

**MASARYKOVA UNIVERZITA V BRNĚ
FAKULTA SPORTOVNÍCH STUDIÍ**



Vytrvalostní schopnosti a jejich diagnostika

Habilitační práce

v oboru Kinantropologie

Brno, březen 2011

Mgr. Jan Hnízdil, PhD.

Abstract:

The work is divided into two parts. In the theoretical part, we summarize current knowledge in the field of endurance capabilities and diagnostics. We deal with theoretical concepts of classification endurance capacity according to various criteria. Detail the characteristics of selected physiological parameters, which are the diagnostic monitoring and evaluation.

Whether the organism as a response to the load, or parameters that is significant in assessing the level of endurance capacity. Among these, we classify the parameters available to diagnose heart rate (HR), maximum consumption (uptake) of oxygen, anaerobic threshold and economy of movement.

The theoretical basis for research in the following section we characterize the endurance capacity of children and youth. In the section devoted to the problems we bring in a comprehensive overview of the structure of the most common motor function test for the diagnosis of endurance abilities. The research presents the results of two surveys. In the first (I) we design and verify the original method of determining the anaerobic threshold with using of motor test endurance shuttle run 20 m (ESR₂₀) and Conconi methodology. In the second survey (II) we characterize the level of endurance capacity in children aged 6-15 years in the Ústecký region. Following an investigation, we propose a similar amendment of existing standards.

Methods:

I. 52 professional football players (age $x = 20.1$, $sd = 4.96$) performed ESR₂₀. HR was recorded during the test (610i, Polar Electro). Heart rate deflection point (HRDP) was determined using Conconi's method. 18 person performed a maximal exercise test on treadmill for determining anaerobic (ventilation) threshold (AT).

II. 3 groups from the Ústecký region were tested using ESR₂₀: test1st group: 2072 children (age 6-15). 2st group: 183 university students of PE 3st group: 119 children age 11-15 years from sports classes. All results were compared with those Unifittest 6-60.

Results: **I.** From 52 records heart rate during the test ESR₂₀ was possible to determine the HRDP in 43 cases. There is no statistical and practice difference between the values of HR_{max} from test ESR₂₀ and from maximal exercise ($p = 0.63$). There is significant difference between the value of anaerobic threshold derived form ESR₂₀ and maximal exercise test, ($p = 0.18$). AT obtained from the ESR₂₀ test is systematic overestimated.

II. In comparison with standards (Unifittest 6-60) were the results in all age categories below average on average by 1.5 phases. We suggest readjustment existing standards.

Conclusion:

I. HRDP from ESR₂₀ could not be detected in nine subjects (17%). ESR₂₀ with measurements of HR is suitable for determining HR_{max}. HR which corresponds to just one phase below to the level BDSF is no significant different from anaerobic (ventilation) threshold ($\omega^2 = -0.02$).

II. Our proposed norms better correspond with the actual motor performance of pupils in primary schools in the Ústecký region. Existing standards for ESR₂₀ in the test battery Unifittest are suitable for testing the selected (trained) population.

VYTRVALOSTNÍ SCHOPNOSTI A JEJICH DIAGNOSTIKA

Obsah:

Teoretická část

Úvod.....	6
1 Vytrvalostní schopnosti – struktura a klasifikace	8
1.1 Klasifikace	9
1.2 Jednotlivé zdroje a typy krytí energetických potřeb organismu	14
1.2.1 Laktát a jeho role při zajišťování energie pro organismus	19
2 Fyziologické aspekty vytrvalostních schopností	20
2.1 Srdeční frekvence	20
2.1.1 Srdeční frekvence maximální, anaerobního prahu a klidová	21
2.1.2 Faktory ovlivňující srdeční frekvenci (SF)	24
2.2 Maximální spotřeba kyslíku (VO ₂ max)	33
2.3 Anaerobní práh	38
2.3.1 Metody stanovení anaerobního prahu	41
2.4 Ekonomika pohybu	48
3 Vytrvalostní schopnosti dětí a mládeže	52
4 Věk vrcholné výkonnosti ve vybraných vytrvalostních disciplínách.....	58
5 Diagnostika vytrvalostních schopností	59
5.1 Hodnocení a normování skóre testů	61
5.2 Výkonové testy - dělení dle účelu.....	62
5.2.1 Testy lokální statické vytrvalosti	62
5.2.2 Testy lokální dynamické vytrvalosti	64
5.2.3 Testy globální vytrvalosti.....	69
5.2.4 Výstupové testy (step test)	78
5.3 Funkční (zátěžové) testy	83
5.4 Postupy stanovení hodnoty VO ₂ max	87
5.5 Dělení testů dle převažujících energetických systémů.....	88
6 Seznam literatury:	91

Výzkumná část

- I. Stanovení anaerobního prahu s využitím motorického testu Vytrvalostní člunkový běhu na 20 m. a Conconiho metodiky.....99
- II. Vytrvalostní člunkový běh na 20 metrů – limity výpovědní hodnoty stávajících norem.....144

Abstract:

This work is divided into two parts. In the theoretical part, we summarize current knowledge in the field of endurance abilities and diagnostics. We deal with theoretical concepts of classification endurance capacity according to various criteria. Detail the characteristics of selected physiological parameters, which are the diagnostic monitoring and evaluation. Whether the organism as a response to the load, or parameters that is significant in assessing the level of endurance capacity. Among these, we classify the parameters available to diagnose heart rate (HR), maximum consumption (uptake) of oxygen, anaerobic threshold and economy of movement.

The theoretical basis for research in the following section we characterize the endurance capacity of children and youth. In the section devoted to the problems we bring in a comprehensive overview of the structure of the most common motor function test for the diagnosis of endurance abilities. The research presents the results of two surveys. In the first (I) we design and verify the original method of determining the anaerobic threshold with using of motor test endurance shuttle run 20 m (ESR₂₀) and Conconi methodology. In the second survey (II) we characterize the level of endurance capacity in children aged 6-15 years in the Ústecký region. Following an investigation, we propose a similar amendment of existing standards.

Methods:

I. 52 professional football players (age \bar{x} = 20.1, SD = 4.96) performed ESR₂₀. HR was recorded during the test (610i, Polar Electro). Heart rate deflection point (HRDP) was determined using Conconi's method. 18 persons performed a maximal exercise test on treadmill for determining anaerobic (ventilation) threshold (AT).

II. 3 groups from the Ústecký region were tested using ESR₂₀: test1st group: 2072 children (age 6-15), 2st group: 183 university students of PE, 3st group: 119 children age 11-15 years from sports classes. All results were compared with those Unifittest 6-60.

Results: I. From 52 records heart rate during the test ESR₂₀ was possible to determine the HRDP in 43 cases. There is no statistical and practice difference between the values of HR_{max} from test ESR₂₀ and from maximal exercise ($p = 0.63$). There is significant difference between the value of anaerobic threshold derived from ESR₂₀ and maximal exercise test, ($p = 0.18$). AT obtained from the ESR₂₀ test is systematic overestimated.

In comparison with standards (Unifittest 6-60) were the results in all age categories below average on average by 1.5 phases, except sport population. We suggest readjustment existing standards.

Conclusion:

I. HRDP from ESR₂₀ could not be detected in nine subjects (17%). ESR₂₀ with measurements of HR is suitable for determining HR_{max}. HR which corresponds to just one phase below to the level BDSF is no significant different from anaerobic (ventilation) threshold ($\omega^2 = -0.02$).

II. Our proposed norms better correspond with the actual motor performance of pupils in primary schools in the Ústecký region. Existing standards for ESR₂₀ in the test battery Unifittest are suitable for testing the selected (trained) population.

Úvod

Vytrvalostní schopnosti můžeme hodnotit z pohledu dvou odlišných, ale zároveň z části navzájem se překrývajících hledisek. Jedním z pohledů je kritérium výkonové, které je doménou oblasti výkonnostního a vrcholového sportu. Druhým je hledisko zdravotně orientované, v rámci kterého je při optimálním dávkování, intenzitě a frekvenci možno zpětně ovlivňovat kvalitu našeho zdraví a tím i kvalitu našeho života.

Vytrvalostní schopnosti mají tak mezi ostatními motorickými schopnostmi nejzřetelněji vymezený vztah ke konceptu lidského zdraví. Jejich úroveň reflektuje funkční kapacitu a připravenost organismu optimálně reagovat na stresové faktory zevního prostředí. Aerobní zdatnost tvoří základní prvek konceptu zdravotně orientované zdatnosti.

Nízká úroveň kardiorespirační zdatnosti je spojována se zvýšeným rizikem výskytu kardiovaskulárních onemocnění, diabetu typu 2 a zvýšenou úmrtností. Příčinná souvislost mezi nízkou kardiorespirační zdatností a úmrtností je srovnatelná se vztahem mezi úmrtností a zdravotními ukazateli, jako je tělesná hmotnost, krevní tlak, hladinu cholesterolu, a kouření [1].

Jednotlivé komponenty aerobní zdatnosti výkonnosti jsou dlouhodobě předmětem zkoumání v řadě vědeckých studií. Výsledky se pak odrážejí v redefinicích teoretické struktury vytrvalostních schopností. V posledních letech díky novým poznatkům na poli energetického metabolismu v průběhu zátěže byly redefinovány některé dřívější postuláty. Zkoumána je fyziologická podstata funkční odezvy organismu na zatížení a tím zprostředkovaně i možnosti stimulace těchto schopností.

Pro diagnostiku úrovně kardiorespirační komponenty slouží celá řada testových nástrojů. Tyto jsou v rámci nových poznatků modifikovány, zpřesňovány popř. vytvářeny nové. V rámci sekulárních trendů v populaci nastává otázka revize některých norem. Zpřesňovány jsou predikční rovnice postihující jednotlivé komponenty aerobní výkonnosti. Díky technologickému rozvoji a miniaturizaci je možné kdysi striktně laboratorní testy realizovat v terénním prostředí.

Mezi motorickými schopnostmi je právě v oblasti vytrvalostních schopností, díky jejich charakteru funkčních předpokladů organismu, patrný největší průnik společného bádání sportovní a lékařské vědy.

Ať už je cílem stimulace vytrvalostních schopností výkonově či zdravotně orientované hledisko, zapotřebí stále bude kvalitní teoretický podklad, pokud možno maximálně objektivně popisující tuto latentní vlastnost lidského organismu. Z tohoto kvalitního teoretického konceptu je pak možné vycházet jak na poli diagnostiky tak následně v oblasti rozvoje vytrvalostních schopností.

Předkládaná práce je ve své teoretické části zaměřena na sumarizaci poznatků z oblasti vytrvalostních schopností a jejich diagnostiky. Ve výzkumné části předkládáme ve dvou studiích výsledky našich výzkumů zaměřených na oblast testování vytrvalostních schopností. V rámci první studie navrhujeme metodu stanovení anaerobního prahu s využitím testu Vytrvalostní člunkový běh na 20 metrů a Conconiho metody hodnocení kinetiky srdeční frekvence.

Ve druhé studii prostřednictvím testu Vytrvalostní člunkový běh na 20 metrů hodnotíme úroveň vytrvalostních schopností u žáků ZŠ a části selektované populace v Ústeckém kraji. Na základě zjištěných poznatků a srovnání s obdobnými výzkumy navrhujeme změny stávajících norem.

Teoretická část

1 Vytrvalostní schopnosti – struktura a klasifikace

Vytrvalostních schopností řadíme mezi základní kondiční schopnosti. Můžeme ji definovat jako **schopnost organismu vykonávat pohybovou činnost určitou intenzitou po relativně dlouhou dobu nebo ve stanoveném čase.**

Z celé řady dalších definic od různých autorů uvádíme tyto:

- "Vytrvalostní schopnosti umožňují provádět opakovaně pohybovou činnost submaximální, střední a mírné intenzity bez snížení její efektivity nebo působit proti určitému odporu v neměnné poloze těla a jeho částí po relativně dlouhou dobu, popř. do odmítnutí" [2].
- „Schopnost udržet požadovaný výkon pokud možno dlouhou dobu“ [3].
- „Schopnost vykonávat opakovanou pohybovou činnost bez snížení efektivity relativně dlouhou dobu [4].
- "Komplex předpokladů provádět činnost požadovanou intenzitou co nejdéle, nebo co nejvyšší intenzitou ve stanoveném čase" [5].

Pohybový obsah vnějších projevů vytrvalostní schopnosti se projevuje ve třech okruzích[6]:

- a) opakovaně prováděná pohybová činnost po dlouhou dobu, případně až do odmítnutí. Intenzita zatížení se v průběhu trvání činnosti s přibývajícím časem zpravidla snižuje (např. pádlování při vodní turistice, turistický pochod, apod.),
- b) kontinuální nebo přerušované pohybové zatížení stálé intenzity. Doba pohybového zatížení je limitována možností udržet výchozí intenzitu (např. běh na 800 m),
- c) dlouhodobé působení proti stálému odporu při zachování výchozí polohy těla a jeho částí, případně s mírnou deformací podložky (např. sjezd na lyžích).

Motorická vytrvalostní výkonnost je biologicky určována schopností organismu dodávat plynule pracující svalové buňce při déletrvajícím zatížení kyslík a živiny, odvádět zplodiny

látkové výměny a odolávat nepříznivým změnám ve vnitřním prostředí organismu v důsledku metabolického rozpadu.

Na orgánové úrovni podmiňuje vytrvalostní výkon globální povahy především funkční kapacita kardiopulmonální soustavy, vytvářené prvky jako minutový objem srdeční, minutová plicní ventilace, difúzní kapacita plic, transportní kapacita krve, arteriovenózní diference, srdeční frekvence a další.

Na tkáňové úrovni je třeba jako hlavní limitující činitele vytrvalostního výkonu rozlišovat zejména strukturální a biochemické předpoklady. Určujícími prvky strukturální subsystémové úrovně jsou např. poměr a počet rychlých a pomalých svalových vláken, počet svalových mitochondrií, stupeň svalové kapilarizace pro potřeby krevního zásobení svalu. Biochemické předpoklady zahrnují řadu prvků funkční povahy související s energetickým metabolismem jako přeměna látek a energií, aktivita oxidativních enzymů ve svalu včetně těch, které podporují vytrvalostní aktivitu svalu jako odolnost vůči acidóze, relativní hypoxii, aj.[6]

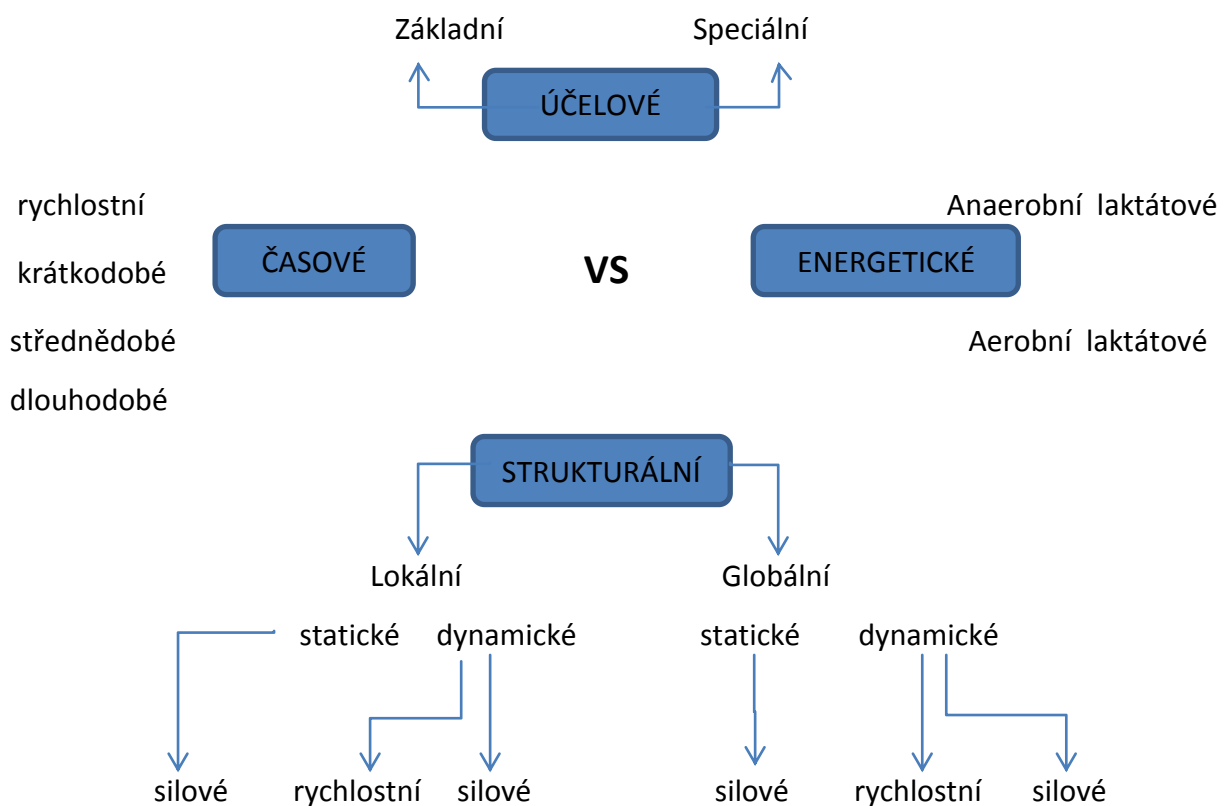
Z výše uvedeného jednoznačně vyplývá velice zřetelná vazba mezi vytrvalostními schopnostmi a konceptem lidského zdraví. Vytrvalostní schopnosti lze vnímat a posuzovat jak z hlediska výkonově, tak zdravotně orientované zdatnosti. Aerobní (kardiorespirační) zdatnost a svalová síla spolu s vytrvalostí (svalově-kosterní) jsou základními pilíři konceptu zdravotně orientované zdatnosti [7].

1.1 Klasifikace

Pohled na vytrvalostní schopnosti a jejich členění se mohou lišit dle oborového zaměření posuzovatelů. Vytrvalost (obecně) lze studovat z hlediska antropomotoriky, biomechaniky, psychologie, fyziologie apod. V řadě oblastí je shoda a vzájemné využití oborových poznatků jednoznačné, v některých však panuje odlišný pohled. Například fyziologové označují vytrvalostní zátěž „ten pohyb pohybové aktivity, který probíhá nejméně 20-30minut formou cyklických pohybů“ [8]. Z pohledu antropomotoriky je tento typ zátěže pouze jedním subsystémem v oblasti vytrvalostních schopností. Zejména v kapitole věnující se klasifikaci vytrvalostních schopností tak vycházíme z dosavadních poznatků antropomotoriky. Z tohoto hlediska v klasifikaci vytrvalostních schopností se uplatňujeme čtyři základní kritéria:

- a) ÚČELOVÉ - dělení podle účelu rozvoje vytrvalosti
- b) STRUKTURÁLNÍ - počet a topografické rozdělení svalů zapojených v průběhu motorické činnosti
- c) ČASOVÉ - doba trvání pohybového úkolu
- d) ENERGETICKÉ - způsob energetického krytí

Obr. 1. Schéma členění vytrvalostních schopností (VS) dle jednotlivých kritérií (podle různých autorů).



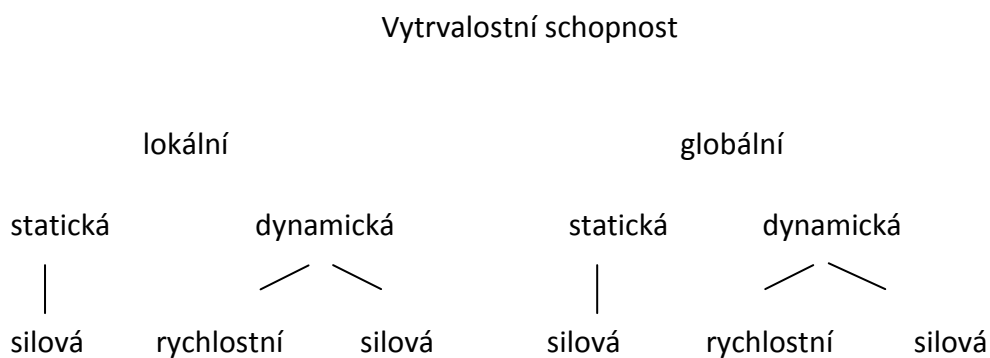
a) Účelové kritérium

Podle tohoto hlediska rozdělujeme vytrvalost na základní a **speciální** [9]. **Základní** vytrvalost je spojena s konceptem základní výkonnosti a zdravotně orientované zdatnosti. Je definována jako schopnost provádět dlouhodobý výkon v aerobní energetické zóně. Adaptace na tento typ zátěže není vázána na specifickou pohybovou aktivitu a projevuje se v kvalitativních změnách zejména v oblasti kardiopulmonálního systému. Příklady základní

vytrvalosti: aerobik – reakční forma, cyklistická vyjížďka, turistická chůze. Tvoří základ pro rozvoj vytrvalosti speciální.

Speciální vytrvalost je zaměřena na dosažení maximálního výkonu v určité sportovní disciplíně. Je vázána na konkrétní pohybové cvičení a adaptace se zde projevuje mimo jiné v oblasti lokálních energetických rezerv, enzymatické výbavě, kapilarizace svalů apod. „Podstatou není vykonávat danou činnost co nejdéle, ale dosáhnout na daném úseku co nejlepšího výsledku, nebo udržet vysokou úroveň činnosti v podmínkách vymezeného času“ [2]. Příklady speciální vytrvalostní schopnosti: cyklistická vytrvalost, herní vytrvalost, kanoistická vytrvalost, vytrvalost maratónce, atd.

b) Strukturální kritérium

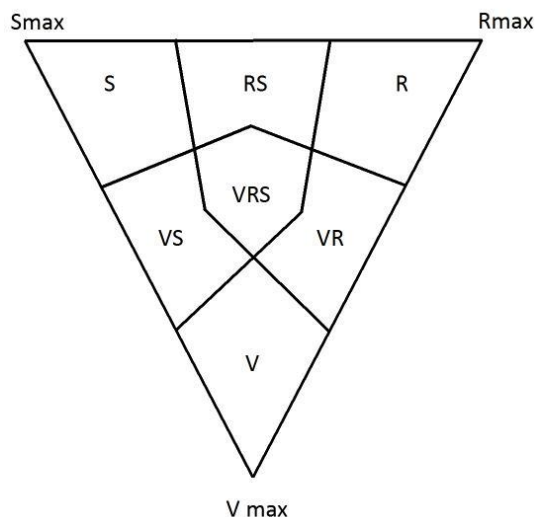


Lokálně vytrvalostní schopnosti jsou předpoklady jedince provádět motorickou činnost zapojením menších svalových skupin, méně než 1/3 svalstva těla v průběhu svalové práce co nejdéle [2]. Zapojený malý objem svalstva neklade velké nároky na kapacitu dýchacího oběhového systému, například shyby, kliky, výdrž ve shybu.

Globálně vytrvalostní schopnosti se projevují v motorické činnosti komplexní povahy zaměstnávající převážnou část tělesné svalové hmoty, zejména velké svalové skupiny. Celkový objem vykonané práce je vzhledem k dlouhé době trvání zatížení obvykle velký, intenzita je spíše mírná až střední. Může však jít i o intenzivní činnosti krátkodobého charakteru přesahující 20 sekund. Například běh na lyžích, plavání, běh na 400 m, apod.

Je-li vytrvalost spojená se stimulací dalších pohybových schopností (silové, rychlostní) hovoříme o subkategoriích silové respektive rychlostní vytrvalosti. Schéma těchto subsystémů v rámci komplexu kondičních schopností uvádí Kohoutek [10] viz obr. 2.

Obr. 2. Schéma komplexu kondičních schopností a jejich hybridních forem. Převzato [10]



Schopnosti: S – silové, R – rychlostní, V – vytrvalostní, VS – vytrvalostně-silové, RS – rychlostně-silové, VR – vytrvalostně-rychlostní, VRS – vytrvalostně-rychlostně-silové

c) Časové kritérium

Tab. 1. Rozdělení vytrvalostních schopností dle časového kritéria

Vytrvalost	Rozsah	Intenzita motorické činnosti
rychlostní	15-50 s	maximální, submaximální
krátkodobá	50s -2 až 3 min	submaximální
střednědobá	2-10 min	střední
dlouhodobá	nad 10 min	střední
I	10-35 min	střední
II	35-90 min	mírná
III	90 min-6 h	mírná
IV	nad 6 h	mírná

Rychlostní vytrvalost se projevuje v činnostech maximální a submaximální intenzity a v délce trvání 15–50 sekund (např. běh na 400 m). Rozhodujícím faktorem pro rozvoj této vytrvalosti

je anaerobní kapacita organismu. Vedle energetických zdrojů limituje dobu činnosti i nervová únava.

Krátkodobá vytrvalost je vymezena dobou možného trvání nepřetržité činnosti od 50 sekund do 2–3 minut. Jakmile je zatížení převážně submaximální (např. běh na 800m), výkonnost závisí na úrovni rychlostní a silové vytrvalosti. Hlavním energetickým systémem je anaerobní glykolýza se štěpením glykogenu bez využití kyslíku. Kumulace kyseliny mléčné je považována za hlavní příčinu únavy.

Střednědobá vytrvalost se projevuje v činnostech s nepřetržitou dobou trvání v rozsahu 2-10 minut. Intenzita zatížení je většinou střední, objem vykonané práce je již poměrně značný (např. běh na 3 km). Maximální aerobní možnosti organismu jsou kombinovány s využitím anaerobního systému získávání energie. Vyčerpání glykogenu je hlavní příčinou únavy.

Dlouhodobá vytrvalost je schopnost provádět nepřetržitě pohybovou činnost mírné až velmi mírné intenzity po dobu delší než 10 minut. Objem vykonané práce je velký (např. maratónský běh, cyklistická etapa, apod.). Sportovní výkony, jejichž základem je dlouhodobá vytrvalost, kladou značné nároky na

- rozvoj příslušných fyziologických funkcí,
- ekonomiku techniky daných sportovních činností,
- rozvoj volných vlastností, jejichž podstatou je trvalé překonávání subjektivních i objektivních obtíží.

Převažujícím způsobem energetického krytí je přitom aerobní (oxidativní) způsob úhrady energie s využitím glykogenu a později i tuků. Příčinou únavy je vyčerpání zdrojů energie.

d) Energetické kritérium

Vytrvalostní schopnosti jsou v současném písemnictví členěny také podle způsobu krytí energetických potřeb organismu na **aerobní** a **anaerobní vytrvalost**. V průběhu aerobního režimu vytrvalostní činnosti je přísun energie zajištěn štěpením energetických zásob za přístupu kyslíku (aerobní glykolýza a lipolýza). Při anaerobním charakteru práce rozlišujeme dva režimy, laktátový (anaerobní glykolýza) a alaktátový (kreatinfosfátový) systém, přičemž

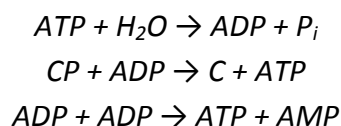
dominantní krytí energetických potřeb organismu anaerobním způsobem je omezeno pouze na rychlostí vytrvalost, tedy výkony v trvání do 50 sec. Pokračuje-li výkon přes tuto hranici stále intenzivněji se zapojují aerobní procesy. U výkonů trvajících kolem 75 vteřin je již krytí oběma systémy rovnocenné, při běhu na 800m již dominuje aerobní způsob získávání energie. Viz tab. 2.

V praxi je často prezentováno působení těchto systému odděleně. Současné poznatky však takovémuto zjednodušenému pohledu odporují. Uvedené systémy (viz kap. 2.2) jistě existují, nejsou však od sebe izolovány, vzájemně se doplňují a probíhají většinou současně s převahou toho, který právě vyhovuje konkrétnímu typu zátěže. „Zdroje energie a způsob jejího uvolnění se přenáší na místo okamžité spotřeby“ [8].

1.2 Jednotlivé zdroje a typy krytí energetických potřeb organismu

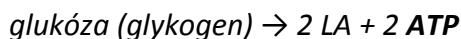
ATP (adenosintrifosfát) je bezprostředním zdrojem energie pro svalovou kontrakci. Malá rezerva ATP je uložena přímo ve svaly a kryje okamžitou potřebu energie, při vysoce intenzivní činnosti vystačí pouze po dobu cca 2 sekund. Dále je nutné ATP syntetizovat. Jeho vznik je v organismu zajištěn jedním ze tří následujících systémů:

1. ATP-CP systém uvolnění energie (anaerobně laktátový):



Tento systém je aktivován ve velice krátkém čase po zahájení zatěžování organismu (do 1 sekundy) s maximem již ve 2. sekundě zatížení. Udržení maximální intenzity je možné jen po velmi krátkou dobu, omezená je i celková energetická kapacita systému - celkem cca 6 kcal [11]. Během prvních deseti sekund dochází k jeho 75 – 80% poklesu podílu na energetickém příspěvku organismu. K minimální resyntéze ATP z CP dochází však ještě po 20 sekundách maximální zátěže [12]. Regenerace tohoto systému je velmi rychlá, úplná za cca 3 minuty s poločasem do cca 30 sekund. Proces probíhá bez přístupu kyslíku a bez vzniku laktátu. Ve vytrvalostně determinovaných činnostech nehraje tento systém prakticky žádnou roli [13].

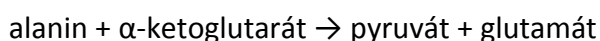
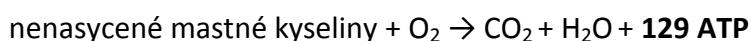
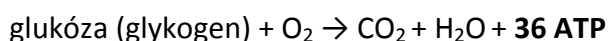
2. Glykolytický způsob uvolnění energie (Anaerobně – laktátový systém, anaerobní glykolýza, neoxidativní fosforylace):



Tento systém vzniku energie ve formě ATP má o něco delší reakční čas. Stále se však jedná o velmi rychlý systém. Vrchol anaerobní glykolýzy je dosažen přibližně ve 20 sekundách, dle jiných autorů [14] ve 40-50 s. intenzivního zatížení. Po několik dalších sekund je udržována rychlost glykolýzy na stejné úrovni, potom začíná klesat a ztrácet své dominantní postavení. Při vyšších intenzitách (více jak 60 – 70% maxima) však tento způsob přeměny energie přetrvává společně již s rozvinutou oxidační fosforylací [14]. Délka úplné regenerace je do 1 hod, s poločasem kolem 15 minuty. Energetická výtěžnost systému je relativně nízká, jedna molekula glukózy je potřeba na tvorbu 2 molekul ATP.

Bezprostřední množství energie produkované tímto systémem je omezené [8]. Tento proces produkce energie je doprovázen vznikem laktátu.

3. Aerobní laktátový systém (Krebsův cyklus, oxidační „aerobní“ „pomalá“ fosforylace)



Systém se vyznačuje pomalejší aktivací, maximální intenzita je dosažena po cca 2-3 min, udržení maxima je možné po několik minut, celková kapacita přesahuje hodiny. Úplná regenerace trvá 1-2 dny s poločasem 5-6 hodin. Pomalejší nástup a střední intenzita činnosti je vykompenzována relativně vysokou výtěžností (jedna molekula glukózy je potřeba na tvorbu 36 molekul ATP). Základním předpokladem je zabezpečený přístup kyslíku, což je limitováno nemaximálním charakterem pohybové činnosti. Tento systém je velice

ekonomický a při dlouhodobých zatíženích se stává hlavním metabolickým systémem. Jako dominantní systém krytí energetických potřeb organismu je využíván již od 75-90 sekundy maximálního výkonu – viz tab. 2. Je využíván při střednědobé a dlouhodobé vytrvalosti. V těchto pohybových schopnostech se dominantním způsobem uplatňuje aerobní systém a energie se získává oxidativním způsobem. Díky využití depotních zdrojů může probíhat na stejné úrovni i dlouhou dobu [14].

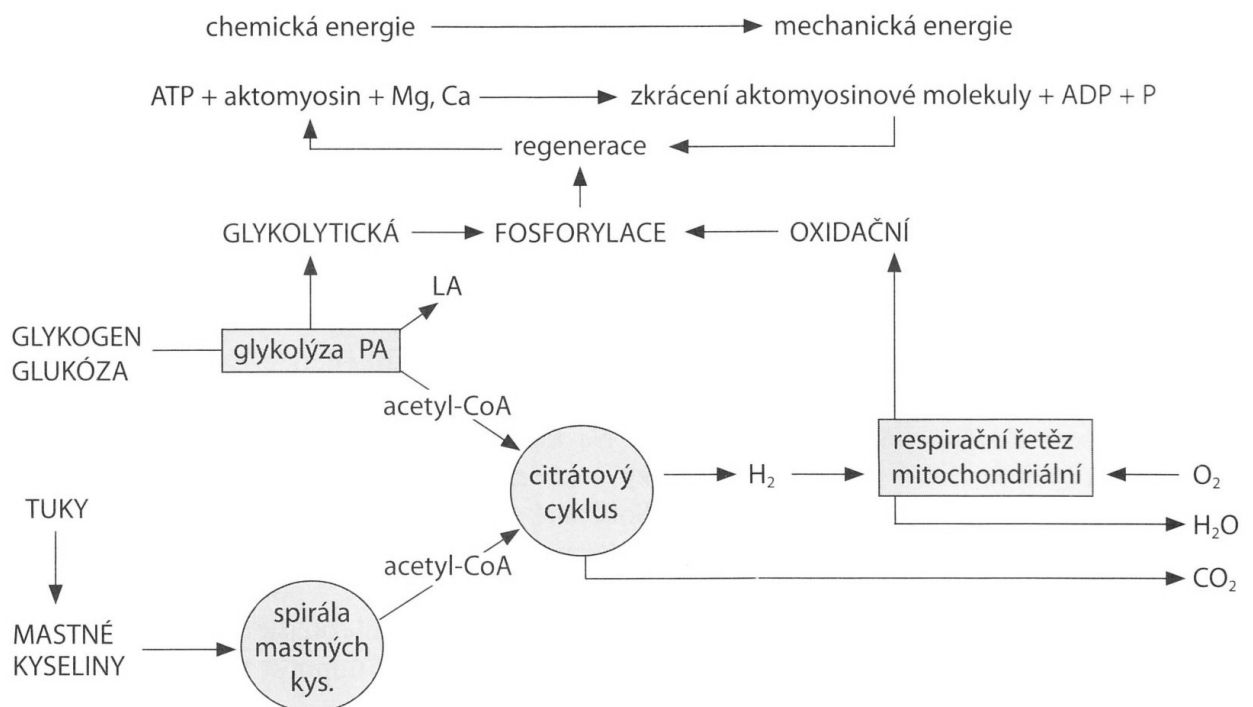
„Podle posledních názorů se však aerobní výdej energie projeví i při kratších, energeticky náročných výkonech tím, že vysoká enzymatická aktivita LDH umožní oxidovat laktát a tak ho využít jako rychle dostupný energetický zdroj“[8]

Maximální ziskovost energie ze zásob lipidů se udává v intenzitách mezi 50 - 70% VO₂max. Při intenzitách mimo toto pásmo je množství využívaných lipidů menší [15].

Nejlepším ukazatelem kapacity tohoto systému je hodnota maximálního příjmu kyslíku [16].

Souhrnný systém přeměny chemické energie v pohybovou a energetické zdroje viz obr. 3.

Obr. 3. Druhy energetických zdrojů, regenerace makroergních fosfátů a přeměna chemické energie v pohybovou. Převzato [8]



Podíl jednotlivých systémů na krytí energetických potřeb organismu v průběhu zátěže

Jednotlivé metabolické systémy se v průběhu trvání zatížení postupně vyvíjejí a plynule přecházejí jeden do druhého. Všechny tři energetické systémy přispívají již od počátku výkonu, ale různou měrou. Ta závisí na individuálních charakteristikách sportovce, délce zatížení a jeho intenzitě.

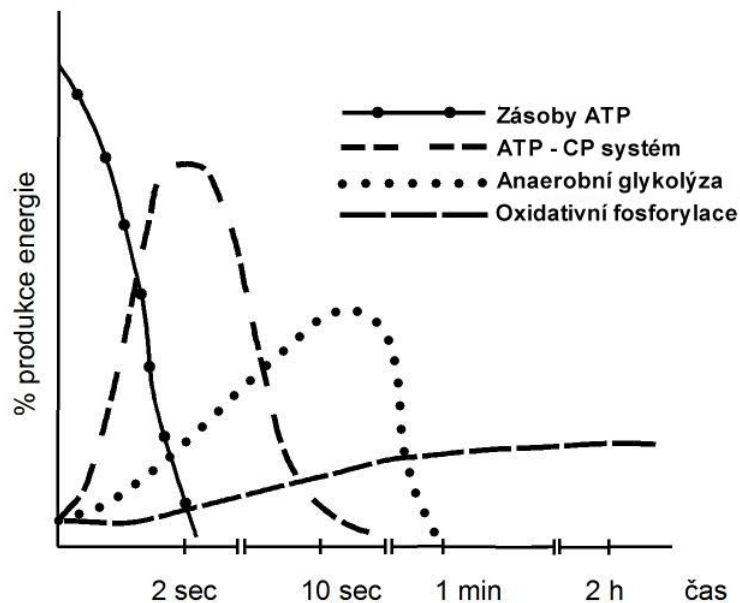
„Starší energetické koncepce vycházely z názoru, že aerobní fosforylace reaguje příliš pomalu na požadavky intenzivní zátěže, a proto nehraje určující roli při krátkodobých výkonech. V práci Gastina [17] jsou shrnuty výsledky více než 30 studií, které uvádějí podíl aerobního energetického systému během jednorázové práce maximální intenzity. Na základě těchto výsledků vytvořil tabulku aerobního podílu na celkovém energetickém výdeji při maximální práci (tab. 2). Z této tabulky vyplývá, že k vyrovnání energetického zisku z aerobního a anaerobního systému dochází při maximální práci již asi za 75 sekund. Např. relativní energetický podíl aerobního metabolismu činí při běhu na 800 m 55-65 % z celkového energetického výdeje. To znamená, že při běhu na 800 m nedominuje anaerobní glykolýza, jak je často uváděno v řadě odborných materiálů, ale aerobní fosforylace.“ [12]

Tab. 2. Odhad procentuálního podílu jednotlivých typů metabolismu na krytí energetických potřeb organismu během maximálního výkonu [17]

Čas (s)	% aerobně	% anaerobně
10	6	94
15	12	88
20	18	82
30	27	73
45	37	63
60	45	55
75	51	48
90	56	44
120	63	37
180	73	27
240	79	21

Následující obrázek ukazuje, jak energetické systémy přispívají k výrobě ATP při výkonu, který má od počátku charakter 100% úsilí.

Obr. 4. Podíl jednotlivých energetických systémů na krytí potřeb organismu v průběhu zátěže s maximálním úsilím. Podle Gastina [17]



Při zátěži konstantní intenzity je dominantní oxidativní fosforylace. Při krátkodobých a střednědobých výkonech jsou spalovány primárně cukry, při déletrvajících zátěži vzrůstá oddíl oxidace tuků. Při tomto charakteru zátěže má velký význam glukoneogeneze, který kryje až z 50 % tvorby glukózy z laktátu a glycerolu [14].

Poznatky o jednotlivých typech vytrvalosti lze v souvislosti s délkou zatížení a typem energetického krytí shrnout následovně: Čím kratší je doba trvání zatížení, tím vyšší může být intenzita pohybové činnosti a tím vyšší je podíl anaerobních procesů na celkovém energetickém krytí. Čím delší je zatížení, tím nižší může být intenzita pohybové činnosti a tím vyšší je podíl aerobních procesů na celkovém energetickém krytí [13].

1.2.1 Laktát a jeho role při zajišťování energie pro organismus

Výsledným produktem anaerobní glykolýzy je vedle ATP také laktát (sůl kyseliny mléčné). Tento není pouhým odpadním produktem metabolismu, za který byl do 80 let minulého století považován. Vedle faktu, že je vysoce energeticky bohatým substrátem pro vznik další energie v procesu oxidativní fosforylace, je také „jakýmsi transportérem chemické energie z jednoho místa (např. ze zatížených rychlých svalových vláken) na jiné místo (např. srdce a pomalá svalová vlákna)“. [12]

Laktát je produkován jednak v klidu, tak i při mírné zátěži (50% VO₂max), přičemž po ustálení hladiny krevního laktátu se producenty této látky stávají neaktivní svaly a ostatní tkáň. Při zvýšení intenzity pohybové činnosti se úměrně zvyšuje i produkce laktátu. Do určité úrovně intenzity zatížení je po 10-15 minutách nastolen dynamický stav rovnováhy mezi tvorbou a užitím laktátu. Maximální laktátový setrvalý stav je označením maximální intenzity pohybové činnosti, při které je ještě tuto rovnováhu možné udržovat [18]. Při dalším zvýšení intenzity pohybu nad tuto mez není již možné setrvalý stav udržet a vznikající laktát se začíná v organismu kumulovat.

Výkon, při kterém je dosažen maximální laktátový setrvalý stav je nejvyšší intenzita zatížení, při kterém je oxidativní fosforylace schopná pokrýt energetické potřeby organismu. Hodnota tohoto výkonu může posloužit jako parametr pro určení optimální intenzity tréninkových zatížení i jako diagnostický nástroj výkonnosti. Obsahově odpovídá obecně užívanému pojmu anaerobní práh.

Při intenzitě zatížení nad touto úrovní, kdy relativní nedostatek kyslíku pro aerobní způsob získávání energie zvyšuje koncentraci laktátu se:

1. zvyšuje podíl anaerobního způsobu získávání energie
2. do činnosti se zapojuje více anaerobních vláken.

Mechanismus tohoto procesu je pravděpodobně založen na skutečnosti, že vodíkové ionty se nestačí za této intenzity přesunout do energetických center buněk a jsou využity pro přeměnu pyruvátu na laktát. Zároveň se zvyšuje enzymatická aktivita podporující přeměnu pyruvátu na laktát a to zejména v rychlých svalových vláknech [16].

„Laktát je tedy *anaerobní metabolit* v podmínkách nedostatku kyslíku, stejně tak, jako aerobní *metabolit* v podmínkách adekvátního zásobení kyslíkem a užití glukózy nebo glykogenu jako energetického substrátu“. [12]

2 Fyziologické aspekty vytrvalostních schopností

V této části se zabýváme vybranými fyziologickými parametry, které jsou v rámci diagnostiky sledovány a hodnoceny. Ať už jako odezva organismu na zatížení, nebo jako parametry, které mají vypovídací hodnotu při hodnocení úrovně vytrvalostních schopností. Mezi tyto, diagnostice přístupné parametry řadíme srdeční frekvenci, maximální spotřebu (příjem) kyslíku, hodnotu anaerobního prahu a ekonomiku pohybu.

2.1 Srdeční frekvence

Srdeční frekvence (SF) je v současnosti jedním z nejsnadněji monitorovatelných biologických parametrů při procesu posuzování odpovědi organismu na zatížení. Zejména technologický vývoj v oblasti měřičů srdeční frekvence umožnil měřit a zaznamenávat SF přesně, dostupně a bez výraznějších omezení. SF lze monitorovat v různých klimatických podmínkách, ve vodním prostředí, v naprosté většině pohybových činností, relativně pohodlně a bez ovlivnění samotného výkonu. Díky on-line přenosu u posledních modelů kardiotačometrů může mít sportovec na těle umístěn fyzicky pouze vysílač, přijímač je umístěn mimo tělo sportovce.

Společně s tímto technologickým pokrokem a poznatky na poli fyziologie zátěže (např. s dnes revidovanými poznatky o anaerobním prahu) došlo k masivnímu využívání SF jako diagnostického prostředku a zároveň parametru, pomocí kterého lze určit prahy [19] a pásma optimálního tréninkového zatížení. V současné době je však stále více kladen důraz na limity, které s sebou nekritické využívání SF přináší.

SF je například velmi citlivá na faktory, které s metabolickými změnami nesouvisí. Výsledky současných výzkumů poukazují na nutnost využití i jiných parametrů pro kontrolu intenzity tréninkové zátěže. Stejskal [12], vyvozuje že „sportovní trénink, který má mít z hlediska aerobní kapacity maximální efektivitu, nemůže být řízen srdeční frekvencí odpovídající maximálnímu setrvalému stavu laktátu, ale spíše intenzitou zatížení, která tomuto stavu odpovídá. Jinak řečeno, pokud bude sportovec po delší dobu podávat hraniční výkon, při kterém ještě nebude převažovat tvorba laktátu nad jeho utilizací, bude maximálně trénovat svou aerobní kapacitu a jeho srdeční frekvence bude stoupat. V tomto případě je řízení tréninku pomocí srdeční frekvence obtížné, neboť předpokládá nejen její určení při

maximální setrvalé laktacidémii, ale také reakci oběhu na déletrvající práci této intenzity“ [12].

V kapitole 3.1.2 sumarizujeme vnitřní a vnější faktory, které ovlivňují hodnotu srdeční frekvence.

2.1.1 Srdeční frekvence maximální, anaerobního prahu a klidová

Maximální srdeční frekvence (SF_{max}) je interpretována jako strop pro možnosti zvyšování centrální kardiovaskulární funkce. Je parametrem, který nemůže být překročen zvyšující se intenzitou pohybové činnosti nebo tréninkovou adaptací [20].

SF_{max} je zřejmě determinována geneticky, je vázána na pohlaví a věk. Nebyla prokázána vazba na tréninkový status. Rozšířená predikční rovnice ve tvaru $220 - \text{věk}$ však nemá zcela jasný původ [20]. Je připisována Foxovi, et al. [21] a není výsledkem specifického výzkumu [22]. V tabulce 3 jsou uvedeny některé další predikce:

Tab. 3. Přehled vybraných rovnic pro predikci SF_{max} . Modifikováno dle [20]. Populaci tvořili „zdraví muži“.

Autor [citace]	n	prům. věk (rozpětí)	Predikční rovnice $V = \text{věk}$	Příkl. $V=30$
Bruce [23]	2091	44 \pm 8	210-0.662 V	190
Cooper cit. Froelicher[24]	2535	43 (11–79)	217-0.845 V	192
Ellestad cit Froelicher [24]	2583	42 (10-60)	197-0.556 V	180
Froelicher [24]	1317	38.8 (28-54)	207-0.64 V	189
Graettinger [25]	114	(19-73)	199-0.63 V	180
Hossack [26]	98	(20-73)	227-1.067 V	195
Morris cit Froelicher [24]	244	45 (20 – 72)	200 -0.72 V	178
Robinson cit Froelicher [24]	92	30(6 - 76)	212 -0.775 V	189
Whaley [27]	1256	42.1 (14-77)	214-0.8 V	190

Nižší hodnoty SF_{max} detekované na běhátku oproti bicyklovému ergometru dobře dokumentují tyto predikční rovnice [14] cit [28]:

$$\begin{aligned} SF_{max} &= 186 - 0,36 \cdot \text{věk (bicyklový ergometr vsedě, muži)} \\ &= 220 - 0,65 \cdot \text{věk (bicyklový ergometr vsedě, ženy)} \\ &= 203 - 0,54 \cdot \text{věk (běhátko, muži)} \\ &= 226 - 0,88 \cdot \text{věk (běhátko, muži)} \end{aligned}$$

Pro dětskou populaci stanovil orientační rovnice Heller [29]:

$$\begin{aligned} SF_{max} \text{ pro chlapce} &= 207 - \text{věk} \\ SF_{max} \text{ pro dívky} &= 210 - \text{věk} \end{aligned}$$

Význam SF_{max} má pro orientační odvození intenzit zátěžových pásem. Ve formě procentuálního podílu z hodnoty SF_{max} , nebo % maximální srdeční rezervy dle Karvonena et al. [30].

Pásmo 87 – 92% SF_{max} podle Bunce a Hellera [31] odpovídá ventilačnímu prahu i odklonu průběhu srdeční frekvence od linearity v závislosti na stoupajícím zatížení – viz Conconiho princip.

Ve spojení s klidovou hodnotou SF je využívána v predikčních rovnicích pro odhad VO_2max . Predikční rovnice pro stanovení SF_{max} jsou zatíženy velkou chybovostí, doporučuje se využívat populačně specifické odhady [20].

Pro přesnější stanovení SF_{max} je nutné využít její přímé stanovení v rámci zátěžového testu vita maxima, přičemž i zde nalezneme limity výpovědní hodnoty vázané například na úroveň motivace probanda.

Srdeční frekvence na úrovni ANP.

Je využívána ve sportovní i klinické praxi. Při práci s nemocnými je horním limitem „bezpečné“ zátěže, využití má pro diagnostiku stupně závažnosti řady vnitřních onemocnění [32], v rámci tréninku je výchozím údajem pro nastavení hranic intenzit zátěžových pásem. Stejně jako SF_{max} i její hodnoty věkem klesají [33].

Klidová SF (SF_{klid}) je využívána v klinické praxi jako prediktor onemocnění související s kardiovaskulárním systémem. Jednou z vědeckých otázek, která je v této souvislosti v rámci výzkumů řešena, je stanovení limitu (prahu), který vymezení hranici bezpečného pásma z hlediska rizika onemocnění. Jako hranici mezi bradykardií a tachykardií u klidových hodnot SF je navrhována hodnota 85 tepů za min [34]. Jiní autoři vymezují hranici tachykardie hodnotami nad $100 \text{ tepů} \cdot \text{min}^{-1}$, bradykardii pod $60 \text{ tepů} \cdot \text{min}^{-1}$ [35].

Z pohledu sportu, pohybového zatížení a konceptu vytrvalostních schopností je prokázán vztah mezi nízkými hodnotami SF_{klid} a vytrvalostní výkonností. U vrcholových sportovců byly detekovány hodnoty $30 - 35 \text{ tep} \cdot \text{min}^{-1}$ jako projev vagotonie, tedy zvýšeného působku parasympatické části autonomního nervového systému.

Velikost účinku vytrvalostního tréninku na SF_{max} je stále diskutována [36].

Faktory ovlivňující hodnotu SF_{klid} [37]

1. velikost srdečních komor,
2. nastavení autonomních řídicích systémů,
3. hematokrit (přenosová kapacita krve pro kyslík) a okamžitá spotřeba kyslíku,
4. aktuální psychický stav.

Zvýšené hodnoty SF_{klid} oproti dlouhodobému normálu mohou být vyhodnoceny jako nástup onemocnění nebo přetrénování.

V rámci diagnostiky lze využít tyto hodnoty, publikovány byly normy ve vztahu k výkonnosti a hodnotám $VO_{2 \max}$ jejich validita je však diskutabilní.

Pro sportovní a tréninkovou praxi je významnější parametr dynamika návratu hodnot SF ke „klidovým hodnotám“. Toto hodnocení vychází z poznatku, že rychlost poklesu SF, jak po submaximálním tak maximálním zatížení, je pozitivně ovlivněna mírou trénovanosti, resp. kvalitou vytrvalostního tréninku [38].

Psotta et al. [39] doporučuje možnost využívat poločas poklesu SF (stanovené jako hodnota $SF_{max} - SF_{klid}$) pro intraindividuální hodnocení odlišných nároků různých typů tréninkových cvičení, aktuálního stavu organismu, změn trénovanosti, nebo odhad míry únavy po kumulativním zatížení. Hypotetizuje však také, ve shodě s dalšími autory [40] [41], že fyziologické adaptace zvyšující zotavovací schopnosti v důsledku tréninku nemusí být nutně spojeny se zvýšenými ukazateli aerobní zdatnosti [39].

Kinetika srdeční frekvence v zotavení je principem hodnocení testů typu step test (viz dále) a funkčních zkoušek (ortoklinostatická apod.).

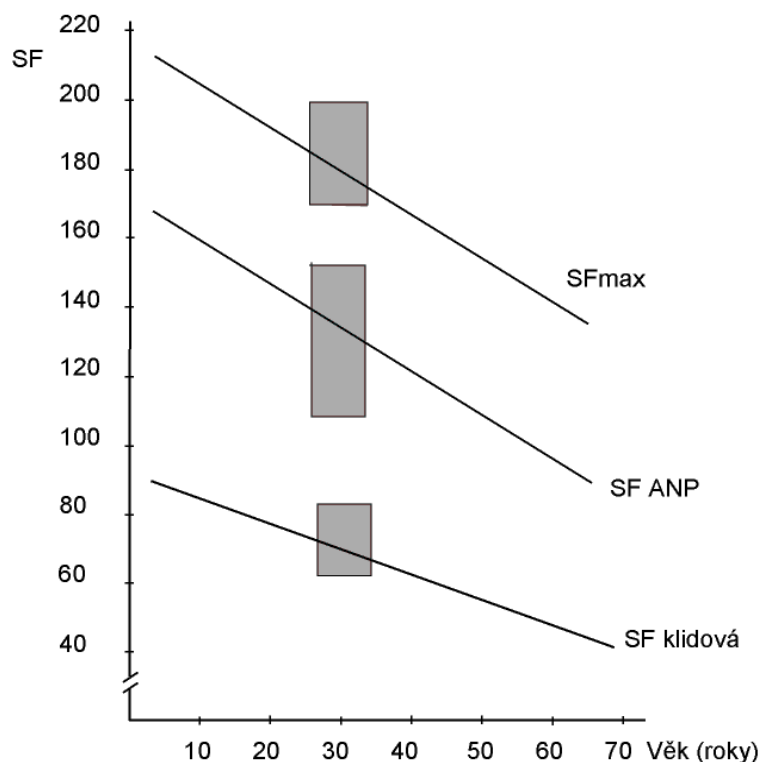
2.1.2 Faktory ovlivňující srdeční frekvenci (SF)

2.1.2.1 Vnitřní faktory

Věk

Z celé řady predikčních rovnic maximální srdeční frekvence, přičemž za nejpřesnější pro obecnou populaci považují autoři metaanalytické studie [20] tvar $SF_{\max} = 205,8 - 0,655 \cdot \text{věk}$ [42] je zřejmé, že se zvyšujícím se věkem klesá hodnota maximální SF. Pokles s věkem zaznamenáváme i u hodnot klidové SF a hodnot anaerobního prahu [33] (viz obr. 5).

Obr. 5 Závislost hodnot SF na věku, převzato [33, 43]

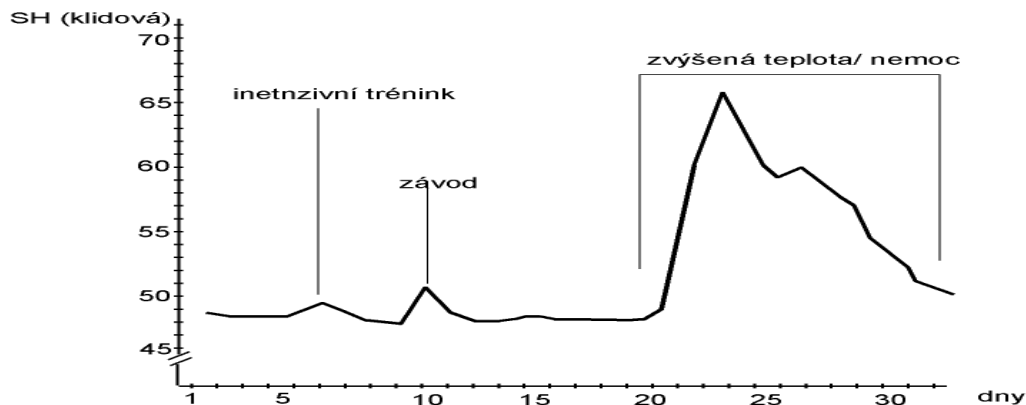


Stav kondice, nemoci a přetrénování

Klidová SF se vlivem přetrénování nebo nemoci zvyšuje. SF na úrovni ANP se snižuje, tj. tato hodnota je dosahována dříve, za nižších intenzit činnosti, při nižší SF. Maximální hodnota SF vykazuje pod vlivem onemocnění poněkud nižší hodnoty u velmi dobře trénovaných osob.

Obdobně reaguje SF při nedostatečném zotavení mezi dvěma tréninkovými jednotkami [33, 43].

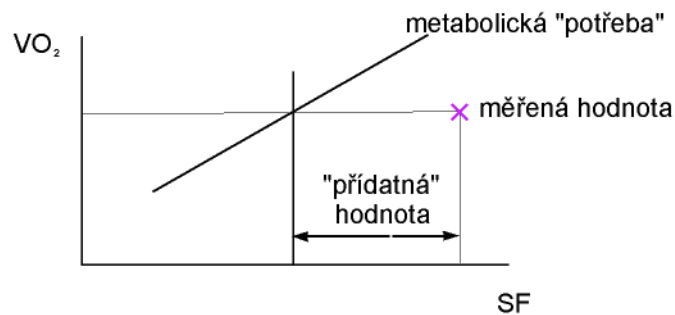
Obr. 6. Změny hodnot klidové (ranní) SF, převzato [33] [43]



Psychoemoční zatížení

S vlivem tohoto faktoru se setkáváme především při funkčním vyšetřování [43] Situace, které jsou navozeny zejména při prvním kontaktu s relativně neznámým prostředím laboratoře, laboratorní technikou, personálem, měřicími přístroji, pohybem na běhátku či bicyklovém ergometru, obavami z „neznámé“ situace, obavami o výsledek hodnocení, toto vše představuje psychoemoční zatížení s tzv. „přídavným“ vzestupem SF bez metabolického opodstatnění až o 20% (viz obr. 7.). U funkčních vyšetření, kde je dynamika SF jediným a rozhodujícím znakem odpovědi organismu na pohybové zatížení, je nutno vzít tuto skutečnost v úvahu [44]. Čím více stresující situace působí na testovaného, tím vyšší nárůst hodnot SF lze očekávat. Ve výzkumu v prostředí velmi stresujícím (bez fyzické aktivity) jsme naměřili přídavné zvýšení SF až o 100% oproti klidové hodnotě [45]. Jak vyplývá z našich výzkumů, tento jev není vázán jen na prostředí funkčních laboratoří, ale je spjat u řady jedinců i s první zkušeností s testy typu vytrvalostní člunkový běh na 20 m s monitorováním srdeční frekvence.

Obr. 7. Vliv psychoemočního zatížení na hodnoty SF (upraveno podle [44])



Kardiovaskulární drift

V první fázi stupňovaného zatížení, při přechodu od lehké po mírnou zátěž, dochází k postupnému snížení tepového objemu a zvýšení SF. Tento fenomén nestability v úvodních fázích zatížení je znám jako kardiovaskulární drift [46, 47]. Průběžné zvyšování SF v průběhu kontinuálního zatížení bylo popsáno v pracích Eklunda [47] nebo Mogoniho [48]. Závěry těchto výzkumů uvádějí zvýšení SF ze 135 tepů za minutu po deseti minutové zátěži až na 150 tepů za minutu po šedesáti minutách zatížení (vzestup o 11%). [48] Doložena byla 15%ní hodnota kardiovaskulárního driftu v 5 - 60 minutové zátěži s nejvyšším nárůstem v prvních 30 minutách [43, 49].

Někteří autoři hypotetizují, že nejméně polovina působku kardiovaskulárního driftu je průvodním jevem úbytku tekutin a periferní vazodilatace [50]. Ve studii Hamiltona a kol. [51] bylo prokázáno 10 % zvýšení SF v průběhu kontinuální zátěže bez podání tekutin, oproti 5 % zvýšení při doplňování tekutin. Dále byl prokázán vztah zvyšující se SF a tělesné teploty [51]. Na vztah zvyšující se SF a tělesné teploty poukázala řada studií [50, 52-54].

Hydratace

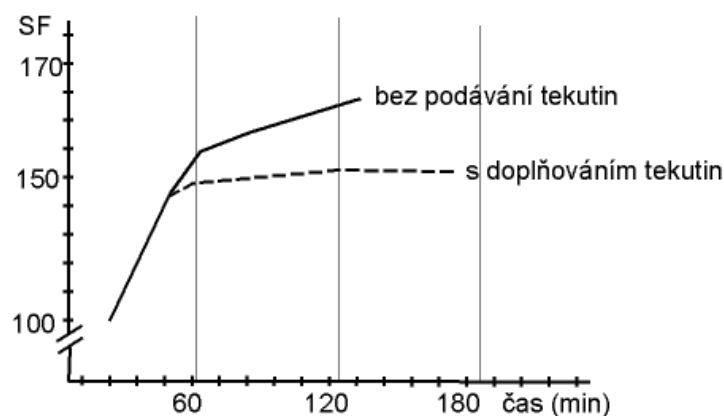
Při výkonu ve vysoké teplotě prostředí nastává nadměrné pocení doprovázené ztrátou vody (1 - 1,5 litru za hodinu). Větší ztráty naměříme ve vlhkém prostředí. Přesáhnou-li ztráty vody 6 % hmotnosti, přistupuje k projevům dehydratace (žízeň, snížená tvorba moči, slabost) i pokles tělesné i duševní výkonnosti a může nastat i bezvědomí [55].

Důležitým faktorem výkonu v podmínkách zvyšujícího se nebezpečí dehydratace je doplňování tekutin. Na obr. 8. je znázorněna křivka SF při zátěži 70 % VO₂max a venkovní

teplotě 20 °C. Test byl prováděn do odmítnutí. Při nepodávání tekutin došlo ke stavu vyčerpání o 30 minut dříve a za vyšších hodnot SF než při dodržování pitného režimu [43].

Při podávání tekutin během výkonu (250 ml každých 15 min.) se hodnoty SF pohybovaly na nižší úrovni a odolnost vůči zátěži významně vzrostla [33].

Obr. 8. Vliv pitného režimu na hodnoty SF (převzato [33, 43])



Závěry výzkumů na téma vlivu nedostatečné hydratace na sportovní výkon lze shrnout v konstatování, že pokud je organismus při cvičení dehydratován bez zvýšení teploty tělesného jádra, SF může být zvýšena až o 7,5 %. Toto zvýšení pozitivně koreluje s úrovní dehydratace. Čím vyšší je tato hodnota, tím se stává měření SF kardiometry méně spolehlivé [49].

Každodenní variabilita srdeční frekvence

„Ve výzkumech, kdy je jedním ze sledovaných parametrů i hodnota SF, je třeba zohlednit i fenomén srdeční variability, která je manifestována jak v průběhu jednoho dne, tak mezi jednotlivými dny. Ve studii Tailora [56] byla prokázána inter-individuální variabilita během submaximálního zatížení ve dvou opakovaných testech s průměrnou hodnotou 4,1 %. Při maximálním výkonu poklesla variabilita SF na 1,6 %. Obdobné výsledky zaznamenal později i Beckque a kol. [57], který měřil hodnoty čtyř probandů ve dvaceti submaximálních testech na 50 W a deseti testech na 125 W při 55 % maximálního pracovního výkonu. Ze všech měřených parametrů (VE, VO₂, krevní tlak a SF) vykazala SF nejnižší koeficient variance

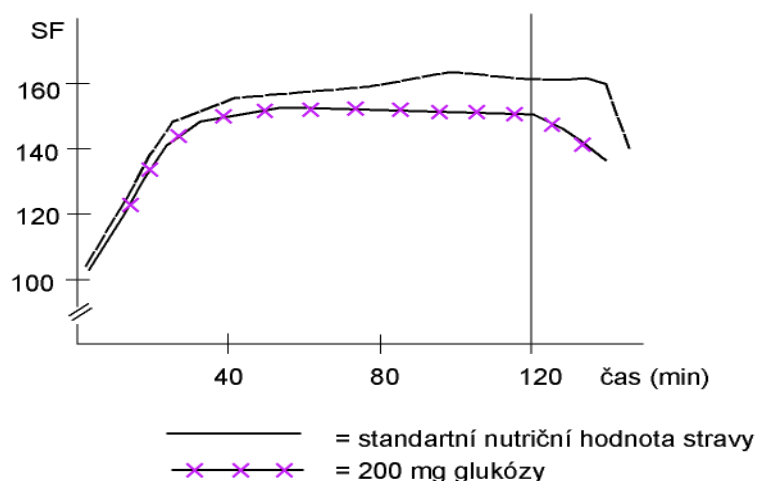
(průměrně 1,6 %) [49, 57]. Podobná zjištění publikovali Astrand a Saltin [58], nebo Brooke a kol. [59]“[43].

Z těchto studií vyplývá, že ačkoliv je test-retest reliabilita SF vysoká, existují malé variace v průběhu dne. I přes kontrolované laboratorní podmínky nalezneme variace SF v rozmezí 2-4 tepy za minutu, pokud probíhají testování stejných probandů v rozmezí několika dnů [49].

Výživa

Kvalitní strava během dlouhodobého vytrvalostního výkonu může přispět k jeho zlepšení. Toto zlepšení je vyjádřeno poklesem křivky SF na stejné hladině intenzity zatížení. Na obr. 9 je znázorněn průběh testu na bicyklovém ergometru, kdy ve skupině testovaných osob bylo podáváno 200 mg glukózy a stejné skupině po časovém odstupu, kdy byl test opakován, standardní strava. Test probíhal na úrovni 70 % VO₂max. Výsledky jsou patrné z obr. 9. Rozdíl úrovně ve výsledcích obou testů činil 7 %. [33, 43]

Obr. 9. Vliv kvality stravy na hodnoty SF při zátěži [33, 43]



Farmaka

Řada léků působí na hodnoty SF. Například beta-blokátory, které se v lékařství používají proti vysokému krevnímu tlaku a angíně pectoris. Snižují hodnoty klidové a maximální SF a zároveň výkon celého organismu asi o 10 %. Tyto látky jsou zařazeny na listině dopingových prostředků [33, 43].

Na snížení SF a její rychlejší normalizaci má vliv i vitamín C. Amfetamin ze skupiny psychomotorických farmak působí na periférii obdobně jako katecholaminy. Zvyšuje krevní tlak a SF. Obdobně působí i látky skupiny sympatomimetických aminů. Neznámější látkou je efedrin, dále sem patří deriváty xantinu jako jsou: kofein, teofylin a teobromin [37, 43].

Poloha těla

Při testování na cykloergometru může poloha těla, zejména zaujetí tzv. aerodynamické pozice, ovlivnit manifestované hodnoty SF. Gnehm a kol. [60] zjistil hodnoty SF v průměru o 5 tepů za minutu vyšší při aerodynamické pozici oproti vzpřímené pozici v sedle. Toto zvýšení přisuzuje vyššímu zapojení svalů pletence ramenního a méně účinnému úhlu v oblasti kyčlí [43]. Nižší hodnoty maximální srdeční frekvence v testech vita maxima dosažených na bicyklovém ergometru oproti vyšetření na běhátku jsou taktéž připisovány většímu zapojení pracujících svalů. Radvanský [61] s tímto vysvětlení polemizuje. Uvádí, že zapojení svalů je u plavání vyšší než u běhu, přesto je srdeční frekvence nižší než na ergometru [61]. U plavání však může sehrát svou roli pozice těla a pasivní adaptace na vodní prostředí doprovázená snížením SF.

2.1.2.2 Vnější faktory

Kromě vnitřních, fyziologických faktorů se na ovlivňování hodnot srdeční frekvence podílejí i faktory vnější, faktory prostředí. Tyto je zapotřebí brát v úvahu u všech terénních testů, zejména při opakovaných měřeních či zkouškách. Jejich výsledky opřené o hodnoty SF jsou pak převáděny do tréninkové praxe.

Mezi vnější faktory ovlivňující hodnoty srdeční frekvence řadíme:

- teplota a vlhkost vzduchu
- nadmořská výška

Teplota a vlhkost vzduchu

Každý výkon je ovlivňován teplotou okolí a vlhkostí vzduchu. Fyzický výkon tak závisí na složitých chemických reakcích probíhajících ve svalech, v nervovém systému apod. Tyto chemické reakce jsou velmi citlivé na změnu teploty. Každá změna teploty vnitřního prostředí má své důsledky. Přes působení termoregulačního systému organismu může dojít ke změnám teploty vnitřního prostředí v důsledku činnosti svalů a vnější vysoké nebo nízké

teploty. SF je jedním z činitelů podílejících se na termoregulačních procesech. Její nejnižší hodnoty (při daném zatížení) jsou spojeny s teplotou kolem 20 °C. Při shodných podmínkách, při různé teplotě jádra liší se o 1 °C, je rozdíl SF 10 - 15 tepů za minutu. Nižší teploty (než cca 12 °C) působí pokles SF a naopak vyšší teploty a vlhkost (nad 25 °C) působí na zvýšení SF při stejných intenzitách jako při ideální teplotě pro vytrvalecký výkon, což je 15-22°C. [33, 43]

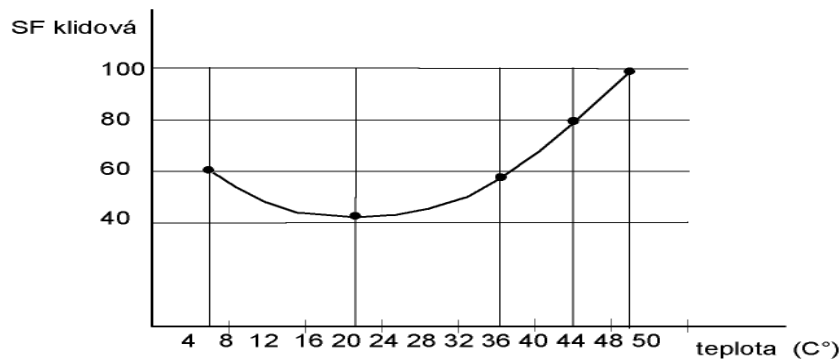
Teplo

Teplota tělesného jádra je jeden z faktorů ovlivňující hodnoty SF. Tuto hodnotu ve své práci záměrně manipulovali ještě před započítáním fyzické práce v teple Gonzalez-Alonzo et al. [52]. Sedm probandů absolvovalo tři fáze na cykloergometru na úrovni 60 % VO₂max při 40 °C. Před započítáním testu na ergometru byla zvýšena klidová teplota probandů ponořením na 30 minut do vody 17, 34 a 40 °C teplé. Po deseti minutách výkonu byla zaznamenána SF na úrovni 140 ± 5, 166 ± 5 respektive 182 ± 4 tepů za minutu. Autoři hypotetizují, že SF stoupala spolu se zvyšováním teploty v esofagu [62].

Jose a kol. [49] zaznamenali přímou závislost mezi SF a teplotou smíšené venózní krve. Další hypotéza dokazuje, že zvýšení SF v horkém prostředí může být aktivováno v důsledku svalového termoreflexu [63].

Adaptace organismu na práci v teple vede k aklimatizaci na teplo. Projevuje se zvýšenou efektivitou termoregulačních mechanismů. Při stejné intenzitě zatížení má jedinec nižší SF. Adaptace na vyšší teplotu zevního prostředí vzniká po 8 - 10 dnech expozice (je-li doplňována vypocená tekutina). Po opuštění teplého prostředí se adaptace po 2 - 3 týdnech vytrácí [64].

Obr. 10. Vliv externí teploty na klidovou hodnotu SF [33]

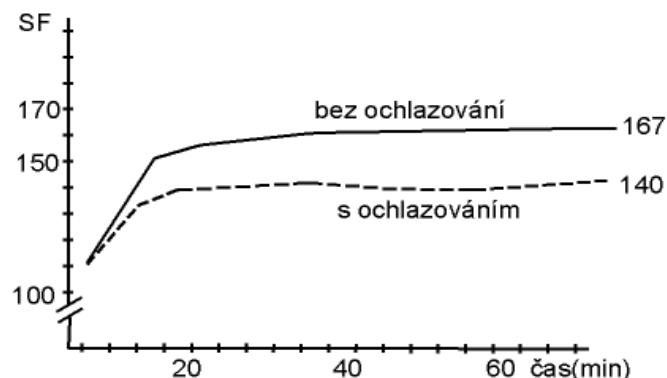


Chlad

Během výkonu v chladnějším prostředí jsou hodnoty SF podobné, anebo mírně nižší než při výkonu v termoneutrálním prostředí. Přesto je hodnota VO₂ vyšší a SF nižší, a může tedy skutečné hodnoty podhodnocovat [49].

Graf na obr. 11. popisuje výsledek testu, kdy testovaná osoba absolvovala ergometrické zátěžové vyšetření. Mezi testy byla zařazena pauza 4 dny, první test probíhal s ochlazováním během testu, druhý bez ochlazování. Chlazení bylo prováděno pomocí ventilátoru a použitím navlhčené houby. Vnější podmínky byly rovnocenné s konstantní vlhkostí vzduchu a teplotou 25 °C. Pracovní intenzita byla totožná a zátěž trvala 60 min. Křivka reprezentující pokus bez ochlazování stoupala od hodnot 135 tepů za min., až k hodnotě 167 tepů za min. Křivka pokusu s ochlazováním se udržela na úrovni 145 tepů za min [33, 43].

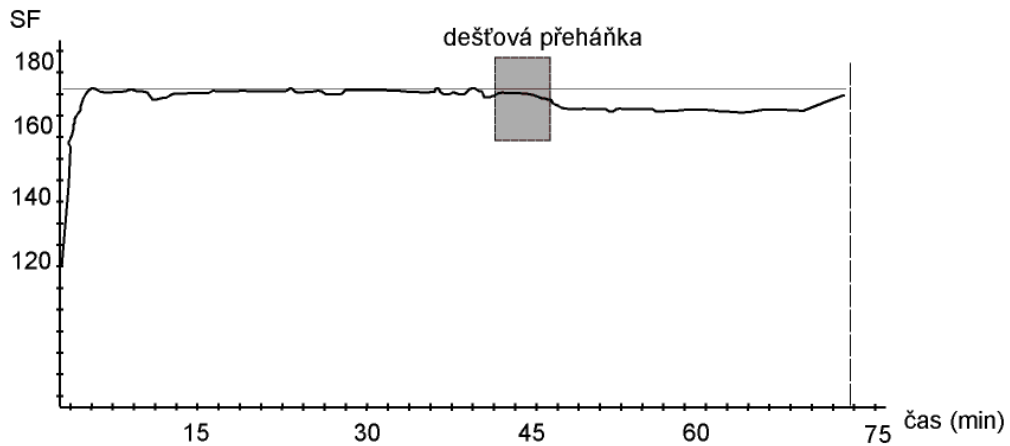
Obr. 11. Vliv ochlazování během výkonu na hodnoty SF. [33]



Křivka na obr. 12. ukazuje záznam hodnot SF 32letého závodníka na trati půlmaratónu. Hodnota ANP = 172 tepů za minutu. První polovina výkonu probíhala na optimální úrovni –

těsně pod úrovní ANP. Po 40. minutě se spustila dešťová přeháňka, jejímž následkem bylo snížení teploty vzduchu a příslušné snížení hodnot SF [43].

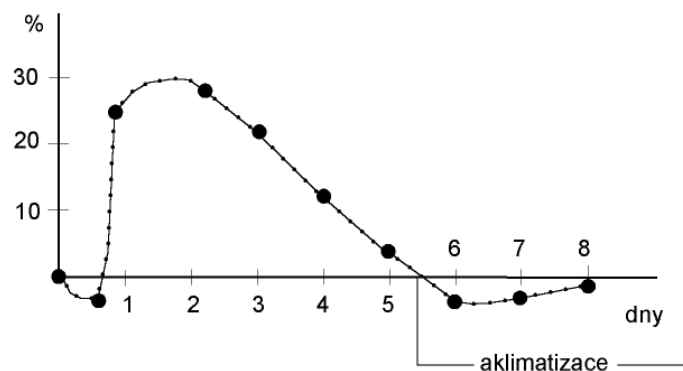
Obr. 12. Záznam křivky hodnot SF na trati polovičního maratónu (viz text) [43].



Nadmořská výška

Vliv nadmořské výšky na hodnoty klidové SF a úlohu aklimatizace na proces návratu zvýšené SF k původním hodnotám ukazuje graf na obr. 13. Délka aklimatizace závisí na nadmořské výšce, ve 2 000 m.n.m. vzrůstá hodnota klidové SF o 10 %, ve výškách okolo 4 500 m.n.m. o 50 % původní hodnoty [33, 43].

Obr. 13. Vliv absolutní hodnoty nadmořské výšky na hodnoty SF [33, 43]



2.2 Maximální spotřeba kyslíku (VO₂max)

Termín, koncept a tím i paradigma „maximální spotřeby kyslíku“, také „maximální aerobní kapacity poprvé“ uvádí Hill et al. [65], [66] a Herbst [67] ve 30. letech minulého století.

Vymezují je následujícími postuláty

- 1 existuje horní limit příjmu kyslíku
- 2 existují individuální diference v hodnotě VO₂max
- 3 vysoká hodnota VO₂max je nezbytným předpokladem úspěchu na středních a dlouhých běžeckých tratích.
- 4 VO₂ max je limitováno schopností kardiorepiračního systému transportovat kyslík ke svalům [68]

Hodnotu VO₂ max lze definovat jako maximální množství z přijatého kyslíku, který je organismus schopen využít pro svalovou práci v režimu aerobní produkce využitelné energie. Hodnota VO₂ max do značné míry koreluje s histologickou skladbou kosterního svalu, hlavně s množstvím červených svalových vláken [8]

Vyjadřuje se absolutně v litrech za minutu nebo relativně přepočítané na hmotnost testovaného v ml/min na kg. Jeho hodnota je determinována genetickými dispozicemi, možný nárůst v rámci vytrvalostního tréninku se udává okolo 15-20% [69]. V praxi je tato hodnota nejčastěji využívána k hodnocení úrovně vytrvalostních schopností i kardiorepirační zdatnosti. Využívána je též jako predikátor výkonnosti přičemž názor fyziologů je k tomuto odmítavý.

Limitující faktory úrovně VO₂ max vymezuje Bassett, [68]

- difúzní kapacita pulmonálního systému
- maximální srdeční výkon
- transportní kapacita krve pro kyslík
- charakteristiky kosterního svalstva (periferní difúzní gradient, aktivita mitochondriálních enzymů, hustota kapilár)

Příčemž míra podílu jednotlivých systémů na hodnoty VO₂max, popřípadě zvýšení těchto hodnot vlivem tréninku je i v současnosti diskutována. Za dominantní je však považována schopnost kardiopulmonálního systému transportovat kyslík [68].

Hodnotu VO₂max lze však striktně vzato chápat pouze jako maximální potenciál organismu pro aerobní způsob získávání energie. Jako samotný a jediný predikátor výkonu ve vytrvalostní disciplíně není vhodný [70]. Toto dokládají také studie založené na srovnání výkonnosti atletů s obdobnou hodnotou VO₂max. Výsledky těchto studií ukazují na odlišnou výkonnost při shodném, či srovnatelném VO₂max [71], [72]. Obdobné výsledky přináší srovnání výkonu atletů juniorského věku s dospělými. Mladší atleti s obdobnou hodnotou VO₂max nedosahovali výkonů atletů starších [73].

Jako další predikanty vytrvalostního výkonu je zapotřebí vzít do úvahy i hodnotu tzv. „anaerobního prahu“ i individuální ekonomiku pohybové činnosti [68].

Hodnotu VO₂max ovlivňují následující faktory:

- věk
- pohlaví
- pohybové návyky
- dědičnost
- kardiovaskulárním klinickým stavem [74].

Věk - maximální hodnoty jsou detekovány ve věkovém rozmezí 15-30 let. Poté progresivně klesají s rostoucím věkem. V 60ti letech je průměrná hodnota VO₂max přibližně rovná dvěma třetinám hodnoty ve věku 20ti let. Pokles činí průměrně 8-10% za každé desetiletí v rámci ontogeneze a to jak u fyzicky aktivních, tak inaktivních jedinců [75].

Pohlaví - nižší hodnoty VO₂max u žen jsou přičítány menšímu objemu svalové hmoty, nižší hladině hemoglobinu a krevního objemu a menšímu tepovému objemu ve srovnání s muži [74].

Dědičnost – dědičnost ovlivňuje hodnotu VO₂ max [76], další možný nárůst je možný v rámci procesu stimulace komplexu vytrvalostních schopností v rozsahu 15-20%.

Fyzická aktivita - má důležitý vliv na úroveň VO_2max . Po 3 týdnech na lůžku byl prokázán 25% pokles VO_2max u zdravých mužů.

Pro středně aktivní mladé muže odpovídá hodnotě VO_2max 12 METů, zatímco u osob absolvující aerobní trénink ve formě distančního běhu může VO_2max odpovídat hodnotě 18 - 24 METs (60 až $85 \text{ ml kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$) [74].

Kardiovaskulární klinický stav – v případě klinického nálezu v kardiovaskulárním systému, tento ovlivňuje hodnotu VO_2max . Míra tohoto ovlivnění závisí na stupni diagnostikované poruchy. VO_2max je rovna součinu maximálního srdečního výkonu a maximální arteriovenózní difference kyslíku. Vzhledem k tomu, srdeční výdej se rovná součinu systolického objemu a srdeční frekvence, a protože systolický objem pouze zvýší na určitou úroveň, VO_2max přímo souvisí se srdeční frekvencí. Maximální arteriovenózní kyslíková difference v průběhu cvičení má fyziologickou hranici 15% až 17% objemu, a proto, je-li maximálního úsilí dosaženo, může být VO_2max použito k odhadu maximálního srdeční výdeje [74].

2.2.1.1 VO_2max - průměrné hodnoty u populace, normy, maximální hodnoty

Tab. 4. Průměrné hodnoty VO_2max ($\text{ml. kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) u mužů a žen v různých věkových skupinách. Upraveno dle Fletschera [74].

Věk (r)	Muži	Ženy
20–29	43±7.2	36±6.9
30–39	42±7.0	34±6.2
40–49	40±7.2	32±6.2
50–59	36±7.1	29±5.4
60–69	33±7.3	27±4.7
70–79	29±7.3	27±5.8

Tab. 5. Normy zdatnosti podle maximálního příjmu kyslíku - VO₂max (ml min kg⁻¹) [77]

MUŽI	18-25	26-35	36-45	46-55	56-65	65+
	let	let	let	let	let	let
vynikající	>60	>56	>51	>45	>41	>37
velmi dobrá	52-60	49-56	43-51	39-45	36-41	33-37
nadprůměrná	47-51	43-48	39-42	35-38	32-35	29-32
průměrná	42-46	40-42	35-38	32-35	30-31	26-28
podprůměrná	37-41	35-39	31-34	29-31	26-29	22-25
slabá	30-36	30-34	26-30	25-28	22-25	20-21
velmi slabá	<30	<30	<26	<25	<22	<20
ŽENY	18-25	26-35	36-45	46-55	56-65	65+
	let	let	let	let	let	let
vynikající	>56	>52	>45	>40	>37	>32
velmi dobrá	47-56	45-52	38-45	34-40	32-37	28-32
nadprůměrná	42-46	39-44	34-37	31-33	28-31	25-27
průměrná	38-41	35-38	31-33	28-30	25-27	22-24
podprůměrná	33-37	31-34	27-30	25-27	22-24	19-22
slabá	28-32	26-30	22-26	20-24	18-21	17-18
velmi slabá	<28	<26	<22	<20	<18	<17

Nejvyšších hodnot VO₂max na kilogram hmotnosti obecně dosahují běžci, respektive běžkyně na lyžích. Následují orientační běžci, cyklisté a triatleti. Hodnoty a zejména jejich srovnání je zatíženo určitými limity výpovědní hodnoty vycházející z odlišných zátěžových protokolů jednotlivých specializovaných pracovišť.

Tab. 6. Nejvyšší zaznamenané hodnoty VO₂max (ml . min . kg⁻¹) – mužiZdroj: <http://www.topendsports.com/testing/records/vo2max.htm>

hodnota	Jméno	sport
96.0	Espen Harald Bjerke	běh na lyžích
96.0	Bjørn Dæhlie	běh na lyžích
92.5	Greg LeMond	cyklistika
91.0	Gunde Svan	běh na lyžích
88.0	Miguel Indurain	cyklistika
85.0	Lukáš Bauer	běh na lyžích
85.0	John Ngugi	běh, vítěz OH na 5000m
84.0	Lance Armstrong	cyklistika
82.0	Kip Keino	běh, vítěz OH na 1500m

Tab. 7. Nejvyšší zaznamenané hodnoty VO₂max (ml . min . kg⁻¹) – ženyZdroj: <http://www.topendsports.com/testing/records/VO2max.htm>

hodnota	jméno	sport
78.6	Joan Bendit	běh, vítězka OH v maratónu
76.6	Bente Skari	běh na lyžích
74	Charlotte Kalla	běh na lyžích
72	Marit Bjoergen	běh na lyžích
72	Toini Rönnlund	běh na lyžích
71.2	Ingrid Kristiansen	běh, maratón
67.2	Rosa Mota	běh, maratón

Nejpřesnější postupy stanovení hodnot VO₂max jsou založeny na přímém měření s využitím spiroergometrie za využití obecného funkčního vyšetření [8]. Nepřímé metody s nižší vypovídací hodnotou využívají predikčních rovnic na základě výsledků výkonových testů, nebo dalších fyziologických parametrů (např. hodnot SF, laktát apod.). Tato problematika je podrobně rozpracována v části práce věnované diagnostice vytrvalostních schopností.

2.3 Anaerobní práh

„Princip a pojetí anaerobního prahu vznikly ve spojení s klasickou teorií kyslíkového deficitu a kyslíkového dluhu v šedesátých letech při snaze o nalezení bezpečné hranice zátěže bez nadměrné složky anaerobního metabolismu [78]. Bylo založeno na skutečnosti, že při dlouhotrvající zvyšující se zátěži v určité chvíli dochází v pracujících svalech k nedostatku kyslíku a to je příčinou jednak zvyšující se produkce laktátu, jednak změn v plicní ventilaci a výměně plynů [32]“ [43].

Analýzou kinetiky křivky laktátu při odpovědi organismu na zatížení definovali v roce 1973 Wassermann a McIlroy termín anaerobní práh jako hodnotu spotřeby kyslíku nebo hodnotu intenzity pohybové činnosti, při níž koncentrace laktátu v krvi začíná z klidové hodnoty skokově narůstat a zároveň jsou manifestovány výrazné změny v respirační výměně plynů [79]. Definice je založena na předpokladu, že výkon nad určitou intenzitou iniciuje zapojení svalových vláken v anaerobním režimu se současnou produkcí laktátu.

Starší koncepce vycházely z premisy, že hladina laktátu při přechodu z dominantně aerobního do dominantně anaerobního hrazení energie je asi 4,0 mmol/L. Současné poznatky ukazují, že koncentrace laktátu v kapilární krvi má při maximálním setrvalém laktátovém stavu (MLSS) velkou variabilitu (2 – 8 mmol/L) a nemá žádný vztah ke zdatnosti nebo sportovní výkonnosti [12].

Z hlediska energetického krytí pohybové činnosti jsou zatížení na této úrovni hrazena z 90 % aerobně a z 10 % anaerobně. Časová definice anaerobního prahu říká, že jedinec je schopen pracovat s touto intenzitou alespoň 20 min, vynikající sportovci až 45 min. Z hlediska rozvoje pohybových schopností, ale i rozvoje tzv. aerobní zdatnosti, pak tato intenzita znamená nejoptimálnější intenzitu zatížení. Optimálnost je zde třeba chápat jako minimalizaci času nutného pro rozvoj tréninku vytrvalosti.

„Zatímco praktické aplikace využívající konceptu anaerobního prahu se úspěšně rozšiřovaly, doposud nebylo podáno uspokojivé teoretické vysvětlení tohoto jevu. To je do jisté míry paradoxní situace, kdy v praxi existuje mnoho možností využití, ať už v oblasti sportovního tréninku, kdy je anaerobní práh jedním ze základních vodítek pro stanovování zátěžových pásem či hodnocení trénovanosti, v oblasti diagnostiky tělesné zdatnosti, nebo v oblasti medicínské pro diagnostiku stupně závažnosti řady vnitřních onemocnění a ordinaci vhodné

pohybové aktivity a to vše bez existence věrohodného a všeobecně přijímaného teoretického vysvětlení tohoto fenoménu“ [32] .

Disproporce v teoretické oblasti dokládá i terminologický nesoulad spojený s označením samotného anaerobního prahu [43]. Placheta [80] sumarizuje různá označení tohoto parametru (s uvedením autorů a roku):

- **individuální aerobní práh** Keul et al. (1976) a Stegman et al. (1981)
- **aerobně - anaerobní prahu** Mader et al. (1979)
- **aerobně - anaerobní přechod** Kindermann et al. (1979)
- **počátek akumulace krevního laktátu** (onset of blood lactate accumulation) Sjodin a Jacobs (1981)
- **první a druhý anaerobní práh** Davis et al. (1983) a Ghesquiere et al. (1982)
- **individuální anaerobní přechod** Pessenhofer et al. (1983)

Pojem „**maximální laktátový setrvalý stav**“ (maximum lactate steady state, MLSS, nebo MaxLa_{SS}) a „laktátový práh“ (lactate threshold, LT) reflektuje skutečnost, že anaerobní práh představuje úroveň intenzity pohybové činnosti, kdy dochází k rovnováze mezi produkcí laktátu a jeho utilizací [81].

Placheta [14] v souvislosti s definicí anaerobního prahu hovoří o předělu mezi převážně oxidačním („aerobním“) a oxidačně –neoxidačním („aerobně-anaerobním) krytím energetických nároků. Uvádí pojmy **stresový práh** a **metabolický přechod** a definuje je jako „určitý krátký časový úsek v průběhu stupňovaného zatížení, kdy začne prudce narůstat podíl neoxidační úhrady energie spolu s kumulací krevního laktátu, provázenou téměř stejným molárním poklesem hydrogenuhličitanů i pH krve. Tato metabolická acidóza vede k hyperventilaci, ke snížení parciálního tlaku CO₂ v arteriální krvi a k vzestupu objemu vydýchaného CO₂ i k vzrůstu poměru respirační výměny“ [14].

Skinnera a McLellan [82] popisují tři fáze v průběhu stupňovaného zatížení v závislosti na způsobu získávání energie pro pokrytí stupňujících se energetických požadavků organismu. Tyto fáze jsou vymezeny dvěma hraničními body. Dodávka energie v první fázi je hrazena kompletně za využití aerobních metabolických procesů. Aerobní práh, jak je označován první hraniční bod, je charakterizován zvýšením hodnoty krevního laktátu (2 mmol.l⁻¹) a disproporčním zvýšením poměru minutové ventilace a spotřeby kyslíku. Nástup třetí fáze

označované jako anaerobní práh je vymezen charakteristickým bodem v odpovědi organismu na vzrůstající zatížení, při němž se hodnoty krevního laktátu pohybují okolo 4 mmol.l^{-1} a dalším zvýšením poměru minutové ventilace a minutové spotřeby kyslíku [43, 82].

V současnosti je vzestup laktátu v krvi vysvětlován nouzovou redistribucí krve, která vede k nedostatečnému prokrvení jater. Při zátěži se tvoří LA, který je pufrována převážně systémem plazmatického bikarbonátu. Vyšší intenzita pohybu je spojena s vyšší produkcí laktátu. Na určité úrovni stupňovitě zvyšované zátěže vzniká nepoměr mezi produkcí a užitím laktátu, což vede k nelineárnímu vzestupu koncentrace krevního laktátu. Zatížení na této úrovni je pak nazýváno anaerobní práh. Bod, na kterém začíná stoupat hladina laktátu v krvi, nemůže podat informaci o vzniku anaerobního metabolismu, protože laktát se tvoří, i když je k dispozici dostatečné množství kyslíku. Začátek nelineárního vzestupu koncentrace krevního laktátu je dán nepoměrem mezi jeho tvorbou a odbouráváním, což je způsobeno změnou krevní redistribuce při těžké zátěži. Vasokonstrikce splachinické oblasti vede ke snížení perfúze jater, ve kterých je laktát částečně metabolizován. Dochází ke vzniku obráceného koncentračního gradientu pro laktát (laktát směrem do krve). Stejný proces probíhá i v intenzivně pracujícím svalu. Z vyšší hladiny laktátu nelze tedy usuzovat na start anaerobního metabolismu, ale pouze na to, že zátěž je intenzivnější [83] [43].

Nový pohled na anaerobní práh přinesl i název **Stresový práh**. Ztrácí přívlastek anaerobní, protože:

- zlom křivky respiračních ukazatelů v intenzitě zátěže odpovídající anaerobnímu prahu mají i lidé, kteří nemohou vytvářet krevní laktát pro deficit enzymů anaerobní glykolýzy [84];
- laktát je metabolizován pracujícími svaly, tudíž by měl při nízké intenzitě zátěže, po počátečním vzestupu, spíše klesat, což se ve skutečnosti neděje;
- redistribuce krve v neprospěch jater vede k obrácenému koncentračnímu gradientu pro laktát - na nižší zátěži je laktát produkován nepracujícími svaly a konzumován myokardem, pracujícími svaly i játry [43, 83].

„V současném pojetí je nutné na hodnotu anaerobního prahu hledět ne jako na konkrétní bod, ale jako spíše na pásmo, v němž se anaerobní práh, lépe snad anaerobní přechod, nachází“ [43].

„Je pozdě na to, navrhnout změnu názvu anaerobního prahu. Použití termínu je všeobecné rozšířeno, nejen ve vědecké a klinické literatuře, ale také mezi trenéry, sportovci a fyzicky aktivními osobami“ [85]. Nicméně, různé metody jak dekovat „kritickou“ hodnotu intenzity pohybové činnosti, pro kterou se ne zcela šťastně vžil název anaerobní práh, přinášejí odlišné výsledky. Proto je třeba zohlednit, že tyto metody poskytují pouze odhad, nebo aproximaci anaerobního prahu a k tomuto nechtě je přihlíženo [85].

2.3.1 Metody stanovení anaerobního prahu

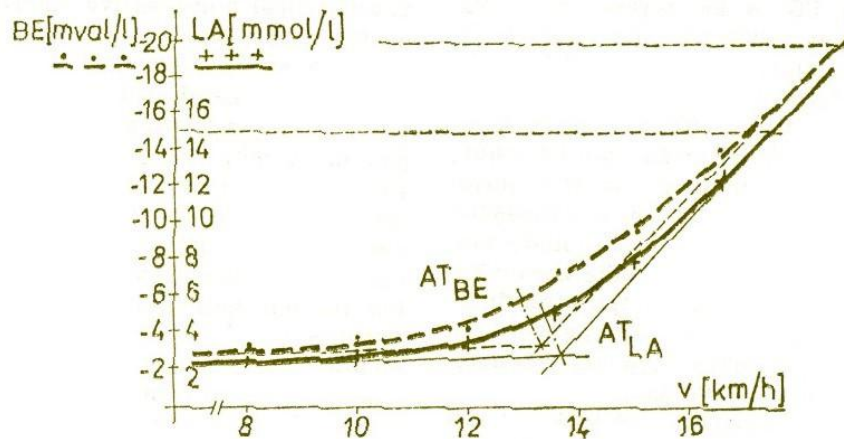
Rozlišujeme dva základní metodické postupy, invazivní a neinvazivní.

a) Invazivní metody detekce anaerobního prahu [43]

Invazivní, neboli metabolické určení anaerobního, přesněji laktátového prahu (LT), je založeno na exponenciálním vzrůstu laktátu (nebo poklesu přebytku bází) spolu s rostoucí acidózou [80]. Část autorů podporuje Maderovu [86] koncepci laktátového prahu vymezeného kritickou hodnotou 4 mmol.l^{-1} . Tato hodnota však ne vždy koresponduje s individuálními podmínkami látkové výměny. Billat et al. [87] konstatují, že ačkoliv průměrná hodnota LT je spojena s hodnotou 4 mmol.l^{-1} , může individuálně kolísat v rozmezí $2,2 - 6,7 \text{ mmol.l}^{-1}$. K obdobným závěrům docházíme i v rámci našich měření.

Individuální charakteristiky a odlišnosti zohledňuje stanovení ANP pomocí hodnocení průběhu závislosti laktátu na stoupajícím zatížení. Jedním z možných způsobů posouzení této závislosti je grafické stanovení (obr. 14). Obdobným způsobem je možné hodnotit i změny úbytku bází [88].

Obr. 14. Princip grafického stanovení ANP hodnocením závislosti laktátu, resp. BE na zatížení. ANP je průsečík osy úhlu tečen této závislosti v bodech nejnižšího zatížení a v bodě mimo rozsah hodnot charakteristických pro danou skupinu (převzato, Bunc [88].)



Podmínkou využití metody lineární regrese s průsečíkem dvou přímek je protokol s minimálně čtyřmi stupni zátěže. Míra přesnosti stoupá s počtem stupňů zátěže a tím i počtem souřadnicových bodů [14].

Publikovány byly i metody vhodné pro stanovení laktátového prahu u pacientů s limity ve výkonnosti (ischemická choroba srdeční aj.), kde je v rámci zátěžového protokolu nutné absolvovat pouze tři stupně [89].

Přestože je koncept ANP a jeho stanovení invazivními metodami široce rozšířen, v odborné literatuře nalezneme i výzkumné koncepty poukazující na limity výpovědní hodnoty těchto postupů stanovení ANP. Předmětem diskuse jsou zejména následující okruhy [90]:

- problematika subjektivního posuzování průběhu závislosti „laktátové křivky“ na zatížení;
- metodika odběru krevních vzorků. Odběry z arteriální, venózní, smíšené venózní a kapilární krve bez přihlédnutí k možným diferencím hladiny laktátu (vzhledem ke zdroji vzorku je diskutabilní);
- byl prokázán značný rozdíl mezi množstvím laktátu v periferní krvi a pracujících svalech [14, 91, 92];

- hladina laktátu v krvi souvisí s množstvím sacharidů v těle, zejména při opakovaném vyšetření je třeba zhodnotit nutriční chování probandů;
- teoreticky správné je testovat každý stupeň zátěže izolovaně (s 1 – 2 denními přestávkami), jedině tak lze dosáhnout rovnovážného stavu a zjistit hladinu laktátu odpovídající dané zátěži [93];
- v praxi následují jednotlivé stupně zatížení za sebou s několikaminutovými přestávkami. Protože časový průnik laktátu do periferie trvá několik minut, není jasné, při jaké úrovni zátěže nastává kumulace laktátu. Často je omezován i počet odběrů laktátu, takže křivka proložená těmito body příliš neodpovídá skutečnosti [93].

b) Neinvazivní metody detekce anaerobního prahu [43]

V rámci těchto metod hodnotíme změny některých respiračních parametrů nebo srdeční frekvence v závislosti na stoupajícím zatížení, popřípadě hodnotíme změny jejich vzájemných vztahů [88]. Vycházíme-li ze změn ve ventilačně-respiračních parametrech, hovoříme o ventilačním prahu. Jeho detekce je založena na originální koncepci Wassermana [79]. Při zvyšující se intenzitě pohybové činnosti se zvyšuje dodávka CO_2 , což vede k hyperventilaci a ke změnám při výměně plynů. Klasické neinvazivní stanovení považuje za ANP bod, kde současně dochází k nelineárnímu zvýšení ventilace a výdeje CO_2 , snížení využití kyslíku, aniž dojde ke snížení % CO_2 a ke zvýšení respiračního kvocientu [88].

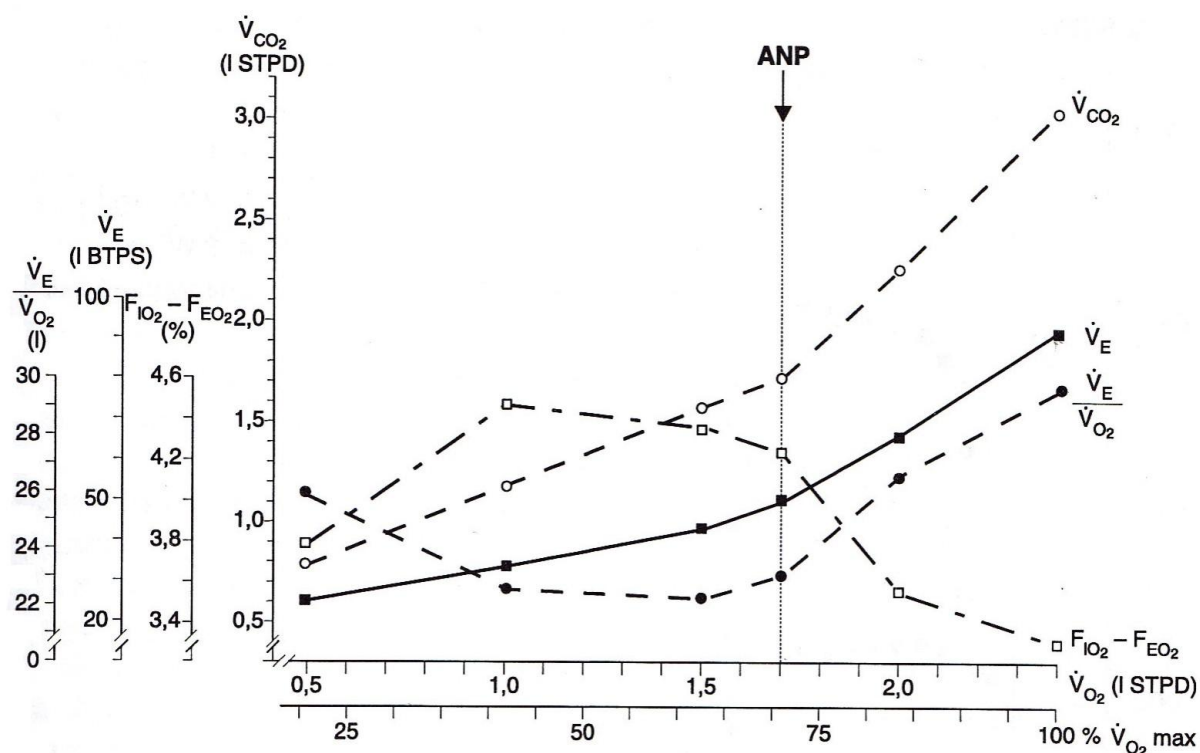
Dvou nebo tříložkových lineárních matematických modelů lze využít k detekci ANP ze závislosti progresivně se zvyšující zátěže a následujících parametrů:

- minutová ventilace (V_E);
- minutový objem CO_2 (V_{CO_2});
- expirovaný objem CO_2 ;
- poměr V_{CO_2} a V_{O_2} ;
- srdeční frekvence.

Podobně lze použít dvousložkový lineární model pro popis závislosti V_E na V_{O_2} , nebo V_E na V_{CO_2} [88].

Výše uvedené vztahy jsou znázorněny na obr 15.

Obr. 15. „V závislosti na vzrůstu V_{O_2} stoupají hodnoty V_E a V_{CO_2} zpočátku téměř lineárně. Přibližně na úrovni 60-70% VO_{2max} dochází k určitému zlomu a oba parametry vzrůstají rychleji než V_{O_2} současně dochází po přechodném vzestupu i ke zřetelnému poklesu utilizace kyslíku ($F_{IO_2} - F_{EO_2}$) a k náhlému vzestupu ventilačního ekvivalentu (V_E / V_{O_2}). Oblast zlomu v průběhu křivek odpovídá tzv. ventilačnímu „anaerobnímu“ prahu“ [14].



Na ventilační odpovědi organismu není závislá tzv. metoda **V-slope**, která vychází ze vztahu alveolárního V_{CO_2} a alveolární VO_2 . Metodou dech po dechu je zjištěn poměr VO_2 a V_{CO_2} při střední úrovni zátěže. Produkce CO_2 je vyhodnocena oproti spotřebě O_2 a pomocí počítačové analýzy určíme nejnižší a nejvyšší hodnoty lineární složky vztahu $V_{CO_2} - VO_2$. Matematický model určí regresní přímku počáteční a konečné části křivky a najde bod jejich zkřížení. Tento bod odpovídá ANP a definuje spotřebu O_2 , nad kterou je CO_2 tvořen pufrováním kyseliny mléčné [94].

c) Vztah mezi invazivním a neinvazivní určením anaerobního prahu [43]

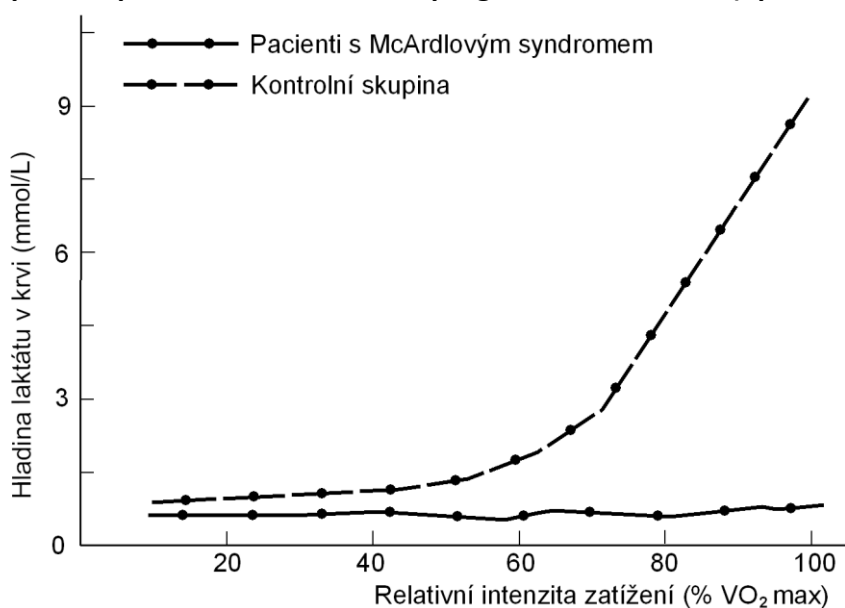
Přestože výzkumníci v současné době používají ke stanovení ANP obou metod, tedy jak laktátového, tak ventilačního prahu, vztah mezi nimi je stále kontroverzní [95].

Přínosná je práce Hagbergova z roku 1981 [84], ve které autor popřel původní klasickou hypotézu o vztahu mezi zvýšenou produkcí laktátu a současnými, tímto zvýšením způsobenými, změnami ve ventilačně-respiračních parametrech.

Ve studii na pacientech s McArdlovým syndromem (enzymatickým defektem svalové fosforylázy, kde tito pacienti nemohou katabolizovat svalový glykogen, a proto u nich nedochází k produkci laktátu) prokázal, že zlom ve ventilační odpovědi na zátěž existuje v nezměněné formě i u nich (viz obr. 16.) a že tedy to, co běžně nazýváme ventilační práh, vůbec nezávisí na množství laktátu vzniklého ve svalech a poklesu pH krve. Toto zjištění potvrdilo, že původně prokazovaný korelační vztah mezi ventilačním prahem a laktátovým prahem je náhodný a tyto dva fenomény nejsou příčinně podmíněné [84].

Podobně poznatky prezentovali další autoři ve smyslu diskutabilní, případně nulové ekvivalence stanovení ANP metodami invazivními (LT) a neinvazivními (VT) [96-98].

Obr. 16. Průběh vzestupu hladiny krevního laktátu u pacientů s McArdlovým syndromem a kontrolní skupinou v průběhu kontinuálního progresivního zatížení (upraveno podle [99])



Komparativní studii metod sloužících k detekci anaerobního prahu vypracoval Bunc aj. [88]. Srovnal invazivní a neinvazivní metody stanovení ANP vycházející ze sledování kinetiky laktátu, ventilačně-respiračních ukazatelů a také z hodnocení kinetiky srdeční frekvence. Dospěl k závěru, že všechny postupy stanovení ANP kromě metody popisující závislost ventilačních objemů a VCO₂ na stoupajícím zatížení nevykazují rozdílné výsledky hodnot ANP, pokud je splněna podmínka aerobního zatěžování. Výsledky všech hodnot stanovení ANP se

nacházely v intervalu mezi krajními hodnotami, jež poskytla metoda stanovení ANP ze závislosti V_E na zatížení (nejnižší hodnoty) a metoda závislosti VCO_2 na stoupajícím zatížení (nejvyšší hodnoty).

Podobná zjištění uvádí ve své práci Wyatt a kol. [100]. V meta-analytické studii (61 studií) byl zjišťován vztah mezi laktátovým a ventilačním prahem a maximální spotřebou kyslíku s následujícími zjištěními:

- maximální příjem kyslíku není dobrým predikátorem laktátového a ventilačního prahu;
- LT a VT jsou podobné;
- měřicí technika může ovlivnit hodnotu VT;
- úroveň zdatnosti ovlivňuje hodnotu LT.

Objektivitu stanovení ventilačního a laktátového prahu zkoumal Gladden [101]. Byla zjištěna nízká objektivita mezi výsledky jednotlivých posuzovatelů a nízká a nevýznamná korelace. Také byla zaznamenána nízká ekvivalence mezi výsledky obou způsobů stanovení anaerobního prahu.

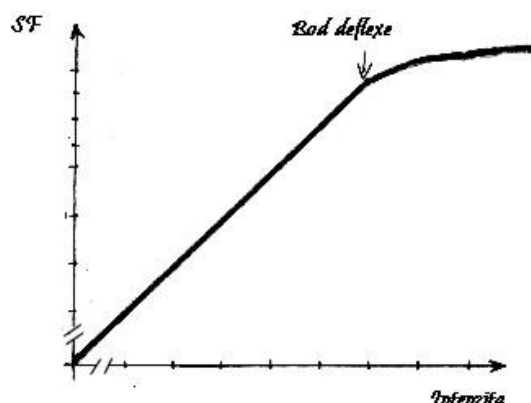
Výzkumy publikované v této souvislosti s otázkou ekvivalentnosti invazivního a neinvazivního stanovení anaerobního prahu vykazují známky značné šíře názorů a hypotéz vztahující se k této problematice. Nejen ekvivalentnost, ale i samotný koncept anaerobního prahu, metodika jeho stanovení, interpretace získaných dat i fyziologický podklad tohoto fenoménu je stále předmětem diskuse.

Neinvazivní testy pro stanovení ANP

Conconiho test

Na základě testování vrcholových cyklistů přinesli vědci charakteristický popis křivky závislosti srdeční frekvence na intenzitě stupňovaného zatížení ve tvaru S, kdy je lineární závislost charakteristická pouze pro submaximální hodnoty a při nižším a zejména při vyšším zatížení vykazuje odklon od linearity. Horní bod odklonu od linearity vztahu srdeční frekvence a intenzity činnosti je podle Conconiho totožný s hodnotou ANP [19] (obr. 17.) Detailněji se tomuto testu věnujeme ve výzkumné části práce.

Obr. 17. Conconiho princip, převzato [43]



Stanovení ANP dle výkonu v terénním testu

- Testované osobě je předepsáno absolvovat hodinový, popř. 10km běh maximální intenzitou se zaznamenáváním hodnot SF. Průměrná hodnota pak má korespondovat s hodnotou ANP. Test je určen pro trénované sportovce [102].
- Doporučujeme zatížení v trvání 8-12 min, absolvované maximální intenzitou. V praxi to znamená např. běh na vzdálenosti 2 000-3 000 m. Intenzita zatížení na úrovni anaerobního prahu pak odpovídá 90 % průměrné intenzity – rychlosti pohybu v tomto testu. [103]

Odhad úrovně ANP z maximální srdeční frekvence

Hodnoty odklonu srdeční frekvence od linearity se pohybují v rozmezí mezi 87 a 92 % maximální srdeční frekvence a odpovídají ventilačnímu prahu [31]. Toto pásmo je nezávislé na zdatnosti, pohlaví a věku. Platí pouze to, že vyšší hodnoty platí pro děti a mládež a dolní hodnoty pro dospělé jedince.

Při praktickém použití se nedopustíme velké chyby, použijeme-li pro stanovení SF na úrovni anaerobního prahu hodnoty 90 % maximální SF. Problémem se potom stává pouze stanovení SF max. K tomuto účelu, doporučujeme zatížení v době trvání okolo 4 min, absolvované s maximální intenzitou pohybu" [103].

2.4 Ekonomika pohybu

Vyjadřuje vztah mezi spotřebou kyslíku a intenzitou pohybu. Je typicky definována jako energetická poptávka organismu při dané submaximální intenzitě pohybové činnosti. Je měřena pomocí stanovení spotřeby kyslíku v setrvalém stavu (steady-state) a koeficientem respirační výměny. Nejčastěji je vyjádřena v ml O₂ na kg tělesné hmotnosti za jednotku času (min) při zvolené míře intenzity pohybové aktivity (rychlost v kmh⁻¹, respektive výkon ve W). Většina výzkumů se zabývá ekonomikou běžeckého pohybu. Stanovuje se v rámci laboratorního vyšetření s využitím běhátko, přestože běžecký pohyb na běhátku není zcela přesnou analogií běžeckého pohybu v terénu [104].

Analogicky lze stanovit ekonomiku pohybu na různých ergometrech (cyklistický, rumpálový apod.)

Většina autorů pokládá ekonomiku pohybu za vrozenou vlastnost, kterou lze mírně zdokonalit, ale ne podstatným způsobem změnit [8]. Faktory ovlivňující běžeckou ekonomiku však nejsou čistě biomechanické [105]. Lze je rozdělit dle Saundeře [104] do těchto skupin:

- Fyziologické faktory
- Somatické faktory
- Biomechanické faktory
- Tréninkové metody
- Endogenní faktory

Ekonomika pohybu roste s **věkem**, mladší jedinci díky tomu vykazují menší anaerobní rezervu, která je limituje v aerobních testech oproti starším jedincům při stejné hodnotě VO₂max [106].

Překvapivý fakt v rámci studie vlivu **pohlaví** na úroveň ekonomiky pohybu publikoval Glace, et al. Uvádí, že běžecká ekonomika je důležitým faktorem výkonu u elitních atletů, ne však u atletek. Porovnávali běžeckou ekonomiku u elitních a výkonnostních atletů a atletek. Elitní atleti využívali o 6% méně kyslíku oproti výkonnostně slabším atletům. Obdobný rozdíl nebyl nalezen mezi elitními a výkonnostními atletkami [107].

Somatické parametry

Model ideální somatické stavby pro optimální vytrvalecký výkon je předmětem řady studií. Ideálem jsou nízké hodnoty BMI, gracilita, která pasivně zvyšuje relativní hodnoty VO₂max. Důležitá je zejména štíhlost a délka dolních končetin. Vzdálenost segmentu dolních končetin od kyčelního kloubu (osa pohybu) je přímo úměrná míře vlivu hmotnosti těchto segmentů na spotřebu kyslíku a ekonomiku pohybu. Štíhlost dolních končetin, zejména lýtek je podle mnoha studií pravděpodobně jedním z hlavních vysvětlujících převahu východoafrických běžců na vytrvalostních tratích [108].

Biomechanické faktory

Kromě mechanických faktorů, kam patří např. reakce podložky, můžeme do této oblasti začlenit problematiku běžecké techniky. Její jednotlivé aspekty se podílejí na úrovni běžecké ekonomiky. Patří sem délka kroku, frekvence a jejich vzájemný poměr, charakteristiky došlapu na podložku, apod.

Stabilita délky kroku je výsledkem dlouhodobého tréninku. Obecně platí pozitivní vztah mezi kvalitou běžecké techniky a úrovní ekonomiky pohybu [108].

Flexibilita

Touto problematikou se zabývá řada studií, není však zcela zřejmé, jaká je optimální míra flexibility pro maximální míru ekonomičnosti pohybu. Ukazuje se však, že z řady často protichůdných výsledků šetření, vyplývá fakt, že nižší úroveň flexibility (např. vzhledem k doporučovaným zdravotním cílovým zónám) má pozitivní vztah k ekonomice běžeckého pohybu.

Nadměrná flexibilita (diagnostikovaná testem „sit-and-reach“) může negativně ovlivnit běžeckou ekonomiku [109] [110]. Pozitivní vztah mezi ekonomikou a nízkou flexibilitou boční rotace stehen v kyčlích byla prokázána u výkonnostních distančních běžců [111].

Závěr, že strečink nemá vliv na běžeckou ekonomiku, je výsledkem přehledové studie zahrnující výsledky celkem 24 studií [112]. Grasgruber uvádí závěr, že „nejekonomičtější vytrvalci se vyznačují vyšší tuhostí a silou svalstva lýtek, ale větší poddajností ve stehenním svalu“ [113].

Tab. 8. Biomechanické a somatické faktory ve vztahu k lepší ekonomice běhu [114]

Faktor	Optimum pro lepší ekonomiku běhu
Výška	průměrná, nebo mírně podprůměrná (muži) a mírně nadprůměrná (ženy)
Somatotyp	převažující ektomorfní nebo mezomorfní komponenta
tělesný tuk	nízké %
morfologie dolní končetiny	distribuce tělesné hmoty blíže ke kyčelnímu kloubu
Pánev	Úzká
délka chodidla	Podprůměrná
délka kroku	přirozená, odpovídající potřebě běžce, aplikovaná po dlouhou tréninkovou dobu
Kinematika	nízká vertikální oscilace těžiště těla
	více ostrý úhel v kolenním kloubu
	menší rozsah pohybu ale větší úhlová rychlost plantární flexe při odrazu
	pohyb paží bez nadměrného rozsahu
Kinetika	nízké hodnoty reakce podložky
elastická energie	efektivní využití akumulované elastické energie
běžecký podklad	střední poddajnost
běžecká obuv	lehká, ale velmi dobře tlumená

Endogenní faktory

Vedle klimatických podmínek a nadmořské výšky výrazně ovlivňuje ekonomiku pohybu i odpor vzduchu. Množství energie, které musí atlet v terénních podmínkách vynaložit na překonání odporu vzduchu, stoupá s rychlostí běhu. Výsledky studií zkoumající tento faktor se liší. Podle nich běžci na střední tratě musí vynaložit 8% [115] respektive 4% [116] z celkového výdeje energie na překonání odporu vzduchu. U maratónců klesá tento podíl na

2% [116]. Tento fakt je v rámci zátěžového testování na běhátkovém ergometru kompenzován jeho sklonem. Podle studie Jonese a Dousta je vhodný 1% sklon běhátka jako kompenzace chybějícího odporu vzduchu oproti terénním podmínkám [117].

Mezi endogenní faktory patří i hmotnost použité obuvi i typ oblečení. Tyto faktory také mohou negativně ovlivnit mechanickou efektivitu běhu [108].

3 Vytrvalostní schopnosti dětí a mládeže

Stanovení míry adaptace na zátěž u dětí je ve srovnání s dospělými obtížná, protože na její ukazatele působí současně dva faktory s obdobným působcem, a sice růst a vývoj na jedné straně a na druhé vliv tréninku a pohybové aktivity [8].

Co se týká fyziologické odpovědi na zatížení, není rozdíl mezi dospělými a dětmi. V rámci studie s prepubertálními chlapci, kteří se neúčastnili pravidelného sportovního tréninku, ale v rámci spontánní pohybové aktivity se dostatečně pohybovali v přírodním prostředí, bylo však prokázáno, že neexistují podstatné kvalitativní rozdíly mezi reakcí dětí a dospělých na zatížení vytrvalostního typu. Dětský organismus je schopen fyziologickým způsobem zvládnout vytrvalostní zatížení a má dostatek možností, jak ekonomicky produkovat potřebnou energii. Reaguje a chová se přibližně tak, jako trénovaný dospělý [8, 118].

Vývoj jednotlivých složek aerobní zdatnosti v průběhu ontogeneze

1) Maximální spotřeba kyslíku

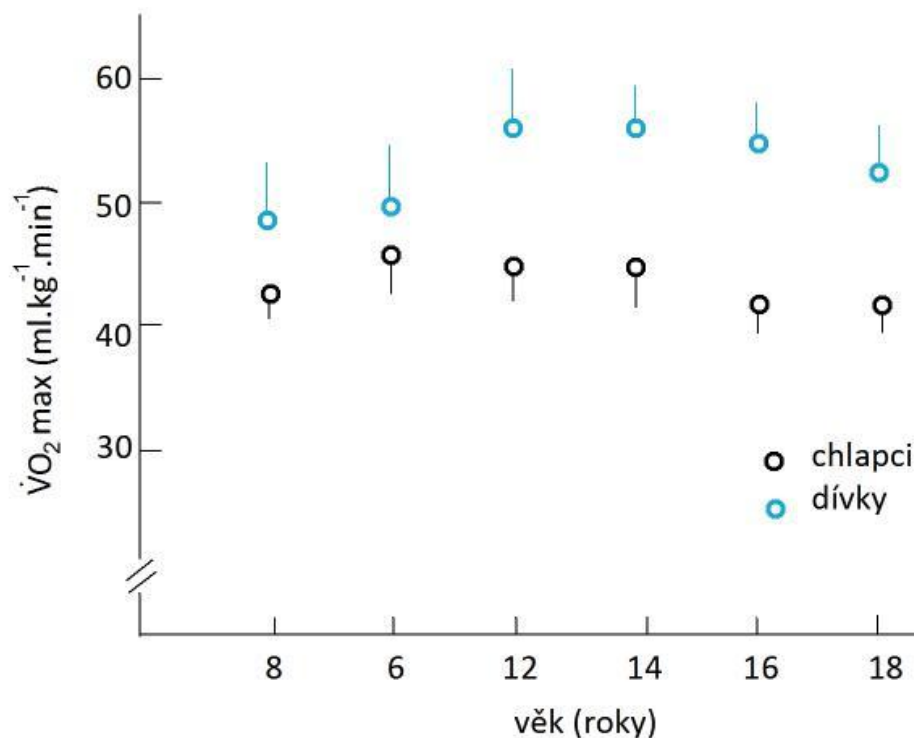
U netrénovaných jedinců se maximální spotřeba kyslíku zvyšuje po celou dobu školní docházky [93]. U chlapců do 16, u dívek do 13 let. U dívek v období adolescence následuje období stagnace hodnot. V průměru jsou hodnoty VO_2max u chlapců po celou dobu ontogenetického vývoje vyšší než u dívek. Ve věku 10 -12 let dosahují hodnoty dívek 85-90% průměrných hodnot chlapců. Po změnách doprovázející stádium pubescence klesá tato hodnota k 70% [106, 119]. Absolutní hodnoty VO_2max jsou v pozitivním vztahu k množství aktivní tělesné hmoty a výšce postavy [120].

Relativní hodnoty VO_2max jsou poměrně stabilní pro chlapce v prepubescentním a pubescentním období ontogeneze. U dívek to platí pro věkové rozpětí 5-10 let, poté nastává pokles způsobený narůstáním pohlavně specifického množství tělesného tuku [121] [120]. U pravidelně trénujících chlapců relativní hodnoty VO_2max stoupají, u pravidelně trénujících dívek tato hodnota neklesá, ale stagnuje [119].

V rámci diagnostiky je vhodnější u dětské populace hovořit o údajích VO_{2peak} , neboť zřejmě vlivem motivace velké procento dětí (30-50%) [121] v zátěžových testech nevykazuje platotné k potvrzení detekce hodnoty VO_{2max} .

Hodnoty VO_{2max} na kg hmotnosti jsou u menších dětí vyšší než u dospělých. Tento fakt znamená, že menší dítě vydává při pohybu více energie na kg hmotnosti než větší děti nebo dospělý. Je to způsobeno jednak vyšším metabolismem, v rámci kterého je zahrnuta i růstová složka, která se podílí asi 10%. Dalšími faktory jako nezralé řízení motoriky, kratší končetiny a jiné neznámé faktory způsobují nižší pracovní účinnost oproti dospělým. Hlavním rozdílem oproti dospělým je menší závislost aerobní výkonnosti na rozsahu pohybové aktivity [8].

Obr. 18. Maximální aerobní výkon českých chlapců a dívek během růstu vztažený na kg hmotnosti (převzato [8]cit [93])



2) Anaerobní práh

Není mnoho prací, které jsou primárně zaměřeny na detekci anaerobního prahu primárně u dětské populace. Zajímavá zjištění prezentuje studie Borenhama[120]. Uvádí, že zlepšení ve vytrvalostním běhu je pravděpodobně více ovlivněno změnami na úrovni anaerobního prahu a ekonomiku pohybu než zvýšením hodnoty VO_2max .

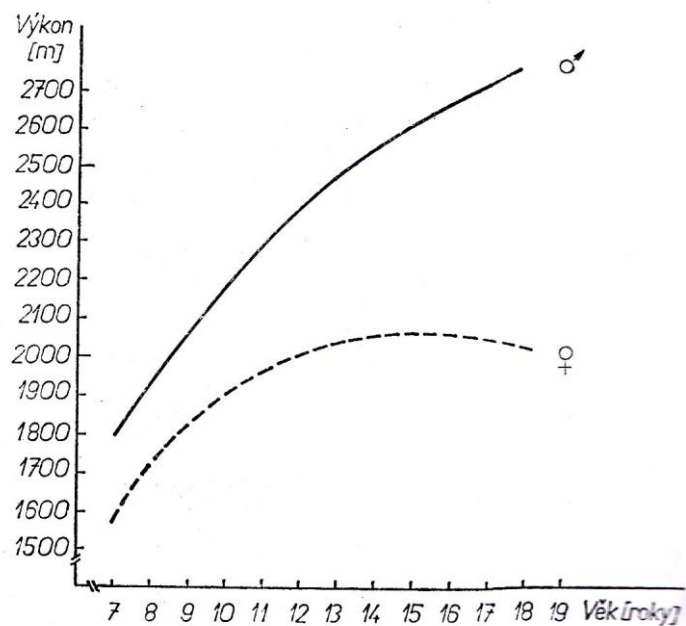
3) Ekonomika pohybové činnosti

Tato složka aerobní zdatnosti stoupá s narůstajícím věkem. Starší jedinci vykazují vyšší aerobní rezervu oproti mladším při vykonávání shodných pohybových aktivit. Toto je způsobeno vyšší úrovní pohybové ekonomiky. Tento rozdíl v aerobní rezervě je pravděpodobně příčinnou lepších výkonů v aerobních testech starších jedinců oproti mladším, byť se shodnou úrovní relativních hodnoty VO_2max [106].

Celkově je vytrvalostní výkonnost dětí funkčně omezována nižší ekonomikou dýchacího a oběhového systému (vyšší tepová dechová frekvence při relativně stejném zatížení) a dřívějším přechodem na anaerobní uvolňování energie (na nižší absolutní úrovni výkonu). Tyto nedostatky jsou kompenzovány relativně vysokou hodnotou maximální spotřeby kyslíku, rychlejší aktivitou aerobního metabolismu na začátku zatížení a dlouhodobou akcelerací morfologických a funkčních změn [6].

V průběhu ontogeneze zaznamenáváme ve vytrvalostní výkonnosti první výraznější přírůstky vytrvalosti jak u chlapců, tak u dívek v období mladšího školního věku. Do zhruba dvanáctého roku života jsou rozdíly v přírůstcích výkonnosti u obou pohlaví nevýrazné. Po třináctém roce života u chlapců pokračuje přirozená tendence nárůstu výkonnosti do období adolescence. U dívek naopak dochází ke stagnaci nebo i k poklesu výkonnosti (obr 19). Tento stav má obdobné příčiny jako výše uvedená stagnace hodnot VO_2max . Tedy postpubescentní změny funkční proporcionality a jednak výraznými změnami ve způsobu životního stylu po ukončení školní docházky (úbytek dostatečné pohybové stimulace [2]).

Obr. 19. Přibližná křivka výkonnosti čs. mládeže v testu běh po dobu 12 min. Převzato [2]



Senzitivní období pro dynamickou vytrvalostní schopnost je ve 14-15 letech, u chlapců pak dále v 16 a 17 letech. Pro statickou vytrvalostní schopnost svalů pletence ramenního je optimální rozvoj v 11-13 letech a mezi 15. a 17. rokem. Pro stehenní a lýtkové svaly je to věk 11-13 let, pro svaly břišní 9-11 let. „Ze všech literárních poznatků vyplývá, že se závěrečným rozvíjením globální vytrvalosti (aerobní) je možné začít v 7 letech. Důraz pak klást na rozvoj v období pubertální akcelerace a to jak u chlapců, tak i dívek. Záměrný rozvoj anaerobní vytrvalosti má být založen na aerobním základu a měl by být zahájen v 16-17 letech“ [6].

Hypotetický model senzitivních období pro rozvoj jednotlivých typů vytrvalostních schopností publikoval Belej [122] a Zapletalová [123]. Viz tab. 9.

Tab. 9. Senzitivní období pro rozvoj vytrvalostních schopností. Upraveno dle [122].

Vytrvalost	Věk (roky)										
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Globální	X					X	X	X	X	X	
silová					X	X	X				
staticko - silová						X	X	X	X		
rychlostní								X	X	X	

Tab. 10. Senzitivní období pro rozvoj globální vytrvalostních schopností. [123].

Pohlaví	Senzitivní období (roky)	Zdroj
CH/D	vývojově neutrální	Winter 84 [124]
CH	7-8	Šemetka 82 [125]
D	7-9	
CH/D	7-11	Havlíček 96 [123]
CH	7-9, 14-16	Moravec 90 [126]
D	7-11	

Není-li vytrvalostní výkonnost nadále stimulována systematickým tréninkem, dochází po 25. roce života i mužů přirozenému úbytku výkonnosti. Na druhou stranu, při dostatečné a systematické zátěžové stimulaci vytrvalostních schopností nemusí v rozmezí 20 až 50 let k podstatnému poklesu úrovně vytrvalostních schopností dojít [2].

Geografickou variabilitu výkonů populace ve věku 7-18 let v rámci metaanalytické studie zkoumal Tomkinson (2007) [127]. Hrubá skóre z 1 185 656 výsledků vytrvalostního člunkového běhu na 20 m v rámci baterie Eurofittest byla převedena z- skóre. V případě nedostupných zdrojových dat byla použita metoda Monte Carlo. Celkově nejvyšších výkonů bylo dosaženo probandy ze severní a střední Evropy. Výsledky práce potvrzují vztah

výkonnosti a socio-kulturních faktorů, stejně jako postavení pohybových aktivit a sportu v národnostním povědomí [127]. V tabulce 11 je uveden vážený průměr z-skóru pro test Vytrvalostní člunkový běh na 20 metrů.

Tab. 11. Vážený průměr z-skóre, standardní chyba z- skóre a velikost výběru pro Vytrvalostní člunkový běh na 20m. [127].

	chlapci			dívky		
	z	SE	n	z	SE	n
Belgie	+0,11	0,01	9 375	-0,02	0,01	9229
Česká republika	+0,43	0,06	224	+0,73	0,08	215
Estonsko	+0,91	0,02	2461	+1,05	0,02	2774
Finsko	+0,53	0,05	511	+0,73	0,04	598
Francie	+0,46	0,02	3535	+0,39	0,02	3385
Island	+0,65	0,02	3960	+0,94	0,02	3681
Itálie	-0,15	0,02	2322	-0,48	0,02	3217
Litva	+0,69	0,02	764	+0,58	0,02	837
Maďarsko	-0,01	0,02	428	+0,38	0,02	885
Německo	+0,17	0,05	497	+0,15	0,04	480
Nizozemsko	-0,09	0,02	1021	-0,18	0,03	853
Polsko	-0,17	0,01	37249	-0,13	0,01	36496
Řecko	-0,42	0,01	3070	-0,51	0,01	2997
Slovensko	+0,16	0,02	2445	+0,10	0,02	1858
Španělsko	+0,02	0,01	7090	-0,05	0,01	7012
Švýcarsko	-0,26	0,02	1588	-0,40	0,02	1589
Turecko	-0,20	0,10	72			
V. Británie (Sev. Irsko)	+0,20	0,02	2274	-0,08	0,02	2365

4 Věk vrcholné výkonnosti ve vybraných vytrvalostních disciplínách

Následující údaje jsou výsledkem statistického zpracování výsledků ME, MS a OH v rozpětí let 1970 – 2007, které publikoval ve své práci Vobr [128].

Tab. 12. Věk vrcholné výkonnosti atletů mužů ve vybraných běžeckých disciplínách [128]

	400 m	800 m	1500 m	3 km	5 km	10 km	Maraton
N	214	213	213	123	90	90	90
min (roky)	18,3	18,9	20,4	19,8	18,5	19,5	22,4
max (roky)	33,0	35,4	35,1	34,4	36,2	37,5	40,2
průměr (roky)	24,4	24,6	25,4	26,2	26,1	26,3	29,4
SD (roky)	2,8	3,0	2,9	2,9	3,9	3,9	4,0

Tab. 13. Věk vrcholné výkonnosti atletek žen ve vybraných běžeckých disciplínách [128]

	400 m	800 m	1500 m	3 km	5 km	10 km	Maraton
N	213	211	210	126	39	63	72
min (roky)	17,3	19,0	18,4	18,7	18,2	15,4	21,8
max (roky)	37,0	37,0	44,7	38,6	36,4	32,8	38,5
průměr (roky)	25,8	24,5	27,3	27,0	25,7	26,3	29,5
SD (roky)	3,3	3,9	4,7	4,2	4,0	3,9	3,8

5 Diagnostika vytrvalostních schopností

Problematikou diagnostiky vytrvalostních schopností se zabýváme s ohledem na zaměření výzkumné části této práce. V této stati se pokoušíme systematizovat dostupné testové nástroje. Dostupná literatura uvádí celou řadu testů a množství variant původních testových protokolů. K dispozici je také množství predikčních rovnic, markantní je toto např. u predikce maximální spotřeby kyslíku. Tyto jsou vázány na konkrétní výzkumy u konkrétních výzkumných souborů.

Podle našeho názoru je nutné zaměřit výzkumnou práci ne toliko na tvorbě nových motorických testů, ale k přesnější standardizaci, objektivizaci a postihu míry reliability a variability stávajících testů a testových systémů. V rámci sekulárních trendů je nutné věnovat se otázkám zpřesnění norem.

Ve větší míře se věnujeme testům vytrvalostních schopností v rámci české unifikované baterie Unifittest 6-60. Tyto jsou dle našeho názoru vhodné pro testování základní motorické výkonnosti v oblasti globálních vytrvalostních schopností u dětí i dospělých jak v rámci České republiky, tak v rámci evropského prostoru.

Na úroveň vytrvalostních schopností usuzujeme z výsledků standardizovaných motorických testů a funkčních zkoušek. Tyto diagnostické nástroje lze systematizovat dle různých kritérií:

- prostředí testování (kde testujeme)
- účel testování (co testujeme)
- pohybový obsah testování (jak testujeme)
- co hodnotíme (výkon nebo reakci organismu na zatížení).

Přičemž toto rozdělení není vyčerpávající, může být dále členěno na jednotlivé subsystémy a je třeba také počítat s faktem, že i jednotlivé testy lze řadit současně do vícero takto vymezených kategorií.

Podle místa testování rozdělujeme testy na *terénní* a *laboratorní*.

V praxi je využíváno především terénní měření, které je u výkonnostních sportovců zpřesňováno a doplňováno laboratorními měřeními, které ve formě funkčních testů pokrývá oblast vytrvalosti [9].

Testy a funkční zkoušky terénní jsou proveditelné v přirozeném prostředí. V převážné míře mají charakter výkonových testů. Prostřednictvím dosaženého výkonu a jeho srovnáním s normativními údaji diagnostikujeme úroveň vytrvalostních schopností. Výhodami tohoto typu měření a testování jeho větší dostupnost oproti laboratorním vyšetřením. Lze jej realizovat u velkých skupin probandů a výsledky jsou přímo využitelné v tréninkovém procesu. Nevýhody vyplývají za charakteru prostředí, v němž se testování odehrává, tedy v ovlivnění reliability testování, např. klimatickými faktory.

Testy a funkční zkoušky laboratorní jsou vázány na prostředí specializovaných pracovišť. V laboratorních podmínkách prostřednictvím zátěžových testů měříme charakter, velikost a typ funkčních změn v organismu, které jsou stimulovány vytrvalostním zatížením. Mezi výhody laboratorních vyšetření patří standardní podmínky vyšetření, které jsou jednou z nezbytných podmínek pro vysokou reliability testování, dále pak možnost snadnější detekce a snímání biologických markerů a určení fyzikálního výkonu. Mezi nevýhody pak patří vyšší cena, omezená kapacita a zčásti obtížnější využitelnost, zvláště neodpovídá-li charakter pohybové činnosti testování pohybovému obsahu sportovní - pohybové aktivitě testované osoby. Příkladem je testování běžců nebo plavců na cykloergometru.

Některé testy můžeme využít jak v laboratorních, tak terénních podmínkách. Příkladem je Conconiho test. Původně terénní test [19], lze využít i v rámci laboratorního vyšetření jako protokol zátěžového testování s detekcí spirometrických hodnot. Oproti terénní formě tak můžeme sledovat stanovit hodnotu $VO_2\max$ a ostatních kardiopulmonálních parametrů [43]. Teoretickému konceptu Conconiho testu a jeho aplikacím se věnujeme ve výzkumné části práce.

V rámci diagnostiky vytrvalostních schopností lze motorické testy dělit na testy *výkonové* a *zátěžové*. Skóre výkonových testů vyjadřuje výsledek samotné pohybové činnosti, která byla obsahem testu. Skóre zátěžových testů je vyjádřením velikosti odezvy organismu na zatížení, které bylo obsahem testu. Sem řadíme i funkční zkoušky. Jednodušší varianty těchto testů jsou přístupné ve sportovní i pedagogické praxi [129]. Náročnější a komplexní funkční

zátěžové vyšetření vyžadují specifické vybavení i odbornou obsluhu v rámci laboratoří funkční zátěžové diagnostiky.

Některé testové protokoly mohou být využity současně jako zátěžový i výkonový test. Určující je, jaké parametry v rámci testování sledujeme a hodnotíme.

5.1 Hodnocení a normování skóre testů

Transformace hrubých skóre na standardní je principem, v jehož rámci lze výkony interindividuálně srovnávat a hodnotit. Normy lze konstruovat ve formě normativně, nebo kriteriálně vztažených standardů.

Normativně vztažené standardy - jsou konstruovány na základě statistického principu normality rozdělení četností a vycházejí z rozsáhlých a reprezentativních šetření v dané populaci. Při tomto hodnocení srovnáváme individuální testový výsledek s výsledkem populace vrstevníků.

Normativně vztažené hodnotící stupnice jsou standardem v oblasti motorického testování. Umožňuje srovnání populací a monitorování sekulárních trendů. Jejich kritika se objevuje v souvislosti s konceptem zdravotně orientované zdatnosti a problematikou motivace pro motoricky oslabené jedince. Takto konstruované normy mohou snižovat motivaci a odrazovat zejména jedince s podprůměrnou úrovní motorické výkonnosti, kteří ale jinak splňují výkonnost požadovanou ze zdravotního hlediska, tedy adekvátní v jiném kontextu. V rámci tohoto konceptu jsou zaváděny **kriteriálně vztažené standardy**, které určují minimální úroveň zdravotně orientované zdatnosti, která je nutná pro udržení zdraví a minimalizaci rizika vzniku hypokinetických onemocnění [120].

Modifikaci normativních hodnotících stupnic vyžaduje i hodnocení ve sportu, neboť maximální sportovní výkony jsou příliš vzdáleny od aritmetického průměru populace. Při konstruování těchto bodovacích stupnic se vychází z principu „zakotvení“ nikoliv uprostřed, ale ke konci, tedy blízko rekordu. Nemají lineární, ale progresivní průběh a bývají většinou 1000 bodové. Progresivní stupnice tak lépe zhodnotí výsledky blížící se k rekordu [2]. Alternativou kriteriálně vztažených standardů může být stupnice regresivní jako stimul ke zvyšování podprůměrných výkonů.

5.2 Výkonové testy - dělení dle účelu

Možným kritériem dělení vytrvalostních testů je dle jejich *účelu*. Tedy jaký subsystém komplexu vytrvalostních schopností je testován. Vycházíme ze struktury uvedené v přechozí části práce a dle účelu rozdělujeme testy:

- lokální statické vytrvalosti
- lokální dynamické vytrvalosti
- globální vytrvalosti.

5.2.1 Testy lokální statické vytrvalosti

Některá tělesná cvičení, stejně tak, jako řada pracovních činností, jsou charakterizována převahou statické práce. Typickým příkladem jsou výdrže, kdy rychlost pohybu je nulová, svalstvo pracuje v režimu izometrické kontrakce a fyziologické mechanismy, které jsou příčinou vzniku únavy, mají jiný princip než u práce dynamické. Při kvantifikaci je uplatňován jeden univerzální přístup: je stanovena velikost odporu, proti kterému působí testovaná osoba co možná nejdéle. Měříme čas a testové skóre je vyjádřeno v sekundách [129].

Příklady testů

Výdrž ve shybu:

Test je zařazen pro dívky od 15 let a ženy do 30let v Unifittestu (6-60) a pro obě pohlaví ve věku od 5 do 25 let ve Fitnessgramu.

Charakteristika - zjišťuje vytrvalostní staticko-silovou schopnost paží a pletence ramenního.

Pomůcky - dosažná hrazda, stopky, židle.

Provedení - TO provádí maximální výdrž ve shybu nadhmatem, brada nad žerdí, do základní pozice je možné TO vysadit, nebo začínat ze židle. Test končí, klesne-li brada pod úroveň žerdě. Měříme s přesností na 1 s.

Hodnocení - měří se čas výdrže v sekundách do ukončení testu.

Reliabilita $r_{stab}=0,93$ (ženy)[130] [129] $0,92$ (muži) [130]

Test je zařazen jako test druhé priority Eurofittestu pro dospělé (18 – 65). Je shodný s tím, který je součástí Unifittestu 6 – 60 nebo Eurofittestu pro mládež. Na rozdíl od těchto testů se zde provádí úchyt podhmatem. Normy s ohledem na zdravotně orientovanou tělesnou zdatnost a pro kategorie osob středního a staršího věku nebyly vypracovány.

Výdrž v záklonu v sedu pokrčmo:

Charakteristika - zjišťuje vytrvalostní staticko-silovou schopnost flexorů kyčelního kloubu a břišního svalstva.

Pomůcky - pevná podložka, pomocník, stopky.

Provedení - TO provádí maximální výdrž v sedu pokrčmo, v záklonu 40°, chodidla cca 30 cm od sebe, pomocník přidržuje chodidla TO na podložce.

Hodnocení - měří se čas výdrže v sekundách do ukončení testu.

Reliabilita $r_{stab}=0,88$ [129]

Výdrž v hrudním záklonu v lehu na břicho („Trunk Lift“)

Charakteristika - zjišťuje vytrvalostní staticko-silovou schopnost a pohyblivost extenzorů trupu. Součást testové baterie Fitnessgram od r. 1992 [131].

Popis - K provedení tohoto testu je potřeba pravítka dlouhé min. 30,5 cm a vhodná vodorovná podložka. Výchozí poloha: Testovaný leží na břicho, paže jsou nataženy, zasunuty pod stehna a dlaně se dotýkají stehen.

Provedení cviku - Testovaný provede pomalu záklon z výchozí polohy, pohled směřuje dopředu, žák se dívá na značku v úrovni očí. Nesmí docházet k záklonu hlavy směrem vzhůru a ke zvedání nohou z podložky, přičemž nohy nepřidržujeme.

Hodnocení - měří se čas výdrže v sekundách do ukončení testu.

Reliabilita $r_{stab}=0,85 - 0,99$ [130]

5.2.2 Testy lokální dynamické vytrvalosti

Exaktní měření této schopnosti pomocí přístrojů je obtížné, v praxi jsou tedy ponejvíce využívány motorické testy. Pohybový obsah je založen na změně polohy těla, jeho částí popřípadě přesunu náčiní v prostoru. Doporučovány jsou základní pohybové akty, které nejsou pro testované osoby nové a nejsou technicky náročné [129].

Podle Měkoty a Blahuše [129] se při konstruování těchto testů a jejich kvantifikaci se uplatňují tyto hlavní principy:

- 1 Zjišťujeme maximální počet opakování zadaného pohybového aktu, přičemž pohybová činnost má cyklický charakter. Frekvence opakování není v rámci standardizace testu předepsána, testovaná osoba volí individuálně. Hmotnost zátěže pod 40% maxima je indikátor lokální dynamické vytrvalosti, hmotnost vyšší jak 80% maxima odpovídá diagnostice dynamické silové schopnosti. Příklad: Shyby, kliky, přednosy, apod.
- 2 Testový čas je pevně stanoven a zjišťujeme počet opakování. Menší velikost překonávaného odporu a delší stanovená čas testu odpovídá diagnostice vytrvalostních schopností. Naopak test s vyšší hmotností břemene a krátkým časovým limit je indikátorem silových schopností. Příklad: Test leh-sed po dobu 2 min.
- 3 Pevně stanoven je počet opakování a měříme čas nutný k jeho realizaci. Charakter zadání je opět určující, zda se jedná o diagnostiku vytrvalostních, nebo silových schopností. Příklad: Deset opakování cviku dřep jednož.
- 4 Pevně stanovená je frekvence pohybu a v rámci diagnostiky měříme čas nebo zaznamenáváme počet opakování. Testování je ukončeno v okamžiku odmítnutí, tedy testovaná osoba již nemůže dále vykonávat stanovenou pohybovou činnost, popřípadě nedokáže udržet předepsanou frekvenci cvičení. Příklad: Laboratorní ergometrie.

- 5 Diagnostika odezvy organismu na stanovenou pohybovou zátěž. Z rozdílu hodnot naměřenými před a po vyčerpávající práci lze nepřímo kvantifikovat na diagnostikované schopnosti. Příklad: Dynamometrie. Tento princip není v diagnostické praxi příliš rozšířen.

Opakované shyby:

Test je zařazen pro chlapce od 15let a muže do 30let v Unifittestu (6 – 60), součástí Fitnessgramu byl v letech 1987-2005 [131].

Charakteristika- zjišťuje vytrvalostní dynamicko-silovou schopnost flexorů paže a pletence ramenního.

Pomůcky – doskočná hrazda (průměr žerdi 2 – 4 cm).

Provedení - TO provádí maximální počet opakování shybů nadhmatem ze svisu, přičemž musí dodržovat krajní polohy (v horní poloze brada nad žerdí, v dolní poloze propnout lokty).

Hodnocení - počet ukončených a správně provedených shybů.

Reliabilita $r_{stab}=0,94$ [129]

Modifikované shyby - poloha šikmá- pro dívky a ženy (Unifittest) .

Charakteristika - zjišťuje vytrvalostní dynamicko-silovou schopnost flexorů paže a pletence ramenního.

Pomůcky - nízká hrazda (1m nad podložkou), stopky.

Provedení - TO provádí maximální počet opakování shybů nadhmatem ze svisu ležmo, přičemž musí dodržovat krajní polohy (v horní poloze brada nad žerdí, v dolní poloze propnout lokty), toporné držení těla a časový interval (přestávka) mezi jednotlivými shyby nesmí být delší než 3 sec.

Hodnocení - maximální počet opakování shybů.

Reliabilita $r_{stab}=0,88$ [129]

Shyby ve svisu ležmo:

Test je zařazen pro všechny věkové kategorie a obě pohlaví ve Fitnessgramu.

Charakteristika - zjišťuje vytrvalostní dynamicko-silovou schopnost flexorů paže a pletence ramenního.

Pomůcky - nastavitelná hrazda, páska umístěná 18 cm pod hrazdou.

Provedení - tzv. Vermontská modifikace shybů. K provedení testu je nutná nastavitelná hrazda, rozsah prováděného pohybu je vymezen páskou umístěnou 18 cm pod hrazdou. V tomto prostoru se sleduje pohyb brady.

Hodnocení - Jedno opakování při přitažení brady od pásky směrem k hrazdě.

Reliabilita $r_{stab}=0,72 - 0,95$ [132]

Kliky ve vzporu ležmo:

Charakteristika - zjišťuje vytrvalostní dynamicko-silovou schopnost extenzorů paží a pletence ramenního.

Pomůcky - pevná podložka

Provedení - TO provádí maximální počet opakování kliků s dodržováním krajních poloh, tzn. propínat paže v horní poloze a s hrudníkem těsně k podložce v dolní poloze.

Hodnocení - maximální počet opakovaných kliků.

Reliabilita $r_{stab}=0,85$ [129]

90° kliky:

Test je zařazen jako preferovaný pro všechny věkové kategorie a obě pohlaví ve Fitnessgramu.

Charakteristika - zjišťuje vytrvalostní dynamicko-silovou schopnost extenzorů paží a pletence ramenního.

Provedení - kliky se provádí ve vzporu ležmo, ruce v šíři ramen, lokty jdou postupně od těla do koncové polohy s úhlem 90°. Provádí se maximální počet kliků ve stanoveném tempu (1 klik za 3 vteřiny).

Hodnocení - maximální počet kliků ve stanoveném tempu.

Reliabilita $r_{stab}=0,96$ (Muži) 0,98 (Ženy) [130] 0,99 (Chlapci) 0,94 (Dívky) [133]

Modifikované kliky ve vzporu klečmo (pro ženy):

Charakteristika - zjišťuje vytrvalostní dynamicko-silovou schopnost extenzorů paží a pletence ramenního.

Pomůcky - pevná podložka.

Provedení - TO provádí maximální počet kliků s dodržováním krajních poloh, tzn. propínat paže v horní poloze a hrudníkem těsně k podložce v dolní poloze.

Hodnocení - maximální počet kliků.

Přednožování v lehu na zádech:

Charakteristika - zjišťuje vytrvalostní dynamicko-silovou schopnost extenzorů paží a pletence ramenního.

Pomůcky - měkká podložka, stopky, pomocník.

Provedení - TO provádí vleže na zádech s rukama v týl opakovaně následující cyklus - přednožení napnutými dolními končetinami do úhlu 90° a spuštění zpět v co nejvyšším počtu opakování po dobu 30 s. Pomocník přidržuje TO lokty na podložce.

Hodnocení - maximální počet přednožení za 30 s.

Reliabilita $r_{stab}=0,80$ [129]

Opakovaný Bench-press

Charakteristika - zjišťuje vytrvalostní dynamicko-silovou schopnost extenzorů paží a pletence ramenního.

Pomůcky - činky o hmotnosti 16 kg pro ženy a 36 kg pro muže, metronom určující 60 úderů za minutu, posilovací lavice.

Provedení - TO leží na zádech a pažemi zvedá činku o dané hmotnosti z polohy na prsou do napjatých paží podle úderů metronomu. Snaží se provést maximální počet zvednutí činky v daném rytmu. Pokus končí, když TO nezvedne činku nebo neudrží zadaný rytmus.

Hodnocení - maximální počet opakovaných zdvihů do ukončení pokusu.

Leh – sed opakovaně

Test je zařazen pro všechny věkové kategorie a obě pohlaví v Unifittestu.

Charakteristika - zjišťuje vytrvalostní dynamicko-silovou schopnost flexorů kyčelního kloubu a břišního svalstva.

Pomůcky - měkká podložka, stopky.

Provedení - TO zaujme základní polohu leh na zádech pokrčmo, paže skrčit vzpažmo zevnitř, ruce v týl, sepnout prsty, lokty se dotýkají podložky. Nohy jsou pokrčeny v kolenou v úhlu 90°, chodidla od sebe ve vzdálenosti 20 – 30 cm, u země je fixuje pomocník. Provádí se co nejrychleji maximální počet opakovaných sedů – lehů (lokty se dotknou kolen) za 60 s.

Hodnocení - hodnotí se počet správně provedených cyklů za 60 s.

K tomuto testu existuje řada výhrad. Po určité době (30 – 45 % celkového počtu předklonů) se při něm zapojují kyčelní flexory, dále dochází ke kompresi páteře. Poloha paží vyvolává hyperflexi krku a nepravidelný rytmus způsobuje trhavé pohyby. Testovaná osoba se pak často pažemi odráží od podložky.

Abdominální svalstvo je maximálně zapojeno v prvních 30-45° pohybu, další část přebírají flexory kyčle (iliacus a rectus femoris) [134].

U dětí se zvětšenou bederní lordózou a slabým břišním svalstvem, vlivem zapojení tonických flexorů kyčelních kloubů, dochází k podpoře vzniku bolesti dolní částí zad. Z těchto důvodů doporučujeme buď test nahradit níže uvedeným testem (Curl-up) nebo alespoň změnit polohu paží tak, že budou zkříženy na prsou. Oba návrhy předpokládají změnu norem.

Výzkumy dokazují nízkou úroveň ekvivalence mezi testy Leh-sed opakovaně a Hrudními předklony v lehu pokrčmo (stupeň asociace mezi 7-42% variance) [130]

Hrudní předklony v lehu pokrčmo (Curl-up):

Test je zařazen pro všechny věkové kategorie a obě pohlaví ve Fitnessgramu.

Charakteristika - zjišťuje vytrvalostní dynamicko-silovou schopnost břišního svalstva a bedrokyčlostehenních flexorů.

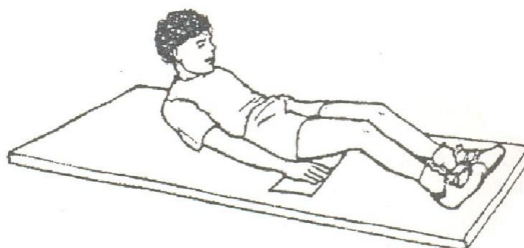
Pomůcky – podložka (žíněnka), pásmo, křída.

Provedení – TO provádí z lehu pokrčmo (úhel v kolenech 140°), ruce podél těla hrudní předklony tak, aby silou břišních svalů došlo k zvednutí horní části těla a hlavy se současným posunem dlaní po podložce vpřed v rozsahu 7,5 cm u dětí ve věku 5-9 let a 11,5 cm u věku 10 a více let. Trvání testu 1 minuta.

Hodnocení - počet předklonů za jednu minutu.

Reliabilita $r_{stab}=0,77 - 0,94$ [130]

Obr. 20. Hrudní předklony v lehu pokrčmo. Převzato [135]



Test leh sed- opakovaně

Test je zařazen jako test první priority Eurofittestu pro dospělé (18 – 65).

Charakteristika - zjišťuje vytrvalostní dynamicko-silovou schopnost břišního svalstva a bedrokyčlostehenních flexorů.

Pomůcky - gymnastická žíněnka nebo měkká podložka (koberec).

Provedení - osoba zaujme polohu v lehu na zádech, obě nohy jsou pokrčeny, úhel v kolenním kloubu 90°. Pomocník fixuje testovanému obě nohy. První úroveň 5 opakovaných předklonů se provádí s nataženými pažemi, dlaně zůstávají na stehnech. Cílem je při každém předklonu dosáhnout konečky prstů obou rukou na střed pately. Další úroveň sestává opět z pěti opakovaných předklonů (sedů), ruce jsou však při tom zkříženy a přitisknuty na prsa, dotyk stehů se děje oběma lokty. Poslední úroveň s pěti opakovanými cviky se odlišuje tím, že testovaný se drží oběma rukama za uši“ (zadní část ušních lalůčků) a oběma lokty se opět dotýká stehů. Mezi jednotlivými úrovněmi není dovolena pauza, interval by neměl přesáhnout čas nezbytný pro změnu cviku.

Hodnocení - test se provádí ve 3 postupných úrovních. Cílem je vykonat 5 opakovaných cviků. Počítá se počet provedených cviků (5 – 7) v souhrnu všech tří úrovní (možný výsledek v rozmezí 0 – 15). Normové hodnoty jsou konstruovány pro muže i ženy a pocházejí z testování švédské populace. Test dostatečně neodlišuje jedince v celém věkovém rozmezí, spíše ukazuje na nízkou úroveň zdatnosti jedinců starších 30 - 35let. Zvláště pro mladší a zdatné jedince lze proto doporučit variantu užívanou v Eurofittestu pro mládež, to znamená hodnotit maximální počet leh-sedů za dobu 30 sekund.

5.2.3 Testy globální vytrvalosti

Pohybová činnost, která je obsahem motorických testů globální vytrvalosti musí splňovat tyto požadavky:

- do práce jsou zapojeny velké svalové skupiny (svalstvo dolních končetin, nebo horních končetin a zad),
- předpokládá se pohybová činnost vysoké intenzity a dostatečně dlouhá doba vykonávání pohybové činnosti, která odpovídá definici vytrvalostních schopností dle časového kritéria [129].

Cyklické pohybové činnosti, které se uplatňují, jako pohybový obsah jednotlivých motorických testů lze rozdělit na 3 základní typy:

- 1 *Jednoduché fundamentální lokomoce* běh a chůze popř. prokládaný běh s chůzí. Přirozený pohyb v terénních podmínkách (atletická dráha, pevný podklad) je v rámci laboratorního testování simulován během či chůzí na motorizovaném běhacím pásu. Při interpretaci i provádění testů v laboratorních podmínkách je potřeba vzít do úvahy, že běh popř. chůze na běhátku není zcela přesně shodná s pohybem v terénních podmínkách. V laboratoři je nutné kompenzovat chybějící odpor vzduchu, který působí na běžcovo tělo v terénních podmínkách. Velikost tohoto odporu stoupá s rychlostí běhu. Kompenzace je dosaženo v laboratoři zvýšeným sklonem běhátka, obvykle 1% [117]. Zcela shodné nejsou ani biomechanické parametry běhu na běhátku v porovnání s během na pevné podložce. Výhodou běhátka je možnost kombinace statické (sklon) a dynamické (rychlost) složky zátěže. Tato výhoda se však může zároveň jako překážka v rámci interpretační analýzy [61] a při srovnání výsledků různých pracovišť a zátěžových protokolů.
- 2 *Vystupování na vyvýšený stupeň*. Tato pohybová činnost je obsahem tzv. step-testů. Intenzita je určena výškou stupně a frekvencí vystupování, která je určována metronomem popřípadě audio nahrávkou s požadovanou frekvencí výstupů.
- 3 *Pohybová aktivita na ergometru* – v praxi je nejčastěji využíván cyklistický ergometr, lze též využít rumpálový nebo veslařský ergometr. Výkon je měřen ve wattech, testovaná osoba pohání svou silou setrvačnick, který je dle nastavené úrovně zatěžování brzděn mechanicky nebo elektromagneticky. Do této kategorie můžeme zařadit i simulaci pohybové činnosti plavání v bazénu se systémem protiproudu, jehož regulací lze ovlivňovat míru intenzity plavání testované osoby. Tato diagnostická metody není oproti výše zmíněným masivněji rozšířena pro svoji úzkou specifickou a náročné materiální vybavení.

Výhodou bicyklového ergometru oproti běhátku jsou jednak nižší pořizovací náklady, menší hlučnost, vyšší bezpečnost a snadno dávkovatelná zátěž (W/kg). Spotřeba kyslíku

na submaximální zátěži je málo závislá na pohlaví a technice šlapání. Díky ekvivalentní velikosti spotřeby kyslíku na 1 kg hmotnosti (10,8 až 12,3 ml) napříč populací je přístrojové vybavení snadněji biologicky kalibrovatelné. Oproti běhátku však zaznamenáváme nižší hodnoty maximální srdeční frekvence i spotřeby kyslíku [61].

Dle obsahu zadání a principu stanovení hrubých skóre výkonových testů lze tyto rozdělit do tří základních skupin.

- 1 Je zadána rychlost běhu a měří se čas od počátku testu až do odmítnutí testovanou osobou pokračovat v zadané pohybové činnosti z důvodu únavy. Zaznamenáváme uběhnutou vzdálenost v metrech. Rychlost běhu může být konstantní v průběhu celého testu, příkladem je Harvardský test zdatnosti (viz dále). Praktičtější varianta zahrnuje postupné zvyšování intenzity pohybové činnosti až do odmítnutí. Příkladem je vytrvalostní člunkový běh na 20m.
- 2 Je stanoven pevný časový limit pro provádění pohybové činnosti a měříme celkovou překonanou vzdálenost. Testovaná osoba sama určuje intenzitu pohybové činnosti. Příkladem je dvanáctiminutový běh.
- 3 Je zadána délka trati, kterou je nutné absolvovat zadanou pohybovou činností (nejčastěji během). Měříme čas, který je nutný pro zdolání zadané vzdálenosti. Hrubé skóre lze dále převádět na skóre normované a odvozovat tak další parciální ukazatele. Příkladem je chůze na 2km nebo běh na 3km. Tato varianta testu je ve sportu využívána nejčastěji [129].

Protokoly pro běhátko - výkonové testy

Astrandův protokol

Testování předchází 10 min rozcvičení.

Výchozí rychlost je $8,05 \text{ kmh}^{-1}$. (5mh^{-1}) Sklon 0%.

Po prvních 3 minutách testu je zvýšen sklon na 2,5%. Poté každé 2 minuty je sklon navyšován o 2,5%.

Test do odmítnutí, Zaznamenává se celkový čas trvání testu.

Predikční rovnice pro odhad úrovně maximálního příjmu kyslíku má tvar:

$$VO_2max = (dosažený\ čas \cdot 1,444) + 14,99$$

Bruceho protokol byl původně publikován v roce 1963 jako neinvazivní test pro pacienty s chorobami srdce. Je využitelný jako metoda stanovení VO_2max .

Protokol viz tab. 14.

Tab. 14. Protokol Bruceho testu. Upraveno dle

http://sportsmedicine.about.com/od/futnessevalanassesement/a/bruce_protocol.htm

Čas (min)	Rychlost (kmh^{-1})	Sklon
00-03	2,74	10
03-06	4,02	12
06-09	5,47	14
09-12	6,76	16
12-15	8,05	18
15-18	8,85	20
18-21	9,65	22
24-27	10,46	24
27-30	11,26	26
30-33	12,07	28

Predikční rovnice:

$$\text{Pro muže: } VO_2max = 14.8 - (1.379 \times T) + (0.451 \times T^2) - (0.012 \times T^3)$$

$$\text{Pro ženy: } VO_2max = 4.38 \times T - 3.9$$

T = dosažený čas

Balkeho protokol

Stejně jako Bruceho protokol je původní určení tohoto testu pro určení peak VO_2 u kardiaků.

Pro muže je startovní rychlost stanovena na $5,3 \text{ kmh}^{-1}$ nulový sklon je po 1 minutě zvýšen na 2%, pak každou minutu o 1%.

Pro ženy je úvodní rychlost $4,8 \text{ kmh}^{-1}$ na 0% se zvýšením o 2,5% každé tři minuty.

Muži: $VO_2 \text{ max} = 1,44 T + 14,99$ [136]

Ženy: $VO_2 \text{ max} = 1,38 T + 5,22$ [137]

Testy globální vytrvalosti v rámci unifikovaných testových baterií

Testy globální vytrvalostní schopnosti testové baterie Unifittest 6-60

- a) běh po dobu 12 min
- b) vícestupňový progresivní člunkový běh na vzdálenost 20 m.
- c) chůze či běh na 2 km

a) Běh po dobu 12 min (Cooperův test)

Testový protokol publikoval v roce 1968 Cooper v rámci výsledků studie korelace mezi výsledky jím navrženým terénním běžeckým testem po dobu 12 minut a hodnotou $VO_2\text{max}$ zjištěnou zátěžovým testem na běhátku. Studie se zúčastnilo 115 mužů, příslušníku amerických leteckých sil. Korelační koeficient mezi oběma testy $r_k = 0,897$ [138]. Následně se test rozšířil jako spolehlivá metoda stanovení kardiovaskulární zdatnosti a nahradil do té doby ve Spojených státech rozšířený test na 600 yardů. Normy se liší dle jednotlivých autorů. Predikční rovnice odhadu maximální spotřeby kyslíku má tvar

$$VO_2\text{max} = (22.351 \times km) - 11.288$$

Tab. 15. Odhad $VO_2\text{max}$ ($\text{ml} \cdot \text{min} \cdot \text{kg}^{-1}$) z výsledků Cooperova testu [139]

Uběhnutá vzdálenost (m)	$VO_2 \text{ max}$ ($\text{ml} \cdot \text{min} \cdot \text{kg}^{-1}$)
3600 a více	70
3400	67
3200	62
2800	55,5
2000 – 2400	45
2000	30

Původní predikční rovnice byla modifikována a je uváděn ve více variantách. Např. Reimann [140]: $VO_2max (ml/min/kg) = (0,9268 \times m) - 11.3$

Normy pro českou populaci publikovali v rámci Unifittest 6-60 Měkota a Kovář. Stabilitu testu $r_{stab} = 0,92$ uvádí Měkota a Blahuš [129]. U netrénovaných jedinců se jeví jako problematická otázka spolehlivosti a platnosti u tohoto testu, respektive je to obecný problém u běhu na delší vzdálenost [2].

Modifikacemi testu jsou formy běhu po dobu 15 (Balkeho běžecký test), 9, nebo 6 minut.

Predikční rovnice Balkeho testu pro stanovení VO_2 max mají tvar:

Dle Balkeho (1963): $VO_2 = 6.5 + 12.5 \times \text{uběhnutých km}$ [141].

Dle Horwella (1994) $VO_2 = 0.172 \times (\text{uběhnutých metrů} / 15 - 133) + 33.3$ [142].

S využitím odlišné pohybové činnosti za aplikace shodných principů byly u nás publikovány testové protokoly a částečně i normy testů „dvanáctiminutová jízda na kole“ [143] a „dvanáctiminutové plavání“ [144], apod.

Podle studie Granta et al. má tento test ve srovnání s dvěma dalšími (progresivní člunkový běh na 20m a submaximální test na bicyklovém ergometru s predikcí VO_2 max) nejvyšší hodnotu korelačního koeficientu ($r = 0,92$; $0,86$, respektive $0,76$) ve vztahu k přímému způsobu určení VO_2 max s využitím zátěžové spiroergometrie na běhátku [145].

b) Vytrvalostní člunkový běh na vzdálenost 20 m. (Progresivní člunkový běh na 20 m, Multi stage shuttle run, Beep test)

Tomuto testu se věnujeme detailněji v rámci této práce v její výzkumné části. Test navrhl a ověřil kolektiv pracovníků Univerzity v Montrealu vedený Legérem v roce 1982. Je součástí testové baterie EUROFIT (European motor fitness battery), která byla sestavena v roce 1986. Je zařazen v unifikované testové baterii UNIFITTEST [146].

Test lze provádět v prostorách, které umožňují běh "od čáry k čáře" na vzdálenost 20 m. Testovaná osoba opakovaně překonává tuto standardní dráhu zvyšující se rychlostí podle vymezeného časového signálu, který je reprodukován z audio zařízení. Test končí, jakmile

testovaná osoba dvakrát po sobě nedoběhne danou hraniční čáru v daném časovém signálu (povolen je maximální rozdíl dvou kroků). K testování je zapotřebí audio záznam (CD,MP3).

České normy v rámci testové baterie Unifittest 6-60 pro věkové rozmezí 6 až 20 let stanovil Měkota a Kovář (1996).

Modifikace testového protokolu je spjata se změnou délky předepsaných úseků (15 m varianta v testové baterii Fitnessgram) nebo se zařazením odlišné pohybové činnosti.

Plavání: vytrvalostní člunkový plavecký test (v originále Multistage Shuttle Swim Test) vychází z principů vytrvalostního člunkového běžeckého testu. Standardizaci testu provedl Rechichi, et al. (2000).

Testovaná osoba plave mezi dvěma liniemi, které jsou od sebe vzdáleny 10m. Startovní rychlost je stanovena na $0,9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Tato je progresivně zvyšována přibližně každou minutu o $0,05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Kromě expertního stanovení délky úseků na 10 m (z variant 8, 9 a 10) zkoumal autor testu míru jeho reliability a validity. U výzkumného souboru hráčů ($n = 12$, průměrný věk 16,3, $s = 1,1$) a hráček ($n = 13$, průměr věk 21, $s = 3,8$) vodního póla uvádí výsledky koeficientu stability 0,98 a 0,98 respektive. Validita byla stanovena vzhledem ke kritériu VO_{2max} (0,773 a 0,854 respektive) a výkonu na 400m volný způsob (0,938 a 0,925 respektive) [147].

Bruslení: variantu pro hráče ledního hokeje (v originále Skating multistage aerobic test) navrhl a ověřil Leone, et al (2007).

Testovaná osoba bruslí mezi dvěma liniemi ve vzdálenosti 45 m. Úvodní rychlost je stanovena na $3,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ s přírůstkem rychlosti $0,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ po každém úseku. Audio nahrávka zajišťuje dodržení předepsaného tempa. Autoři na základě šetření u 142 hráčů a 31 hráček ledního hokeje stanovili predikční rovnici maximální spotřeby kyslíku v závislosti k dosažené maximální rychlosti v testu ve tvaru:

$$VO_{2max} = 18.07 \times (\text{maximální rychlost}) - 35.596 \quad (r = 0.97, SEE = 3.01) \quad [148]$$

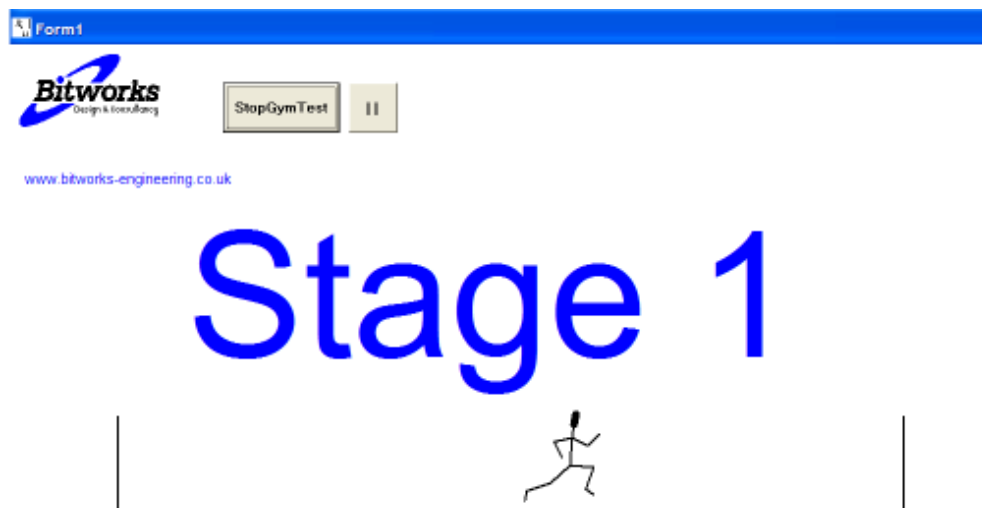
Chodecký test je určen pro seniorskou nebo oslabenou populaci, kdy prudké změny směru mohou činit testovaným potíže. Pohyb je realizován po obdélníkové dráze vyznačené

barevně odlišenými kužely. Úvodní rychlost je řízeným audio signálem zvyšována každé 3 minuty až po maximální rychlost 7kmh^{-1} . Test je ukončen v okamžiku kdy proband není schopen akceptovat předepsanou rychlost chůze [149].

Jízda na paraplegickém vozíku je modifikací určenou pro paraplegiky. Pohyb se koná po osmiúhelníkové dráze, uzpůsobené požadavku na vhodný poloměr otáčení při změně směru (vice jak 90°). Čtyři hlavní směry vyznačené dráhy jsou dlouhé 11 metrů. Úvodní rychlost 6kmh^{-1} je stupňována o $0,37\text{kmh}^{-1}$ každou minutu trvání. Standardizaci testu s predikcí maximálního příjmu kyslíku zpracoval Vanderthommen [150].

Problematiku odhadu optimálního tempa běhu zejména v prvních úsecích testu je vhodné s probandy vyzkoušet v rámci zapracování. U dětské populace popř. u osob hendikepovaných ve smyslu vnímání rytmu s časových struktur lze test vhodnou formou vizualizovat. Dostupné jsou komerční programy, s jejichž pomocí je možné této specifické části populace pomoci s dodržováním předepsané intenzity pohybu. Akustické signály odpovídající standardizaci testu jsou doplněny o grafické znázornění průběhu testu. Vizualizovat průběh testu lze pomocí dataprojektoru. Z vlastního nepublikovaného výzkumu můžeme potvrdit efektivitu toho postupu. Probandi využili vizualizace v prvních několika málo přebězích, poté už jim dodržovat časové úseky nečinilo problémy. Grafická forma zpracování jednoho z těchto programů viz obr. 21.

Obr. 21. Grafický výstup software fy Bitworks - vizualizace provedení progresivního člunkového běhu (dostupné z <http://www.bitworks.engineering.co.uk>)



c) **Test na 2 km chůze.** Z testu je možno usuzovat na zdatnost probandů. K dispozici jsou normy a to jednak pro chůzi a jednak pro běh pro normální populaci. Stanovené normy zároveň ukazují i na to, jaká zdatnost bude následovat, když v určitém věkovém období v mládí není ani na úrovni hodnot podprůměrných. Uvedené normy předkládáme v tabulce 1. a 2.

Testy globální vytrvalostní schopnosti testové baterie Fitnessgram

Pro testování globální vytrvalosti (v originále je uveden termín „aerobic capacity“) obsahuje testová baterie **Fitnessgram** tři alternativní testy:

a) vytrvalostní člunkový běh (v originále „PACER) – preferovaný test, je konstruován obdobně jako vytrvalostní člunkový běh na vzdálenost 20 m z testové baterie Unifittest. Fitnessgram navíc obsahuje variantu s 15m vzdáleností mezi oběma liniemi. Test je součástí baterie od r. 1992 [131].

b) běh na 1 míli (1,61 km). Test je součástí baterie od r. 1987.[131] Standardizace testu předepisuje uběhnout danou vzdálenost „co nejrychleji“. Reliabilitu testu zkoumala řada autorů, sumarizaci výsledků uvádí Safrit (1990) [151] a Cuerton (2008). Z jejich závěrů vyplívá vysoká hladina reliability (od 0,60 do 0,90), přičemž koeficient reliability vyšší jak 0,66 je spojen s věkovými kategoriemi 9 let a starší. U mladších dětí jsou výsledky reliability více variabilnější, dosahují spíše nižších hladin. Toto autoři spojují s nedostatečnou motivací a s problematikou strategie volby optimálního tempa [152].

c) chůze na 1 míli (1,61 km). Test je součástí baterie od r. 1999 [131]. Test - retest reliability stanovení hodnoty $VO_2\max$ predikční rovnicí na základě výsledků testu u dětí ve věku 14-18 (n=21) měla hodnotu 0,91 [152].

Testy globální vytrvalostní schopnosti testové baterie Eurofittest

Testová baterie **Eurofittest** (E) a její varianta **Eurofittest for Adults** (EA) obsahuje tyto testy vytrvalostních schopností:

1) 20m vytrvalostní člunkový běh (E) – obdobná variant jako v rámci Unfittestu 6-60

2) Chůze na 2 km (EA):

Cílem testu je absolvovat co možná nejrychlejší chůzí vzdálenost 2km na rovném povrchu (atletická dráha). Zaznamenán je čas, srdeční frekvence po ukončení testu, měřena je hodnota BMI. Na základě naměřených hodnot je pomocí norem stanovena míra zdatnosti. Na základě predikční rovnice je možné stanovit hodnotu VO_2max .

$$VO_2max (ml/min/kg) = 116.2 - 2.98 \times \text{dosažený čas (sec)} - 0.11 \times SF - 0.14 \times \text{věk} - 0.39 \times BMI$$

5.2.4 Výstupové testy (step test)

Tyto testy představují relativně jednoduchý a na vybavení nenáročný diagnostický nástroj pro hodnocení kardiovaskulární zdatnosti a prostřednictvím predikčních rovnic i odhad maximální aerobní kapacity (VO_2max).

V lékařské praxi byly tyto testy využívány v minulosti jako orientační nástroj hodnocení odezvy na zatížení, popřípadě k provokaci některých patologických reakcí. V současné době mohou tomuto účelu posloužit v rámci pracovišť, která nejsou vybavená moderní technikou [14].

Ve sportovní a tréninkové praxi a v rámci testování parametrů aerobní zdatnosti ve sportovní praxi. Principem a základní pohybovou činností jsou opakované výstupy na zvýšený stupeň zátěžovým měřením odezvy organismu na zatížení prostřednictvím srdeční frekvence.

Brouha et al. [153] publikovali protokol a normy v souvislosti s výzkumem Harvardské laboratoře pro výzkum únavy, odtud název Harvardský. Původní testový protokol Harvardského testu předepisuje výstupy na stupeň vysoký 50,8 cm (20 palců) s frekvencí výstupů 30 za minutu. Pokud není testovaná osoba po dobu 15 sekund schopná udržet předepsanou frekvenci vystupování test je ukončen. Maximální doba trvání testu je 5 min. Bezprostředně po skončení testu se TO posadí a v čase 60 až 90 sekund je palpací měřen kumulativní počet srdečních tepů. Toto je varianta tzv. „krátké“ formy testu. „Dlouhá“ forma předepisuje další měření srdeční frekvence, opět kumulativně po dobu 30 sekund v čase 120-

150 sekund a 180- 210 sekund po ukončení testu. Hrubá skóre testu jsou převedena na normovanou (Fitness index - F_i) pomocí rovnic: [153].

$$F_i(\text{krátká_forma}) = \frac{100.S}{5,5.SF_1}$$

S ... doby vystupování v sec. SF_1 ... počet tepů v čase 60-90 sec po testu

$$F_i(\text{dlouhá_forma}) = \frac{100.S}{2 \sum SF_{1-2-3}}$$

$\sum SF_{1-2-3}$...součet tepů ve třech 30 sec úsecích po testu (60-90s, 120-150s a 180-210s)

Tab. 16. Hodnocení zdatnosti dle výsledků Harvardského step-testu

Zdroj: <http://www.topendsports.com/testing/test/step-harvard.htm>

Hodnocení zdatnosti	Fitness index (dlouhá forma)
vysoká	>90
dobrá	80-89
nadprůměr	65-79
podprůměr	55-64
nízká	<55

Tyto normy vycházejí z původního výzkumu Brouhy a slouží k posuzování úrovně zdatnosti vojáků. Pro naši obecnou populaci nejsou dle Měkoty [129] použitelné.

Modifikovanou formu testu pro ženy publikoval Sloan [154]. Validita testu ke kritériu maximální spotřeby kyslíku byla v následných studiích [155], [156] stanovena v rozmezí 0,6 - 0,8.

Původní Harvardský protokol byl dalšími autory v průběhu let modifikován a v současné době je částečně či plně standardizována řada testových protokolů (viz. tab. 16). Předmětem modifikací jsou délka zatížení, výška stupně, frekvence vystupování, způsob měření srdeční frekvence po zátěži a tvar predikčních norem pro stanovení maximální aerobní kapacity.

Modifikace Harvardského protokolu pro testování čs. populace byla navržena v roce 1963 Čs. společností tělovýchovného lékařství: Vyšetřovaná osoba začíná test z výchozí pozice – jedna noha na stupínku, druhá na zemi. Vystupování a sestupování probíhá tak, že proband nohy na stupínku střídá. Jedna noha zůstává vždy na stupínku. Na něj vystupuje vyšetřovaný vzpřímeně, nesmí si pomáhat při výstupu rukama (např. oporou o stehna). Doba vystupování je stanovena na 5 minut frekvencí 30 výstupů za minutu. Rytmus výstupu určuje metronom s frekvencí 60 úderů za minutu, vystupuje se na každý druhý úder. Výška stupně je pro muže a dorostence 50 cm, pro ženy a dorostenky 45 cm a žactvo 30 cm. Srdeční frekvence se měří v sedě, a to vždy za 30ti sekundový úsek první, druhé a třetí minuty po ukončení zátěže. [157].

Index zdatnosti (IZ) se vypočítá podle vzorce:

$$IZ = \frac{Doba_cvič_v_sekundách.100}{\sum 3_hodnot_SF.2}$$

K hodnocení lze využít následující normy pro nespportující populaci [158].

pod 55 bodů	- slabá tělesná zdatnost
55 – 64	- nízký průměr
65 – 79	- vysoký průměr
80 – 89	- zdatný
90 a více	- velmi zdatný

pro sportující populaci:

pod 80 bodů	- méně výkonný
81 – 100	- středně výkonný
101 – 120	- dobře výkonný
121 – 140	- velmi dobře výkonný
141 a více	- výborně výkonný

Percentilové normy uvádí Měkota [129]

Výhodou výstupových testů je jejich snadná administrace, minimální materiální vybavení, časová nenáročnost i fakt, že výstup na vyvýšený stupeň patří mezi přirozené pohybové akty člověka. K nevýhodám lze přiřadit jejich omezenou reprodukovatelnost, nepřesnou kvantifikaci zátěže [14] a problémům, které jsou obecně spojené s vyhodnocováním srdeční frekvence (citlivost na zdravotní stav, biorytmy, předchozí zatížení, psychoemoční zatížení [159]). Z hlediska biomechanického jsou při vyšším stupni znevýhodněny osoby s nižší tělesnou výškou, u kterých musíme počítat s podhodnocením jejich aerobní kapacity na základě výsledků výstupového testu [160].

Tab. 17. Přehled vybraných modifikací výstupového testu

Název testu	Výška stupně cm	Čas vystupování (min)	Frekvence výstupu počet/min	Měření SF	Predikce VO _{max}	Reference
Harvard step test	45	max 5	30	1-1:30 2-2:30 3-3:30	ano	[153]
Tecumseh Step Test	20,3	3	24	30 sec po testu	ano	[161]
Queen's College (McArdle) Step Test	41.3	3	muži 24 ženy 22	15 sec (5-20 po testu)	ano	[162]
Chester step test	15 -30 dle úrovně TO	do 80% SF _{max} nebo 14 RPE	15 na úvod pak zrychlení každé 2 min o 5	v průběhu		[163] [164]
Balke step test	2-50 zvýšení každou min. o 2	do odmítnutí	30	ne	ano	[165]
Kanadský „Home Fitness“ Step Test	2x 20,3	3	audio instrukce	10 sec (5-15 po testu)	ano	[166]
YMCA 3-minute Step Test	30	3	24	0-60 sec po testu	ne	www.ymca.net
Astrand-Ryhming Step Test	muži 40 ženy 33	5	22,5	15-30 sec po testu	ano	[167]
Katch-McArdle Step Test	40	3	24/22	5-20 sec po testu	ano	[168]
Kasch Step test	30	3	24	60-75 sec po testu x4	ne	[169] [170]
„2 Minute Step in Place Test“	není	2	individuální	ne	ne	[171]

Poslední z uvedených testů v tabulce 17 není klasickým výstupovým testem. Je určen pro tu část populace, která nezvládne klasické výstupové testy. Předepsáno je zdvihání nohou v individuálním rytmu do výše středu mezi patelou a hrbolem kosti kyčelní. Tato výška je označena na zdi, proti níž testovaná osoba cvičí [171].

5.3 Funkční (zátěžové) testy

Na rozdíl od motorických testů, jejichž obsahem je vlastní testovaná pohybová schopnost společně s elementy pohybové dovednosti je funkční diagnostika zaměřená na biologický základ testovaných skutečností, tj. funkčních a morfologický determinant testované osoby. Na rozdíl od výkonových testů je kromě výkonu monitorována a vyhodnocována také reakce organismu na zatížení. Kromě diagnostiky úrovně vytrvalostních schopností jsou tyto testy využívány v klinické praxi v rámci diagnostiky patologických jevů a hodnocení zdravotního stavu testovaných osob. Posuzujeme tedy odezvu a míru adaptace zdravých i nemocných osob na fyzické zatížení [172]. Funkční vyšetření pro vrcholové a výkonnostní sportovce jsou realizována v rámci specializovaných pracovišť. „V posledních letech se funkční vyšetření provádí spíše na pracovištích fakult tělesné výchovy a sportu a pedagogických fakult než na pracovištích medicínských“ [8].

Obecné předpoklady, z kterých tyto testy vycházejí:

1. Čím vyšší úroveň základní vytrvalosti má testovaná osoba, tím menší změny ve funkční odezvě organismu vyvolá zatížení v průběhu testu a tím rychleji se fyziologické funkce v době zotavení vrátí ke klidovým hodnotám.
2. Čím vyšší úroveň základní vytrvalosti má testovaná osoba, tím vyšší jsou maximální hodnoty fyziologický parametrů, které jsou ukazateli míry aerobního metabolismu [129].
3. Čím nižší hodnoty spotřeby O_2 při submaximálních hodnotách intenzitách pohybu, tím vyšší je ekonomika pohybu.

Dělení zátěžových testů

Dle účelu můžeme dělit zátěžové testy v rámci funkčního vyšetření na *obecné funkční vyšetření* a *speciální testy pro určení trénovanosti* [8]

Obecná funkční vyšetření jsou vhodná pro ta sportovní odvětví, ve kterých je požadována z hlediska optimálního výkonu určitá úroveň obecné zdatnosti a kde aerobní kapacita organismu není hlavním limitujícím faktorem pro konkrétní provozované sportovní odvětví. Test vychází z metodiky Mezinárodního biologického programu. Rozcvičení je následováno testem *vita maxima* pro zjištění maximálních parametrů testovaného. Měřeny jsou hodnoty SF_{max} , VE_{max} a VO_{2max} . Tento obecný test ukazuje na trénovatelnost, tedy schopnost zvládnout cyklické vytrvalostní sporty. Nutné hodnoty VO_{2max} pro vytrvalostní typy sportů u mužů je asi $75 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ tělesné hmotnosti a $65 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ tělesné hmotnosti u žen [8]

Mezi **speciální testy pro určení trénovanosti** řadíme modelovou vytrvalostní zátěž, jejímž principem je zařazení submaximální zátěže, který je svým charakterem blízká závodnímu zatížení.

Do této kategorie patří i v posledních letech pravděpodobně nejčastěji prováděné zátěžové vyšetření – určení anaerobního prahu [8]. Tomuto konstruktu se detailněji věnujeme v rámci výzkumné části práce.

Podle místa provedení lze dělit zátěžové testy na *laboratorní* a *terénní*. Většinou je provedení těchto testů vázáno na standardní podmínky laboratoře. Za využití speciální mobilní vyšetřovací techniky lze uskutečnit vyšetření i v terénních podmínkách. Výhodou je tak autentičnost prostředí, ve kterém se poté odehrává i reálný sportovní výkon. Tuto výhodu může na druhé straně eliminovat fakt horší reproducibilita vyšetření vlivem nestejných přírodních podmínek.

Konkrétní protokoly zátěžových testů ovlivňují získané výsledky. Rozhodující úlohu přitom hraje intenzita, frekvence pohybů, trvání a typ tělesné zátěže. Neexistuje protokol ve formě „zlatého“ standardu a jednotlivá odborná pracoviště používají odlišné protokoly. Tato praxe má za následek existenci rozdílné výsledky, což často znemožňuje jejich srovnání [173].

Další dělení zátěžových testů odvozujeme od použitého systému, s jehož využitím simulujeme terénní pohybovou aktivitu v kontrolovaných podmínkách laboratoře. Českým

standardem je bicyklová ergometrie, americkým využití běhátka [174]. V současnosti se využívá „bipední lokomoce“ [175] na běhátku rozšiřuje i v našich podmínkách.

Bicyklová ergometrie

Základní typy protokolů zátěžových testů [14].

- jednostupňový test – kontrolní metoda s délkou až několika desítek minut
- stupňovaný test – s přestávkami (1-2 min přestávky např. pro odběr krve)
- stupňovaný test – bez přestávek (angl. „step“ test)
- test s kontinuálním zvyšováním zátěže (angl. „ramp test“)
- kombinovaný test (různé varianty výše uvedených testů)
- speciální protokoly (např. test W170)

Z naší zkušenosti potvrzujeme závěry Radvanského [61], že ergometr pro vyšetření vrcholových sportovců musí být konstruován tak, aby v maximu bylo možné pracovat na zátěži 600 – 700W. Maximální hodnoty naměřená na našem pracovišti v rámci stupňovitého protokolu od 60 W (30W každou minutu) byly na úrovni 700 W po dobu 1 min

Kliková ergometrie

Protokoly jsou obdobné jako u bicyklové ergometrie, medicína jej využívá u motoricky hendikepovaných pacientů. Ve sportovní praxi je vhodný pro zátěžové testy pro sportovní odvětví, jejichž pohybový obsah je determinován pohybovými schopnostmi horních končetin (plavání). Rozlišujeme jednoklikový (rumpál), nebo dvouklikový ergometr.

Mezi další typy ergometrů lze zařadit např. **veslařský, běžkařský** apod. Snahou je vždy maximální přiblížení skutečnému charakteru pohybové aktivity sportovce.

Pohyblivý pás („běhátko“)

Volitelné prvky motorizovaného běhátka jsou rychlost pásu (dle jednotlivých modelů cca do 30 kmh⁻¹), a nastavení sklon (až do 35°) Konstrukce tří základních typů protokolů vycházejí ze způsobu zvyšování intenzity zatížení v průběhu testu. Podle tohoto kritéria rozlišujeme tyto zátěžové protokoly:

- sklon pásu je neměnný, zvyšuje se rychlost
- nemění se rychlost, zvyšuje se sklon
- zvyšuje se rychlost pásu i sklon.

Další parametry určující charakter jednotlivých zátěžových testů jsou: Délka trvání jednotlivých stupňů zátěže, úvodní rychlost běhu, vzestup intenzity v každém následujícím stupni zatížení.

U zátěžových testů se většinou tělesná zátěž zvyšuje postupně od velmi lehké přes střední po maximální. Během testu se sleduje reakce vybraných funkčních fyziologických ukazatelů (viz tab. 18). Postup vyšetření však není unifikován. Při využití bicyklové ergometrie je zátěž obvykle zvyšována ve vztahu k hmotnosti těla: např. počáteční zátěž je 0,5 (ženy) nebo 1,0 (muži) W na kg, zvyšuje se po 0,5 (1,0) W na kg. Modifikace vychází ze zkušeností konkrétního pracoviště a vyšetřujícího a z odhadu schopností vyšetřované osoby.[93]. Odhad výkonnosti je možné provést na základě vstupní anamnézy nebo podle úrovně základních fyziologických parametrů ve fázi rozcvičení před samotným testováním.

Tab. 18. Vybrané funkční parametry hodnocené v průběhu zátěžového vyšetření

Srdeční frekvence
Dechová frekvence
Dechový objem
Dechová rezerva
Minutová ventilace
Využití kyslíku
Ventilační ekvivalent pro kyslík
Příjem kyslíku
Spotřeba kyslíku
Tepový kyslík
Výdej oxidu uhličitého
Poměr respirační výměny
Respirační kvocient
Hladina krevního laktátu

Trvání jednotlivých stupňů zátěže

Trvání zátěže na každém stupni závisí na účelu testování. Obvykle je dostačující doba tři minut na každém stupni, kdy je zhruba dosaženo rovnovážného stavu. Na konci každé třetí minuty se provádí registrace fyziologických parametrů. Jsou-li současně sledovány parametry výměny dýchacích plynů nebo ventilace, může být trvání zátěže na každém stupni prodlouženo. Zůstává otázkou, zda je vhodné provádět mezi jednotlivými stupni zátěže pauzu, která vede k určitému zklidnění a vyžaduje delší iniciační fázi na dalším stupni zátěže. [93]

Celkové trvání zátěžového testu

Krátkou dobu trvající zátěžové testy s rychlými změnami v přírůstcích intenzity jsou ukončeny dříve, než je získán dostatek informací. Naopak příliš dlouhé testy, počátkem na vyšších intenzitách zatížení nebo s malým zvyšováním zátěže, končí předčasně pro demotivaci nebo diskomfort vyšetřovaného spojený například s maskou nebo náustkem spirometrické aparatury. Vyšetření $VO_2\max$ u zdravých lidí umožňují nejlépe stupňované zátěžové testy, které jsou skončeny mezi 6 a 12 minutou od zahájení testu. Odlišné hodnoty $VO_2\max$ naměřené při jiném trvání testu jsou však zanedbatelné. [176]

5.4 Postupy stanovení hodnoty $VO_2\max$

1. Metody přímého stanovení - diagnostika $VO_2\max$ resp. VO_{2peak}
2. Predikční rovnice na základě výsledků výkonových testů
3. Predikční rovnice bez zatížení

Ad 1. Přímé stanovení - spiroergometrie

Přesnou hodnotu $VO_2\max$ poskytne spiroergometrické vyšetření. V průběhu stupňovaného zátěžového testu jsou hodnoceny spiroergometrické parametry a hodnoty spotřeby kyslíku pomocí analyzátorů. Obecná forma testu vychází z metodiky Mezinárodního biologického programu [8]. Tato vyšetření není v současné době již striktně omezeno na prostory laboratoře. Díky moderním mobilním spirometrickým analyzátorům je možné sledovat hodnoty spotřeby kyslíku a dynamiku výměny plynů při zátěži i v terénu [177].

Ad 2 Predikční rovnice na základě výsledků výkonových testů

U většiny testů globální vytrvalostní schopnosti, ať už terénních nebo laboratorních, stanovili autoři, popř. další výzkumníci v rámci standardizace testu vedle reliability i koeficient validity. V převážné míře je vztahována ke kritériu maximální spotřeby kyslíku. Predikčních rovnic existuje celá řada, častokrát k jednomu testovému protokolu i mnoho jednotlivých modifikací. Tyto predikční rovnice mohou poskytnout hrubou představu o maximální aerobní kapacitě organismu, vždy však musím brát zřetel jejich limity výpovědní hodnoty.

Srovnávací studii hodnotící validitu sedmi testů vzhledem ke kritériu maximální spotřeby kyslíku publikoval Grant et al. (1999). V práci byly srovnávány Test na přímé určení $VO_2\max$, Bruceho maximální a Bruceho 85% test na běhátku, Astrand-Ryhmingův test na bicyklovém ergometru, Legerův test, běh na 1, 5 míli, a Kanadský Aerobní Fitness step test. Všechny testy kromě posledního uvedeného vykázaly koeficient validity 0,8 nebo vyšší. Bruceho test a Astrand-Ryhming test vykazují koeficient validity nejvyšší mezi zkoumanými testy [178].

Ad3 Predikční rovnice bez zatížení

Výpočet z hodnot srdeční frekvence.

Odhad hodnoty $VO_2\max$ vycházející z hodnot maximální (SF_{\max}) a klidové (SF_{klid}) srdeční frekvence publikoval kolektiv dánských výzkumníků [179].

$$VO_2 \max (\text{ml/min/kg}) = 15 \frac{SF_{\max}}{SF_{\text{klid}}}$$

5.5 Dělení testů dle převažujících energetických systémů

Další možná systematizace testů motorických schopností je podle účelu testování vzhledem ke třem energetickým systémům zajišťující zdroj energie pro pracující organismus, jak je uvádí Powers a Howley [15].

- Testy ATP CP systému
- Testy glykolytického systému
- Testy aerobního systému

Diagnostika ATP-CP systému je spjata s problematikou rychlostních, popř. explozivně silových schopností. Vzhledem k časové definici rychlostní vytrvalosti (15-50 sec.) není v tato komponenta v rámci konceptu vytrvalostních schopností testována. K dispozici je možnost detekce kyslíkového deficitu iničiální fáze. V počátku lehké nebo středně intenzivní tělesné zátěže nalézáme větší poměr deficitu kyslíku oproti jeho příjmu u osob s větší kapacitou ATP-CP [16]. Toto měření je možné realizovat v rámci iničiální fáze spiroergometrického vyšetření.

Testy glykolytického systému jsou již jednoznačně spjaty se systémem vytrvalostních schopností. Zástupcem testů typu tzv. all-out je **Wingate test**. Hodnoceným výstupem tohoto testu je počet otáček s přednastavenou zátěží úměrnou hmotnosti těla v průběhu 30 sec usilovného šlapání na bicyklovém ergometru. Hodnocen je maximální a průměrný výkon počítaný z jednosekundových intervalů. Maximální výkon je dosažen v prvních 5 sekundách, průměrný výkon je odrazem anaerobní kapacity organismu. Hodnocen je také tzv. index únavy, který je generován jako procentuální podíl poklesu výkonu mezi začátkem a koncem testu. Z výsledku testu je možné nepřímo odhadovat poměrové zastoupení rychlých (IIa, IIb) a pomalých (I) vláken [180].

Běžecká varianta tohoto testu je známá pod názvem „**Běžecký anaerobní sprinterský test**“ v originále Running Anaerobic Sprint Test (RAST). Tento test řadíme do skupiny *intermitentních testů*. Testová procedura předepisuje 6 sprinterských úseků na vzdálenost 35 metrů s 10ti sekundovými přestávkami mezi jednotlivými sprinty. Je měřen čas (optimálně automaticky časovými branami) na každém sprinterském úseku. Pomocí vzorce $Výkon = 1125 \times \frac{\text{tělesná hmotnost}}{\text{čas}^3}$ je vypočítán výkon na každém jednotlivém úseku. Obdobně jako u Wingate testu je možno stanovit index únavy, maximální, minimální a průměrný výkon. Test – retest korelační koeficient 0,88 a signifikantní korelaci k výsledkům Wingate testu (maximální výkon $r = 0,46$; průměrný výkon, $r = 0,53$; index únavy $r = 0,46$) uvádí ve své studii Zagato et al. [181].

Obdobnou variantu využívá Mezinárodní fotbalová federace FIFA v rámci testování rozhodčích kopané. Test FIFA pro rozhodčí a asistenty je uváděn pod názvem „**FIFA High-Intensity Fitness Test**“. Provedení testu spočívá v absolvování 6x 40m sprintu s intervalem odpočinku mezi úseky 90 sec. Je zaznamenán čas v každém běžeckém úseku. FIFA v rámci

kvalifikačních testů předepisuje absolvovat každý z šesti úseků ve stanoveném limitu, viz. tab. 19.

Tab. 19. Normy testu pro rozhodčí FIFA testu „High Intensity Fitness Test“

(převzato <http://topendsportscom/trstiny/tests/fifa-interval-1-hm>)

Muži/úroveň	Časový limit (s)
Mezinárodní rozhodčí	6,2
Mezinárodní asistent	6,0
Národní rozhodčí	6,4
Národní asistent	6,3
Ženy/úroveň	
Mezinárodní rozhodčí	6,6
Mezinárodní asistent	6,4
Národní rozhodčí	6,8
Národní asistent	6,6

6 Seznam literatury:

1. Jurca, R., Jackson, S. A., LaMonte, J.M., Morrow Jr. J.R., Blair, N.S., Wareham, N.J., Haskell, L. W., Van Mechelen, W., Church, T.S., Jakicic, J.M., Laukkanen, R., *Assessing Cardiorespiratory Fitness Without Performing Exercise Testing*. American Journal of Preventive Medicine, 2005. **29**(3): p. 185-193.
2. Čelikovský, S., et al., *Antropomotorika pro studující tělesnou výchovu*. 1990, Praha: SPN.
3. Martin, D.C., K., Lehnertz, K., *Handbuch der Trainingslehre*. 1993, Schorndorf: Karl Hofmann.
4. Kasa, J., *Športová kinantropológia (Terminologický a výkladový slovník)*. 1 ed. 2001, Bratislava: SVSTVŠ. FTVŠ UK Bratislava. 112.
5. Dovalil, J., et al., *Výkon a trénink ve sportu*. 2002, Praha: Olympia. 320.
6. Havel, Z.e.a., *Rozvoj vytrvalostních schopností*. 1996, Ústí nad Labem: PF UJEP. 101.
7. Bunc, V., *Pojetí tělesné zdatnosti a jejích složek*. Těl. Vých. Sport Mlád., 1995. **61**(5): p. 6-9.
8. Máček, M. and J. Radvanský, *Fyziologie a klinické aspekty pohybové aktivity*. 2011, Praha: Galén. 245.
9. Měkota, K., Novosad, J., *Motorické schopnosti*. 2005, Olomouc: UP.
10. Kohoutek, M., *Úvod do studia vytrvalostních schopností v antropomotorice*. 1987, Praha: SPN.
11. Spriet, L.L., *Anaerobic metabolism during high-intensity exercise.*, in *Exercise metabolism*, M. Hargreaves, Editor. 1995, Human Kinetics: Champaign. p. 1-40.
12. Stejskal, P. *Konec tradičního pojetí energetických zón?* in *Efekty pohybového zatížení v edukačním prostředí tělesné výchovy a sportu*. 2006. Olomouc.
13. Kuhn, K., Platen, P., Vafa, R., Nusser, S., *Richtig Ausdauer-training*. 2004: BLV Buchverlag.
14. Placheta, Z., Siegllová, J., Štejfá, M., *Zátěžová diagnostika v ambulatní a klinické praxi*. 1999, Praha: Grada Publishing. 276.
15. Powers, S.K. and E.T. Howley, *Exercise Physiology. Theory and Application to Fitness and Performance*. 6 ed. 2007, New York: Mc Graw-Hill International Edition. 540.
16. Novotný, J. and M. Novotná, *Fyziologické principy tréninku a testy běžců*. Atletika, 2008. **60**(11): p. 1-5 a 8.
17. Gastin, P., B., *Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise*. Sports Med, 2001(31(10)): p. 725-741.
18. Billat, V.L., Sirvent, P., Py, G., Koralsztein, J.P., Mercier, J., *The concept of maximal lactate steady state: a bridge between biochemistry, physiology and sport science*. Sports Med, 2003(33(6)): p. 407-426.
19. Conconi, F., Ferrari, M., Ziglio, P.G., et al., *Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive field test in runners*. J. Appl. Physiol., 1982. **52**: p. 869-73.
20. Robergs, R.A. and R. Landwehr, *The surprising history of the "HRmax=220-age" equation*. Journal of Exercise Physiology online, 2002. **5**(2).
21. Fox, S.M., J.P. Naughton, and W.L. Haskell, *Physical activity and the prevention of coronary heart disease*. Ann Clin Res, 1971. **3**: p. 404-432.
22. Tanaka, H., K.G. Monahan, and D.S. Seals, *Age - predicted maximal heart rate revisited*. J Am Coll Cardiol, 2001. **37**: p. 153-6.

23. Bruce, R.A., et al., *Separation of effects of cardiovascular disease and age on ventricular function with maximal exercise*. Am J Cardiol, 1974. **34**(7): p. 757-763.
24. Froelicher, V.F. and J.N. Myers, *Exercise and the heart*. 2000, Philadelphia: W.B. Saunders Company.
25. Graettinger, W.F., et al., *Relationship of left ventricular structure to maximal heart rate during exercise*. Chest, 1995. **107**(2): p. 341-345.
26. Hossack, K.F. and R.A. Bruce, *Maximal cardiac function in sedentary normal man and women: comparison of age-related changes*. J Appl Physiol, 1982. **53**(4): p. 799-804.
27. Whaley, M.W., et al., *Predictors of over- and underachievement of age - predicted maximal heart rate*. Med Sci Sports Exerc, 1992. **29**(8): p. 1173-1179.
28. Löllgen, H., Winter, U.J., Erdmann, E., *Ergometrie. Belastungsuntersuchungen in Klinik und Praxis*. 1997, Berlin: Springer Verlag. 436.
29. Heller, J., *"Cílové zóny" srdeční frekvence ve školní tělesné výchově*. Těl. Vých. Sport Mlád., 1996. **4**(62): p. 38 - 44.
30. Karvonen, M., *The effect of training on heart rate. A longitudinal study*. Ann Med Exp Biol Fenn, 1957. **35**: p. 307-315.
31. Bunc, V., Heller, J., *Comparison of two methods of noninvasive anaerobic threshold determination in middle-aged men*. Sports Med Training Rehabil, 1992. **3**: p. 87-94.
32. Kváčal, P., Radvanský, J., Čermák, M., *Určení anaerobního prahu ze spiroergometrických parametrů*. Med. Sport. Boh., 1998(7(1)): p. 14-19.
33. Janssen, P.G.J.M., *Training, lactate, pulse rate*. . 1989, Oulu, Finland: Polar electro Oy.
34. Palatini, P., *Need for revision of the normal limits of resting heart rate*. Hypertension, 1999. **33**: p. 622-625.
35. Jančík, J., E. Závodná, and M. Novotná, *Fyziologie tělesné zátěže- vybrané kapitoly*. 2006, FSS MU Brno.
36. Wilmore, J.H., et al., *Endurance exercise training has a minimal effect on resting heart rate: the HERITAGE study*. Medicine & Science in Sports & Exercise, 1996. **28**(7): p. 829-835.
37. Fox, S.I., *Human physiology*. 5 ed. 1996: McGraw Companies, Inc. 704.
38. Wilmore, J.H. and D.L. Costill, *Physiology of sport and exercise*. Physiology of sport and exercise. 1994, Champaign: Human Kinetics. 549.
39. Psotta, R., J. Heller, and V. Bunc, *Kinetika srdeční frekvence v zotavení - je použitelná v tělesné výchově a sportu? Česká kinantropologie*, 2000. **4**: p. 7-15.
40. Bell, G.J., et al., *Relationship between aerobic fitness and metabolic recovery from intermittent exercise in endurance athletes*. Can J Appl Physiol, 1997. **22**(1): p. 78-75.
41. Bunc, V., *Biokybernetický přístup k hodnocení reakce organismu na tělesné zatížení*. 1989, Praha: VÚT UK. 368.
42. Inbar, O., et al., *Normal cardiopulmonary responses during incremental exercise in 20-70-yr-old men*. Med Sport Boh, 1994. **26**(5): p. 538-546.
43. Hnízdil, J., *Conconiho test - limity výpovědní hodnoty*, in FTVS 2006, UK: Praha. p. 150.
44. Stromme, S.B., Wikeby, P. C., Blix, A. S. and Ursin, H., *Psychobiology of Stress: A Study of Coping Men*, ed. E.B.a.S.L. H. Ursin. 1978, New York: Academic Press. 83-89.
45. Hnízdil, J., J. Kubátová, and J. Pyšný. *Psychoemoční zatížení vyjádřené kinetikou srdeční frekvence při extrémním sportu*. in *Nové perspektivy výzkumu a praxe v kinantropologii*. 2003. Praha: FTVS UK.
46. Coyle, E.F., *Cardiovascular drift during prolonged exercise and the effects of dehydration*. Int J Sports Med, 1998. **19**(Suppl.2): p. S121-4.

47. Eklund, L.G., *Circulatory and respiratory adaptation during prolonged exercise*. Acta Physiol Scand, 1967. **70**(Suppl. 68): p. 5-38.
48. Mogoni, P., Sirtoni, M.D., Lorenzelli, F., et al., *Physiological response during prolonged exercise at the power output corresponding to the blood lactate threshold*. Eur J Appl Physiol, 1990. **60**: p. 239-43.
49. Achten, J., Jeukendrup, E. A., *Heart rate monitoring, application and limitations*. Sports Med, 2003. **33**(7): p. 517-38.
50. Rowel, L.B., *Human cardiovascular adjustment to exercise and thermal stress*. Physiol Rev, 1974. **54**: p. 75-159.
51. Hamilton, M.T., Gonzalez-Alonzso, J., Montain, S.J., et al., *Fluid replacement and glikose infusion during exercise prevent cardiovascular drift*. J Appl Physiol, 1991. **71**(3): p. 871-7.
52. Gonzalez-Alonso, J., Mora-Rodriguez, R., Below, P.R, et al., *Dehdration markedly impairs cardiovascular function in hyperthermic endurance athlets during exercise*. J Appl Physiol, 1997. **82**(4): p. 1229-36.
53. Gonzalez-Alonso, J., Mora-Rodriguez, R., Coyle, E.F., et al., *Stroke volume during exercise: interaction of enviroment and hydration [abstract]*. Am J Physiol Heart Circ Physiol, 2000. **278**: p. H321-30.
54. Gonzalez-Alonso, J., Mora-Rodriguez, R., Coyle, E.F., et al., *Supine exercise restores arterial blood pressure and skin blood flow despite dehydration and hyperthermia [abstract]*. Am J Physiol, 1999. **1999**: p. H567-83.
55. Seligr, V., Vinařický, R., Trefný, Z., *Fyziologie tělesných cvičená* 1980, Praha: Avicenum.
56. Taylor, C., *Some properities of maximal and submaximal exercise with reference to physiological variations and the measurement of exercise tolerance*. Am J Physiol, 1944. **142**: p. 200-12.
57. Becque, M.D., Katch, V., Marks, C., et al., *Reliability and within subject variability of VE, VO2, heart rate and blood pressure during maximum cycle ergometry*. Int J Sports Med, 1993. **14**(4): p. 220-3.
58. Astrand, P.O., Saltin, B., *Oxygen uptake during the first minutes of heavy muscular exercises*. J Appl Physiol, 1961. **16**(6): p. 971-6.
59. Brooke, J.D., Hamley, E.J., Thomason, H., *Variability in the measurement of exercise heart rate*. J Sports Med Phys Fitness, 1970. **10**(1): p. 21-5.
60. Gnehm, P., Reichenbach, S., Altpeter, E., Widmer, H., Hoppeler, H., *Influence of different racing positions on metabolic cost in elite cyclists*. Med Sci Sports Exerc, 1997. **29**: p. 818-23.
61. Radvanský, J. *Přístroje pro zátěž v laboratoři: ergometr, běhátko, handgrip (ruční dynamometr)*. 2005 [cited 2010 13.6.]; Available from: <http://ktl.lf2.cuni.cz/text/zatez/pristroje%20pro%20zatez.pdf>.
62. Gonzalez-Alonso, J., Teller, C., Andersen, S.L, et al., *Influence of body temperature in the development of fatigue during prolonged exercise in the heat*. J Appl Physiol, 1999. **86**(3): p. 1032-9.
63. Rowell, L.B., O'Leary, D.S., Kellog Jr, D.L., *Integration of cardiovascular control systems in dynamic exercise.*, in *Handbook of physiology. Exercise: regulation and integration of multiple systems.*, L.B. Rowel, Sheppard, J.T., Editor. 1996, University Press: New York: Oxford. p. 770-838.
64. Havlíčková, L., et.al., *Fyziologie tělesné zátěže I*. 1999, Praha: Univerzita Karlova.

65. Hill, A.V., Long, C. N. H., Lupton, H., *Muscular exercise, lactic acid and the supply and utilisation of oxygen: Parts VII-VIII*. Proc Roy Soc, 1924. **B 97**: p. 155–176.
66. Hill, A.V., Lupton, H., *Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilization of oxygen*. Q. J. Med., 1923. **16**: p. 135-1971.
67. Herbst, R., *Der Gasstoffwechsel als Mass der körperlichen Leistungsfähigkeit. I. Mitteilung: die Bestimmung des Sauerstoffaufnahmevermögens beim Gesunden*. Deut. Arch. Klin. Med., 1928. **162**: p. 33-50.
68. Bassett, D.R., JR., Howley, E.T., *Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance*. Med Sci Sports Exerc, 2000. **32**(1): p. 70-84.
69. Heller, J., *Funkční zátěžová diagnostika a její aplikace ve sportu*. Lékařské listy, 1997. **40**: p. 10-12.
70. Noakes, T., *The Lore of Running*. 2004, Oxford: Oxford University Press.
71. Costill, D.L., Thomason, H., Roberts, E., *Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running*. Med. Sci. Sports Exerc., 1973. **5**: p. 248-252.
72. Hagberg, J.M., Coyle, E.F., *Physiological determinants of endurance performance as studies competitive racewalkers*. Med. Sci. Sports Exerc., 1983. **15**: p. 287-289.
73. Murase, Y., Kobayashi, K., Kamei, S., Matsui, H., *Longitudinal study of aerobic power in superior junior athletes*. Med. Sci. Sports Exerc., 1981. **13**: p. 180-184.
74. Fletcher, G.F., Balady, G.J., Amsterdam, E.A., Chaitman, B., Eckel, R., Fleg, F., Froelicher, V.F., Leon, A. S., Piña, I.L., Rodney, R., Simons-Morton, D.A., Williams, M.A., Bazzarre, T. , *Exercise Standards for Testing and Training: A Statement for Healthcare Professionals From the American Heart Association* Circulation, 2001. **104**: p. 1694 -1740.
75. Cohn, J.N., ed., *Quantitative exercise testing for the cardiac patient: the value of monitoring gas exchange: introduction*. Circulation, 1987. **76(suppl VI)**: I-1–VI-2.
76. Bouchard, C., An, P., Rice, T., et al., *Familial aggregation of VO₂ max response to exercise training: results from the HERITAGE Family Study*. J Appl Physiol, 1999. **87**: p. 1003-1008.
77. POLAR, *Polar - uživatelská příručka*. 2008, Sportovní služby. p. 50.
78. Wasserman, K., McIlroy, M.B., *Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise*. Am J Cardiol, 1964. **14**: p. 844-852.
79. Wasserman, K., et al., *Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise*. J Appl Physiol, 1973. **35**: p. 236-243.
80. Placheta, Z., *Submaximal exercise testing*. 1988, Brno: Univerzita J.E. Purkyně v Brně. 268.
81. Aunola, S., Rusko, H. , *Does anaerobic threshold correlate with maximal lactate steady state?* J Sport Sci, 1992. **10**: p. 309-23.
82. Skinner, J.S., McLellan, T.H., *The transition from aerobic to anaerobic metabolism*. Res Q Exerc Sport, 1980. **51**: p. 234-48.
83. Paukrťová, D., *Zátěžové testování zdravých mužů ve věku 40-50 let: porovnání stupňovaného a kontinuálně zvyšovaného zátěžového protokolu.*, in FTVS. 1999, UK: Praha.
84. Hagberg, J.M., et al., *Ventilatory threshold without increasing blood lactic acid levels in McArdle's disease patients*. Med. Sci. Sports. Exerc., 1980. **12**: p. 127.
85. Svedhal, K., MacIntosh, B.R., *Anaerobic threshold: The concepts and methods*. Can J Appl Physiol, 2003. **28**(2): p. 299-323.

86. Mader, A.e.a., *Zur Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit im Labor*. Sportarzt u. Sportmedizin, 1976. **27**: p. 80-88, 109-112.
87. Billat, V., Dalmay, F., Antonini, M. T., et al. , *A method for determining the maximal steady state of blood lactate concentration from two levels of submaximal exercise*. Eur J Appl Physiol, 1994: p. 196-202.
88. Bunc, V., Šprynarová, Š., Heller, J., Zdanowicz, R., *Možnosti využití anaerobního prahu ve fyziologii práce. II. Metody stanovení anaerobního prahu*. Pracov. Lék., 1984. **36**(4).
89. Coyle, E.F., Martin, W. H., . Ehsani, A. A., . Hagberg, J. M., . Bloomfield, S. A., Sinacore, D. R., Holloszy J. O., *Blood lactate threshold in some well-trained ischemic heart disease patients*. J Appl Physiol, 1986. **54**: p. 18-23.
90. Yeh, M.P., Gardner, T., Adams, D., Yanowitz, F.G., Crapo, R.O., *"Anaerobic threshold": problems of determination and validation* J Appl Physiol, 1983. **55**: p. 1178-86.
91. Jacobs, I., Kaiser, P., *Lactate in blood, mixed skeletal muscle, and FT od ST fibres during cycle exercise in man*. Acta Physiol Scand, 1982. **114**: p. 421-26.
92. Tesch, P., *Muscle lactate accumulation at onset of blood lactate accumulation*. Med Sci Sports Exerc, 1981. **13**: p. 114.
93. Máček, M., Vávra, J., *Fyziologie a patofyziologie tělesné zátěže*. 1988, Praha: Avicenum.
94. Wasserman, K., Hansen, J. E., Sue, D. Y., Whipp, B. J., *Principles of Exercise Testing and Interpretation*. 1987, Philadelphia: Lea and Febiger.
95. Loat, C.E.R., Rhodes, E.C., *Relationship between the lactate and ventilatory thresholds during prolonged exercise*. Sports Med, 1993. **15**: p. 104-15.
96. Grimaud, C., et al., *Mesures et signification du seuil anaérobie dans un groupe de cyclist amateurs*. Méd du Sport, 1983. **57**: p. 309-314.
97. McLellan, T., Feroah, T., Skinner, J.S., *The effect of work load duration on the determination of the aerobic and anaerobic thresholds*. Med Sci Sports Exerc, 1981. **13**: p. 69.
98. Poole, D., Gaesser, G.A., *Response of ventilatory and lactate thresholds to continuous anfd interval training*. J Appl Physiol, 1985. **58**: p. 1115-1121.
99. Colling, R. (1997) *Assessment and detection of the lactate threshold*. Exercise physiology **2003**.
100. Wyatt, F.B., Tran, Z. V., Jackson, C. G., Brustad, R. J., Banchemo, N., *Comparison of lactate and ventilatory threshold to maximal oxygen consumption: A meta-analysis*. . Medicine and Science in Exercise and Sports, 1996. **28**(5): p. Supplement abstract 402.
101. Gladden, L.B., et al., *Agreement between gas exchnge and lactate anaerobic threshold determinations amonf independent investigator*. Med Sci Sports Exerc, 1983. **15**: p. 1983.
102. Mackenzie, B., *Anaerobic threshold testing*. 1997.
103. Bunc, V., *Stanovení intenzit pohybového zatěžování pro rozvoj aerobní zdatnosti*. Těl. Vých. Sport Mlád., 1993. **8**(69): p. 3-9.
104. Saunders, P.U., *Factors affecting running economy in trained distance runners*. Sports Med, 2004. **34**(7): p. 465-485.
105. Kyrolainen, H., Belli, A., Komi, P. A., *Biomechanical factors affecting running economy*. Medicine and Science in Exercise and Sports, 2001. **33**: p. 1330-1337.
106. Malina, R., Bouchard, C., Bar-OR, O., *Gowth, maturation and physical activity*. 2nd ed. 2004, Champaign IL: Human Kinetics.

107. Glace, B.W., Murphy, C. A., Kremenec, I. J., McHugh, M. P., *Running economy of elite and non-elite runners*. *Medicine and Science in Exercise and Sports*, 2002. **34(5)**, **Supplement abstract 137**.
108. Grasgruber, P., Cacek, J., *Sportovní geny*. 2008, Brno: Computer press. 480.
109. Jones, A.M., *Running economy is negatively related to sit-and-reach test performance in international-standard distance runners*. *Int J Sports Med*, 2002. **23**: p. 40-43.
110. Trehearn, T.L., *Sit-and-reach flexibility and running economy of man and women collegiate distance runners*. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2009. **23(1)**: p. 158-162.
111. Craib, M.W., et al., *The association between flexibility and running economy in sub-elite male distance runner*. *Medicine and Science in Exercise and Sports*, 1996. **28(6)**: p. 737-743.
112. Shrier, I., *Does stretching improve performance?: A systematic and critical review of the literature*. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 2004. **14(5)**: p. 267-273.
113. Arampatzis, A., et al., *Influence of the muscle tendon unit's mechanical and morphological properties on running economy*. *The Journal of Experimental Biology*, 2006. **209**: p. 3345-3357.
114. Andreson, T., *Biomechanics and running economy*. *Sports Med*, 1996. **22(2)**: p. 76-89.
115. Pugh, L.G., *Oxygen uptake in track and treadmill running with observations on the effect of air resistance*. *J Physiol*, 1970. **207(3)**: p. 475-9.
116. Davies, C.T., *Effects of wind resistance and resistance on the forward motion of a runner*. *J Appl Physiol*, 1980. **48(4)**: p. 702-9.
117. Jones, A.M., Doust, J.H., *A 1% treadmill grade most accurately reflects the energetic cost of outdoor running*. *Journal of Sports Sciences*, 1996. **14**: p. 321-327.
118. Máček, M., J. Vávra, and J. Novosadová, *Prolonged exercise in prepubertal boys*. *Eur J Appl Physiol*, 1976. **35**: p. 291-298.
119. Armstrong, N., *Aerobic fitness and anaerobic performance during childhood and adolescence*. *Acta Kin. Univ. Tartuensis*, 2002. **7**: p. 13-19.
120. Suchomel, A., *Súčasný stav v hodnotení telesnej zdatnosti a pohybovej výkonnosti detí školského veku*, in *Súčasný stav a nové trendy v hodnotení telesnej zdatnosti a pohybovej výkonnosti žiakov základných škôl*. 2009, Univerzita Mateje Bela: Banská Bystrica.
121. Welsman, J.R. and N. Armstrong, *The measurement and interpretation of aerobic fitness in children: current issues*. *Journal of the Royal Society of Medicine*, 1996. **89**: p. 4.
122. Belej, M., *Motorické učenie*. 2 ed. 2001, Prešov: PU.
123. Zapletalová, L., *Ontogenézia motorickej výkonnosti*. 2002, Bratislava: Slovenská vedecká spoločnosť pre telesnú výchovu a šport. 95.
124. Winter, R., *Zum Problem der Sensiblen Phasen im Kindes- und Jugendalter*. *Körperziehung*, 1984. **23(1)**: p. 49-59.
125. Šemetka, M., *Tělesná vývoj a pohybová výkonnost 7-14leté poulace na Slovensku*. *Trenér*, 1982. **1**: p. 22-26.
126. al., R.M.e., *Telesný, funkčný rozvoj a pohybová výkonnosť 7-18 ročnej mládeže v ČSFR*. 1990, Bratislava: Ministerstvo školstva, mládeže a športu SR. 284.
127. Tomkinson, R.G., Plds, T.S., Borms, J., *Who are Eurofittest?* *Med Sport Sci.*, 2007. **50**: p. 104-128.

128. Vobr, R., *Vývoj věku vrcholné výkonnosti v atletice, plavání, běžeckém lyžování a ledním hokeji a fotbalu v letech 1970 - 2007*. 2009, České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.
129. Měkota, K., Blahuš, P., *Motorické testy v tělesné výchově*. 1983, Praha: Státní pedagogické nakladatelství. 331.
130. Welk, G.J. and M.D. Meredith, *Fitnessgram / Activitygram Reference Guide*. 2008, Dallas, TX: The Cooper Institute.
131. Plowman, S.A., et al., *The History of Fitnessgram*. Journal of Physical Activity and Health, 2006. **3 (supl 2)**: p. S5-S20.
132. Cotten, D.J., *An analysis of the NCYFS II modified pull-up test*. Research Quarterly for Exercise and Sport, 1990. **61**: p. 272-274.
133. Roman, B.S. and M.T. Mahar, *Norm-referenced and criterion-referenced reliability of the push-up and modified pull-up*. Measurement in Physical Education and Exercise Science, 2001. **5**: p. 67-80.
134. Escamil, R.F., et al., *Electromyographic analysis of traditional and nontraditional abdominal exercises: Implication for rehabilitation and training*. Physical Therapy, 2006. **86**: p. 656-671.
135. Suchomel, A. and J. Kříž, *Úroveň motorické výkonnosti dětí školního věku v Libereckém regionu*. Exercitatio Corpolis - Motus - Salus, 2009. **1(1)**: p. 94-101.
136. Pollock, M.L., et al., *A comparative analysis of four protocols for maximal treadmill stress testing*. American Heart Journal, 1976. **92(1)**: p. 39-46.
137. Pollock, M.L., et al., *Comparative analysis of physiologic responses to three different maximal graded exercise test protocols in healthy women*. American Heart Journal, 1982. **103(3)**: p. 363-373.
138. Cooper, H.K., *Correlation Between Field and Treadmill Testing*. The Journal of The American Medical Association, 1968. **203(3)**: p. 201-204.
139. Cooper, K.H., *A means of assessing maximal oxygen uptake*. Journal of the American Medical Association, 1968. **203**: p. 201-204.
140. Reiman, M.P., Manske, R.C., *Functional Testing in Human Performance*. 2009: Human Kinetics. 310.
141. Balke, B., *A simple field test for the assessment of physical fitness*. Civil Aeromedical Research Institute Report, 1963. **63(18)**.
142. Horwill, F., *Obsession for Running*. 1994: Colin Davies Printers / British Milers' Club.
143. Teplý, Z., *Zdraví, zdatnost, pohybový režim*. 1995, Praha: Česká asociace Sport pro všechny.
144. Kopřiva, J., *Normy testu "12 minutové plavání" pro posluchače vysokých škol*. Těl. Vých. Sport Mlád., 1993. **59(1)**: p. 27-29.
145. Grant, S., et al., *A comparison of methods of predicting maximum oxygen uptake*. Br J Sports Med, 1995. **29**: p. 147-152.
146. Měkota, K., Kovář, R., et al., *Unifittest (6-60). Manuál pro hodnocení základní motorické výkonnosti a vybraných charakteristik tělesné stavby mládeže a dospělých v České republice*. Vol. 1. 1996, Praha: Pedagogická fakulta Ostravské Univerzity.
147. Rechichi, C., B. Dawson, and S.R. Lawrence, *A multistage shuttle swim test to assess aerobic fitness in competitive water polo players*. Journal of Sports Science and Medicine, 2000. **3(1)**: p. 55-64.
148. Leone, M., et al., *An on-ice aerobic maximal multistage shuttle skate test for elite adolescent hockey players*. Int J Sports Med, 2007. **28(10)**.

149. Koen, A.P., et al., *Reliability of the Groningen Fitness Test for Elderly*. Journal of Aging and Physical Activity, 2001. **9**: p. 194-212.
150. Vanderthommen, M., et al., *A multistage field test of wheelchair users for evaluation of rfitness and prediction of peak oxygen consumption*. Journal of Rehabilitation Research and Development, 2002. **39**(6): p. 685-692.
151. Safrit, M.J., *The validity and reliability if fitness test for children: A review*. Pediatric Exercise Science, 1990. **2**: p. 9-28.
152. Cuerton, K.J. and S.A. Plowman, *Aerobic Capacity Assessments*, in *Fitnessgram/Activitygram Reference Guide 3rd (pp Internet Resource)*, G.J. Welk and M.D. Meredith, Editors. 2008, The Cooper Institute: Dallas, TX.
153. Brouha, L., C.W. Heath, and A. Graybel, *Step test simple method of measuring physical fitness for hard muscular work in adult men*. Rev Canadian Biol, 1943. **2**(86).
154. Sloan, A.W., *A modified Harvard step for women*. J Appl Physiol, 1959. **13**(2): p. 241-3.
155. Montoye, H.J., *The Harvard step test and work capacity*. Rev Canadian Biol, 1953. **11**(5): p. 491-9.
156. Keen, E.N. and A.W. Sloan, *Observations on the Harvard step test*. J Appl Physiol, 1958. **13**(2): p. 241-3.
157. Chrástek, J., *Seminář o metodice step-testu*. Teor. Praxe těl. Vých., 1964. **12**.
158. Martiník, K. *Funkční zkoušky*. 2007 [cited 2010 19.3.]; Available from: <http://www.profmartinik.cz/wp-content/soubory/fvmvhp-5funkcni-zkousky.pdf>.
159. Hnízdil, J., Kubátová, J., Pyšný, L. *Psychoemoční zatížení vyjádřené kinematikou srdeční frekvence při extrémním sportu*. in *Nové perspektivy výzkumu a praxe v kinantropologii*. 2003. Praha.
160. Wood, R. *Topend Sports*. 2001 [cited 2010 19.03.]; Available from: <http://www.topendsports.com>.
161. McArdle, W.D., F.I. Katch, and V.L. Katch, *Essentials of exercise physiology*. 2nd ed. 2000, Philadelphia: Lippincot Williams & Wilkins. 679.
162. McArdle, W.D., F.I. Katch, and V.L. Katch, *Exerice Physiology Energy, Nutrition and Human Performance*. 3rd ed. 1991, Philadelphia: Lea & Febiger.
163. Sykes, K. and A. Roberts, *The Chester step test - a simple yet effective tool for the prediction of aerobuc capacity*. Physiotherapy, 2004. **90**(4): p. 183-188.
164. Buckley, J.P., et al., *Reliability and validity of measures taken during the Chester step test to predict aerobic power and to prescribe aerobic exercise*. Br J Sports Med, 2004. **38**: p. 197-205.
165. F J Nagle, B. Balke, and J.P. Naughton, *Gradational step tests for assessing work capacity*. J Appl Physiol, 1965. **20**.
166. Shephard, R.J., S. Thomas, and I. Wellner, *The Canasian Home Fitness Test*. Sports Med, 1991. **11**: p. 358-366.
167. Marley, W.P. and A.C. Linnerud, *Astrand-Ryhming step test norms for colege students*. Br J Sports Med, 1976. **10**(2): p. 76-79.
168. Pollock, M.L. and J.H. Willmore, *Exercise in health and disease: Evaluation and precription for prevention and rehabilitation*. 2nd ed. 1990, Philadelphia: W.B. Saunders. 741.
169. Kasch, F.W., et al., *Maximum work capacity in middle-aged males by a step test method*. J Sports Med Phys Fitness, 1965. **5**(4): p. 198-202.

170. Davis, J.A. and J.H. Wilmore, *Validation of a Bench Stepping Test for Cardiorespiratory Fitness Classification of Emergency Service Personnel*. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 1979. **21**(10): p. 671-673.
171. Jones, C.J. and R.E. Rikli, *Measuring functional fitness of older adults*, *The Journal on Active Aging*. *The Journal of Active Aging*, 2002: p. 24-30.
172. Novotný, J., *Kapitoly sportovní medicíny*. 2003, MU FSPS: Brno.
173. Placheta, Z., et al., *Zátěžová funkční diagnostika a preskripce pohybové léčby ve vnitřním lékařství*. 1996, Brno: Masarykova univerzita.
174. Radvanský, J. *Přístroje pro zátěž v laboratoři: ergometr, běhátko, handgrip (ruční dynamometr)*. 2005 12.9.2010; Available from: <http://ktl.lf2.cuni.cz/text/zatez/pristroje%20pro%20zatez.pdf>.
175. Kučera, M., Dylevský, I., a kol., *Sportovní medicína*. 1999, Praha: Grada.
176. Wasserman, K., et al., *Principles of exercise testing and interpretation: including pathophysiology*. 4 ed. 2005, Philadelphia: LWW.
177. Mac Naughton, L.R., *Portable gas analyse Cosmed K4b compared to a laboratory based mass spectrometre system*. *Sports. Med. Phys. Fitness*, 2005. **45**: p. 315-323.
178. Grant, J.A., A.N. Joseph, and P.D. Campagna, *The prediction of VO₂max: A Comparison of 7 Indirect Test of Aerobic Power*. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 1999. **13**(4): p. 346-352.
179. Uth, N., Sørensen, H., Overgaard, K., Pedersen, P., K., *Estimation of VO₂max from the ratio between HR_{max} and HR_{rest}--the Heart Rate Ratio Method*. *Eur J Appl Physiol*, 2004. **91**(1): p. 111-115.
180. Svědík, I. *Zátěžové kondiční testy*. [cited 2010 19.3.]; Available from: <http://www.is-tt.cz/zatezove-testy>.
181. Zagatto, A.M., W.R. Beck, and C.A. Gobatto, *Validity of the Running Anaerobic Sprint Test for Assessing Anaerobic Power and Predicting Short-Distance Performances*. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2009. **23**(6): p. 1820-1827.

VÝZKUMNÁ ČÁST

V této části práce předkládáme dvě studie zaměřené na diagnostiku vytrvalostních schopností.

I.

**Stanovení anaerobního prahu s využitím motorického testu
Vytrvalostní člunkový běhu na 20 m. a Conconiho metodiky**

II.

**Vytrvalostní člunkový běh na 20 metrů – limity výpovědní
hodnoty stávajících norem.**

Stanovení anaerobního prahu s využitím motorického testu Vytrvalostní člunkový běhu na 20 m. a Conconiho metodiky.

Obsah:

1. Úvod	102
2. Teoretická východiska.....	102
2.1. Conconiho test.....	102
2.1.1. Metodika stanovení bodu deflexe SF (BDSF).....	104
2.1.2. Protokoly pro Conconiho test.....	105
2.1.2.1. Terénní testy	105
2.1.2.2. Laboratorní testy	105
2.1.3. Validita Conconiho testu	106
2.1.3.1. Ventilací práh jako kritérium validity Conconiho testu	107
2.1.3.2. Predikční validita	108
2.1.3.3. Bod deflexe a steady state.....	108
2.1.4. Reliabilita Conconiho testu.....	111
2.1.5. Fyziologická podstata deflekčního bodu kinetiky SF	115
2.2. Vytrvalostní člunkový běh na vzdálenost 20 m (VCB ₂₀).....	118
2.2.1. Validita VCB ₂₀ ke kritériu maximální spotřeby kyslíku.....	119
2.2.2. Reliabilita VCB ₂₀	121
3. Metodika	122
3.1. Cíl, úkoly a hypotézy práce	123
3.2. Výzkumné a statistické metody	124
3.3. Organizace testování a metodika šetření	125
Charakteristika výzkumného souboru	126
4. Výsledky.....	127
5. Diskuse.....	131
6. Závěr	139
7. Seznam literatury	140

1. Úvod

Vytrvalostní člunkový běh na 20 m je standardizovaným testem pro diagnostiku vytrvalostních schopností. Principem testu je postupné zvyšování intenzity pohybu (běhu) do vita maxima. Zvyšování intenzity je určeno audio signály. Řadíme jej mezi výkonové testy, hodnocení a normy jsou založeny na dosaženém výkonu v testu.

Conconiho test má obdobný pohybový vzorec průběhu testu, tedy postupné zvyšování intenzity pohybu do maximálních hodnot. Můžeme jej zařadit mezi funkční zkoušky, neboť prostřednictvím SF hodnotíme odpověď organismu na zatížení. Zvyšování intenzity pohybu je předepsáno v rámci standardizace testu, přičemž k dispozici je více variant testového protokolu. Výstupem testu je hodnota anaerobního prahu (ANP) kterou Conconi ztotožňuje s hodnotou srdeční frekvence (SF), ve které je porušen dosud lineární průběh vztahu SF / intenzita zatížení.

Předmětem našeho zkoumání je ověření možnosti vyhodnotit kinetiku SF v rámci testu Vytrvalostní člunkový běh na 20 metrů Conconiho metodou. Následně pak ověřit možnost detekovatelnosti hodnoty anaerobního prahu vyjádřené hodnotou SF z výsledků vytrvalostního člunkového běhu.

Vedle těchto úkolů chceme v rámci teoretických východisek detailněji sumarizovat poznatky a výsledky dosavadní výzkumů v této oblasti.

2. Teoretická východiska

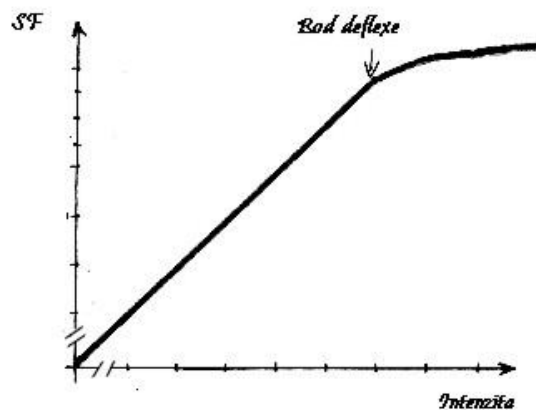
2.1. Conconiho test

Brooke aj. [1] v r. 1968 a Brooke a Hammley [2] v r. 1972 konstatují, že vztah mezi intenzitou tělesného zatížení a příslušnou hodnotou SF není v celém rozsahu lineární. Na základě testování vrcholových cyklistů charakterizují křivku závislosti SF na intenzitě stupňovaného zatížení ve tvaru S, kdy je lineární závislost pouze u submaximálních hodnoty a při nižším a zejména při vyšším zatížení manifestuje odklon od linearity.

V návaznosti na tyto poznatky a na základě vlastních výzkumů r. 1982 představuje Conconi [3] koncept možnosti využití změn v kinetice SF určení horního bodu odklonu od linearity vztahu SF a intenzity činnosti k alternativnímu stanovení hodnoty anaerobního prahu (ANP). Testováno bylo 210 trénovaných běžců – vytrvalců. Úvodní rychlost běžeckého testu byla stanovena v rozmezí od 12 do 14 km.h⁻¹. Rychlost byla zvyšována postupně každých 200 m

o 0,5 km.h⁻¹ až do maximální rychlosti, kdy již další zvýšení nebylo možné. SF byla zaznamenávána každých 50 metrů. Z grafického vyjádření závislosti SF na stupňující se rychlosti běhu je patrný odklon křivky od linearity, označený Conconim jako „bod deflexe“ (obr. 1).

Obr. 1. Conconiho test – princip viz text, převzato [4]



ANP byl určen nestandardní metodou, což v budoucnosti přispělo k částečné kritice Conconiho principu. Hodnoty krevního laktátu byly stanoveny u 10 běžců při šesti stupních zatížení, přičemž 3 stupně odpovídaly rychlostem pod individuální hodnotou na úrovni bodu deflexe a 3 stupně nad touto hodnotou. Délka každého stupně zatížení byla 1200 metrů s 15minutovým zotavným intervalem. Krevní vzorek byl odebrán 5 minut po ukončení každého stupně [4].

Výsledky takto stanovené hodnoty ANP a hodnoty získané pomocí Conconiho testu vykazovaly těsnou závislost ($r = 0,99$; $n = 10$). Z těchto zjištění Conconi vyvozuje hypotézu, že pro určení ANP lze využít jako alternativní neinvazivní metodu založenou na principu odklonu hodnoty SF od linearity při kontinuálním stupňovaném zatížení [3].

Pro fyziologické zdůvodnění této skutečnosti cituje Conconi studie Pendergasta aj. [5], který dokázal, že přírůstek VO_2 nad ANP je nižší než příslušné proporcionální zvýšení intenzity činnosti. Conconi předpokládá, že zvýšení rychlosti nad ANP je zčásti závislé na VO_2 a srdeční frekvenci, a proto i zvýšení rychlosti nad ANP není doprovázeno stejným zvýšením SF jako v submaximálních intenzitách [4].

V roce 1996 Conconi modifikoval způsob provedení testu. Hlavní změny oproti původnímu předpisu jsou [6] :

- přírůstky rychlosti mají plynulý charakter na rozdíl od protokolu využívající zvýšení rychlosti ve stupních;
- nárůst rychlosti je určen shodnými časovými úseky na čase, nikoliv na fixní vzdálenosti;
- od startovní rychlosti (děti a nesportovci $4 - 5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, sprinteři $5 - 7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, vytrvalci $8 - 12 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) se zvyšuje rychlost běhu postupně („ramp fashion“), nárůst intenzity pohybu (vyjádřen v hodnotách SF) však nesmí překročit hodnotu 8 tepů za minutu.

2.1.1. Metody stanovení bodu deflexe srdeční frekvence (BDSF) [4]

1) Vizuální zhodnocení a detekce BDSF

Nejdostupnější, snadno proveditelná a nejčastěji využívaná metoda [7-10]. Ne vždy je však bod odklonu evidentní. Z toho mohou rezultovat některé chybná určení BDSF [9, 11].

2) Matematické modelování

Ve snaze zobjektivizovat detekci bodu deflexe byla vypracována celá řada metod pro jeho matematické určení. Jsou využívány logistické funkce [3, 12, 13], regresní techniky – jednoduché lineární regrese [14-16], srovnávací lineární regresní modely [10, 17-19] nebo rovnice třetího stupně regresní křivky [17] a monosegmentální, exponenciální a bisegmentální logaritmické analýzy [20].

3) Regresní analýza

Pracuje s koncepty obou prahů, tj. aerobního a anaerobního prahu. Nejcitlivější metoda určení deflexního bodu. Tato metoda je využívána pro výzkumné účely, menší je její praktický význam [21].

4) Matematické metody

pro určení stupně a směru odklonu od linearitu [21]. Metoda využívá druhý stupeň polynomického vyjádření bodu deflexe [22-27].

5) Využití dynamických neurálních síťových modelů [28].

2.1.2. Protokoly pro Conconiho test

2.1.2.1. Terénní varianty

Originální testový protokol [3], jehož pohybovým obsahem byla běžecká lokomoce, byl následně doplněn řadou dalších, které byly modifikovány pro cyklistiku [29, 30], plavání [8], veslování [31], běžecké lyžování, bruslení a chůzi [29]. Všechny tyto terénní testy vycházejí z původního konceptu a jsou založeny na hodnocení SF při progresivní stupňované zátěži při *fixní vzdálenosti* jednotlivých úseků v průběhu testu [21].

2.1.2.2. Laboratorní varianty

Laboratorní testové protokoly umožňují lépe kontrolovat standardizované podmínky testování. V první fázi byly vypracovány testovací postupy a protokoly pro bicyklovou ergometrii [9, 12, 16, 19, 24, 25, 27, 32-40] s kadencí fixní [9, 18, 34, 41], nebo subjektivně stanovenou [12, 13, 17, 19, 24, 25, 27, 33, 35, 36, 39, 42, 43]. Původního principu kontinuálního zvyšování zátěže využívá i běhátková [7, 15, 32, 38, 39, 44], veslařská [16, 30] a ruční ergometrie [45]. Na rozdíl od terénního testování je většina laboratorních protokolů založena na principu *konstantních časových úseků*, které vymezují jednotlivé segmenty zvyšující se zátěže. Přesto nalezneme i laboratorní protokoly s fixními vzdálenostními parametry [46], [21].

Tab. 1. Přehled vybraných terénních běžeckých protokolů Conconiho testu [4]

Conconi et al.[3]	Start 12 - 14 km.h ⁻¹ zvýšení rychlosti 0,5 km.h ⁻¹ každou minut.
Ballarin et al. [47]	Start 5 - 7 km.h ⁻¹ zvýšení rychlosti každých 100 m.
Tomakidis, Leger [10]	Start 9 km.h ⁻¹ zvýšení rychlosti o 1 km.h ⁻¹ do 14 km.h ⁻¹ , poté zvýšení o 0,5 km.h ⁻¹
Tomakidis, Leger [20]	Start 9 km.h ⁻¹ rychlost i její zvyšování je řízeno signály z magnetofonové kazety ¹ .
Petit et al. [13]	Start 10,3 km.h ⁻¹ zvýšení rychlosti každých 200 m.
Vachon et al. [48]	Start 10 - 14 km.h ⁻¹ zvýšení rychlosti o 0,5 km.h ⁻¹ po 200 m.

„Dva základní typy testových předpisů, které se používají při diagnostice a detekci BDSF lze rozdělit na protokoly s konstantními časovými úseky a protokoly s konstantní vzdáleností. Protokoly založené na konstantních úsecích předepisují zvyšování intenzity pohybové činnosti v pravidelných, stejně dlouhých a předem stanovených časových segmentech. Naopak protokoly založené na konstantní vzdálenosti předepisují zvýšení intenzity na konstantních úsecích o stejné délce“ [4].

Konstantní vzdálenost jednotlivých úseků bývá použita jako vysvětlení existence a výskytu BDSF. Protože délka úseku je fixní, zmenšuje se zejména v posledních úsecích čas potřebný k jejich absolvování. Zároveň se progresivně snižuje možnost organismu a jeho kardiovaskulární soustavy účinně se adaptovat na zvyšující se zátěž. Tato skutečnost je brána v potaz při objasňování výskytu BDSF [49].

Na druhou stranu, kardiovaskulární adaptace na zvyšující se zátěž, není-li přírůstek rychlosti vyšší než $0,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, je efektivně nastolena v rozmezí od 10 do 20 sekund. Současně Vachon et al. [48] zaznamenává setrvalý stav (± 2 tepy za minutu) od 15 do 30 sekund při použití Conconiho protokolu.

Zdá se, že typ použitého testového protokolu ovlivňuje možnost BDSF detekovat. Stupeň deflexe křivky SF je vysoce závislý na typu použitého protokolu [23]. Například Vachon et al. [48] uvádí 100%ní úspěšnost při stanovení BDSF při využití Conconiho protokolu v terénních podmínkách ($n = 8$) oproti 50%ní úspěšnosti při laboratorním testování s využitím běhátkového ergometru ($n = 4$).

2.1.3. Validita Conconiho testu

Dle Conconiho [3] reprezentuje hodnota SF v deflekčním bodě hodnotu ANP. Validita detekce ANP z BDSF je však stále diskutována. Kritériem při hodnocení validity Conconiho testu je ANP, který však může být stanoven vícero metodami, např. hodnocením dynamiky a úrovně hladiny laktátu, nebo ze sledování ventilačně-respirační odpovědi organismu na zatížení. Ekvivalentnost těchto dvou postupů při stanovení ANP je stále předmětem diskuse (viz kap. 2.2.3). V naší studii využíváme jako referenční metodu (zlatý standard) stanovení ANP z ventilačně-respiračních parametrů tj. ventilační anaerobní práh. K němu vztahujeme míru ekvivalence námi navrženého postupu stanovení ANP. Z tohoto důvodu se dále nezabýváme možným kritériem, kterým je ANP stanovený z laktátových parametrů. Toto je

téma je však v odborné literatuře podrobně rozpracováno [3] [16] [29] [31] [34] [10, 20, 39] [46] [48] [50].

2.1.3.1. Ventilační anaerobní práh jako kritérium validity Conconiho testu [4]

Petit et al. [13] srovnávají hodnoty na úrovni deflexního bodu s ANP detekovaným metodou změn ve ventilační odpovědi organismu s vysokým koeficientem korelace (0,95; n = 11) a bez signifikantní odlišnosti. (Rychlost na úrovni BDSF $16,3 \pm 2,1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ vs. rychlost na úrovni ventilačního prahu $16,4 \pm 2,3 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.) Podobně vysoce signifikantní vztah byl zjištěn i pro srdeční frekvenci ($178 \pm 7,7$ pro BDSF vs. $180 \pm 9,9$ tepů za minutu pro ventilační práh) [13].

Podobné výsledky uvádí i Bunc [19] s vysokou hodnotou korelačního koeficientu mezi výkonem na úrovni BDSF a ventilačního prahu ($224,16 \pm 21,68 \text{ W}$ respektive $220,00 \pm 23,47 \text{ W}$; $r = 0,938$; $p < 0,01$, $n = 17$; netrénovaní mladí muži).

Oproti tomu Zacharogiannis a Farally [7] uvádějí, že rychlost, VO_2 a procenta maximální SF na úrovni BDSF, jsou signifikantně vyšší než tyto hodnoty na úrovni ventilačního prahu u trénovaných běžců.

Francis et al. [51] nenalezli v laboratorních podmínkách za využití bicyklového ergometru bod BDSF. Ventilační parametry však zlom v lineárním průběhu závislosti na stoupajícím zatížení vykázaly. Testy byly prováděny u 9 netrénovaných osob. Zátěž byla stanovena na 100 W a iniciální frekvence šlapání 50 otáček za min. byla zvyšována do vyčerpání každých 30 sec. o 5 otáček, což odpovídalo vzestupu výkonu 11,1 W každých 30 sec. Autoři nedoporučují tento test aplikovat u pacientů. [51]

Baraldi et al. [52] u 70 dětí ve věku od 7 do 14 roků porovnávali hodnoty ANP naměřené na běhátku na základě charakteristických změn ventilačně–respiračních parametrů a BDSF. Korelační koeficient výsledku obou metod stanovení dosáhl hodnoty 0,8, což je podle autorů dostatečný důkaz validity jednodušší Conconiho metody. I u dětí tedy představuje Conconiho test relativně jednoduchý a nenáročný postup posouzení vytrvalostních schopností [52].

Mahler a Rostan [53] našli těsnou korelaci hodnot intenzity na úrovni ANP zjištěnou Conconiho testem na běhacím koberci a subjektivně pociťovanou zátěží podle Borga (RPE). Tento vztah nebylo možno určit u 15 % vyšetřených pro nemožnost stanovení bodu deflexe z průběhu křivky závislosti SF na intenzitě zátěže [53].

Bunc a Heller [37] určili významnou korelaci tepového a ventilačního prahu u nesportujících mužů středního věku za již výše zmíněných podmínek modifikovaného Conconiho testu. Iniciální zátěž byla 40 W každou minutu byla stupňována o 20 W. Práh nebylo možné stanovit u 7 % testovaných. U ostatních byl zjištěn tepový práh na úrovni 87 – 90 % SF max. Pokud nelze stanovit tepový práh, je možno jej odhadem umístit do intervalu 87 – 90 % maximální SF [37].

Carey [54] vylučuje praktickou využitelnost Conconiho testu, přestože mezi hodnotami SF na úrovni ANP v Conconiho testu a při spiroergometrickém vyšetření s využitím metody V-slope nenalezl signifikantní odlišnost ($t = 1.07$; $p = 0.30$; $n = 22$). Příčinou je podle autora nízká hodnota korelačního koeficientu ($r = 0.458$), vysoká chyba odhadu (high standard error of estimate = 10.7 t.min^{-1}) a vysoká celková chyba (total error = $16,7 \text{ t.min}^{-1}$) [54].

2.1.3.2. Predikční validita

Predikční validitu Conconiho testu zkoumal Petit et al. [13]. Stanovil BDSF a příslušné údaje vztahující se k rychlosti běhu na úrovni ANP pomocí matematického modelu. Tyto výstupy použil k predikci výkonu v běžeckém závodě na 10 kilometrů. Predikované časy na základě výsledků Conconiho testu pozitivně korelovaly se skutečně dosaženými časy ($r = 0,98$; $p < 0,01$; $n = 17$), přestože časy byly signifikantně odlišné. Zdroj nepřesností byl způsoben charakterem závodu (20 000 běžců) a nasazením pouze 11 běžců z testované skupiny. Tito běžci nevykázali signifikantní difference v časech ($0,1 \pm 0,5 \text{ min.}$)

2.1.3.3. Bod deflexe a steady state

Diskutovaná validita bodu deflexe vzhledem ke kritériu, jímž je hladina ANP, může být posílena v případě prokázání pozitivních korelací mezi BDSF, vyjádřeném hodnotou SF, popřípadě intenzity činnosti, a obdobnými údaji charakterizující intenzitu činnosti v rovnovážném stavu (steady state, maximal lactate steady state) [4, 55].

Conconi et al. [3] porovnal rychlost běhu na úrovni ANP s průměrnou rychlostí během soutěže. Zaznamenal signifikantní korelaci mezi testem a závodem na 5000 m [$20,15 \pm 1,15$ vs. $19,13 \pm 1,08 \text{ km.h}^{-1}$ ($r = 0,93$; $n = 31$)], maratónem [$17,4 \pm 1,14$ vs. $18,85 \pm 1,15 \text{ km.h}^{-1}$ ($r = 0,95$; $n = 55$)] a závodem na jednu hodinu [$18,65 \pm 0,92$ vs. $18,7 \pm 0,98 \text{ km.h}^{-1}$ ($r = 0,99$; $n = 31$)]. Stejně tak Droghetti et al. [29] vykazuje signifikantní korelaci mezi rychlostí jízdy na

bicyklovém ergometru na úrovni BDSF a výkonem v šestnáctikilometrovém simulovaném závodě ($r = 0,93$; $n = 11$).

Bunc, Hofmann a Gaisl [56] testovali probandy ($n = 7$) na bicyklovém ergometru stupňovaným zatížením $10 \text{ W} \cdot \text{min}^{-1}$ až do subjektivního vyčerpání. ANP byl stanoven podle Conconiho metody. Dále absolvovali 2 testy trvající 20 min. s konstantní zátěží. Nejprve test s intenzitou o 10 % nižší než byla stanovená intenzita ANP. Všechny ventilační, laktátové a EMG ukazatele vykazovaly charakteristiky steady state průběhu. Druhý test s intenzitou o 10% vyšší než zjištěná hodnota ANP, nedokončil žádný z probandů. Průměrná doba přerušení byla 10 min. Tyto výsledky ukazují, že ANP stanovený Conconiho metodou může určovat maximální setrvalý stav, při kterém je možno realizovat dlouhodobé zatížení bez kontinuálního vzestupu většiny funkčních a biochemických ukazatelů [4, 56].

Hofman et al. [33] sledovali hodnoty hladiny laktátu v krvi, minutové ventilace a spotřeby kyslíku a povrchový elektromyograf zatížených svalových skupin u netrénovaných studentek ($n = 16$). Tyto parametry sledovali v průběhu 20minutové cykloergometrie na zátěži odpovídající zatížení na úrovni o 10% nižší než byla hodnota zjištěného BDSF Conconiho metodou. Všechny hodnoty vykazovaly stabilitu v průběhu testu a test byl dokončen všemi testovanými subjekty. Při vyšším zatížení (10% nad stanovenou hodnotu bodu deflexe), všechny parametry vykazovaly kontinuální nárůst (kromě elektromyogramu) a žádný z testovaných probandů nebyl schopen dokončit 20ti minutový test [4].

Bodner et al. [35] publikovali data z výzkumu, kdy zatížili skupinu trénovaných cyklistů 10 a 15minutovou setrvalou zátěží na úrovni ventilačního prahu. Hodnoty SF a minutové spotřeby kyslíku z těchto testů nevykazovaly signifikantní rozdíl oproti hodnotám získaných prostřednictvím Conconiho testu [Conc. test: ($168,7 \pm 6,9$ tepů za minutu; $3,90 \pm 0,56 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ respektive); 10 min. zátěž: ($164,3 \pm 10,4$ tepů za minutu; $3,60 \pm 0,58 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$); 15 min. zátěž: ($166,4 \pm 11,9$ tepů za minutu; $3,71 \pm 0,54 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$)] [4].

Hofmann et al. [57] detekoval hodnotu ANP modifikovaným Conconiho testem u dvaceti kajakářů. Dále diagnostikoval funkční parametry při zatížení steady state. Hodnoty SF na úrovni BDSF a dosažené v průběhu steady state testu ve dvanácti případech vysoce pozitivně korelovaly ($r = 0,882$; $p < 0,001$) a nevykázaly signifikantní odlišnost. Padesát osm testů potvrdilo, že není signifikantní rozdíl mezi hodnotou SF deflekčního bodu a steady state testu

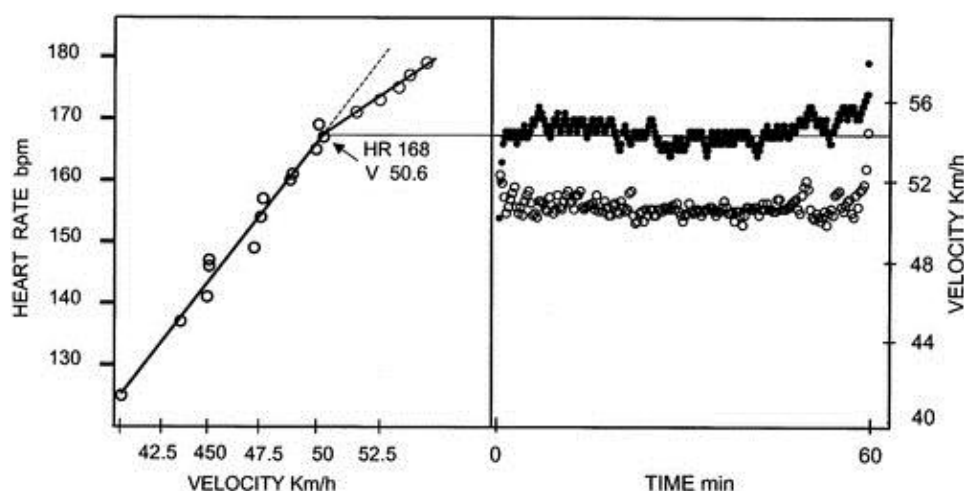
($170,5 \pm 8,3$ tepů za minutu, respektive $169,0 \pm 8,3$ tepů za minutu). Hladina laktátu v krvi při steady state testu byla stanovena na úrovni $4,2 \pm 0,9$ mmol.l⁻¹.

Ve studii Jonese a Dousta [46] pouze jeden proband ze sedmi byl schopen absolvovat třicetiminutové zatížení na rychlosti $0,14$ km.hod⁻¹ rychlostí odpovídající hodnotě BDSF z Conconiho testu. Hladina laktátu u všech probandů kontinuálně vzrůstala k hodnotě $8,1 \pm 1,8$ mmol.l⁻¹ a závěrečná úroveň hodnot SF dosahovala 99 % maxima. Oproti tomu všech 7 probandů bylo schopno absolvovat třicetiminutový test rychlostí odpovídající zatížení $0,14$ km.hod⁻¹ pod rychlostí stanovenou na hladině laktátového prahu (konečná úroveň hladiny laktátu byla $2,4 \pm 0,5$ mmol.l⁻¹) [46].

Obdobný výsledek byl zaznamenán ve studii Bourgoise a Vrijense [58] při použití veslařského ergometru. Pouze čtyři z deseti veslařů dosáhli cílový čas ve třiceti minutovém testu na úrovni výkonu odpovídající BDSF. Šest veslařů nebylo schopno test dokončit. Pouze u jednoho veslaře odpovídaly parametry koncentrace laktátu v krvi charakteru setrvalé zátěže, u ostatních tyto hodnoty kontinuálně stoupaly v průběhu testu.[58]

V roce 2005 v odpovědi na kritiku konceptu vztahu BDSF a úrovní setrvalého stavu publikoval Conconi et al. data z případové studie (viz obr 2.).

Obr. 2. V levé části grafické znázornění Conconiho testu s vyznačeným BDSF před pokusem o rekordní jízdu v cyklistické „hodinovce“. Vpravo záznam rychlosti (○) a SF(●) během hodinové jízdy. Ujetá vzdálenost činila 50.644 km. Převzato [4, 59]



Je předmětem diskuse, zda disparity spojené s koncepcí validity konceptu deflekčního bodu jsou spojeny s metodou stanovení bodu deflexe [33], nebo diferencemi, které jsou spojeny s odlišnými protokoly pro detekci anaerobního, respektive laktátového prahu [48].

2.1.4. Reliabilita Conconiho testu

Problematikou reliability Conconiho testu se zabývala řada studií. Část z nich potvrzuje vysokou reliabilitu testu, zatímco jiné zaznamenávají reliabilitu nedostatečnou.

Problémem se jeví samotná existence a určení bodu deflexe. Některé studie vykazují 100%ní úspěšnost při stanovení deflexního bodu [3, 16, 47, 60-63], zatímco jiné poukazují na nemožnost určení tohoto bodu [51]. Mezi oběma krajnostmi nalezneme řadu studií, které prokazují možnost určení bodu deflexe s větší či menší úspěšností. Procentuální počet úspěšných stanovení „regulérního“ BDSF se pohybuje 93 % [37], 89% [39], 85,9 % [24], 75 % [64], 73% [65] 72% [9], 68% [17], 66,7 % [66], 57 % [43], 56 % [67], 53 % [16] , 40 % [11] po 31 % [68]. V tabulkách 2. a 3. jsou sumarizovány testy s úspěšným, (tab. 2.) respektive neúspěšným stanovením BDSF (tab. 3.).

Tab. 2. Výzkumy s úspěšným provedením Conconiho testu [4, 6]

Autor	Podmínky testu	Testovaní
Argentieri et al.	cykloergometr	zkušení cyklisté
Aro et al.	běhátko	trénovaní běžci
Baraldi et al.	běhátko	děti
Cameron et al.	bazén	plavci
Chwilkovski et al.	bazén	plavci
Droghetti	veslařský ergometr	veslaři
Ennis	cykloergometru	zkušení cyklisté
Gaisl et al.	běhátko, cykloergometr	děti
Herren et al.	běhátko, dráha	studenti TV
Hofmann et al.	cykloergometru	sport. studenti
Howald	dráha	studenti TV
Jakob et al.	běhátko, závodní dráha	nespecifikováno
Kispert et al.	běhátko	profesionální atleti
Maffulli et al.	běhátko	trénovaní běžci
Monod et al.	bazén	plavci
Pokan et al.	cykloergometru	sport. studenti
Probst et al.	cykloergometru	studenti TV, cyklisté
Zacharogiannis et al.	běhátko	trénovaní běžci

Tab. 20. Výzkumy s neúspěšným provedením Conconiho testu [4, 6]

Autor	Podmínky testu	Testovaní
Coen et al.	cykloergometr, dráha	tenisté
Coen et al.	dráha	trénovaní běžci
Francis et al.	cykloergometru	netrénovaní
Heck et al.	cykloergometru	standardní populace
Jakob et al.	běhátko, dráha	nespecifikováno
Kruger et al.	žebříkový ergometr	nespecifikováno
Kuipers et al.	cykloergometr,běhátko	vytrvalci
Melton et al.	žebříkový ergometr	paraplegici
Ribero et al.	cykloergometru	trénovaní
Sumisin et al.	žebříkový ergometr	netrénovaní
Tiberi et al.	běhátko	běžci na střední tratě
Tomakidis et al.	terén	elitní běžci
Van Handel	cykloergometr,velodrom	soutěžní cyklisté

Stabilita Conconiho testu

Některé výzkumy potvrzují vysokou spolehlivost opakovaného měření vyjádřenou vysokou hodnotou korelačního koeficientu 0,95 při testování metodu test-retest. Conconi ve své primární studii zaznamenal vysokou spolehlivost (n = 147), ovšem nekvantifikoval data. Vysokou spolehlivost dokumentují i studie Maffuilliho aj. [69] s hodnotou korelačního koeficientu test-retest 0,97 u hodnot bodu deflexe vyjádřeném srdeční frekvencí. Ballarin aj. uvádějí hodnotu 0,95 (bod deflexe vyjádřený hodnotou SF) a 0,88 (bod deflexe vyjádřený hodnotou kritické rychlosti). Bodner uvádí, že test-retest korelace deflekčního bodu získaná matematickým modelováním vykazuje hodnotu 0,84 ($p < 0,001$) pro srdeční frekvenci a 0,95 ($p < 0,001$) pro výkon ve Watech [12]. Status [70] uvádí hodnoty $r = 0,95$ pro test-retest hodnot SF na úrovni bodu deflexe a $r = 0,88$ pro hodnoty rychlosti na úrovni bodu deflexe (n = 31)[4].

Diskutována je otázka, do jaké míry může typ zátěžového protokolu ovlivnit spolehlivou opakovatelnost Conconiho testu [4].

Ekvivalentnost

Nejčastějšími ekvivalentními testy, jimiž se určuje hodnota ANP, jsou stanovení hladiny laktátu v krvi, případně charakteristiky ventilačně-respiračních parametrů v závislosti na stoupajícím zatížení. Nestandardní metodu stanovení ANP pomocí sledování změny laktátu použil ve své práci Conconi [3], což se také stalo v dalších letech předmětem kritiky a diskuzí, zda hodnota BDSF reprezentuje hodnotu ANP. Conconi udává korelační koeficient mezi oběma způsoby stanovení ANP $r = 0,99$.

Nejucelenější soubor celkem jedenácti v praxi použitelných metod pro určení ANP, včetně Conconiho testu, prezentoval ve své práci Bunc [71]. Jeho závěry prokazují, že všechny zkoumané metody stanovení ANP mimo dvousložkového modelu popisující závislost ventilace, respektive objemu CO₂ na stoupajícím zatížení, jsou navzájem ekvivalentní [4].

Objektivita

Ve snaze zvýšit objektivitu při stanovování deflexního bodu se vedle standardní metody, jakou je klasické vizuální hodnocení, objevují nové moderní postupy založené především na matematickém modelování a zapojování výpočetní techniky do procesu detekce bodu deflexe (viz část 2.3.1). Odlišnostmi v určení deflexního bodu různými hodnotiteli a porovnáním s výsledky získanými matematickou analýzou testu se zabývali ve své práci Ballarin aj. [72]. 65 výsledků Conconiho testu v grafické formě bylo předloženo k posouzení a k určení bodu deflexe šesti posuzovatelům s různou úrovní zkušenosti při vyhodnocování tohoto testu. Jejich výsledky byly porovnány s daty získanými z vyhodnocení testu počítačovým programem. Závěry studie dokazují, že vizuální analýza poskytla srovnatelná data s počítačovým vyhodnocením. Pouze méně zkušené hodnotitelé měli v některých případech problémy s přesným určením deflexního bodu [4].

Odlišné závěry prezentoval Carey [11], který našel signifikantně významný rozdíl při určení BDSF, jednak mezi třemi hodnotiteli navzájem a jednak mezi subjektivním hodnocením a počítačovým zpracováním. Ve svých závěrech doporučuje pro stanovení bodu deflexe využívat speciální počítačové vyhodnocení. [4, 11]

2.1.5. Fyziologická podstata deflekčního bodu kinetiky SF

Fyziologická příčina manifestace deflekčního bodu SF v průběhu stupňované zátěže není dosud známa [4]. Diskutovány jsou pouze domnělé příčiny, jako je mezisíňová funkce myokardu, vliv katecholaminů a neurálního systému, respektive vliv draslíku [21].

Funkce myokardu [4]

První fyziologicky racionální zdůvodnění změn v linearitě odpovědi kinetiky SF na progresivní zatěžování vyvodil na základě svých pozorování Pokan et al. [36]. Jeho hypotéza uvažuje o vztahu mezi bodem deflexe SF a funkcí myokardu. Tato byla vyjádřena jako levá ventrikulární erekční frakce (LVEF), stanovená pomocí radionuklidové ventrikulární scintigrafie. LVEF dosáhla svých nejvyšších hodnot před dosažením maximálních hodnot výkonu a souvislost s bodem deflexe SF byla vyjádřena parametry $r = -0,637$; $p < 0,01$. Ten časový úsek v průběhu testu, kdy se hodnota LVEF mírně zvýšila nebo ustálila po bodu zlomu, byl interpretován jako myokardiální funkce charakteristická pro deflexní bod SF. Lineární průběh křivky SF, který demonstroval značné snížení hodnot LVEF ve vyšších hladinách zatížení, byl interpretován jako související snížená stresově závislá myokardiální funkce [21, 36].

Také věkové difference mohou souviset s odlišným režimem LVEF a směrem či stupněm deflexe. Výzkum Hofmanna et al. [42] ukázal, že starší muži (50 ± 10 let) vykazují větší zvýšení LVEF a systolického objemu za úrovní laktátového prahu než muži mladší (23 ± 2 roky). Skupina mladších mužů vykazovala regulérní deflexní bod křivky SF oproti starším mužům, u nichž byl detekován inverzní charakter v bodě deflexe. Srdeční výkon byl zvětšený u obou skupin, přičemž u starších mužů může jít o zvýšení SF i na konto potřeby kompenzovat ztráty v myokardiální funkci související s věkem [42]. Věkové ovlivnění výskytu bodu deflexe, jeho směru a typu je možné, nikoliv jednoznačné. Bunc a Heller [37] detekovali bod deflexe SF u většiny testovaných mužů staršího věku ($51,8 \pm 5,4$ let), zatímco Hofmann et al. vyhodnotili kompletní lineární odpověď SF na progresivní zatížení u 6,2 % a inverzní odpověď u 7,9 % probandů charakterizovaných jako „mladí, zdraví dobrovolníci“ [24].

Fyziologické limitace v odpovědi zátěže na úrovni hodnot LVEF a SF mohou mít souvislost s katecholaminovou senzitivitou myokardu [41].

Pokanova studie [22] odhalila inverzní průběh v bodě deflexe u pacientů, kteří prodělali infarkt zadní stěny myokardu. V těchto případech hodnota LVEF významně vzrostla mezi

laktátovým prahem a maximálním výkonem. Zvýšení LVEF o více jak 5% je spojeno s inverzní odpovědí křivky SF na úrovni deflexního bodu. Směr a stupeň deflexe je tak v této studii spojován s kvalitou levé ventrikulární funkce. Výzkumy Fostera et al. [73] naznačují, že inverzní průběh v bodě deflexe u pacientů se stabilním koronárním srdečním onemocněním mohou být kompenzačním mechanismem pro udržování srdečního minutového objemu v případě levé ventrikulární dysfunkce.

Rozdíl mezi jedinci s a bez deflekčního bodu křivky SF (BDSF) lze pozorovat i v deflexním bodě LVEF (LVEFDB). Zvýšení LVEF na úrovni LVEFDB je více výrazné u osob bez BDSF. U probandů ($n = 8$) s regulérní BDSF a výkon na úrovni BDSF byl v signifikantním vztahu k srdeční frekvenci a výkonu na úrovni LVEFDB ($r = 0,628$ respektive $0,884$; $p < 0,001$). Dále zde byla nalezena signifikantní korelace mezi výkonem ($r = 0,878$; $p < 0,001$) a srdeční frekvencí ($r = 0,690$; $p < 0,05$) na úrovni laktátového prahu ($194,2 \pm 32,7$ W a $163,5 \pm 5,8$ tepů za minutu, respektive) a hodnotami na úrovni LVEFDB ($182,6 \pm 31,7$ W a $157,2 \pm 11,08$ tepů za minutu, respektive) [41]. Pro vysvětlení vztahu mezi BDSF a laktátovým prahem vyslovují autoři studie hypotézu, že zvýšení glykolytických mechanismů odpovědných za BDSF souvisí s intrinickou funkcí srdce. Omezený srdeční výkon z důvodu snížení myokardiální funkce nad úrovní ANP může přispět ke snížení množství VO_2 . [41] Toto snížení vyžaduje silnou aktivaci glykolytických zdrojů získávání energie pro následující přírůstky práce [21].

Vliv katecholaminů a hladiny draslíku [4]

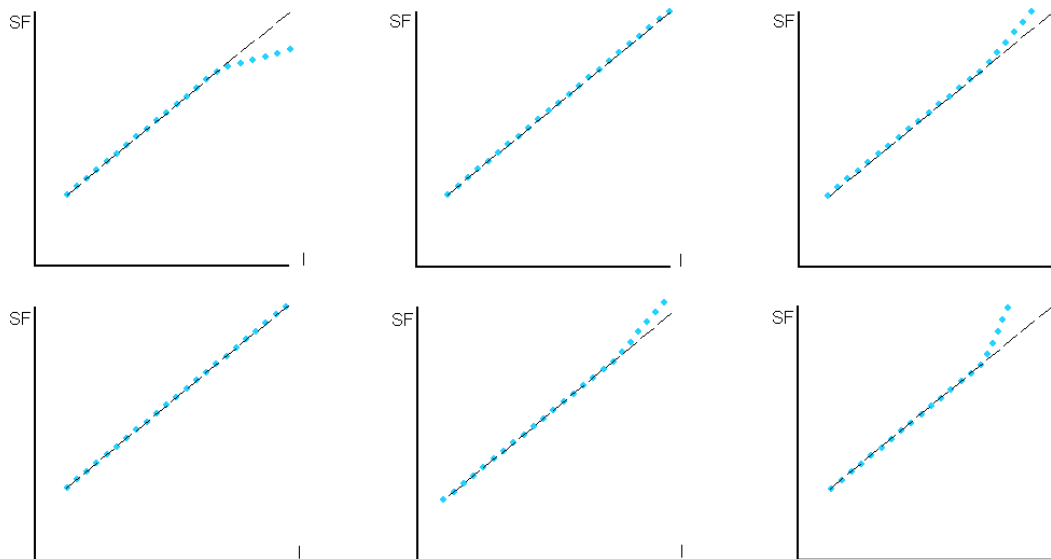
Hypotetický vliv katecholaminů na mechanismus vzniku deflekčního bodu v průběhu stupňovaného zatížení je odůvodňován faktem, že tyto látky jsou spojovány s tachykardickou odpovědí srdečního systému během výkonu [27]. Avšak časový průběh hladiny adrenalinu (epinefrinu) a noradrenalinu (norepinefrinu) srovnaný s průběhem regulérního a inverzního charakteru deflexního bodu u 21 probandů během cykloergometrie nevykazoval žádný signifikantní vztah. Při stejném výzkumu byl zaznamenán signifikantní vztah časového průběhu hladiny laktátu a úrovní adrenalinu ($r = 0,723$; $p < 0,005$). Úroveň katecholaminů v plazmě se jeví jako nezávislá na výskytu a směru deflexe [21].

Mírnou modulaci v charakteru deflexe křivky SF pod vlivem blokády parasymptiku zaznamenal ve svém výzkumu Hofmann et al. [25]. Podle závěrů studie se jeví vliv

parasympatiku jako jednoznačné vysvětlení manifestace bodu deflexe jako nepravděpodobné. Tato hypotéza může být podporována zjištěním, že SF při tělesné zátěži odpovídající 50 – 60 % maximální hodnoty VO_2 není pod vlivem vagových vlivů [74]. Akcelerace SF je za touto hranicí plně zprostředkována vlivem sympatiku [21]. Nicméně Pokanova zjištění indikují, že parasympatik ovlivňuje bod deflexe křivky SF. Dvacet probandů pod vlivem blokády parasympatiku v jeho studii demonstrovalo nižší hodnoty faktoru kSF (reprezentující více lineární průběh nebo inverzní odklon v bodu deflexe) oproti kontrolní skupině ošetřené placebem. Jedinci, kteří normálně vykazovali regulární bod deflexe, při blokáde parasympatiku demonstrovali více lineární průběh křivky SF. Ti, kteří za normálních podmínek vykazovali lineární průběh, pod vlivem parasympatiku vykázali inverzní bod odklonu v bodě deflexe. Strmější inverzní odklon od linearity vykázali ti, kteří při neblokovaném parasympatiku demonstrovali inverzní odklon od linearity (viz obr. 3.) [26].

Obr. 3. Průběh křivky závislosti SF na intenzitě zatížení v Pokanově studii (osa x ... SF, osa y ... intenzita zatížení, viz text) [26]

Průběh křivky SF za normálních okolností



Průběh křivky SF při blokáde parasympatiku

Nesignifikantní vztah ($r = -0,328$; $p = 0,051$) mezi kSF a změnami v úrovni hladiny draslíku mezi laktátovým prahem a maximálním výkonem naznačuje, že draslík může hrát roli v individuální odpovědi SF na progresivní zatížení [75].

Částečný vliv hladiny K⁺ v krvi na výskyt BDSF u elitních cyklistů (n = 16) potvrzuje ve své studii i Lucía [67].

2.2. Vytrvalostní člunkový běh na vzdálenost 20 m (VCB₂₀)

Test navrhl a ověřil kolektiv pracovníků Univerzity v Montrealu vedený Legérem v roce 1982 [76]. Je součástí Evropské testové baterie EUROFIT (European motor fitness battery), a České unifikované testové baterii pro hodnocení základní motorické výkonnosti mládeže a dospělých, UNIFITTEST (6-60) [77], [78].

Pohybovým obsahem testu je běžecká lokomoce progresivně se zvyšující rychlostí, která je řízena instrukcemi audio signálu. Testovaná osoba opakovaně překonává dráhu 20 metrů do odmítnutí resp. do okamžiku, kdy testovaná osoba dvakrát po sobě nedoběhne danou hraniční čáru v určeném časovém signálu (povolen je maximální rozdíl dvou kroků) [78]

Modifikace testového protokolu jsou spojeny se změnou délky předepsaných úseků (15 m varianta v testové baterii Fitnessgram), nebo se zařazením odlišné pohybové činnosti. Zpracovány byly testové protokoly pro plavání [79], bruslení [80], chůzi [81] i pro jízdu na paraplegickém vozíku pro handicapované osoby [82].

Běžecká varianta vytrvalostního člunkového běhu na 20 m (VCB₂₀)

Původní testový protokol publikovaný Légerem (1982) předepisoval startovní rychlost běhu na úrovni 8 kmh⁻¹ s progresivním zvýšením rychlosti o 0,5 kmh⁻¹ každé dvě minuty [76]. Modifikovaný protokol zkracuje trvání jednotlivých časových úseků, na kterých dodržuje testovaná osob stejnou rychlost na 1 min. Startovní rychlost je 8,5 kmh⁻¹ [83].

Tab. 4. Rychlost běhu a doba trvání jednotlivých úseků testu VCB₂₀ . Modifikováno dle [78].

Stav (min)	Rychlost (kmh ⁻¹)	Ekvivalentní běžecká rychlost (kmh ⁻¹)	Dílčí časový úsek
1	8,50	8,50	8,480
2	9,00	9,00	8,000
3	9,50	9,50	7,579
4	10,00	10,00	7,200
5	10,50	10,50	6,858
6	11,00	11,00	6,545
7	11,50	11,90	6,261
8	12,00	12,70	6,000
9	12,50	13,60	5,760
10	13,00	14,50	5,538
11	13,50	15,30	5,333
12	14,00	16,20	5,143
13	14,50	17,00	4,966
14	15,00	17,90	4,800
15	15,50	18,70	4,645
16	16,00	19,60	4,500
17	16,50	20,50	4,364
18	17,00	21,30	4,235
19	17,50	22,20	4,114
20	18,00	23,00	4,000

Normy pro českou populaci v rámci testové baterie Unifittest 6-60 pro věkové rozmezí 6 až 20 let publikoval Měkota a Kovář [77].

2.2.1. Validita testu VCB₂₀ ke kritériu maximální spotřeby kyslíku

Predikaci hodnoty VO₂max z dosaženého výkonu ve VCB₂₀ zkoumala řada studií s rozdílnými výsledky (viz tab. 5).

Validita VCB₂₀ ve vztahu ke kritériu maximální spotřeby kyslíku se pohybuje od hodnoty 0,71 (u dětí ve věku 8-19 let) a 0,90 (u dospělých 18 – 50 let). Nižší koeficient validity u dětské populace autoři přisuzují větší interindividuální variabilitě vzhledem k rozdílům mezi biologickým a chronologickým věkem [83, 84].

Patrné jsou dva přístupy. Konstrukce vlastních predikčních rovnic, nebo hodnocení validity původní predikční rovnice stanovené Legérem et al. [83]:

$$Y = 31,025 + 3,328 X - 3,248 A + 0,1536 AX$$

$$Y = VO_2 \text{ max (ml/kg/min)}$$

X = maximální dosažená rychlost (= poslední dosažená fáze x 0,5 + 8) (kmh⁻¹)

A = věk (pro dospělé od věku 18 r. se dosazuje konstanta 18)

Tab. 5. Přehled studií ověřujících validitu VCB₂₀ ke kritériu maximální spotřeby kyslíku

Zdroj	hodnocení predikce, koeficient predikční validity	n Muži, Ženy	rok	testovaná populace, prům. věk
[85]	0,93	9 M	1987	výkonnostní vytrvalostní sportovci, 35,4 r
[86]	0,92	36 M 38 Ž	1988	„dobrovolníci“, 19-39 r
[87]	0,72	22 M 26 Ž	1992	studenti 12-15 r
[88]	0,91	16M 4Ž	1993	singapurští studenti TV
[89]	podhodnocuje 0,86	22M	1995	"young healthy males", 22,1 r.
[90]	podhodnocuje, publikována zpřesňující predikční rovnice	60 M 62 Ž	2003	25,3 resp. 25,1 r.
[91]	stanovení zpřesňujících predikčních rovnic	110 M	2005	„healthy males“, 21,6
[92]	signifikantně podhodnocuje	30 M	2005	studující sport. obor, 21,8r
[93]		26	2007	basketbalisté, 15 r.
[94]	není signifikantní rozdíl (p>0,10) nová predikční rovnice	32 Ž	2008	univerzitní studentky, Indie, 21,9r
[95]	systematicky podhodnocuje	11 ž	2008	dobrovolnice

Shodně se strukturou vytrvalostního výkonu i výkon v testu VCB₂₀ není závislý pouze na jediném parametru, v tomto případě VO₂max. Svou roli hraje i hodnota ANP, ekonomiky

pohybu a v potaz je zapotřebí vzít i úroveň explozivní síly dolních končetin [93]. VCB₂₀ je specifický jednak prudkými změnami směru o 180° a opakovanými starty a doběhy. Tato specifika VCB₂₀ do jisté míry odlišují od ostatních terénních „kontinuálních“ testů pro diagnostiku vytrvalostních schopností jako je 12min, popř. chůze na 2 km. Svým charakterem pohybové činnosti je tak test VCB₂₀ vhodný pro testování zejména sportovců, u nichž je pohybový obsah také charakterizován prudkými změnami směru a rychlosti lokomoce z klidu k maximálním rychlostem.

Predikční validitu ke kritériu ANP jsme v odborné literatuře nezaznamenali.

2.2.2. Reliabilita vytrvalostního člunkového běhu na 20m. (VCB₂₀)

Stabilita

Koeficient **reliability** r_{stab} 0,89 stanovili autoři metodou test-retest u dětské populace (6-16 let a 0,95 u dospělých 20-45 let [83].

Objektivita

Tuto vlastnost testu ovlivňuje z vnějších faktorů objektivita posuzovatele (chyba přísnosti či benevolence při posuzování korektního plnění standardizačních podmínek testu).

Ekvivalentnost

V rámci testové baterie Unifittest jsou k dispozici i další dva testy vytrvalostních schopností ekvivalentní k testu VCB₂₀. Jedná se o běh na 12 min a chůzi na 2 km.

3. Metodika

V rámci výzkumu prokazujeme existenci BDSF jako fyziologického fenoménu. Problémové situace, jež vyplývají z dosavadních výzkumů z výzkumů lze shrnout do dvou základních rovin:

- Samotná „detekovatelnost“ BDSF
- Ekvivalentnost hodnoty BDSF s hodnotou ANP diagnostikovaného paralelní referenční metodou“.

Jedním z úkolů naší práce je ověřit obsahovou validitu testu, tedy zkoumat vztah BDSF (daného výsledkem testu) a latentním kritériem, tj. anaerobním (ventilačním) prahem.

Předmětem našeho zájmu je tedy problematika možnosti jednoznačné detekce hodnoty BDSF jako opakovatelného fyziologického fenoménu a jednotlivé aspekty reliability, tedy stabilita a ekvivalence tohoto testového nástroje.

Přijmeme-li hypotézu, že ventilační práh reprezentuje hodnotu ANP, pak lze v rámci ekvivalentního testu paralelně detekovat i validitu Conconiho testu vzhledem ke kritériu, kterým je anaerobní práh, přesněji práh ventilačním odvozený na principu změny v kinetice výměny dýchacích plynů v průběhu stupňovaného zatížení. V této souvislosti také hodláme zhodnotit, zda je protokol testu VCB₂₀ vhodný pro stanovení hodnoty ANP.

Systémová formulace problému, formulace výzkumného cíle:

V rámci našeho výzkumu jsme chtěli ověřit diagnostickou kvalitu testu, tedy unidimensionální problém, při existenci vícero referenčních metod. Principem tohoto testu je detekce manifestní proměnné (deflexní bod SF v průběhu stupňované zátěže), z níž usuzujeme na latentní proměnnou (ANP). Úkolem je postihnout asociačního vztahu, kde vstupní proměnnou tvoří samotný test, kterým diagnostikujeme výstupní proměnnou, kterou tvoří BDSF, respektive hodnota ANP jako latentní proměnná. Zároveň je třeba postihnout faktory, které průběh a výsledek testu mohou ovlivnit, tj.:

- charakteristika probandů (věk, pohlaví, subjektivní stav, výživa, tekutiny, léky, trénovanost, vliv biorytmů, otázka psychoemočního zatížení);
- podmínky testování (klimatické poměry, faktor biozátěže, apod.);
- problematika vyhodnocení (expertní posuzování);
- kvalita metody.

Kvalita, kterou diagnostikujeme je genericky daná existence hodnoty ANP vyjádřená SF. Naším záměrem je zkoumání asociačního vztahu metodami popisně pozorovacími.

3.1. Cíl, úkoly a hypotézy práce

Cílem práce je ověření možnosti aplikovat Conconiho metodu stanovení ANP na záznam kinetiky SF při stupňovaném zatížení podle standardizovaného protokolu testu „Vytrvalostní člunkový běh na 20 m.“

Úkoly práce

- v rámci teoretických východisek literatury sumarizovat historii a současný stav výzkumů v oblasti problematiky Conconiho testu a Vytrvalostního člunkového běhu na 20 m.
- V rámci testu „Vytrvalostní běh na 20 m“ ověřit detekovatelnost bodu deflexe SF.
- Analyzovat typologii obrazů výsledků Conconiho testu a v rámci diskuse navrhnout opatření k eliminaci co možná nejvyššího procenta nejednoznačných výsledků tohoto testu.
- Srovnat dosažené hodnoty SFmax v testu VCB₂₀ v rámci zátěžového spiroergometrického vyšetření na běhátku.
- Ověřit možnost stanovení BDSF v průběhu VCB₂₀ jako ekvivalentní metody pro určení ANP a stanovit míru její ekvivalence ke standardní metodice detekce anaerobního (ventilačního prahu).

Hypotézy

H1

Bod deflexe SF bude detekovatelný ze záznamu kinetiky SF testu VCB₂₀ ve více jak 80% případech.

H2

Mezi hodnotou SF na úrovni BDSF dosažené v testu VCB₂₀ a hodnotou SF na úrovni ANP dosažené v zátěžovém testu do vita maxima na běhátkovém ergometru nebude statisticky ani věcně významný rozdíl.

H3

Mezi hodnotou maximální SF dosažené v testu VCB₂₀ a zátěžovým testem vita maxima na běhátkovém ergometru nebude statisticky ani věcně významný rozdíl.

H4

Předpokládáme vysokou míru reliability stanovení ANP standardní metodikou (ventilační ANP) a navrhovanou metodikou hodnocení kinetiky SF testu VCB₂₀ Conconiho metodou.

3.2. Výzkumné a statistické metody

Měření, pozorování, statistické třídění dat a jejich základní statistické zpracování. Získaná data z měření obou skupin jsou data neparametrická, dichotomické povahy (BDSF detekován X nelze určit) a vyjadřujeme je tedy na nominální stupnici. Parametrická data (SF, rychlost) vyhodnocujeme na ekviintervalové stupnici.

Relevantní sledované proměnné: pohlaví, věk, trénovanost, stavu přetrénování, nemoci, medikamentů, hydratace,

Relevantní nesledované neznámé proměnné. Vliv individuálních biorytmů. Psychoemoční zatížení. Nedetekovatelné vnitřní fyziologické a psychické faktory ovlivňující výkon v testu.

Ad H2 a H3) T-test pro nezávislé výběry. Koeficient věcné významnosti (effect size).

Ad H4) Numerická analýza vztahu obou metod: koeficient konkordance - popisná statistika srovnatelnosti metod pro posouzení, jak jsou dvojice měření těsně rozloženy kolem přímky dané rovnicí $y = x$.

Grafická analýza pomocí modifikace grafu reziduálních hodnot pro regresi (Bland-Altmanův graf). V případě odhalení trendu v rozdílech $(x - y)$ je třeba vypočítat korelaci mezi hodnotami $(x - y)$ a $(x + y)/2$ a její statistickou významnost pro posouzení proporcionální chyby. [96]

3.3. Organizace testování a metodika šetření

Test Vytrvalostní člunkový běh na 20 m (VCB₂₀)

Základní sběr dat byl uskutečněn formou testování v průběhu přípravné fáze tréninkového cyklu roku 2010. Probandi absolvovali na 40 m dráze s umělým nesmekavým povrchem s vyznačenými 20m úseky test VCB₂₀ podle původního předpisu [77]. Probandi byli seznámeni s průběhem testu prostřednictvím audio nahrávky. Všichni probandi již v minulosti tento test absolvovali, test je každoročně využíván v rámci přípravy sportovního klubu, jehož byli probandi členy.

Každému testování předcházelo 15minutové atletické rozcvičení, zakončené několika sprinterskými úseky. Toto rozcvičení bylo organizováno hromadně, ve stejné formě pro všechny skupiny probandů s možností individuálního dorozcvičení na závěr organizovaného bloku. V rámci zapracování byli probandi seznámeni s obsluhou kardiotačometrů S610i S810i (Polar Electro, Kempele, Finland). Probandi byli motivováni oznámením dosavadních nejlepších výkonů ve skupině a povzbuzováním v závěrečných fázích testu. Motivací byla též přítomnost kondičního i hlavního trenéra fotbalového klubu.

Záznam hodnot SF a jednotlivých mezičasů v průběhu testu byl prováděn za pomoci kardiotačometrů Polar S610i S810i v 5sekundovém záznamovém režimu pro ukládání dat SF. Probandi označili pouze start testu, dále již s kardiotačometry nemanipulovali. Později byla získaná data převedena do počítače a následně zpracována a vyhodnocena pomocí softwaru Polar Pro Trainer 5 (Polar Electro, Kempele, Finland). S využitím tohoto software byly dopočítány průměrné rychlosti na jednotlivých úsecích a stanovena hodnota SF na konci každého minutového úseku.

Všichni probandi měli předchozí zkušenost s testem i použitím a ovládáním kardiotačometru použitým při testování. Všichni probandi byli seznámeni s principem testování a jeho záměrem a využitím, přičemž jim byl dán prostor pro vyjasnění případných nejasných momentů vztahujících se k průběhu testu.

Stanovení ventilačního prahu

Pro stanovení ventilačního prahu byl využit modifikovaný [4] testový protokol dle standardů Hellera [97], který zahrnoval 10minutové rozcvičení, dále 2 tříminutové úseky na rychlostech 10 a 12 kmh⁻¹ a poté stupňovaný test s iniciální rychlostí běhu na úrovni 11,5 kmh⁻¹ se sklonem běhátko 1 %. Zátěž byla stupňována každých 150 metrů o 0,5 kmh⁻¹. Kontinuálně byly zaznamenávány, metodou dech po dechu, hodnoty ventilačně-respiračních parametrů s využitím analyzátoru Oxycon Delta (Jaeger, sub. of Viasys Healthcare, Germany). Použit byl dvoucestný ventil s náustkem a nosním klipsem pro znemožnění nosního dýchání. Vydýchaný vzduch byl analyzován pomocí O₂ a CO₂ analyzátoru ve spojení s počítačovým systémem. Stejným způsobem bylo hodnoceno množství proventilovaného vzduchu analýzou dech po dechu. Průměrné hodnoty byly stanoveny z osmi dechových cyklů. Přístroj byl kalibrován oproti známým hodnotám interní kalibrační metodou. Pomocí integrovaného softwaru (LAB Manager 4.65e, Viasys Healthcare, Hoechst Germany) byla stanovena křivka závislosti ventilačních objemů V_E na stupňujícím se zatížení. Metodou dvousložkového lineárního modelu byl určen inflexní bod ventilační křivky. Tato hodnota byla asociována s příslušnou hodnotou rychlosti běhu a posléze, po zpracování dat systémem Polar Pro Trainer 5 (Polar Electro, Kempele, Finland), i s příslušnou hodnotou SF.

Spiroergometrické vyšetření hráči absolvovali 1 týden po absolvování VCB₂₀. Tohoto vyšetření se zúčastnili náhodně vybraní hráči (n = 18) ze skupiny probandů, u kterého bylo možno na základě analýzy kinematiky SF z VCB₂₀ určit bod deflexe (n = 43)

Charakteristika výzkumného souboru

Základní soubor tvořilo 52 probandů (prům. věk 20,1 r., SD = 4,96), vrcholových hráčů kopané, kompletní A tým účastníka nejvyšší fotbalové soutěže ČR a 2 týmy dorosteneckých družstev tohoto oddílu.

Výběrový soubor pro spiroergometrické vyšetření tvořilo 18 hráčů se shodným fotbalového klubu (prům. věk 25,33 r., SD = 5,27).

4. Výsledky

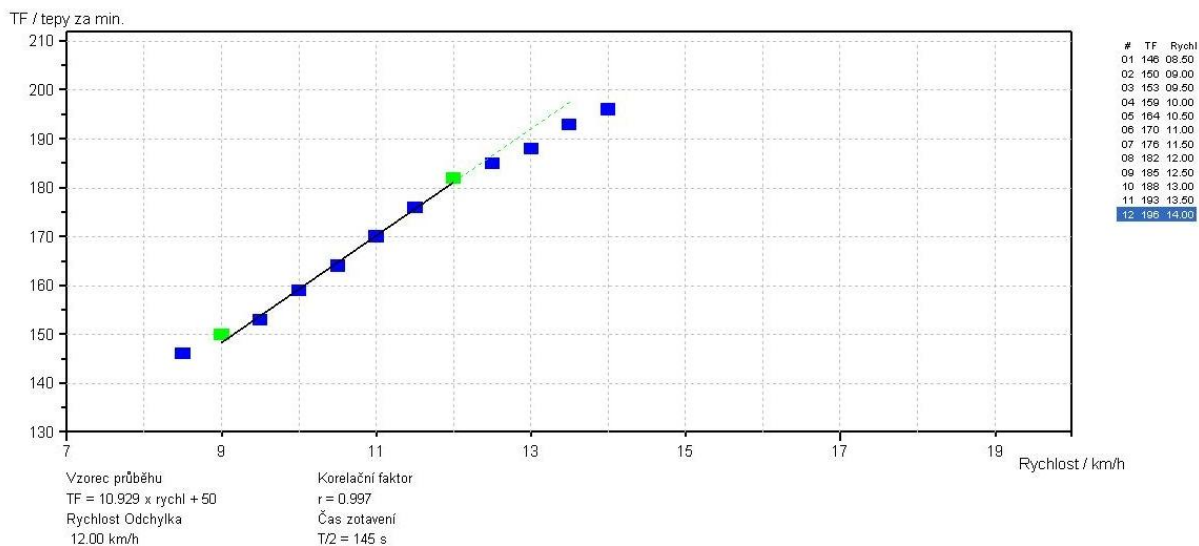
I. Výsledky testu VCB₂₀ se zřetelem na možnost detekce bodu odklonu průběhu SF od linearity (BDSF)

Z celkového počtu 52 testů VCB₂₀ bylo možné určit spolehlivě 43 jednoznačných BDSF. V 11 dalších případech nebylo možno BDSF určit. Přehled jednotlivých typů průběhu SF jsou sumarizovány v tab. 6.

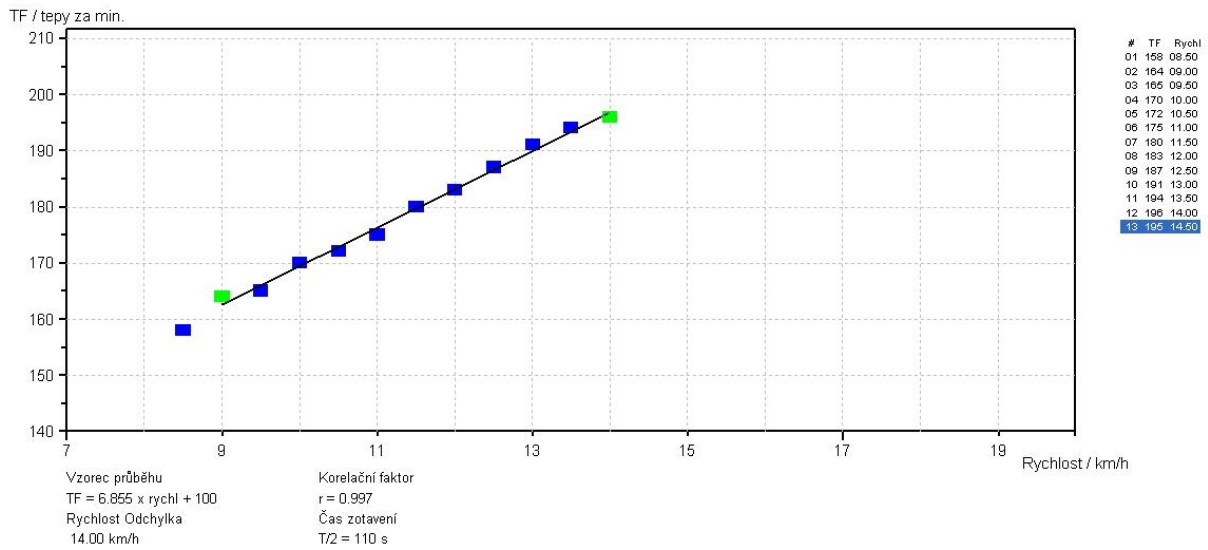
Tab. 6. Přehled a jednotlivé typy průběhu SF v odpovědi na zatížení a možnosti detekce BDSF

Charakter průběhu SF v průběhu VCB ₂₀	Počet případů	Viz obr
regulérní typ BDSF	43	4
lineární průběh v celém rozsahu zatížení	4	5
nejednoznačný bod deflexe (více variant interpretace)	4	6
BDSF je patrný, ale pravděpodobně neodpovídá ANP	2	7
BDSF je inflexního charakteru	1	8

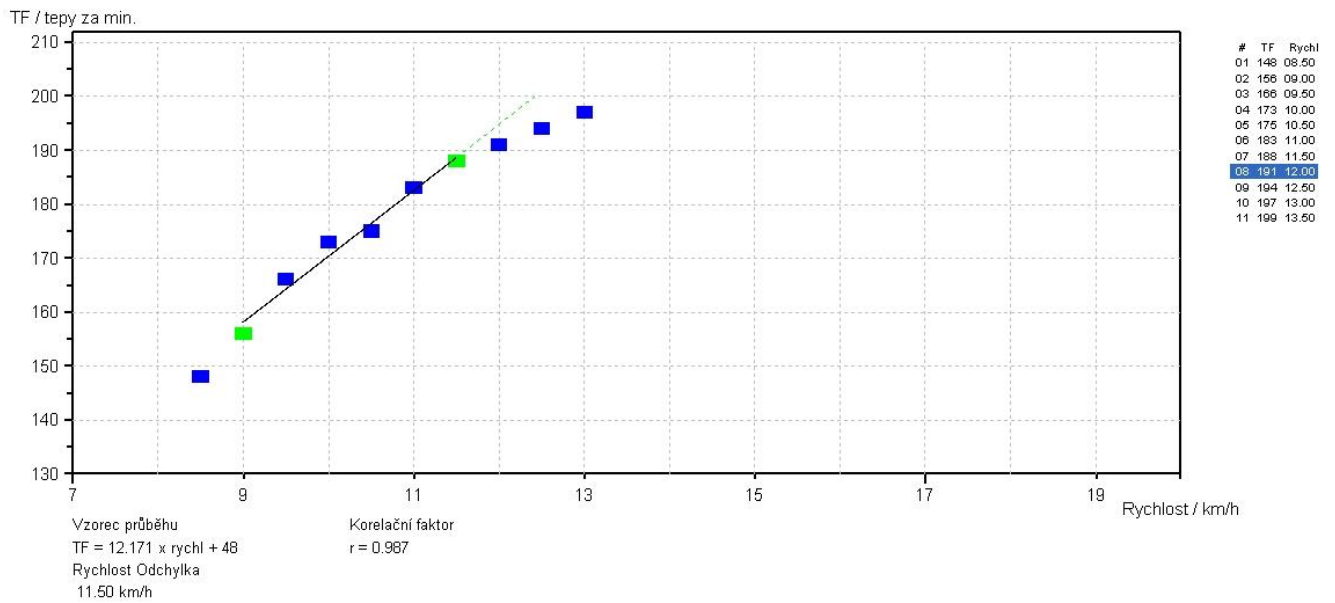
Obr. 4. regulérní typ BDSF (SF = 182)



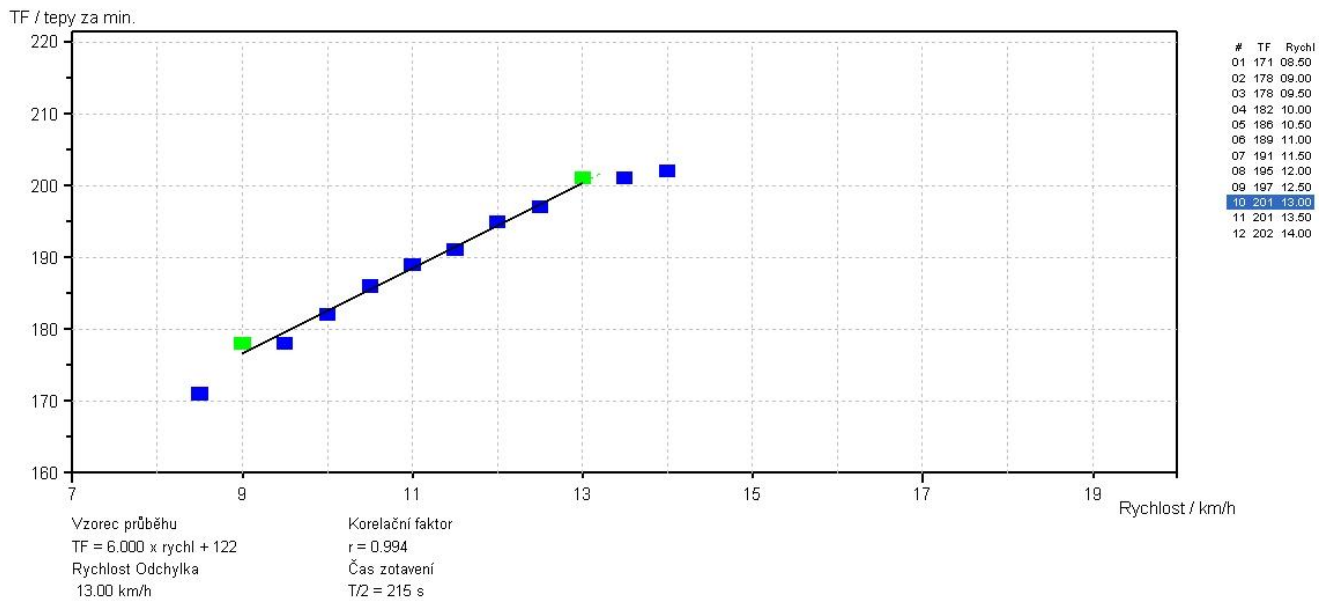
Obr. 5. lineární průběh závislosti SF na intenzitě v celém rozsahu zatížení



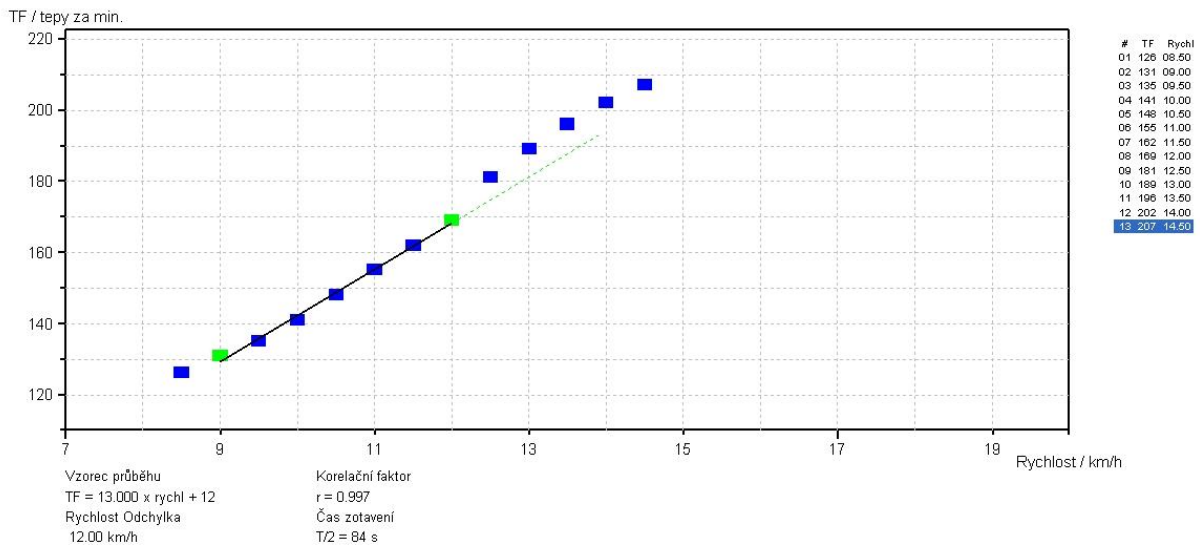
Obr. 6. nejednoznačný bod deflexe (více variant interpretace)



Obr. 7. deflexní bod je patrný, pravděpodobně však nekorresponduje s ANP



Obr. 8. Bod odklonu je inflexního charakteru



II. Srovnání vybraných výsledků zátěžového spiroergometrického vyšetření a testu VCB₂₀

Tab. 7. Průměrné maximální a prahové hodnoty SF a rychlosti (počtu fází) v obou testech (běhátko a VCB₂₀), n=18.

	MAXIMA				ANP			
	Běhátko	VCB ₂₀	Běhátko	VCB ₂₀	Běhátko	VCB ₂₀	Běhátko	VCB ₂₀
v	Počet fází	SF	SF	v	v BDSF	SF	SF	
	km h ⁻¹	fáze	t min ⁻¹	t min ⁻¹	km h ⁻¹	fáze	t min ⁻¹	t min ⁻¹
\bar{x}	17,94	11,64	192,72	193,89	13,50	5,42	170,28*	174,56*
SD	0,68	1,34	7,68	6,41	0,55	1,28	5,00	5,04

v BDSF...rychlost na úrovni bodu deflexe SF

* věcně významný rozdíl ... $\omega^2 = 0,13$

Ad H1 :

Z celkového počtu 52 provedení VCB₂₀ byl BDSF jednoznačně identifikován ve 43 případech, tj. 83%.

Ad H2:

Mezi hodnotou SF na úrovni BDSF dosažené v testu VCB₂₀ a hodnotou SF na úrovni ANP dosažené v zátěžovém testu do vita maxima na běhátkovém ergometru je statisticky i věcně významný rozdíl, ($p = 0,18$, $\omega^2 = 0,13$).

Ad H3:

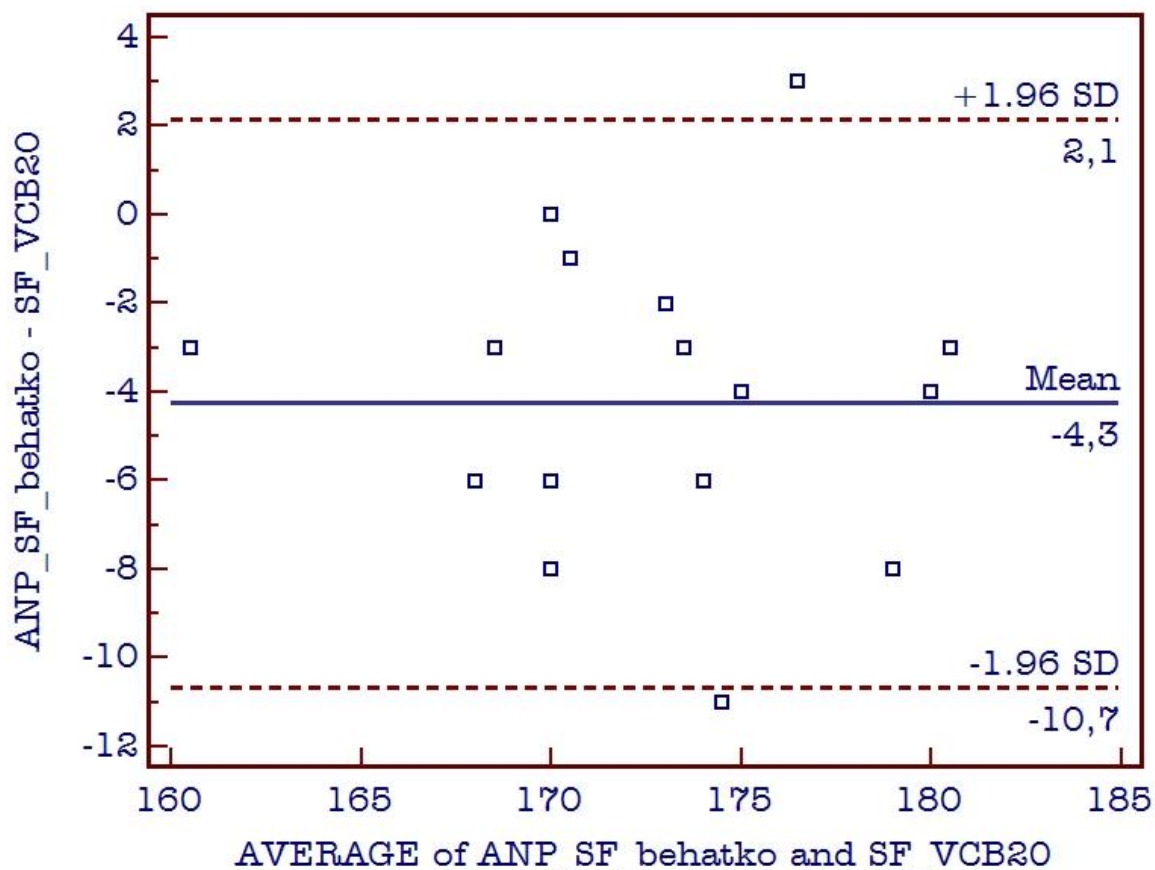
Mezi hodnotou maximální SF dosažené v testu VCB₂₀ a v zátěžovém testu vita maxima na běhátkovém ergometru není statisticky ani věcně významný rozdíl ($p = 0,63$).

Ad H4:

Míru ekvivalentnosti stanovení ANP standardní metodikou (ventilační ANP) a navrhovanou metodikou hodnocení kinetiky SF testu VCB₂₀ Conconiho metodou má hodnotu $r_{ekv} = 0,80$.

Grafická analýza pomocí modifikace grafu reziduálních hodnot pro regresi (Bland-Altmanův graf) na obr 9.

Obr. 9. Blance-Altmanův graf charakterizující porovnání metod stanovení ANP z hodnot SF na úrovni ANP ze zátěžového spiroergometrického vyšetření a hodnot SF korespondující s BDSF v průběhu testu VCB₂₀.



5. Diskuse

Problematika stanovení ANP i jeho samotný koncept je ve světovém písemnictví stále široce diskutován. Existuje více metod k jeho diagnostice, jejich ekvivalentnost není vždy jednoznačná.

Předmětem diskuse je i jedna z metod k jeho určení, tzv. Conconiho test. Na jedné straně je zcela jednoznačně přijímán, na druhé straně je odmítán či jsou kritizovány jednotlivé aspekty jeho podstaty. Jedním z důležitých faktorů, který je spojen s otázkami validity Conconiho testu, je ne zcela objasněná fyziologická podstata deflexního bodu průběhu SF v závislosti na stoupající intenzitě zatížení. Jedním z uvažovaných fyziologických mechanismů je mezisíňová

funkce myokardu. Z literárních pramenů vyplývá, že BDSF se signifikantně vyskytuje jako biologický fenomén a není artefaktem, který má vazbu na specifický zátěžový protokol [42].

K značnému rozšíření Conconiho testu přispěla jeho neinvazivnost, relativní jednoduchost, dostupnost a časová i materiální nenáročnost. O síle jeho rozšíření hovoří i to, že se tento test stal standardní součástí řady testovacích hardware i software renomovaných firem (HP Cosmos, Polar aj.). V relativní jednoduchosti prováděcích pokynů testu je však skryta řada problematických faktorů, které mohou přispět k nejednoznačnosti získaných výsledků. Možným zdrojem chybovosti a nejednoznačnosti naměřených dat přispívá i fakt, že měřeným fyziologickým parametrem je SF, tedy hodnota, která je velmi silně variabilní a ovlivnitelná řadou faktorů, které není vždy zcela naprosto přesně identifikovat, kvantifikovat, a tak je jako možný zdroj chybovosti i eliminovat. Například psychoemoční zatížení, aktuální zdravotní stav jedince, vliv biorytmů apod.

Jako další možný zdroj obtíží při vyhodnocení testu je existence řady testových protokolů, které se v mnohých případech od originálního testového předpisu liší. Samotní autoři ze skupiny profesora Conconiho rozpracovali řadu testových protokolů pro mnoho dalších sportovních odvětví. I původní protokol pro atlety – běžce byl dalšími autory modifikován. Tyto alternativy pracovaly s odlišnou iniciální rychlostí, délkou zátěžového stupně, využitím běhátkového ergometru a jeho odlišných sklonových parametrů. Sám Conconi po 12 letech přepracoval původní testový protokol (viz teoretická část).

Dalším možným zdrojem disparity při vyhodnocování je objektivita testu při hodnocení různými hodnotiteli. Zkušenost posuzovatelů s vyhodnocení testového protokolu Conconiho testu hraje významnou roli.

Vedle řady modifikací samotného testu existuje i řada nástrojů pro vyhodnocení. Vedle klasické observační metody je využívána celá řada softwarových nástrojů a využívají se i zcela netradiční postupy jako např. metoda Dmax [38].

Diskuse k H1

Výsledky testu VCB₂₀ se zřetelem na možnost detekce bodu odklonu průběhu SF od linearity (BDSF)

V první části testování bylo možno určit BDSF u 83 % probandů (42 z celkového počtu 52). Tato hodnota je obtížně srovnatelná s obdobnými studii a jejich výsledky. Primárně jde

toto jednoznačně na vrub použitému protokolu (VCB₂₀), dále je faktem že obdobné studie vykazují značný rozptyl, co se týče míry úspěšnosti stanovení BDSF a odlišně rozsáhlým souborům probandů. K obdobným údajům jako v naší studii dospěli ve svých výzkumech Rogers [88] a Lepretre [89].

V 11 případech (17%) se nepodařilo BDSF detekovat. V našich předchozích výzkumech [4] jsme detekovali problémové situace, které jsou příčinou neúspěšných stanovení BDSF při standardním protokolu Conconiho testu. K těmto situacím řadíme následující:

- 1) nedodržení požadovaného plynulého nárůstu rychlosti
- 2) příliš vysoká počáteční rychlost

Tyto příčiny jsme eliminovali použitím protokolu VCB₂₀ kde jsou tyto determinanty jednoznačně určeny a v průběhu testu kontrolovány prostřednictvím audio signálu. Toto považujeme za výraznou výhodu oproti originálnímu protokolu.

- 3) nedostatečný počet úseků

Podle původního Conconiho předpisu je zapotřebí k vyhodnocení minimálně 8 úseků. To při 200 metrových úsecích odpovídá celkové vzdálenosti 1 600 m a času 10 min při startovní rychlosti 8 km.h⁻¹. V protokolu VCB₂₀ tomuto požadavku odpovídá hodnota 8 fází. Tedy minimálnímu času trvání testu 8 minut. Vzhledem k charakteru výzkumného souboru, který tvořili profesionální vrcholoví sportovci, se tato problémová situace v našem výzkumu nevyskytla. Průměrný počet dosažených fází v testu VCB₂₀ byl u skupiny 18ti probandů, kteří absolvovali i zátěžový spiroergometrický test 11,64 fáze, SD. = 1,34.

Toto může být problémová situace u testování dětí či méně zdatných jedinců. Např. 8 fází by měli podle norem testové baterie Unifittest dosahovat podprůměrní muži a nadprůměrné ženy kategorie 18-20 let. Toto je však nutné prověřit i v rámci dalších obdobných šetření zaměřených na dětské a mládežnické kategorie. Zde by popřípadě byla nutná korekce úvodní rychlosti testu.

- 4) Vliv tréninkového statutu

Hypotézu o vlivu úrovně zdatnosti a sportovního zaměření probandů na možnost jednoznačné detekce BDSF a její opakovatelnost ve svých výzkumech potvrdili Ribeiro [30] a

Francis [78]. I námi zaznamenané výsledky naznačují jistou souvislost v této oblasti. Spolu s oběma autory můžeme hypotetizovat, že méně trénovaní jedinci mohou postrádat vůli k práci ve vyšších intenzitách a předčasně tak ukončit testování, tj. před anebo těsně po dosažení úrovně ANP. Oproti tomuto BDSF byl v dalších studiích detekován u pacientů v rehabilitačním období po infarktu myokardu [43], a na druhé straně i homogenní skupiny atletů vrcholové výkonnosti podobné našemu výzkumnému souboru vykazují disparity při určování BDSF [67].

Stejně jako problémové situace, i typologii odpovědí na stupňované zatížení při Conconiho testu vyskytující se v našem výzkumu lze systematizovat na:

- a) lineární průběh závislosti SF na intenzitě v celém rozsahu zatížení
- c) nejednoznačný bod deflexe (více variant interpretace)
- d) deflexní bod je patrný, pravděpodobně však nekoresponduje s hladinou ANP
- e) bod odklonu je inflexního charakteru.

ad a) Lineární průběh křivky SF

V závislosti na progresivním zatížení v celém svém rozsahu (bez manifestace deflexního bodu) byl zaznamenán ve 4 případech z celkového počtu 11 neúspěšných stanovení. Tato zjištění korespondují s nálezy publikovaných ve vědeckých statích, kdy určité procento průběhu výsledků Conconiho testu vykazuje lineární průběh v celém svém rozsahu [42]. Je obtížné stanovit a diskutovat příčiny tohoto jevu, zejména vzhledem k faktu, že fyziologická podstata deflexního bodu nebyla doposud jednoznačně objasněna. Uvažován je vliv blokády parasymptiku, staršího věku, či patologických stavů v oblasti myokardu (infarkt zadní stěny). Z našich výsledků můžeme konstatovat, že procento tohoto obrazu průběhu SF se vyskytovalo ve všech částech testování (pilotní a ověřovací studie, forma test-retest) a předpokládáme tedy, že ani vliv zapracování nehrají výraznější vliv při výskytu, přesněji při snížení počtů výskytu tohoto fenoménu. Z naší praxe můžeme potvrdit obdobný výskyt lineární odpovědi organismu na zatížení i v dalších fyziologických parametrech, ve kterých je očekáván deflexní či inflexní průběh (např. VE).

ad b) Nejednoznačný bod deflexe (více variant interpretace)

V našem výzkumu se tento jev vyskytl ve 4 případech z 11. Společně s předchozím typem je to nejvyšší četnost v souboru neúspěšných stanovení.

Výsledky v tomto případě nabízejí více možností interpretace, je nutné rozhodnout mezi obvykle dvěma variantami vyhodnocení. V těchto případech je nutné k posouzení výsledků zvolit další pomocné kritérium. Tím může být vztah hodnoty ANP k SF_{max} - tedy že ANP se nachází v rozmezí 87 – 93 % maximální SF [71]. Tento vztah je však platný pouze pro trénované jedince. V úvahu tak připadá další evaluační test ve formě souvislého zatížení, nejméně 30 minut na uvažovaných hladinách predikované SF odpovídající uvažovanému ANP.

ad c) Deflexní bod je patrný, pravděpodobně však nekoresponduje s hladinou ANP

Tento typ jsme zaznamenali ve dvou případech z 11 neúspěšných stanovení BDSF. V obou případech vyhodnotil automaticky software jako BDSF bod velmi blízký hodnotě SF_{max} . Tento případ poukazuje na nutnost podrobit ve všech případech automatické výstupy počítačovou aplikací dalšímu expertnímu posouzení. Je potřeba zhodnotit, zda proband skutečně dosáhl svého maxima, anebo test ukončil těsně po dosažení ANP. V rámci homogenní skupiny probandů, kteří se účastnili našeho výzkumu, toto nebyl problém, navíc nám byly známy z předchozích vyšetření individuální hodnoty SF_{max} . V případě, že proband dosáhl svého maxima a BDSF odpovídá téměř této hodnotě, nelze takovýto záznam objektivně vyhodnotit.

ad d) Bod odklonu má inflexní charakter

V našem výzkumu se tento typ vyskytl v jednom případě z 11ti neúspěšných stanovení BDSF. Podobné případy jsou zdokumentovány v některých studiích klasického provedení Conconiho testu, přičemž příčiny inflexního směru odklonu od linearit jsou stále předmětem diskuse. Pro srovnání Hofman [24] uvádí ve své studii 9,7 % případů inverzního směru deflexe (n = 227 „zdravých mladých mužů“).

Příčiny inverzního odklonu od linearit jsou jednak spojovány s vyšším věkem probandů jako kompenzace pravděpodobných omezení funkce myokardu související s věkem [42], zejména s odlišnou senzitivitou myokardu k působení katecholaminy [41]. Naproti tomuto Bunc a Heller [37] detekovali regulérní průběh u většiny starších mužů ($51,8 \pm 5,41$ let).

Další možná příčina zvýšeného výskytu inflexního bodu odklonu je spojována s patologickými stavy myokardu. V Pokanově [22] studii 89 % pacientů po infarktu zadní stěny myokardu vykazalo inverzní odklon v průběhu Conconiho testu. Podle Fosterovy hypotézy souvisí výskyt inverzního odklonu od linearity u pacientů se stabilizovaným onemocněním myokardu s kompenzačními mechanismy pro zachování srdečního objemu v případě levé ventrikulární dysfunkce [73].

Další možný aspekt, který ovlivňuje výskyt fenoménu inflexního bodu, uvádí ve své experimentální studii Pokan [26]. 20 jedinců pod vlivem experimentálního ošetření ve smyslu blokády parasymptiku vykazalo v Conconiho testu signifikantně větší inklinaci k manifestaci lineární, respektive inverzní odpovědi na zatížení v porovnání s kontrolní skupinou ošetřenou placebem. Signifikantní vztah byl prokázán mezi inverzním charakterem BDSF a sníženým výkonem levé ventrikulární funkce u pacientů po infarktu myokardu [22].

Diskuse v rámci hypotéz 2-4:

Míra ekvivalence obou postupů stanovení ANP

Míru ekvivalence mezi oběma postupy stanovení ANP a BDSF $r_{EKV}=0,80$. Vzhledem ke kontinuitě vývoje zkoumání v oblasti problematiky ekvivalentnosti testů jsme i my primárně využili Pearsonův korelační koeficient pro výpočet této hodnoty. Vzhledem k tomu, že se jedná o metodologický problém porovnání dvou metod měřící shodný konstrukt, není tento postu zcela vhodný.

V rámci porovnání obou metod byly naměřené hodnoty posouzeny i z hlediska hypotéz o průměrech obou souborů. T-test pro nezávislé výběry a hodnoty koeficientu věcné významnosti odhalil rozdílnost průměrů hodnot SF na úrovni ANP detekovaných zátěžovým vyšetřením a průměrů hodnot SF odpovídajícím s BDSF při CVB₂₀. To vše při vysoké hodnotě koeficientu ekvivalence. Jako zpřesňující nástroj jsme využili grafické znázornění srovnání obou metod pomocí Bland-Altmanova grafu (obr. 9), tedy metodou vhodnou při porovnávání vícero metod pro detekci jednoho konstrukt. Výsledky těchto matematicko-statistických postupů poskytly podklad pro detailnější zkoumání výsledků získaných z průběhu CVB₂₀. Pokud přijmeme hypotetickou premisu, že „zlatým standardem“ stanovení ANP je stanovení

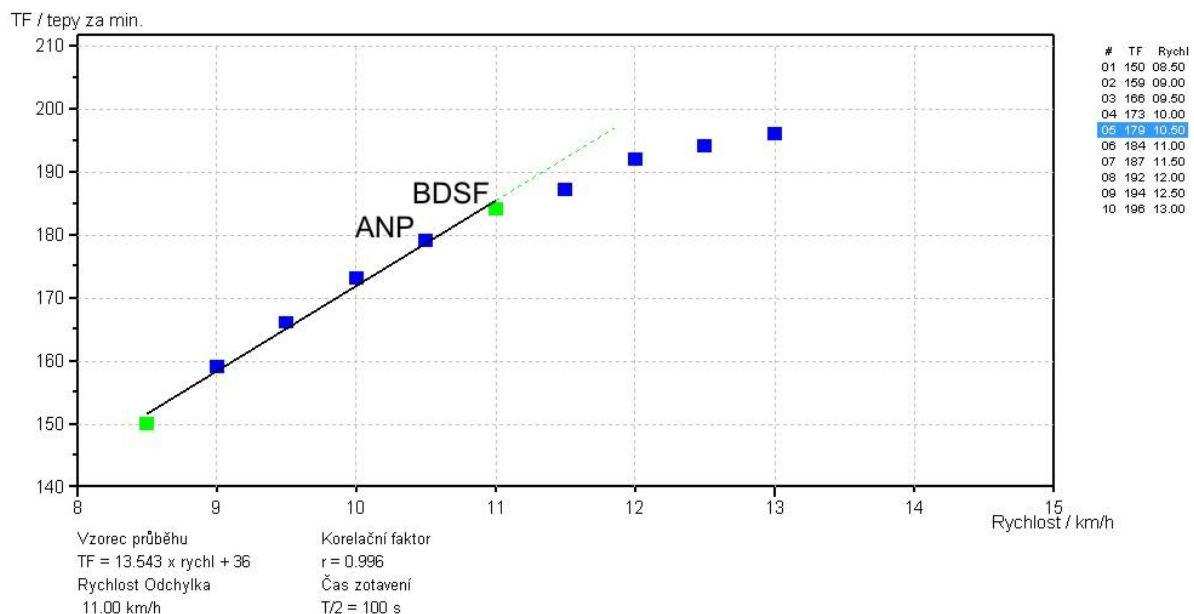
ventilačního prahu (viz metodologie práce), pak musíme konstatovat, že hodnota ANP určená z BDSF testu VCB_{20} je **nadhodnocená**.

Tento závěr je obdobný jako zjištění Zacharogiannise a Farallyho [7] kteří uvádějí, že rychlost a procenta maximální SF na úrovni bodu deflexe jsou signifikantně vyšší než tyto hodnoty na úrovni ventilačního prahu u trénovaných běžců.

Pokud hodnotu ANP ztotožníme nikoliv s BDSF, ale s prvním bodem pod tímto zlomem (viz obr. 10), projeví se toto vyšší mírou ekvivalentnosti mezi oběma metodami. Nikoliv v míře korelačního koeficientu, který není na toto citlivý, ale v sblížení průměrů což se projeví ve výsledcích testu rozdílu průměrů a effect size stejně tak jako v trendu Bland-Altmanova grafu (obr. 11).

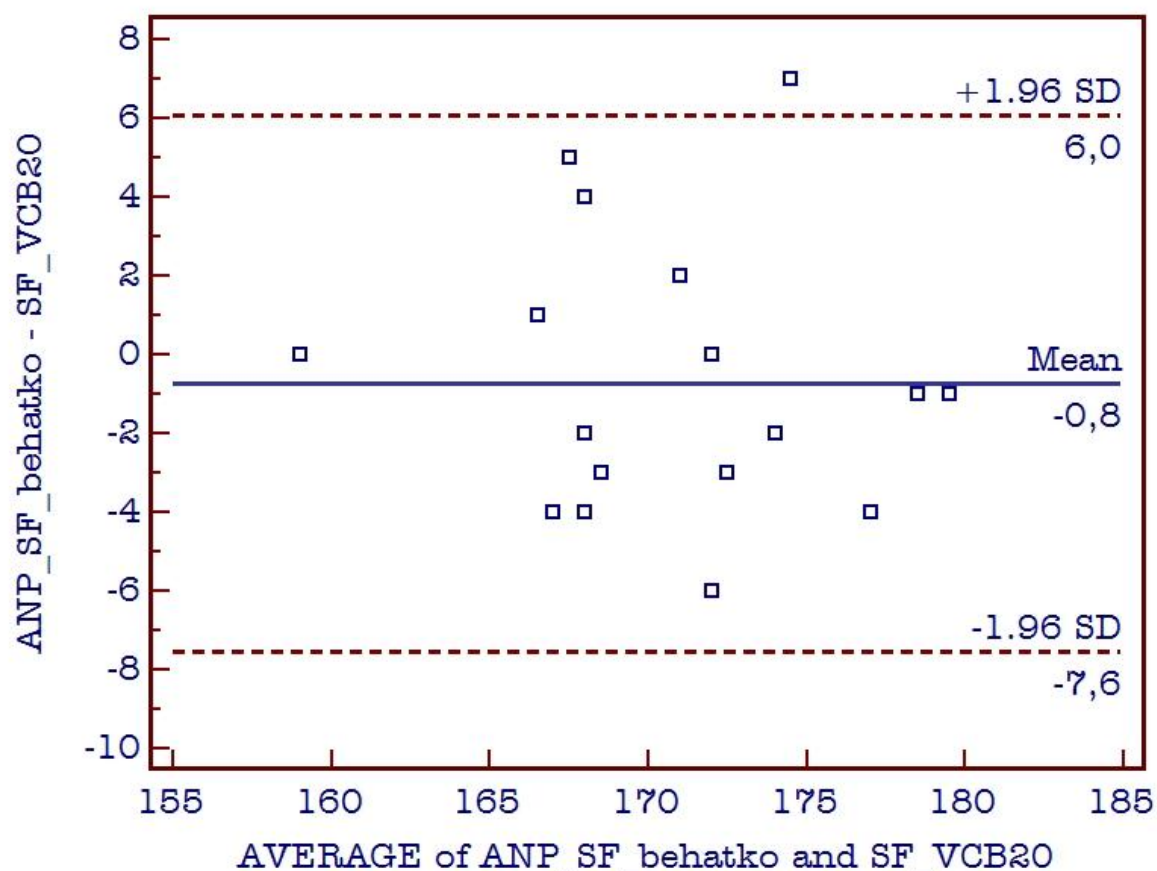
Po korekci výsledků VCB_{20} o jednu fázi méně pod hodnotou BDSF nacházíme vyrovnané soubory z hlediska průměrů.

Obr. 10. Postup určení ANP: bod odpovídající BDSF – 1 fáze



Hodnota effect size takto modifikovaného určení ANP činí $\omega^2 = -0,02$ a mezi oběma soubory není statisticky ani věcně významný rozdíl v průměrné hodnotě stanoveného ANP.

Obr. 22. Bland-Altmanův graf po korekci hodnoty BDSF o jednu fázi



Vysvětlení tohoto jevu není jednoduché vzhledem k chybějícím poznatkům o fyziologické podstatě BDSF. Hrubě lze spekulovat o jakémsi „zpoždění“ v reakci organismu na stoupající zatížení manifestovaném právě srdeční frekvencí oproti rychlejší reakci na stejné změny ve vnitřním prostředí manifestované ventilačně – respiračními parametry.

Pro praxi to znamená nutnost při vyhodnocování kinetiky SF v průběhu VCB₂₀ ztotožnit s ANP jednu fázi (1min) před manifestací BDSF.

Jsme si vědomi limitů výpovědní hodnoty dané velikostí a charakterem výzkumného souboru, dále je potřeba získané poznatky ověřit na dalších populačních výběrech a ověřit test-retest reliabilitu vzhledem k problematické stabilitě hodnot SF při opakovaném testování. Přesto se domníváme, že uvedený postup může být využit v rámci terénního testování pro kvalifikovaný odhad úrovně ANP vyjádřeného v hodnotách SF.

Vedlejším produktem výzkumu je zjištění, že SF_{max} se statisticky ani věcně významně neliší při použití obou metod a z výsledků VCB₂₀, při kterém je zaznamenávána SF, můžeme

vyhodnotit hodnoty SF_{max} . Toto ovšem za předpokladu že SF_{max} je dosaženo i v rámci zátěžového spiroergometrického vyšetření v ita maxima.

Protože v testu je detekována SF, je zejména v rámci vyhodnocení získaných dat, ale i přípravě a organizaci a průběhu testování mít na paměti citlivost SF k vnějším i vnitřním faktorům, které ji ovlivňují. Psychoemoční zatížení tak například může SF ovlivnit až z 30% (viz teoretická část).

6. Závěr

V naší práci jsme navrhli a ověřili alternativní postup k určení ANP vyjádřeného hodnotou SF. Využili jsme stávající motorický test na testování vytrvalostních schopností – Vytrvalostní člunkový běh na 20 m. V průběhu tohoto testu zaznamenáváme kinetiku SF a její průběh následně vyhodnocujeme pomocí Conconiho metody.

Hodnota SF, která odpovídá jedné fázi člunkového běhu před manifestací bodu odklonu od linearity průběhu SF v závislosti na rychlosti běhu, koresponduje s úrovní ANP.

7. Seznam literatury

1. Brooke, J.D., Hamley, E.J., Thomason, H., *The relationship of heart-rate to physical work*. J. Physiol. , 1968. **197**: p. 61.
2. Brooke, J.D., Hamley, E.J., *The heart-rate-physical work curve analysis for the prediction of exhausting work ability*. Med. Sci. Sports Exerc. , 1972. **4**: p. 23-6.
3. Conconi, F., Ferrari, M., Ziglio, P.G., et al., *Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive field test in runners*. J. Appl. Physiol., 1982. **52**: p. 869-73.
4. Hnízdil, J., *Conconiho test - limity výpovědní hodnoty*, in FTVS 2006, UK: Praha. p. 150.
5. Pendergast, D., Cerretelli, P., Rennie, D.W., *Aerobic and glycolytic metabolism in arm exercise*. J. Appl. Physiol. , 1979. **47**: p. 754-60.
6. Conconi, F., Grazi, G., Casoni, I., et al., *The Conconi test: methodology after 12 years of application*. Int J Sports Med, 1996. **17**: p. 509-19.
7. Zacharogiannis, E., Farrally, M., *Ventilatory threshold, heart rate deflection point and middle distance running performance*. Sports Med Phys Fitness, 1993. **33**: p. 337-347.
8. Cellini, M., Vitiello, P., Nagliati, A., et al., *Noninvasive determination of the anaerobic threshold in swimming*. Int J Sports Med, 1986. **7**: p. 347-351.
9. Ribeiro, J.P., Fielding, R.A., Hughes, V., et al., *Heart rate break point may coincide with the anaerobic and not the aerobic threshold*. Int J Sports Med, 1985. **6**: p. 220-4.
10. Tokmakidis, S.P., Leger, L., *External validity of the Conconi's heart rate anaerobic threshold as compared to the lactate threshold*. 1988. **8**: p. 43-58.
11. Carey, D.G., Raymond, R.L., Duos, A., *Intra- and inter - observer reliability in selection of the heart rate deflection point during incremental exercise: comparison to a computer - generated deflection point*. Journal of Sports Science and Medicine (Electronic journal), 2002. **1**: p. 115-121.
12. Bodner, M.E., Rhodes, E.C., Coutts, K.D., *Reliability of a mathematical model to reproduce heart rate threshold and the relationship to ventilatory threshold*. Med Sci Sports Exerc, 1998. **30 Suppl.**: p. 320.
13. Petit, M.A., Nelson, C.M., Rhodes, E.C., *Comparison of a mathematical model to predict 10km performance from the conconi test and ventilatory threshold*. Can J Appl Physiol 1997. **22**: p. 562-72.
14. de Wit, M.J.P., der Weduwe, C.J., Wolfhagen, P.J.J.M., et al., *Validity of peak oxygen uptake calculations from heart rate deflection points*. Int J Sports Med, 1997. **18**: p. 201-7.
15. Mahon, A.D., Vaccaro, P., *Can the point of deflection from linearity of heart rate determine ventilatory threshold in children?* . Pediatr Exerc Sci, 1991. **3**: p. 256-62.
16. Kuipers, H., Keizer, H.A., de Vries, T., et al., *Comparison of heart rate as a non-invasive determination of anaerobic threshold with the lactate threshold when cycling*. Eur J Appl Physiol, 1988. **58**: p. 303-6.
17. Kara, M., Gokbel, H., Bediz, C., et al., *Determination of the heart rate deflection point by the dmax method*. 1996. **36**: p. 31-4.
18. Bunc, V., Hofmann, P., Leitner, H., Gaisl, G., *Verification of the heart rate threshold*. Eur J Appl Physiol, 1995. **70**(3): p. 263-269.
19. Bunc, V., Heller, J., Leso, J., *Kinetics of heart rate responses to exercise*. J Sport Sci, 1988. **6**: p. 39-48.

20. Tokmakidis, S.P., Leger, L., *Comparison of mathematically determined blood lactate and heart rate 'threshold' points and relationship with performance.* Eur J Appl Physiol, 1992. **64**: p. 309-17
21. Bodner, M.E., Rhodes, E.C., *A review of the concept of the heart rate deflection point.* Sports Med, 2000. **30**(1): p. 31-46.
22. Pokan, R., Hofmann, P., Von Duvillard, S.P., et al., *The heart rate performance curve and left ventricular function during exercise in patients after myocardial infarction.* Med Sci Sports Exerc, 1998. **30**: p. 1475-80.
23. Pokan, R., Hofmann P, Von Duvillard, S.P., Smekal,G., Holger, R., Tschan, H., et al., *The heart rate turn point reliability and methodological aspects.* Med Sci Sports Exerc, 1998. **31**: p. 903-907.
24. Hofmann, P., Pokan, R., von Duvillard, S.P., et al., *Heart rate performance curve during incremental cycle ergometry exercise in healthy young male subjects.* Med Sci Sports Exerc, 1997**29**(6): p. 762-8.
25. Hofmann, P., Pokan, R., Lehmann, M., et al. *Influence of parasympathetic blockade on heart rate performance curve and blood lactate during incremental cycle ergometer exercise.* in *The Way to Win: International Congress on Applied Research in Sports.* 1994. Helsinki.
26. Pokan, R., Hofmann, P., Von Duvillard, S.P., et al., *Parasympathetic receptor blockade and the heart rate performance curve.* . Med Sci Sports Exerc, 1998. **30**: p. 229-33.
27. Pokan, R., Hofmann P, Lehmann M, et al., *Heart rate deflection related to lactate performance curve and plasma catecholamine response during incremental cycle ergometer exercise.* Eur J Appl Physiol, 1995. **70**: p. 175-9
28. Ringwood, J.V., *Anaerobic threshold measurement using dynamic neural network models.* Computers in Biology and Medicine, 1998. **29**: p. 259-271.
29. Droghetti, P., Borsetto, C., Casoni, I., et al., *Noninvasive determination of the anaerobic threshold in canoeing, cross-country skiing, cycling, roller and ice-skating, rowing, and walking.* Eur J Appl Physiol, 1985. **53**: p. 299-303.
30. Conconi, F., Borsetto, C., Casoni, I., et al., *Noninvasive determination of the anaerobic threshold in cyclists in medical and scientific aspects of cycling.*, in *Medical and scientific aspects of cycling.*, E.R. Burke, Newsom, M.M., Editor. 1988, Human Kinetics: Illinois. p. 79-91.
31. Droghetti, P., *Determination of the anaerobic threshold on a rowing ergometer by the relationship between work output and heart rate.* Scand J Sports Sci 1986. **8**: p. 59-62.
32. Maffulli, N., Sjodin, B., Ekblom, B., *A laboratory method for non invasive anaerobic threshold determination.* J Sports Med, 1987. **27**: p. 419-23.
33. Hofmann, P., Bunc, V., Leitner, H., et al., *Heart rate threshold related to lactate turn point and steady-state exercise on a cycle ergometer.* Eur J Appl Physiol, 1994. **69**: p. 132-9.
34. Thorlund, W., Podolin, D.A., Mazzeo, R.S., *Coincidence of lactate threshold and HR-power output threshold under varied nutritional states.* Int J Sports Med, 1994. **15**: p. 301-4.
35. Bodner, M.E., Rhodes, E.C., Langill, R.H., et al., *Heart rate threshold: relationship to steady state cycling at ventilatory threshold in trained cyclists* Med Sci Sports Exerc, 1999. **31**(Suppl.): p. 1561.

36. Pokan, R., Hofmann, P., Preidler, K., et al., *Correlation between inflection of heart rate/work performance curve and myocardial function in exhausting cycle ergometer exercise*. Eur J Appl Physiol, 1993. **67**: p. 358-8.
37. Bunc, V., Heller, J., *Comparison of two methods of noninvasive anaerobic threshold determination in middle-aged men*. Sports Med Training Rehabil, 1992. **3**: p. 87-94.
38. Gaisl, G., Hofmann, P., *Heart rate determination of anaerobic threshold in children*. Pediatr Exerc Sci, 1990. **2**: p. 29-36.
39. Gaisl, G., Wiesspeiner, G., *A noninvasive method of determining the anaerobic threshold in children*. Int J Sports Med, 1987. **8**: p. 41-4.
40. Sallo, M., *Anaerobic threshold in preschool children evaluated indirectly with the aid of an incremental exercise in bicycle ergometer*. Biol Sport, 1994. **11**: p. 31-5.
41. Hofmann, P., Pokan, R., Preidler, K., et al., *Relationship between heart rate threshold, lactate turn point and myocardial function*. Int J Sports Med, 1994. **15**: p. 232-7.
42. Hofmann, P., Pokan, R., Schmid, P., et al., *Load dependent myocardial function and heart rate performance curve in healthy young and older male subjects [abstract]*. Int J Sports Med, 1996. **17**: p. S13.
43. Nikolaizik, W.H., Knopfli, B., Leister, E., et al., *The anaerobic threshold in cystic fibrosis: comparison of V-slope method, lactate turnpoints, and Conconi test*. Pediatr Pulmonol 1998. **25**: p. 147-53
44. Jones, A.M., Doust, J.H., *Lack of reliability in Conconi's heart rate deflection point*. Int J Sports Med, 1995. **16**: p. 541-4.
45. Schmid, A., Huonker, M., Aramendi, J.F., et al., *Heart rate deflection compared to 4 mmol \pm 1-1 lactate threshold during incremental exercise and to lactate during steady state exercise on an arm-cranking ergometer in paraplegic athletes*. Eur J Appl Physiol, 1998. **78**: p. 177-82.
46. Jones, A.M., Doust, J.H., *The Conconi test is not valid for estimation of the lactate turnpoint in runners*. J Sport Sci, 1997. **15**: p. 385-94.
47. Ballarin, E., Borsetto, C., Cellini, M., Patracchnini, M., Vitiello, P., Ziglio, P.G., Cononi, F., *Adaptation of the "Conconi test" to children and adolescents*. Int J Sports Med, 1989. **10**(5): p. 334-8.
48. Vachon, J.A., Bassett, D.R., Clarke, S., *Validity of the heart rate deflection point as a predictor of lactate threshold during running*. J Appl Physiol, 1999. **87**: p. 452-9.
49. Jeukendrup, A.E., Hesselink, M.K.C., Kuipers, H., et al., *The Conconi test [letter]*. Int J Sports Med, 1996. **17**: p. 509-19.
50. Parker, D., Robergs, R. A., Quintana, R., Frankel, C. C., Dallam, G., *Heart rate threshold is not a valid estimation of the lactate threshold*. Medicine and Science in Sports and Exercise, 1997. **29**(5): p. Supplement abstract 1344.
51. Francis, K.T., McClatchey, P.R., Sumison, J.R., et al., *The relationship between anaerobic threshold and heart rate linearity during cycle ergometry*. Eur J Appl Physiol, 1998. **59**: p. 273-7
52. Baraldi, E., Zanconato, S., Santuz, P.A, et al., *A comparison of two noninvasive methods in the determination of the anaerobic threshold in children*. Int J Sports Med, 1989. **10**: p. 132-4.
53. Mahler, P.B., Rostan, A., *L'effort percu: Corrélation avec le seul anaérobie et utilité dans un programme d'entraînement*. Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin, 1990. **38**(4): p. 187-191.

54. Carey, D., *Assessment of the accuracy of the Conconi test in determining gas analysis anaerobic threshold*. J Strength Cond Res., 2002. **16**(4): p. 641-4.
55. Aunola, S., Rusko, H. , *Does anaerobic threshold correlate with maximal lactate steady state?* J Sport Sci, 1992. **10**: p. 309-23.
56. Bunc, V., Hofmann, P., Gaisl, G. , *Anaerobní práh podle Conconiho určuje maximální setrvalý stav*. Acta Universitatis Carolinae ☐ Kinanthropologica, 1994. **30**(1): p. 43-56.
57. Hofmann, P., Peinhaupt, G., Leitner, H., et al. *Evaluation of heart rate threshold by means of lactate steady state and endurance tests in white water kayakers*. in *The Way to Win: International Congress on Applied Research in Sports*. 1994. Helsinki.
58. Bourgois, J., Vrijens, J., *The Conconi test: a controversial concept for the determination of the anaerobic threshold in young rowers*. Int J Sports Med, 1998. **19**: p. 553-9.
59. Conconi, F., et al. (2005) *Case study of one hour attempt*. Journal of Sports Science and Medicine, 95-102.
60. Pokan R, H.P., Lehmann M, et al., *Heart rate deflection related to lactate performance curve and plasma catecholamine response during incremental cycle ergometer exercise*. Eur J Appl Physiol, 1995. **70**: p. 175-9
61. Michálek, J., ed. *Sledování závislosti mezi srdeční frekvencí a rychlostí běhu při Conconiho testu a běhu na úrovni anaerobního prahu u běžců na střední a dlouhé tratě*. Nové poznatky v kinantropologickém výzkumu, ed. J. Pavlík. 1995, Paido: Brno.
62. Herren, D., Charrierre, I., Howald, H., *Conconi - Test und anaerobe Schwelle*. Leichtathletik, 1988. **39**(6): p. 184-186.
63. Kaldmäe, P., Suurog, L., *Some characteristic of Conconi test in children with small airway obstruction*. Papers on Anthropology, 2001. **10**: p. 108-116.
64. Rogers, K.L., Reybrouck, T., Weymans, M., et al., *The relationship between heart rate deflection and ventilatory threshold in children following heart surgery*. . Pediatr Exerc Sci 1995. **7**: p. 263-9.
65. Lepretre, P.M., Foster, C.,Koralsztejn, J.P., Billat, V.L., *Heart rate deflection point as a strategy to defend stroke volume during incremental exercise*. J Appl Physiol, 2005. **98**: p. 1660-1665.
66. Lucía, A., Carvajal, A., Boraita, A., Serratosa, L., Hoyos, J., Chicharro, J.L., *Haert rate dimension may influence the occurrence of the heart rate deflection point in highly trained cyclist*. Br J Sports Med, 1999. **33**: p. 387-92.
67. Lucia, A., Hoyos, J., Santalla, A., Perez, M., Carvajal, A., Chicharro, J.L., *Lactic acidosis, potassium, and the heart rate deflection point in professional road cyclists*. Br J Sports Med, 2002. **36**(2): p. 113-7.
68. Lucía, A., Carvajal, A., Perez, M., Boraita, A., Chicharro, T., *Herat rate response during incremental exercise in master runners*. Japanese Journal of Physiology, 2000. **50**(1): p. 155-158.
69. Maffulli, N., Sjodin, B., Ekblom, B., *A laboratory method for non invasive anaerobic threshold determination*. J Sports Med, 1998. **27**: p. 419-23.
70. Stathus, G., Sucec, A., *The reliability of the heart rate deflection point (HRDP) and running speed at the HRDP in male distance runners* J Appl Physiol, 1998. **52**: p. 869-73.
71. Bunc, V., Šprynarová, Š., Heller, J., Zdanowicz, R., *Možnosti využití anaerobního prahu ve fyziologii práce. II. Metody stanovení anaerobního prahu*. Pracov. Lék., 1984. **36**(4).

72. Ballarin, E., Sudhues, U., Borsetto, C., et al., *Reproducibility of the Conconi test: test repeatability and observer variations*. Int J Sports Med, 1996. **17**: p. 520-7.
73. Foster, C., Spatz, P., Georgakopoulos, N., *Left ventricular function in relation to the heart rate performance curve*. Clin Exerc Physiol, 1999. **1**: p. 29-32.
74. Tulppo, M.P., Makikallio, T.H., Seppanen, T., et al., *Vagal modulation of heart rate during exercise: effects of age and physical fitness*. Am J Physiol, 1998. **274** ((2 Pt 2)): p. H424-9.
75. Hofmann, P., Seibert, F.-J., Pokan, R., et al., *Relationship between blood pH, potassium and the heart rate performance curve [abstract]*. Med Sci Sports Exerc, 1999. **31**(Suppl.): p. 628.
76. Leger, L.A. and J. Lambert, *A maximal multistage 20-m shuttle run test to predict VO₂ max*. Eur J Appl Physiol Occup Physiol, 1982. **49**(1): p. 1-12.
77. Měkota, K., Kovář, R., et al., *Unifittest (6-60). Manuál pro hodnocení základní motorické výkonnosti a vybraných charakteristik tělesné stavby mládeže a dospělých v České republice*. Vol. 1. 1996, Praha: Pedagogická fakulta Ostravské Univerzity.
78. Měkota, K., et al., *Unifittest (6-60) Příručka pro manuální a počítačové hodnocení základní motorické výkonnosti a vybraných charakteristik tělesné stavby mládeže a dospělých v České republice*, ed. J. Chytráčková. 2002, Praha: UK FTVS. 65.
79. Rechichi, C., B. Dawson, and S.R. Lawrence, *A multistage shuttle swim test to assess aerobic fitness in competitive water polo players*. Journal of Sports Science and Medicine, 2000. **3**(1): p. 55-64.
80. Leone, M., et al., *An on-ice aerobic maximal multistage shuttle skate test for elite adolescent hockey players*. Int J Sports Med, 2007. **28**(10).
81. Revill, S.M., et al., *The endurance shuttle walk: a new field test for the assessment of endurance capacity in chronic obstructive pulmonary disease*. Thorax, 1999. **54**: p. 213-222.
82. Vanderthommen, M., et al., *A multistage field test of wheelchair users for evaluation of rfitness and prediction of peak oxygen consumption*. Journal of Rehabilitation Research and Development, 2002. **39**(6): p. 685-692.
83. Léger, L.A., et al., *The multistage 20 metre shuttle run test for aerobic fitness*. J Sport Sci., 1988. **6**(2): p. 93-101.
84. Léger, L. and C. Gadoury, *Validity of the 20 m shuttle run test with 1 min stages to predict VO₂max in adults*. Can J Sport Sci, 1989. **14**(1): p. 21-6.
85. Paliczka, V.J., A.K. Nichols, and C.A. Boreham, *A muti-stage shuttle run as a predictor of running performance and maximal oxygen uptake in adults*. Br J Sports Med, 1987. **21**: p. 163-165.
86. Ramsbottom, R., J. Brewer, and C. Williams, *A progressive shuttle run test to estimate maximal oxygen uptake*. Br J Sports Med, 1988. **22**: p. 141-144.
87. Liu, N.Y., S.A. Plowman, and M.A. Looney, *The reliability and validity of the 20-meter shuttle test in American students 12 to 15 years old*. Res Q Exerc Sport, 1992. **63**(4): p. 360-5.
88. Sproule, J., et al., *Validity of 20-MST for predicting VO₂max of adult Singaporean athletes*. Br J Sports Med, 1993. **27**(3): p. 202-204.
89. Grant, S., et al., *A comparison of methods of predicting maximum oxygen uptake*. . Br J Sports Med, 1995. **29**: p. 147-152.

90. Stickland, M.K., S.R. Petersen, and M. Bouffard, *Prediction of maximal aerobic power from the 20 m multi stage run test*. Appl. Physiol. Nutr. Metab., 2003. **28**(2): p. 272-282.
91. Flouris, A.D., G.S. Metsios, and Y. Koutedakis, *Enhancing the efficacy of the 20 m multistage shuttle run test*. Br J Sports Med, 2005. **39**: p. 166-170.
92. Cooper, S.M., et al., *The repeatability and criterion related validity of the 20 m multistage fitness test as a predictor of maximal oxygen uptake in active young men*. Br J Sports Med, 2005. **39**(4): p. 19.
93. Stojanović, M.D., et al., *Is the maximal oxygen consumption single best predictor of shuttle-run test?* Serb Sports Sci, 2007. **1**(2): p. 67-73.
94. Chatterjee, P., et al., *Validity of 20 metre multi shuttle run test for prediction of maximum oxygen uptake in Indian female university students*. Kathmandu University Medica Journal, 2008. **6**(2): p. 176-180.
95. Davies, R.C., A.V. Rowlands, and R.G. Eston, *The prediction of maximal oxygen uptake from submaximal ratings of perceived exertion elicited during the multistage fitness test*. Br J Sports Med, 2008. **42**: p. 1006-1010.
96. Hendl, J., *Přehled statistických metod zpracování dat*. 2004, Praha: Portál. 583.
97. Heller, J., *Funkční zátěžová diagnostika a její aplikace ve sportu*. Lékařské listy, 1997. **40**: p. 10-12.

Vytrvalostní člunkový běh na 20 metrů – limity výpovědní hodnoty stávajících norem.

Úvod

Hodnocení základní motorické výkonnosti v prostředí školských zařízení je možné realizovat řadou motorických testů, přičemž preferovány jsou heterogenní baterie motorických testů. V rámci hodnocení výkonnosti v oblasti vytrvalostních schopností lze využít některý z ekvivalentních testů, které tyto baterie nabízí. Testová baterie Unifittest 6-60 nabízí tři ekvivalentní testy.

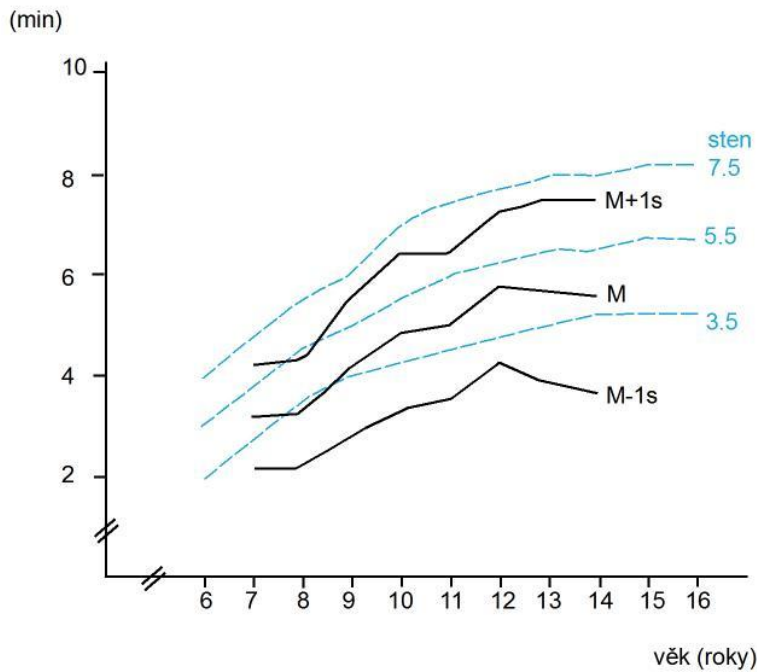
Význam testování vytrvalostních schopností spatřujeme zejména s ohledem na vazbu na problematiku zdravotně orientované zdatnosti, jehož je aerobní (kardiorespirační) determinanta základní komponentou [1, 2]. V rámci šetření v regionu Severočeského, respektive Ústeckého kraje byly v minulosti realizovány výzkumy [3-6], jejichž závěry ve shodě konstatovaly, že základní motorická výkonnost dětí Severočeského regionu je srovnatelná s populací České republiky kromě vytrvalostních schopností diagnostikovanými testem „Vytrvalostní člunkový běh na 20m (VCB₂₀)“ [4]. Příčiny tohoto jevu někteří autoři přisuzují nízkému objemu pohybových aktivit, menší motivaci a hypoteticky dlouhodobému pobytu v okresech se zhoršenou kvalitou ovzduší [3].

Záměrem naší studie je prostřednictvím testu VCB₂₀ stanovit úroveň vytrvalostních schopností žáků ve věku 6 – 15 let v Ústeckém kraji a s ohledem na předchozí a obdobná testování se vyslovit k vhodnosti stávajících norem tohoto testu pro populaci České mládeže publikovaných v rámci testové baterie Unifittest 6-60 [7].

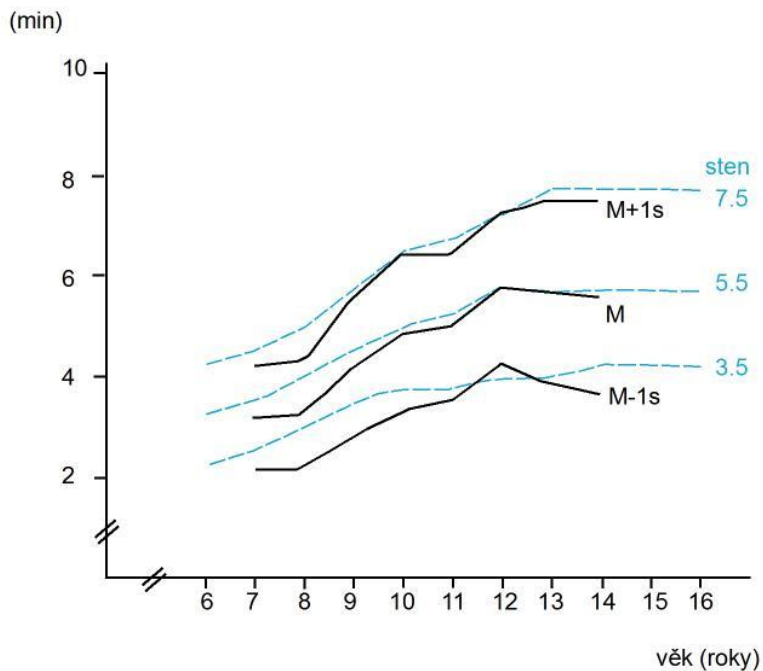
Teoretická východiska:

V rámci ověření praktické využitelnosti testové baterie Unifittest provedl Gajda (1992) testování 987 chlapců a 1004 dívek ve věku 7-14 let v Ostravském regionu. Výsledky této studie byly využity pro úpravu norem testu VCB₂₀. Původní normy se ukázaly jako příliš „přísné“.

Obr. 1. Grafické srovnání normových skóre a skóre naměřených v rámci ověřovací studie testu VCB₂₀ - dívky. Originální normy se jeví jako příliš „přísné“. Převzato [8]



Obr. 2. Grafické srovnání upravených normových skóre a skóre naměřených v rámci ověřovací studie testu VCB₂₀ - dívky. Nové, upravené normy lépe korespondují s empirickými daty. Převzato [8]



Cíl:

Cílem našeho šetření bylo přispět k řešení problematiky úrovně vytrvalostních schopností ve vybraných okresech Ústeckého kraje a ke zpřesnění normových skóre pro populaci školní mládeže ve věku 6-15 let v testu Vytrvalostní člunkový běh na 20 m.

Úkoly:

- 1 Diagnostikovat u vybraných probandů úroveň vytrvalostních schopností prostřednictvím testu VCB₂₀
- 2 Naměřená data porovnat s celostátními normami publikovanými v rámci baterie Unifittest 6-60 a s obdobnými výzkumy v této oblasti.
- 3 Jednorázové průřezové testování aerobní výkonnosti selektované populace a srovnání s normami
- 4 Potvrdit, popřípadě korigovat vhodnost současných norem.
- 5 V rámci diskuse zhodnotit hypotetický vztah výkonnosti k zvýšené imisní zátěži zkoumaného regionu.

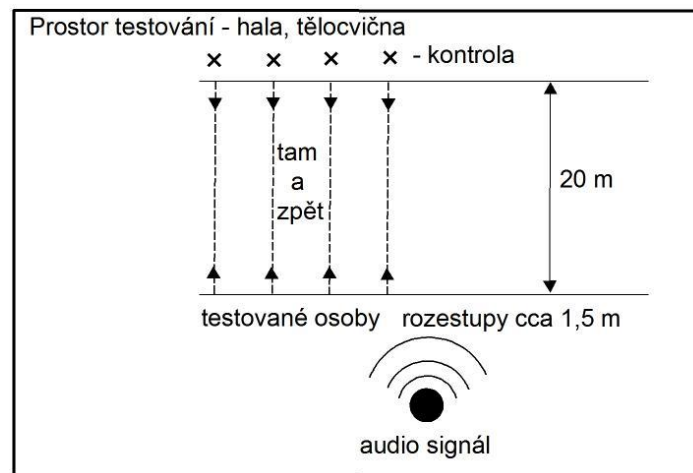
Metodika:

Diagnostika motorické výkonnosti - vytrvalostních schopností

Pro testování byl využit test VCB₂₀ [7, 9]. V souladu se standardizací a prováděcími pokyny testu bylo testování realizováno v krytých tělocvičnách a sportovních halách příslušných škol. Před samotným testem byl vysvětlen průběh a hodnocení, jednak prostřednictvím audio záznamu a poté i praktickou ukázkou. Vysvětleny byly problémové situace – způsob otáček, rychlost běhu v počátku testu i způsob ukončení testu. Byly zodpovězeny individuální dotazy. Následovalo řízené rozcvičení, v rámci kterého probandé absolvovali také úvodní první minutu testu, ve které si vyzkoušeli optimální tempo a seznámili se řídícími signály. Probandé byli poté rozděleni na dvě nebo tři skupiny (s ohledem na počet testovaných a velikost prostor testování). Jedna skupina absolvovala test, druhá se organizačně podílela na zajištění testu - kontrola korektních došlapů na vymezené linie. Testování probíhalo za účasti vyučujícího TV a členů výzkumného týmu. V závěrečných úsecích testů byli probandé slovně povzbuzováni a motivováni s ohledem na maximální možný podaný výkon. Počet fází byl

bezprostředně po ukončení testu jednotlivými probandy zapsán za spoluúčasti učitele TV do připravených seznamů.

Obr 3. Prostorové uspořádání a organizace testování dle [7].



Charakteristika základního souboru a reprezentativních výběrových souborů

Základní soubor tvořili žáci prvních a druhých stupňů základních škol a prvních čtyř ročníků osmiletých gymnázií v Ústeckém kraji. Věk probandů byl v rozmezí 6 – 15 let. Byly zvoleny jednoleté věkové skupiny v souvislosti s úkolem práce srovnat naměřená data s populačními normami testové baterie Unifittest 6-60.

Ze základního souboru jsme metodou dvoustupňového výběru na základě dostupnosti vybrali reprezentativní výběrové soubory. Oporou tohoto výběru byla statistická data poskytnutá krajským školským úřadem v Ústí nad Labem. Procentuální zastoupení kategorií školských zařízení (základní školy městské a venkovské a osmiletá gymnázia) bylo reflektováno při výběru zkoumaných škol. Do výběru nebyli zařazeni žáci ze sportovních tříd a žáci zdravotně oslabení. Celkem bylo testováno 2702 dětí, 1463 chlapců a 1239 dívek. Testování proběhlo v letech 2010 a 2011.

Výzkum byl realizován v okresech Ústeckého kraje.

Kritéria pro výběr základního souboru a výběrového souboru byla následující.

- 1 V návaznosti na předchozí výzkumy [3, 6] realizovat výzkum v pánevních okresech severočeského regionu

- 2 Metodou dvoustupňového pravděpodobnostního výběru na základě dostupnosti vybrat reprezentativní výběrové soubory.
- 3 Zahrnout do výzkumu probandy ve věku 6 -15 let s ohledem na možnost stanovení příslušných norem

V rámci druhé části výzkumu, ve které byly pomocí testu VCB₂₀ testování členové selektovaných populací, tvořili základní soubor:

- a) studenti prvních ročníků oborů s tělesnou výchovou studující na PF UJEP v Ústí nad Labem v letech 2010 a 2011. N = 183 (120 mužů, 63 žen), prům. věk 20,615 r., SD 1,583.
- b) žáci sportovních tříd ŽS v Ústí nad Labem se zaměřením na atletiku a hokej. Tyto sportovní třídy mají rozšířenou dotaci na 5 hodin TV týdně. Bylo testováno celkem 119 dětí, ve věkové kategorii 11-13 let (N= 62) a 13- 15 let (N=57).

Statistické metody

U výběrových souborů byly zaznamenány anamnestické údaje a naměřená data byla popsána základními statistickými parametry polohy a variability.

Pro matematicko – statistické zpracování naměřených dat byl využit v programu STATSTICA ver. 9 (StatSoft Inc.) Chronologický věk testovaných osob byl stanoven pomocí předprogramovaných maker programu Microsoft Excel 2010.

Výsledky

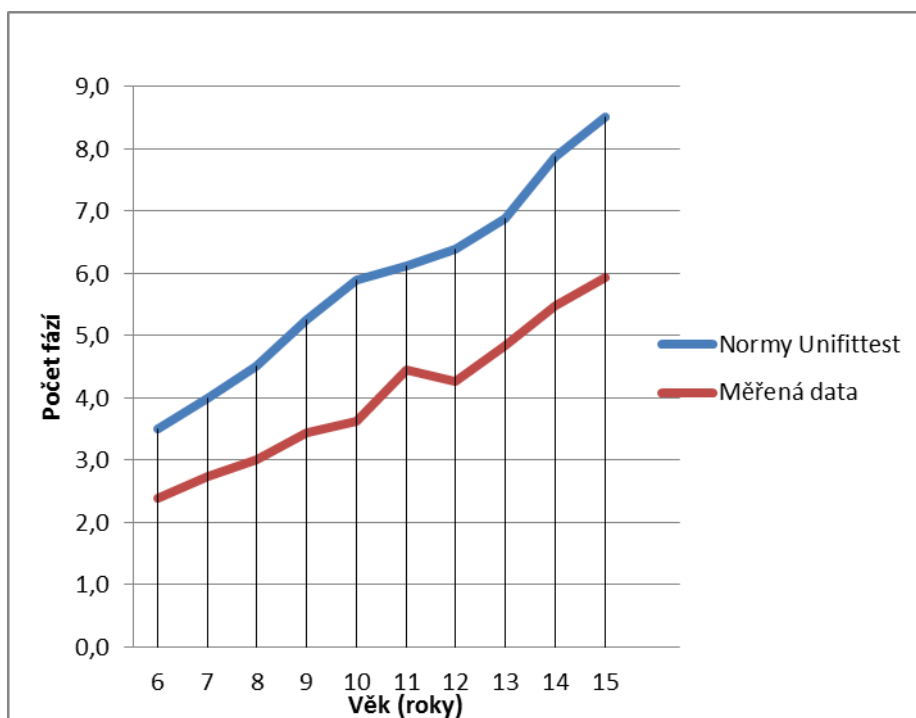
Ad úkol 1.

Tab. 1. Průměrné dosažené hodnoty (počet fází) testu VCB₂₀.

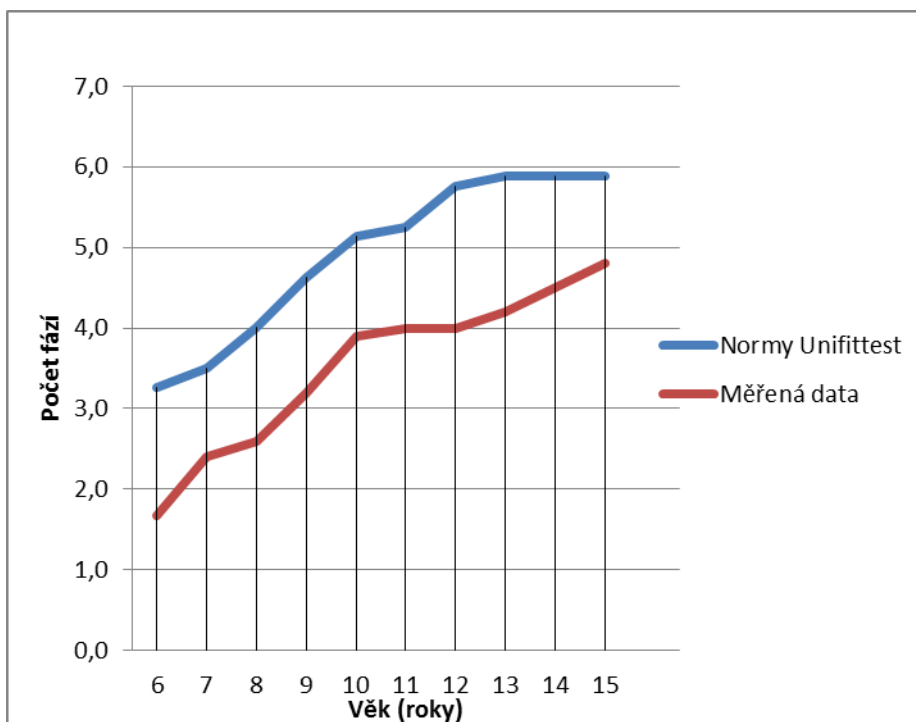
	Chlapci			Dívky		
	n	\bar{x}	SD	n	\bar{x}	SD
6,00-6,99	78	2,4	0,79	59	1,7	1,29
7,00-7,99	152	2,8	1,16	141	2,4	1,12
8,00-8,99	163	3,0	1,28	153	2,6	1,33
9,00-9,99	171	3,5	1,14	159	3,2	0,99
10,00-10,99	131	3,6	1,95	122	3,9	1,45
11,00-11,99	174	4,5	1,10	152	4	1,55
12,00-12,99	182	4,3	2,14	160	4	1,66
13,00-13,99	173	4,9	1,03	131	4,2	1,8
14,00-14,99	131	5,9	0,75	101	4,5	1,43
15,00-15,99	108	7,1	1,25	61	4,6	1,37

Ad 2.

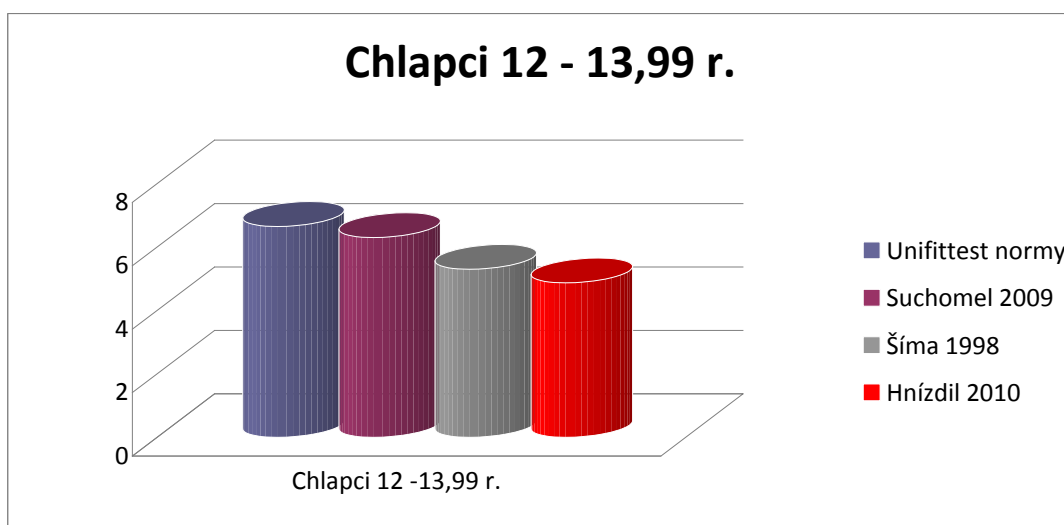
Obr. 4. Srovnání průměrných hodnot norem testu VCB₂₀ (Unifittest) a naměřených průměrných hodnot VCB₂₀ dle věkových kategorií- chlapci (tabelární data viz tab. 1).



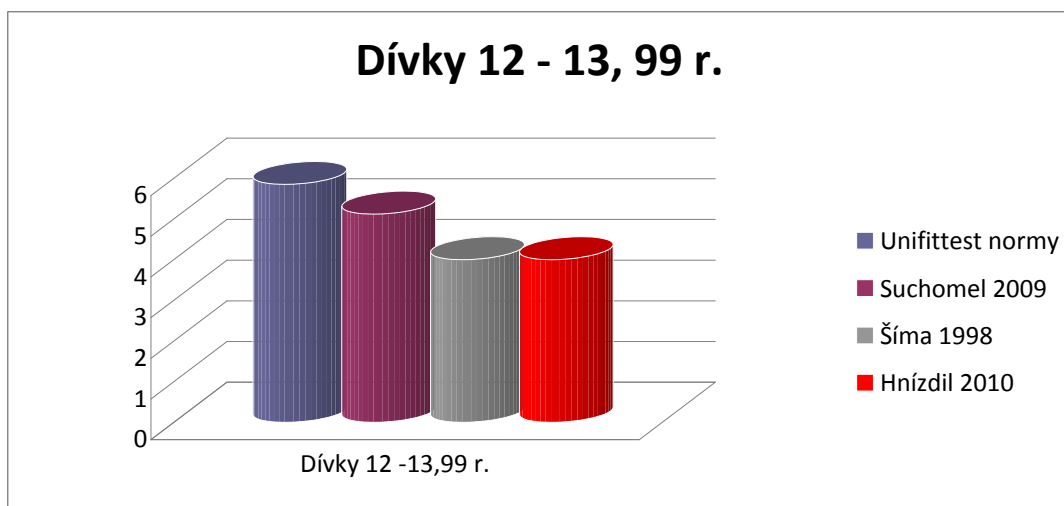
Obr. 5. Srovnání průměrných hodnot norem testu VCB₂₀ (Unifittest) a naměřených průměrných hodnot VCB₂₀ dle věkové kategorií-dívky (tabelární data viz tab. 1).



Obr. 6. Srovnání průměrných hodnot norem testu VCB₂₀ (Unifittest) a průměrných hodnot VCB₂₀ z dalších výzkumů – chlapci 12 – 13,99 r.



Obr. 7. Srovnání průměrných hodnot norem testu VCB₂₀ (Unifittest) a průměrných hodnot VCB₂₀ z dalších výzkumů - dívky 12 – 13,99 r.



Ad 3

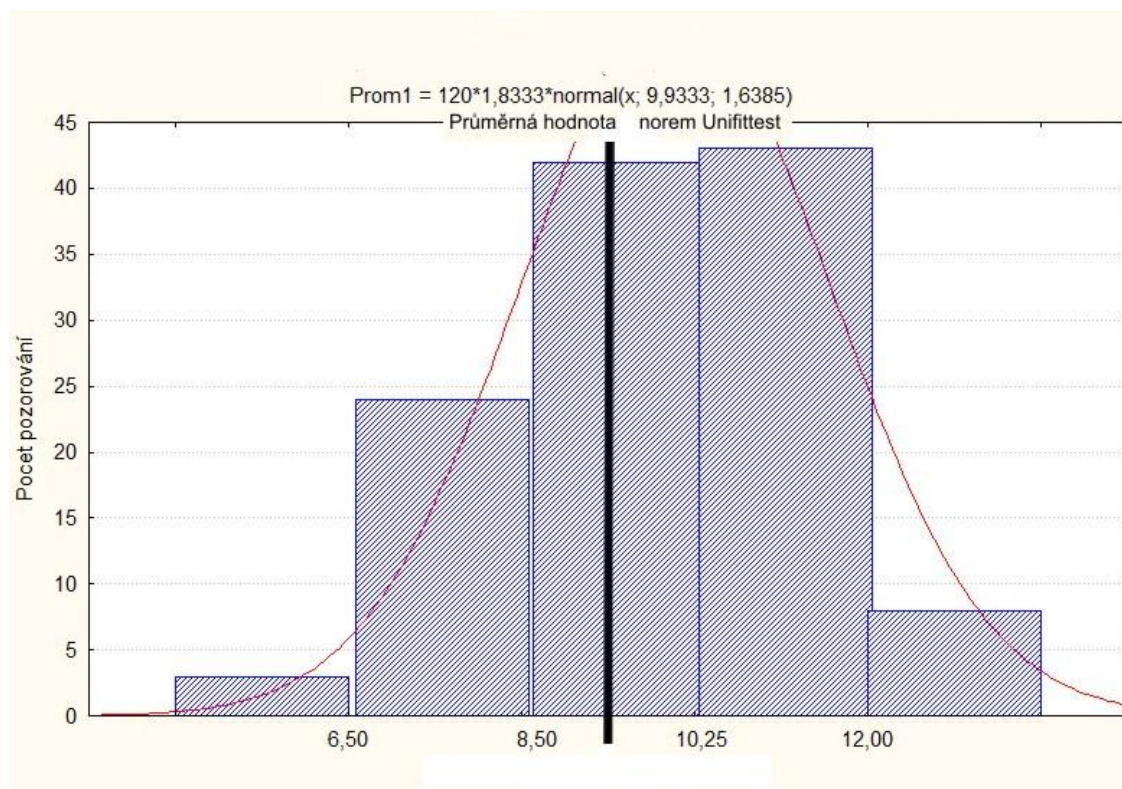
**Tab. 2. – statistické charakteristiky a četnost v pětibodové normě v % (Unifittest).
Studenti 1. ročníku (2010 a 2011) PF UJEP, obory s TV.**

Pohlaví	n	\bar{x}	SD	1	2	3	4	5
Chlapci	120	9,93	1,63	2,50	20,00	35,00	35,83	6,67
Dívky	64	5,96	1,29	6,25	20,31	46,88	23,44	3,13

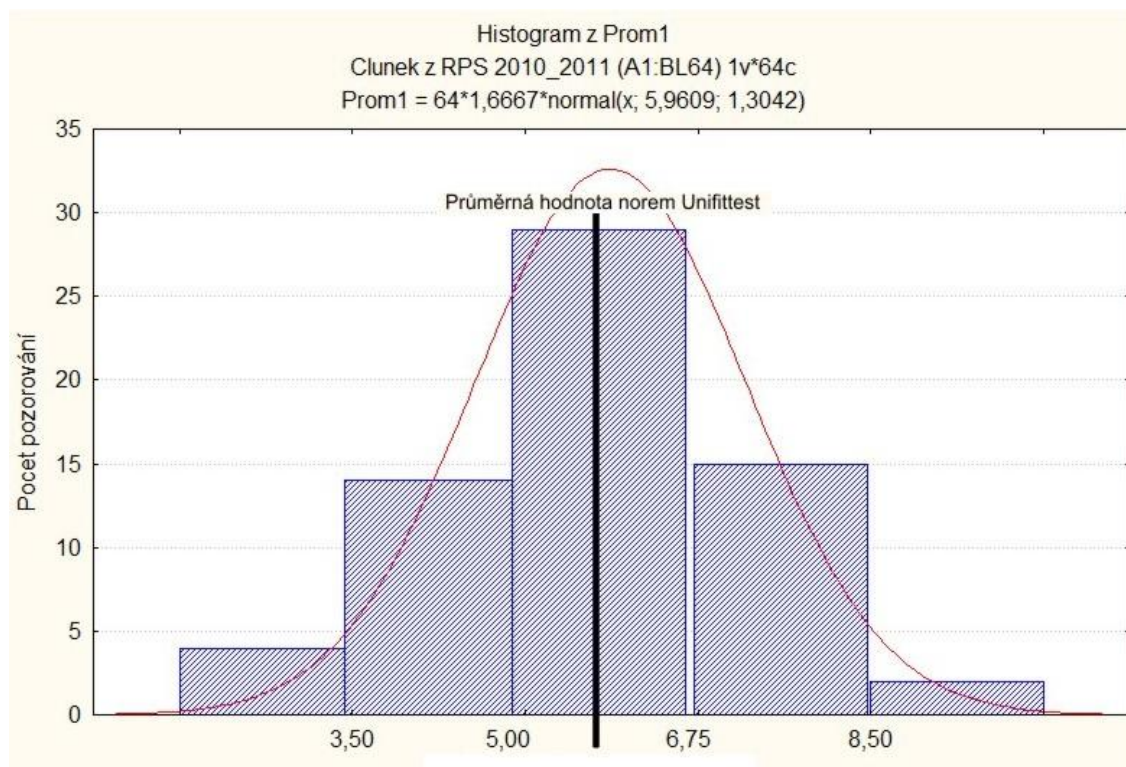
1... výrazně podprůměrný

5... výrazně nadprůměrný

**Obr. 8. VCB₂₀ – četnost v pětibodové normě v % (Unifittest). Studenti 1. ročníku PF UJEP,
obory s TV – muži.**



Obr. 9. VCB₂₀ – četnost v pětibodové normě v % (Unifittest). Studenti 1. ročníku PF UJEP, obory s TV – ženy.



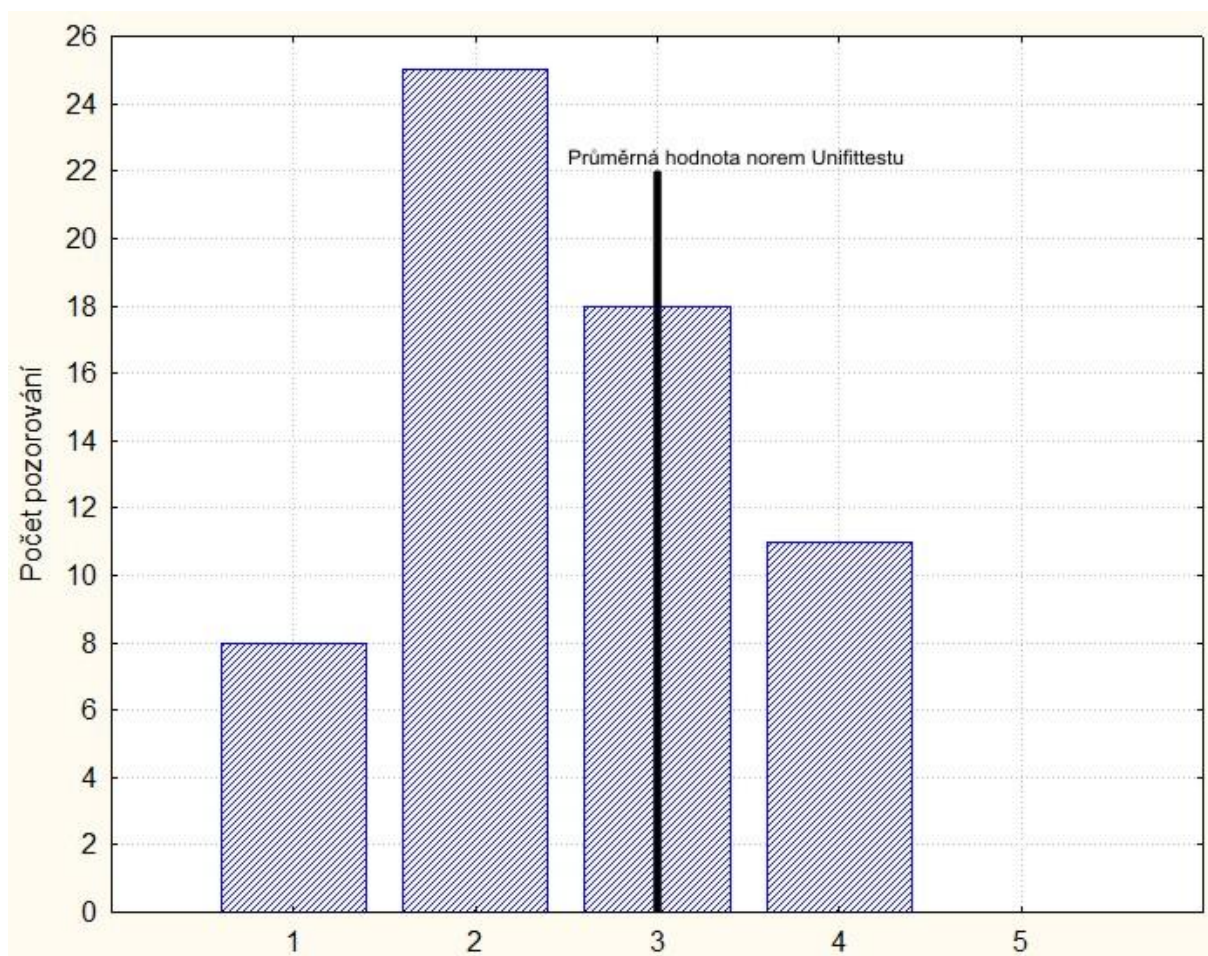
Tab. 3. VCB₂₀ – statistické charakteristiky a četnost v pětibodové normě v % (Unifittest). Žáci sportovních tříd ZŠ (atletika, hokej) v Ústí nad Labem.

Věk	n	\bar{x}	SD	1	2	3	4	5
11,00 - 13,99	62	5,80	1,45	12,90	40,32	29,03	17,74	0,00
13,00 - 15,99	57	8,05	2,00	10,53	19,30	28,07	35,09	7,02

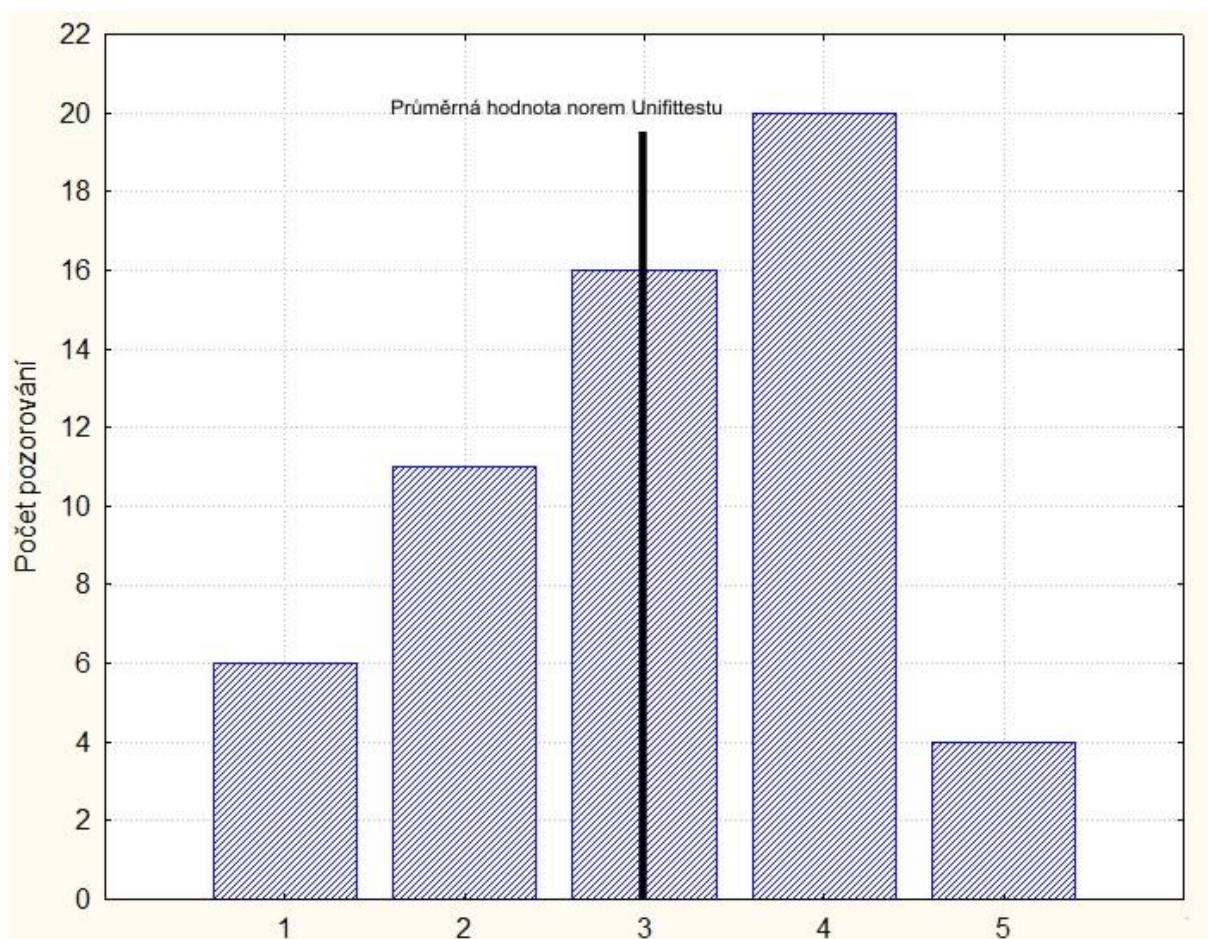
1... výrazně podprůměrný

5... výrazně nadprůměrný

Obr. 10. VCB₂₀ – absolutní četnost v pětibodové normě (Unifittest). Žáci sportovních tříd ZŠ (atletika, hokej) v Ústí nad Labem. Věk 11,00 – 13,99 r. n=62

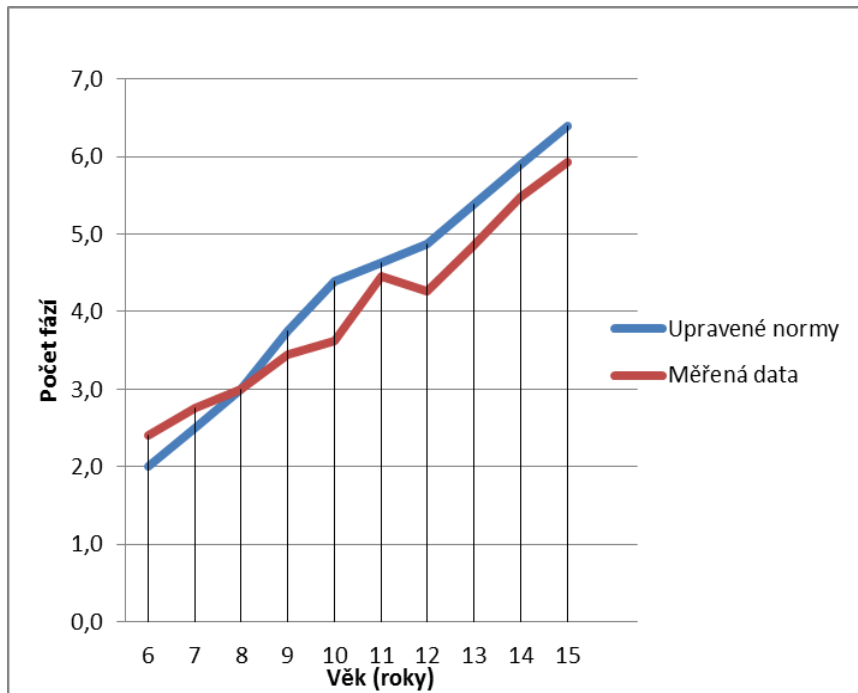


Obr. 11. VCB₂₀ – absolutní četnost v pětibodové normě (Unifittest). Žáci sportovních tříd ZŠ (atletika, hokej) v Ústí nad Labem. Věk 14,00 - 15,99 r. n=57

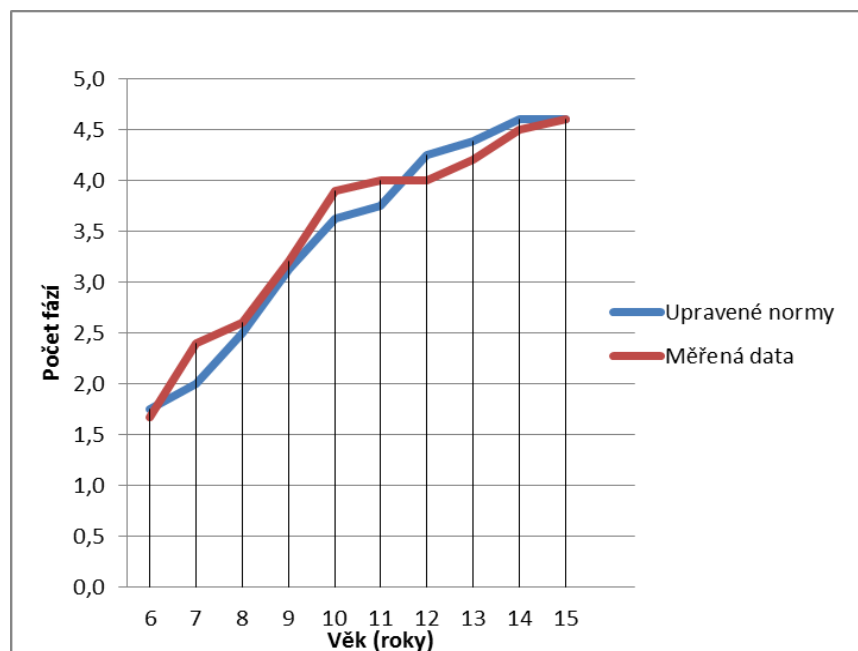


Ad. úkol 4

Obr. 12. Grafické srovnání průměrných hodnot upravených normových skóre (modrá) a skóre naměřených v rámci výzkumu (červená). Chlapci.



Obr. 13. Grafické srovnání průměrných hodnot upravených normových skóre (modrá) a skóre naměřených v rámci výzkumu červená. Dívky.

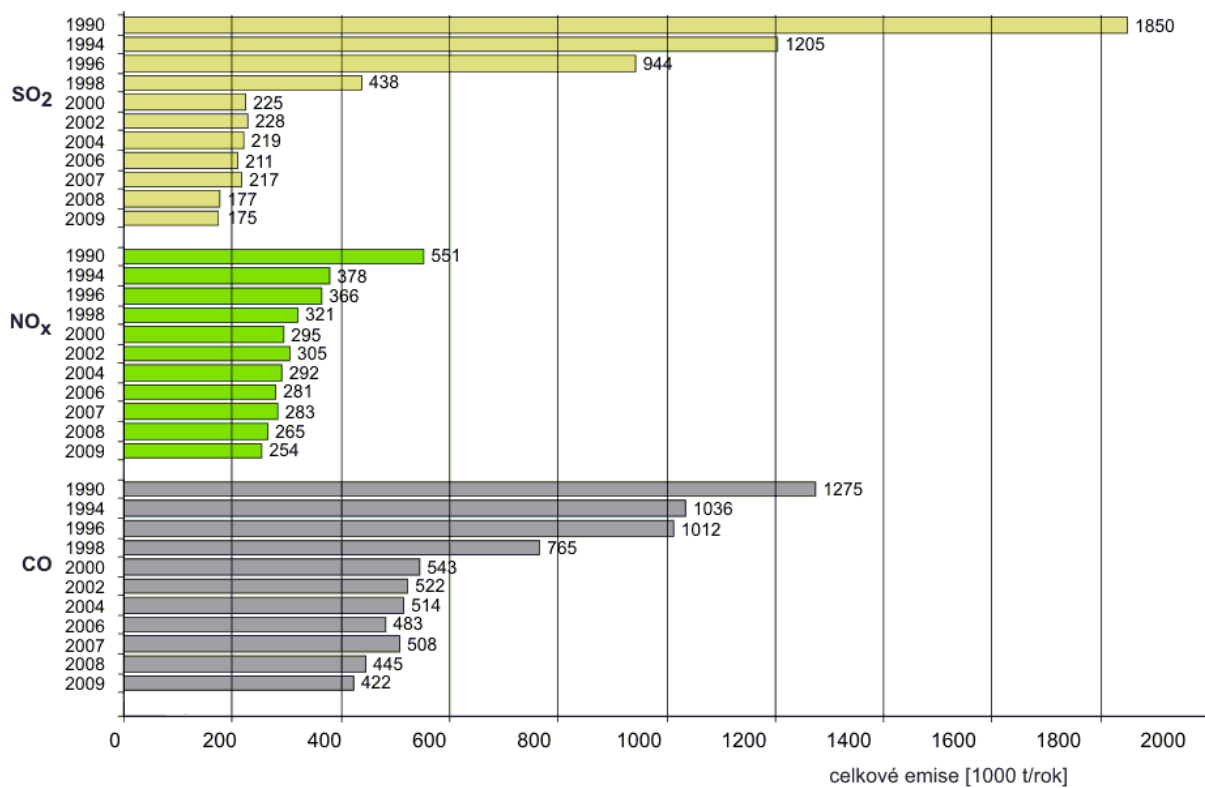


Korigované normy vycházejí z původních, jsou v obou kategoriích a příslušných věkových intervalech sníženy v průměru o hodnotu 1,5 fáze. V tabelární hodnotě jsou součástí přílohy I.

Ad. úkol 5

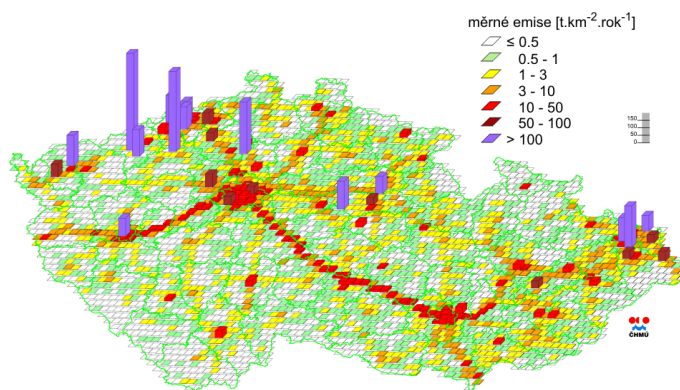
Obr. 14. Celkové emise základních znečišťujících látek v České republice v letech 1990-2009

Zdroj <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/groc/gr09cz/kap11.html>



Obr. 15. Emise oxidů dusíku u v ČR (r. 2008)

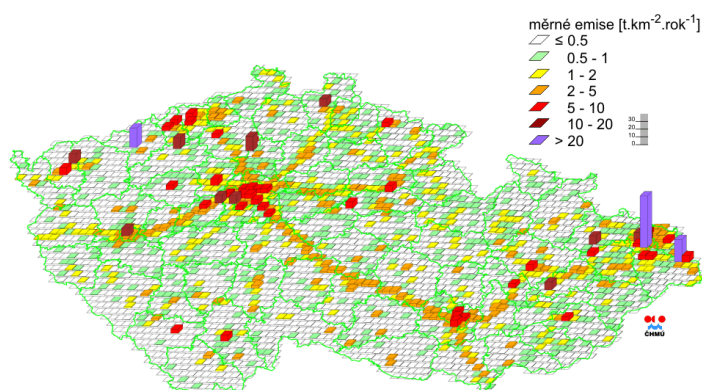
Zdroj <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/groc/gr09cz/kap11.html>



Emisní hustoty oxidů dusíku ze čtverců 5x5 km, 2008

Obr. 16. Emise tuhých látek u v ČR (r. 2008)

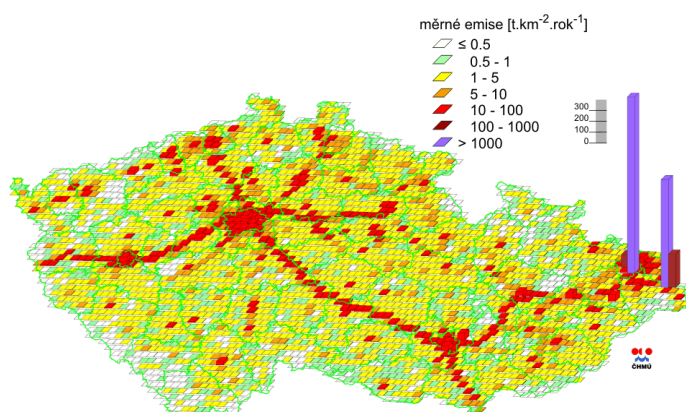
Zdroj <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/groc/gr09cz/kap11.html>



Emisní hustoty tuhých látek ze čtverců 5x5 km, 2008

Obr. 17. Emise oxidu uhelnatého u v ČR (r. 2008)

Zdroj <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/groc/gr09cz/kap11.html>



Emisní hustoty oxidu uhelnatého ze čtverců 5x5 km, 2008

Diskuse

Věcně významné rozdíly oproti normám byly nalezeny ve všech věkových kategoriích. Tého ujištění je v souladu s obdobnými pracemi realizovanými v minulosti. Šíma a Havel 1999 [3, 6] Gajda – Ostrava 2000 [10] a Suchomel – Liberec 2009 [4]. Suchomel zaznamenal výraznější rozdíly oproti normám u kategorií dívek, my naopak u chlapců.

Havel hypotetizuje že jednou z příčin je imisní zátěž a tím i zhoršená hygienická úroveň pánevních okresů severočeského regionu. Tého zátěži byla tato oblast vystavována v minulosti pravidelně, v současnosti epizodicky. Obdobná situace co se týče překračování

hygienických limitů, zejména v zimních měsících s inverzním rázem počasí, je charakteristická pro ostravský region. Rozdíl mezi regiony je v typu polutantů znečišťujících ovzduší.

Přestože v průběhu dekády od uvedených výzkumů došlo jak v rámci ČR (obr 14), tak v rámci Severočeského regionu k poklesu imisní zátěže, zůstávají jak Ústecký, tak Ostravský kraj územími s vyšší ekologickou zátěží ve sledovaných polutantech (obr 15-17) oproti jiným regionům

Proti hypotéze o zásadním vlivu zhoršené imisní situace v Severočeském regionu na výkonnost ve vytrvalostním testu hovoří také fakt, že korekce norem Unifittestu (viz obr. 1 a 2) byl provedena na základě evaluačního šetření Gajdy [11], které bylo též realizováno v regionu s výraznou imisní zátěží. Přesto jsou výsledky dětí ze severních Čech ze starších (Havel)[3] a nových (Suchomel)[4] šetření hluboko pod normami Unifittestu.

Cenné se v této souvislosti jeví šetření Suchomela [4] z Libereckého regionu. Tento není ve srovnání a krajem Ústeckému a Ostravskému zasažen zvýšenou ekologickou zátěží. Přesto i v tomto regionu byly naměřeny nižší výkony v testu VCB₂₀ oproti normám Unifittestu. Relativně široké věkové rozpětí zkoumané populace, které ve své práci zvolil Suchomel [4] (12-13,99 r.) neumožňuje detailnější porovnání populací z obou regionů. Hrubé souhrnné srovnání v celé šíři tohoto intervalu je tak prezentováno jako podklad pro orientační porovnání obou souborů (grafy na obrázcích 6. a 7.)

Všechny výsledky dosavadních šetření (Šíma 1998 [6] , Havel 1999 [3], Gajda 1999 [10], Suchomel 2009 [4]) včetně našeho šetření v souhlasu ukazují na podprůměrné výsledky ve všech kategoriích oproti normám Unifittestu. Tato zjištění se týkají pouze oblastí vytrvalostních schopností testovanými prostřednictvím testu VCB₂₀. V ostatních motorických schopnostech byla autory potvrzena vhodnost stávajících norem.

Faktorů, které tento stav ovlivňuje, je pravděpodobně celá řada. V úvahu je nutné vzít otázku sekulárního trendu v oblasti vytrvalostních schopností. V řadě studií byl prokázán i snižující se objem pohybových aktivit, což se v konečném důsledku může na celkovou úroveň vytrvalostních schopností projevit. Vytrvalostní testy jsou také zatíženy určitou chybovostí vázanou na motivaci probandů, což je při hodnocení rovněž nutné vzít v úvahu. Otázkou může být i vhodnost zvoleného testu, některé naše dílčí výzkumy poukazují na problematickou stabilitu použitého testu.

„Přísnost“ stávajících norem je patrná i z části našeho šetření, ve kterém VCB₂₀ absolvovali probandé ze selektované populace. Jednak studenti prvního ročníku s obory tělesná výchovy

KTV PF UJEP v Ústí nad Labem, jednak žáci sportovních tříd s rozšířenou dotací hodin TV a specializací na atletiku a hokej. Empirický model stávajících norem je optimální z hlediska rozložení četností pro hodnocení právě takovýchto selektovaných populací, tedy se zvýšenou úrovní motorických schopností oproti běžné populaci.

Podle našeho názoru je však potřebné stávající normy revidovat. Pro případnou korekci těchto norem je však nutné provést další šetření v dalších oblastech České republiky.

V návaznosti na naše šetření předkládáme návrh korigovaných norem, přičemž jsme si vědomi, že vzhledem k designu studie mají omezenou platnost. Lze je však jistě v rámci hodnocení vytrvalostních schopností u obecné populace v Ústeckém kraji.

Seznam literatury:

1. Kovář, R., *Tělesná aktivita, tělesná zdatnost a zdraví*. Česká kinantropologie, 2001. 1: p. 49-57.
2. Dobrý, L., *Zdravotně orientovaná zdatnost*. Těl. Vých. Sport Mlád., 1993. 4: p. 1-11.
3. Havel, Z., *Výkonnost dětí ve věku 11 - 15 let v pánevních okresech severočeského regionu*, in *Teorie a praxe v tělesné výchově a sportu*, L. Pyšný and M. Vavrušková, Editors. 1999, UJEP: Ústí nad Labem. p. 30-35.
4. Suchomel, A. and J. Kříž, *Úroveň motorické výkonnosti dětí školního věku v Libereckém regionu*. Exercitatio Corpolis - Motus - Salus, 2009. 1(1): p. 94-101.
5. Šíma, J. et. al., *Srovnání výkonnosti a intenzity pohybové činnosti dětí ve věku 11 - 15 let v severočeském regionu*, in *Kinanthropologické dny MUDr. V. Soula: Optimální působení tělesné zátěže* M. Prokeš, Editor. 2000, Gaudeamus při VŠP: Hradec Králové. p. 97-101.
6. Šíma, J., Z. Havel, and V. Horkel, *Tělesná výchova jako významný prostředek ovlivňování způsobu života dětí druhého stupně základní školy v severočeském regionu. Závěrečná zpráva výzkumného úkolu MŠMT ČR RS 97178*, P. UJEP, Editor. 1998: Ústí nad Labem.
7. Měkota, K., Kovář, R., et al., *Unifittest (6-60). Manuál pro hodnocení základní motorické výkonnosti a vybraných charakteristik tělesné stavby mládeže a dospělých v České republice*. Vol. 1. 1996, Praha: Pedagogická fakulta Ostravské Univerzity.
8. Měkota, K. and R. Kovář, *Unifittest (6-60). Tests and Norms of Motor Performance and Physical Fitness in Youth and in Adult Age*. Acta Universitatis Palackianae Olomouensis 1995. Supplementum I: p. 89.
9. Leger, L.A. and J. Lambert. *A maximal multistage 20-m shuttle run test to predict VO2 max*. Eur J Appl Physiol Occup Physiol, 1982. 49(1): p. 1-12.
10. Gajda, V. and K. Měkota. *Stav základní motorické výkonnosti mládeže mladšího školního věku v ostravském regionu*. In Turek M. (ed.) *Motorika dětí předškolního a mladšího školského věku*. 1999. Prešov: Východoslovenská pobočka Slovenskej vedeckej spoločnosti pre telesnú výchovu a šport.

11. Gajda, V., *The applications of the UNIFITTEST battery at basic schools (age groups 7-14)*. 1994, PdF OU: Ostrava.

Příloha I. Normy vytrvalostního člunkového běhu na 20m. Dívky

Dívky 6 r.	Vytrv.čl. běh (min)
Výrazně podprůměrný	-0.25
Podprůměrný	0.26-1.25
Průměrný	1.26-2.25
Nadprůměrný	2.26-3.25
Výrazně nadprůměrný	3.26-

Dívky 7 r.	Vytrv.čl. běh (min)
Výrazně podprůměrný	-0.50
Podprůměrný	0.51-1.50
Průměrný	1.51-2.50
Nadprůměrný	2.51-3.50
Výrazně nadprůměrný	3.51-

Dívky 8 r.	Vytrv.čl. běh (min)
Výrazně podprůměrný	-1.00
Podprůměrný	1.01-2.00
Průměrný	2.01-3.00
Nadprůměrný	3.01-4.00
Výrazně nadprůměrný	4.1-

Dívky 9 r.	Vytrv.čl. běh (min)
Výrazně podprůměrný	-1.25
Podprůměrný	1.26-2.50
Průměrný	2.51-3.75
Nadprůměrný	3.76-5.00
Výrazně nadprůměrný	5.01-

Dívky 10 r.	Vytrv.čl. běh (min)
Výrazně podprůměrný	-1.50
Podprůměrný	1.51-3.00
Průměrný	3.01-4.25
Nadprůměrný	4.26-5.75
Výrazně nadprůměrný	5.76-

Dívky 11 r.	Vytrv.čl. běh (min)
Výrazně podprůměrný	-1.50
Podprůměrný	1.51-3.00
Průměrný	3.01-4.50
Nadprůměrný	4.51-6.00
Výrazně nadprůměrný	6.01-

Dívky 12 r.	Vytrv.čl. běh (min)
Výrazně podprůměrný	-1.75
Podprůměrný	1.76-3.50
Průměrný	3.51-5.00
Nadprůměrný	5.01-6.50
Výrazně nadprůměrný	6.51-

Dívky 13 r.	Vytrv.čl. běh (min)
Výrazně podprůměrný	-1.75
Podprůměrný	1.76-3.50
Průměrný	3.51-5.25
Nadprůměrný	5.26-7.00
Výrazně nadprůměrný	7.01-

Dívky 14 r.	Vytrv.čl. běh (min)
Výrazně podprůměrný	-2.00
Podprůměrný	2.01-3.75
Průměrný	3.76-5.50
Nadprůměrný	5.51-7.25
Výrazně nadprůměrný	7.26-

Dívky 15 r.	Vytrv.čl. běh (min)
Výrazně podprůměrný	-2.00
Podprůměrný	2.01-3.75
Průměrný	3.76-5.50
Nadprůměrný	5.51-7.25
Výrazně nadprůměrný	7.26-

Normy vytrvalostního člunkového běhu na 20m. **Chlapci**

Chlapci 6 r.	Vytrv.čl. běh (min)
Výrazně podprůměrný	-0.50
Podprůměrný	0.51-1.50
Průměrný	1.51-2.50
Nadprůměrný	2.51-3.50
Výrazně nadprůměrný	3.51-

Chlapci 7 r.	Vytrv.čl. běh (min)
Výrazně podprůměrný	-0.75
Podprůměrný	0.76-2.00
Průměrný	2.01-3.00
Nadprůměrný	3.01-4.25
Výrazně nadprůměrný	4.26-

Chlapci 8 r.	Vytrv.čl. běh (min)
Výrazně podprůměrný	-1.25
Podprůměrný	1.26-2.50
Průměrný	2.51-3.50
Nadprůměrný	3.51-4.75
Výrazně nadprůměrný	4.76-

Chlapci 9 r.	Vytrv.čl. běh (min)
Výrazně podprůměrný	-1.75
Podprůměrný	1.76-3.00
Průměrný	3.01-4.50
Nadprůměrný	4.51-6.00
Výrazně nadprůměrný	6.01-

Chlapci 10 r.	Vytrv.čl. běh (min)
Výrazně podprůměrný	-2.0
Podprůměrný	2.01-3.50
Průměrný	3.51-5.25
Nadprůměrný	5.26-6.75
Výrazně nadprůměrný	6.76

Chlapci 11 r.	Vytrv.čl. běh (min)
Výrazně podprůměrný	-2.0
Podprůměrný	2.01-3.75
Průměrný	3.76-5.50
Nadprůměrný	5.51-7.25
Výrazně nadprůměrný	7.26

Chlapci 12 r.	Vytrv.čl. běh (min)
Výrazně podprůměrný	-2.25
Podprůměrný	2.26-4.00
Průměrný	4.01-5.75
Nadprůměrný	5.76-7.50
Výrazně nadprůměrný	7.51-

Chlapci 13 r.	Vytrv.čl. běh (min)
Výrazně podprůměrný	-2.50
Podprůměrný	2.51-4.50
Průměrný	4.51-6.25
Nadprůměrný	6.26-8.00
Výrazně nadprůměrný	8.01-

Chlapci 14 r.	Vytrv.čl. běh (min)
Výrazně podprůměrný	-3.00
Podprůměrný	3.01-5.00
Průměrný	5.01-6.75
Nadprůměrný	6.76-8.50
Výrazně nadprůměrný	8.51-

Chlapci 15 r.	Vytrv.čl. běh (min)
Výrazně podprůměrný	-3.50
Podprůměrný	3.51-5.50
Průměrný	5.51-7.25
Nadprůměrný	7.26-9.00
Výrazně nadprůměrný	9.01-

Seznam zkratk:

ADP	adenosindifosfát
AMP	adenosinmonofosfát
ANP	anaerobní práh
ATP	adenosintrifosfát
BDSF	bod deflexe srdeční frekvence
CP	kreatinfosfát
LA	laktát, kyselina mléčná
LT	laktátový práh
MLSS	maximální setrvalý laktátový práh
P_i	fosfátový iont
SD	směrodatná odchylka
SF	srdeční frekvence
SFmax	maximální srdeční frekvence
SFklid	klidová srdeční frekvence
r_{stab}	korelační koeficient stability
TO	testovaná osoba
VCB ₂₀	vytrvalostní člunkový běh na 20 m.
VE	ventilace
VO	spotřeba kyslíku
VO ₂ max	maximální spotřeba kyslíku
VT	ventilační práh