hermosa, M., Hitchcock, R., Nygaard, I. E., & Shaw, J. M. (2020). Intra-abdominal Pressure and Pelvic Floor Health: Should We Be Thinking About This Relationship Differently? *Female Pelvic Medicine & Reconstructive Surgery*, 26(7), 409–414. <https://doi.org/10.1097/SPV.0000000000000799>
- Dobbins, M., Husson, H., DeCorby, K., & LaRocca, R. L. (2013). School-based physical activity programs for promoting physical activity and fitness in children and adolescents aged 6 to 18. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2, CD007651. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD007651.pub2>
- Dolci, F., Kilding, A. E., Spiteri, T., Chivers, P., Piggott, B., Maiorana, A., & Hart, N. (2021). High-intensity Interval Training Shock Microcycle Improves Running Performance but not Economy in Female Soccer Players. *International Journal of Sports Medicine*, 42(8), 740–748. <https://doi.org/10.1055/a-1302-8002>
- Doma, K., & Deakin, G. B. (2013). The effects of strength training and endurance training order on running economy and performance. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism = Physiologie Appliquee, Nutrition Et Metabolisme*, 38(6), 651–656. <https://doi.org/10.1139/apnm-2012-0362>
- Doma, K., Deakin, G. B., & Bentley, D. J. (2017). Implications of Impaired Endurance Performance following Single Bouts of Resistance Training: An Alternate Concurrent Training Perspective. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 47(11), 2187–2200. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0758-3>
- Dominguez, R. H., & Gajda, R. S. (1982). *Total Body Training*. Scribner.
- Dominski, F. H., Serafim, T. T., Siqueira, T. C., & Andrade, A. (2021). Psychological variables of CrossFit participants: A systematic review. *Sport Sciences for Health*, 17(1), 21–41.

<https://doi.org/10.1007/s11332-020-00685-9>

- Eather, N., Morgan, P. J., & Lubans, D. R. (2016). Improving health-related fitness in adolescents: The CrossFit Teens™ randomised controlled trial. *Journal of Sports Sciences*, 34(3), 209–223. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1045925>
- Fan, W., Waizenegger, W., Lin, C. S., Sorrentino, V., He, M.-X., Wall, C. E., Li, H., Liddle, C., Yu, R. T., Atkins, A. R., Auwerx, J., Downes, M., & Evans, R. M. (2017). PPAR $\delta$  Promotes Running Endurance by Preserving Glucose. *Cell Metabolism*, 25(5), 1186–1193.e4. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2017.04.006>
- Feito, Y., Burrows, E. K., & Tabb, L. P. (2018). A 4-Year Analysis of the Incidence of Injuries Among CrossFit-Trained Participants. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 6(10), 2325967118803100. <https://doi.org/10.1177/2325967118803100>
- Feito, Y., Giardina, M. J., Butcher, S., & Mangine, G. T. (2019). Repeated anaerobic tests predict performance among a group of advanced CrossFit-trained athletes. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism = Physiologie Appliquee, Nutrition Et Metabolisme*, 44(7), 727–735. <https://doi.org/10.1139/apnm-2018-0509>
- Feito, Y., Heinrich, K. M., Butcher, S. J., & Poston, W. S. C. (2018). High-Intensity Functional Training (HIFT): Definition and Research Implications for Improved Fitness. *Sports (Basel, Switzerland)*, 6(3), 76. <https://doi.org/10.3390/sports6030076>
- Fernandez, J. E., & Pitetti, K. H. (1993). Training of ambulatory individuals with cerebral palsy. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 74(5), 468–472. [https://doi.org/10.1016/0003-9993\(93\)90107-1](https://doi.org/10.1016/0003-9993(93)90107-1)
- Foster, C., Thompson, N. N., & Bales, S. (1991). Functional translation of exercise responses during combined arm-leg ergometry. *Cardiology*, 78(2), 150–155. <https://doi.org/10.1159/000174779>
- Gephart, L. F., Doersch, K. M., Reyes, M., Kuehl, T. J., & Danford, J. M. (2018). Intraabdominal pressure in women during CrossFit exercises and the effect of age and parity. *Proceedings (Baylor University. Medical Center)*, 31(3), 289–293. <https://doi.org/10.1080/08998280.2018.1446888>
- Gettman, L. R., & Pollock, M. L. (1981). Circuit Weight Training: A Critical Review of Its Physiological Benefits. *The Physician and Sportsmedicine*, 9(1), 44–60. <https://doi.org/10.1080/00913847.1981.11710988>
- Gipson, C., Hunt, T., & Moore, M. (2018). Lessons Learned from a Nontraditional Sports Program: CrossFit Kids for Youth at Risk. *National Youth-At-Risk Journal*, 3(1), 25. <https://doi.org/10.20429/nyarj.2018.030104>

- Glassman, G. (2002). What is fitness. *CrossFit Journal*, 10, 1–10.
- Glassman, G. (2004). What is CrossFit? *CrossFit Journal*, 3, 1–7.
- Gleser, M. A., Horstman, D. H., & Mello, R. P. (1974). The effect on Vo<sub>2</sub> max of adding arm work to maximal leg work. *Medicine and Science in Sports*, 6(2), 104–107.
- Gotshalk, L. A., Berger, R. A., & Kraemer, W. J. (2004). Cardiovascular responses to a high-volume continuous circuit resistance training protocol. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(4), 760–764. <https://doi.org/10.1519/14954.1>
- Green, S., & Dawson, B. (1993). Measurement of anaerobic capacities in humans. Definitions, limitations and unsolved problems. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 15(5), 312–327. <https://doi.org/10.2165/00007256-199315050-00003>
- Guyenet, P. G., & Bayliss, D. A. (2015). Neural control of breathing and CO<sub>2</sub> homeostasis. *Neuron*, 87(5), 946–961. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2015.08.001>
- HajGhanbari, B., Yamabayashi, C., Buna, T. R., Coelho, J. D., Freedman, K. D., Morton, T. A., Palmer, S. A., Toy, M. A., Walsh, C., Sheel, A. W., & Reid, W. D. (2013). Effects of respiratory muscle training on performance in athletes: A systematic review with meta-analyses. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(6), 1643–1663. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318269f73f>
- Hedblom, C. (2009). *Body Is Made to Move: Gym & Fitness Culture in Sweden* (0 Edition). Stockholm Universitet.
- Heinrich, K. M., Carlisle, T., Kehler, A., & Cosgrove, S. J. (2017). Mapping Coaches' Views of Participation in CrossFit to the Integrated Theory of Health Behavior Change and Sense of Community. *Family & Community Health*, 40(1), 24–27. <https://doi.org/10.1097/FCH.0000000000000133>
- Hicks, A. L., Kent-Braun, J., & Ditor, D. S. (2001). Sex differences in human skeletal muscle fatigue. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 29(3), 109–112. <https://doi.org/10.1097/00003677-200107000-00004>
- Hickson, R. C. (1980). Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 45(2–3), 255–263. <https://doi.org/10.1007/BF00421333>
- Hoffman, M. D., Kassay, K. M., Zeni, A. I., & Clifford, P. S. (1996). Does the amount of exercising muscle alter the aerobic demand of dynamic exercise? *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 74(6), 541–547. <https://doi.org/10.1007/BF02376770>
- Höög, S., & Andersson, E. P. (2021). Sex and Age-Group Differences in Strength, Jump, Speed,

- Flexibility, and Endurance Performances of Swedish Elite Gymnasts Competing in TeamGym. *Frontiers in Sports and Active Living*, 3, 653503. <https://doi.org/10.3389/fspor.2021.653503>
- Hooper, L. (1977). *Cycle exerciser* (United States Patent Patent 4,188,030).
- Hwang, C.-L., Lim, J., Yoo, J.-K., Kim, H.-K., Hwang, M.-H., Handberg, E. M., Petersen, J. W., Holmer, B. J., Leey Casella, J. A., Cusi, K., & Christou, D. D. (2019). Effect of all-extremity high-intensity interval training vs. moderate-intensity continuous training on aerobic fitness in middle-aged and older adults with type 2 diabetes: A randomized controlled trial. *Experimental Gerontology*, 116, 46–53. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2018.12.013>
- Hwang, C.-L., Yoo, J.-K., Kim, H.-K., Hwang, M.-H., Handberg, E. M., Petersen, J. W., & Christou, D. D. (2016). Novel all-extremity high-intensity interval training improves aerobic fitness, cardiac function and insulin resistance in healthy older adults. *Experimental Gerontology*, 82, 112–119. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2016.06.009>
- Choutka, M., & Dovalil, J. (1987). *Sportovní trénink*. Olympia.
- Jacob, N., Novaes, J. S., Behm, D. G., Vieira, J. G., Dias, M. R., & Vianna, J. M. (2020). Characterization of Hormonal, Metabolic, and Inflammatory Responses in CrossFit® Training: A Systematic Review. *Frontiers in Physiology*, 11, 1001. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.01001>
- Jensen, J., Rustad, P. I., Kolnes, A. J., & Lai, Y.-C. (2011). The Role of Skeletal Muscle Glycogen Breakdown for Regulation of Insulin Sensitivity by Exercise. *Frontiers in Physiology*, 2. <https://doi.org/10.3389/fphys.2011.00112>
- Jones, T. W., Howatson, G., Russell, M., & French, D. N. (2017). Effects of strength and endurance exercise order on endocrine responses to concurrent training. *European Journal of Sport Science*, 17(3), 326–334. <https://doi.org/10.1080/17461391.2016.1236148>
- Karavirta, L., Häkkinen, K., Kauhanen, A., Arija-Blázquez, A., Sillanpää, E., Rinkinen, N., & Häkkinen, A. (2011). Individual responses to combined endurance and strength training in older adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(3), 484–490. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181f1bf0d>
- Kardel, K. R. (2005). Effects of intense training during and after pregnancy in top-level athletes. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 15(2), 79–86. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2004.00426.x>
- Kercher, V. M., Kercher, K., Bennion, T., Levy, P., Alexander, C., Amaral, P., Li, Y., Han, J.,

- Liu, Y., Wang, R., Huang, H.-Y., Gao, B.-H., Batrakoulis, A., Gómez, F., Lopez Haro, J., Pelayo, A., Aguirre, L., Veiga, O., Valcarce-Torrente, M., & Romero-Caballero, A. (2022). 2022 Fitness Trends from Around the Globe. *ACSM's Health & Fitness Journal*, 26, 21–37. <https://doi.org/10.1249/FIT.0000000000000737>
- Kim, H.-K., Hwang, C.-L., Yoo, J.-K., Hwang, M.-H., Handberg, E. M., Petersen, J. W., Nichols, W. W., Sofianos, S., & Christou, D. D. (2017). All-Extremity Exercise Training Improves Arterial Stiffness in Older Adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 49(7), 1404–1411. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001229>
- Kluszczewicz, B., Williamson, C., Bechke, E., McKenzie, M., & Hoffstetter, W. (2018). Autonomic response to a short and long bout of high-intensity functional training. *Journal of Sports Sciences*, 36(16), 1872–1879. <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1423857>
- Kostuck, J., Frost, J., & Selland, C. (2020). Comparison of Treadmill and Simultaneous Arm and Leg Ergometry in VO<sub>2</sub>max Analysis. *International Journal of Sports Science*, 10, 68–72. <https://doi.org/10.5923/j.sports.20201003.03>
- Lautner, S., Patterson, M., Spadine, M., Boswell, T., & Heinrich, K. (2021). Exploring the social side of CrossFit: A qualitative study. *Mental Health and Social Inclusion*, 25(1), 63–75. <https://doi.org/10.1108/MHSI-08-2020-0051>
- Lucero, A. A., Addae, G., Lawrence, W., Neway, B., Credeur, D. P., Faulkner, J., Rowlands, D., & Stoner, L. (2018). Reliability of muscle blood flow and oxygen consumption response from exercise using near-infrared spectroscopy. *Experimental Physiology*, 103(1), 90–100. <https://doi.org/10.1113/EP086537>
- MacDougall, J. D., Hicks, A. L., MacDonald, J. R., McKelvie, R. S., Green, H. J., & Smith, K. M. (1998). Muscle performance and enzymatic adaptations to sprint interval training. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 84(6), 2138–2142. <https://doi.org/10.1152/jappl.1998.84.6.2138>
- Malíková, G. (2018). *Crossfitové tělo, habitus a životní styl* [Bakalářská práce]. Univerzita Karlova.
- Mangine, G. T., Cebulla, B., & Feito, Y. (2018). Normative Values for Self-Reported Benchmark Workout Scores in CrossFit® Practitioners. *Sports Medicine - Open*, 4(1), 39. <https://doi.org/10.1186/s40798-018-0156-x>
- Martínez-Gómez, R., Valenzuela, P. L., Barranco-Gil, D., Moral-González, S., García-González, A., & Lucia, A. (2019). Full-Squat as a Determinant of Performance in CrossFit. *International Journal of Sports Medicine*, 40(9), 592–596.

<https://doi.org/10.1055/a-0960-9717>

- Martínková, I. (2013). *Instrumentality and values in sport*. Karolinum.
- Maté-Muñoz, J. L., Lougedo, J. H., Barba, M., Cañuelo-Márquez, A. M., Guodemar-Pérez, J., García-Fernández, P., Lozano-Estevan, M. D. C., Alonso-Melero, R., Sánchez-Calabuig, M. A., Ruíz-López, M., de Jesús, F., & Garnacho-Castaño, M. V. (2018). Cardiometabolic and Muscular Fatigue Responses to Different CrossFit® Workouts. *Journal of Sports Science & Medicine*, *17*(4), 668–679.
- Maté-Muñoz, J. L., Lougedo, J. H., Barba, M., García-Fernández, P., Garnacho-Castaño, M. V., & Domínguez, R. (2017). Muscular fatigue in response to different modalities of CrossFit sessions. *PloS One*, *12*(7), e0181855. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0181855>
- Medbø, J., & Tabata, I. (1993). Anaerobic energy release in working muscle during 30 s to 3 min of exhausting bicycling. *Journal of applied physiology*, *75*, 1654–1660. <https://doi.org/10.1152/jappl.1993.75.4.1654>
- Methenitis, S. (2018). A Brief Review on Concurrent Training: From Laboratory to the Field. *Sports (Basel, Switzerland)*, *6*(4). <https://doi.org/10.3390/sports6040127>
- Miladi, I., Temfemo, A., Mandengué, S. H., & Ahmaidi, S. (2011). Effect of Recovery Mode on Exercise Time to Exhaustion, Cardiorespiratory Responses, and Blood Lactate After Prior, Intermittent Supramaximal Exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *25*(1), 205–210. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181af5152>
- Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy. (2002). *Evropská charta sportu*. <https://www.msmt.cz/file/38361>
- Monteiro, A., Alveno, D., Prado, M., Monteiro, G., Ugrinowitsch, C., Aoki, M., & Piçarro, I. (2008). Acute physiological responses to different circuit training protocols. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, *48*(4), 438–442.
- Murawska-Cialowicz, E., Wojna, J., & Zuwała-Jagiello, J. (2015). Crossfit training changes brain-derived neurotrophic factor and irisin levels at rest, after wingate and progressive tests, and improves aerobic capacity and body composition of young physically active men and women. *Journal of Physiology and Pharmacology: An Official Journal of the Polish Physiological Society*, *66*(6), 811–821.
- Murlasits, Z., Kneffel, Z., & Thalib, L. (2018). The physiological effects of concurrent strength and endurance training sequence: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Sports Sciences*, *36*(11), 1212–1219. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1364405>
- Nagle, F. J., Richie, J. P., & Giese, M. D. (1984). VO<sub>2</sub>max responses in separate and combined



- arm and leg air-braked ergometer exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 16(6), 563–566.
- Nelson, A. G., Arnall, D. A., Loy, S. F., Silvester, L. J., & Conlee, R. K. (1990). Consequences of combining strength and endurance training regimens. *Physical Therapy*, 70(5), 287–294. <https://doi.org/10.1093/ptj/70.5.287>
- Nyquist-Battie, C., Fletcher, G. F., Fletcher, B., Carlson, J. M., Castello, R., & Oken, K. (2007). Upper-extremity exercise training in heart failure. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation and Prevention*, 27(1), 42–45. <https://doi.org/10.1097/01.hcr.0000265019.18661.82>
- Piras, A., Persiani, M., Damiani, N., Perazzolo, M., & Raffi, M. (2015). Peripheral heart action (PHA) training as a valid substitute to high intensity interval training to improve resting cardiovascular changes and autonomic adaptation. *European Journal of Applied Physiology*, 115(4), 763–773. <https://doi.org/10.1007/s00421-014-3057-9>
- Pitetti, K. H., & Tan, D. M. (1991). Effects of a minimally supervised exercise program for mentally retarded adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23(5), 594–601.
- Prewitt-White, T., Connolly, C. P., Feito, Y., Bladek, A., Forsythe, S., Hamel, L., & McChesney, M. R. (2018). Breaking Barriers: Women’s Experiences of CrossFit Training During Pregnancy. *Women in Sport and Physical Activity Journal*, 26(1), 33–42. <https://doi.org/10.1123/wspaj.2017-0024>
- Ransdell, L. B., & Wells, C. L. (1999). Sex Differences in Athletic Performance. *Women in Sport and Physical Activity Journal*, 8(1), 55–81. <https://doi.org/10.1123/wspaj.8.1.55>
- Rosenblat, M. A., Perrotta, A. S., & Thomas, S. G. (2020). Effect of High-Intensity Interval Training Versus Sprint Interval Training on Time-Trial Performance: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 50(6), 1145–1161. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01264-1>
- Sandbakk, Ø., Solli, G. S., & Holmberg, H.-C. (2018). Sex Differences in World-Record Performance: The Influence of Sport Discipline and Competition Duration. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(1), 2–8. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0196>
- Santos-Rocha, R., Gutiérrez, I. C., Szumilewicz, A., & Pajaujiene, S. (2019). Exercise Testing and Prescription for Pregnant Women. In *Exercise and Sporting Activity During Pregnancy* (s. 183–231). Springer.
- Serafini, P. R., Feito, Y., & Mangine, G. T. (2018). Self-reported Measures of Strength and Sport-Specific Skills Distinguish Ranking in an International Online Fitness

- Competition. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(12), 3474–3484.  
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001843>
- Schlegel, P. (2013). CrossFit pro děti. *Tělesná výchova a sport mládeže*, 79(4).
- Schlegel, P. (2020). CrossFit® Training Strategies from the Perspective of Concurrent Training: A Systematic Review. *Journal of Sports Science & Medicine*, 19(4), 670–680.
- Schlegel, P. (2022a). Health benefits of air biking: A systematic review. *Journal of Sport and Health Research*, 14(3). <https://doi.org/10.58727/jshr.88637>
- Schlegel, P. (2022b). High-Intensity Functional Training in Pregnancy: A Case Study. *Studia Sportiva*, 16(2), 64–72.
- Schlegel, P., Dostálová, R., & Agricola, A. (2020). *Funkční trénink v tělesné výchově*. Gaudeamus.
- Schlegel, P., Hiblbauer, J., & Agricola, A. (2020). Near infrared spectroscopy and spiroergometry testing in CrossFit. *Studia Sportiva*, 14(1), Article 1.  
<https://doi.org/10.5817/StS2020-1-1>
- Schlegel, P., & Křehký, A. (2020). Anaerobic Fitness Testing in Crossfit. *Acta Facultatis Educationis Physicae Universitatis Comenianae*, 60(2), 217–228.  
<https://doi.org/10.2478/afepuc-2020-0018>
- Schlegel, P., & Křehký, A. (2022). Performance Sex Differences in CrossFit®. *Sports (Basel, Switzerland)*, 10(11), 165. <https://doi.org/10.3390/sports10110165>
- Schlegel, P., Křehký, A., & Hiblbauer, J. (2022). Physical Fitness Improvement after 8 Weeks of High-intensity Interval Training with Air Bike. *Sport Mont*, 20, 75–80.  
<https://doi.org/10.26773/smj.221012>
- Schlegel, P., Režný, L., & Fialová, D. (2021). Pilot study: Performance-ranking relationship analysis in Czech crossfitters. *Journal of Human Sport and Exercise*, 16(1), 187–198.  
<https://doi.org/10.14198/jhse.2021.161.17>
- Schwinn Air Dyne ergoMetric Exerciser. (1979). *Schwinn Catalog*.
- Sigurdardottir, T., Steingrimsdottir, T., Geirsson, R. T., Halldorsson, T. I., Aspelund, T., & Bø, K. (2019). Do female elite athletes experience more complicated childbirth than non-athletes? A case–control study. *British Journal of Sports Medicine*, 53(6), 354–358.  
<https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099447>
- Simpson, D., Prewitt-White, T., Feito, Y., Giusti, J., & Shuda, R. (2017). Challenge, Commitment, Community, and Empowerment: Factors that Promote the Adoption of CrossFit as a Training Program. *The Sport Journal*, 19, 1–14.
- Sökmen, B., Witchey, R. L., Adams, G. M., & Beam, W. C. (2018). Effects of Sprint Interval

- Training With Active Recovery vs. Endurance Training on Aerobic and Anaerobic Power, Muscular Strength, and Sprint Ability. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(3), 624–631. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002215>
- Soylu, Y., Arslan, E., Söğüt, M., Kilit, B., & Clemente, F. (2021). Effects of Self-Paced High-Intensity Interval Training and Moderate-Intensity Continuous Training on the Physical Performance and Psychophysiological Responses in Recreationally Active Young Adults. *Biology of Sport*, 38(4), 555–562. <https://doi.org/10.5114/biolsport.2021.100359>
- Spierer, D., Goldsmith, R., Baran, D., Hryniewicz, K., & Katz, S. (2004). Effects of Active vs. Passive Recovery on Work Performed During Serial Supramaximal Exercise Tests. *International journal of sports medicine*, 25, 109–114. <https://doi.org/10.1055/s-2004-819954>
- Stenberg, J., Astrand, P. O., Ekblom, B., Royce, J., & Saltin, B. (1967). Hemodynamic response to work with different muscle groups, sitting and supine. *Journal of Applied Physiology*, 22(1), 61–70. <https://doi.org/10.1152/jappl.1967.22.1.61>
- Stephens, N. K., Hawley, J. A., Dennis, S. C., & Hopkins, W. G. (1999). Effects of different interval-training programs on cycling time-trial performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(5), 736–741. <https://doi.org/10.1097/00005768-199905000-00018>
- Stracciolini, A., Quinn, B., Zwicker, R. L., Howell, D. R., & Sugimoto, D. (2020). Part I: Crossfit-Related Injury Characteristics Presenting to Sports Medicine Clinic. *Clinical Journal of Sport Medicine: Official Journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 30(2), 102–107. <https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000000805>
- Sultana, R. N., Sabag, A., Keating, S. E., & Johnson, N. A. (2019). The Effect of Low-Volume High-Intensity Interval Training on Body Composition and Cardiorespiratory Fitness: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 49(11), 1687–1721. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01167-w>
- Tabata, I. (2019). Tabata training: One of the most energetically effective high-intensity intermittent training methods. *The Journal of Physiological Sciences: JPS*, 69(4), 559–572. <https://doi.org/10.1007/s12576-019-00676-7>
- Tibana, R. A., de Almeida, L. M., Frade de Sousa, N. M., Nascimento, D. da C., Neto, I. V. de S., de Almeida, J. A., de Souza, V. C., Lopes, M. de F. T. P. L., Nobrega, O. de T., Vieira, D. C. L., Navalta, J. W., & Prestes, J. (2016). Two Consecutive Days of Crossfit Training Affects Pro and Anti-inflammatory Cytokines and Osteoprotegerin without

- Impairments in Muscle Power. *Frontiers in Physiology*, 7, 260.  
<https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00260>
- Van Wagoner, R. M., Eichner, A., Bhasin, S., Deuster, P. A., & Eichner, D. (2017). Chemical Composition and Labeling of Substances Marketed as Selective Androgen Receptor Modulators and Sold via the Internet. *JAMA*, 318(20), 2004–2010.  
<https://doi.org/10.1001/jama.2017.17069>
- Vanberg, P., & Atar, D. (2010). Androgenic Anabolic Steroid Abuse and the Cardiovascular System. In D. Thieme & P. Hemmersbach (Ed.), *Doping in Sports: Biochemical Principles, Effects and Analysis* (s. 411–457). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-79088-4\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-540-79088-4_18)
- Vandewalle, H., Pérès, G., & Monod, H. (1987). Standard Anaerobic Exercise Tests: *Sports Medicine*, 4(4), 268–289. <https://doi.org/10.2165/00007256-198704040-00004>
- Volianitis, S., & Secher, N. H. (2002). Arm blood flow and metabolism during arm and combined arm and leg exercise in humans. *The Journal of Physiology*, 544(3), 977–984.  
<https://doi.org/10.1113/jphysiol.2002.023556>
- Wang, Y.-X., Zhang, C.-L., Yu, R. T., Cho, H. K., Nelson, M. C., Bayuga-Ocampo, C. R., Ham, J., Kang, H., & Evans, R. M. (2004). Regulation of muscle fiber type and running endurance by PPARdelta. *PLoS Biology*, 2(10), e294.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0020294>
- Weaving, C. (2020). Prenatal Paranoia: An Analysis of the Bumpy Landscape for the Pregnant Athlete. *Sport, Ethics and Philosophy*, 14(2), 176–191.  
<https://doi.org/10.1080/17511321.2019.1593233>
- Whiteman-Sandland, J., Hawkins, J., & Clayton, D. (2018). The role of social capital and community belongingness for exercise adherence: An exploratory study of the CrossFit gym model. *Journal of Health Psychology*, 23(12), 1545–1556.  
<https://doi.org/10.1177/1359105316664132>
- Zahradník, D., & Korvas, P. (2012). *Základy sportovního tréninku*. Masarykova univerzita.
- Zeni, A. I., Hoffman, M. D., & Clifford, P. S. (1996). Energy expenditure with indoor exercise machines. *JAMA*, 275(18), 1424–1427.

