

**MASARYKOVA UNIVERZITA
FAKULTA SPORTOVNÍCH STUDIÍ**

**VLIV VYTRVALOSTNÍHO TRÉNINKU NA RESPIRAČNÍ PARAMETRY
ADOLESCENTNÍCH BĚŽCŮ**

(habilitační práce)

Autor práce: PhDr. Petr Bahenský, Ph.D.

Brno, 2023

Jméno a příjmení autora: PhDr. Petr Bahenský, Ph.D.

Název habilitační práce: Vliv vytrvalostního tréninku na respirační parametry adolescentních běžců.

Pracoviště autora: Pedagogická fakulta Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích, Katedra tělesné výchovy a sportu, Jeronýmova 10, 371 15 České Budějovice

Abstrakt

Ve vytrvalostních sportech hraje významnou roli příjem kyslíku, ten je také ukazatelem energetického výdeje. Hlavním cílem práce je zjistit dynamiku změn respirační parametrů v průběhu dospívání u adolescentních běžců na střední a dlouhé tratě. Dílčími cíli je zjistit vliv respiračních parametrů na výkon, zjistit vztah respiračních parametrů s tělesnou výškou, také ovlivnitelnost respiračních parametrů krátkodobými intervencemi. Longitudinální studie se zúčastnilo 24 adolescentních běžců a běžkyň národní úrovně, sledování byli alespoň 3 roky ve věku 14–19 let. Jednotlivých krátkodobých intervencí se zúčastnilo 22–48 adolescentních běžců a běžkyň ve věku 14–19 let, kteří byli náhodně rozděleni do experimentální a kontrolní skupiny. Obousměrná ANOVA analýza pro opakované měření (skupina × fáze) byla použita pro stanovení významnosti intervencí. U longitudinální studie byly místo kontrolní skupiny použity dostupné referenční hodnoty. Prostřednictvím korelační a regresní analýzy jsme hodnotili vztah mezi aktuální výkonnostní úrovní a naměřenými respiračními parametry. Prokázali jsme, že všechny sledované respirační parametry u adolescentních běžců a běžkyň lze ovlivnit jak krátkodobou, tak dlouhodobou intervencí. Respirační parametry VO_{2max} , $VO_2 \cdot SF^{-1}$, VT, VE a FVC mají významný vliv na výkonnostní úroveň adolescentních běžců na střední a dlouhé tratě. Prokázali jsme také souvislost výšky postavy s $VO_2 \cdot SF^{-1}$, FVC, VT, VE, FVC. Osmítýdenní intervence dechových cvičení založených na józe významně pozitivně ovlivnila hodnoty VT a BF. Jedenáctidenní intervence běžeckého tréninku v nadmořské výšce ~1 000 m n. m. má také významný vliv na respirační parametry VO_{2max} , $VO_2 \cdot SF^{-1}$ a FVC. Tréninkový kemp v nadmořské výšce ~1 850 m n. m. o délce 11 dnů má významný vliv na respirační parametry VO_{2max} , $VO_2 \cdot SF^{-1}$, VT, BF a VE. Naše závěry dokládají nezbytnost věnovat se rozvoji respiračních parametrů u sportující mládeže, zejména u vytrvalostních běžců na střední a dlouhé tratě. Prostřednictvím jejich hodnocení lze individualizovat tréninkové zatížení, hodnotit efekt tréninku a provádět výběr talentů.

Klíčová slova: respirační parametry, běžci, adolescence, vytrvalostní výkon, intervence.

Author's name and surname: PhDr. Petr Bahenský, Ph.D.

Title of the habilitation thesis: Influence of endurance training on respiratory parameters of adolescent runners.

Author's affiliation: University of South Bohemia, Faculty of Education, Department of Sports Studies, Jeronýmova 10, 371 15 České Budějovice

Abstract

In endurance sports, oxygen uptake plays a significant role and serves as an indicator of energy expenditure. The primary objective of this study is to investigate the dynamics of changes in respiratory parameters during adolescence in middle and long-distance adolescent runners. Subsidiary goals include assessing the impact of respiratory parameters on performance, examining the relationship between respiratory parameters and stature, and the modifiability of respiratory parameters through short-term interventions. A longitudinal study involved 24 national-level adolescent male and female runners who were monitored for a minimum of 3 years between the ages of 14 and 19. Short-term interventions were conducted with 22–48 adolescent runners aged 14–19, randomly assigned to experimental and control groups. A two-way repeated measures ANOVA analysis (group × phase) was employed to determine the significance of interventions. For the longitudinal study, available reference values were used in lieu of a control group. Correlational and regression analyses were conducted to evaluate the relationship between current performance levels and measured respiratory parameters. The findings demonstrate that all monitored respiratory parameters in adolescent middle and long-distance runners can be influenced by both short-term and long-term interventions. Respiratory parameters such as VO_{2max} , $VO_2 \cdot SF^{-1}$, VT, VE, and FVC significantly impact the performance levels of adolescent middle and long-distance runners. A correlation was also established between stature and $VO_2 \cdot SF^{-1}$, FVC, VT, VE, and FVC. An eight-week intervention involving yoga-based breathing exercises positively influenced VT and BF values. Additionally, an eleven-day high-altitude running training intervention at ~1,000 meters above sea level significantly affected respiratory parameters such as VO_{2max} , $VO_2 \cdot SF^{-1}$, and FVC. Similarly, an eleven-day training camp at an altitude of ~1,850 meters above sea level had a substantial impact on respiratory parameters, including VO_{2max} , $VO_2 \cdot SF^{-1}$, VT, BF, and VE. Our conclusions underscore the necessity of addressing the development of respiratory parameters in youth athletes, particularly in middle and long-distance endurance runners. Through their assessment, training loads can be individualized, training effects can be evaluated, and talent selection can be refined.

Keywords: respiratory parameters, runners, adolescence, endurance performance, intervention.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem habilitační práci vypracoval samostatně s využitím zdrojů uvedených v soupisu literatury.

Datum.....

.....
PhDr. Petr Bahenský, Ph.D.

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat své rodině za podporu, trpělivost a pochopení. Bez jejich pomoci bych dnes nemohl předkládat habilitační práci. Dále bych chtěl poděkovat také svým spolupracovníkům za pomoc při měření, zpracování a analýze dat, zejména Mgr. Davidu Markovi, doc. PhDr. Renatě Malátové, Ph.D. a prof. Ing. Václavu Buncovi, CSc. Tomu patří dík i za cenné rady, které mi předal v průběhu i po skončení doktorského studia. Z jeho cenných zkušeností čerpám dodnes. Děkuji i Pedagogické fakultě Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích za podporu Laboratoře zátěžové diagnostiky, bez níž by výzkum nemohl být realizován.

Obsah

1 Úvod	9
2 Přehled poznatků	11
2.1 Úroveň zdatnosti	11
2.1.1 Zdatnost běžné populace	12
2.1.2 Změny zdatnosti v průběhu dospívání	13
2.1.3 Determinanty zdatnosti	14
2.2 Dospívání	15
2.2.1 Biologický a kalendářní věk	15
2.2.2 Genderové rozdíly	16
2.3 Vytrvalostní výkon v běžeckých disciplínách	17
2.3.1 Předpoklady pro běhy na střední a dlouhé tratě	17
2.3.2 Charakteristika tréninku v bězích na střední a dlouhé tratě	18
2.3.3 Trénink a věk	19
2.3.4 Genderové rozdíly v tréninku	20
2.3.5 Charakteristika vytrvalostního běžeckého výkonu	21
2.3.6 Závodní výkon a periodizace	22
2.3.7 Možnosti ovlivnění výkonnosti v běžeckých disciplínách	23
2.3.8 Trénink ve vyšší nadmořské výšce	24
2.3.9 Diagnostika v běžeckých disciplínách	26
2.4 Význam dýchání při intenzivním pohybovém zatížení	27
2.4.1 Ekonomika dýchání	27
2.4.2 Dechový vzor	28
2.4.3 Možnosti ovlivnění dechového vzoru	28
2.5 Respirační parametry	29
2.5.1 Maximální spotřeba kyslíku	30
2.5.2 Tepový kyslík	37
2.5.3 Usilovná vitální kapacita	37
2.5.4 Dechový objem	38
2.5.5 Dechová frekvence	38
2.5.6 Minutový ventilační objem	39
2.5.7 Poměr respirační výměny	39
2.5.8 Ventilační ekvivalent kyslíku	39
2.6 Vliv somatických parametrů na respirační parametry	40
2.7 Vliv dechových cvičení na respirační parametry	40
2.7.1 Dechová intervence založená na józe	41
2.7.2 Buteykova metoda	41
2.8 Vliv vytrvalostního běžeckého tréninku respirační parametry	42
2.8.1 Vliv krátkodobých tréninkových intervencí na respirační parametry	43
2.8.2 Vliv dlouhodobého vytrvalostního tréninku na respirační parametry	43
2.9 Shrnutí teorie	44
3 Cíle práce, úkoly, hypotézy	45
3.1 Cíl práce	45
3.2 Hypotézy	45
3.3 Úkoly práce	45
4 Metodika práce	47
4.1 Charakteristika souboru	47
4.1.1 Charakteristika souboru pro krátkodobou intervenci dechových cvičení	47

4.1.2	Charakteristika souboru pro tréninkový kemp ve „středohoří“	48
4.1.3	Charakteristika souboru pro tréninkový kemp ve vyšší nadmořské výšce	48
4.1.4	Charakteristika souboru pro longitudinální studii	48
4.2	Organizace výzkumu	49
4.2.1	Design krátkodobé intervence dechových cvičení	49
4.2.2	Design intervence tréninkového kempu ve „středohoří“	50
4.2.3	Design intervence tréninkového kempu ve vyšší nadmořské výšce	51
4.2.4	Design longitudinální studie	52
4.3	Zpracování dat	53
4.3.1	Prezentace dat	53
4.3.2	Statistická analýza	54
4.3.3	Normy	55
5	Výsledky	58
5.1	Změny respiračních parametrů v důsledku krátkodobé intervence dechových cvičení ..	58
5.1.1	VO_{2max}	58
5.1.2	$VO_2 \cdot SF^{-1}$	59
5.1.3	FVC	59
5.1.4	VT	60
5.1.5	BF	61
5.1.6	VE	62
5.1.7	$VE \cdot VO_2^{-1}$	63
5.1.8	Shrnutí	64
5.2	Změny respiračních parametrů v důsledku tréninkového kempu ve „středohoří“	64
5.2.1	VO_{2max}	64
5.2.2	$VO_2 \cdot SF^{-1}$	65
5.2.3	FVC	66
5.2.4	VT	67
5.2.5	BF	68
5.2.6	VE	69
5.2.7	$VE \cdot VO_2^{-1}$	70
5.2.8	Shrnutí	71
5.3	Změny respiračních parametrů vlivem tréninkového kempu ve vyšší nadmořské výšce ..	71
5.3.1	VO_{2max}	71
5.3.2	$VO_2 \cdot SF^{-1}$	72
5.3.3	FVC	73
5.3.4	VT	74
5.3.5	BF	75
5.3.6	VE	76
5.3.7	$VE \cdot VO_2^{-1}$	77
5.3.8	Shrnutí	78
5.4	Změny respiračních parametrů v důsledku několikaletého běžeckého tréninku	78
5.4.1	Somatické parametry	78
5.4.2	Vývoj výkonnosti sledovaných sportovců v průběhu sledování	82
5.4.3	Dlouhodobé změny VO_{2max}	84
5.4.4	Dlouhodobé změny $VO_2 \cdot SF^{-1}$	91
5.4.5	Dlouhodobé změny FVC	97
5.4.6	Dlouhodobé změny VT	103
5.4.7	Dlouhodobé změny BF	109

5.4.8 Dlouhodobé změny VE	115
5.4.9 Dlouhodobé změny VE·VO ₂ ⁻¹	121
5.4.10 Změny respiračních parametrů v průběhu intervence	125
5.4.11 Vliv jednotlivých respiračních parametrů na výkon	129
5.4.12 Věk dosažení limitních hodnot jednotlivých parametrů	146
5.4.13 Tělesná výška a respirační parametry	148
6 Diskuze	151
7 Limity práce	157
8 Závěr	158
Referenční seznam	159

1 Úvod

Vytrvalostní výkon je determinován úrovní talentu a jeho rozvojem. Z fyziologického pohledu je kritériem vytrvalostních předpokladů maximální spotřeba kyslíku (VO_{2max}), jejíž vysoká hodnota je nezbytnou, ale ne jedinou podmínkou elitního vytrvalostního výkonu. Dalším předpokladem je vysoká ekonomika pohybu a schopnost dlouhodobého využití vysoké hodnoty spotřeby kyslíku (Neumann et al., 2000; Noakes, 2003; Malina et al., 2004; Saunders et al., 2004; Jones, 2006; Hoffman, 2014; Bahenský & Bunc, 2018). VO_{2max} souvisí s dalšími respiračními parametry, které jsou do určité míry ovlivnitelné životním stylem a tréninkem. Dýchání je přirozený proces, jehož prostřednictvím dochází k výměně plynů mezi tělem a vnějším prostředím. Některé dýchací svaly se zároveň podílejí na držení těla. Jejich funkce i úroveň dechového vzoru je ovlivněna realizovaným životním stylem, životními návyky, prodělanými onemocněními či zraněními. Kvalita některých respiračních parametrů (VT a BF) souvisí s dechovým vzorem. Dechový vzor je ovlivnitelný, což lze lépe u adolescentů. Dechový vzor i respirační parametry lze monitorovat prostřednictvím přístrojů, jak v laboratoři, tak v terénu. Kvalita dýchání má vliv na výkon zejména ve vytrvalostních sportech, protože je podstatné, kolik zajistí organismu kyslíku a také, kolik je na tento proces vynaloženo energie (Heller & Vodička, 2011; Máček & Radvanský, 2011; Amann, 2012; McArdle et al., 2016). Úroveň jednotlivých respiračních parametrů se v průběhu dospívání vyvíjí. U vytrvalostních sportovců by měla být nadprůměrná, měla by mít souvislost s dosaženou výkonnostní úrovní sportovců. Tento vztah ovšem není podrobně popsán v literatuře, longitudinální studie adolescentních běžců, zabývajících se souvislostí úrovně respiračních parametrů a výkonnostní úrovně, nejsou k dispozici.

Úroveň vytrvalostních dispozic má souvislost s vytrvalostním výkonem u sportovců, ale i s kvalitou života u běžné populace. V současné době s neustálým rozvojem společnosti, technologií a životního stylu je aktivní životní styl stále důležitějším tématem. Ovlivňuje nejen náš volný čas, ale i naše zdraví a také výdaje na zdravotní péči. Má také vliv na kvalitu dětské populace, která je zdrojem pro výběr talentů jednotlivých sportů. Jednak je výběr talentů stále obtížnější s ohledem na úroveň populace a také existuje stále více druhů sportů, které se snaží si tyto talenty rozdělit. Životní návyky přebíráme mj. od svých rodičů, pedagogů a přátel. Při objevení talentovaného jedince je pro optimální nastavení tréninkového zatížení důležité vědět, do jaké míry se u daného jedince na aktuální výkonnosti podílí vrozené dispozice a do jaké míry absolvované tréninkové zatížení. Tato informace je podstatná pro sledování vlivu tréninkového zatížení na aktuální výkonnost, také v průběhu sportovní kariéry až do ukončení dospívání. Úroveň výkonnosti u vytrvalostních sportovců je závislá i na schopnosti příjmu kyslíku, ta souvisí i s dalšími respiračními parametry. Každá absolvovaná tréninková zátěž má vliv na výkonnostní úroveň jedince, významné změny výkonnostní úrovně lze zaznamenat i po absolvování krátkodobých intervencí. Pokud je tréninkový proces systematický a dlouhodobý, změny výkonnostní úrovně mohou být ztelnější a trvalejší. Samotný běžecký vytrvalostní trénink by měl mít vliv na úroveň respiračních parametrů. Některé parametry ovlivnit lze, některé změnit nelze (např. výška), u některých je možnost změny nejasná (procentuální množství přijatého kyslíku). Změna vybraných respiračních parametrů (zejména VO_{2max}) v důsledku krátkodobých parametrů je popsána. Ale longitudinálních studií zabývajících se změnou respiračních parametrů a výkonnostní úrovně vlivem přirozeného vývoje a vlivem

tréninku, který na něj navazuje, existuje velmi málo. Stejně tak longitudinálních studií zabývajících se vztahem respiračních parametrů a výkonnostní úrovně u běžců na střední a dlouhé tratě. U adolescentních běžců nejsou známy.

2 Přehled poznatků

Jakákoliv činnost svalů (pohybová aktivita) vyžaduje dodávku energie. Pokud je energie plně hrazena aerobně, lze ji změřit prostřednictvím množství spotřebovaného kyslíku. Energetický ekvivalent 1 ml kyslíku je v závislosti na zdroji energie (sacharidy, tuky či bílkoviny) okolo 20–21 J (5 cal). Část energie se projeví ve vykonané práci, ale většina energie se přemění v teplo. Podíl mezi vykonanou prací a spotřebovanou energií lze vyjádřit prostřednictvím mechanické účinnosti práce. Ta je při běžné aktivitě menší než 20 % (Máček & Radvanský, 2011). Zjistit množství skutečně vykonané práce je velmi obtížné, do určité míry ji lze zjistit na bicyklovém ergometru. Přesto je nejsnadnější kalkulace energetického výdeje prostřednictvím hodnoty spotřebovaného kyslíku. Prostřednictvím energetického ekvivalentu pro kyslík lze převést spotřebu kyslíku (VO_2) na energetický výdej. Se spotřebou kyslíku úzce souvisí srdeční frekvence či plicní ventilace (Heller & Vodička, 2011). Prostřednictvím (VO_{2max}) lze také hodnotit úroveň zdatnosti populace.

Aerobní zdatnost závisí na plicích, kardiovaskulárních a hematologických složkách podílejících se na přívodu kyslíku a oxidačním mechanismu zapojených svalů (Armstrong & Welsman, 1994). Dýchací soustava se tedy přímo podílí na zajištění pohybové aktivity. Prostřednictvím dýchání dochází k výměně látek s okolním prostředím. Dýchání je proces, který většinou probíhá mimovolně, bez uvědomění (Dylevský et al., 2000). Kvalita dýchání je dána geneticky ale může se do ní zobrazovat i zdravotní stav jedince, jeho kondice, věk, prodělané nemoci či zranění. Souvisí také s držením těla (Kolář & Lewit, 2005; Kolář, 2006; Kolář et al., 2012). Kvalita dýchání může mít vliv na běžné činnosti v každodenním životě, ale určitě má vliv na výkon ve sportu, existuje transfer do určitých typů výkonů zejména ve vytrvalostních disciplínách (McArdle et al., 2016; Di Paco et al., 2017). Kvalitu dýchání lze měřit prostřednictvím úrovně respiračních parametrů a také lze hodnotit kvalitu dechového vzoru (Máček & Radvanský, 2011; Malátová et al., 2022). Respirační parametry se mění v průběhu dospívání, lze je také ovlivnit tréninkem. Tím lze ovlivnit i výkon ve vytrvalostních disciplínách. V tréninku vytrvalců je mj. velmi rozšířen vysokohorský trénink (Bonetti & Hopkins, 2009), také je popsán účinek dechových cvičení na dechový vzor a vybrané respirační parametry (Bahenský et al., 2019; Bahenský et al., 2021).

V průběhu dospívání se výkonnostní úroveň mění v souvislosti s úrovní rozvoje somatických a fyziologických parametrů, odlišně u dívek a u chlapců (Santisteban et al., 2022). Pokud zvolené tréninkové zatížení působí v souladu s vývojovými změnami, může v tomto období docházet k významným změnám výkonnostní úrovně. Ne vždy jsou ale vývojové změny somatických a fyziologických parametrů v souladu s cíli a požadavky dané sportovní disciplíny (McMurray et al., 2002, 2003; Armstrong et al., 2011; Máček & Radvanský, 2011; Kemper et al., 2013). Po ukončení přirozeného vývoje je možné dále rozvíjet výkonnostní úroveň prostřednictvím tréninkového zatížení. Čím je tréninkové zatížení více individualizované a přiměřenější aktuálnímu stavu organismu, tím je účinnější (Bureš, 1986; Tupý, 1986; Moss, 2004; Tjelta & Enoksen, 2010; Bahenský & Bunc, 2018).

2.1 Úroveň zdatnosti

Zdatnost je schopnost odolávat vnějšímu stresu. Lze ji rozdělit na zdravotně a výkonově orientovanou zdatnost. Základní složky zdatnosti jsou vytrvalost, síla, rychlost, obratnost a

pohyblivost (Novotná et al., 2006). Výkonově orientovaná zdatnost obsahuje komponenty důležité pro sportovní výkon. Závisí mimo jiné na somatických parametrech, fyziologických parametrech, motivaci jedince a na pohybových dovednostech, které byly osvojeny (Svatoň & Tupý, 1997). Úroveň zdatnosti je stále více skloňovaný pojem, zejména v souvislosti s velkou změnou životního stylu v tzv. vyspělých státech v posledních několika dekádách. Úroveň zdatnosti lze hodnotit různými metodami. Rozšířeným prostředkem je např. měření maximálního příjmu kyslíku (VO_{2max}), který prezentuje kardiorespirační fyzickou zdatnost (Bunc, 1989; Bassett & Howley, 2000). Hodnoty VO_{2max} jsou spojeny s úrovní pohybové aktivity, a to i v průběhu dospívání (Nes et al., 2013).

Vedle, u sportovců řešené, sportovně orientované zdatnosti je velkým tématem zdravotně orientovaná zdatnost běžné populace (Bouchard et al., 1994; Bunc, 1996). Zdravotně orientovaná zdatnost je zdatnost ovlivňující zdravotní stav, nebo také vztahující se k dobrému zdravotnímu stavu a působící preventivně na zdravotní problémy vzniklé v důsledku hypokineze (Bouchard et al., 1994). Úroveň kardiorespirační zdatnosti má prokazatelnou negativní souvislost s rizikem kardiovaskulárních onemocnění, diabetu a dalších civilizačních onemocnění (LaMonte et al., 2005; Ortega et al., 2008; Kokkinos & Myers, 2010; Aspenes et al., 2011; Dencker et al., 2012; Artero et al., 2014; Buchan et al., 2015; DeFina et al., 2015; Myers et al., 2015; Bangsbo et al., 2016; Loftin et al., 2016). Nízká úroveň kardiorespirační zdatnosti je také, společně s vysokou hladinou cholesterolu a kouřením, vysoce rizikovým faktorem kardiovaskulární mortality (Kokkinos & Myers, 2010).

Velká část dětí a mládeže nemá potřebný objem pohybové aktivity – vyskytuje se výrazná hypokineze, která negativně ovlivňuje zdraví, kvalitu života a sociální aspekty vývoje dětí (World health organisation, 2016). To se může promítat do jejich zdravotního stavu a tělesné zdatnosti společně s nevhodnými stravovacími návyky, genetickými predispozicemi, ... (Janz et al., 1999). S pohybovou inaktivitou u mládeže souvisí také některé chronické choroby, např. obezita, diabetes 2. typu, hypertenze, zvýšená hladina cholesterolu, muskuloskeletální poruchy, kardiovaskulární choroby nebo např. některá karcinogenní onemocnění (Zambahari, 2004).

Délka pohybové aktivity u dětí a mládeže se snižuje celosvětově (Armstrong & Welsman, 2006), proto se neustále snižuje u mládeže úroveň zdatnosti (Tomkinson & Olds, 2007). Existují studie, které se snaží stanovit hranici, která označuje rizikovou hodnotu VO_{2max} u dětí a mládeže. Dle některých studií se limitní hodnotou jeví $35 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ u dívek a $42 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ u chlapců (Lang et al., 2019). Motivace, proč se mládež věnuje sportu je rozmanitá, ale je jisté, že sport pomáhá mladým lidem v dosažení cílů a zlepšení důvěry v sebe sama. Ovlivnění životního stylu specifickým kondičním tréninkem přizpůsobený schopnostem každého dítěte může být jedním ze způsobů, jak zastavit vývoj populace (Cooper et al., 2016). Je však třeba mít na paměti, že pokud je sport provozován intenzivně již od dětství (od cca 5–8 let) v trvání ± 30 hod týdně, může přinášet i rizika. Při nadměrné aktivitě v uvedeném věku hrozí mj. riziko přetrénování, vyhoření, problémy s příjmem potravy (Armstrong & Van Mechelen, 2017).

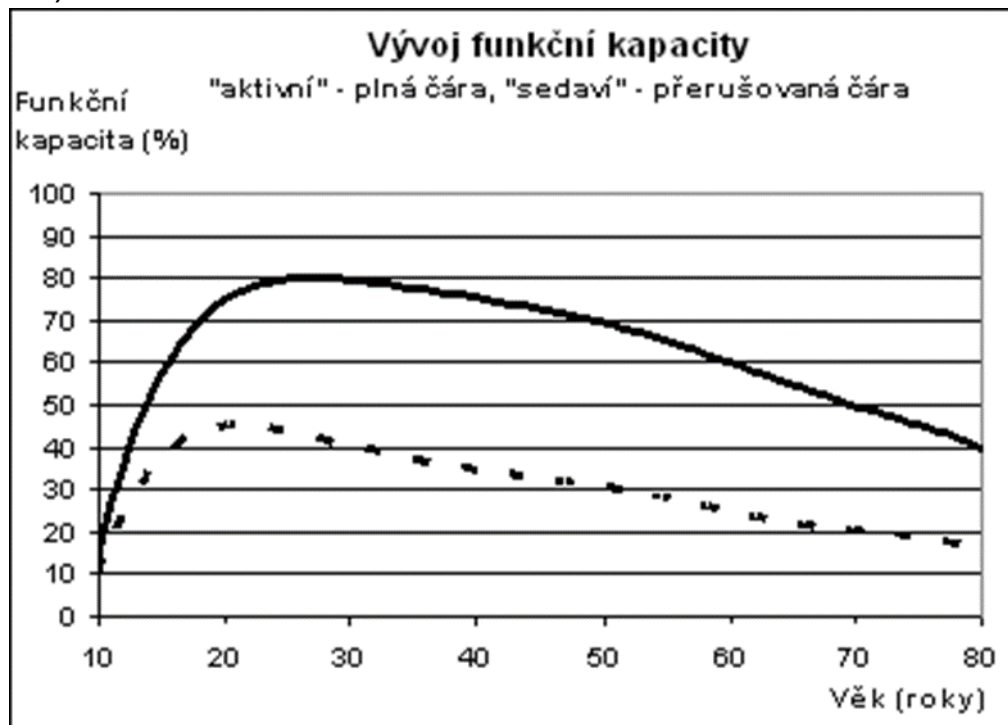
2.1.1 Zdatnost běžné populace

Je prokázáno, že pravidelné přiměřené provozování pohybových aktivit v průběhu dospívání má pozitivní vliv na zdravotní stav v dospělosti a v pozdějším věku (Bouchard et al.,

1981; Baquet et al., 2003; García-Hermoso et al., 2020), viz obrázek 1. V současnosti se snižuje pohybová aktivita generace dospívajících v celé Evropě, což je důsledek situace ve vyspělých zemích (Armstrong & Welsman, 2006).

Obrázek 1.

Vývoj funkční kapacity u aktivních a sedavých lidí (Novotný, 2015 - modifikováno podle Jackson et al., 1999)



Nízká úroveň kardiorespirační fyzické zdatnosti úzce souvisí s nadváhou a obezitou, stejně jako s úrovní fyzické aktivity (Malina, 2001; Åstrand et al., 2003; Ruiz et al., 2007; Ornelas et al., 2011; Marta et al., 2012; Nes et al., 2013; Porter et al., 2017). To platí i pro věkovou kategorii od 9 do 17 let (Zanconato et al., 1989; Malina, 2001; Ornelas et al., 2011; Rivas et al., 2019). Výše popsaný aktuální životní styl běžné populace má vliv na její zdatnost (Malina, 2001). Ze souboru běžné populace jsou vybíráni talentovaní jedinci pro jednotlivé sporty. Jestliže se snižuje její zdatnost, výběr talentů bude obtížnější a potřebné požadavky na jednotlivé disciplíny splňuje menší množství jedinců (Tomkinson et al., 2019).

2.1.2 Změny zdatnosti v průběhu dospívání

V průběhu dospívání dochází k vývoji morfologických (tělesná výška, tělesná hmotnost, tělesné složení, stavba těla, somatotyp, ...) a fyziologických (VO_{2max} , vitální kapacita plic, velikost srdce, podíl svalových vláken, ...) parametrů (Rowland et al., 1997; Malina et al., 2004). Tento vývoj parametrů má, společně s absolvovanou fyzickou aktivitou, vliv na úroveň zdatnosti. Změny zdatnosti a jednotlivých parametrů jsou tedy vlivem přirozeného vývoje a v důsledku aplikovaného pohybového tréninku. Vhodně zvolená pohybová aktivita (z pohledu typu, objemu a intenzity) může podpořit přirozený růst zdatnosti v adolescentním věku, ke kterému u většiny populace dochází (Malina et al., 2004). Není snadné objektivně vyhodnotit a interpretovat aktuální fyzickou aktivitu v kontextu podpory zdravotního stavu dětí a dospívajících. Přesto jsou publikovány studie s reprezentativními vzorky z většiny Evropských

zemí. Trendy ve všech zemích jsou srovnatelné, v průběhu dospívání dochází ke snížení pohybové aktivity. Evropské dívky se účastní pohybové aktivity méně než chlapci (Armstrong & Welsman, 2006).

Pravidelná pohybová aktivita je základním stimulem pro přirozený růst, zdravý vývoj dětí, pro jejich komplexní rozvoj (Altavilla et al., 2015). Pro správné návyky v dospělosti je důležitým obdobím dospívání, kdy se návyky vytvářejí (Howie et al., 2016). Znalost kardiorespirační fyzické zdatnosti a její spojení s věkem, pohlavím a úrovní fyzické aktivity během tohoto období je nezbytná pro možnost diagnostiky a ovlivnění. Během posledních desetiletí došlo u adolescentů k podstatnému poklesu kardiorespirační fyzické zdatnosti (Tomkinson et al., 2019). Ukázalo se, že preventivní úsilí zaměřené na udržení fyzické kondice a úrovně fyzické aktivity během puberty má příznivé zdravotní přínosy v pozdějších letech (Janz et al., 2000; Aarnio et al., 2002; Telama et al., 2006; Loprinzi et al., 2012).

U nesportujících chlapců má dospívání významný pozitivní vliv na VO_{2max} , u dívek dochází k nárůstu hodnot či ke stagnaci absolutní spotřeby kyslíku (Šprynarová et al., 1987). U relativních hodnot VO_{2max} dochází v dospívání u chlapců k mírnému nárůstu či stagnaci, u dívek vlivem dospívání ke stagnaci či snižování zdatnosti (Beunen et al., 1997; Malina et al., 1997; Neumann et al., 2000; Máček & Radvanský, 2011). Již v prepubertálním období existují rozdíly ve spotřebě kyslíku mezi pohlavími (Fawcner & Armstrong, 2004). V průběhu puberty se mění kondiční charakteristiky u adolescentů, čímž se mění jejich pohybové možnosti (Rivas et al., 2019). Více je této problematice věnováno v kapitole 2.5.1.

2.1.3 Determinanty zdatnosti

Úroveň zdatnosti je dána genetickými předpoklady a tréninkovým zatížením. Je prokázáno, že úroveň zdatnosti lze měnit mj. prostřednictvím úpravy pohybového a stravovacího režimu. Zejména navýšení objemu vhodné pohybové aktivity má pozitivní vliv na úroveň zdatnosti v každém věku (Neptune et al., 2008; Bunc & Skalská, 2012). Pokud je pohybová aktivita vhodně strukturována a zároveň je zvolena vhodná pohybová aktivita, optimální intenzita, přiměřená frekvence a délka zatížení, projeví se v úrovni pohybové zdatnosti jedince a zpravidla i na zdravotním stavu (Ruiz et al., 2007; Ornelas et al., 2011; Bunc & Skalská, 2012). Stejně principy platí i u sportující populace, což se projeví na růstu výkonnosti, což je viditelné na obrázku 1. Realizované studie potvrzují, že během puberty chlapci mohou dosáhnout významného zvýšení VO_{2max} , když absolvují odpovídající množství vytrvalostního tréninku (Ingjer, 1992). U dívek je situace ovlivněna zejména fyziologickými procesy v průběhu dospívání, přírůstky jsou významně nižší (Armstrong et al., 2011; Kemper et al., 2013).

Ačkoliv existuje mezi absolvovaným tréninkem a úrovní trénovanosti pozitivní vztah, není mezi nimi přímá úměra (Åstrand & Rodahl, 1986; Bunc, 1989). Neplatí tedy doslova, že čím je větší objem absolvovaného tréninku, tím bude trénovanost na vyšší úrovni. Pokud se aplikuje dlouhodobě tréninkové zatížení konstantního objemu a kvality, přibližně po třech letech již nedokáže vyvolat významné změny v úrovni trénovanosti (efekt „saturace“), dochází k výkonnostní stagnaci (Bunc 1989). Tréninkové intervence také mají na sportovce určitý časový dopad, existuje aktuální, kumulativní či časově odložený efekt realizovaných intervencí (Bunc, 1989).

Shrnutí: Zdatnost populace je celosvětově stále důležitějším tématem, zejména pro její souvislost se zdravotním stavem a sociálně ekonomickými důsledky. Úroveň zdatnosti běžné populace determinuje pohybovou úroveň zájemců o výkonnostní či vrcholový sport. Při plánování pohybových aktivit je třeba brát v úvahu aktuální úroveň organismu a zdravotní stav jedince. Energetický výdej i úroveň zdatnosti jsou měřitelné prostřednictvím spotřeby kyslíku, ta souvisí s dalšími respiračními parametry.

2.2 Dospívání

V dětském věku i v průběhu dospívání (adolescence) dochází k růstu a zrání organismu, dochází ke změně somatických a fyziologických parametrů s věkem (viz obrázky 2, 3, 4 a 7). To může přinést mnoho pozitivních prvků, ale někdy i negativní vliv. V důsledku ontogeneze a přirozeného rozvoje dochází k vývoji sledovaných parametrů, nadstavbou jsou změny v důsledku realizovaného tréninkového zatížení. V průběhu dospívání je podpořen přirozený vývoj výkonnostní úrovně u chlapců a ovlivněn vývoj u dívek (Armstrong & Welsman, 2007; Máček & Radvanský, 2011; Kenney et al., 2015). Tento proces je individuální. Proces růstu a zrání ovlivňuje obecnou zdatnost i výkonnost v jednotlivých sportech, což může být zavádějící při výběru talentů (Baxter-Jones et al., 2020). Dochází k přirozenému vývoji pohybových schopností, přičemž každá má své senzitivní období, kdy dochází snadno k jejich rozvoji (Balyi & Williams, 2009; Máček & Radvanský, 2011; Kenney et al., 2015; McArdle et al., 2016). Při výběru talentů, hodnocení rozvoje talentů, hraje zásadní roli výkonnostní úroveň. Pokud se nevztáhne na úroveň zralosti, případně efekt relativního věku a principu počáteční hodnoty parametru, může dojít k omylům v objektivitě hodnocení výkonnosti jedinců (Cobley et al., 2009; Baxter-Jones et al., 2020; Eisenmann et al., 2020).

2.2.1 Biologický a kalendářní věk

Aktuální stupeň rozvoje je zásadní pro individuální výkon i řízení tréninku. Proto je nezbytné u každého dospívajícího jedince tuto informaci vědět (Malina et al., 2004; Bahenský & Bunc, 2018). Tréninkové zatížení by mělo být přizpůsobeno aktuálním možnostem organismu v souladu s úrovní jeho vývoje (Bahenský & Bunc, 2018).

Lidský věk můžeme hodnotit mnoha způsoby, mezi ně patří chronologický (kalendářní) věk a biologický věk. Chronologický věk je číslo, které určuje čas uplynulý od data narození. Nevypovídá nic o morfologickém či fyziologickém stavu organismu daného jedince, biologický věk zobrazuje stupeň rozvoje organismu jedince (Ďoubal et al., 1997; Kalvach, 1997).

Pro stanovení úrovně zralosti lze využít několik možností, mj. (Kalvach, 1997; Malina et al., 2004; Bergeron et al., 2015):

- kostní věk,
- zubní věk,
- vývinový věk (sekundární a terciální pohlavní znaky),
- růstový věk (dle tělesné výšky),
- proporcionální věk,
- predikční věk,
- psychomotorický věk.

Stanovení kostního či zubního věku patří mezi nejpřesnější metody, ne vždy je ale tato metoda dostupná. Jednodušší možností je odhad stavu zralosti dle naměřené výšky postavy či v porovnání s výškou postavy rodičů (Bergeron, 2015). Tato metoda vychází z předpokladu, že každému věku přísluší určitá proporcionalita tělesných rozměrů. Pro směrodatné výsledky je třeba vzít v úvahu i tělesnou konstituci obou rodičů. I tak jsou většinou výsledky spíše orientační, pokud neprovádíme retrospektivní analýzu (Kalvach, 1997).

Vedle tématu biologické zralosti, kdy reálný vývojový věk nemusí odpovídat kalendářnímu věku, ještě existuje tzv. relativní věk. Ten představuje vztah dne narození a uzávěře věkových skupin (Malina et al., 2004; Sherar et al., 2007; Eisenmann et al., 2020). Rozdíl mezi sportovci zařazenými do jednoho ročníku může být až 365 dnů. Může nastat situace, kdy jedinec může čerpat výhodu či nevýhodu jak z relativního věku, tak z biologického věku (Sherar et al., 2007; Eisenmann et al., 2020).

2.2.2 Genderové rozdíly

Mimo rozdílů výkonnostních, somatických a fyziologických způsobených v průběhu dospívání odlišným věkem, existují mezi jedinci ještě rozdíly způsobené odlišným pohlavím. Do určitého věku nejsou tyto rozdíly významné, v závislosti na sportovním odvětví se ale od začátku puberty rozdíly zvětšují (Šprynarová et al., 1987; Armstrong & Welsman, 2007; Máček & Radvanský, 2011; Kenney et al., 2015). V běžeckých disciplínách ženy a muži nedosahují shodných výkonů. To je zapříčiněno zejména odlišnostmi v morfologických a fyziologických parametrech. Od věku 9–10 let je u chlapců a dívek odlišná růstová křivka. U dívek dochází k růstovému spurtu okolo 10. až 11. roku věku, u chlapců mezi 12,5 a 15 lety věku. Dospívání a růst jsou u dívek ukončeny ve věku 16–17 let, u chlapců až ve 20–21 letech. Další rozdíly v somatických parametrech jsou v délce končetin, chlapci mají končetiny delší. U dívek se vyskytuje větší relativní množství tuku, v průběhu dospívání se ještě zvyšuje (Máček & Radvanský, 2011).

K vyšší výkonnosti mužů ve vytrvalostních sportech oproti ženám přispívá větší absolutní (zhruba o 15 %) i relativní množství krve, větší srdeční sval (o 5–15 %), vyšší srdeční výdej, vyšší celková srdeční transportní kapacita pro kyslík, nižší srdeční frekvence, větší tepový objem, vyšší maximální aerobní kapacita, větší počet erytrocytů (o 6 %), větší množství hemoglobinu (o 10–15 %) a vyšší hematokrit. Mezipohlavní rozdíly jsou i v dýchací soustavě, muži mají větší hrudník, větší objem a kapacitu plic, větší maximální respirační hodnoty. Ženy mají o 20–30 % nižší hodnoty VO_{2max} (Máček & Radvanský, 2011; Bartůňková et al., 2013; Kenney et al., 2015). Muži mají také více svalové hmoty, to je spojeno i s větší svalovou silou. Mají také větší svalový tonus a vyšší alaktátovou a laktátovou kapacitu (Granados et al., 2008; Bartůňková et al., 2013). Při vyšší intenzitě zátěže jsou rozdíly v aerobní výkonnosti mezi chlapci a děvčaty větší než při volné intenzitě zatížení (Armstrong & Barker, 2009).

U dívek dochází v průběhu dospívání k poklesu relativní hodnoty VO_{2max} , na rozdíl od chlapců, u kterých tato hodnota stagnuje (McMurray et al., 2002, 2003; Armstrong et al., 2011; Kemper et al., 2013). U dívek je tento jev zapříčiněn přirozeným nárůstem tukové hmoty během puberty a relativním úbytkem množství svalové hmoty, zatímco u chlapců se množství svalové hmoty zvyšuje (Andersen et al., 1987; Armstrong et al., 2011). Absolutní VO_{2max} u dívek je v dětství asi o 10 % nižší než u chlapců, ve věku 16 let je tento rozdíl mezi pohlavími již přibližně 35 % (De Waelle et al., 2018), u elitních vytrvalostních sportovců je rozdíl mezi

pohlavími cca 12–16 % (Neumann et al., 2000), u maratónských běžkyň a běžců je rozdíl cca 10 % (Basset & Howley, 2000). V některých studiích nebyl zjištěn rozdíl ve vlivu pohybové aktivity na změnu hodnoty VO_{2max} mezi chlapci a dívkami (Richards et al., 2009; Welde et al., 2020), v některých studiích bylo u dívek prokázáno větší ovlivnění hodnot VO_{2max} úrovní pohybové aktivity než u chlapců (Porter et al., 2017).

Shrnutí kapitoly: V dětském věku i v průběhu dospívání dochází k růstu a zrání organismu, dochází ke změně somatických a fyziologických parametrů s věkem. Ve sportu je podstatný aktuální stupeň rozvoje pro individuální výkon i pro řízení tréninku. Ne vždy odpovídá kalendářní věk věku biologickému, proto je jeho znalost důležitá. Přibližně od devíti až deseti let věku se začínají projevovat i genderové rozdíly, které se postupně zvětšují.

2.3 Vytrvalostní výkon v běžeckých disciplínách

Pohybový výkon determinují tyto faktory (Dovalil et al., 2005):

- faktory somatické,
- faktory kondiční,
- faktory technické,
- faktory taktické,
- faktory psychické.

Všechny faktory jsou různou měrou v pohybovém výkonu zastoupeny. Běhy na střední a dlouhé tratě zahrnují disciplíny od 800 m po maratón, patří mezi vytrvalostní disciplíny, přičemž podíl aerobního režimu je u jednotlivých disciplín rozdílný, stoupá s délkou tratě.

2.3.1 Předpoklady pro běhy na střední a dlouhé tratě

Genetické předpoklady lze rozdělit na (Malina et al., 2004):

- morfologické,
- fyziologické,
- zdravotní,
- pedagogické,
- psychologické.

Přestože je v běžích na střední a dlouhé tratě nejdůležitější vytrvalostní schopnost, do určité míry se na finálním výkonu podílí i ostatní pohybové schopnosti (rychlostní, silové, obratnostní) a z pohybových dovedností zejména technika běhu (Neumann et al., 2000; Saunders et al., 2004; Bahenský & Bunc, 2018).

Výkon v běžích na střední a dlouhé tratě je částečně determinován geneticky, částečně je ovlivněn absolvovaným tréninkovým zatížením. Pro dosažení elitního výkonu je vliv talentu nezbytnou podmínkou. Po identifikaci talentu je třeba jej rozvíjet. Pokud rozvoj talentu probíhá v příznivých podmínkách, prostřednictvím individuálně nastaveného tréninkového programu respektujícím stupeň vývoje a potřeby jedince, je šance na dosažení elitní výkonnostní úrovně (Malina et al., 2004; Bahenský & Bunc, 2018). Morfologické předpoklady jsou víceméně dané a nedají se zásadně ovlivnit, proto jsou důležité při výběru talentu. Nutnou podmínkou je dosažení jejich dostatečné úrovně. Naproti tomu fyziologické dispozice jsou tréninkem ovlivnitelné, např. VO_{2max} o cca 15–30 % (Heller, 1997; Kovářová, 2012; Powers &

Howley, 2014; Kenney et al., 2015). Při tréninku je třeba se zaměřit na předpoklady fyziologické, které měnit lze (Heller, 1997; Powers & Howley, 2014).

Pro racionální a přiměřený rozvoj předpokladů je důležité při vstupu do tréninkového procesu zjistit, v jaké etapě tréninku se jedinec nachází. To je podstatné zejména z důvodu zjištění, do jaké míry je aktuální výkonnostní úroveň dílem vrozených dispozic a do jaké míry dílem aplikovaného tréninku (Bouchard et al., 1997). Příslušná pohybová schopnost či dovednost se rozvíjí za předpokladu, že je rozvíjena tréninkem prostřednictvím adekvátních podnětů. V případě, že je sportovec talentovaný a má předpoklady dosáhnout elitního výkonu, je potřeba svůj talent kultivovat vhodným tréninkovým zatížením (Čelikovský, 1990). Podle Měkoty (1983) limitují zmíněné předpoklady možnosti jednotlivce, obecně řečeno, představují jakýsi strop, jehož můžete dosáhnout při určité činnosti. Ale jsou to jen možnosti, které nejsou zárukou, že se tak stane.

Mezi základní morfologické předpoklady patří výška postavy, tělesná hmotnost (BMI), množství tuku, somatotyp, ... (Eston & Reilly, 2009). Mezi základní fyziologické předpoklady patří mj. VO_{2max} a další respirační parametry, poměr svalových vláken, ekonomika běhu a laktátové prahy (Noakes, 2003; Malina et al., 2004; Hoffman, 2014). Určitá úroveň VO_{2max} je nezbytnou podmínkou vrcholového vytrvalostního výkonu, není však jedinou podmínkou, velkou roli také hraje ekonomika pohybu (běhu), laktátový práh, kritický výkon (Neumann et al., 2000; Kyröläinen et al., 2001; Saunders et al., 2004; Jones, 2006; Bahenský & Bunc, 2018).

2.3.2 Charakteristika tréninku v bězích na střední a dlouhé tratě

Cílem tréninku v bězích na střední a dlouhé tratě je navázat na genetické dispozice jedince a rozvinout u něj na potřebnou úroveň ovlivnitelné předpoklady. Mezi absolvovaným tréninkovým zatížením a výkonem existuje pravděpodobnostní vztah. Rozvoj talentu zahrnuje několikaletý tréninkový proces, kdy se obsah a intenzita tréninku postupně mění. Trénink se liší v závislosti na věku sportovce, na délce jeho kariéry a na jeho vyspělosti. Podle těchto kritérií rozlišujeme tyto etapy tréninkového procesu (Bompa, 2000; Dovalil et al., 2005):

- etapa základního tréninku,
- etapa specializovaného tréninku,
- etapa vrcholového tréninku.

Každá etapa má své nezastupitelné místo v procesu rozvoje sportovce, a každá etapa má také své zákonitosti. V základní etapě je výkon pouze vzdáleným cílem, důraz je kladen na všestranný rozvoj sportovce, vytváří se předpoklady pro rozvoj v dalších etapách tréninku. Od etapy základního tréninku po etapu vrcholového tréninku postupně narůstá podíl specifických tréninkových prostředků na úkor obecných. Také se navyšuje objem a intenzita tréninkového procesu. Někteří sportovci projdou pouze základní etapu, ti nejlepší mají vrchol kariéry v etapě vrcholového tréninku (Bompa, 2000; Dovalil et al., 2005). Při volbě tréninkového zatížení a zařazení jedince do příslušné etapy tréninku je u dětí a adolescentů nezbytné vycházet z jejich biologického věku. Ve všech tréninkových etapách se v různých formách používají souvislé, intervalové či kontrolní tréninkové metody či jejich varianty. Náročnost použitých metod je dána těmito parametry: délka, počet a rychlost úseků, délka a charakter pauzy (Kučera & Truksa, 2000; Kenney et al., 2015; McArdle et al., 2016).

V jednotlivých etapách tréninku jsou v závislosti na cíli dané etapy vhodně a rozdílně rozvíjeny jednotlivé intenzity běhu, které jsou rozděleny dle vztahu k závodní rychlosti (Bahenský & Bunc, 2018). Jsou rozvíjeny různou formou, v různém objemu a vyvíjí se i rychlost jednotlivých temp. Od maximální rychlosti přes tempovou rychlost, speciální tempo, tempovou vytrvalost až k obecné vytrvalosti. Forma, objem a intenzita jejich použití je rozdílná nejen v různých etapách přípravy, ale i v průběhu ročního tréninkového cyklu, na délce závodní trati a na sportovní úrovni jedince. Vhodný model přípravy je také velmi individuální (Bureš, 1986; Písařík & Liška, 1989; Kučera & Truksa, 2000; Benson & Connolly, 2011; Bahenský & Bunc, 2018). Jednotlivé části tréninkového procesu působí komplexně na sportovní růst (Bouchard et al., 1997).

V tréninkovém procesu jsou pro rozvoj vytrvalosti standardně využívány tyto tréninkové metody (Kampmiller et al., 2012; Daniels, 2013; Powers & Howley, 2014; Kenney et al., 2015; McArdle et al., 2016):

- metody souvislé (např. souvislý rovnoměrný běh, souvislý stupňovaný běh, souvislý střídavý běh a fartlek, ...),
- metody intervalové (vytrvalostní intervalový trénink, rychlostní intervalový trénink a opakované úseky),
- metody kontrolní (závod, kontrolní test a modelový trénink).

2.3.3 Trénink a věk

V průběhu dospívání se výkonnost zvyšuje přirozeně, v senzitivních obdobích rychleji. Pokud je trénink zvolen citlivě v souladu s aktuálním stavem vývoje organismu, může být přirozený tréninkový přírůstek významně navýšen (Balyi & Williams, 2009; Kenney et al., 2015; McArdle et al., 2016). Zde hraje důležitou roli stanovení biologického věku z důvodu zjištění funkčního (svalového a fyziologického) stavu organismu. Při jeho znalosti lze volit optimální tréninkové metody, optimální tréninkové strategie (Bahenský & Bunc, 2018). U chlapců v dospívání dochází vedle růstu i k nárůstu svalové hmoty a svalové síly. U vytrvalostních sportů je v průběhu zrání výkonnost podpořena nárůstem srdečního objemu, koncentrace hemoglobinu a svalové síly. Pokud je někdo akcelerován, získává v tomto období velkou výhodu oproti vrstevníkům. U retardovaných jedinců je tomu naopak, často jsou znevýhodněni tak, že to poznamená jejich další sportovní vývoj. Největší rozdíly jsou zřetelné ve věku 12–15 let (Armstrong & McManus, 2011).

V tomto období je také na zvážení, zda podpořit předčasnou specializaci, případně do jaké míry. Přestože předčasná specializace přináší sportovci a jeho týmu některé benefity, většina odborníků se shodne, že vhodnější cestou je trénink odpovídající věku (Bompa, 2000; Malina et al., 2004; Malina, 2010; Bahenský & Bunc, 2018).

Podle některých autorů by organizovaný běžecký trénink běžců na střední a dlouhé tratě měl reálně začínat v žákovském věku (cca 14–15 let), kdy by se trénink měl stávat systematickým a postupně by se měl začít stávat specializovanějším (Bompa, 2000; Malina et al., 2004; Malina, 2010; Kenney et al., 2015; Bahenský & Bunc, 2018). Proces postupné specializace by neměl být dokončen před dosažením fyziologické dospělosti jedince. Tento proces je individuální (Bompa, 2000; Malina et al., 2004; Malina, 2010; Kenney et al., 2015; Bahenský & Bunc, 2018).

V průběhu dospívání, ve věku 14–19 let, by měl být trénink mládežnických běžců odlišný od tréninku dospělých. Pro trénink v tomto věku by mělo být charakteristické (Stevenson, 1990; Bompá, 2000; Perič, 2004; Dovalil et al. 2005; Kenney et al., 2015; Bahenský & Bunc, 2018):

- respektování individuálních dispozic každého běžce, jeho biologický věk, zkušenosti, délku a zaměření předchozí přípravy,
- zvýšený důraz na rozvoj techniky běhu v různých intenzitách, koordinace a maximální rychlosti,
- menší absolvovaný objem tréninkového zatížení než u dospělých, postupně narůstá k individuálním doporučeným hodnotám v dospělosti,
- nižší objem speciálního tempa a tempové vytrvalosti než u dospělých, jejich postupný nárůst v průběhu dospívání do předem definovaných cílových hodnot v dospělosti,
- je vhodné postupně rozvíjet tempovou rychlost,
- zpočátku rozvoj pouze obecné silové přípravy, od konce puberty postupný nárůst podílu specifické silové přípravy,
- zvýšený podíl obecné vytrvalosti k celkovému objemu tréninku, který se postupně snižuje,
- rozvoj intenzity na úrovni ANP pouze v menší míře, v kratších úsecích, v průběhu dospívání jejich využití narůstá, úseky se postupně prodlužují,
- postupné zkvalitňování regenerace s ohledem na nárůst absolvovaného zatížení,
- přednostně hodnotit změny výkonnosti a techniky, ne absolutní hodnotu výkonu.

Trénink dodržující uvedené zásady by měl vyústit v optimální a komplexní rozvoj předpokladů běžců, vrcholné výkonnosti by měli dosahovat v optimálním věku v dospělosti (Bahenský & Tlustý, 2020; Bahenský, 2021).

2.3.4 Genderové rozdíly v tréninku

Rozdíly ve výkonech dívek a chlapců se v období dospívání začínají zvyšovat s rostoucím věkem až do dospělosti (Armstrong & Welsman, 2019b). Názory, že některé sporty a disciplíny nejsou určeny pro ženy, jsou již překonány, včetně předsudků o nevhodnosti tréninku u žen. To se týkalo také většiny vytrvalostních běhů. V současné době je rozsah disciplín mužů a žen v atletice srovnatelný. Ani ve skladbě a objemu tréninkového procesu neexistují zásadní rozdíly mezi tréninkem mužů a žen. Vyskytují se jen určité rozdíly pramenící z fyziologických, morfologických a psychologických odlišností organismu žen a dívek, které je třeba vzít v úvahu při tvorbě tréninkového programu (Kenney et al., 2015):

- v období puberty dochází z důvodu hormonálních změn v dívčím organismu k rozkolísání výkonnosti a psychického rozpoložení,
- v období menstruace je potřeba k tréninku přistupovat individuálně,
- přístup trenéra k dívkám je z psychologického hlediska, zejména pro jejich větší citlivost, odlišný než k chlapcům,
- dívky a ženy mají odlišný přístup k vrcholovému sportu a tréninku,

- tréninkový proces je nezbytné přizpůsobit fyziologickým odlišnostem žen a mužů, zejména menší svalové síle a rozdílu v krevních parametrech žen,
- vyšší procento tuku u žen je jedním z výkonnostních znevýhodnění v běžeckých disciplínách.

Pokud se vezmou v úvahu výše uvedené odlišnosti ženského organismu, lze konstatovat, že tréninkový proces u žen je možné koncipovat velmi podobně tréninku mužů (Kenney et al., 2015; Powers & Howley, 2014).

2.3.5 Charakteristika vytrvalostního běžeckého výkonu

Běžecké disciplíny patří mezi lokomoční disciplíny, vycházející z přirozeného pohybu (Lehmann et al., 1991; Hanon & Thomas, 2011). Zahrnují střední (800 m a 1 500 m) a dlouhé tratě (3 000 m př. a delší), přičemž hraniční disciplínou v kategorii dospělých je 3 000 m př. U středních tratí je zatížení intenzivnější, z 55–65 % anaerobní, laktát po ukončení výkonu dosahuje u vrcholných závodníků hodnot 14–25 mmol·l⁻¹. U dlouhých tratí hraje větší roli vytrvalostní schopnost, aerobní zatížení je ze 75 % a více, laktát dosahuje 3–18 mmol·l⁻¹, v závislosti na délce disciplíny a úrovni a typu závodníka (Neumann et al., 2000; Bartůňková et al., 2013; Kenney et al., 2015). V tréninku ale převažuje u všech běžců aerobní zatížení. Poměr anaerobního režimu se v souvislosti se zlepšováním individuální výkonnosti na jednotlivých tratích postupně v průběhu vývoje zvyšuje (Neumann et al., 2005; Bartůňková et al., 2013; Powers & Howley, 2014; Kenney et al., 2015). Výkon v bězích na střední tratě je dán úrovní kondice, technikou a taktikou a jejich vzájemným propojením. S délkou tratě a klesající rychlostí běhu klesá délka kroku, snižuje se frekvence kroků a roste čas opory a čas letu (Písařík & Liška, 1985).

Vytrvalostní výkon je charakterizován také enormním psychickým vypětím. V tréninku a zejména v závěrečných fázích závodu hrají podstatnou roli morálně volní vlastnosti, proto je potřeba se i těmito vlastnostem věnovat v tréninku (Noakes, 2003). Vedle kondičních a taktických schopností a dovedností často rozhodují závody právě morálně volní vlastnosti (Bompa, 2000; Noakes, 2003).

Úroveň sportovní výkonnosti v bězích na střední a dlouhé tratě je závislá na efektivitě a hospodárnosti jednotlivých systémů, které zabezpečují energetické krytí výkonu (Dovalil et al., 2005; Powers & Howley, 2014; Kenney et al., 2015). V závislosti na energetických požadavcích jednotlivých disciplín se podílí na pokrytí energetických nároků jednotlivé zdroje metabolického krytí, které mají časovou posloupnost. Mají postupný nástup, vzájemně se překrývají a doplňují (Neumann et al., 2000; Soumar et al., 2000; Máček & Radvanský, 2011; Bartůňková et al., 2013). Ve většině disciplín dominují aerobní procesy. Mezi podstatné předpoklady výkonu běžců na střední a dlouhé tratě tedy patří VO_{2max}, stav dýchací a oběhové soustavy a využití kyslíku ve tkáních. Aerobní výkon běžce je tedy vymezen schopností uvolňovat energie za přísunu kyslíku a je funkčně ovlivněn i respirační úrovní. Charakter výkonu je odlišný na jednotlivých tratích, stejně tak poměr aerobních a anaerobních procesů (Enoksen et al., 2011). U vytrvalců světové úrovně je dosažení vysoké hodnoty VO_{2max} nezbytné (blíže popsáno v kapitole 2.5.1).

2.3.6 Závodní výkon a periodizace

Doba trvání závodního výkonu je od méně než 2 minuty v běhu na 800 m až po více než 2 hodiny u maratónské trati. V souvislosti s tím se liší i náročnost podaného výkonu a délka regenerace po výkonu. Proto mohou běžci na 800 m absolvovat za rok i více než 20 závodů a maratónští běžci 2–4 závody. Vhodný počet závodů za sezónu je dán několika faktory (Písařík & Liška, 1985; Bureš, 1986; Kučera & Truksa, 2000; Noakes, 2003):

- věkem závodníka,
- úrovní trénovanosti,
- délkou závodní tratě.

Závodní sezóna je v našich podmínkách rozložena nerovnoměrně, hlavní sezóna trvá zpravidla od května do začátku července, druhá část sezóny probíhá v srpnu a září. Halová sezóna trvá od ledna do začátku března, někteří běžci se ještě účastní krosové sezóny, která probíhá převážně v listopadu, prosinci a v březnu. Závodníci společně s trenéry volí jednovrcholový či dvouvrcholový roční tréninkový cyklus, výjimečně sezónu s třemi vrcholy (Kučera & Truksa, 2000). Podle toho je zorganizován roční tréninkový cyklus, v tabulce 1 je uveden příklad ročního tréninkového cyklu závodníků účastnících se halové sezóny i obou vrcholů v letní sezóně, se začátkem přípravy na začátku října. V každém období je rozdílná tréninková náplň, liší se jak v obsahu, tak v objemu tréninkového zatížení. Také se v různých obdobích používá jiný poměr jednotlivých tréninkových metod a prostředků. To je podstatné při analýze změny respiračních parametrů a aktuální výkonnostní úrovně (Písařík & Liška, 1985; Kučera & Truksa, 2000; Bahenský & Bunc, 2018).

Tabulka 1.

Příklad ročního tréninkového cyklu závodníků se 3 vrcholy (upraveno dle Kučery & Truksy, 2000, s. 65–66; Bahenský & Bunc, 2018, s. 49)

délka	období
2–3 týdny	přechodné období
10–12 týdnů	1. přípravné období – všeobecný rozvoj
4–6 týdnů	2. přípravné období – speciální rozvoj
3–5 týdnů	1. (halové) závodní období
1 týden	odpočinek
6–8 týdnů	3. přípravné období – všeobecný rozvoj
5–6 týdnů	4. přípravné období – speciální rozvoj
3 týdny	předzávodní období
5–7 týdnů	2. závodní období
3–5 týdnů	5. přípravné období – letní přípravné období
cca 3–6 týdnů	3. závodní období

Každé období ročního tréninkového cyklu má svůj nezastupitelný význam. Délka každého období se může měnit v závislosti na stupni individuálního rozvoje každého závodníka (Písařík & Liška, 1985; Bureš, 1986; Kučera & Truksa, 2000). Roční tréninkový cyklus se dále dělí na měsíční a týdenní cykly, na této úrovni má periodizace zatížení vlnovitý charakter, kdy se střídají náročnější a méně náročné (Neumann et al., 2000; Dovalil et al., 2005; Reuter, 2012; Daniels, 2013; Bahenský & Bunc, 2018). V jarním a podzimním přípravném období je často

zařazován tréninkový kemp ve vyšší nadmořské výšce, elitní závodníci jej zařazují i v předzávodním období (Levine & Stray-Gundersen, 1997; Suchý, 2012; Bahenský & Grosicki, 2021)

Úspěšnost či neúspěšnost sezóny je dána úspěšností závodního období, proto je velmi důležitá otázka načasování. Tréninkové zatížení je vždy před závodním obdobím upraveno tak, aby byl běžec schopen podat individuálně co nejlepší výkon. K tomu slouží výrazné snížení objemu v tomto období, individuální úprava intenzity a skladby tréninku (Bompa, 2000; Bosquet et al., 2007; Mujika, 2010; Reuter, 2012; Powers & Howley, 2014). Podstatnou roli při závodech hraje také zvládání stresových situací (Malina, 2010). Pokud dojde k úspěšnému načasování formy, dochází v organismu k těmto změnám, které jsou cílem tréninkového procesu (Bosquet et al., 2007; Mujika, 2010; Powers & Howley, 2014):

- zlepšení VO_{2max} a jeho využití,
- zlepšení ekonomiky běhu,
- zlepšení silových předpokladů,
- navýšení energetických zásob (množství svalového glykogenu),
- zvýšení enzymatické aktivity,
- zvýšení hladiny testosteronu,
- zvýšení objemu mitochondrií,
- zvýšení vytrvalostních schopností.

2.3.7 Možnosti ovlivnění výkonnosti v běžeckých disciplínách

Výkon lze prostřednictvím tréninku ovlivnit v každém věku, i když v různé míře. Nejlépe lze výkon ovlivnit v průběhu dospívání a v průběhu senzitivních období. Trénink je ovlivněn mnoha proměnnými, ale v mládežnickém věku není aktuální výkon hlavním cílem tréninkového procesu. V tomto věku je cílem realizovat takový trénink, který umožní podat vrcholný výkon v dospělosti. Při optimální koncepci tréninku dosahují sportovci nejlepších výkonů až v dospělosti (Hofmann & Schneider, 1985; Malina, 1993; Bahenský & Bunc, 2018). Optimální věk vrcholné výkonnosti je u běžců na středních tratích 24–26 let a 26–30 let u vytrvalostních disciplín, je třeba ale přihlídnout k individuálním zvláštnostem ohledně sportovní úrovně na začátku tréninkového procesu a na případné akceleraci či retardaci fyzického vývoje. (Malina et al., 2004; Bahenský & Bunc, 2018; Bahenský & Tlustý, 2020; Bahenský, 2021).

Aby byl trénink v bězích na střední a dlouhé tratě efektivní, je třeba dodržovat tyto tréninkové principy (Pfützner, 1990; Neumann et al., 2000; Bahenský & Bunc, 2018):

- princip optimálního načasování,
- princip zvyšování podílu specializace,
- princip orientace sportovního tréninku na stanovený výkonnostní cíl a jeho strukturu,
- princip cykličnosti a periodizace,
- princip důslednosti a koordinace v rozvoji výkonnostních předpokladů,
- princip důrazu a kontinuity,
- princip postupného nárůstu zatížení,
- princip permanentní kontroly.

Pokud je to možné, zařazují běžci do svého ročního tréninkového cyklu několik tréninkových kempů. Protože se na soustředěních mohou koncentrovat jen na trénink a regeneraci, lze navýšit tréninkové dávky. Při vhodné skladbě tréninkového zatížení na soustředění dochází k navýšení výkonnosti (Levine & Stray-Gundersen, 1997; Bahenský & Grosicki, 2021). Ve vytrvalostních disciplínách je výhodou absolvovat tréninkové kempy ve vyšší nadmořské výšce.

Trénink je zvláštní typ adaptace. Na začátku sportovní kariéry je absolvované tréninkové zatížení velmi nízké, postupně se navyšuje. V mládežnickém věku by měla být stále v tréninkovém procesu rezerva, postupně dochází k navyšování objemu, intenzity i poměrného zastoupení specifických tréninkových prostředků. Každý jedinec se jednou dostane na hranici svých tréninkových možností. Čím více se sportovec blíží své limitní výkonnosti, tím větší tréninkové zatížení potřebuje absolvovat. Každý sportovec má nějaké slabší místo, které jej může limitovat (Kučera & Truksa, 2000; Noakes, 2003). Proto je potřeba předcházet zdravotním problémům. Pro předcházení zraněním je vhodné provádět kompenzační cvičení pro správnou funkci všech svalů, včetně správného držení těla, využívat regenerační procedury. Pro předcházení respiračním nemocem sportovci využívají saunu, otužování, stravu bohatou na vitamíny a vyvážený příjem minerálů, ... (Kučera & Truksa, 2000; Neumann et al., 2000; Noakes, 2003). Pro optimalizaci tréninkového procesu je důležité plánování, tréninkové plány jsou od makrocyclů po mikrocyclů. Roční tréninkový plán je zpravidla rámcový, týdenní plány jsou propracovány dopodrobna (Neumann et al., 2000; Dovalil et al., 2005; Reuter, 2012; Daniels, 2013).

Pro dosažení limitní výkonnosti je potřeba, aby byl organismus v optimálním stavu a všechny soustavy fungovaly efektivně. Pro běžce na střední a dlouhé tratě je podstatná funkce zejména soustavy svalové, opěrné, běhové a dýchací (Noakes, 2003; Máček & Radvanský, 2011; Heller, 2018; Várnay et al., 2020). Přičemž ekonomické dýchání může přímo ovlivnit konečný výkon (Chaitow et al., 2002; Moodie et al., 2011; Faghy & Brown, 2019).

Podstatou růstu výkonnosti ve sportu je střídání zátěže a odpočinku. Pro růst výkonnosti od určité úrovně a věku je nezbytné realizovat odpovídající tréninkové zatížení, které je charakterizováno určitým objemem a intenzitou, roli také hraje délka systematického tréninku (Dovalil et al., 2005; Kenney et al., 2015; McArdle et al., 2016; Bahenský & Bunc, 2018). Každý trénink ovlivňuje výkonnost, opakované tréninkové podněty mohou výkon ovlivnit více a dlouhodoběji. Sportovní výkonnost se v průběhu roku vyvíjí, z dlouhodobého pohledu je cílem, aby rostla. Nelze však dosáhnout kontinuálního růstu výkonnosti v průběhu celého ročního tréninkového cyklu. V určitých periodách, zejména v závodním období dochází k tzv. vyladění „sportovní formy“, což je dočasný nárůst výkonnosti. Po závodním období dochází k poklesu výkonnosti. Ta se nedá udržet po celou sezónu (Písařík & Liška, 1985; Písařík & Liška, 1989; Dovalil et al., 2005; Bahenský & Bunc, 2018).

2.3.8 Trénink ve vyšší nadmořské výšce

Každodenní trénink se podílí na rozvoji výkonnostní úrovně. Některé formy tréninku mají větší tréninkový efekt, patří mezi ně trénink ve vyšší nadmořské výšce. Vysokohorská příprava nabývá na významu zejména od OH v Mexiku v roce 1968. Snahou běžců ze světové špičky je strávit ve vyšších nadmořských výškách co nejdelší dobu, či tam žít trvale (Suchý, 2012). I mezi běžci se vyskytují jedinci, kterým trénink ve vyšší nadmořské výšce nevyhovuje, ale jsou to

spíše výjimky (Chapman et al., 1998). Na trénink ve vyšší nadmořské výšce je potřeba si postupně zvykat, s každým dalším pobytem je aklimatizace rychlejší a snazší (Neumann et al., 2000; Suchý, 2012). Za optimální nadmořskou výšku pro trénink vytrvalců je považováno prostředí ve výšce okolo 2 000 m n. m. (Gore et al., 2001; Noakes, 2003; Wilber, 2004; Saunders et al., 2009). Někteří autoři doporučují tréninkové kempy i v nižší nadmořské výšce, i když proces krvetvorby je s menším efektem (Wachsmuth et al., 2013). Nižší nadmořské výšky se doporučují zejména pro adolescentní běžce a pro jedince, kteří zatím nemají zkušenost s tréninkem ve vyšší nadmořské výšce, jde o postupný návyk na trénink v těchto podmínkách (Pahud, 1986; Saltin et al., 1995; Buchheit et al., 2012; Bahenský & Suchý, 2015). U dospívajících běžců se doporučuje absolvovat tréninkové kempy nejdříve ve středohoří (v nadmořské výšce okolo 1 000–1 500 m) a postupně si zvykat na vyšší nadmořskou výšku (Bahenský & Malátová, 2018; Bahenský, 2021). Existují různé varianty tréninku ve vyšší nadmořské výšce, standardně se používají různé kombinace bydlení a tréninku v různých nadmořských výškách (Stray-Gundersen et al., 2001; Suchý, 2012; Bahenský & Grosicki, 2021). V praxi platí, že s nadmořskou výškou, ve které probíhá trénink, stoupá riziko přetrénování. Proto je nezbytné neustále přizpůsobovat tréninkové zatížení aktuálnímu stavu organismu (Fu et al., 2007; Suchý, 2012; Bahenský & Grosicki, 2021). Také se vyskytují jedinci, u nichž je snížená tolerance nadmořské výšky (Chapman et al., 1998).

Optimální délka tréninkového kempu je 3–4 týdny, případně déle, pokud je to z organizačních, finančních a sociálních důvodů možné (Levine & Stray-Gundersen, 1997; Heinicke et al., 2005). V současnosti je snaha běžců trávit ve vyšších nadmořských výškách co nejvíce času, někteří v těchto podmínkách žijí trvale (Suchý, 2012). Každý sportovec ale tuto možnost nemá, v praxi se používají i kratší tréninkové pobyty než 3–4 týdny. I pobyty o délce 2 týdny a kratší mají pozitivní efekt na sportovní výkonnost vytrvalostních sportovců a na jejich funkční a biochemické parametry. Efekt tohoto soustředění ale nedosahuje významu 3–4týdenního tréninkového kempu (Svedenhag et al., 1991; Suchý, 2012; Bahenský & Suchý, 2015; Suchý & Opočenský, 2015; Diebel et al., 2017).

První fáze aklimatizace po příjezdu do vyšší nadmořské výšky trvá \pm 5 dnů (Dovalil et al., 2005; Suchý, 2012). Její délka je individuální a souvisí také se zkušeností každého běžce. Při opakovaných pobytech ve vyšší nadmořské výšce dochází k rychlejší aklimatizaci (Neumann et al., 2000). Ve fázi aklimatizace je třeba snížit intenzitu a objem tréninku. Postupně lze intenzitu a objem zatížení zvyšovat, zhruba od 12.–21. dne lze trénovat srovnatelně s tréninkem v nížině.

Největším benefitem vysokohorské přípravy je nárůst transportní kapacity krve pro kyslík. Tyto změny ve složení krve umožňují zvýšení aerobního výkonu – hodnoty VO_{2max} (Dill & Adams, 1971; Marconi et al., 2006; Maciejczyk et al., 2012). V průběhu vysokohorské přípravy by měl převažovat trénink nízké intenzity. Ten sice nemá významný vliv na hodnoty VO_{2max} (Neumann et al., 2000), ale dokáže ovlivnit finální výkon také, a to prostřednictvím ekonomiky pohybu (Saunders et al., 2004a; Bunc, 2012). Pohyb v kopcovitém terénu, který ve vysokohorském prostředí převažuje, zvyšuje sílu dolních končetin, ta má vliv na ekonomiku pohybu (Millet et al., 2002). Načasování vysokohorské přípravy je v našich podmínkách nejčastěji v podzimním přípravném období a v jarním přípravném období. Někteří běžci ještě absolvují kemp před vrcholným závodem s návratem cca 21 dnů před soutěží, ale termín návratu je individuální (Popov, 1994; Suslov, 1994; Wachsmuth et al., 2013).

2.3.9 Diagnostika v běžeckých disciplínách

Diagnostika je ve sportu hojně využívána. Jejím cílem je zejména hledání slabých a silných míst jedince, zjištění možností jejich ovlivnění. Slouží mj. k hodnocení morfologických a fyziologických předpokladů, diagnostice talentů, monitoringu sportovního vývoje, určení stupně zralosti, zjištění aktuálního stavu trénovanosti (Bunc, 1989, 2012, 2013; Neumann et al., 2000; Měkota & Cuberek, 2007). Testují se obecné předpoklady, ale čím je větší specifčnost testu, tím je test více vypovídající (Barker & Armstrong, 2011). Pro hodnocení kondičních předpokladů a jejich změn v důsledku aplikovaného tréninku se využívá přednostně kvantitativní diagnostika. Své místo má ale i diagnostika kvalitativní, zejména u mladých sportovců, využití má i u vrcholových sportovců (Bunc, 2012; Bahenský & Bunc, 2018). Používá se jak laboratorní či terénní testování, také testování invazivní či neinvazivní. Diagnostika je nezbytný předpoklad individualizace tréninku (Bunc, 2009; Bunc, 2012; Bahenský & Bunc, 2018).

Každý sportovec má své limity, úroveň determinace je dána geneticky a také absolvovaným tréninkem. Nevhodně zvolený trénink v období adolescence může snižovat potenciál sportovce. Pro závodníky a trenéry je průběžná objektivizace aktuálního stavu organismu během ročního tréninkového cyklu velmi důležitým předpokladem pro zefektivnění tréninkového procesu. To je možné za předpokladu, že jsou také monitorovány absolvované tréninky. To je předpoklad pro hodnocení vztahů mezi absolvovaným tréninkem a dosaženou úrovní trénovanosti (Bunc et al., 1992; Bunc, 2006, 2012; Bahenský & Bunc, 2018). Pro posuzování účinnosti aplikovaného tréninkového zatížení je zásadní sledování a hodnocení průběžné dynamiky růstu trénovanosti a sportovní výkonnosti. Kontrola stavu trénovanosti a kontrola zdravotního stavu je důležitým prvkem při řízení sportovního tréninku. Umožňuje posoudit účinky tréninkového procesu na sportovce a plní roli zpětné vazby (Bunc, 1989; Benson & Connolly, 2011; Bahenský & Bunc, 2018).

Při testování určitého parametru je vhodné specifický test provádět v době, kdy vrcholí rozvoj příslušné pohybové složky. Optimální test se vyznačuje jednoduchostí, reliabilitou, validitou, snadným vyhodnocením, je bez přehnaných nároků na psychiku. Je důležité dodržet obecné zásady pro srovnatelnost testů: testování ve stejných podmínkách, ve stejnou dobu, dodržení stejného designu testu a dodržení stejného režimu běžců před testem. K lepší objektivizaci testů může přispět i biochemické vyšetření a subjektivní hodnocení běžce (Daniels, 2013). U běžců na střední a dlouhé tratě jsou nejčastěji testovány jednotlivé vytrvalostní předpoklady, ale také silové a rychlostní předpoklady, úroveň odrazové síly a další (Daniels, 2013; Bahenský & Bunc, 2018).

Pro testování lze využít laboratorní či terénní testy, přičemž obě skupiny mají své výhody a nevýhody. Výhodou laboratorních testů je přesné stanovení zátěže, stabilní vnější podmínky při testování a možnost sledovat více parametrů. Nevýhodou je určitá možná odlišnost od reálných podmínek a reálného pohybového stereotypu, i když tuto odlišnost lze minimalizovat použitím specifického ergometru (Bunc, 1989; Powers & Howley, 2014; Bahenský & Bunc, 2018; Marko et al., 2022a). Při terénních testech je výhodou, že testovaný pohybový stereotyp je totožný s pohybovým stereotypem při vlastním výkonu, že testování probíhá přímo na sportovišti a v reálných podmínkách. Nevýhodou může být proměnlivost vnějších podmínek (Bunc, 1989; Měkota & Novosad, 2005; Bahenský & Bunc, 2018).

V běžecké komunitě se rutinně měří somatické parametry (výška, hmotnost, složení těla, BMI, ...) a mezi všeobecně nejpoužívanější patří testy na zjištění VO_{2max} a zjištění laktátových prahů. Vysoká hodnota VO_{2max} je nejdůležitějším, ale ne jediným předpokladem pro vysokou výkonnostní úroveň ve vytrvalostních disciplínách. Existuje ale souvislost mezi výkonnostní úrovní běžců na střední a dlouhé tratě a jejich VO_{2max} . Proto je zjištění této hodnoty zásadní v diagnostice v běžeckých disciplínách. Použití ostatních testů záleží mj. na cíli, analýze stavu, aktuálním stavu jedince, na možnostech. Je potřeba ale vždy porovnávat výsledky naměřené na stejných přístrojích (Bassett & Howley, 2000; Bunc, 2013; Bahenský & Bunc, 2018).

Shrnutí kapitoly: Vytrvalostní výkonnost je dána geneticky a ovlivnitelná tréninkem. Podstatné v diagnostice je odlišení vlivu vrozených dispozic a vlivu aplikovaného tréninku. Ovlivnitelné jsou zejména fyziologické parametry. Důležité je zvolit vhodné tréninkové zatížení, které odpovídá předpokladům jedince, je přiměřené jeho věku a dispozicím. To je možné zjistit prostřednictvím diagnostiky, která je nezbytným předpokladem individualizace tréninku. Důležité je zvolit vhodnou formu diagnostiky. Trénink mládeže je odlišný od tréninku dospělých, u dívek je potřeba trénink přizpůsobit jejich fyziologickým potřebám. Tréninkový objem, intenzita a použité tréninkové prostředky se u běžců v průběhu roku mění, proto se mohou měnit i úrovně jednotlivých parametrů. Přesto v tréninku převažuje aerobní zátěž. Vrchol přípravy je zpravidla realizován ve vyšší nadmořské výšce, která je pro tyto účely využívána několikrát ročně, v závislosti na výkonnostní úrovni. Ve vyšší nadmořské výšce dochází prostřednictvím změny mj. respiračních parametrů ke zlepšení výkonnostní úrovně.

2.4 Význam dýchání při intenzivním pohybovém zatížení

Jak již bylo popsáno výše, na vytrvalostní výkon, při kterém je uvolňována energie za přísunu kyslíku, má významný vliv respirační systém (Åstrand & Rodahl, 1986; Bunc, 1989; Dengel et al., 1989; O'Toole & Douglas, 1995; Enoksen et al., 2011; Armstrong, 2019). Dýchání je v běžném životě mimovolní činnost, které většinou nevěnujeme žádnou pozornost. Dýchací svaly se účastní i na držení těla, dýchání je tedy spojeno s posturou, také s napětím svalů (Hodges et al., 1997; Hodges & Gandevia, 2000; Chaitow et al., 2002). Do dechového vzoru se mj. promítá aktuální stav jedince, prodělaná onemocnění a zranění, svalový tonus. Kvalita dýchání má vliv na náš každodenní život, o to větší je jeho vliv na sportovní, zejména vytrvalostní aktivity. Jedním z důvodů je energetická náročnost dýchání. Hodnocení dýchání ve vytrvalostních sportech má opodstatnění, protože má přímou souvislost s úrovní výkonu, dýchací systém je determinantem vytrvalostního výkonu (Neumann et al., 2000; Amann, 2012).

2.4.1 Ekonomika dýchání

Ekonomika dýchání má souvislost s výkonem ve vytrvalostních sportech. Existuje souvislost mezi ekonomikou dýchání a zásobením pracujících svalů kyslíkem (Dominelli et al., 2017). Výměna plynů při běžných aktivitách je zajištěna a koordinována inspiračními a expiračními procesy, jejichž součástí je synchronizovaný pohyb bránice, břicha, dolní a horní části hrudníku (Chaitow et al., 2002; Kaminoff, 2006; Reuter, 2012; Yuan et al., 2013). V klidu je dýchání zajištěno expanzí dolní části hrudníku a předozadním pohybem hrudníku. Tyto pohyby jsou umožněny bránicí a mezižebními svaly (Kaminoff, 2006; Reuter, 2012; Yuan et al., 2013; Hof, 2016; Carney, 2017).

Dýchací svaly v klidu spotřebovávají cca 2–5 % celkové spotřeby kyslíku. Při intenzivním zatížení dochází k několikanásobnému navýšení spotřeby energie dýchacími svaly. U trénovaných sportovců činí spotřeba energie dýchacími svaly cca 10 % celkové spotřeby energie. Při vysoké intenzitě zatížení, kdy dochází k nadměrnému zapojení horní části hrudníku do dechového vzoru, může spotřeba kyslíku dýchacími svaly představovat více než 11 % spotřeby kyslíku celého těla (McArdle et al., 2016; Bahenský et al., 2020; Bahenský et al., 2021). Nadměrné zapojení horní části hrudníku do dýchání, ke kterému může docházet při vysokém zatížení, představuje neefektivní dýchání (Hof, 2016; Di Paco et al., 2017).

2.4.2 Dechový vzor

Vlivem aktuálního životního stylu dochází v dechovém vzoru k nežádoucím změnám. Na základě realizovaných šetření se předpokládá, že v důsledku maladaptací je dysfunkční dýchání stále častější, s očekávanou prevalencí mezi 60–80 % u jinak zdravých dospělých (Malátová et al. 2017; Russo et al., 2017). K hodnocení kvality dechového vzoru je možno využít různé metody, mj. palpační, měření obvodu hrudníku, dynamometrie dýchacích svalů, optoelektronickou pletysmografii, skiagram hrudníku, spirometrii či další přístroje na měření změn jednotlivých segmentů: trupu, břišní, dolní hrudní a horní hrudní (Cahalin, 2004; Bockenbauer et al., 2007; Malátová et al., 2007; Malátová et al., 2008; Kaneko & Horie, 2012; Pessoa et al., 2014; Bahenský et al., 2020; Bahenský et al., 2021).

Dechový vzor a zapojení dýchacích svalů je odlišné v klidu a při různých intenzitách zátěže, je ovlivněné intenzitou zátěže a únavou dýchacích svalů (Mador & Acevedo, 1991). V klidu je bránice zodpovědná za 60–70 % dechové práce (Kolář et al., 2009; Gilbert et al., 2014; Bahenský et al., 2019) a zajišťuje dvě třetiny vitální kapacity plic. Při pohybu by jednotlivé dechové sektory měly být zapojeny vyrovnaně do dýchacích pohybů (Kolář et al., 2009).

Vyskytují se interindividuální rozdíly v zapojení jednotlivých sektorů do dechového vzoru (Benchetrit, 2000), ale není prezentováno dostatek systematických studií řešících tuto problematiku (Clifton-Smith, 2014). V poslední době se však zkoumání změn dechového vzoru při fyzické aktivitě různé intenzity včetně té intenzivní, a jeho vlivu na výkon, dostává do popředí zájmu (Hodges et al., 2001; Clifton-Smith, 2014). Při stoupajícím zatížení bylo zaznamenáno stoupající zapojení horního hrudního sektoru do dýchání, při velmi intenzivní zátěži převyšuje 50 % podíl v zapojení dechových sektorů, zejména na úkor břišního sektoru (Bahenský et al., 2021). U jedinců s dysfunkčním dýcháním je narušena kontrola motorických funkcí a negativně ovlivněn fyzický výkon i díky většímu energetickému výdeji (Weavil & Amann, 2019).

2.4.3 Možnosti ovlivnění dechového vzoru

Dechový vzor je možné měnit, což může mít vliv na ekonomiku dýchání a zprostředkovaně na vytrvalostní výkon (McArdle et al., 2016; Bahenský et al., 2020; Bahenský et al., 2021). Existují možnosti ovlivnění kvality dechového vzoru prostřednictvím intervenčních programů. Pokud dojde u jedinců s poruchou dechového vzoru ke zvýšení zapojení bráničního dýchání, zvýší se účinnost ventilace, může dojít ke snížení dušnosti a ke zlepšení tolerance zátěže (Kisner & Colby, 2007; Verges et al., 2007; Hruzevych et al., 2017; Szczepan et al., 2020). Benefity z případného zlepšení dechového vzoru ve formě zlepšení

sportovního výkonu jsou velkou motivací pro sportovce a jejich týmy (Aliverti, 2016; Faghy & Brown, 2019; Hinde et al., 2020). V důsledku změny dechového vzoru dochází i ke změně respiračních parametrů (VT a BF) a tím i ekonomiky dýchání (Malátová et al., 2008; Bahenský et al., 2021; Hamdouni et al., 2021).

Je popsáno několik typů intervencí, prostřednictvím kterých lze změnit dechový vzor (Sonetti et al., 2001; Illi et al., 2012; Ramli et al., 2023). Podstatou všech je specifický trénink dýchacích svalů (Göhl, et al. 2016). Mezi nejčastěji používané techniky patří dýchání s odporem, trénink tlakového prahu, normokapnická hyperpnoe, terapie zpěvem a kombinovaná cvičení, ... Při odporovém tréninku účastníci vdechovali nebo vydechovali proměnnou velikostí nebo průměrem otvoru, který funguje jako odpor. Tato technika omezuje dostupné proudění vzduchu, a proto zvyšuje ventilační zátěž. Změny respirační aktivity vlivem posilování dýchacích svalů může zmírnit riziko onemocnění, ale i zlepšit výkon při cvičení (Moodie et al., 2011; Faghy & Brown, 2019). Některé popsané intervence jsou založeny na dechových cvičeních pramenících z jógy. Tato cvičení procvičují plný dech a také individuálně jednotlivé dechové segmenty (Bahenský et al., 2021).

Shrnutí kapitoly: Dýchání ve vytrvalostním sportu hraje významnou roli. Podílí se na přísunu kyslíku, nezbytného pro vytrvalostní práci. Na výkon má vliv i kvalita dýchání, ekonomičtější dýchání zajistí více energie pro samotný pohyb. Až 10 % celkové energie je třeba na zajištění svalů při maximální intenzitě zatížení. Při ekonomickém dýchání je významně zapojena bránice jako hlavní dýchací sval. Dechový vzor je možné ovlivnit, má souvislost i s vybranými respiračními parametry (mj. VT, BF), které také souvisejí s ekonomikou dýchání. Změnu dechového vzoru lze dosáhnout různými intervencemi, mj. různými dechovými intervencemi. Nejprobádanější je trénink dýchacích svalů (Ramli et al., 2023).

2.5 Respirační parametry

Respirační parametry mají souvislost s vytrvalostními předpoklady pro aerobní výkon. Aerobní výkon je determinován množstvím přijatého kyslíku, ten má souvislost s dalšími respiračními parametry. Monitoring respiračních parametrů může ukázat vliv tréninku na tyto parametry a zprostředkovaně na výkonnost atletů (Neumann et al., 2000; Bahenský & Grosicki, 2021).

Laboratorní testování vytrvalosti sportovců má více než stoletou historii (Seiler, 2011). K modernímu testování vytrvalosti vedly dvě cesty (Seiler, 2011):

- použití výkonu sportovce k lepšímu porozumění fyziologie člověka,
- použití fyziologie člověka k lepšímu porozumění, jak trénovat sportovce.

Test spiroergometrie označovaný také jako CPX či CPET (*cardiopulmonary exercise testing*) se provádí zpravidla v laboratoři, ale lze jej provádět i v terénu. V laboratoři se využívá bicyklový nebo běžecký ergometr, případně klikový ergometr (Placheta et al., 1996; Várnay et al., 2020). Existuje velké množství protokolů, základní varianty jsou rampové či stupňové, případně jejich kombinace. Mohou být kontinuální, s přestávkami či kombinované. U stupňových může trvat daný stupeň různě dlouho, také existuje mnoho variant vzestupu zátěže. Optimálně test trvá 8–12 minut (Heller, 2018; Várnay et al., 2020). Pro reliabilitu a validitu testu je potřeba dodržet některé zásady před testem (Placheta et al., 1996; Heller, 2018; Várnay et al., 2020):

- nejíst cca 2 hod před výkonem,
- cca 12 hod před testem nepít alkohol,
- dodržet den volna nebo volnějšího režimu před testem
- dodržení stálé teploty a klimatu v laboratoři,
- vhodné oblečení a obutí,
- dodržení standardního protokolu,
- standardní rozcvičení.

Test je ukončen testovanou osobou, v momentě subjektivního maxima, kdy již není schopen pokračovat v testu. Test také může být ukončen v průběhu testování z důvodů subjektivních či objektivních problémů (Heller, 2018; Várnay et al., 2020).

Lidský organismus je schopný adaptace na zátěžové podněty. To umožňuje zlepšování funkcí lidského organismu, ale v případě inaktivity je tomu naopak. Pokud organismus dostává pravidelné podněty, dochází k adaptaci systémů a organismu. To je podstatou všech tréninkových procesů. Podstatné je, aby podněty byly dostatečně intenzivní, pravidelné, individuálně přiměřené a dlouhodobé. Protože většina denních činností trvá déle než 90 s, je měření a hodnocení příjmu kyslíku objektivním ukazatelem zdatnosti (Placheta et al., 1999; Kenney et al., 2015; Várnay et al., 2020). U sportovců i u běžné populace se při testu spiroergometrie sleduje několik respiračních parametrů, jejichž rozbořením a posouzením je možné stanovit úroveň zdatnosti jedince či úroveň dýchacího ústrojí (McArdle et al., 2016).

Při pravidelném použití testu spiroergometrie v průběhu přípravy sportovců lze využít výsledky k posouzení úrovně připravenosti a k objektivizaci energetických tréninkových zón, v důsledku toho k optimalizaci vytrvalostního tréninku. Při testu spiroergometrie je možné sledovat mnoho parametrů, mezi základní patří: maximální spotřeba kyslíku (VO_{2max}), tepový kyslík ($VO_2 \cdot SF^{-1}$), usilovná vitální kapacita (FVC), dechový objem (VT), dechová frekvence (BF), minutový ventilační objem (VE), index $VE \cdot VO_2^{-1}$, index $VE \cdot VCO_2^{-1}$, maximální dosažená srdeční frekvence (SF), ventilační práh 1 (VT1), ventilační práh 2 (VT2), výkon či rychlost běhu atd. (Várnay et al., 2020).

2.5.1 Maximální spotřeba kyslíku

Maximální spotřeba kyslíku (VO_{2max}) je udávána jako absolutní hodnota v $l \cdot min^{-1}$ nebo jako relativní hodnota, která je vztažena na kg hmotnosti, jednotkou je $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$. Jak již bylo uvedeno, VO_{2max} je základní, ale ne jediný, předpoklad vytrvalostního výkonu, což je potvrzeno řadou studií, které nacházejí vysoce signifikantní vztahy mezi spotřebou kyslíku vztaženou na kg hmotnosti (relativní VO_{2max}) a vytrvaleckým výkonem (v daném sportu a disciplíně). Existuje vztah spotřeby kyslíku a pohybový výkon (Åstrand & Rodahl, 1986; Bunc, 1989; Dengel et al., 1989; O'Toole & Douglas, 1995; Armstrong, 2019). Hodnota maximální spotřeby (resp. příjmu) kyslíku – VO_{2max} je také označována jako maximální aerobní kapacita. Je jedním z nejdůležitějších funkčních ukazatelů spiroergometrického vyšetření a základním ukazatelem vytrvalostní kondice u běžné populace i vytrvalostní výkonnosti u sportovců (Armstrong & Welsman, 2007; McArdle et al., 2016; Heller, 2018). Vysoká hodnota VO_{2max} je nezbytnou podmínkou pro dosažení úspěšného výkonu ve vytrvalostních disciplínách včetně běhů na střední a dlouhé tratě. Není však jediným faktorem ovlivňujícím konečný výkon, ten je ovlivněn ještě ekonomikou pohybu, schopností dostatečně dlouho pracovat na vysokých

procentech VO_{2max} , motivací atd. (Máček & Radvanský, 2011; Heller, 2018; Várnay et al., 2020). Nejvyšší dosažená hodnota spotřeby kyslíku v průběhu testu se označuje jako VO_{2peak} . Při splnění následujících podmínek lze dosaženou hodnotu označit jako VO_{2max} (Whipp, 2010; McArdle et al., 2016):

- dosažení plató ve spotřebě kyslíku,
- hodnota RER dosahuje hodnoty alespoň 1,10 u běžné populace, alespoň 1,15 u trénované populace mimo vytrvalců.

Výše jsou uvedena hlavní kritéria, často se uvádějí ještě pomocná kritéria (Jordan et al., 2010; McArdle et al., 2016; Heller, 2018):

- dosažení 90 % predikované SF_{max} ,
- dosažení hodnoty laktátu $8 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ a více, u trénovaných alespoň $10 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$,
- dosažení hodnoty vnímané námahy 17 na Borgově škále.

Limitní hodnoty VO_{2max}

Pokud nejsou splněny výše uvedené podmínky nebo jsou pochybnosti o jejich splnění, označuje se výsledná hodnota jako vrcholná spotřeba kyslíku (VO_{2peak}), což je v současnosti často používaný parametr (Heller, 2018; Welde et al., 2020). Aerobní procesy probíhající v organismu, jsou zajištěny přísunem kyslíku a příslušnými energetickými zdroji. Podílí se na nich dýchací a oběhová soustava, podstatné je také využití kyslíku ve tkáních. U vytrvalostních sportovců o výkonu rozhoduje schopnost uvolňování energie. Výkon je ovlivněn ventilací, tedy i hodnotou VO_{2max} a procentuální úrovní jeho využití. Vytrvalostně trénující sportovci dosahují hodnot $60 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ a více, maratónci a lyžaři $80\text{--}90 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$. Požadavky na hodnoty VO_{2max} u vrcholových sportovců se liší podle délky závodní tratě, u běžců na střední tratě jsou odlišné od vytrvalců (Enoksen et al., 2011).

Trénování běžci na střední a dlouhé tratě dosahují hodnot VO_{2max} $70\text{--}85 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, ženy $60\text{--}75 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$. U většiny světových vytrvalců mužů dosahují hodnoty VO_{2max} ještě vyšších hodnot, u mužů $80\text{--}84 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, někteří i vyšších (Kenney et al., 2015), u žen o $5\text{--}10 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ méně (Benson & Connolly, 2011; Kampmiller et al., 2012; Powers & Howley, 2014; Kenney et al., 2015; Heller, 2018). Běžci na střední tratě dosahují zpravidla o $8 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ nižších hodnot VO_{2max} , než vytrvalci (Svedenhag & Sjodin, 1984; Heller & Vodička, 2011; Powers & Howley, 2014). Hodnoty mládežnických běžců národní úrovně dosahují těchto hodnot: u běžců na střední tratě u juniorů $70 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, u juniorek $62 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, u vytrvalců u juniorů $75 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, u juniorek $66 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ (Bunc, 2013). Hodnoty VO_{2max} jsou tréninkem ovlivnitelné o cca 15–20 % (Heller, 1997; Kovářová et al., 2012; Powers & Howley, 2014), podle některých autorů až o 30 % (Kenney et al., 2015). Při hodnocení parametrů je potřeba brát v úvahu ergometr, na kterém byl test proveden. Vyšších hodnot je dosahováno na specifickém ergometru, na běhátku (Marko et al., 2022a). Hodnoty VO_{2max} se u běžné populace vyvíjejí v závislosti na dospívání, poté v souvislosti se stárnutím se v průběhu vývoje snižují. U běžné populace je situace zdokumentována (Neumann et al., 2000).

Platí ale, že vysoká hodnota VO_{2max} je nutná podmínka výkonu, ale není jediná. Úspěšný vytrvalec musí mít patřičnou hodnotu spotřeby, ale vysoká hodnota ještě neznamená i vysoký výkon (Neumann et al., 2000; Kyröläinen et al., 2001; Saunders et al., 2004; Jones, 2006; Heller & Vodička, 2011; Powers & Howley, 2014; Bahenský & Bunc, 2018).

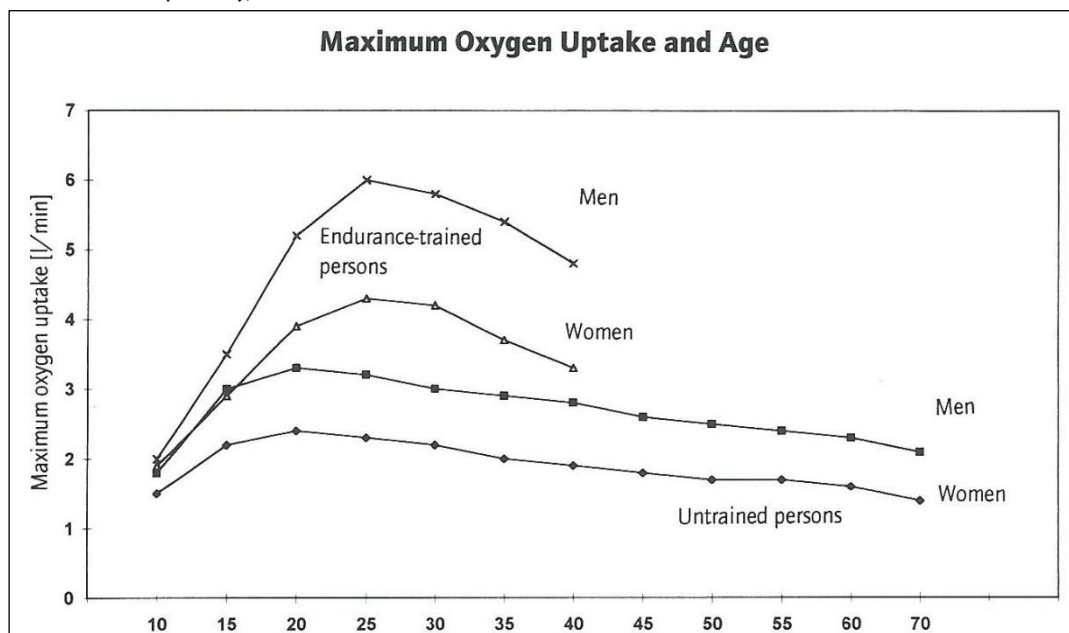
Vývoj hodnot VO_{2max} v průběhu dospívání

Absolutní hodnota VO_{2max} u nesportující populace narůstá v průběhu dospívání, zhruba od 20. roku věku začíná postupný pokles, viz obrázek 1 a 2. Ke stagnaci absolutních hodnot VO_{2max} u dívek dochází na konci puberty (Rowland et al., 1997; Bar-Or & Rowland, 2004; Máček & Radvanský, 2011; Armstrong & Welsman, 2019). Relativní hodnota VO_{2max} je u dětí na vysoké úrovni vzhledem k jejich nízké hmotnosti, nejvyšších hodnot dosahují nesportující jedinci okolo 18. roku věku, u mužů dosahuje v průměru $47 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, u žen $37 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ (Pastucha et al., 2014). Relativní hodnota VO_{2max} se od 12 let u nesportujících dívek snižuje, u chlapců od cca 10 let stagnuje (Seliger & Bartůnek, 1976; Daniels et al., 1978; Kenney et al., 2015), viz obrázek 4. Na tomto obrázku jsou vidět i intersexuální rozdíly v úrovni a průběhu hodnot. Zhruba od 5 let začínají relativní hodnoty VO_{2max} u chlapců převyšovat hodnoty u dívek. Do 12 let má křivka relativních hodnot VO_{2max} podobný průběh u dívek i u chlapců. Relativní hodnota VO_{2max} je u chlapců v mladším školním věku o 12 % vyšší než u dívek, na začátku puberty činí rozdíl cca 25 % a v 16 letech dosahují chlapci o 37 % vyšších hodnot než dívky (Bar-Or & Rowland, 2004; Máček & Radvanský, 2011; Armstrong & Welsman, 2019). Relativní hodnota VO_{2max} souvisí s výškou postavy (Bar-Or & Rowland, 2004). Lze konstatovat, že v průběhu dospívání u netréované populace dochází u chlapců ke stagnaci hodnot VO_{2max} , u dívek k jejímu poklesu (Bahenský & Bunc, 2018).

Jak je uvedeno na obrázku 1 (kapitola 2.1.1) a na obrázku 2 a 3, absolutní hodnoty VO_{2max} narůstají v průběhu dospívání. Po dosažení dospělosti dochází k poklesu VO_{2max} každých 10 let o 10 % (Pastucha et al., 2014).

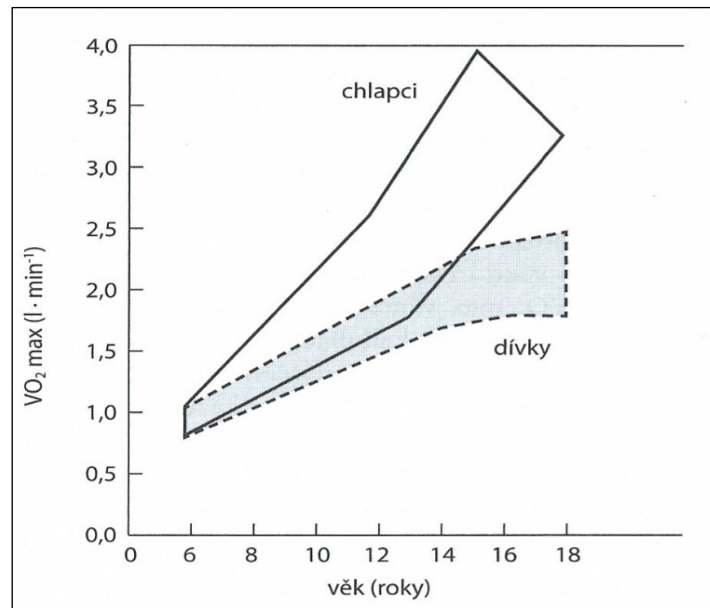
Obrázek 2.

Závislost absolutních hodnot VO_{2max} na věku u trénovaných a netréovaných jedinců podle Neumanna et al. (2000), s. 26



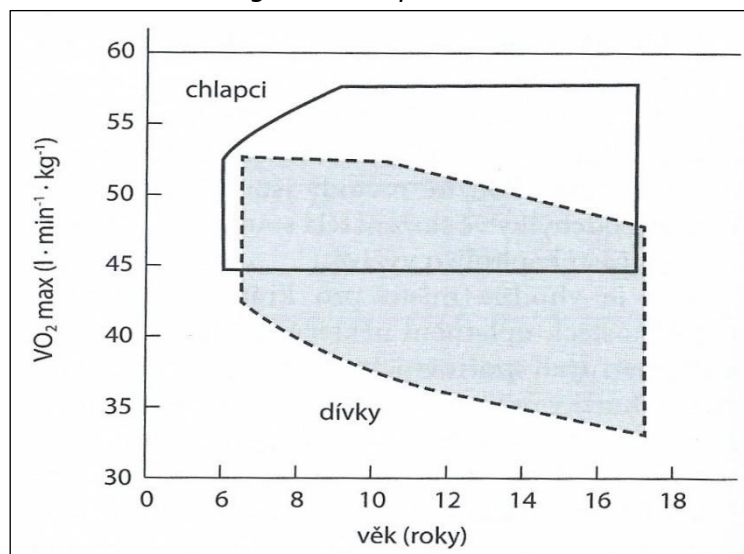
Obrázek 3.

Závislost absolutních hodnot VO_{2max} na věku podle Máčka & Radvanského (2011), s. 129



Obrázek 4.

Závislost relativních hodnot $VO_{2max} \cdot kg^{-1}$ na věku podle Máčka & Radvanského (2011), s. 130



Existují studie (Welde et al., 2020) zabývající se popisem longitudinální trendů VO_{2max} u nespportujících adolescentů (14–19 let). U 116 norských adolescentů byly šestkrát ročně měřeny somatické parametry, VO_{2max} a úroveň pohybové aktivity (PA). Bylo zjištěno, že ve věku 14–17 dochází u chlapců k mírnému nárůstu relativní hodnoty VO_{2max} s vrcholem hodnot ve věku 17 let. U dívek nedocházelo k významným změnám ve věku 14–17 let. Mezi 17. a 19. rokem věku došlo ke snížení hodnot VO_{2max} u obou pohlaví. To je v souladu se závěry dalších studií (McMurray et al., 2002; Armstrong et al., 2011; Kemper et al., 2013; Nes et al., 2013). Také se ve sledovaném období (14–19 let věku) zvyšoval rozdíl v úrovni VO_{2peak} mezi pohlavími. Byl také prokázán vliv pohybové aktivity během dospívání na VO_{2max} a celkové zdraví organismu (Richards et al., 2009; Welde et al., 2020). Podobné výsledky byly prokázány

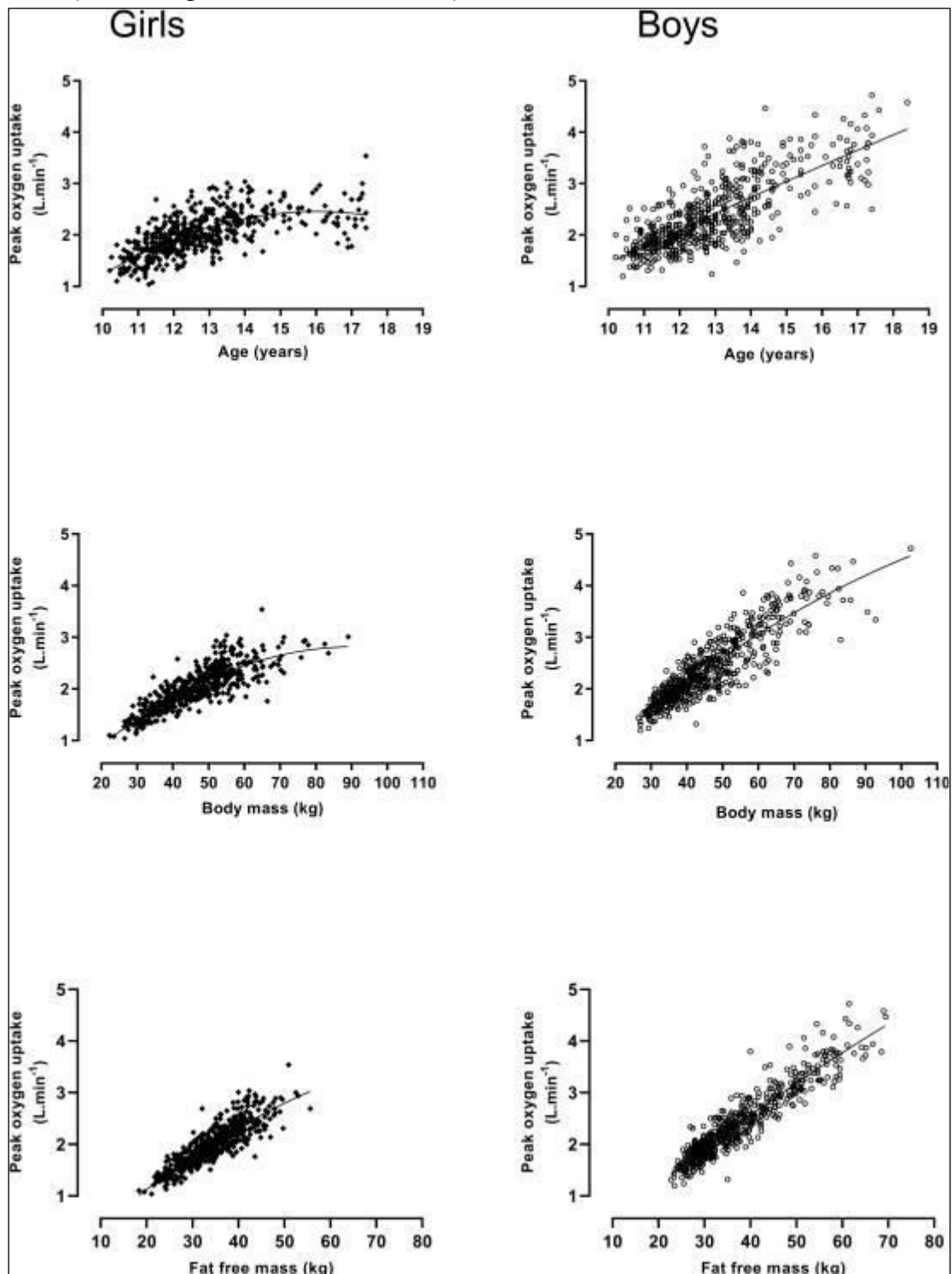
i v dalších studiích (Richards et al., 2009; Aires et al., 2011; Armstrong et al., 2011; Marta et al., 2012; Porter et al., 2017).

V některých studiích byla naopak zaznamenána stagnace či mírný pokles relativních hodnot VO_{2max} u běžné populace ve věku 14–17 let (McMurray et al., 2002; Kemper et al., 2013). Absolutní hodnota VO_{2max} se zvyšovala do 17 let. Mezi naměřenými hodnotami VO_{2max} u adolescentů jsou rozdíly, které pramení v použité metodice testování, typu ergometru a ve skladbě souboru účastníků. V některých norských a dánských studiích se hodnoty VO_{2max} pohybují v rozmezí 52–59 ml·kg⁻¹·min⁻¹ u chlapců a 40–49 ml·kg⁻¹·min⁻¹ u dívek (Andersen et al., 1987; Kolle et al., 2010; Nes et al., 2013). Ve studii Andersena et al. (1987), chlapci měli relativní hodnoty VO_{2max} o ~18 % vyšší než dívky. Výzkumy prokázaly zvýšení VO_{2max} v absolutních hodnotách (l·min⁻¹, ml·min⁻¹) u adolescentů do věku přibližně 14 let u dívek a do 17 let u chlapců (McMurray et al., 2002; Armstrong et al., 2011; Kemper et al., 2013). V některých výzkumech bylo zjištěno, že chlapci téměř zdvojnásobili mezi 11. a 17. rokem věku své absolutní hodnoty VO_{2max} , zatímco u dívek ve stejném věkovém rozmezí došlo ke zvýšení asi o 50 % (Armstrong et al., 2011).

Longitudinálních studií o vývoji zdatnosti dospívající populace je mnohem méně než studií krátkodobých, ale poskytují cenné údaje (Armstrong & McManus, 2011). Např. na základě testování VO_{2max} na běžeckém ergometru u 1 057 účastníků byla zjištěna významná korelace aerobní zdatnosti s věkem (u chlapců $r = 0,78$, u dívek $r = 0,64$), s tělesnou hmotností (u chlapců $r = 0,89$, u dívek $r = 0,83$) a s beztukou hmotou (u chlapců $r = 0,94$, u dívek $r = 0,87$) (Armstrong & Welsman, 2019b). Na obrázku 5 je zřetelné, že mezi 10. a 18. rokem věku dochází u chlapců k téměř lineárnímu nárůstu absolutních hodnot VO_{2max} . U dívek je tento nárůst jen do 13–14 let, pak nastává stagnace. U chlapců dochází za dobu sledování téměř ke zdvojnásobení naměřených hodnot, u dívek k 50% nárůstu. Ve vývoji hodnot VO_{2max} v průběhu vývoje jsou rozdílné u chlapců a u dívek (Rowland et al., 1997). Rozdíl mezi chlapci a dívkami narůstá z počátečních 12 % na počátku sledování v 10 letech na 50% rozdíl v 18 letech. Ve vztahu absolutní hodnoty VO_{2max} a tělesné hmotnosti dochází u dívek k závislosti téměř lineární pouze do 60 kg, u chlapců v celém spektru hmotnosti. Naproti tomu u vztahu VO_{2max} a beztukové hmoty se závislost blíží lineární u obou pohlaví. To platí pro běžnou populaci (Lolli et al., 2017; Armstrong & Welsman, 2019; Armstrong & Welsman, 2019b).

Obrázek 5.

VO_{2peak} kyslíku podle věku, tělesné hmotnosti a hmotnosti bez tuku u dívek a chlapců ve věku 10–18 let (Armstrong & Welsman, 2019, s. 4)



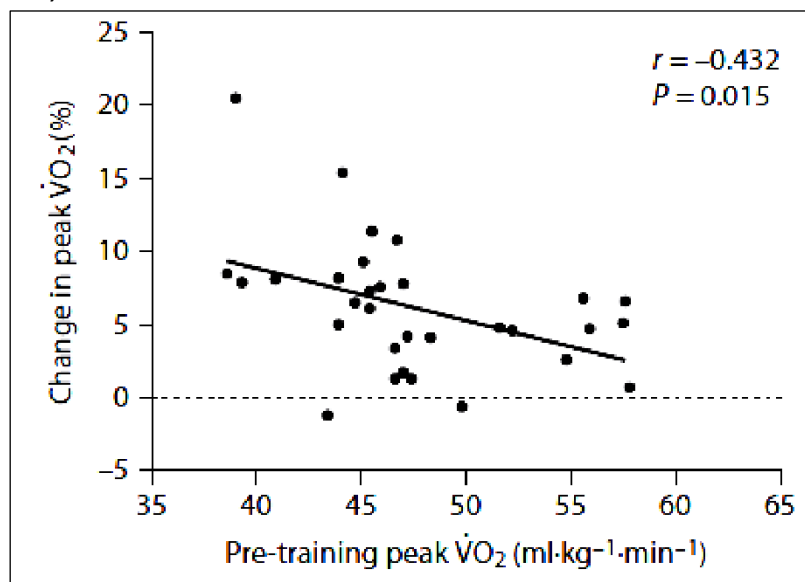
Podobné závěry byly publikovány i v dalších studiích (Šprynarová et al., 1987; Armstrong & Welsman, 2007). Např. u 11–18letých chlapců zaznamenali vztah mezi hodnotou VO_{2max} a tělesnou hmotností, beztukovou hmotou a nejméně i tělesnou výškou (Šprynarová et al., 1987).

Vliv pohybové aktivity na VO_{2max}

U sportující populace dochází k ovlivnění aerobní kondice, tedy hodnot VO_{2max} . Obsahem vytrvalostního tréninku (nejen) adolescentních atletů je strukturovaný cvičební program, který má dostatečnou intenzitu a frekvenci a trvá po dostatečně dlouhé období, aby došlo k žádoucím změnám. V jeho důsledku mají elitní adolescentní vytrvalostní sportovci vyšší VO_{2max} než jejich netrénovaní vrstevníci (Bouchard et al., 1981; Armstrong & Barker, 2011). Čím vyšší je vstupní hodnota VO_{2max} v momentě vstupu do tréninkového procesu, tím menších změn je dosaženo tréninkovým procesem, což je prezentováno na obrázku 6. S dalším vytrvalostním tréninkem, i v závislosti na biologickém věku a charakteru dalšího tréninku, tedy mohou zaznamenat elitní mladí sportovci menší nárůst VO_{2max} , než jejich netrénovaní vrstevníci (Armstrong & Barker, 2011).

Obrázek 6.

Vztah vstupních hodnot VO_{2max} a procentuálního zlepšení v důsledku tréninku (Armstrong & Barker, 2011, s. 76)



Existují studie, které se zabývaly změnou VO_{2max} u běžné populace adolescentů v průběhu pohybové intervence o délce 4–12 týdnů. Většina se zabývá chlapci, jen některé zkoumají i dívky. Obecně platí, že zlepšení v důsledku aerobního tréninku u adolescentní mládeže je v rozmezí 5–6 %, v závislosti na intenzitě, frekvenci tréninků a na délce intervence (Baquet et al., 2003). Jsou zaznamenány i studie s větším efektem tréninku, kdy došlo ke zlepšení VO_{2max} až o 9 % (Baquet et al., 2002). Podmínkou je zatížení na úrovni 80–85 % SF_{max} a více (Baquet et al., 2003; Landgraff et al., 2021). Nebyly zjištěny rozdíly ve zlepšení mezi závodníky různého věku v rozmezí 12–15 let (Landgraff et al., 2021).

Referenční hodnoty VO_{2max}

Normy VO_{2max} a další respiračních hodnot pro dospělé populaci jsou zpracovány podrobněji a rozsáhleji než pro děti a adolescenty (Matecki et al., 2001). Přesto existují normy pro adolescenty, se kterými lze naměřené hodnoty porovnávat (Cooper & Weiler-Ravell, 1984; Kroidl et al., 2014). V normách je třeba také zvážit úroveň zralosti (Beunen et al., 1997). Pro objektivní posouzení hodnot VO_{2max} je potřeba používat vždy stejný typ ergometru z pohledu

formy zatížení. Existují systémy s otevřeným a uzavřeným okruhem. Běžná populace dosahuje vyšších hodnot VO_{2max} na běžeckém ergometru než na bicyklovém, zhruba o 5–14 % (Hermansen & Saltin, 1969; Bunc, 2009; Máček & Radvanský, 2011; Armstrong & Welsman, 2019). Pro sportovce je potřeba použít ergometr v závislosti na specifičnosti pohybu. Pro běžce je optimální běžecký ergometr. Trénovaní adolescentní běžci dosahují na běžeckém ergometru přibližně o 7 % vyšších hodnot než na bicyklovém ergometru (Marko, 2020; Marko et al., 2022a), u některých studií byl prokázán ještě větší rozdíl (Armstrong & Welsman, 2019a).

2.5.2 Tepový kyslík

Hodnota tepového kyslíku ($VO_2 \cdot SF^{-1}$) vyjadřuje množství kyslíku, které se jedním úderem srdce (tepem) přenese prostřednictvím krevního oběhu do tkání, charakterizuje ekonomiku kardiorepiračního systému. Jeho jednotkou je množství O_2 vyjádřené v $ml \cdot tep^{-1}$. Jeho hodnota může být u zdravých osob považována za pomocný ukazatel hodnoty velikosti systolického objemu (SV). To platí za podmínky nepřítomnosti chronotropní inkompetence, což je neschopnost dosáhnout 85 % maxima srdeční frekvence. Za normálních okolností má křivka $VO_2 \cdot SF^{-1}$ a SV podobný průběh (Heller, 2018; Várnay et al., 2020). Hodnota $VO_2 \cdot SF^{-1}$ prezentuje úroveň kardiorepiračních funkcí organismu, je cenným ukazatelem fyzické zdatnosti a vytrvalostní výkonnosti. Je využívána jako kritérium efektivity kardiorepiračního systému (Heller, 2018).

Velikost tepového kyslíku je dána nejen hodnotou systolického objemu, ale také arterio-venózní diferencí. Jeho úroveň může ovlivnit i množství hemoglobinu. Vrcholová hodnota $VO_2 \cdot SF^{-1}$ odpovídá většinou hodnotě naměřené těsně před koncem testu, často na začátku plató zaznamenaném u hodnot VO_{2max} (Várnay et al., 2020). Klidové hodnoty dosahují přibližně $5 ml O_2 \cdot tep^{-1}$. U netrénovaných mužů dosahuje $VO_2 \cdot SF^{-1}$ maximálně 15–16 $ml O_2 \cdot tep^{-1}$, u netrénovaných žen 10–11 $ml O_2 \cdot tep^{-1}$. Trénovaní vytrvalostní sportovci-muži dosahují hodnot $VO_2 \cdot SF^{-1}$ 30–35 $ml O_2 \cdot tep^{-1}$, čím jsou zaznamenané hodnoty, vyšší tím je pro výkon lepší (Secher, 1983; Heller, 2018; Várnay et al., 2020). Stanovení referenčních hodnot $VO_2 \cdot SF^{-1}$ zohledňuje věk, pohlaví, hmotnost, výšku a tělesné složení.

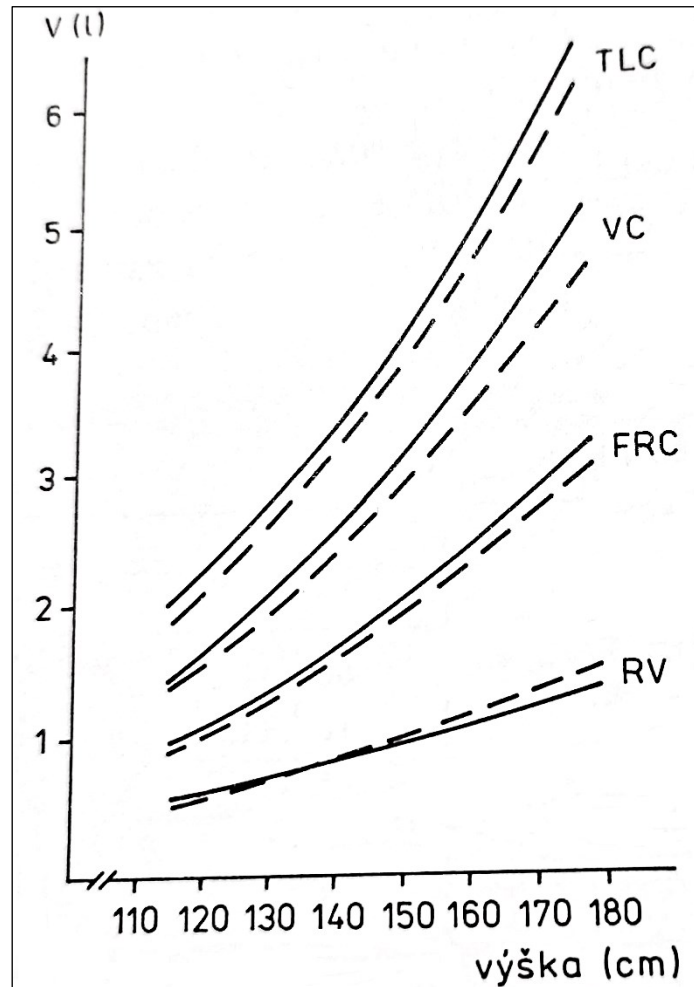
Zvýšení hodnot ($VO_2 \cdot SF^{-1}$) předpokládá zejména centrální adaptační mechanismy vedoucí ke zvýšení systolického a minutového objemu. Efektivně strukturovaný vytrvalostní trénink vede ke zvýšení hodnot ($VO_2 \cdot SF^{-1}$), jeho důsledkem je tzv. sportovní srdce (Kenney et al., 2015; Heller, 2018).

2.5.3 Usilovná vitální kapacita

Vitální kapacita (VC) i usilovná vitální kapacita (FVC) patří mezi statické plicní objemy. Rozdíl mezi nimi je v úsilí výdechu, hodnoty jsou zpravidla srovnatelné. Ve sportovní praxi se častěji využívá měření FVC (Bahenský et al., 2021a). V období 6–18 let, v souvislosti s růstem, dochází k jeho zvyšování, je závislá na tělesné výšce (Paleček, 1987). Hodnoty FVC u nesportující populace dosahuje hodnot 4,5–5 l u mužů, u žen 3,5–4 l. Vytrvalostní sportovci-muži disponují VC 6–8 l, ženy 4,5–6,5 l (Bartůňková et al., 2013; Bahenský et al., 2021a). Referenčními hodnotami se zabývají i čeští odborníci (Zapletal et al., 1985; Zapletal & Chalupova, 2003; Neumannová et al., 2019). Hodnoty FVC jsou závislé na výšce postavy, viz obrázek 7.

Obrázek 7.

Vztah výšky postavy a statických plicních objemů ve věku 6–18 let u chlapců (plná čára) a u dívek (přerušovaná čára), (převzato z Palečka, 1987, s. 302)



2.5.4 Dechový objem

Dechový objem (VT) v klidu dosahuje cca $10 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$. Pokud je v klidu VT menší než 300 ml, označujeme jej jako mělké dýchání, nad 800 ml jako hluboké dýchání. Na počátku pohybové aktivity je zvyšování minutové ventilace (VE) zajištěno primárně zvětšením VT. Až po dosažení cca 50–60 % VC je další vzestup VE zajištěn primárně zvyšováním BF. Při další zátěži nad hodnotou ventilačního prahu 2 (VT2) dochází stále k nárůstu VE, ale VT již stagnuje, ke konci testu již jeho hodnota klesá. I přesto hodnota VE narůstá, což je způsobeno nárůstem BF (Várnay et al., 2020). Maximální hodnoty VT dosahují cca 50–60 % VC plic (McArdle et al., 2016), výjimečně až na 70 % VC (Bahenský et al., 2021a).

2.5.5 Dechová frekvence

Dechová frekvence (BF) dosahuje v klidu $11\text{--}16 \text{ dechů} \cdot \text{min}^{-1}$, při vrcholné zátěži optimálně hodnot $34\text{--}36 \text{ dechů} \cdot \text{min}^{-1}$, u netréovaných výjimečně překročí hodnotu $55 \text{ dechů} \cdot \text{min}^{-1}$. Pokud hodnota BF u netréovaných přesahuje hodnotu $50 \text{ dechů} \cdot \text{min}^{-1}$, může se jednat se o jedince s ventilační limitací. U vytrvalostních sportovců mohou být hodnoty BF i vyšší (Máček & Radvanský, 2011; Várnay et al., 2020). Výdech je při dechové frekvenci do $40 \text{ dechů} \cdot \text{min}^{-1}$ pasivním procesem, při vyšší frekvenci je potřeba výdech provést rychleji, proto

dochází k aktivaci výdechového svalstva. Dochází k vyšší spotřebě energie, tím se dýchání stává energeticky náročnějším. Energeticky výhodnější je tedy dýchání s nižší dechovou frekvencí a přiměřené prohloubené dýchání (Havlíčková et al., 2006; Máček & Radvanský, 2011; Bartůňková et al., 2013).

U běžců je ale dechová frekvence ovlivněna frekvencí běhu a rytmem dýchání. Při volném běhu lze dýchat rytmem 4-4 (na čtyři kroky nádech, na čtyři kroky výdech), při rychlejším běhu přecházejí běžci na rytmus 3-3, při velmi intenzivním běhu má používají rytmus běhu 2-2, což u elitních závodníků, kteří mají frekvenci běhu $180 \text{ kroků} \cdot \text{min}^{-1}$ představuje $45 \text{ dechů} \cdot \text{min}^{-1}$. To v závěru závodu nemusí být dostatečné pro pokrytí kyslíkové potřeby, proto někdy běžci používají rytmus dechu 1-2 či 2-1 (Daniels, 2013).

2.5.6 Minutový ventilační objem

Minutový ventilační objem (VE) vyjadřuje množství vzduchu, které projde plicemi za 1 minutu. Je dána součinem dechového objemu a dechové frekvence. Při zvyšující se zátěži se zvyšuje příjem O_2 a produkce CO_2 . Hodnota VE je řízena metabolickou acidózou. Maximální hodnota VE je tedy dána velikostí metabolické acidózy, která je kompenzována hyperventilací. Na řízení plicní ventilace se podílí vlivy CNS, odkud mohou být přímo aktivovány stahy bránice. Při stupňování zátěže je VE řízen až do VT2 hodnotou parciálního tlaku CO_2 v krvi, při zatížení vyšší intenzity je VE řízen hodnotou pH. Zajištění dodávky kyslíku do svalů je realizováno zvýšením plicní ventilace, zvýšeným průtokem krve v plicním oběhu a současně zvýšeným oběhem krve v pracujících svalech (Heller, 2018; Várnay et al., 2020).

Při použití rampového protokolu nenarůstá hodnota VE zcela lineárně jako hodnoty $\text{VO}_{2\text{max}}$, ale nárůst je více variabilní. Tato variabilita ztěžuje stanovení referenčních hodnot, při jejich stanovení je potřeba vzít v úvahu věk, pohlaví, výšku, u některých také hmotnost (Várnay et al., 2020). Dýchací systém je schopen při požadavku na zvýšení VE na potřebnou úroveň zvýšit svoji kapacitu čtyřikrát více než oběhový systém (20 : 5 – dýchací : oběhový systém) (Várnay et al., 2020).

2.5.7 Poměr respirační výměny

Poměr respirační výměny (RER) vyjadřuje poměr vydaného CO_2 a přijatého O_2 . Bývá označován různými zkratkami, za kterými může být jiný význam. Tento proces na úrovni buněk je označován jako respirační kvocient (RQ), vypovídá o podílu jednotlivých energetických substrátů na metabolismu. Je ovlivnitelný přijatou stravou, poměrem cukrů, tuků a bílkovin. Nemůže dosáhnout vyšší hodnoty než 1,00. Zkratka RER, případně R, je používána pro označení výměny plynů v plicích (Placheta et al., 1999; Várnay et al., 2020).

V klidu dosahuje hodnota RER rozmezí 0,70–1,00. Pokud přesáhne hodnotu 1,00, může být příčinou předstartovní hyperventilace. Na úrovni VT1 dosahují hodnoty $\text{RER } 0,85 \pm 0,06$, na úrovni VT2 jsou hodnoty $\text{RER } 1,04 \pm 0,06$. Na konci testu spiroergometrie se očekávají hodnoty vyšší než 1,10 (Jordan et al., 2010; American College of Sports Medicine, 2018; Várnay et al., 2020).

2.5.8 Ventilační ekvivalent kyslíku

Ventilační ekvivalent kyslíku ($\text{VE} \cdot \text{VO}_2^{-1}$) je ukazatelem, který vyjadřuje reálné využití kyslíku, efektivitu ventilace. Charakterizuje ekonomiku dýchání, souvisí s energetickou náročností dýchání. Stanovuje se jako podíl minutové ventilace a minutové spotřeby kyslíku.

Reálně se jedná o množství vzduchu potřebného pro spotřebu 1 l kyslíku. U běžné populace dosahují hodnoty při maximálním zatížení ve 25 letech 28 l u mužů a u žen 33 l vzduchu na 1 l kyslíku. Se stoupající hodnotou roste stupeň využití kyslíku (Havličková et al., 2006; Várnay et al., 2020). Jedním z vyhodnocovaných parametrů je i ventilační ekvivalent CO_2 ($\text{VE} \cdot \text{VCO}_2^{-1}$), který definuje ventilační účinnost. Odráží interakci mezi plicní ventilací, plicní perfuzí a srdečním výdejem, což je využíváno zejména v medicíně (Parazzi et al., 2015).

Shrnutí kapitoly: Jednotlivé respirační parametry se v průběhu dospívání mění, u většiny parametrů se také zvětšují mezipohlavní rozdíly. Respirační parametry jsou ovlivnitelné úrovní pohybové aktivity. Mají význam pro úroveň vytrvalostního výkonu. Nejčastěji používaným parametrem pro stanovení výkonnosti úrovně je používán parametr $\text{VO}_{2\text{max}}$. Ale i ostatní respirační parametry mají vztah k úrovni výkonů, dají se více či méně ovlivnit.

2.6 Vliv somatických parametrů na respirační parametry

Jak je uvedeno v předchozích kapitolách, respirační parametry se v průběhu dospívání mění, některé významně. Byla prokázána souvislost některých parametrů (zejména vitální kapacity) s výškou (Zapletal & Chalupová, 2003; Quanjer et al., 2010). S výškou a povrchem těla koreluje u zdravé dětské populace i $\text{VO}_{2\text{max}}$, dokonce lépe než s hmotností. Ale z praktických důvodů se vyjadřuje relativní hodnota $\text{VO}_{2\text{max}}$ ve vztahu k hmotnosti (Rutenfranz et al., 1990; Radvanský & Matouš, 1999). Vývoj absolutní i relativní hodnoty $\text{VO}_{2\text{max}}$ u mládeže je uveden na obrázku 3 a 4. U ostatních respiračních parametrů je podobný průběh v průběhu dospívání. Referenční hodnoty u parametru $\text{VO}_2 \cdot \text{SF}^{-1}$ a dalších parametrů jsou závislé na pohlaví a výšce, podle některých výpočtů i na hmotnosti (Zapletal et al., 1985; Várnay et al., 2020).

Shrnutí kapitoly: Některé respirační parametry souvisí se somatickými parametry. Na jednotlivé parametry má vliv přirozený rozvoj a absolvovaný trénink.

2.7 Vliv dechových cvičení na respirační parametry

Respirační parametry mají souvislost se zdatností a s vytrvalostní výkonností, existují interindividuální rozdíly v jejich hodnotách (Benchetrit, 2000; Bahenský et al., 2020). Tréninkem lze ovlivnit hodnoty respiračních parametrů i mechaniku dýchání, existuje několik možností, jak tyto parametry ovlivnit, což může mít pozitivní vliv na vytrvalostní výkon (Bahenský et al., 2020; Bahenský et al., 2021). Protože jsou některé dýchací svaly zapojené i do postury těla, může zlepšené dýchání ovlivnit držení těla a naopak (Chaitow et al., 2004).

V průběhu pohybové aktivity existuje vztah mezi intenzitou cvičení a spotřebou kyslíku (Hagerman & Hagerman, 1990). Jak již bylo uvedeno v kapitole 2.5.6, s rostoucí intenzitou zátěže dochází ke zvýšení minutové ventilace. Zpočátku zátěže je minutová ventilace primárně zvyšována prostřednictvím dechového objemu, později prostřednictvím dechové frekvence. Protože je dýchání při vysoké dechové frekvenci energeticky náročnější, je přínosné upravit dechový vzor ve prospěch zvýšení dechového objemu. Zvýšení dechového objemu a snížení dechové frekvence zlepšuje ventilační účinnost prostřednictvím alveolárního náboru a distenze, čímž se snižuje alveolární mrtvý prostor (Bilo et al., 2012; Russo et al., 2017). Dýchání je jedním ze základních automatických koordinovaných procesů v těle. Umožňuje příjem kyslíku a odstraňování oxidu uhličitého. U netrénovaného jedince obsahuje vydechaný vzduch při submaximální intenzitě zátěže 17 % kyslíku. U vytrvalostně trénovaných jedinců je

obsah kyslíku ve vydechovaném vzduchu 14–15 %. Proto netrénovaní musí dýchat větší množství vzduchu pro přijetí stejného množství kyslíku (McArdle et al., 2016; Di Paco et al., 2017). Takže i vytrvalostní trénink zlepšuje ekonomiku dýchání (Di Paco et al., 2017).

V literatuře je popsáno několik možností ovlivnění dechového vzoru a respiračních parametrů, např. specifický trénink inspiračních svalů (Göhl et al., 2016), dechová intervence založená na józe, dechová cvičení založená na Buteykově metodě, hraní na dechové nástroje, používání různých odporových přístrojů atd. (Nivethitha et al., 2016; Radhakrishnan et al., 2017; Bahenský et al., 2019; Bahenský et al., 2020; Bahenský et al., 2021; Ramli et al., 2023).

2.7.1 Dechová intervence založená na józe

Jednou z možností, jak ovlivnit respirační parametry (VT a BF) a mechaniku dýchání jsou intervence založené na jógových cvičeních (Karthik et al., 2014; Kuppusamy et al., 2016; Vinay et al., 2016; Nivethitha et al., 2016; Radhakrishnan et al., 2017; Yadav et al., 2017; Bahenský et al., 2019; Bahenský et al., 2020; Bahenský et al., 2021). Jóga je propracovaný systém sloužící k udržení zdraví, vedle technik je základem systému jógových cvičení dýchání, které má vliv na zdraví člověka (Kogler, 1971), cílem je harmonizace organismu (Mahéšvaránanda, 2006).

Jógová cvičení jsou charakteristická řízeným pohybem umožňujícím si uvědomění průběhu pohybu, poloh a pocitů. Řízený pohyb je synchronizován s dechem, který řídí rytmus pohybů. Existuje několik stupňů obtížnosti jógových cvičení (Votava et al., 1988; Gítánanda, 1999). Design programu dechových cvičení vycházejících z jógy zahrnuje celou škálu cvičení jako je plné dýchání do všech dechových sektorů, nácvik dechových vln, stimulované dýchání atd. Tato cvičení lze provádět v různých polohách. Cílem je aktivovat bránici a uvědomit si jednotlivé dechové sektory a změnit jejich zapojení ve prospěch rovnoměrnosti (Bahenský et al., 2019; Bahenský et al., 2021).

V důsledku dvouměsíční každodenní desetiminutové intervence dechových cvičení může být významně ovlivněn dechový vzor, kdy dochází k významně většímu zapojení bránice do dýchání jak v klidu, tak při zátěži (Bahenský et al., 2021). Za tuto dobu lze také změnit respirační parametry v klidu i při zátěži, snížit dechovou frekvenci a zvýšit dechový objem, tedy ekonomizovat dýchání (Bahenský et al., 2019; Bahenský et al., 2020; Bahenský et al., 2021).

Trénink zaměřený na kvalitu dýchání může zlepšit vytrvalost a sílu dýchacích svalů a jejich zapojení do dechového vzoru (McArdle et al., 2016; Szczygieł et al., 2018; Bahenský et al., 2019; Bahenský et al., 2020; Bahenský et al., 2021). Standardně dýchací svaly spotřebují při maximální zátěži až 11 % celkového energetického výdeje. Tento výdej lze snížit zlepšením ekonomiky dýchání prostřednictvím zvýšení dechového objemu, což zanechá více energie pro svaly zajišťující pohyb (McArdle et al., 2016).

2.7.2 Buteykova metoda

Buteykova metoda je jedna z možných metod k ovlivnění dechového vzoru. Je navržena jako série cvičení na odstranění astmatu a dalších poruch dýchání. Podstatou bylo přesvědčení autora, že nedostatek CO₂ je hlavní příčinou některých chronických onemocnění (Chaitow et al., 2004). Jedním z pilířů Buteykovy metody je snížení minutové ventilace sloužící ke zvýšení alveolárního CO₂. Při správném provedení dýchacích cvičení může být pozorována snížená plicní hyperinflace (zvýšený objem nevydechnutého vzduchu v plicích), která je běžná u pacientů s astmatem, CHOPN, úzkostí atd. (Chaitow et al., 2004; Courtney et al., 2011). Dalším

efektem je uvolnění dýchacích cest a úleva od akutního bronchospasmu (Chaitow et al., 2004), u sportovců mohou dechová cvičení zaměřená na maximální respirační retenci CO₂ zvýšit tvorbu endogenních antioxidantů a může zvýšit anaerobní práh (Joulia et al., 2003), tím dochází ke zvýšení fyzické kondice (Hruzevych et al., 2017; Salnykova et al., 2017; Bahenský et al., 2020). Zadržování dechu může také vést ke kontrakcím sleziny s následným zvýšením hladiny hemoglobinu a hematokritu, a stimulace imunitního systému (Schagatay et al., 2005).

Buteyko metodu dále rozvinul Wim Hof. Svůj program postavil na třech pilířích: na dechových cvičeních, vystavení chladu a meditaci (Hof, 2016; Agarwal et al., 2020; Hof, 2020). Jeho dechová cvičení jsou založena na hlubokém nádechu a zádrži dechu po výdechu. Nádechy jsou provedeny v souladu s jógovým dýcháním, provádí se pomocí dechové vlny, která prochází od bránice k hrudníku (Hof, 2016; Carney, 2017). Zadržování dechu po výdechu snižuje plicní hyperinflaci, následkem je nižší reziduální objem plic. V důsledku dynamické hyperinflace může docházet k narušení neuromechanických aspektů kontroly dechu a dysfunkce bránice (Clifton-Smith, 2014). Opakované zádrže dechu také zlepšují respirační motorickou plasticitu, prostřednictvím zvýšení aktivity *nervus vagus* a *nervus hypoglossus* zlepšují tonus horních cest dýchacích a zvyšují toleranci na stres (Clifton-Smith, 2014).

Existují práce, které se zaměřily na cílené zásahy do dýchání prostřednictvím manipulace s dechovým rytmem (Kox et al., 2012; Kox et al., 2014; Kenney et al., 2015; Hruzevych et al., 2017; Malátová et al., 2017; Salnykova et al., 2017; Bahenský et al., 2019; Bahenský et al., 2020; Bahenský et al., 2020b; Marko et al., 2022a). Zadržování dechu po vydechnutí je náročnější, ale na rozdíl od zádrže dechu po nádechu nevytváří tlak v dýchacích svalech. Je více relaxační a přispívá ke zvýšené toleranci na CO₂ (Chaitow et al., 2004; Courtney & Cohen, 2008).

Důsledkem hyperventilace, což je kombinace hlubokého dýchání a vyšší dechové frekvence, dochází ke snížení hladiny CO₂ v krvi a ke zvýšení pH krve. Vytváří se také mnoho fyziologických změn, např. snížení prahu bolesti a zúžení hladkého svalstva. Zúžení hladkého svalstva vysvětluje zvýšený svalový tonus u jedinců s poruchami dýchání (Laffey & Kavanagh, 2002; Chaitow et al., 2004; Courtney et al., 2011; McArdle et al., 2016). Dechová cvičení založená na hyperventilaci a zádržích dechu ovlivňující hladinu CO₂ vyvolá sympatickou reakci, která může zlepšit příjem kyslíku, což je využitelné ve vytrvalostních sportech (Lindholm & Gennser, 2005; Maestroni, 2006; Hof et al., 2017; Bahenský et al., 2020). Některé studie prokázaly zlepšení anaerobního výkonu po Hofových dechových technikách (Kairouz et al., 2013; Leithäuser et al., 2016), u aerobních výkonů tento vliv není jednoznačný, ale byly prokázány změny ve spotřebě kyslíku na počátku aerobního výkonu (Bahenský et al., 2020; Marko et al., 2022a).

Shrnutí kapitoly: Vedle klasických pohybových aktivit existují další možnosti ovlivnění respiračních parametrů, mj. i prostřednictvím intervenčních programů dechových cvičení. Dechová cvičení mohou ovlivnit dechový vzor, jeho prostřednictvím může dojít i ke změně respiračních parametrů. To by mohlo být prospěšné pro vytrvalostní výkon.

2.8 Vliv vytrvalostního běžeckého tréninku respirační parametry

Vytrvalostní pohybové aktivity, včetně běhu, mají pozitivní vliv na respirační parametry. Mezi ovlivnitelné respirační parametry patří: VO_{2max}, VO₂·SF⁻¹, VT, BF, VE, VE·VO₂⁻¹. Otázkou je ovlivnitelnost příjmu procentuálního množství kyslíku z nadechovaného vzduchu. Dle

některých autorů jej lze tréninkem také ovlivnit (McArdle et al., 2016; Di Paco et al., 2017). Běh je v posledních letech velmi populární pohybovou aktivitou, je jednou z variant zlepšení obecné kondice, včetně respiračních parametrů, zlepšení kvality života a zlepšení zdravotního stavu (Noakes, 2003; Bahenský, 2021). Cílem běžeckého tréninku u sportovců je zlepšit zejména vytrvalostní výkonnost, jejíž nedílnou součástí je kardiorespirační soustava (Noakes, 2003; Kenney et al., 2015; McArdle et al., 2016; Rowland, 2017; Bahenský et al., 2021a).

2.8.1 Vliv krátkodobých tréninkových intervencí na respirační parametry

Běžecký trénink je založený na střídání zátěže a odpočinku, jeho cílem je optimalizace všech parametrů, umožňující podání vrcholného výkonu (Noakes, 2003; Dovalil et al., 2005). Každá tréninková jednotka je kamínkem do mozaiky systému tréninku a posouvá jedince blíže cíli, zásadní je individualizace tréninkového zatížení. Jak bylo popsáno v kapitole 2.3.6, v průběhu ročního tréninkového cyklu (RTC) se mění tréninkové zatížení, a to jak z pohledu objemu a intenzity, tak z pohledu tréninkového obsahu. Také úroveň respiračních parametrů se v průběhu RTC mění. Vše směřuje k podání vrcholného výkonu v hlavním závodním období, pokud možno v nejdůležitějším závodě sezóny. Je otázkou, zda je v tomto období žádoucí vrcholná či jen optimální úroveň respiračních parametrů, protože do výkonnostní úrovně promlouvají i další faktory, zejména ekonomika běhu (Neumann et al., 2000; Kyröläinen et al., 2001; Noakes, 2003; Saunders et al., 2004; Bahenský & Bunc, 2018). Byly popsány změny respiračních parametrů za období 2–3 týdny, výjimečně i kratší. K významným změnám dochází zejména na počátku přípravy, při významných změnách objemu či při změně podmínek, např. nadmořské výšky, nebo dalších vnějších parametrů (Levine & Stray-Gundersen, 1997; Suchý, 2012; Bahenský & Suchý, 2015). Byl prokázán vliv krátkodobých tréninkových intervencí zejména na VO_{2max} (McArdle et al., 2016; Heller, 2018; Bahenský et al., 2020; Bahenský & Grosicki, 2021), ale i na další respirační parametry, mj. na VT, BF, VE (Heller, 2018; Bahenský et al., 2020; Várnay et al., 2020; Bahenský & Grosicki, 2021)

2.8.2 Vliv dlouhodobého vytrvalostního tréninku na respirační parametry

Změny respiračních parametrů v důsledku krátkodobých intervencí nejsou trvalé, jejich délka je závislá na délce intervence, charakteru a intenzitě tréninku (Levine & Stray-Gundersen, 1997; Neumann et al., 2000; Noakes, 2003; Malina et al., 2004; McArdle et al., 2016; Heller, 2018; Várnay et al., 2020). Pravidelný dlouhodobý trénink vyvolává dlouhodobé změny výkonnosti, se kterými souvisí i změny respiračních parametrů (Åstrand & Rodahl, 1986; Bunc, 1989; Malina et al., 2004; Máček & Radvanský, 2011; Hoffman 2014; McArdle et al., 2016; Heller, 2018; Várnay et al., 2020). Míra změny bude souviset se vstupní úrovní parametrů, obecně je nejnázší ovlivnit parametry průměrné úrovně. U jedinců s nadprůměrnými hodnotami je změna parametru obtížnější. Existuje princip počáteční hodnoty – čím vyšší počáteční úroveň, tím lze dosáhnout menší změny (Bunc, 2003; Kenney et al., 2015). Existují studie uvádějící longitudinální změnu respiračních parametrů (McMurray et al., 2002; Armstrong et al., 2011; Kemper et al., 2013; Nes et al., 2013; Welde et al., 2020), ale není jich mnoho a nedohledali jsme studie, které pravidelně, komplexně a několikrát ročně po dobu několika let monitorující respirační parametry u adolescentních závodních běžců a běžkyň.

Shrnutí kapitoly: Běh je typická aerobní aktivita, běžecký trénink má tedy pozitivní vliv na respirační parametry. Míra změny souvisí s délkou, intenzitou a charakterem tréninku, je závislá i na úrovni vstupních hodnot. Roli hraje i individualizace tréninku.

2.9 Shrnutí teorie

Pravidelná pohybová aktivita je v současné době významné téma. S ubývajícím spontánním a přirozenou aktivitou populace, a s tím souvisejícími důsledky, se toto téma stále více dostává do popředí, zejména ve vyspělých státech. Úroveň běžné populace souvisí s úrovní zájemců o sport. Kardiorespirační zdatnost lze hodnotit prostřednictvím spotřeby kyslíku, standardně se tedy hodnotí úroveň respiračních parametrů. To je využitelné i ve sportu, kde je úroveň vybraných respiračních parametrů (zejména VO_{2max}) jedním ze standardních ukazatelů vytrvalostní výkonnosti. Úroveň respiračních parametrů je determinována geneticky a tréninkem. V průběhu dospívání dochází k přirozenému vývoji respiračních parametrů. Změny nejsou lineární a kontinuální a existují rozdíly mezi chlapci a dívkami. Některé změny úrovně respiračních parametrů v důsledku vývoje v adolescentním věku podporují zvyšování výkonnosti ve vytrvalostních sportech (např. nárůst svalové hmoty – do určité míry), některé ne (např. nárůst množství tukové hmoty). U sportující populace lze úroveň respiračních parametrů ovlivnit také tréninkem. Lze je ovlivnit prostřednictvím specifické krátkodobé intervence. Při longitudinálním sledování lze také sledovat změny způsobené systematickým tréninkovým zatížením, je ale potřeba odlišit změny způsobené dospíváním a změny způsobené tréninkem. Je prokázána souvislost některých parametrů s výkonnostní úrovní v bězích na střední a dlouhé tratě, zejména VO_{2max} . Ale u ostatních respiračních parametrů nejsou známé longitudinální studie prováděné na adolescentních běžcích a běžkyních. Zjištění respiračních parametrů, které mají souvislost s výkonnostní úrovní, by bylo využitelné mj. v diagnostice trénovanosti a při výběru talentovaných jedinců. V současnosti nejsou publikované longitudinální studie na adolescentních běžcích na střední a dlouhé tratě, ve kterých by byl zkoumán vliv tréninku na respirační parametry a souvislost těchto parametrů a závodního výkonu.

3 Cíle práce, úkoly, hypotézy

3.1 Cíl práce

Cílem práce je zjistit dynamiku změn respiračních parametrů v průběhu dospívání u adolescentních běžců na střední a dlouhé tratě a analyzovat vliv přirozeného vývoje a vliv tréninku.

Díličními cíli jsou:

- zjistit, jak souvisí naměřená hodnota respiračních parametrů s výkonem,
- zjistit, které respirační parametry mají souvislost s výkonnostní úrovní, posoudit váhu sledovaných parametrů ke sportovnímu výkonu,
- zjistit, jak souvisí naměřená hodnota respiračních parametrů s vybranými somatickými parametry (tělesnou výškou),
- zjistit, zda v průběhu sledování dojde ke stagnaci sledovaných respiračních parametrů, případně v jakém věku,
- jak lze ovlivnit respirační parametry krátkodobými intervencemi: intervence dechových cvičení, tréninkový kemp v nadmořské výšce ~1 000 m n. m. a tréninkový kemp v nadmořské výšce ~1 800 m n. m.

3.2 Hypotézy

H1 Předpokládáme, že absolvovaný běžecký vytrvalostní trénink v rozsahu ~40–70 km týdně bude mít u adolescentních běžců na střední a dlouhé tratě významný vliv na vybrané respirační parametry (VO_{2max} , $VO_2 \cdot SF^{-1}$, VT, BF, VE, $VE \cdot VO_2^{-1}$).

H2 Předpokládáme, že úroveň vybraných respiračních parametrů (VO_{2max} , $VO_2 \cdot SF^{-1}$, VT, BF, VE, $VE \cdot VO_2^{-1}$) bude mít významnou souvislost s výkonnostní úrovní u adolescentních běžců na střední a dlouhé tratě.

H3 Předpokládáme, že úroveň vybraných respiračních parametrů (VO_{2max} , $VO_2 \cdot SF^{-1}$, VT, BF, VE, $VE \cdot VO_2^{-1}$) bude mít významnou souvislost s tělesnou výškou u adolescentních běžců na střední a dlouhé tratě.

H4 Předpokládáme, že osmítýdenní intervence dechových cvičení významně ovlivní vybrané respirační parametry (VO_{2max} , $VO_2 \cdot SF^{-1}$, VT, BF, VE, $VE \cdot VO_2^{-1}$) u adolescentních běžců na střední a dlouhé tratě.

H5 Předpokládáme, že jedenáctidenní tréninkový kemp ve střední nadmořské výšce (~1 000 m n. m.) významně ovlivní vybrané respirační parametry (VO_{2max} , $VO_2 \cdot SF^{-1}$, VT, BF, VE, $VE \cdot VO_2^{-1}$) u adolescentních běžců na střední a dlouhé tratě.

H6 Předpokládáme, že jedenáctidenní tréninkový kemp ve vyšší nadmořské výšce (~1 800 m n. m.) významně ovlivní vybrané respirační parametry (VO_{2max} , $VO_2 \cdot SF^{-1}$, VT, BF, VE, $VE \cdot VO_2^{-1}$) u adolescentních běžců na střední a dlouhé tratě.

3.3 Úkoly práce

Pro splnění cíle a ověření hypotéz je nutné splnit následující úkoly práce:

- provést obsahovou analýzu odborné literatury zabývající se sportovním tréninkem mládeže zejména v bězích na střední a dlouhé tratě, jeho strukturou, změnami výkonnosti,

- provést obsahovou analýzu odborné literatury zabývající se respiračními parametry a jejich vlivem na vytrvalostní výkon,
- výběr členů monitorované a kontrolní skupiny; běžci na střední a dlouhé tratě byli vybráni prostřednictvím záměrného výběru na základě splnění požadovaných podmínek a také ochoty absolvovat alespoň tříleté sledování, proběhl také výběr vhodných členů kontrolní skupiny,
- realizace testování a měření minimálně čtyřikrát ročně respirační parametry prostřednictvím testu spiroergometrie, porovnat naměřené výsledky s normou přizpůsobenou věku, pohlaví, somatickým parametrům,
- výběr metod zpracování dat,
- analýza výsledků závodů, data je možné získat z webových stránek ČAS (Českého atletického svazu) v sekci statistika, atletických ročenek z jednotlivých ročníků, transformace (podle tzv. „Maďarských tabulek“, resp. „IAAF scoring tables of athletics“) a výběr potřebných dat,
- v průběhu sledování realizovat osmitýdenní intervenci dechových cvičení, před zahájením a po ukončení intervence provést laboratorní testování – test spiroergometrie,
- v průběhu sledování realizovat tréninkový kemp ve střední nadmořské výšce, před zahájením a po ukončení intervence provést laboratorní testování – test spiroergometrie,
- v průběhu sledování realizovat tréninkový kemp ve vyšší nadmořské výšce, před zahájením a po ukončení intervence provést laboratorní testování – test spiroergometrie,
- provést statistickou analýzu dat,
- prostřednictvím zvolených metod (Pearsonův koeficient korelace, regresní analýza, ANOVA, ...) zjistit potenciálně vlivné faktory ovlivňující výkonnost mladých běžců na střední a dlouhé tratě,
- statistické zpracování prezentace zjištěných dat,
- interpretace zjištěných výsledků,
- porovnání zjištěných dat s údaji v literatuře, vyhodnocení hypotéz a splnění cílů,
- stanovení závěrů.

4 Metodika práce

Práce se zabývá hodnocením krátkodobých a dlouhodobých (longitudinálních) změn respiračních parametrů u adolescentních běžců na střední a dlouhé tratě. Krátkodobé změny byly sledovány po zařazení intervencí, které byly zvoleny tak, aby mohly být realizovány společně s běžecím tréninkem, nenarušovali jej a měly potenciál pomoci sportovcům rozvinout jejich výkonnost. Zjišťované dlouhodobé změny respiračních parametrů byly způsobené vedle dospívání také realizací několikaletého vytrvalostního tréninku. U sledovaných běžců na střední a dlouhé tratě ve věku 14–19 let byla také zjišťována souvislost úrovně respiračních parametrů s výkonnostní úrovní.

4.1 Charakteristika souboru

Jednotlivé krátkodobé intervence probíhaly postupně, v průběhu osmi let. Všichni účastníci absolvovali v průběhu sledování tréninkový objem v rozsahu 40–80 km týdně, v závislosti na věku a hlavní závodní disciplíně. Někteří sportovci se účastnili více intervenčních programů, ale mezi jednotlivými intervencemi byl vždy minimálně dva roky odstup. Longitudinální studie zkoumající vliv běžecího tréninku na respirační parametry probíhala také v průběhu osmi let. Někteří účastníci dlouhodobého výzkumu byli zároveň účastníky i krátkodobých intervencí této studie (všichni účastníci longitudinální studie se účastnili každý rok tréninkového kempu ve zvýšené nadmořské výšce). Ve všech výběrech se jedná o záměrný výběr, jednalo se o účastníky, kteří byli ochotni a schopni se zapojit do výzkumu a zároveň splňovali podmínky pro zařazení do souboru účastníků. Z tohoto důvodu se nejedná o reprezentativní vzorek a neděláme si nároky na zobecnění zjištěných závěrů.

Protokol studie byl přezkoumán a schválen Etickou komisí PF JU dne 19. října 2018 pod číslem 001/2018 („Vliv tréninku ve vyšší nadmořské výšce na vybrané fyziologické a biochemické parametry organismu“) a 002/2018 („Vyšetření dechového stereotypu, spirometrických a spiroergometrických parametrů“) a řídil se pokyny deklarace Světového lékařského shromáždění z Helsinek. Účastníci a jejich zákonní zástupci poskytli písemný informovaný souhlas s účastí.

4.1.1 Charakteristika souboru pro krátkodobou intervenci dechových cvičení

Do naší studie se zapojilo 48 adolescentních běžců na střední a dlouhé tratě, se vstupní charakteristikou: 24 mužů ve věku $16,2 \pm 1,3$ let, s výškou $176,5 \pm 8,5$ cm a hmotností $62,6 \pm 6,7$ kg a 24 žen ve věku $16,9 \pm 1,5$ let, s výškou $167,6 \pm 4,9$ cm a hmotností $56,5 \pm 5,6$ kg. Studie probíhala v průběhu 3 let, vždy ve stejnou dobu (březen až květen). Byl proveden záměrný výběr účastníků. Kritériem pro zařazení do studie byl věk 14–19 let, pravidelný trénink alespoň šestkrát týdně po dobu alespoň jeden rok, pravidelná účast na atletických soutěžích alespoň desetkrát ročně, zdravotní stav umožňující systematický trénink. Všichni účastníci jsou členy stejné tréninkové skupiny, objem a intenzita tréninku byly po celou dobu trvání studie srovnatelné. Trénink byl přizpůsoben věkovým zvláštnostem a sportovní úrovni každého jedince. Účastníci byli náhodně rozděleni do experimentální skupiny ($n = 24$), která se zúčastnila osmitýdenní dechové intervence a do kontrolní skupiny ($n = 24$), která pokračovala v tréninku, ale neprováděla dechovou intervenci založenou na józe. Pro rozdělení jsme použili program randomizer.org. Obě skupiny, jak experimentální, tak kontrolní, se řídily stejným

tréninkovým programem, s jediným rozdílem, že experimentální skupina prováděla dechovou intervenci založenou na józe. Tento výzkum je klinickou studií (NCT04950387).

4.1.2 Charakteristika souboru pro tréninkový kemp ve „středohoří“

Výběr účastníků intervence proběhl prostřednictvím záměrného výběru. Kritériem pro zařazení do studie byl věk 14–19 let, pravidelný trénink alespoň šestkrát týdně po dobu alespoň jeden rok, výkonnostní úroveň (účast na MČR – mistrovství České republiky), zdravotní stav umožňující systematický trénink. Studie zabývající se vlivem zvýšené nadmořské výšky (~1 000 m n. m.) se zúčastnilo 32 účastníků-běžců na střední a dlouhé tratě v adolescentním věku, z toho 16 dívek ve věku $16,5 \pm 1,3$ let, s průměrnou hmotností $54,0 \pm 9,1$ kg a tělesnou výškou $165,6 \pm 5,7$ cm a 16 chlapců ve věku $16,3 \pm 1,1$ let, s průměrnou hmotností $57,6 \pm 10,2$ kg a tělesnou výškou $174,6 \pm 8,7$ cm. Experimentální skupinu tvořilo 16 účastníků, z toho 8 dívek a 8 chlapců, kontrolní skupinu také 8 dívek a 8 chlapců. Pro náhodné rozdělení do experimentální a kontrolní skupiny byl použit program randomizer.org. Z důvodu zajištění dostatečného počtu účastníků na požadované úrovni proběhl výzkum ve dvou termínech s odstupem dvou let, ve stejném termínu a na stejném místě. Prvního termínu se zúčastnilo 8 členů experimentální skupiny a 8 členů kontrolní skupiny, druhého termínu stejný počet účastníků. Absolvované tréninkové zatížení respektovalo individuální výkonnostní úroveň a stupeň vývoje každého jedince. Struktura, obsah a objem tréninkového zatížení byla totožná.

4.1.3 Charakteristika souboru pro tréninkový kemp ve vyšší nadmořské výšce

Studie ve vyšší nadmořské výšce (~1 800 m n. m.) se zúčastnilo 25 běžců na střední a dlouhé tratě, dokončilo ji 22 účastníků. Tři sportovci nedokončili výstupní testování, dva členové kontrolní skupiny z důvodu respiračních onemocnění a jeden člen experimentální skupiny z důvodu zranění. Ve finálním souboru je 9 dívek ve věku $16,8 \pm 0,6$ let, se vstupními parametry $168,7 \pm 3,8$ cm výšky, $59,4 \pm 4,7$ kg hmotnosti a 13 chlapců ve věku $16,6 \pm 1,5$ let, se vstupními parametry $176,7 \pm 7,3$ cm výšky, $61,4 \pm 9,0$ kg hmotnosti. Výběr účastníků intervence proběhl prostřednictvím záměrného výběru. Kritéria zařazení do výběru: věk 14–19 let, pravidelný trénink alespoň šestkrát týdně po dobu alespoň jeden rok, účast na MČR, zdravotní stav umožňující systematický trénink. Účastníci byli náhodně rozdělení do experimentální a kontrolní skupiny, pro rozdělení jsme použili program randomizer.org.

4.1.4 Charakteristika souboru pro longitudinální studii

Pro longitudinální studii byli vybráni běžci na začátku systematického běžeckého tréninkového procesu, kteří měli potenciál dostat se na úroveň národní špičky. Výběr byl prováděn z nejlepších běžců v jihočeském kraji, kteří byli ochotni podstupovat pravidelně testování v laboratoři a splnili i další kritéria zařazení do sledované skupiny. Z důvodu časové náročnosti a délky sledování se jednalo o záměrný výběr účastníků projektu. Pro stanovení velikosti vzorku účastníků byla provedena prospektivní power analýza. Pro zjištění vztahu respiračních parametrů a výkonnosti a další analýzy je potřeba minimálně 19 účastníků.

Předpokládali jsme, že při testování adolescentních běžců bude vysoká pravděpodobnost dokončení longitudinálního výzkumu ze strany účastníků, protože sportovci jsou na hodnocení výkonnostní úrovně a testování zvyklí. Dalším předpokladem bylo, že sportovci mají zájem o průběžné informace o své aktuální výkonnostní úrovni a případné příčiny zjištěného stavu. Na začátku studie bylo vybráno 23 adolescentních běžců a běžkyň (12

z nich je i ve finálním souboru sledovaných probandů), v průběhu dalších 5 let byli postupně zařazováni další účastníci.

Výběr účastníků intervence proběhl prostřednictvím záměrného výběru. Soubor účastníků longitudinální studie je tvořen 24 běžci, kteří byli v době sledování ve věku 14–20 let. Začátek sledování byl ve věku 14–15,5 roku, výjimečně dříve. Konečný soubor účastníků je tvořen 14 dívkami a 10 chlapci. Věk na počátku sledování byl u dívek $14,6 \pm 1,5$ let, průměrná hmotnost $53,1 \pm 7,3$ kg a tělesná výška $164,4 \pm 7,4$ cm, chlapců byl počáteční věk $14,5 \pm 1,3$ let, průměrná hmotnost $54,2 \pm 10,6$ kg a tělesná výška $172,0 \pm 10,6$ cm. Kritéria zařazení do výběru: věk, pravidelný trénink alespoň pětkrát týdně po dobu sledování, testování v laboratoři alespoň čtyřikrát ročně po dobu alespoň tři roky, účast na MČR ... Finální soubor byl vybrán z původních 65 běžců, kteří do testování v rámci této studie vstoupili a byli zařazeni do vstupního souboru probandů. Někteří nedodrželi délku testování (předčasné ukončení kariéry, změna disciplíny, neochota účastnit se testování po celou dobu, ...) nebo nesplňovali požadovanou sportovní úroveň.

Do studie byla také původně zařazena kontrolní skupina, jejíž členové nebyly aktivní sportovci. Byla stanovena kritéria výběru: věk 14–15 let na počátku sledování, absence pravidelné řízené pohybové aktivity. Do kontrolní skupiny bylo na začátku studie zařazeno 10 adolescentů. V průběhu prvního 1,5 roku ale pět z nich začalo aktivně a pravidelně provozovat sportovní aktivity, další tři přestali mít zájem absolvovat pravidelná testování a zůstali jen dva účastníci. Po roce kontrolní skupina zanikla, proto jsme se rozhodli nepokračovat v testování kontrolní skupiny účastníků studie. Původní záměr zapojit do výzkumu i kontrolní skupinu byl v průběhu testování změněn. Nastalou situaci jsme vyhodnotili tak, že jsme místo kontrolní skupiny použili data, která software firmy Cortex (Lipsko, Německo) nabízí jako referenční hodnoty k porovnání jako hodnoty běžné populace. Rozhodli jsme se pro stanovení vlivu dlouhodobého tréninku na respirační parametry použít stanovenou individuální normu. Tyto hodnoty jsou postaveny na již publikovaných výzkumech. S ohledem na charakter testovaných a sledovaných účastníků byla zvolena norma dle autorů Cooper a Weiler-Ravell (1984), která je určená pro dospívající jedince a měla by reflektovat věk účastníků studie. Pro kontrolu jsme využili i další normy nabízené softwarem použitého přístroje (Wassermanův algoritmus hmotnosti), rozdíly mezi jednotlivými typy norem nebyly významné.

4.2 Organizace výzkumu

Ve výzkumu jsme hodnotili vliv dlouhodobého běžeckého tréninkového zatížení na respirační parametry (parametr VO_{2max} byl ve všech analýzách posuzován ve své relativní hodnotě vztažené na kg hmotnosti) adolescentních běžců. Také jsme zjišťovali vliv krátkodobých intervenčních programů na tyto parametry. Vybrali jsme příklady takových intervencí, které se v běžeckém tréninku standardně používají či které jsou relativně dostupné. Jistě ale nebyly zařazeny všechny možné varianty intervence.

4.2.1 Design krátkodobé intervence dechových cvičení

Všichni účastníci absolvovali vstupní testování. Proběhlo měření respiračních parametrů v klidu a při zátěži, které mají vztah k vytrvalostní zátěži a souvislost s trénovaností: FVC, VO_{2max} , $VO_2 \cdot SF^{-1}$, VT, BF, VE, $VE \cdot VO_2^{-1}$ (Heller, 2018; Várnay et al., 2020). Protože byl zároveň monitorován i dechový vzor a použití svalového dynamometru vyžaduje minimální pohyby

v oblasti hrudníku, bylo nutné použít bicyklový ergometr. Zátěžový protokol sestával z odstupňovaného cvičebního testu, který byl proveden ve vztahu k tělesné hmotnosti účastníka (tj. $W \cdot kg^{-1}$) a začal čtyřminutovou fází při $1 W \cdot kg^{-1}$ následovaly tři, dvouminutové fáze (pro částečnou stabilizaci respiračních parametrů) při progresivních intenzitách (2, 3, 4 $W \cdot kg^{-1}$), kdy jsme navázali na dřívější šetření (Bahenský et al., 2020; Bahenský et al., 2020b) a kadence byla standardizována na 95–100 $ot \cdot min^{-1}$. V každé fázi byla hodnocena data z druhé minuty zátěže. Účastníci absolvovali zátěžový test na cyklickém ergometru (Lode, Groningen, Nizozemsko) a nepřetržitě byla monitorována spotřeba kyslíku, dechový objem, dechová frekvence a minutová ventilace (Metalyzer B3, Cortex, Lipsko, Německo). Testování probíhalo v Laboratoři diagnostiky zatížení na Katedře tělesné výchovy a sportu Pedagogické fakulty Jihočeské univerzity. Vstupní měření bylo realizováno 1–3 dny před začátkem intervence, výstupní 1–3 dny po konci intervence.

Intervenční program dechových cvičení trval osm týdnů, délka a obsah vycházel z již publikovaných intervenčních programů (Dovalil et al., 2005; Malátová et al., 2017; Bahenský et al., 2020; Bahenský et al., 2021; Malátová, 2021). Experimentální skupina denně prováděla dechová cvičení na bázi jógy. V prvním týdnu dechového zásahu probíhal výcvik ve formě tří skupinových cvičení pod dohledem. V následujících týdnech probíhaly vždy dva skupinové tréninky týdně, každý trval přibližně 30 minut. Ve dnech bez dohledu byli účastníci požádáni, aby cvičení prováděli individuálně doma po dobu alespoň 10 minut. Všichni probandi zasílali každý večer informace o délce svého tréninku pověřené osobě, která evidovala dobu cvičení u každého účastníka (Malátová et al., 2017; Bahenský et al., 2020; Bahenský et al., 2021).

Návrh programu dechového cvičení vycházel z jógy a cílem bylo aktivovat bránici a uvědomit si jednotlivé dýchací sektory. Dechový výcvik jako takový zahrnoval celou řadu cvičení, jako je nácvik dechových vln, plného dýchání (dýchání do všech sektorů) a plynulého dýchání (dýchání ve stanoveném rytmu). Cvičení byla prováděna v různých polohách, včetně lehu, sedu, kleku a stoje. Veškeré dýchání bylo prováděno nosem. Na začátku intervence účastníci dýchali spontánně, později přešli na prodloužení inspirační a výdechové fáze. Začínali s poměrem délky nádechu k výdechu 1:1. Postupně byly zařazeny fáze před výdechem a před výdechem při zadržení dechu: inspirace 6 dob, zadržení dechu 3 doby, výdech 6 dob, zadržení dechu 3 doby. Každý z účastníků přizpůsobil cvičení své individuální dechové frekvenci. Každý z cviků byl opakován šestkrát. Cvičení bylo pomalé, s hlubokým zaměřením na dýchání, v souladu s pohybem. Velmi důležité bylo vnímání směru pohybu a roztažení hrudníku, chování osy těla (hlava, páteř, pánev), které se naučili během úvodních setkání. Kontrolní skupina se neúčastnila žádné formy dýchacího výcviku a bylo jí řečeno, aby pokračovala ve svém režimu jako obvykle (Malátová et al., 2017; Bahenský et al., 2020; Bahenský et al., 2021).

Následné testování, které bylo stejné jako výše popsany odstupňovaný maximální test na bicyklovém ergometru, bylo provedeno po osmi týdnech intervence, u každého účastníka ve stejnou denní dobu jako u vstupního testování (Malátová et al., 2017; Bahenský et al., 2020; Bahenský et al., 2021).

4.2.2 Design intervence tréninkového kempu ve „středohoří“

Členové experimentální skupiny se zúčastnili jedenáctidenního tréninkového kempu v Nových Hutích na Šumavě v nadmořské výšce $\sim 1\,040$ m n. m. většinu tréninků absolvovali v nadmořské výšce $\sim 1\,060$ m n. m. Na začátku soustředění měli všichni účastníci (včetně členů

kontrolní skupiny) za sebou tři týdny systematické přípravy na další sezónu. Předtím probíhalo závodní období dlouhé šest týdnů. Trénink na soustředění plynule navazoval na předchozí absolvovaný trénink. V prvních dvou dnech soustředění byly zařazeny tréninky nižší intenzitou, než jsou zvyklí v domácích podmínkách. Zařazen byl pouze běh nízkou intenzitou, turistika, rovinky a běh na úrovni aerobního prahu (AEP), od třetího dne byly zakomponovány tréninky o větší intenzitě i objemu. Pátý den následoval trénink na úrovni anaerobního prahu (ANP), poté již probíhal standardní trénink jako v nížině, jen byla upravena rychlost běhu. Z důvodu vlivu vyšší nadmořské výšky na organismus běžců byly všechny tréninky absolvovány cca o 5–10 s·km⁻¹ pomaleji než v nížině. To je v souladu s již publikovanými studiemi (Bahenský & Grosicki, 2021). Probíhal především rozvoj obecné vytrvalosti, tempa běhu na úrovni aerobního a anaerobního prahu. Při volných bězích a turistice se pohybovali v rozmezí 920 až 1 218 m n. m. Členové kontrolní skupiny absolvovali stejné tréninkové zatížení, s výjimkou turistiky. Všechny tréninky, s výjimkou vybíhaných kopců, byly u kontrolní skupiny absolvovány bez převýšení. Naproti tomu účastníci soustředění na Šumavě absolvovali 85 % naběhaných kilometrů v kopcovitém terénu (kontrolní skupina pouze ca 8 %). V porovnání s tréninkem před soustředěním došlo k nárůstu objemu tréninku o tři tréninkové jednotky za 12 dnů. Anaerobní zatížení bylo v průběhu tréninkového kempu realizováno pouze jednou prostřednictvím vybíhaných kopců. Oproti tréninku v domácích podmínkách před kempem bylo na soustředění zařazeno do tréninku pět tréninkových jednotek turistiky. Další změnou bylo absolvování dvofázového tréninku každý den, standardně absolvují dvofázový trénink tito běžci 3–5krát týdně. Po návratu ze soustředění následoval volnější mikrocyklus z pohledu objemu i intenzity, všichni probandi měli totožnou tréninkovou náplň.

Členové kontrolní skupiny absolvovali trénink v místě bydliště, tzn. v nadmořské výšce ~400 m n. m. v rovinaté lokalitě. Absolvovali stejné tréninkové zatížení jako členové intervenční skupiny, s jedinou výjimkou, kdy pět tréninkových jednotek chůze nahradili volným během o délce 4–6 km.

Testování probíhalo v Laboratoři zátěžové diagnostiky na Katedře tělesné výchovy a sportu Pedagogické fakulty Jihočeské univerzity. Testy obou skupin proběhly ve stejnou dobu, vždy tři dny před odjezdem na soustředění a devět dní po návratu (Bahenský & Grosicki, 2021). Dynamika změn respiračních parametrů (VO_{2max}, VO₂·SF⁻¹, FVC, VT, BF, VE, VE·VO₂⁻¹) byla zjišťována na běžeckém ergometru (Lode Valiant 2 Sport; Lode B. V., Groningen, Nizozemsko). (Metalyzer B3, Cortex, Lipsko, Německo) pomocí stupňovaného zatížení do „vita maxima“. Byl použit test se zahřívací fází 4 minuty volným během 6 km·hod⁻¹. Po zahřívací fázi následovala pauza 2 min po ní 6–12minutový stupňovitý test se začátkem na 10 km·hod⁻¹ u chlapců a 8 km·hod⁻¹ u dívek. Rychlost se zvyšovala o 1 km·hod⁻¹ každou minutu až do okamžiku přerušení testu samotným probandem. Kritéria použitá k ověření dosažení VO_{2max} zahrnovala: RER > 1,1, hodnocení vnímané námahy (RPE) > 17, dosažení plató ve VO₂ a dosažení 90% věkem předpokládané maximální srdeční frekvence (Jordan et al., 2010; American College of Sports Medicine, 2018). Testy jsme provedli jeden den před odjezdem na soustředění a devět dnů po návratu. U kontrolní skupiny ve stejných termínech.

4.2.3 Design intervence tréninkového kempu ve vyšší nadmořské výšce

Členové experimentální skupiny se zúčastnili jedenáctidenního tréninkového kempu v italském Livignu, v provincii Sondrio v nadmořské výšce ~1850 m n. m. Běžci v kontrolní

skupině trénovali v místě svého bydliště, tj. ve výšce ~400 m n. m. Tito běžci absolvovali stejnou tréninkovou zátěž z hlediska intenzity a objemu jako členové nadmořské skupiny. Trénink ve vyšší nadmořské výšce byl tedy jediným rozdílem mezi skupinami po dobu trvání studie.

Během prvních tří tréninkových dnů všichni účastníci absolvovali pouze běhy nízké intenzity, aby si experimentální skupina mohla zvyknout na své nové prostředí. V následujících dnech se zátěž postupně zvyšovala, byla jen přizpůsobena věku a aktuální výkonnostní úrovni. Hlavní náplní tréninku v průběhu tréninkového kempu byl především běh nízké intenzity pod aerobním prahem (AEP) se dvěma tréninky anaerobní prahové intenzity vyšší intenzity (ANP). V průběhu jedenácti dnů tréninku absolvovali běžci ~100 kilometrů běhu. Trénink po návratu z tréninkového kempu byl v obou skupinách totožný. První den po soustředění byl den volna. Druhý a třetí den byl běh v nízké intenzitě pod AEP. Poté se účastníci vrátili k běžnému tréninkovému režimu před kempem. Intenzita běhu byla ve vyšší nadmořské výšce stanovena o 10–15 s·km⁻¹ pomaleji, než trénují ve standardních podmínkách.

Metodika laboratorního testování, design testu, použité přístroje a hodnocené parametry byly totožné s výzkumem popsáním v kapitole 4.2.2.

4.2.4 Design longitudinální studie

V longitudinální studii bylo realizováno dlouhodobé sledování adolescentních běžců a běžkyň, kteří byli pravidelně několikrát ročně testováni v zátěžové laboratoři (složení těla, spirometrie a test spiroergometrie).

V průběhu realizace studie byly realizovány tyto úkony:

- monitoring aktuální výkonnostní úrovně,
- pravidelné testování v laboratoři 4–8krát ročně (složení těla, spirometrie, test spiroergometrie),
- výběr závodů a testů, které jsou použity pro analýzu.

Zjišťovali jsme, zda se vývoj respiračních parametrů u sledovaných jedinců absolvujících vytrvalostní běžecký trénink liší od přirozeného vývoje. Naměřená data somatických parametrů byla posouzena dle posledních publikovaných tuzemských norem (Bláha et al., 2005). Somatické parametry (primárně výška postavy) byly použity pro zjištění věku ukončení růstu. Tyto údaje byly využity pro analýzu souvislosti věku ukončení růstu a dosažení limitních hodnot u respiračních parametrů. Výkonnostní úroveň sledovaných běžců byla monitorována prostřednictvím výsledků v závodech na dráze ve všech běžeckých disciplínách. Žádný sledovaný běžec se nevěnoval po celé monitorované období pouze jedné disciplíně. Pro srovnání a možnost stanovení úrovně výkonu na různých tratích (800 m až 5 000 m) byly využity tzv. „Maďarské tabulky“ (IAAF Council, 2001), což jsou tabulky, které přisuzují bodovou hodnotu každému výkonu na všech tratích. Tzv. „Maďarské tabulky“ jsme zvolili s vědomím, že nemusí být dokonalým nástrojem pro porovnání výkonů v různých disciplínách, ale k porovnání výkonů v různých disciplínách není k dispozici žádná objektivnější metoda (Bahenský, 2021). Navíc jsme v naší studii hodnotili pouze střední a dlouhé tratě, takže případná chyba mezi disciplínami je minimální (oproti srovnání s disciplínami sprintů, skoků, vrhů a hodů). Prostřednictvím uvedených tabulek jsme přiřadili bodovou hodnotu každého dosaženého výkonu u každého sledovaného závodníka. Posuzovali jsme, jak se vyvíjela

výkonnostní úroveň sledovaných běžců a běžkyň v průběhu sledování ve všech běžeckých disciplínách, ve kterých závodili. Prováděli jsme několik testování v průběhu roku, abychom vyloučili vliv mezidenní biologické variability, která dosahuje přibližně 3,5–5,6 %. Stejně tak je variabilní běžecký závodní výkon (Katch et al., 1982; Baquet et al., 2003; Knaier et al., 2019).

Testování probíhalo v průběhu roku v pravidelných termínech: na začátku přípravného období (přelom září a října), v polovině listopadu, na konci halové sezóny (přelom února a března), na konci jarního přípravného období (přelom dubna a května), v jarním a letním závodním období (květen až září), příležitostně i před a po tréninkovém kempu. Testy v závodním období byly plánovány tak, aby byly provedeny maximálně dva týdny před nebo po vrcholných závodech příslušného závodního období. Zároveň tak, aby nenarušovaly přípravu sledovaných atletů. Somatické parametry-naměřené hodnoty výšky postavy byly mj. použity na stanovení biologického věku, pro kontrolu i hodnoty tělesné hmotnosti.

Metodika laboratorního testování, design testu a hodnocené parametry byly totožné s výzkumem popsáním v kapitole 4.2.2. Naměřené hodnoty byly porovnány s individuální normou stanovenou pro každého jedince dle jeho věku, pohlaví a somatických parametrů.

Atletická sezóna se v atletice dělí na tzv. letní (na dráze) a zimní (v hale). Závodní období probíhala v průběhu sledování standardně dle termínové listiny ČAS, tedy halové období (v lednu a v únoru, resp. začátek března), jarní část dráhové sezóny (v květnu, červnu a začátek července) a podzimní část dráhové sezóny (srpen a září). Pro analýzu jsme použili závodní výkon a výsledky testů, které byly naměřené maximálně ve dvoutýdenním odstupu. Hodnotili jsme data zaznamenaná dvakrát ročně (halová a dráhová sezóna), případně pokud to bylo možné, třikrát ročně (halová sezóna, jarní a podzimní část dráhové sezóny). Laboratorní testování v průběhu závodní sezóny je velmi citlivé téma, může narušit závodní vyladění. Proto jsme se snažili postupovat tak, abychom závěrečnou přípravu narušili co nejméně. Poslední dva dny před testováním proběhl jen omezený trénink bez intenzivní zátěže. Do analýzy byli zařazeni probandi s minimálně sedmi naměřenými hodnotami. Tyto hodnoty byly použity pro korelační a regresní analýzu.

V průběhu sledování měli všichni sledovaní běžci a běžkyň stejného trenéra. Běžecké tréninkové zatížení bylo pro všechny probandy srovnatelné, jen byl individuálně přizpůsoben každému jedinci s ohledem na jeho věk, aktuální úroveň trénovanosti, pohlaví, zdravotní stav, závodní disciplínu a individuální předpoklady. Byl strukturován dle standardně uváděných doporučení (Bahenský & Bunc, 2018). Realizovaný trénink byl odpovídající věku, byl do určité míry konzistentní po celou dobu sledování, kopíroval jednotlivá období ročního tréninkového cyklu a postupně navazoval na předchozí absolvované tréninkové zatížení. V průběhu ročního tréninkového cyklu byly pravidelně zařazovány tři tréninkové kempy jeden na přelomu října a listopadu, další ve druhé polovině dubna a třetí ve druhé polovině července.

4.3 Zpracování dat

4.3.1 Prezentace dat

Krátkodobé intervence

U všech krátkodobých studií (jedenáctidenních i osmitýdenních) byla data hodnocena před intervencí a po ukončení intervence. Pro porovnání naměřených hodnot a hodnot individuálních norem jsme zvolili spojnicový graf. Provedli jsme statistickou analýzu změny sledovaných parametrů.

Longitudinální studie

U somatických parametrů jsou znázorněny prostřednictvím grafu změny parametru v průběhu sledování. U výšky postavy jsou graficky vyjádřeny všechny naměřené hodnoty, v grafu je též vyznačen moment ukončení růstu postavy. U parametru tělesné hmotnosti jsme použili vyjádření prostřednictvím grafu s lineárním trendem. Tento graf jsme zvolili především s ohledem na přehlednost grafu i s vědomím, že koeficient determinace nedosahuje u tohoto trendu nejvyšší hodnoty. Graf s lineárním trendem jsme ze stejných důvodů použili také u vývoje výkonnosti v závodní disciplíně a souhrnném vyjádření vývoje jednotlivých respiračních parametrů. Pro graf s vývojem výkonnostní úrovně jsme použili nejlepší dosažený výkon v každém měsíci, pokud v daném měsíci závody proběhly. Pro posouzení zlepšení výkonnostní úrovně v průběhu sledování jsme použili vstupní (ve 14–15 letech) a výstupní (v 18–19 letech) hodnoty výkonů.

Data jsou prezentována jako průměrná hodnota \pm směrodatná odchylka v tabulkách či v textu. Počet desetinných míst souvisí s počtem desetinných míst naměřených hodnot a odpovídá počtu desetinných míst standardně uváděných u daných parametrů. Pro porovnání naměřených hodnot a hodnot individuálních norem jsme zvolili graf složený z grafů jednotlivých probandů. Pro přehlednost byly zvoleny vždy stejné nominální hodnoty na ose y u každého parametru. Tím je zřejmá a přehledná úroveň parametru u jednotlivých sledovaných běžců a běžkyň. Šipka v grafu ukazuje termín absolvovaného tréninkového kempu ve zvýšené nadmořské výšce. Modře jsou prezentovány naměřené hodnoty. Ve stejném grafu je červeně uvedena aktuální hodnota individuální normy pro každého účastníka, je tedy zřejmé, jakých hodnot vzhledem k normě jednotliví běžci a běžkyň dosahují. U obou hodnot je zároveň zobrazen trend, nejvíce hodnotám odpovídá polynomická spojnice trendu.

Vývoj jednotlivých respiračních parametrů společně pro všechny účastníky jsme prezentovali jako naměřenou hodnotu parametru. V dalším grafu jsme prezentovali také jako poměr k referenční hodnotě pro daného jedince v daném věku (procentuální vyjádření k aktuální individuální normě). Obě proměnné jsou v grafu uvedené jako lineární spojnice trendu. Tuto variantu trendu jsme použili i s vědomím, že nevyjadřuje nejpřesněji průběh parametru (u některých jedinců nebyl při použití lineárního trendu koeficient determinace nejvyšší, u některých ano), ale snahou byla co největší názornost a přehlednost prezentovaných dat. U respiračních parametrů uvádíme koeficient determinace. Optimální spojnice trendu (polynomická) je uvedena v individuálních grafech (v grafech prezentujících hodnoty jednotlivých běžců a běžkyň).

4.3.2 Statistická analýza

Krátkodobé intervence

K analýze dat jsme použili konvenční statistické metody, prezentované jako průměr \pm SD. Normalita dat byla potvrzena pomocí Shapiro-Wilkova testu. Pro stanovení statistické významnosti krátkodobé intervence byla použita obousměrná ANOVA analýza pro opakované měření (skupina \times fáze). Významné interakce byly zkoumány pomocí Bonferroniho upravených jednoduchých porovnávání hlavního efektu post hoc. Pro vyhodnocení statistické významnosti pro všechna srovnání byla použita alfa-hladina 0,05. Zpracování dat bylo provedeno v Excelu 2016 (Microsoft, Oregon, WA, USA) a Statistica 12 (StatSoft, Tulsa, OK, USA).

U krátkodobých intervencí nebyla všechna data kontrolní skupiny prezentována tak detailně, jako data experimentální skupiny, z důvodu velkého rozsahu práce. Naměřené hodnoty kontrolní skupiny nevykazují za sledované období významné změny.

Longitudinální studie

Pro zjištění požadované velikosti vzorku probandů jsme v longitudinální studii v prospektivní power analýze stanovili velikost účinku $d = 0,8$, hladinu významnosti $p = 0,05$, síla testu 0,95. Požadovaný počet účastníků je stanoven na 19 účastníků. Provedli jsme analýzu normality dat pomocí Shapiro-Wilkova testu. Naměřené hodnoty vykazují normální rozložení. Změnu výkonnostní úrovně za dobu sledování u jednotlivých účastníků jsme posoudili prostřednictvím t-testu (statistická významnost) a Cohenovo d (věcná významnost-effect size). Stejným způsobem jsme hodnotili prostou změnu respiračních parametrů za sledované období (posouzení vstupních a výstupních parametrů). Pro stanovení velikosti koeficientu d efektu jsme použili běžné hodnocení (Cohen, 1988):

$d \geq 0,80$ – velký efekt,

$d = 0,50$ až $0,80$ – střední efekt,

$d = 0,20$ až $0,50$ – malý efekt.

Prezentovali jsme trend změn vybraných somatických a respiračních parametrů, také výkonnostní úrovně. Prostřednictvím korelační analýzy jsme zjišťovali vztah věku ukončení tělesného růstu a věku dosažení limitních hodnot vybraných respiračních parametrů.

Za použití průběžně (2–3krát ročně) zaznamenaných hodnot jsme hodnotili intenzitu vztahu mezi naměřenými respiračními parametry (VO_{2max} , $VO_2 \cdot SF^{-1}$, FVC, VT, BF, VE, $VE \cdot VO_2^{-1}$) a aktuální výkonnostní úrovní (hodnotou výkonů vyjádřených body dle „IAAF scoring tables of athletics“) a také mezi procentuální hodnotou normy naměřených respiračních parametrů a aktuální výkonnostní úrovní pomocí Pearsonova korelačního koeficientu. Vliv vybraných respiračních parametrů na závodní výkon (také vyjádřený prostřednictvím bodů dle „Maďarských tabulek“) jsme stanovili prostřednictvím regresní analýzy. Zvažovali jsme použití vícenásobné regresní analýzy, ale z důvodu vzájemné korelace jednotlivých respiračních parametrů jsme od ní upustili. Pro analýzu jsme u děvčat využili 141 párů hodnot jednotlivých respiračních parametrů a dosažených výkonů, u chlapců 103 párů hodnot dosažených výkonů a jednotlivých respiračních parametrů. Kritická hodnota Pearsonova korelačního koeficientu pro 141 hodnot je 0,160, pro 103 hodnot je 0,194 (Hendl, 2009).

Pro stanovení statistické významnosti dlouhodobého vlivu běžeckého tréninku na vybrané respirační parametry byla použita obousměrná ANOVA analýza pro opakované měření (skupina \times fáze). Naměřené hodnoty parametrů jsme posuzovali vzhledem k hodnotě příslušné individuální normy. ANOVA nebyla použita pro parametr $VE \cdot VO_2^{-1}$ z důvodu absence hodnot individuální normy, jež není stanovena. Významné interakce byly zkoumány pomocí Bonferroniho upravených jednoduchých porovnávání hlavního efektu post hoc. Pro vyhodnocení statistické významnosti pro všechna srovnání byla použita alfa-hladina 0,05. Zpracování dat bylo provedeno v Excelu 2016 (Microsoft, Oregon, WA, USA) a Statistica 12 (StatSoft, Tulsa, OK, USA).

4.3.3 Normy

Pro stanovení ukončení růstu (biologického věku) byla využita data Celostátního antropologického výzkumu 2001 (Bláha et al., 2005), tyto normy jsou v souladu s daty

prezentovanými v dalších publikacích (Andersen et al., 1987; Malina et al., 2004; Kolle et al., 2010; Nes et al., 2013).

Pro srovnání sledovaných parametrů u běžců a běžkyň s parametry běžné populace byly použity hodnoty uváděné softwarem firmy Cortex jako referenční hodnoty (normy), viz obrázek 8. Ty nahradily chybějící hodnoty kontrolní skupiny. Pro hodnoty VO_{2max} byly použity hodnoty „Cooper & Weiler-Ravell“ určené pro srovnání hodnot chlapců a dívek v průběhu dospívání. Jsou stanoveny dle Kroidl et al. (2014), kteří vycházeli z dat Cooper & Weiler-Ravell (1984). Pro stanovení norem pro hodnoty FVC byla použita data vycházející z publikace Zapletal et al. (1987), viz obrázek 9. Pro parametr VT není norma programem stanovena, proto jsme vycházeli z předpokladu, že její hodnota je na 50 % hodnoty FVC (McArdle et al., 2016; Várnay et al., 2020). Referenčními respiračními hodnotami se zabývají i další tuzemští odborníci (např. Zapletal et al., 1985; Miravitlles et al., 2016; Neumannová et al., 2019; Neumannová et al., 2021), přesto jsme nedohledali ucelený soubor norem pro populaci v adolescentním věku tak, jak je prezentována v použitém softwaru.

Obrázek 8.

Použité normy u srovnání jednotlivých parametrů v softwaru firmy Cortex (dle Pollocka, 1980; Cooper & Weiler-Ravell, 1984; Wasserman et al., 1987; Jones, 1997; American Thoracic Society, 2003; Wonisch et al., 2003)

Normální hodnoty		
	CPET	Spirometrie
Maximální Spotřeba kyslíku	Cooper & Weiler-Ravell (v dospívání)	3,18 L/min
Maximální Relativní spotřeba kyslíku	Na základě normální hodnoty maximální spotřeby kyslíku	53,9 ml/min/kg
Maximální Tepový kyslík	Wassermanova rovnice	16 ml
Maximální Srdeční frekvence	Tradiční vzorec pro test na běhacím pásu	204 /min
Maximální Minutová ventilace	Jonesova rovnice	110,5 L/min
Maximální Dechová frekvence	Rovnice Pollocka a. kol.	42 /min
Maximální Zátěž	Na základě maximální spotřeby kyslíku	288 W
Maximální Arteriální krevní tlak	Japonské normální hodnoty	193 mmHg

Obrázek 9.

Použité normy u srovnání jednotlivých parametrů v softwaru firmy Cortex (dle Zapletala et al., 1985)

Manuální		
FVC	Zapletal (pro děti)	Tato sada normálních hodnot publikována v [1, 2] je použitelná pro děti ve věku 6 - 17 let s výškou 115cm až 180cm. [1] Zapletal, A., M. Samanek, T. Paul. Lung Function in Children and Adolescents. Progr. Respir. Res., Vol. 22. [2] Standardization of Lung Function Tests in Paediatrics, Eur. Respir. J., Vol. 2, 1989, Suppl. 4 ¹
FEV0.5		
FEV1		
FEV3		
FEV1/FVC		
PEF		
FEF25-75		

Na obrázku 10 je uveden příklad protokolu ze zátěžové diagnostiky – testu spiroergometrie (CPET). Je v něm zvláště zřetelně sloupec s uvedenými hodnotami norem, které

jsou stanoveny pro každého testovaného účastníka s ohledem na jeho somatické parametry, věk a gender.

Obrázek 10.

Příklad použitého protokolu z testu spiroergometrie

Základní výsledky CPET testu										
Name										
ID										
Věk	17	Hmotnost	55,9 kg							
Pohlaví	žena	Výška	171 cm							
Datum	22.06.2022 11:03			Zátěžový protokol	VO2max treadmill běžkyně					
Doba trvání	0:16:02			Kind of Test	Lab Test					
Uživatel				Sport	Running					
Zařízení	MetaLyzer 3B-R2			Okolní podmínky						
Zátěžové zařízení	Lode Valiant Plus			Teplota	25,8°C					
				Tlak	964mbar					
Souhrnná tabulka										
Proměnná	Jednotka	VT1			VT2			V'O2peak		
		Hodnota	% Norm	% Max	Hodnota	% Norm	% Max	Hodnota	% Norm	Norm.
V'O2/kg	ml/min/kg	36,0	90	70	48,7	122	95	51,2	128	39,9
V'O2/HR	ml	12	98	81	15	119	99	15	121	12
TF	/min	169	92	87	188	103	96	195	106	183
v	km/h	10,1	-	67	13,1	-	87	15,0	-	-
V'E/V'O2		29,7	-	76	33,8	-	87	39,0	-	-
V'E/V'CO2		30,5	-	95	30,5	-	95	32,2	-	-
RER		0,97	-	80	1,11	-	92	1,21	-	-
V'E	L/min	69,4	100	58	98,9	143	83	119,2	172	69,2
VT	L	1,52	-	74	1,93	-	93	2,06	-	-
BF	/min	46	118	79	51	133	89	58	149	39

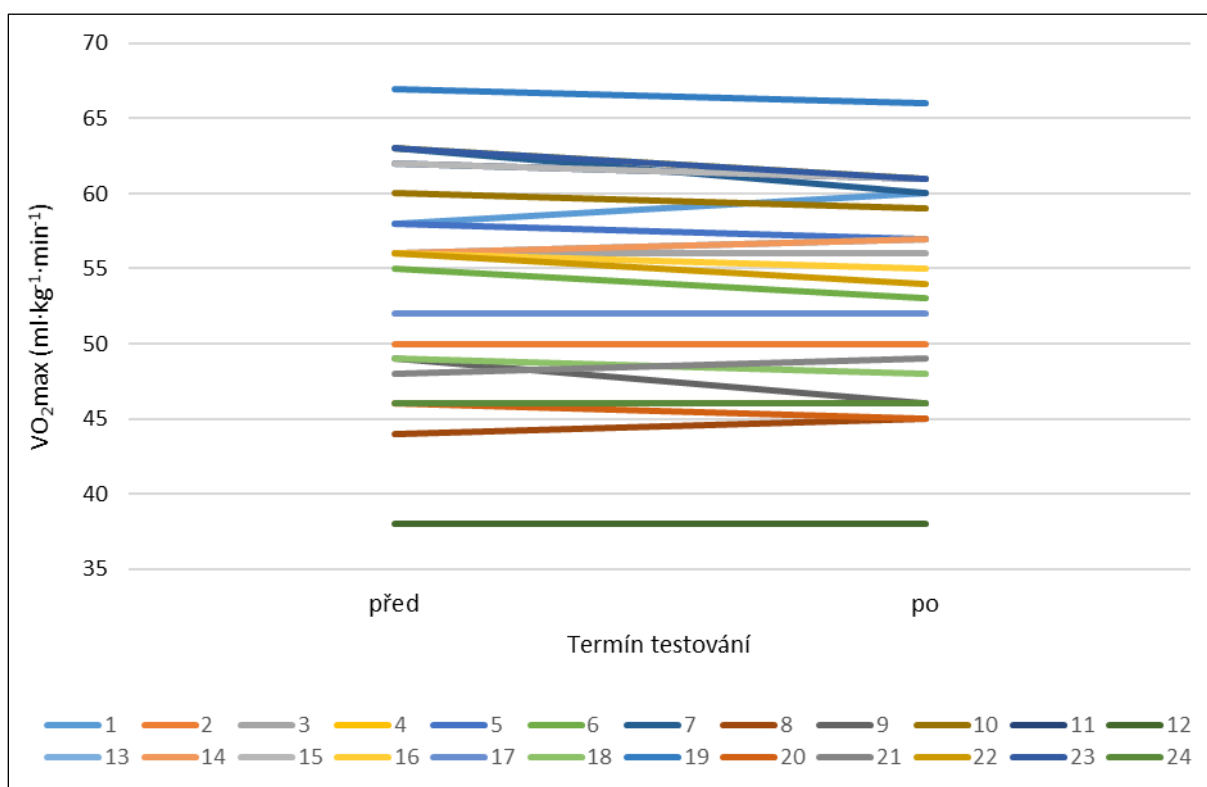
5 Výsledky

5.1. Změny respiračních parametrů v důsledku krátkodobé intervence dechových cvičení

Účastníci prováděli dechový program založený na józe v průměru $13,8 \pm 2,9$ minut denně během dvouměsíčního období. Změny vybraných parametrů jsou prezentovány prostřednictvím spojnicových grafů (graf 1–7), které vyjadřují změnu mezi hodnotou sledovaného parametru před osmitýdenní intervencí dechových cvičení založených na józe a po ní.

5.1.1 VO_{2max}

Členové experimentální skupiny dosáhli před začátkem intervence relativních hodnot VO_{2max} : $54,71 \pm 7,19 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, po ukončení intervenčního programu: $54,04 \pm 6,76 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ (viz graf 1). V průběhu intervence došlo k průměrnému snížení hodnoty VO_{2max} o $1,13 \pm 2,31 \%$. U kontrolní skupiny byly naměřeny před sledovaným obdobím tyto hodnoty: $54,50 \pm 6,21 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, po konci sledovaného období: $54,04 \pm 6,66 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$. V průběhu sledování tedy došlo u kontrolní skupiny také ke snížení hodnoty VO_{2max} , o $0,90 \pm 3,24 \%$. Změna hodnot VO_{2max} vlivem intervence dechových cvičení není statisticky významná, což potvrzuje hodnota $p = 0,642$ při ANOVA analýze. Nebyl tedy prokázán vliv použitého dechové programu na hodnotu VO_{2max} . Vlivem intervence dechových cvičení nedošlo k významné změně hodnot VO_{2max} u experimentální skupiny, nastaly pouze nevýznamné změny.

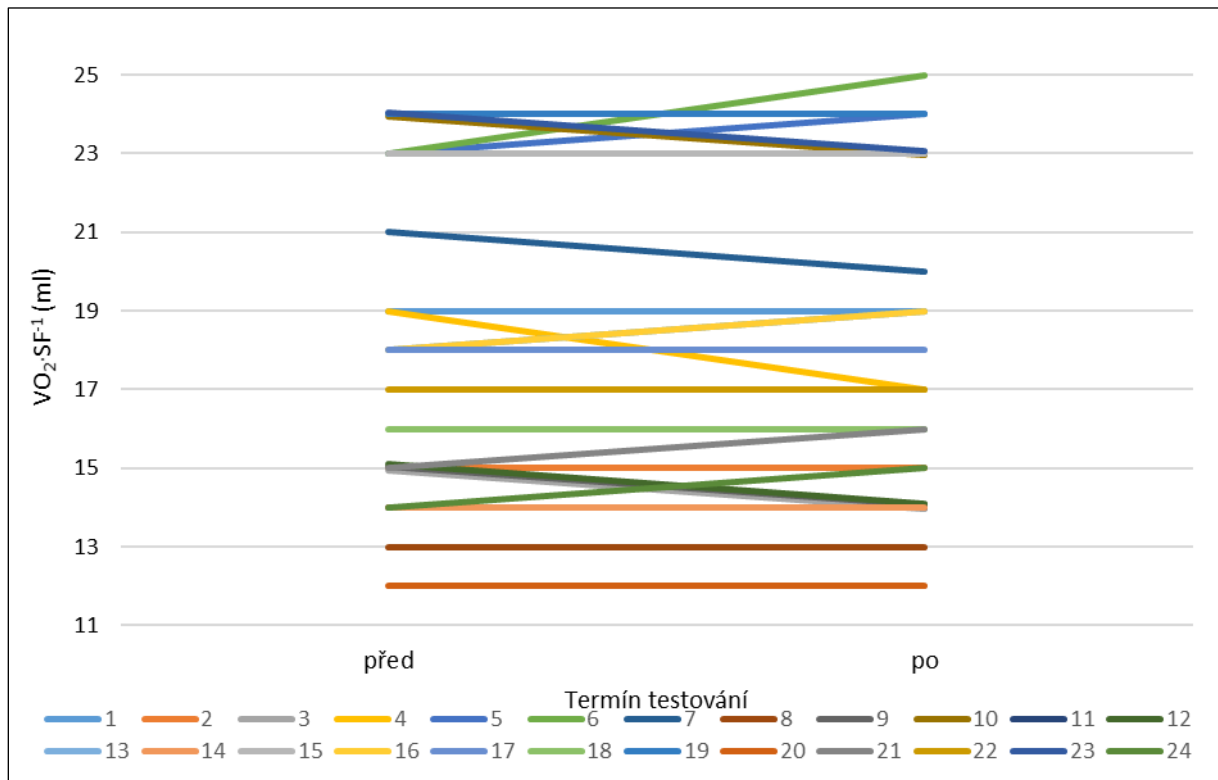


Graf 1.

Relativní hodnoty VO_{2max} u experimentální skupiny před a po intervenci dechových cvičení

5.1.2 $VO_2 \cdot SF^{-1}$

U experimentální skupiny byly naměřeny hodnoty $VO_2 \cdot SF^{-1}$ před tréninkovým kempem hodnot: $17,9 \pm 3,8$ ml, po návratu ze soustředění: $17,8 \pm 3,9$ ml (viz graf 2). V průběhu intervence došlo k průměrnému snížení hodnoty $VO_2 \cdot SF^{-1}$ o $0,23 \pm 4,79$ %. U kontrolní skupiny byly naměřeny před sledovaným obdobím tyto hodnoty: $17,7 \pm 3,7$ ml, po konci sledovaného období: $17,6 \pm 3,6$ ml. V průběhu sledování tedy došlo ke snížení hodnoty $VO_2 \cdot SF^{-1}$ o $0,29 \pm 4,30$ %. Změna hodnot $VO_2 \cdot SF^{-1}$ vlivem tréninkového kempu není statisticky významná, při ANOVA analýze dosáhla hodnota $p = 0,346$. Byly zaznamenány pouze nevýznamné změny těchto hodnot oběma směry.



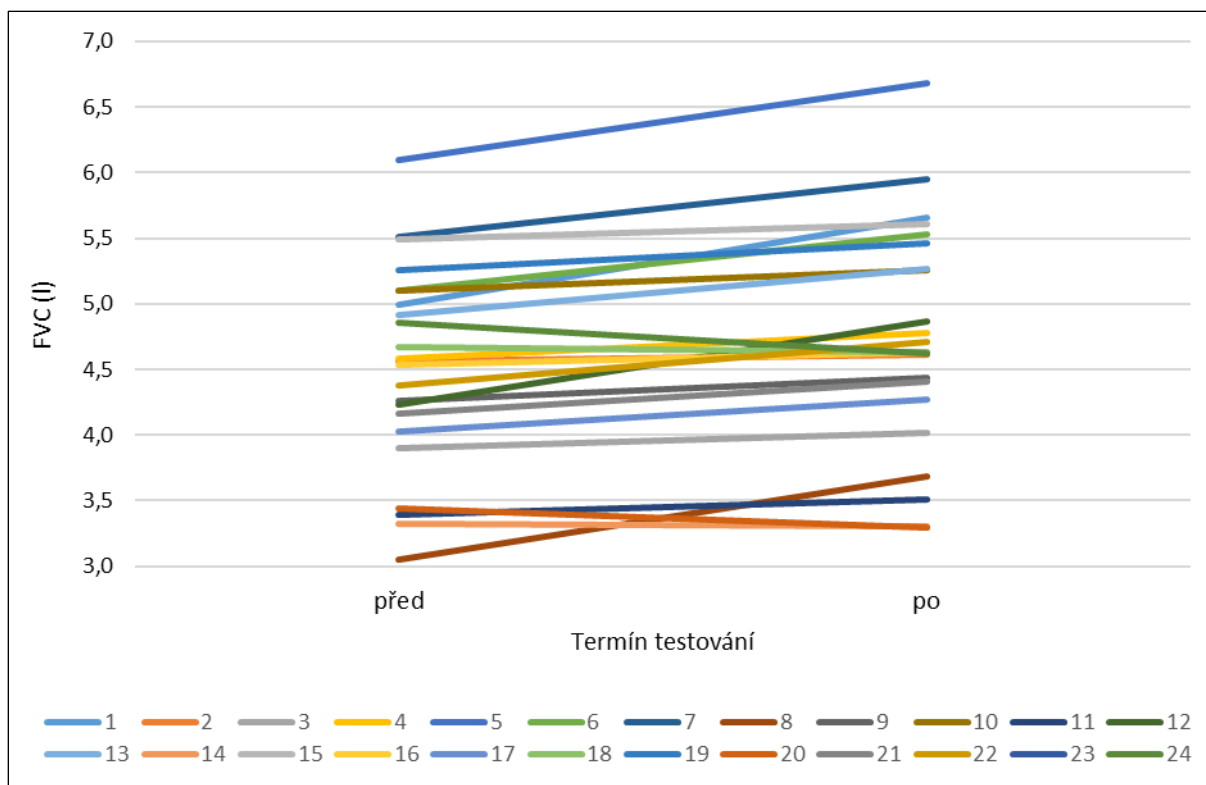
Graf 2.

Relativní hodnoty $VO_2 \cdot SF^{-1}$ u experimentální skupiny před a po intervenci dechových cvičení

Vlivem intervence dechových cvičení nedošlo k významné změně hodnot $VO_2 \cdot SF^{-1}$ u experimentální skupiny.

5.1.3 FVC

U experimentální skupiny byly před začátkem intervence zaznamenány hodnoty FVC: $4,63 \pm 0,92$ l, po ukončení intervence: $4,85 \pm 0,96$ l (viz graf 3). V průběhu intervence došlo k průměrnému zvýšení hodnoty FVC o $4,95 \pm 5,75$ %. U kontrolní skupiny byly naměřeny před sledovaným obdobím tyto hodnoty: $4,65 \pm 0,91$ l, po konci sledovaného období: $4,62 \pm 0,94$ l. V průběhu sledování tedy došlo ke snížení hodnoty FVC o $0,63 \pm 2,50$ %. Při ANOVA analýze dosáhla hodnota $p = 0,000$. Změna hodnot FVC vlivem intervence dechových cvičení je statisticky významná. Až na výjimky došlo u členů experimentální skupiny ke zvýšení hodnoty FVC, což je pravděpodobně umožněno lepším zapojením dýchacích svalů do dechového vzoru.



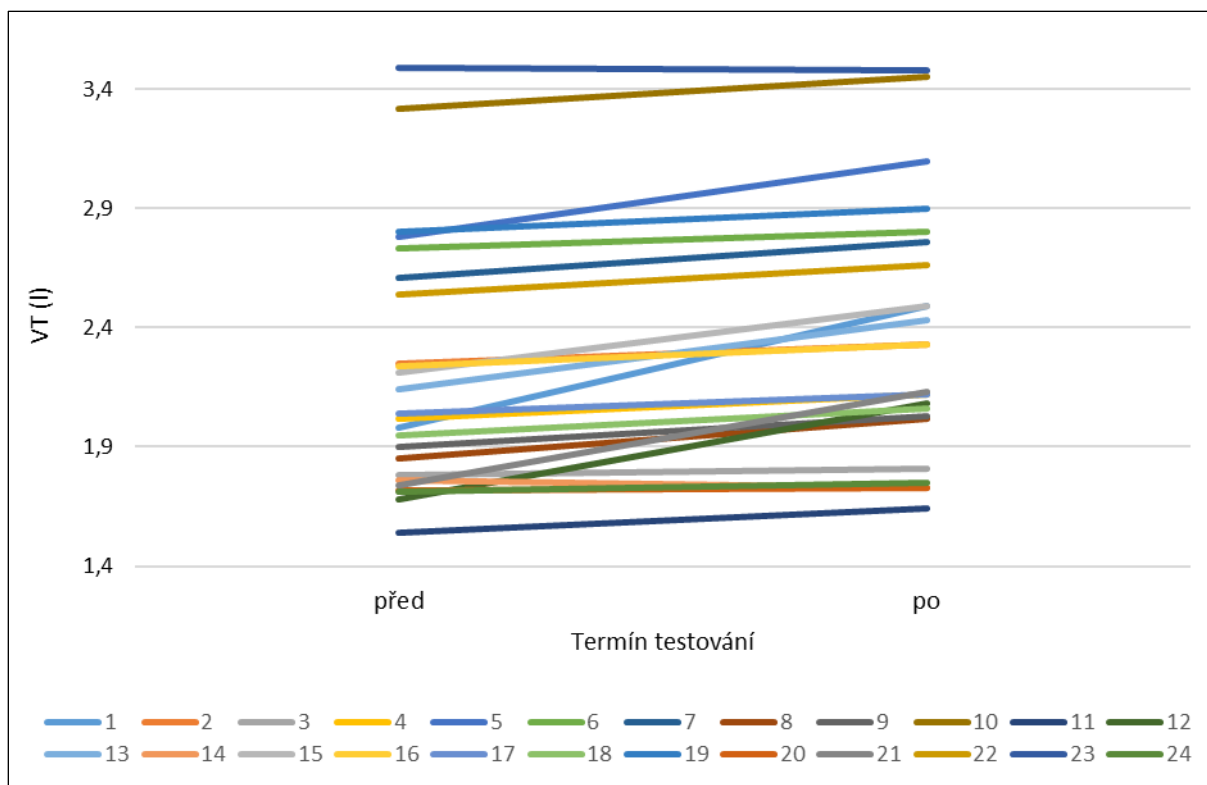
Graf 3.

Hodnoty FVC u experimentální skupiny před a po intervenci dechových cvičení

Vlivem intervence dechových cvičení došlo k významné změně hodnot FVC u experimentální skupiny, kvalita klidového dýchání se změnila.

5.1.4 VT

Změna hodnot FVC se projevila díky transferu i v hodnotách VT. U experimentální skupiny byly před začátkem intervence zaznamenány hodnoty VT: $2,20 \pm 0,51$ l, po ukončení intervence: $2,35 \pm 0,51$ l (viz graf 4). V průběhu intervence došlo k průměrnému zvýšení hodnoty VT o $7,39 \pm 7,28$ %. U kontrolní skupiny byly naměřeny před sledovaným obdobím tyto hodnoty: $2,27 \pm 0,50$ l, po konci sledovaného období: $2,26 \pm 0,50$ l. V průběhu sledování tedy došlo k nevýznamnému snížení hodnoty VT o $0,55 \pm 3,10$ %. Při ANOVA analýze dosáhla hodnota $p = 0,000$. Změna hodnot VT vlivem intervence dechových cvičení je statisticky významná. Došlo k významnému nárůstu hodnot VT, čímž došlo k ekonomizaci dýchání při zátěži, změnila se kvalita dýchání při zátěži, došlo k prohloubení dechu a tím i ke snížení BF.



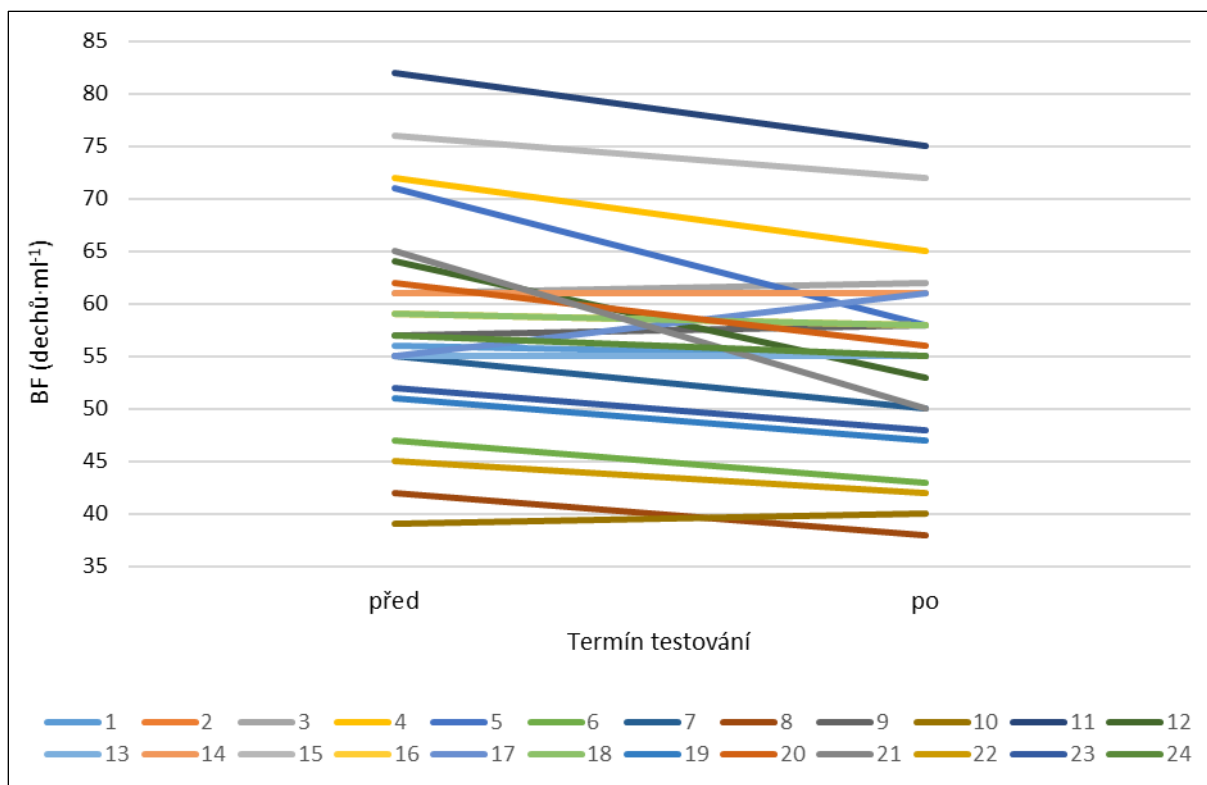
Graf 4.

Hodnoty VT u experimentální skupiny před a po intervenci dechových cvičení

5.1.5 BF

U experimentální skupiny byly před začátkem intervence zaznamenány hodnoty BF: $58,3 \pm 10,0$ dechů·min⁻¹, po ukončení intervence: $54,8 \pm 9,0$ dechů·min⁻¹ (viz graf 5). V průběhu intervence došlo k průměrnému snížení hodnoty BF o $5,54 \pm 7,30$ %. U kontrolní skupiny byly naměřeny před sledovaným obdobím tyto hodnoty: $58,0 \pm 9,1$ dechů·min⁻¹, po konci sledovaného období: $58,6 \pm 8,5$ dechů·min⁻¹. V průběhu sledování tedy došlo ke snížení hodnoty BF o $1,20 \pm 4,35$ %. Při ANOVA analýze dosáhla hodnota $p = 0,001$. Změna hodnot BF vlivem dechové intervence je statisticky významná.

Došlo k významné změně hodnot BF. Vlivem intervence dechových cvičení došlo k významné změně hodnot BF u experimentální skupiny, kvalita dýchání při zátěži se změnila, došlo ke snížení frekvence dechu, což ukazuje na zlepšení ekonomiky dýchání, a tedy ke snížení energetické náročnosti dýchání (dechové práce).



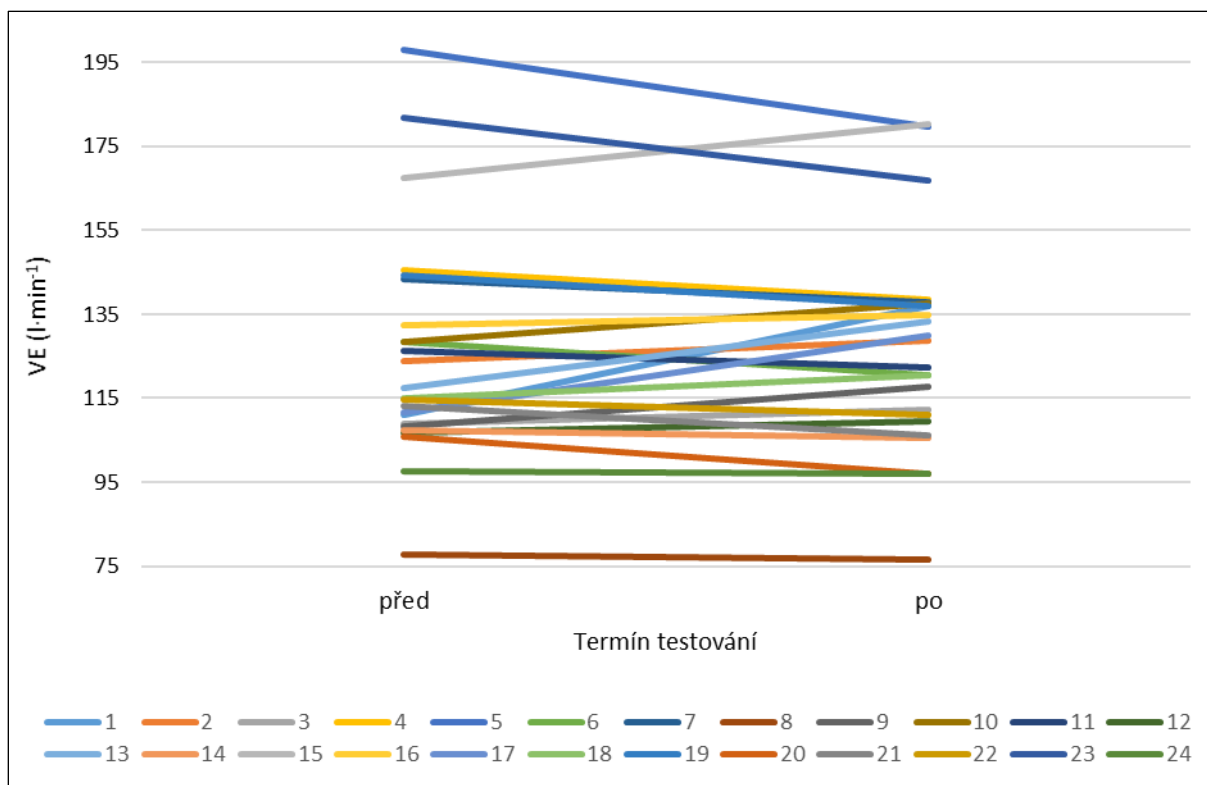
Graf 5.

Hodnoty BF u experimentální skupiny před a po intervenci dechových cvičení

5.1.6 VE

U experimentální skupiny byly před začátkem intervence zaznamenány hodnoty VE: $125,6 \pm 26,5$ l, po návratu ze soustředění: $126,6 \pm 24,2$ l (viz graf 6). V průběhu intervence došlo k průměrnému zvýšení hodnoty VE o $1,28 \pm 8,16$ %. U kontrolní skupiny byly naměřeny před sledovaným obdobím tyto hodnoty: $130,4 \pm 27,4$ l, po konci sledovaného období: $130,86 \pm 26,88$ l. V průběhu sledování tedy došlo ke zvýšení hodnoty VE o $0,63 \pm 5,02$ %. Při ANOVA analýze dosáhla hodnota $p = 0,858$. Změna hodnot VE vlivem intervence dechových cvičení není statisticky významná.

Vlivem intervence dechových cvičení nedošlo k významné změně hodnot VE u experimentální skupiny, ale kvalita dýchání při zátěži se změnila. Došlo jen k prohloubení dechu (zvýšení VT) a snížení BF za zachování nezměněného VE (ke změně ekonomiky dýchání). Nebyla změněna poptávka po kyslíku, což koresponduje i s hodnotami VO_{2max} , u kterých nedošlo k významné změně.



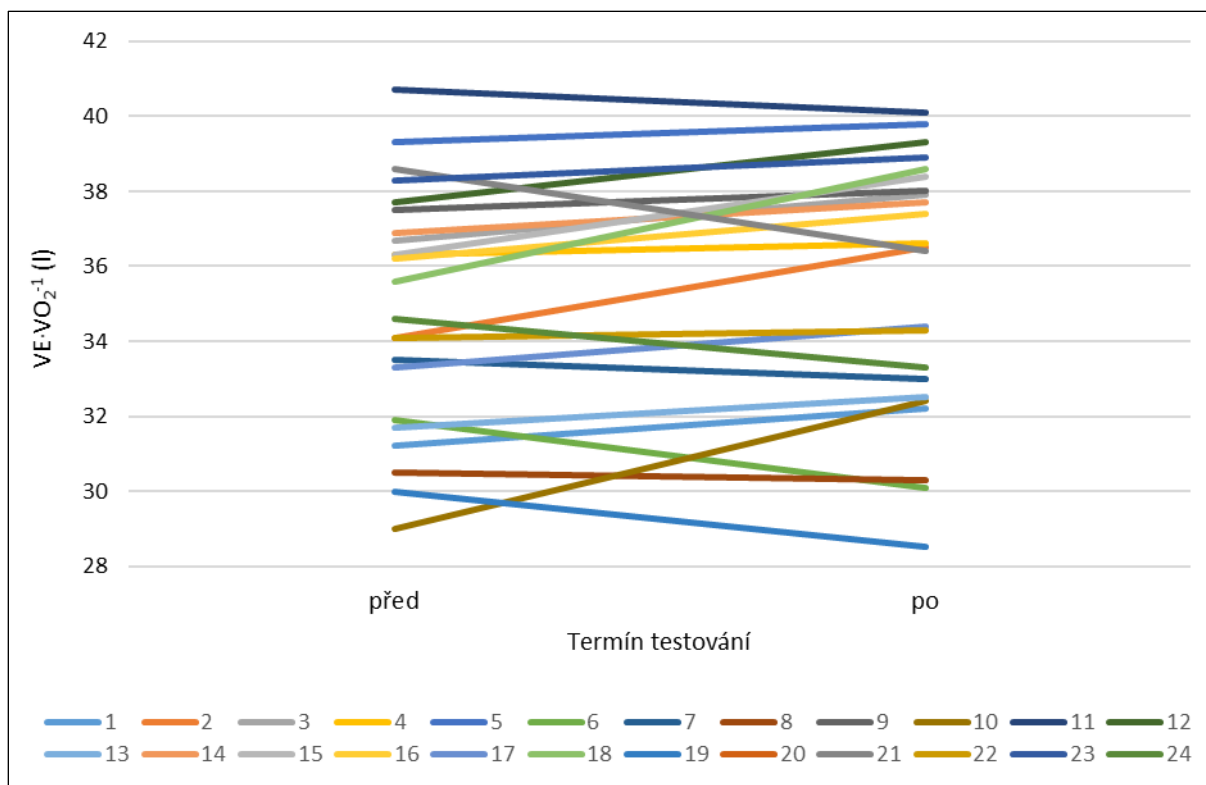
Graf 6.

Hodnoty VE u experimentální skupiny před a po intervenci dechových cvičení

5.1.7 VE·VO₂⁻¹

U experimentální skupiny byly zaznamenány hodnoty VE·VO₂⁻¹ před započítím intervence dechových cvičení: 35,28 ± 3,42 l·min⁻¹, po ukončení intervence: 35,78 ± 3,52 l·min⁻¹ (viz graf 7). V průběhu intervence došlo k průměrnému zvýšení hodnoty VE·VO₂⁻¹ o 1,48 ± 4,22 %. U kontrolní skupiny byly naměřeny před sledovaným obdobím tyto hodnoty: 35,09 ± 3,25 l·min⁻¹, po konci sledovaného období: 35,57 ± 3,73 l·min⁻¹. V průběhu sledování tedy došlo ke zvýšení hodnoty VE·VO₂⁻¹ o 1,32 ± 3,90 %. Při ANOVA analýze dosáhla hodnota $p = 0,968$.

Změna hodnot VE·VO₂⁻¹ vlivem tréninkového kempu není statisticky významná. Nedošlo tedy k významné změně ekonomiky příjmu kyslíku vlivem zvolené intervence. Vlivem intervence dechových cvičení nedošlo u experimentální skupiny k významné změně hodnot VE·VO₂⁻¹.



Graf 7.

Hodnoty $VE \cdot VO_2^{-1}$ u experimentální skupiny před a po intervenci dechových cvičení

5.1.8 Shrnutí

Intervence dechových cvičení založených na józe nemá významný vliv na hodnoty uváděné jako determinanty vytrvalostního výkonu (VO_{2max} , $VO_2 \cdot SF^{-1}$, $VE \cdot VO_2^{-1}$), má ale vliv na parametry, které vypovídají o kvalitě dýchání v klidu i při zátěži (FVC, VT, BF), spojených s kvalitou dechového vzoru. Je otázkou, jak by se změnilы sledované respirační parametry při zařazení ještě delší či trvalé intervenci dechových cvičení, což je potřeba ověřit v dalším výzkumu.

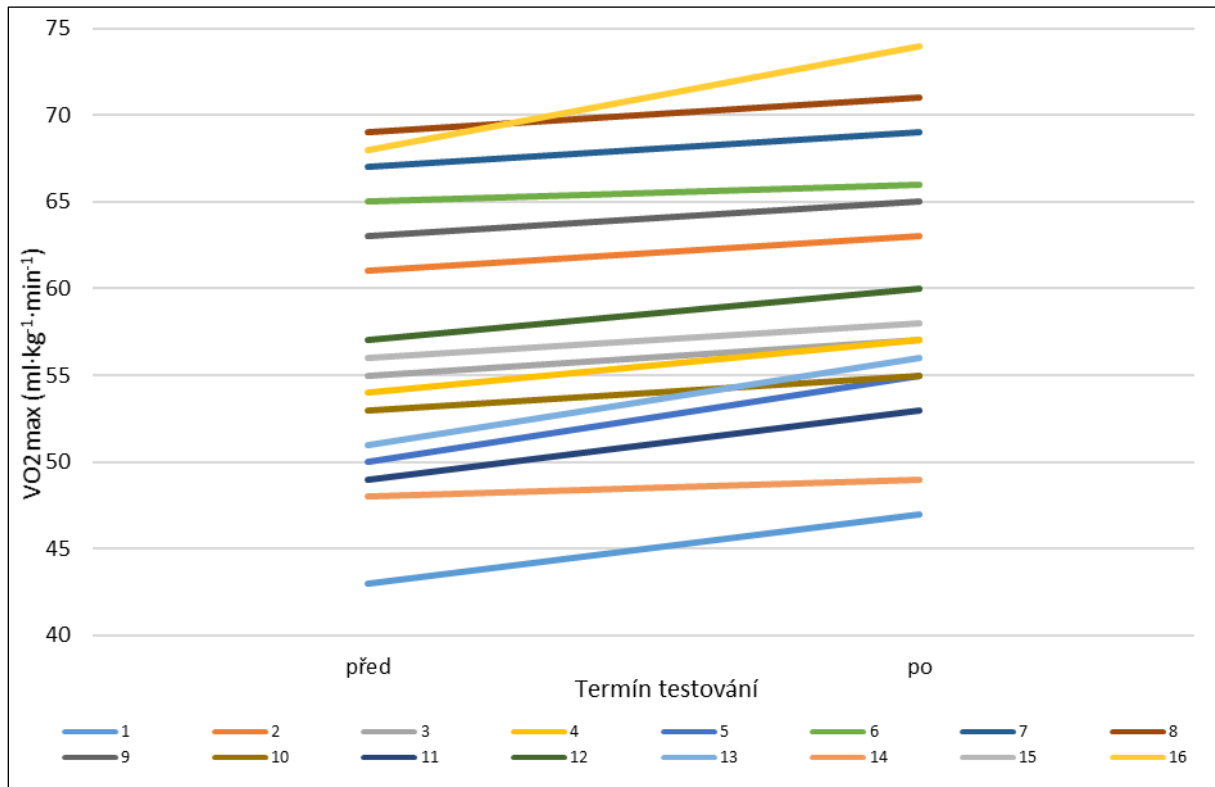
5.2 Změny respiračních parametrů v důsledku tréninkového kempu ve „středohoří“

Změny vybraných parametrů jsou prezentovány prostřednictvím spojnicových grafů, které vyjadřují změnu mezi hodnotou sledovaného parametru před intervencí a po ní.

5.2.1 VO_{2max}

Členové experimentální skupiny dosáhli před tréninkovým kempem relativních hodnot VO_{2max} : $56,81 \pm 7,65 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, po návratu ze soustředění: $59,69 \pm 7,47 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. V průběhu intervence došlo k průměrnému zvýšení hodnoty VO_{2max} o $5,24 \pm 2,86 \%$. U kontrolní skupiny byly naměřeny před sledovaným obdobím tyto hodnoty: $56,50 \pm 7,34 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, po konci sledovaného období: $57,00 \pm 7,41 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. V průběhu sledování tedy došlo k průměrnému zvýšení hodnoty VO_{2max} o $0,90 \pm 1,36 \%$. U kontrolní skupiny tedy nedošlo k žádnému ovlivnění parametru absolvovaných tréninkovým zatížením. Při ANOVA analýze dosáhla hodnota $p = 0,000$. Změna hodnot VO_{2max} vlivem tréninkového kempu je statisticky významná. K nárůstu hodnoty VO_{2max} došlo u všech sledovaných účastníků soustředění (viz graf 8). U členů kontrolní skupiny nedošlo k významným změnám těchto

hodnot. Absolvovaný trénink ve „středohoří“, kde je snížený parciální tlak kyslíku a kopcovitý terén pro trénink, významně ovlivnil hodnoty VO_{2max} , tato změna by měla mít vliv na vytrvalostní výkon. Vlivem tréninku ve střední nadmořské výšce došlo k významné změně hodnot VO_{2max} u experimentální skupiny, což ukazuje na zlepšení vytrvalostní výkonnosti.

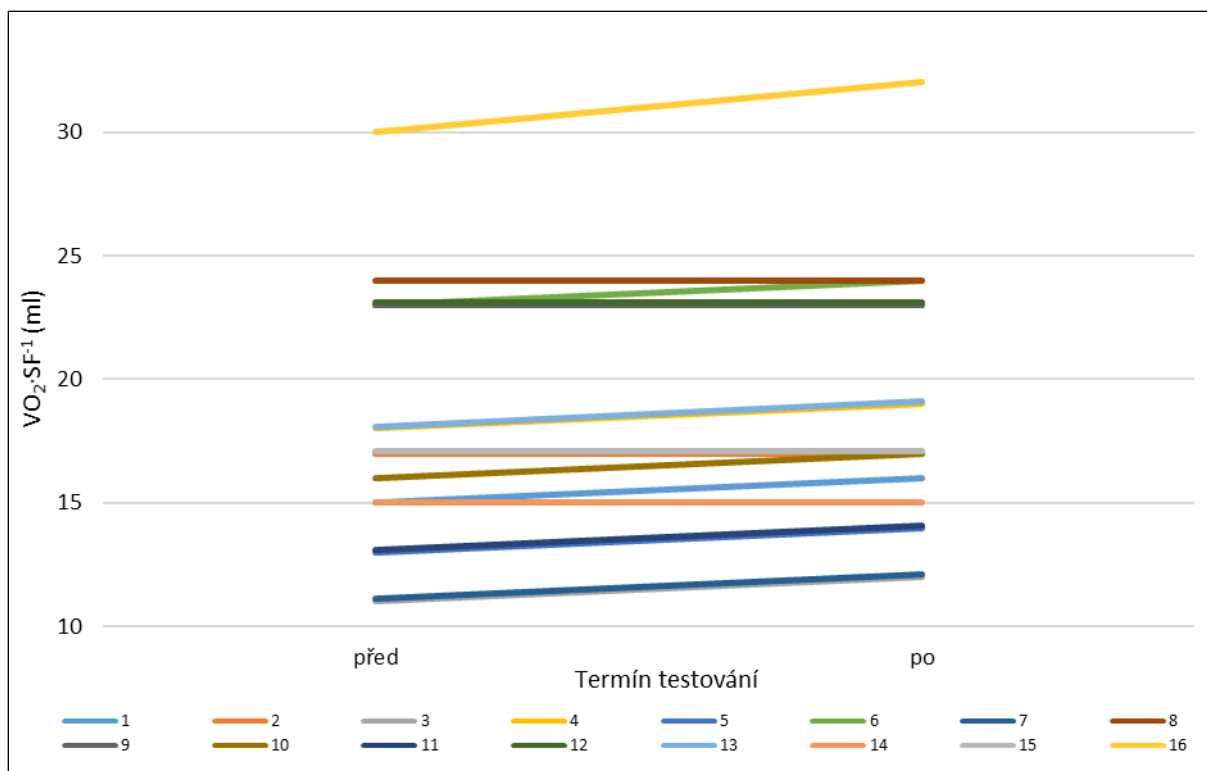


Graf 8.

Relativní hodnoty VO_{2max} u experimentální skupiny před a po tréninkovém kempu ve střední nadmořské výšce

5.2.2 $VO_2 \cdot SF^{-1}$

U experimentální skupiny byly zaznamenány hodnoty $VO_2 \cdot SF^{-1}$ před tréninkovým kempem: $17,9 \pm 5,2$ ml, po návratu ze soustředění: $18,6 \pm 5,2$ ml (vi graf 9). V průběhu intervence došlo k průměrnému zvýšení hodnoty $VO_2 \cdot SF^{-1}$ o $4,29 \pm 3,52$ %. U kontrolní skupiny byly naměřeny před sledovaným obdobím tyto hodnoty: $18,3 \pm 4,8$ ml, po konci sledovaného období: $18,4 \pm 4,9$ ml. V průběhu sledování tedy došlo ke zvýšení hodnoty $VO_2 \cdot SF^{-1}$ o $0,52 \pm 3,57$ %. Při ANOVA analýze dosáhla hodnota $p = 0,014$. Změna hodnot $VO_2 \cdot SF^{-1}$ vlivem tréninkového kempu je statisticky významná. U tohoto parametru došlo ke zvýšení hodnoty u všech sledovaných účastníků, až na tři, u kterých hodnota stagnovala. Vlivem tréninku ve střední nadmořské výšce došlo k významné změně hodnot $VO_2 \cdot SF^{-1}$ u experimentální skupiny. Absolvovaný trénink ve „středohoří“, kde je snížený parciální tlak kyslíku a kopcovitý terén pro trénink, významně ovlivnil hodnoty $VO_2 \cdot SF^{-1}$, tato změna by měla mít vliv na vytrvalostní výkon.

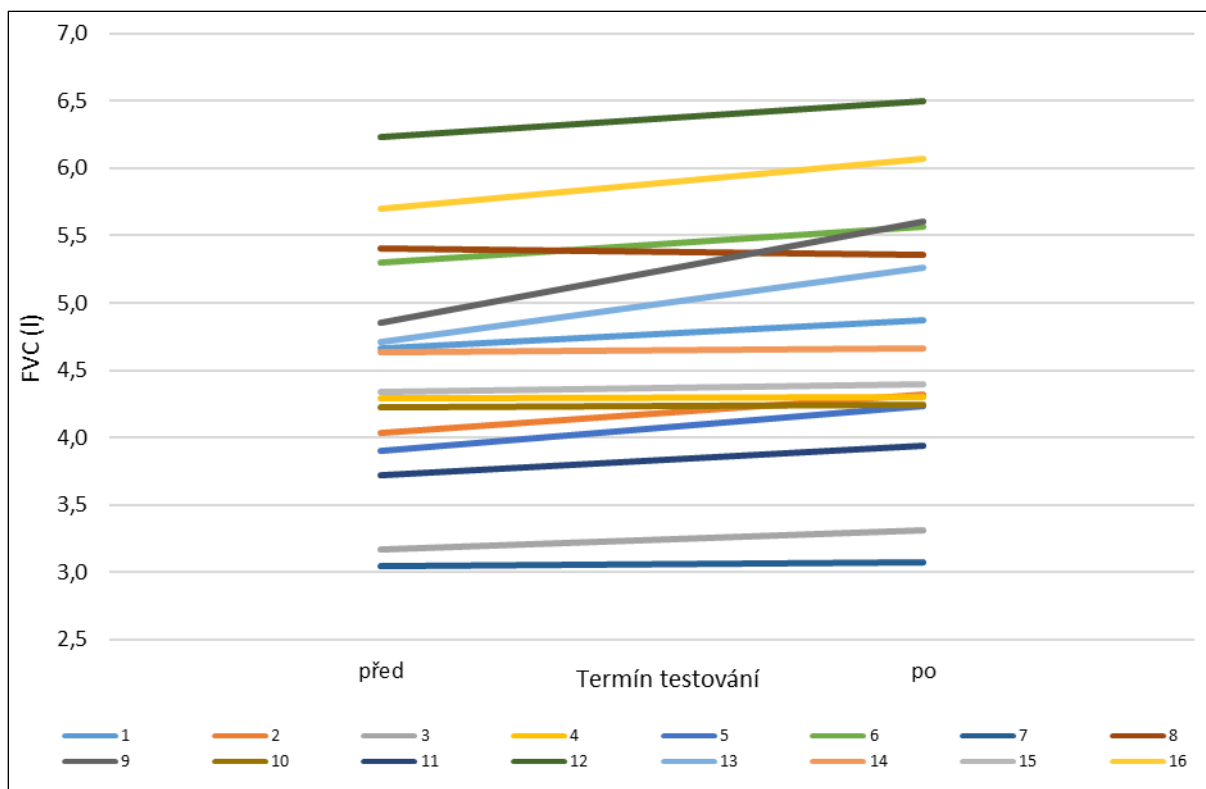


Graf 9.

Hodnoty $VO_2 \cdot SF^{-1}$ u experimentální skupiny před a po tréninkovém kempu ve střední nadmořské výšce

5.2.3 FVC

U experimentální skupiny byly zaznamenány hodnoty FVC před tréninkovým kempem: $4,51 \pm 0,84$ l, po návratu ze soustředění: $4,73 \pm 0,92$ l (viz graf 10). V průběhu intervence došlo k průměrnému zvýšení hodnoty FVC o $4,78 \pm 4,32$ %. U kontrolní skupiny byly naměřeny před sledovaným obdobím tyto hodnoty: $4,60 \pm 0,86$ l, po konci sledovaného období: $4,59 \pm 0,83$ l. V průběhu sledování tedy došlo u kontrolní skupiny k nevýznamnému snížení hodnoty FVC o $0,00 \pm 2,08$ %. Při ANOVA analýze dosáhla hodnota $p = 0,001$. Změna hodnot FVC vlivem tréninkového kempu ve střední nadmořské výšce je statisticky významná. Absolvovaný trénink ve „středohoří“, kde je snížený parciální tlak kyslíku a kopcovitý terén pro trénink, významně ovlivnil hodnoty FVC. Důvodem může být náročnost dýchání v těchto podmínkách. Vlivem tréninku ve střední nadmořské výšce došlo k významnému zvýšení hodnot FVC u experimentální skupiny.

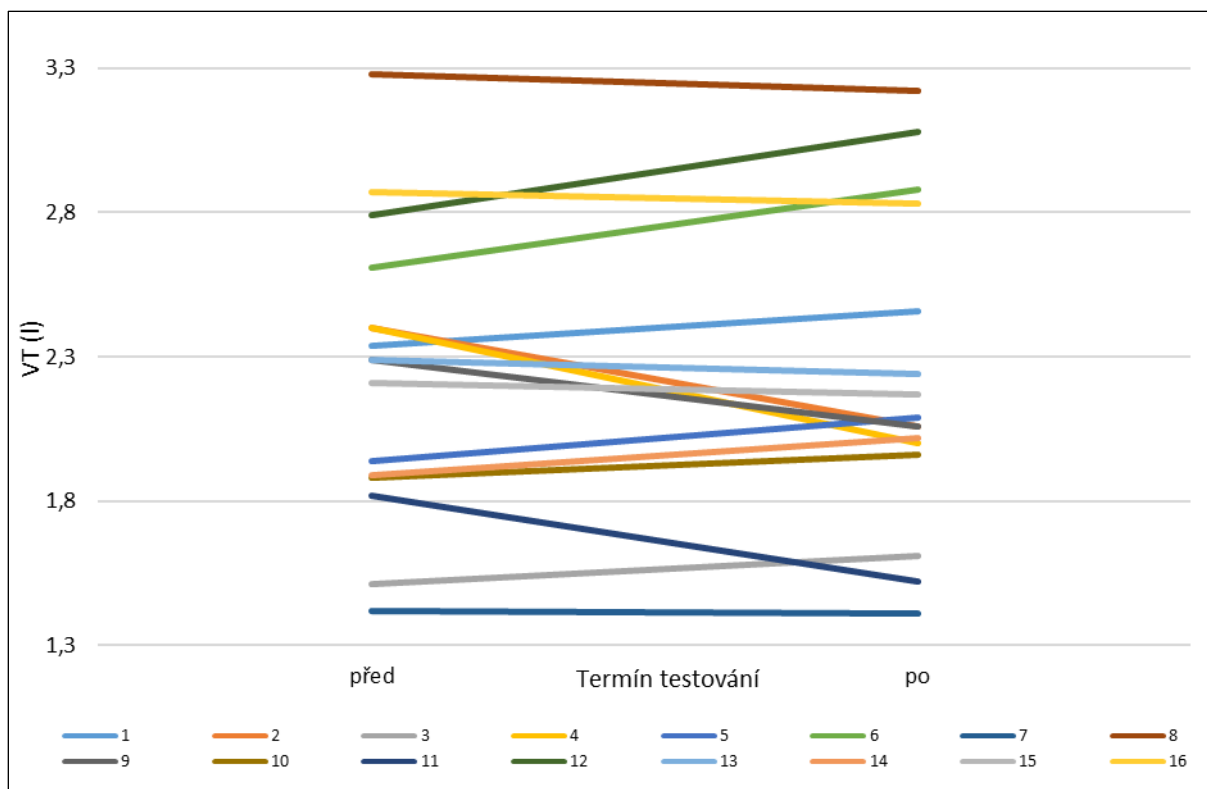


Graf 10.

Hodnoty FVC u experimentální skupiny před a po tréninkovém kempu ve střední nadmořské výšce

5.2.4 VT

U experimentální skupiny byly zaznamenány hodnoty VT před tréninkovým kempem: $2,25 \pm 0,48$ l, po návratu ze soustředění: $2,23 \pm 0,52$ l (viz graf 11). V průběhu intervence došlo k průměrnému snížení hodnoty VT u experimentální skupiny o $0,87 \pm 8,89$ %. U kontrolní skupiny byly naměřeny před sledovaným obdobím tyto hodnoty: $2,26 \pm 0,49$ l, po konci sledovaného období: $2,28 \pm 0,52$ l. V průběhu sledování tedy došlo u kontrolní skupiny ke zvýšení hodnoty VT o $0,58 \pm 6,22$ %. Při ANOVA analýze dosáhla hodnota $p = 0,564$. Změna hodnot VT vlivem tréninkového kempu není statisticky významná. Předpokládali jsme, že absolvovaný trénink ve „středohoří“, kde je snížený parciální tlak kyslíku a kopcovitý terén pro trénink, významně pozitivně ovlivní hodnoty VT. K tomu ale nedošlo. K ovlivnění dýchání došlo, ale prostřednictvím zvýšení BF. Vlivem tréninku ve střední nadmořské výšce nedošlo k významné změně hodnot VT u experimentální skupiny.

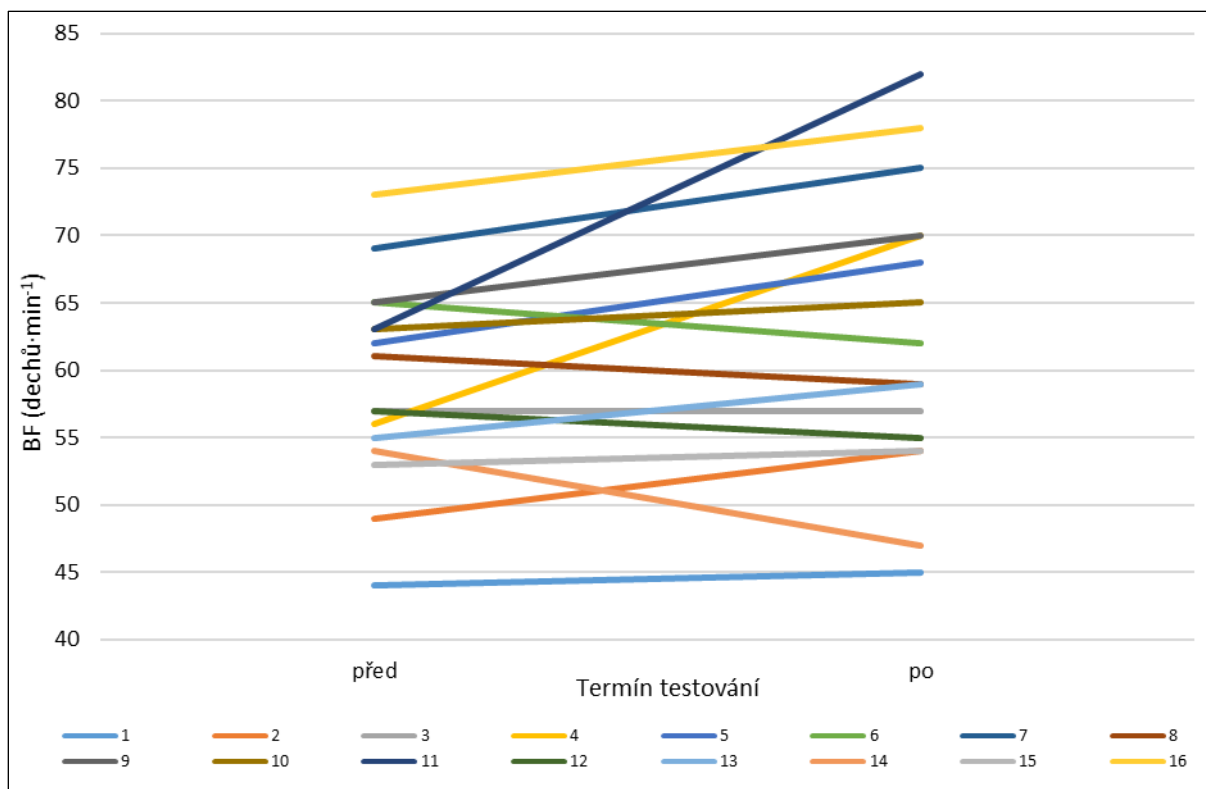


Graf 11.

Hodnoty VT u experimentální skupiny před a po tréninkovém kempu ve střední nadmořské výšce

5.2.5 BF

U experimentální skupiny byly zaznamenány hodnoty BF před tréninkovým kempem: $59,1 \pm 7,2$ dechů·min⁻¹, po návratu ze soustředění: $62,5 \pm 10,4$ dechů·min⁻¹ (viz graf 12). V průběhu intervence došlo k průměrnému zvýšení hodnoty BF o $5,53 \pm 10,33$ %. U kontrolní skupiny byly naměřeny před sledovaným obdobím tyto hodnoty: $60,3 \pm 7,6$ dechů·min⁻¹, po konci sledovaného období: $59,9 \pm 7,7$ dechů·min⁻¹. V průběhu sledování tedy došlo u kontrolní skupiny ke snížení hodnoty BF o $0,339 \pm 6,06$ %. Při ANOVA analýze dosáhla hodnota $p = 0,053$. Změna hodnot BF vlivem tréninkového kempu není statisticky významná. Absolvovaný trénink ve „středohoří“, kde je snížený parciální tlak kyslíku a kopcovitý terén pro trénink, neměl významný vliv na hodnoty BF. Přesto došlo k navýšení hodnot BF. Důvodem může být náročnost dýchání v těchto podmínkách a nevýznamné navýšení minutové ventilace (viz kapitola 5.2.6). Vlivem tréninku ve střední nadmořské výšce nedošlo k významné změně hodnot BF u experimentální skupiny. Nedošlo také ke zlepšení ekonomiky dýchání.

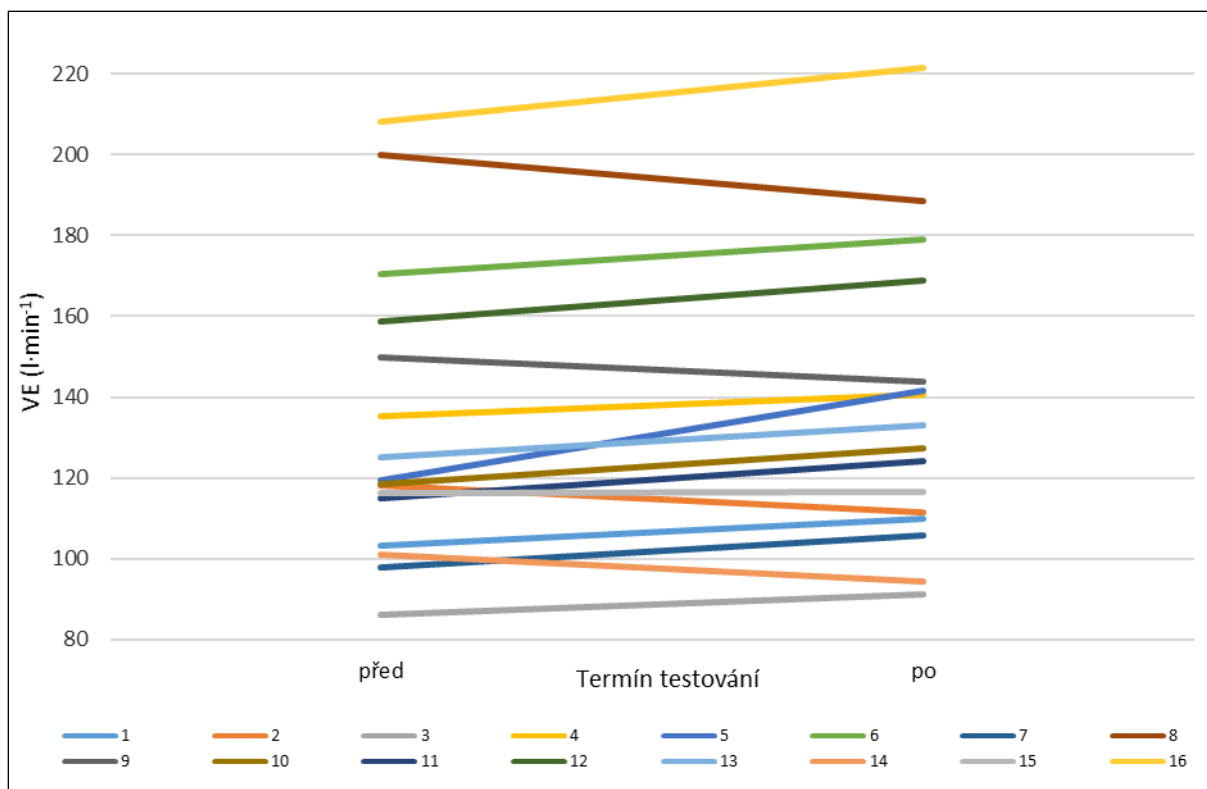


Graf 12.

Hodnoty BF u experimentální skupiny před a po tréninkovém kempu ve střední nadmořské výšce

5.2.6 VE

U experimentální skupiny byly zaznamenány hodnoty VE před tréninkovým kempem: $132,7 \pm 34,6$ l, po návratu ze soustředění: $137,4 \pm 35,0$ l (viz graf 13). V průběhu sledování tedy došlo k průměrnému zvýšení hodnoty VE o $3,82 \pm 6,45$ %. U kontrolní skupiny byly naměřeny před sledovaným obdobím tyto hodnoty: $131,6 \pm 29,9$ l, po konci sledovaného období: $131,3 \pm 29,8$ l. V průběhu sledování tedy došlo u kontrolní skupiny ke snížení hodnoty VE o $0,16 \pm 5,44$ %. Při ANOVA analýze dosáhla hodnota $p = 0,081$. Změna hodnot VE vlivem tréninkového kempu není statisticky významná. Absolvovaný trénink ve „středohoří“, kde je snížený parciální tlak kyslíku a kopcovitý terén pro trénink, významně neovlivnil hodnoty VE. K nárůstu hodnot došlo, ale změna není významná. Využití O_2 se zásadně nemění, proto je vyšší dosažená hodnota VE primárně způsobena vyšší hodnotou BF. Vlivem tréninku ve střední nadmořské výšce nedošlo k významné změně hodnot VE u experimentální skupiny.

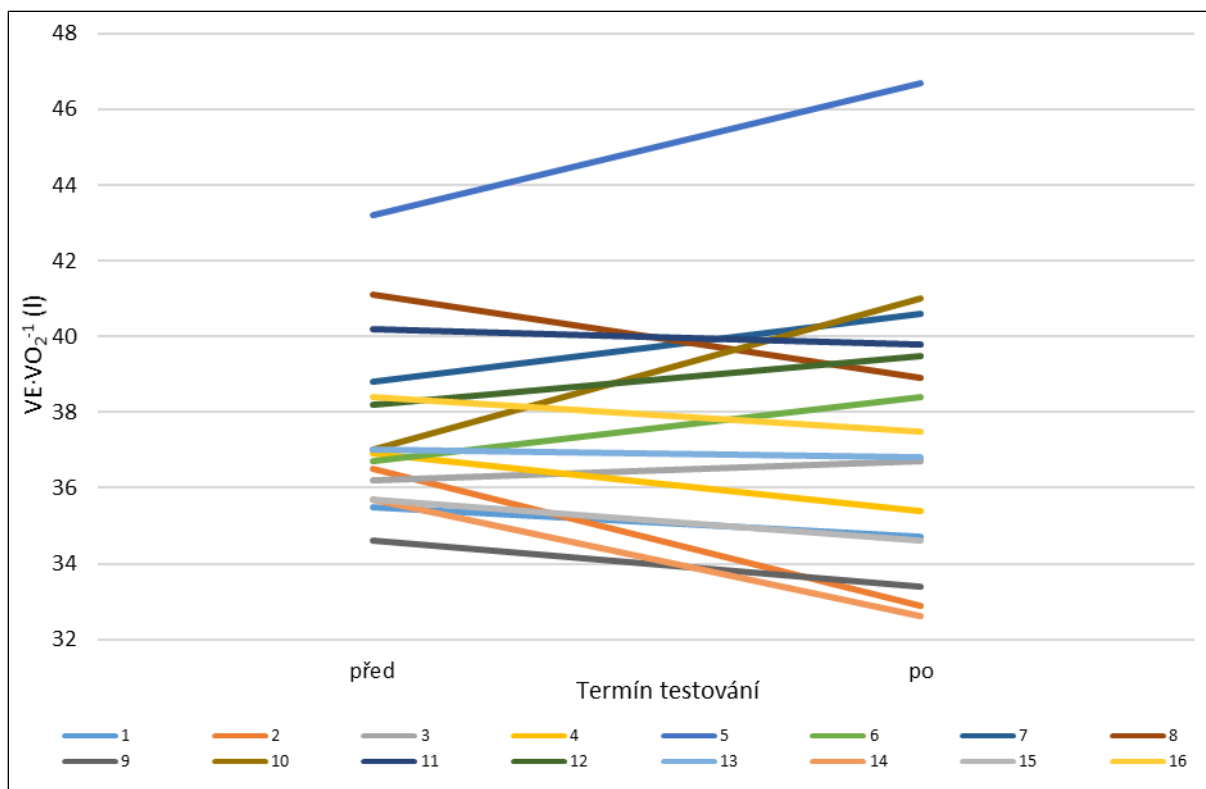


Graf 13.

Hodnoty VE u experimentální skupiny před a po tréninkovém kempu ve střední nadmořské výšce

5.2.7 $VE \cdot VO_2^{-1}$

U experimentální skupiny byly zaznamenány hodnoty $VE \cdot VO_2^{-1}$ před tréninkovým kempem: $37,61 \pm 2,22 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$, po návratu ze soustředění: $37,47 \pm 3,56 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ (viz graf 14). V průběhu intervence došlo k průměrnému snížení hodnoty $VE \cdot VO_2^{-1}$ o $0,44 \pm 5,51 \%$. U kontrolní skupiny byly naměřeny před sledovaným obdobím tyto hodnoty: $37,38 \pm 2,33 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$, po konci sledovaného období: $37,31 \pm 3,11 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$. V průběhu sledování tedy došlo u kontrolní skupiny ke snížení hodnoty $VE \cdot VO_2^{-1}$ o $0,23 \pm 4,67 \%$. Při ANOVA analýze dosáhla hodnota $p = 0,922$. Změna hodnot $VE \cdot VO_2^{-1}$ vlivem tréninkového kempu není statisticky významná. Nedošlo tedy k významné změně ekonomiky využití kyslíku. Vlivem tréninku ve střední nadmořské výšce nedošlo k významné změně hodnot $VE \cdot VO_2^{-1}$ u experimentální skupiny.



Graf 14.

Hodnoty $VE \cdot VO_2^{-1}$ u experimentální skupiny před a po tréninkovém kempu ve střední nadmořské výšce

5.2.8 Shrnutí

Vlivem tréninkového pobytu ve střední nadmořské výšce (~1 000 m n. m.) došlo k významnému zvýšení respiračních parametrů spojených s příjmem kyslíku a vytrvalostním výkonem (VO_{2max} , $VO_2 \cdot SF^{-1}$) a k významnému nárůstu klidového parametru FVC. Zvýšení VE a BF není významné, došlo také k nevýznamnému snížení VT a $VE \cdot VO_2^{-1}$. Nedošlo tedy ke kvalitativní změně v kvalitě dýchání.

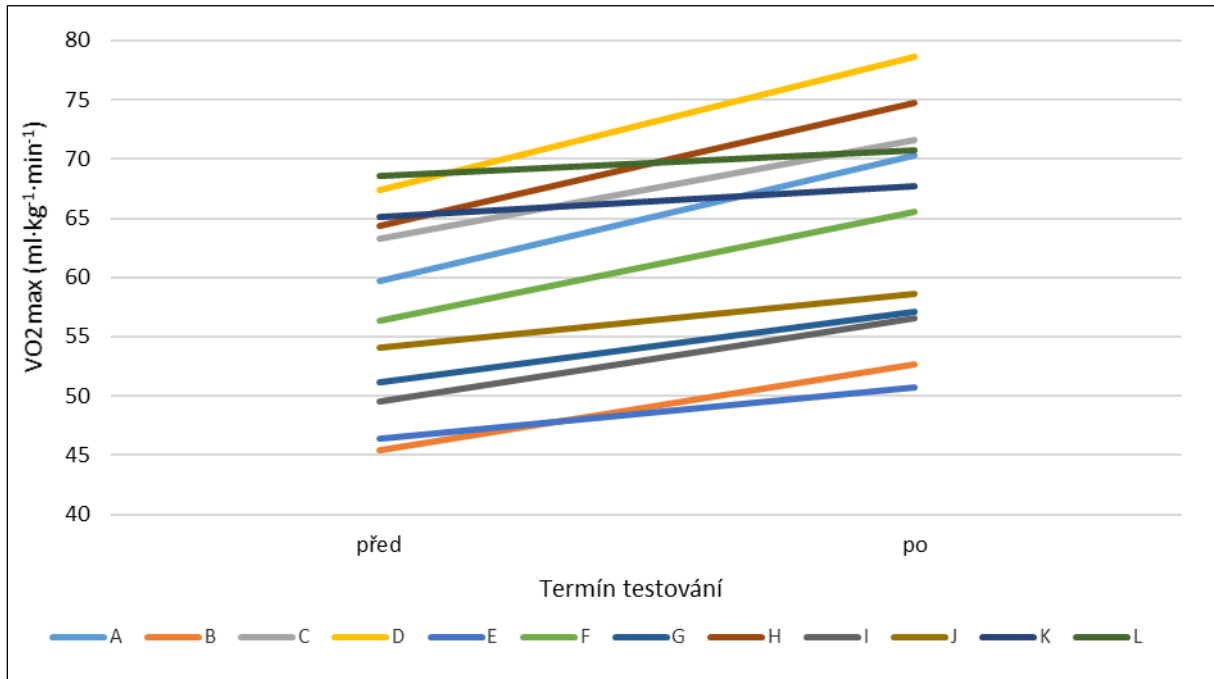
5.3 Změny respiračních parametrů vlivem tréninkového kempu ve vyšší nadmořské výšce

Členové experimentální skupiny absolvovali tréninkový kemp v italském Livignu. V průběhu jedenáctidenního pobytu byli běžci ubytováni v nadmořské výšce ~1850 m n. m., ve které absolvovali i většinu tréninků. Členové kontrolní skupiny absolvovali stejné tréninkové zatížení, ale v nadmořské výšce ~400 m n. m. Změny vybraných parametrů jsou prezentovány prostřednictvím spojnicových grafů, které vyjadřují změnu mezi hodnotou sledovaného parametru před intervencí a po ní.

5.3.1 VO_{2max}

U experimentální skupiny byly naměřeny relativní hodnoty VO_{2max} před tréninkovým kempem: $57,61 \pm 7,91 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, po návratu ze soustředění: $64,57 \pm 8,75 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (viz graf 15). V průběhu intervence došlo k průměrnému zvýšení hodnoty VO_{2max} o $12,22 \pm 4,82 \%$. U kontrolní skupiny byly naměřeny před sledovaným obdobím tyto hodnoty: $57,10 \pm 5,75 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, po konci sledovaného období: $57,50 \pm 5,92 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. V průběhu sledování

tedy došlo u kontrolní skupiny ke zvýšení hodnoty VO_{2max} o $0,69 \pm 1,41$ %. Při ANOVA analýze dosáhla hodnota $p = 0,000$. Změna hodnot VO_{2max} vlivem tréninkového kempu ve vyšší nadmořské výšce je statisticky významná. Absolvovaný trénink ve vyšší nadmořské výšce, kde je snížený parciální tlak kyslíku a kopcovitý terén pro trénink, významně ovlivnil hodnoty VO_{2max} , tato změna by měla mít vliv na vytrvalostní výkon.

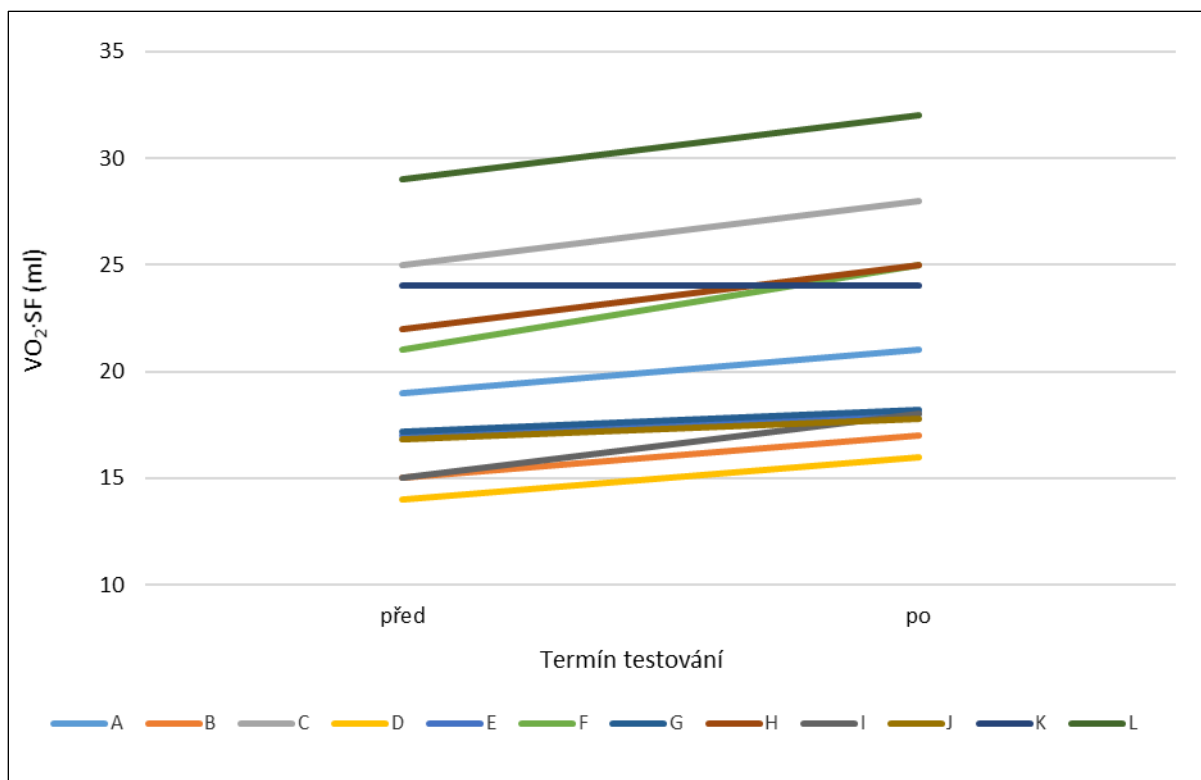


Graf 15.

Relativní hodnoty VO_{2max} u experimentální skupiny před a po tréninkovém kempu ve vyšší nadmořské výšce

5.3.2 $VO_2 \cdot SF^{-1}$

U experimentální skupiny byly naměřeny hodnoty $VO_2 \cdot SF^{-1}$ před tréninkovým kempem: $19,6 \pm 4,5$ ml, po návratu ze soustředění: $21,7 \pm 4,9$ ml (viz graf 16). V průběhu intervence došlo k průměrnému zvýšení $VO_2 \cdot SF^{-1}$ o $10,90 \pm 5,55$ %. U kontrolní skupiny byly naměřeny před sledovaným obdobím tyto hodnoty: $19,7 \pm 4,9$ ml, po konci sledovaného období: $19,8 \pm 4,6$ ml. V průběhu sledování tedy došlo ke zvýšení hodnoty $VO_2 \cdot SF^{-1}$ o $0,91 \pm 2,91$ %. Při ANOVA analýze dosáhla hodnota $p = 0,000$. Změna hodnot $VO_2 \cdot SF^{-1}$ vlivem tréninkového kempu je statisticky významná. U tohoto parametru došlo ke zvýšení hodnoty u všech sledovaných účastníků, až na tři, u kterých hodnota stagnovala. Absolvovaný trénink ve vyšší nadmořské výšce, kde je snížený parciální tlak kyslíku a kopcovitý terén pro trénink, významně ovlivnil hodnoty $VO_2 \cdot SF^{-1}$, tato změna by měla mít vliv na vytrvalostní výkon.

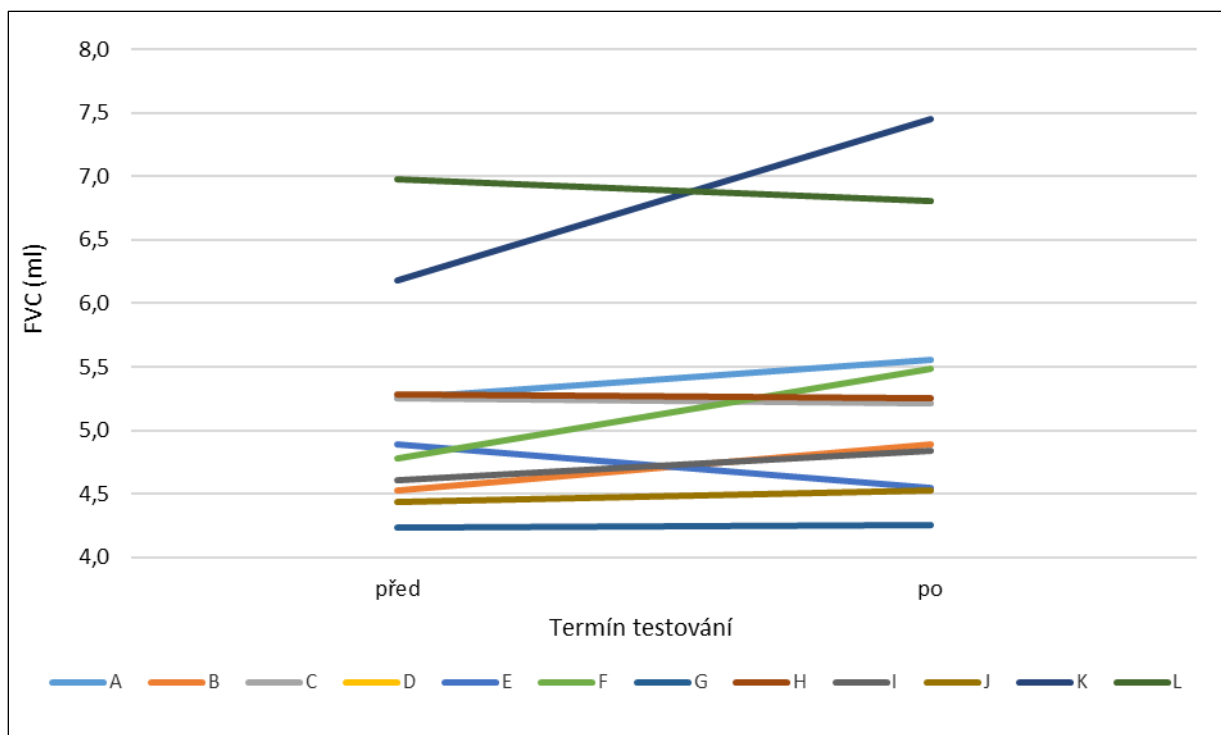


Graf 16.

Hodnoty $VO_2 \cdot SF^{-1}$ u experimentální skupiny před a po tréninkovém kempu ve vyšší nadmořské výšce

5.3.3 FVC

U experimentální skupiny byly naměřeny hodnoty FVC před tréninkovým kempem: $5,02 \pm 0,83$ l, po návratu ze soustředění: $5,22 \pm 0,99$ l (viz graf 17). V průběhu intervence došlo k průměrnému zvýšení hodnoty FVC o $3,77 \pm 7,35$ %. U kontrolní skupiny byly naměřeny před sledovaným obdobím tyto hodnoty: $4,84 \pm 0,79$ l, po konci sledovaného období: $4,85 \pm 0,85$ l. V průběhu sledování tedy došlo ke zvýšení hodnoty FVC u kontrolní skupiny o $0,25 \pm 2,13$ %. Změna hodnot FVC vlivem jedenáctidenního tréninkového kempu není statisticky významná, což dokládá hodnota $p = 0,211$ při ANOVA analýze. Absolvovaný trénink ve vyšší nadmořské výšce o délce 11 dní, kde je snížený parciální tlak kyslíku a kopcovitý terén pro trénink, významně neovlivnil hodnoty FVC. Důvodem může být vyšší vstupní hodnota tohoto parametru u běžců, vliv může mít i délka pobytu.

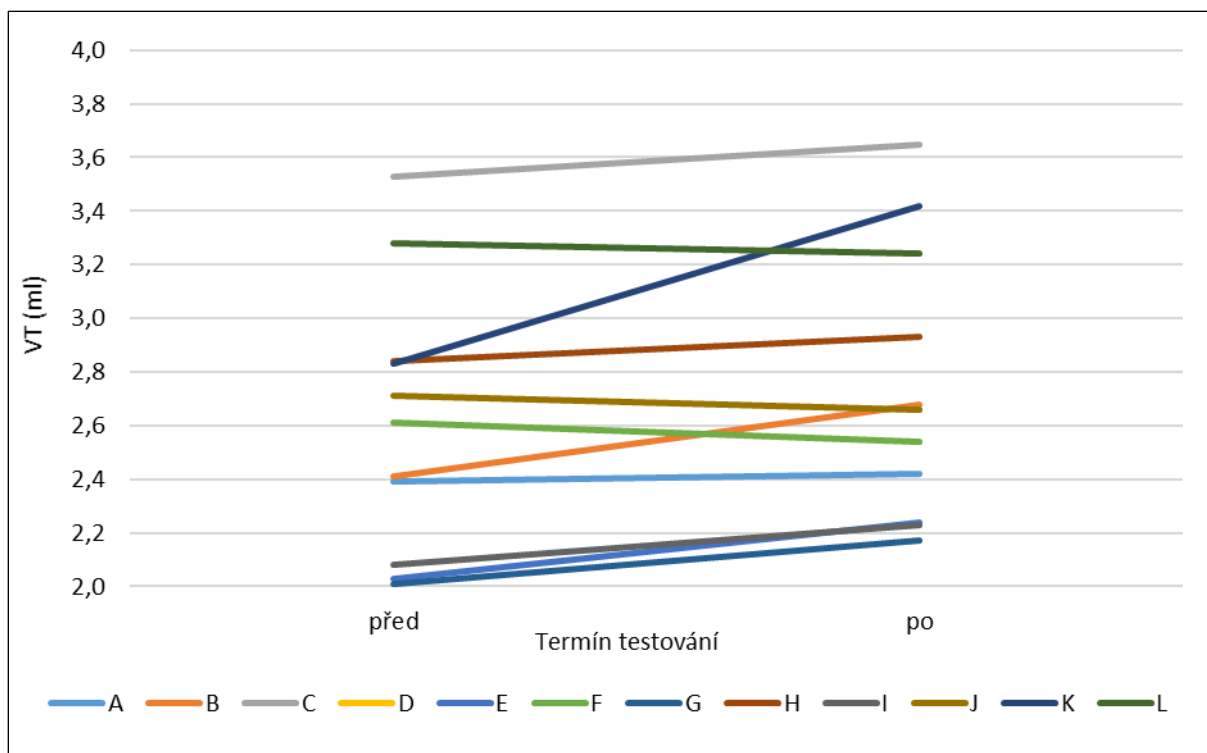


Graf 17.

Hodnoty FVC u experimentální skupiny před a po tréninkovém kempu ve vyšší nadmořské výšce

5.3.4 VT

U experimentální skupiny byly naměřeny hodnoty VT před tréninkovým kempem: $2,52 \pm 0,54$ l, po návratu ze soustředění: $2,65 \pm 0,55$ l (viz graf 18). V průběhu intervence došlo k průměrnému zvýšení hodnoty VT o $5,46 \pm 6,42$ %. U kontrolní skupiny byly naměřeny před sledovaným obdobím tyto hodnoty: $2,29 \pm 0,53$ l, po konci sledovaného období: $2,28 \pm 0,51$ l. V průběhu sledování tedy došlo ke snížení hodnoty VT o $0,27 \pm 1,52$ %. Při ANOVA analýze dosáhla hodnota $p = 0,043$. Změna hodnot VT vlivem tréninkového kempu je statisticky významná. Absolvovaný trénink ve vyšší nadmořské výšce, kde je snížený parciální tlak kyslíku a kopcovitý terén pro trénink, významně ovlivnil hodnoty VT.

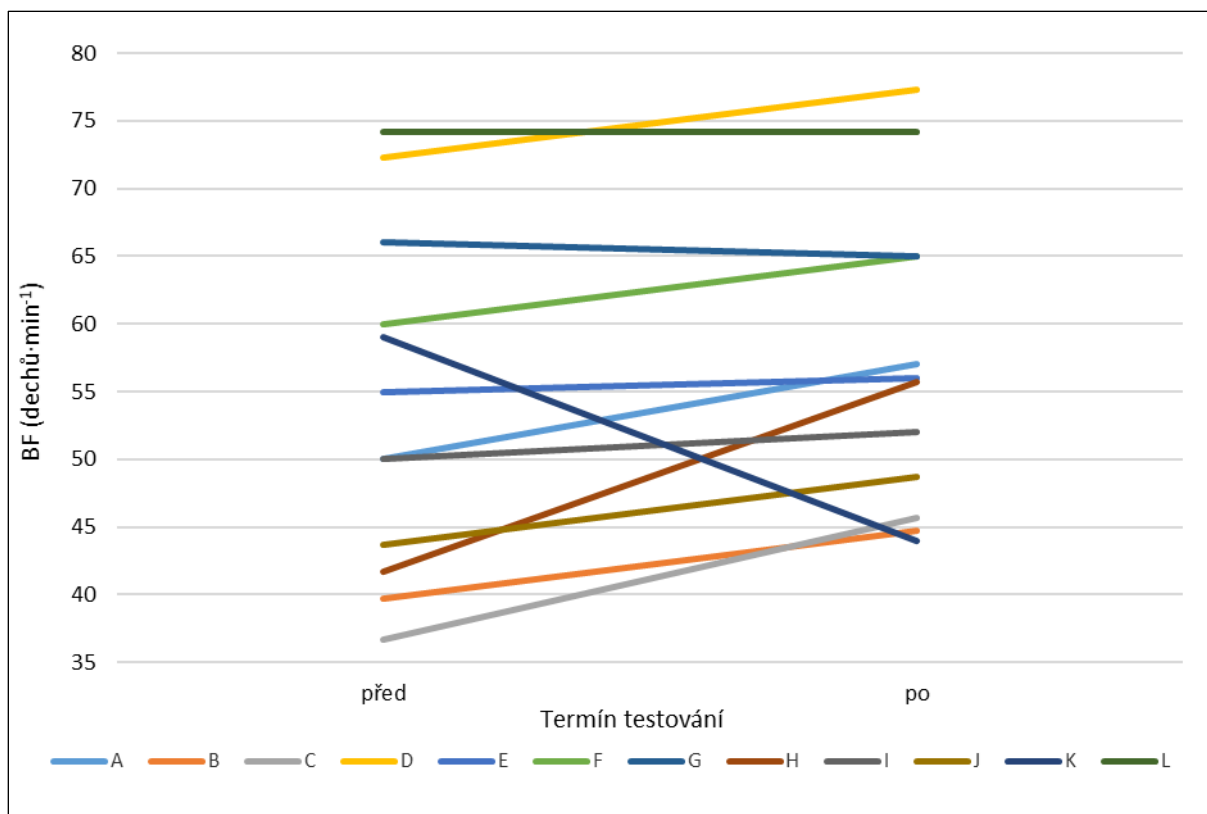


Graf 18.

Hodnoty VT u experimentální skupiny před a po tréninkovém kempu ve vyšší nadmořské výšce

5.3.5 BF

U experimentální skupiny byly naměřeny hodnoty BF před tréninkovým kempem: $54,0 \pm 12,1$ dechů·min⁻¹, po návratu ze soustředění: $57,1 \pm 10,7$ dechů·min⁻¹ (viz graf 19). V průběhu intervence došlo k průměrnému zvýšení hodnoty BF o $7,52 \pm 13,91$ %. U kontrolní skupiny byly naměřeny před sledovaným obdobím tyto hodnoty: $56,0 \pm 12,2$ dechů·min⁻¹, po konci sledovaného období: $56,1 \pm 11,0$ dechů·min⁻¹. V průběhu sledování tedy došlo u kontrolní skupiny ke zvýšení hodnoty BF o $0,71 \pm 4,09$ %. Při ANOVA analýze dosáhla hodnota $p = 0,221$. Změna hodnot BF vlivem tréninkového kempu ve vyšší nadmořské výšce není statisticky významná. Nedošlo také ke zlepšení ekonomiky dýchání.

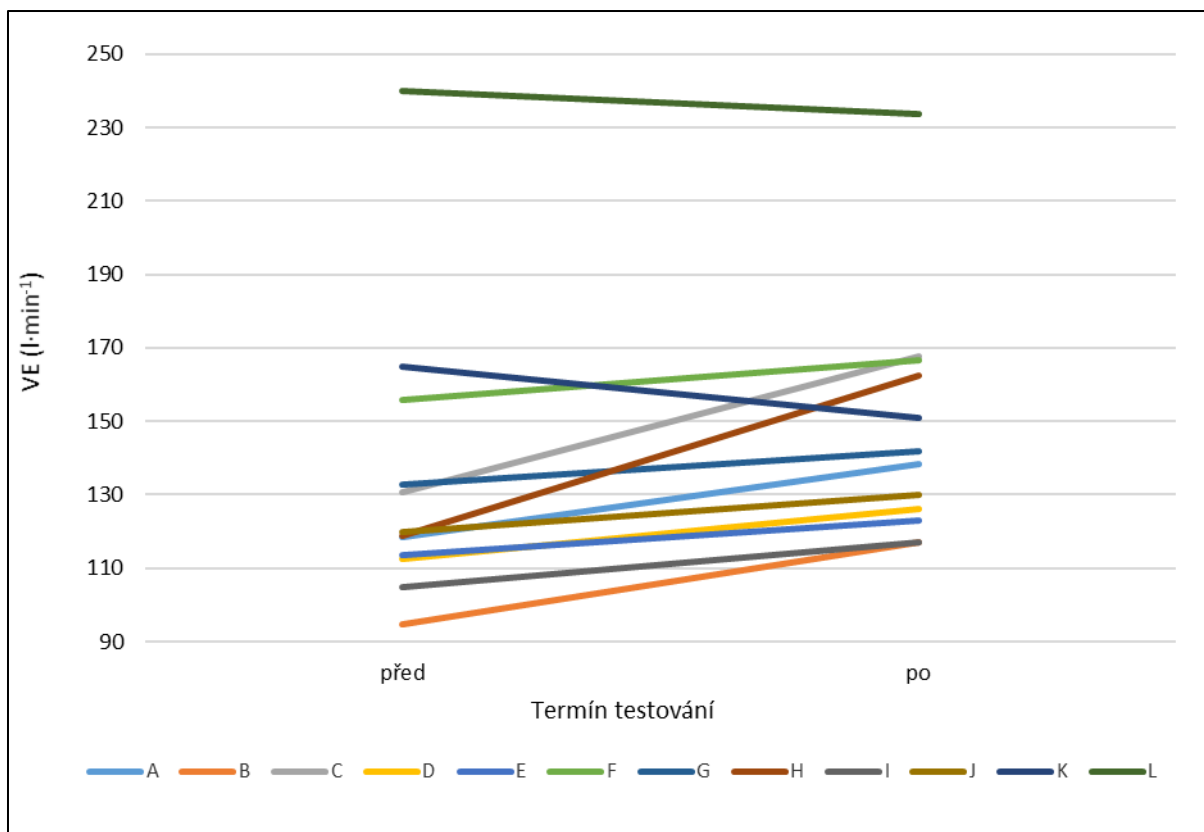


Graf 19.

Hodnoty BF u experimentální skupiny před a po tréninkovém kempu ve vyšší nadmořské výšce

5.3.6 VE

U experimentální skupiny byly naměřeny hodnoty VE před tréninkovým kempem: $133,9 \pm 37,3 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$, po návratu ze soustředění: $147,9 \pm 31,4 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ (viz graf 20). V průběhu sledování tedy došlo k průměrnému zvýšení hodnoty VE o $12,38 \pm 12,10 \%$. U kontrolní skupiny byly naměřeny před sledovaným obdobím tyto hodnoty: $123,5 \pm 16,8 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$, po konci sledovaného období: $123,8 \pm 17,6 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$. V průběhu sledování tedy došlo u kontrolní skupiny ke snížení hodnoty VE o $0,11 \pm 3,55 \%$. Při ANOVA analýze dosáhla hodnota $p = 0,017$. Změna hodnot VE vlivem tréninkového kempu je statisticky významná. Absolvovaný trénink ve vyšší nadmořské výšce, kde je snížený parciální tlak kyslíku a vyšší intenzita zatížení v důsledku kopcovitého terénu pro trénink, významně ovlivnil hodnoty VE. Vyšší dosažená hodnota VE je způsobena jak vyšší hodnotou BF, tak vyšší hodnotou VT.

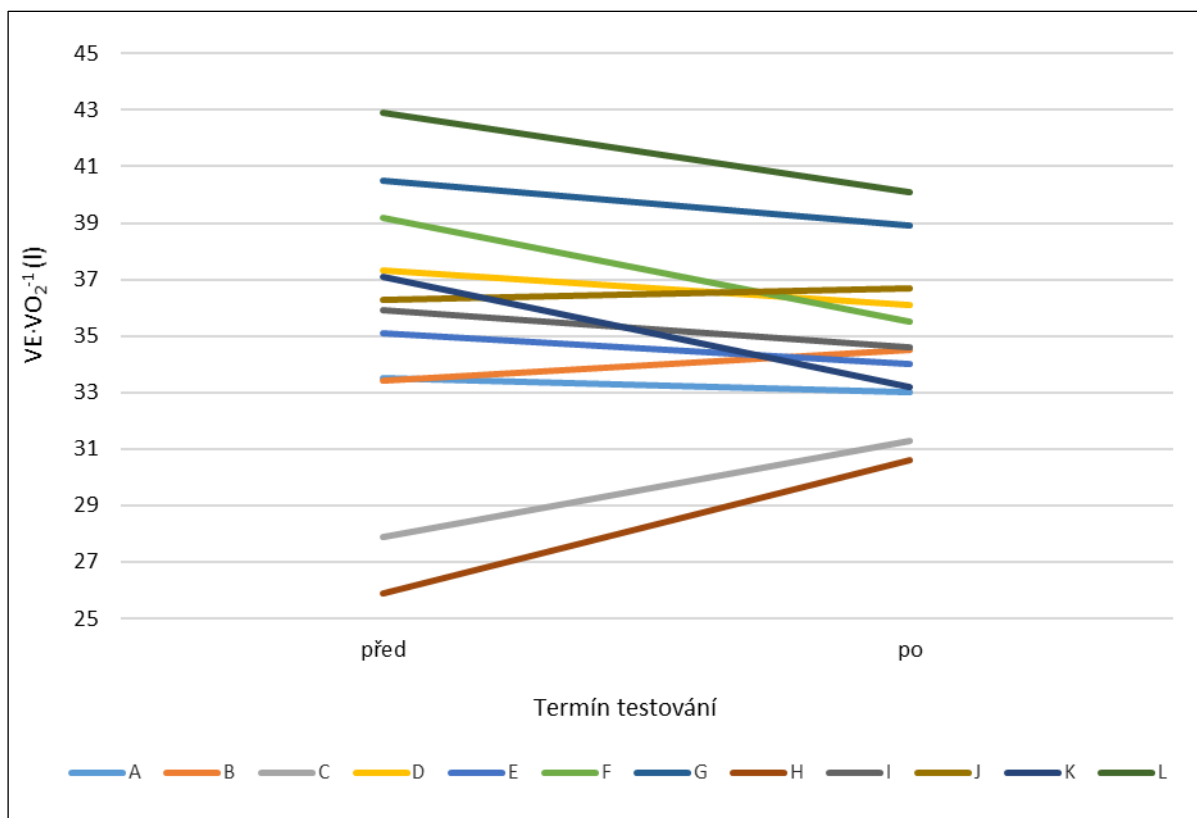


Graf 20.

Hodnoty VE u experimentální skupiny před a po tréninkovém kempu ve vyšší nadmořské výšce

5.3.7 VE·VO₂⁻¹

U experimentální skupiny byly naměřeny hodnoty VE·VO₂⁻¹ před tréninkovým kempem: $35,42 \pm 4,64 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$, po návratu ze soustředění: $34,88 \pm 2,69 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ (viz graf 21). V průběhu intervence došlo k průměrnému snížení hodnoty VE·VO₂⁻¹ o $0,60 \pm 8,06 \%$. U kontrolní skupiny byly naměřeny před sledovaným obdobím tyto hodnoty: $34,79 \pm 3,97 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$, po konci sledovaného období: $34,57 \pm 2,58 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$. V průběhu sledování tedy došlo ke snížení hodnoty VE·VO₂⁻¹ o $0,21 \pm 6,77 \%$. Při ANOVA analýze dosáhla hodnota $p = 0,721$. Změna hodnot VE·VO₂⁻¹ vlivem tréninkového kempu není statisticky významná. Nedošlo tedy k významné změně ekonomiky využití kyslíku.



Graf 21.

Hodnoty $VE \cdot VO_2^{-1}$ u experimentální skupiny před a po tréninkovém kempu ve vyšší nadmořské výšce

5.3.8 Shrnutí

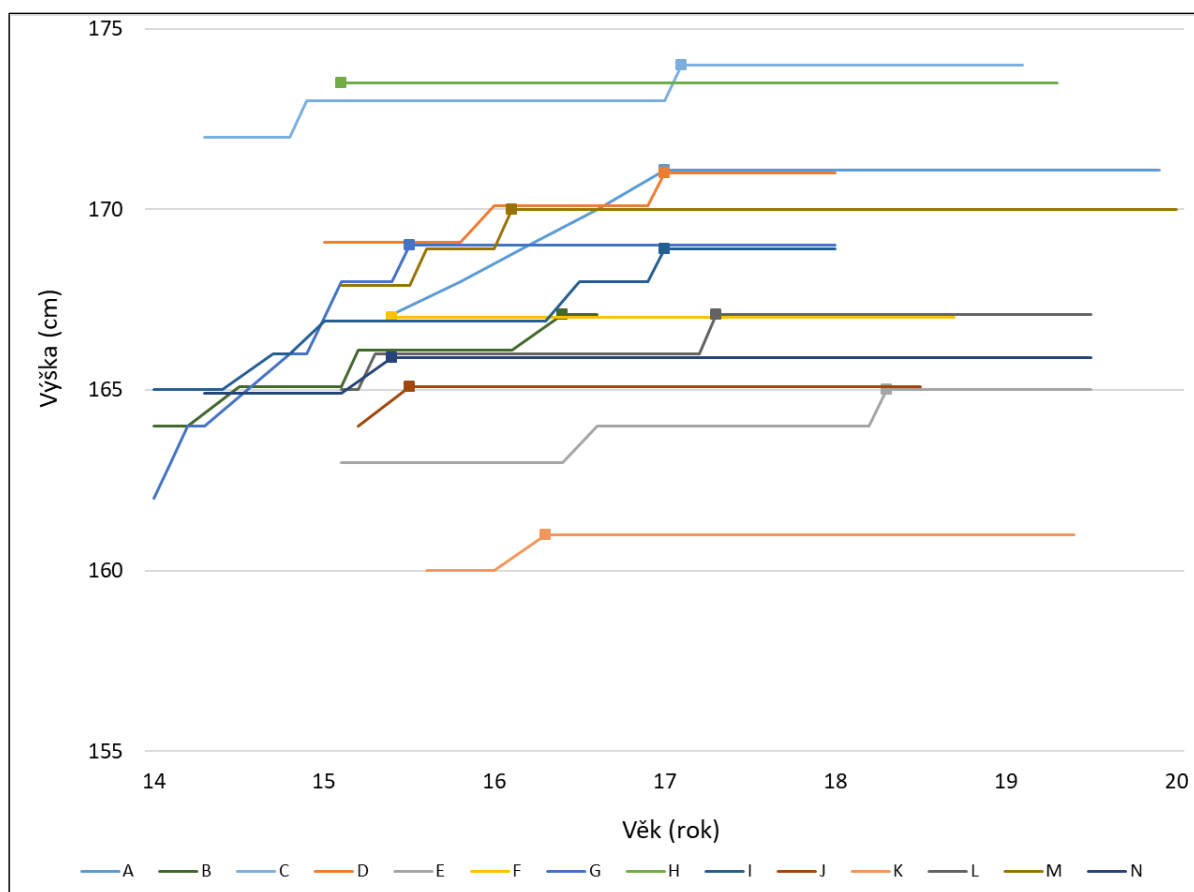
Vlivem tréninkového pobytu ve vyšší nadmořské výšce došlo k významnému zvýšení respiračních parametrů spojených s příjmem kyslíku a vytrvalostním výkonem (VO_{2max} , $VO_2 \cdot SF^{-1}$), i parametrů spojených s kvalitou dýchání při zátěži (VT, BF, VE). Byla tedy ovlivněna ekonomika dýchání a dechová práce. Změna klidového parametru FVC a využití kyslíku při zátěži ($VE \cdot VO_2^{-1}$) není významná.

5.4 Změny respiračních parametrů v důsledku několikaletého běžeckého tréninku

5.4.1 Somatické parametry

Tělesná výška

V grafu 22 a 23 je uvedena tělesná výška běžců a běžkyň v průběhu sledování. V grafu je také uvedeno, kdy byl jejich růst ukončen, což je uvedeno i v tabulce 2 a 3. Z tohoto grafu a tabulky lze zjistit, v kolika letech byl ukončen tělesný růst v porovnání s ostatními sledovanými sportovci, u některých jedinců je zaznamenán růstový spurt.



Graf 22.

Změna tělesné výšky u dívek v průběhu sledování (značka ukazuje moment ukončení tělesného růstu)

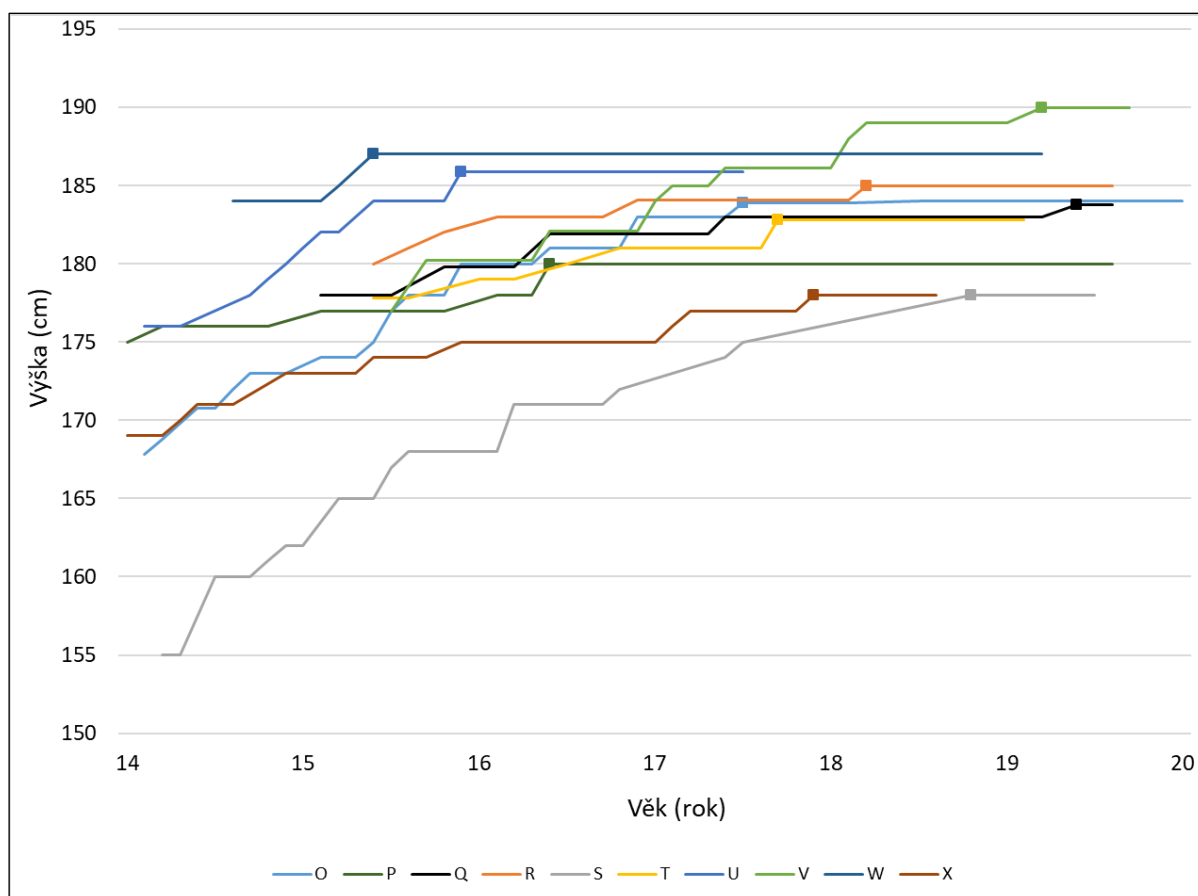
Věk ukončení tělesného růstu byl porovnán s hodnotami uvedenými v posledních publikovaných normách (Bláha et al., 2005). Z tabulky 2 a z grafu 22 vyplývá, že u pěti dívek byl růstový vývoj akcelerován, u jedné byl růstový vývoj retardován, u osmi z nich odpovídal normě. V kapitole 5.4.9 je uvedeno srovnání věku ukončení tělesného růstu a věku dosažení limitních hodnot jednotlivých respiračních parametrů.

Tabulka 2.

Individuální věk ukončení růstu u sledovaných dívek

běžkyně	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
Věk (roky)	17,0 ^s	16,4 ^s	17,1 ^s	17,2 ^s	18,3 ^r	15,4 ^a	15,7 ^a	14,9 ^a	17,0 ^s	15,6 ^a	16,3 ^s	17,3 ^s	16,1 ^s	15,3 ^a

Pozn.: ^a – akcelerovaný tělesný vývoj, ^s – standardní tělesný vývoj, ^r – retardovaný tělesný vývoj



Graf 23.

Změna tělesné výšky u chlapců v průběhu sledování (značka ukazuje moment ukončení tělesného růstu)

Z tabulky 3 a z grafu 23 vyplývá, že v důsledku rozdílného zrání byl u tří chlapců růstový vývoj akcelerován, u dvou byl růstový vývoj retardován, u pěti z nich odpovídal normě. V tabulce 4 je uveden věk ukončení tělesného růstu.

Tabulka 3.

Individuální věk ukončení růstu u sledovaných chlapců

běžec	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
věk (roky)	17,7 ^s	16,4 ^a	19,4 ^r	18,2 ^s	18,8 ^s	17,7 ^s	15,9 ^a	19,2 ^r	15,4 ^a	17,9 ^s

Pozn.: ^a – akcelerovaný tělesný vývoj, ^s – standardní tělesný vývoj, ^r – retardovaný tělesný vývoj

Tabulka 4.

Souhrnný věk ukončení růstu u sledovaných běžců a běžkyň

	Průměrný věk (roky)	SD (roky)
chlapci	17,7	1,3
dívky	16,4	0,9

Hmotnost

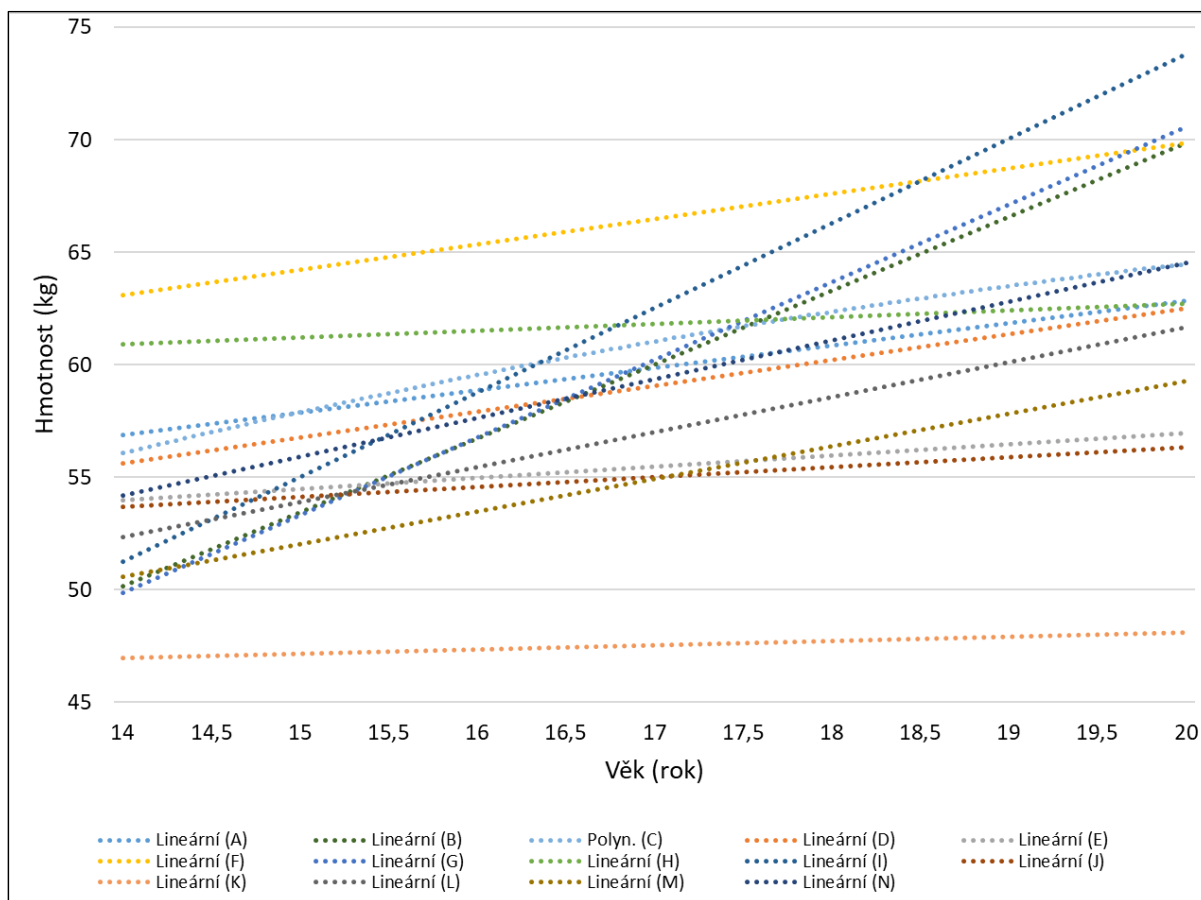
V tabulce 5 je uvedena změna tělesné hmotnosti u dívek a chlapců mezi 15. a 18,5. rokem věku. U dívek došlo ve sledovaném období k nárůstu tělesné hmotnosti o 6,83 %, u chlapců byl zaznamenán nárůst o 14,17 %.

Tabulka 5.

Tělesná hmotnost u sledovaných dívek a chlapců ve věku 15 a 18,5 roku věku

	věk (roky)	hmotnost (kg)	SD (kg)
dívkky	15,0	55,64	4,47
	18,5	59,81	4,94
chlapci	15,0	57,52	6,99
	18,5	66,88	5,96

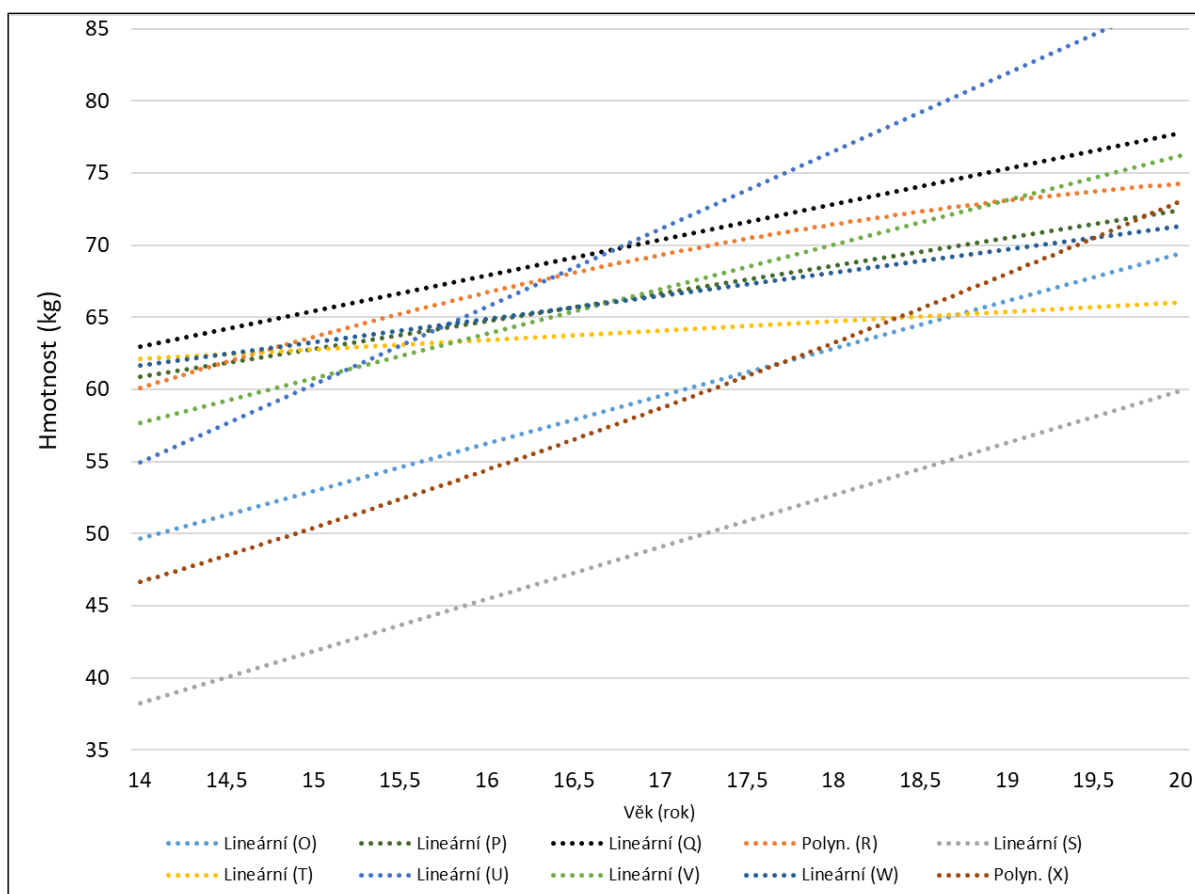
Změny tělesné hmotnosti u sledovaných dívek jsou pro názornost prezentovány prostřednictvím lineární trend v grafu 24, v grafu 25 u sledovaných chlapců. Tyto hodnoty mohou být ovlivněné i životním stylem jedinců.



Graf 24.

Lineární trend vývoje tělesné hmotnosti u dívek v průběhu sledování

U všech dívek i chlapců je trend rostoucí, u čtyř dívek (E, H, J, K) a jednoho chlapce (T) je strmost křivky nižší než u ostatních. Nárůst hmotnosti souvisí zejména s procesem dospívání. Informace z tohoto grafu lze využít při hodnocení jednotlivých naměřených respiračních parametrů či u hodnocení výkonnostních změn.



Graf 25.

Lineární trend vývoje tělesné hmotnosti u chlapců v průběhu sledování

Shrnutí: Pro posouzení změn způsobených tréninkovým zatížením je potřeba znát stupeň vývoje jedince. U sledovaných běžkyň a běžců se vyskytují jedinci jak s vývojem odpovídajícím normě, tak jedinci růstově akcelerovaní i růstově retardovaní. Tato informace je využitelná v dalších analýzách (kapitola 5.4.9).

5.4.2 Vývoj výkonnosti sledovaných sportovců v průběhu sledování

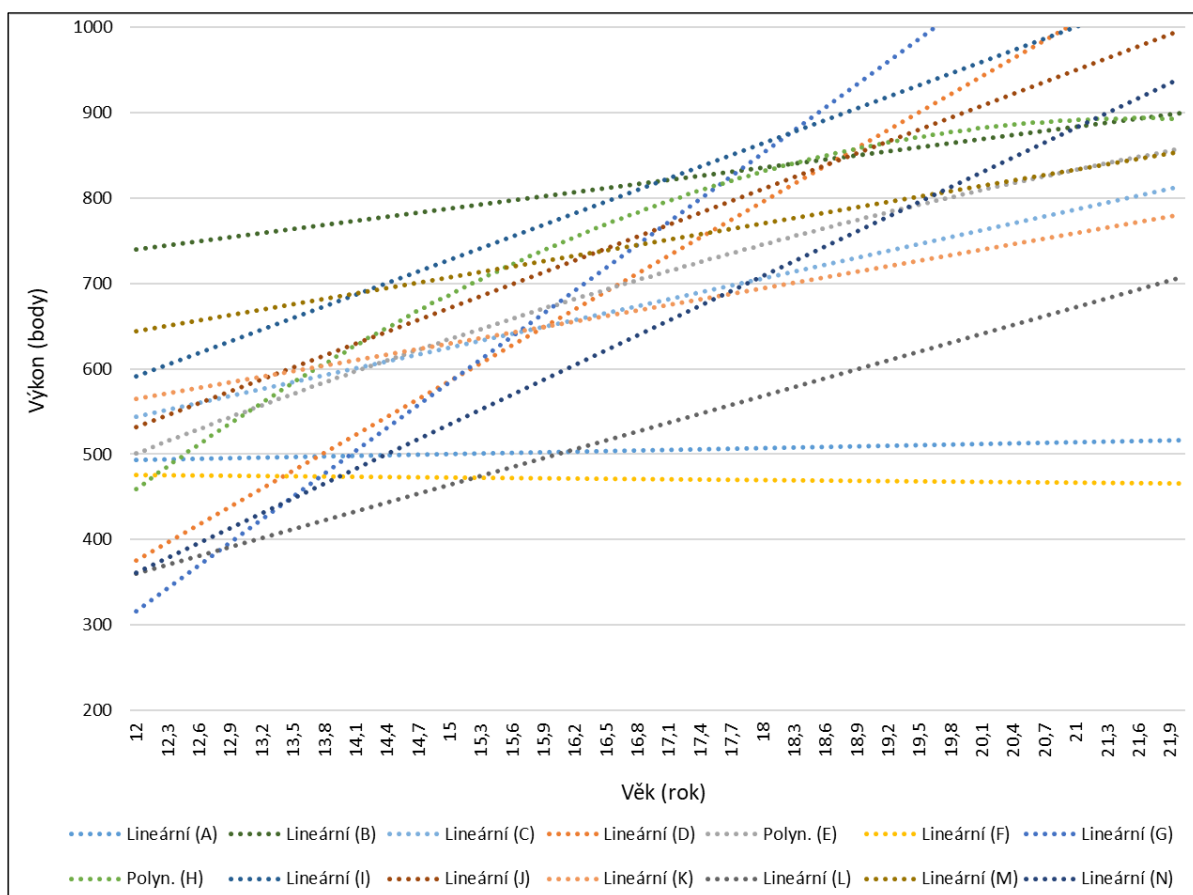
V tabulce 6 je uvedena bodová hodnota nejlepšího výkonu v každém roce u každé sledované běžkyně. Změna výkonů u dívek v průběhu sledování je při posouzení vstupních a výstupních výkonů statisticky ($p < 0,01$) i věcně významná ($d = 1,61$).

Tabulka 6.

Hodnota nejlepšího výkonu v jednotlivých letech u sledovaných dívek vyjádřená v bodech dle „IAAF scoring tables of athletics“

věk (roky)	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
14	521	845	643	491	505	448	305	655	718	-	-	442	727	501
15	590	890	657	464	725	519	563	775	801	740	607	500	750	551
16	545	779	671	715	809	540	781	882	892	818	682	531	803	640
17	531	830	740	705	755	572	744	921	927	767	735	559	836	709
18	593	845	772	828	819	574	856	894	909	742	767	681	885	783
19	536	-	795	840	866	540	-	952	868	875	776	700	865	775

V grafech 26 a 27 je uveden trend výkonnostní úrovně sledovaných dívek a chlapců. Je stanoven ze všech dosažených nejlepších výkonů v každém měsíci, kdy startovali na závodech. Významnou roli tedy hraje i vyrovnanost dosažených výkonů.



Graf 26.

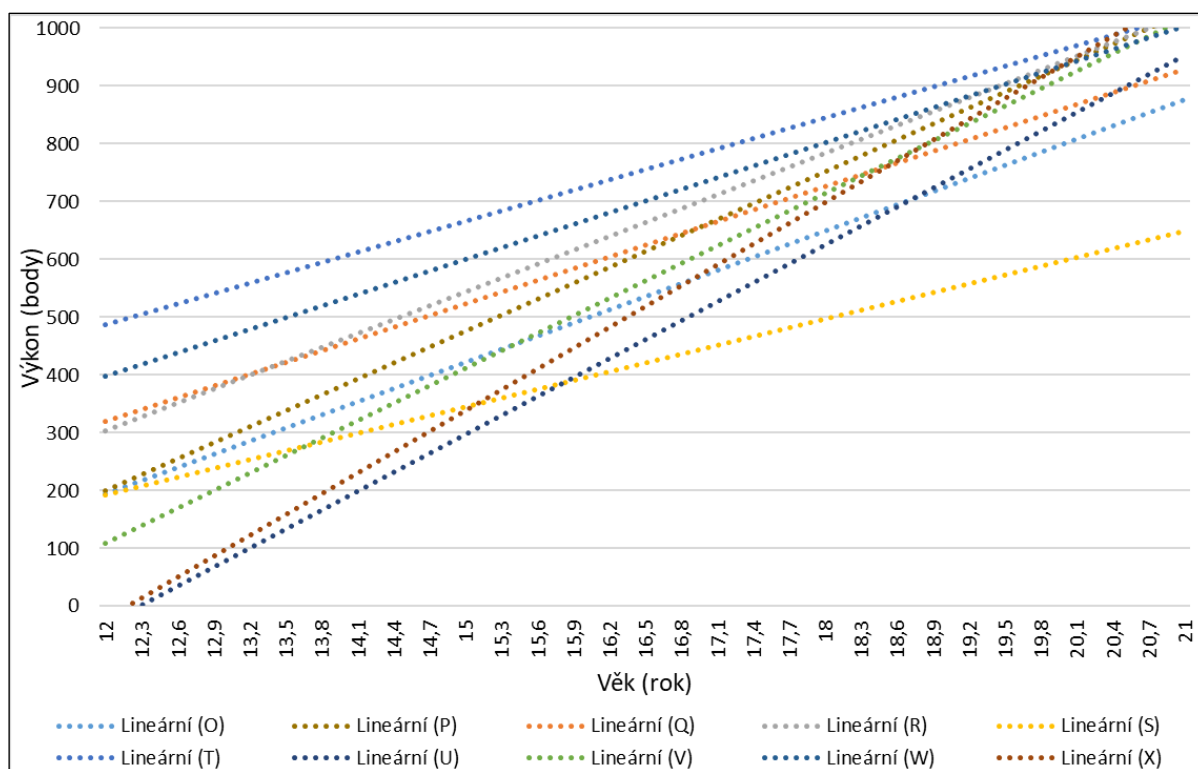
Vývoj výkonnostní úrovně dívek ve sledovaném období

V tabulce 7 je uvedena bodová hodnota nejlepšího výkonu v každém roce u každého sledovaného běžce. Změna výkonů u chlapců v průběhu sledování je při posouzení vstupních a výstupních výkonů statisticky ($p < 0,01$) i věcně významná ($d = 3,31$).

Tabulka 7.

Hodnota nejlepšího výkonu v jednotlivých letech u sledovaných chlapců vyjádřená v bodech dle „IAAF scoring tables of athletics“

věk (roky)	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
14	390	371	-	-	327	582	350	144	490	180
15	521	558	427	347	416	728	350	367	648	461
16	579	672	593	516	465	816	422	465	716	627
17	698	747	717	847	473	954	507	671	809	607
18	744	726	757	867	-	951	611	759	813	619
19	798	785	836	900	471	934	700	868	867	660



Graf 27.

Vývoj výkonnostní úrovně chlapců ve sledovaném období

Přestože jsou všichni sledovaní atleti účastníci několika MČR, kam se museli svými výkony nominovat, existují rozdíly v úrovni jejich výkonů. Vedle rozdílných předpokladů nebyl vliv tréninku pro všechny stejný. Vliv měla onemocnění, zranění, účast na trénincích, ... Někteří pokračovali ve sportovní kariéře i po ukončení sledování, někteří ji ukončili již před dosažení cílového věku pro ukončení sledování. Mezi sledovanými jsou běžci, jejichž vrcholem byla účast na mistrovství ČR, ale i reprezentanti ČR. U některých sledovaných neustále narůstá výkonnost až do konce sledování, které je na pomezí mládežnických kategorií a kategorie dospělých. U některých ale dochází k dočasné výkonnostní stagnaci již v průběhu sledování, jehož příčinou bylo někdy prodělání onemocnění či zranění.

Shrnutí: Pro možnost srovnání byly výkony z jednotlivých disciplín přepočítány na body dle „IAAF scoring tables of athletics“. U všech sledovaných běžkyň a běžců v průběhu sledování významně narůstá úroveň výkonů.

5.4.3 Dlouhodobé změny VO_{2max}

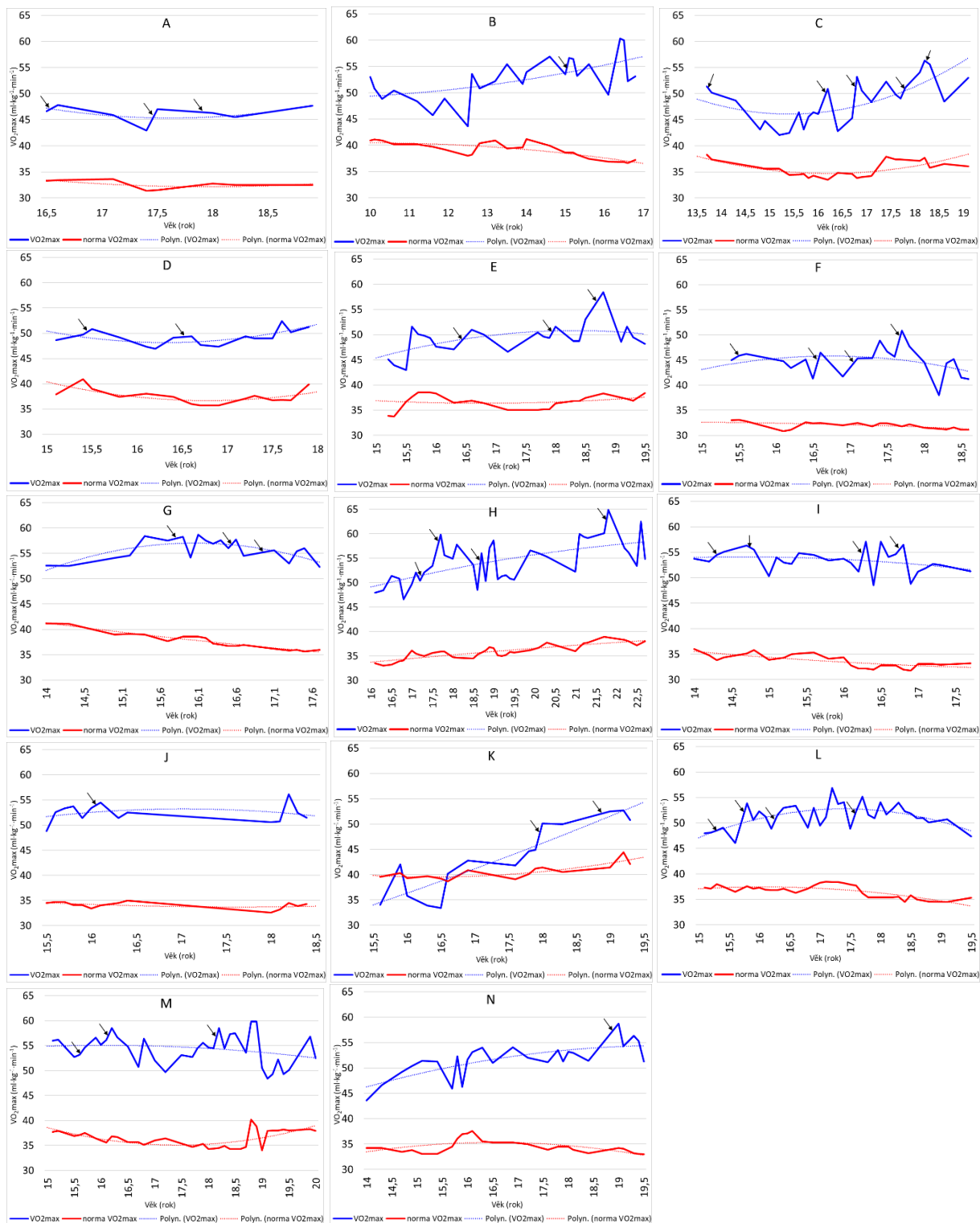
V grafu 28 a 29 je zachycen vývoj relativních hodnot VO_{2max} v průběhu sledování v porovnání s hodnotami individuální normy každé běžkyňe a každého běžce. V těchto grafech jsou zaznamenány všechny naměřené hodnoty VO_{2max} v průběhu sledování. Krátkodobé výkyvy naměřených hodnot jsou dány náplní ročního tréninkového cyklu a jeho periodizací (termíny testování). Testy byly prováděny před začátkem přípravného období, před tréninkovými kempy, po návratu ze soustředění, v průběhu přípravy i v závodním období. Šipka označuje tréninkový kemp. Je také uvedena polynomická spojnice trendu 2. stupně.

Dívky kazuistika VO_{2max}

U všech sledovaných dívek dosahují naměřené hodnoty vysoce nadprůměrných hodnot (viz graf 28) v porovnání s individuální normou pro běžnou populaci. Všechny běžkyně, až na běžkyni K, navštěvovaly před započítáním systematického běžeckého tréninku nějaký pohybový kroužek nebo provozovaly jiný sport (5× atletická příprava, 3× oddíl všetrannosti, 2× volejbal, 2× plavání, 1× orientační běh). Vstupní hodnoty VO_{2max} u dívek se pohybují mezi 115 a 149 % s jednou výjimkou (85 %), z toho vyplývá, že jejich úroveň je nadprůměrná, ale také do určité míry rozdílná, ať již z pohledu vrozených dispozic, tak jejich rozvoje. U všech běžkyň je významně vyšší hodnota VO_{2max} oproti normě od začátku sledování, s výjimkou běžkyně K, která začala s pravidelnou pohybovou aktivitou až na začátku sledování, do té doby vůbec nesportovala, navíc závodila nejčastěji v delších sprintech (400 m), až později přešla na trať 800 m. Její nárůst hodnot VO_{2max} je viditelný i v porovnání s ostatními dívkami na grafu 30. Otázkou je, zda všechny běžkyně mají vyšší vstupní hodnoty proto, že mají k pohybu blíže od dětství a rozvíjejí měřené parametry, nebo zda aktivně sportují i proto, že jsou disponovaní a tréninkem dále tyto předpoklady rozvíjejí.

Z grafu 28 je patrné, že u většiny dívek je trend vývoje hodnot VO_{2max} stoupající. Jsou zde ale výjimky. U dívek F a I vykazují naměřené hodnoty VO_{2max} stagnaci, což pravděpodobně souviselo s výrazným nárůstem tělesné hmotnosti v průběhu dospívání, podobný průběh byl i u jejich závodní výkonnosti. U dívek A, J a M je také viditelná stagnace trendu hodnot VO_{2max} , ale u nich není souvislost s nadměrným nárůstem hmotnosti, ani výkonnostní úroveň nestagnovala.

Hodnoty VO_{2max} kolísají i v průběhu ročního tréninkového cyklu. V průběhu ročního tréninkového cyklu dochází ke změnám v objemu a intenzitě tréninku (viz kapitola 2.3.6) tak, aby sportovní výkonnost gradovala směrem k vrcholu sezóny. Není totiž možné udržet vrcholnou výkonnostní úroveň po celý rok. V grafech 28 a 29 (i u grafů s dalšími parametry) modré hodnoty a jejich spojnice představují naměřené hodnoty, červené představují hodnoty individuální normy. Šipky ukazují, kdy proběhl tréninkový kemp. Pokud nenastaly zdravotní obtíže, tak v důsledku těchto kempů dochází k dočasnému nárůstu hodnot VO_{2max} . K nárůstu těchto hodnot dochází také v období, kdy se příprava zintenzivňuje. Protože bylo prokázáno, že hodnoty VO_{2max} souvisí s výkonnostní úrovní u dívek, u kterých dochází k růstu výkonnosti, dochází i k postupnému zlepšování hodnot VO_{2max} . Z trenérského pohledu by se optimálnímu průběhu blížil graf dívky N v grafu 28, kdy po počátečním rychlejším nárůstu hodnot VO_{2max} dochází ke zpomalení zlepšování hodnot, ale trend vývoje je rostoucí až do 19 let, pak dochází ke stagnaci, což pak již kopíruje průběh hodnot normy, kdy v určité fázi puberty dochází často ke stagnaci či dočasnému poklesu hodnot VO_{2max} . Modely C a D v grafu 28 jsou pravděpodobně typické pro vytrvalostně sportující adolescentní dívky, která mají vytrvalostní dispozice, které dále rozvíjejí. Při hodnocení vlivu dlouhodobého běžeckého tréninkového zatížení na hodnotu VO_{2max} u dívek prostřednictvím ANOVA analýzy je zjištěná hodnota $p = 0,000$. Změna hodnot VO_{2max} vlivem longitudinálního běžeckého tréninkového zatížení je u dívek statisticky významná.



Graf 28.

Vývoj naměřených relativních hodnot a individuální normy VO_{2max} u dívek (A-N) ve sledovaném období

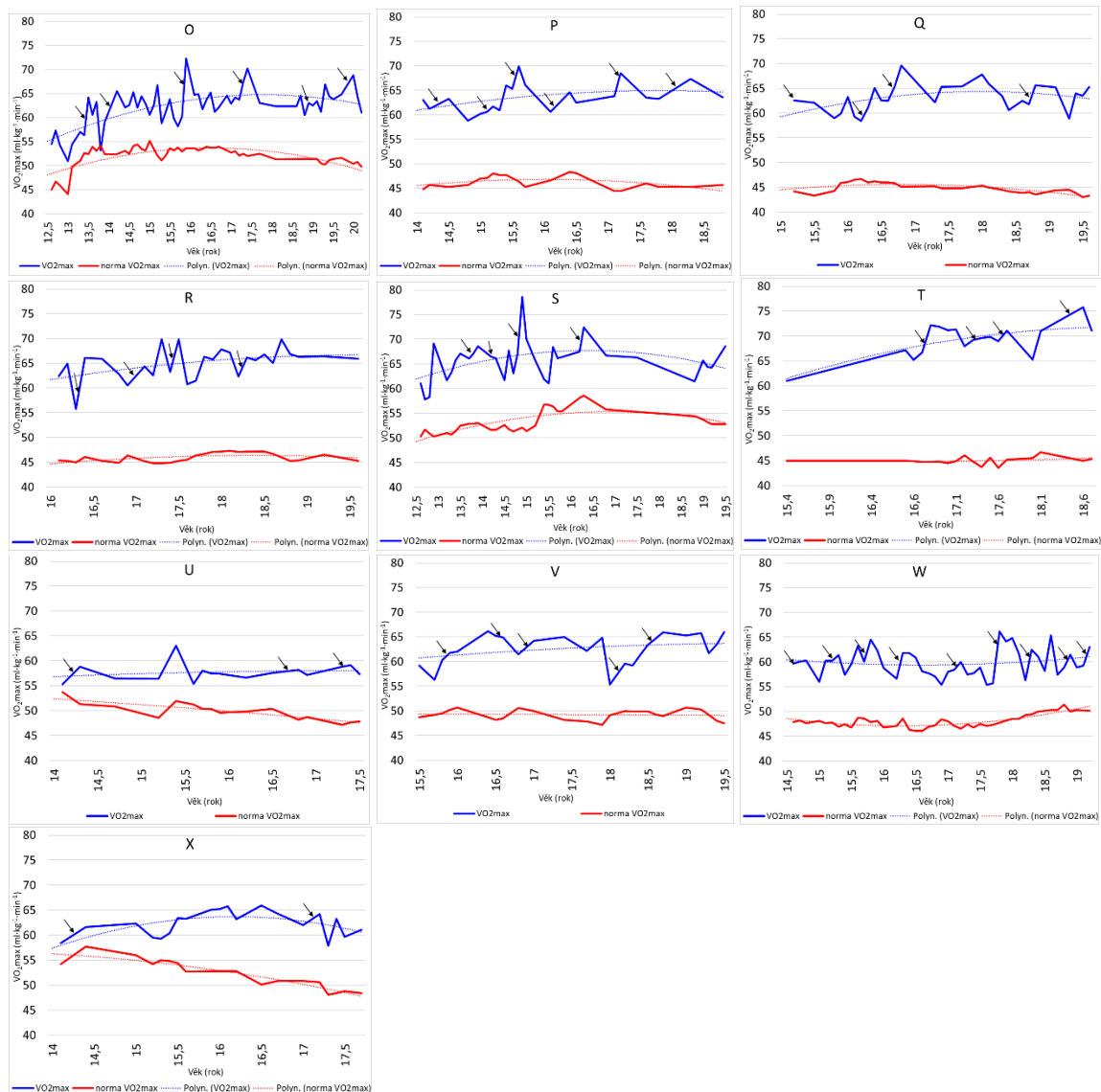
Pozn.: modře naměřené hodnoty, červeně hodnoty normy

Chlapci kazuistika VO_{2max}

U všech chlapců je od počátku sledování hodnota VO_{2max} na vyšší úrovni, než je hodnota individuální normy (počáteční hodnota na úrovni 103–145 % individuální normy), viz graf 29. To je pravděpodobně dáno jejich vrozenými dispozicemi. U běžců P, Q, R, S, T, V a W je již od

počátku sledování hodnota vysoce nadprůměrná a není patrná výrazná odchylka trendu hodnot od trendu hodnot normy, v podstatě trend naměřených hodnot kopíruje trend hodnot normy. Všichni tito běžci provozovali před započítím systematického běžeckého tréninku jiný sport (4× fotbal, 1× plavání, 1× běžecké lyžování, 1× atletická příprava) se zastoupením vytrvalostní složky. U chlapců O, U a X je zřetelný postupný nárůst hodnot oproti normám po začátku systematického tréninku.

Při hodnocení vlivu dlouhodobého běžeckého tréninkového zatížení na hodnotu VO_{2max} u chlapců dosáhla prostřednictvím ANOVA analýzy hodnota $p = 0,000$. Změna hodnot VO_{2max} vlivem longitudinálního běžeckého tréninkového zatížení je u chlapců statisticky významná.



Graf 29.

Vývoj naměřených relativních hodnot a individuální normy VO_{2max} u chlapců (O-X) ve sledovaném období

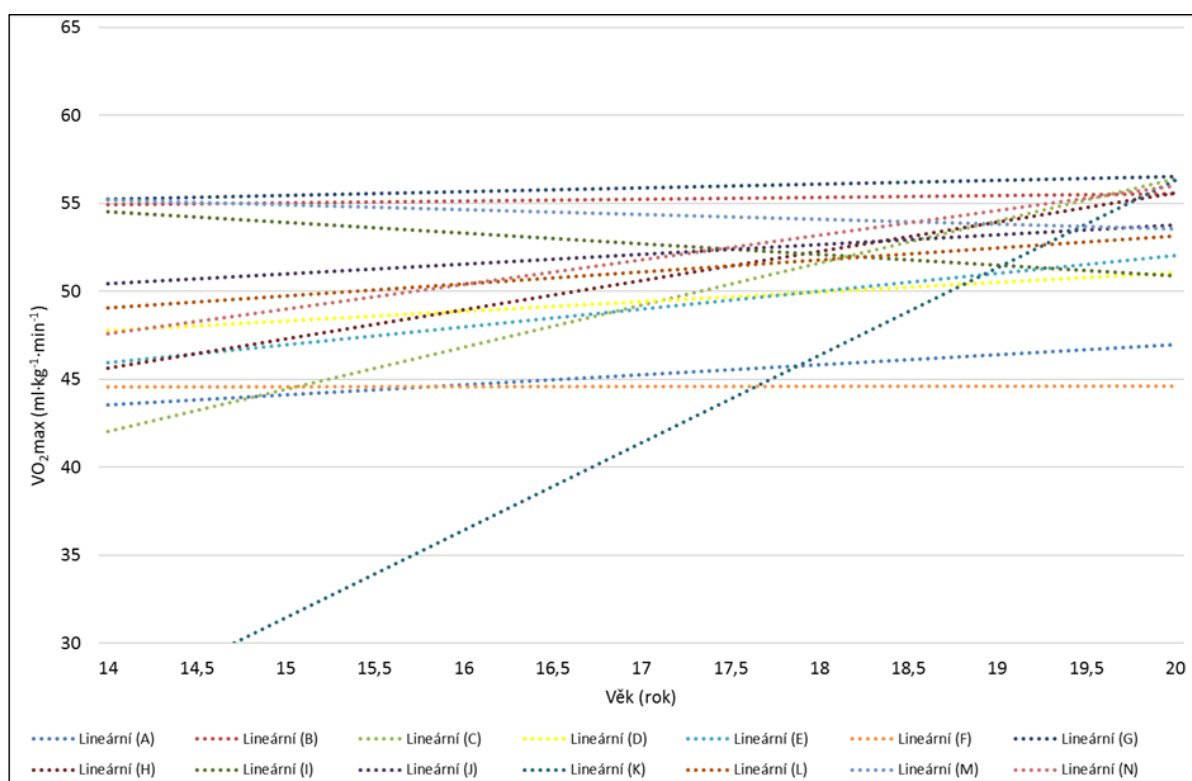
Pozn.: modře naměřené hodnoty, červeně hodnoty normy

Modely P, Q, R, T, V a W v grafu 29 jsou pravděpodobně typické pro vytrvalostně disponované chlapce, kteří již vytrvalostní dispozice rozvíjeli před začátkem monitorování.

Modely O, U a X v grafu 29 prezentují vytrvalostně disponované běžce, kteří ale před započítím sledování vytrvalostní dispozice systematicky nerozvíjeli.

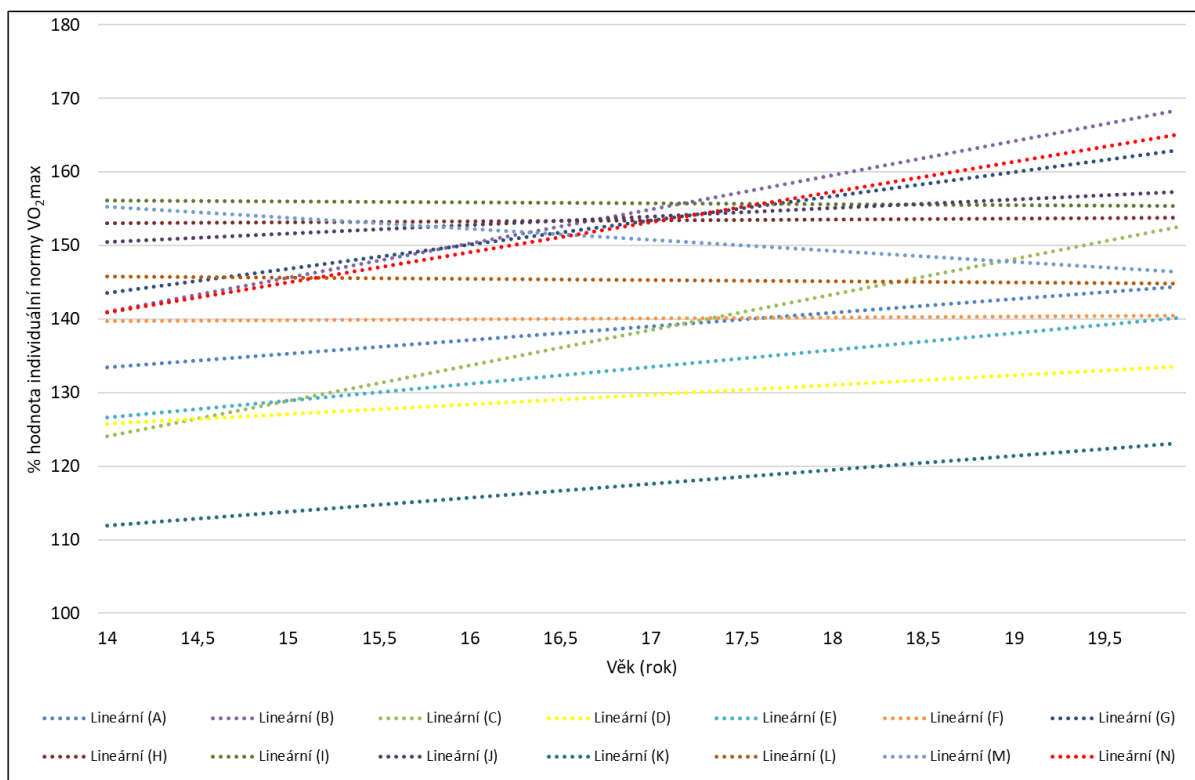
Dívky souhrnný vývoj VO_{2max}

V grafu 30 je zobrazen trend vývoje relativní hodnoty VO_{2max} u dívek. Koeficient determinace dosahuje $0,21 \pm 0,24$. V tomto grafu jsme použili lineární spojnicí trendu, přestože koeficient determinace nedosahuje nejvyšších hodnot. Ale optimální spojnice trendu je použita v předchozích individuálních grafech, zde prezentujeme trend vývoje tak, aby byl přehledný. Až na tři sledované běžkyně dochází u dívek k rostoucímu trendu v průběhu sledování, u běžkyně K je nárůst enormní z výše popsaných příčin (nízké vstupní hodnoty VO_{2max} , absence pohybových aktivit na počátku sledování). U dvou lze vidět klesající trend a u jedné stagnující. U běžkyně K je zaznamenán největší nárůst hodnot VO_{2max} (viz graf 30). V grafu 31 je zobrazen trend vývoje hodnoty VO_{2max} vyjádřený jako procento individuální normy u dívek. Koeficient determinace dosahuje $0,12 \pm 0,14$. Tato hodnota vztažená k individuální normě vykazuje u čtyř dívek stagnující trend, u jedné dívky trend klesající, u ostatních devíti rostoucí trend. U části dívek má průběh naměřené relativní hodnoty VO_{2max} podobný průběh jako hodnota vyjádřená jako procento normy (viz graf 28). Z toho vyplývá, že hodnota VO_{2max} u poloviny sledovaných běžkyň ve sledovaném období kopíruje hodnoty běžné populace, jen na vyšší úrovni hodnot. U druhé poloviny dívek má trénink ve sledovaném období vliv na zvýšení hodnot VO_{2max} .



Graf 30.

Lineární trend vývoje relativních naměřených hodnot VO_{2max} u dívek ve sledovaném období.

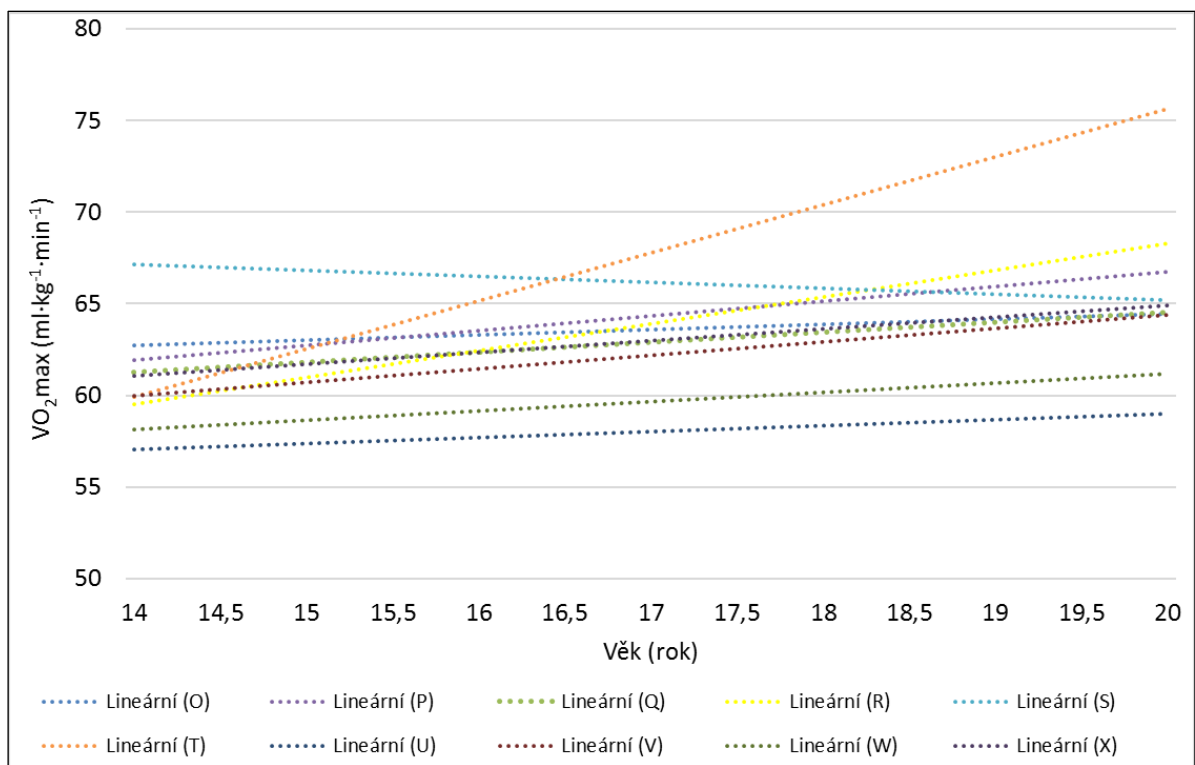


Graf 31.

Lineární trend vývoje relativních hodnot VO_{2max} vyjádřených jako procentuální hodnota normy u dívek ve sledovaném období

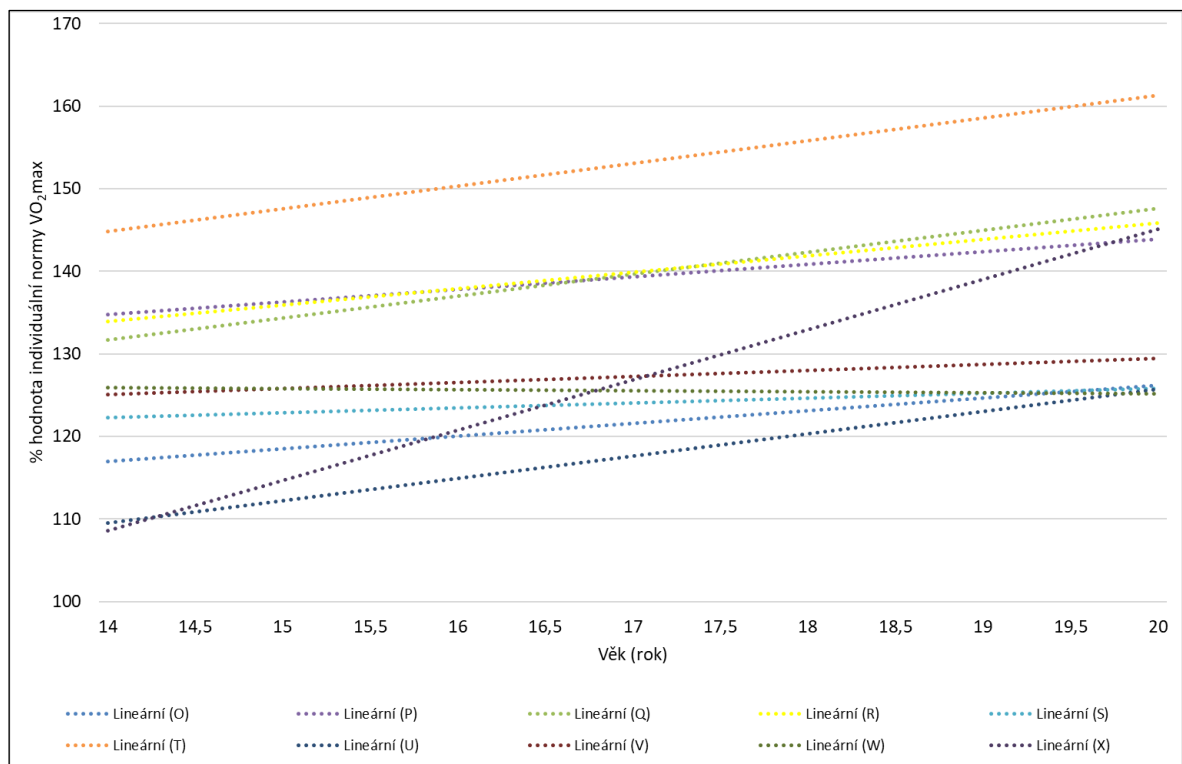
Chlapci souhrnný vývoj VO_{2max}

U chlapců je zaznamenán rostoucí trend naměřené relativní hodnoty VO_{2max}, s výjimkou jednoho běžce (S), viz graf 32. Ten zaznamenal zdravotní problémy související s růstem a na začátku sledování byl extrémně hubený. To přispělo k jeho vysoce nadprůměrným hodnotám VO_{2max} na počátku sledování. Koeficient determinace dosahuje $0,12 \pm 0,12$. Hodnoty VO_{2max} vztahované k normě (graf 33) vykazují rostoucí trend u všech sledovaných běžců. Trend změny hodnot VO_{2max} je tedy odlišný od běžné populace. Koeficient determinace dosahuje $0,16 \pm 0,16$.



Graf 32.

Lineární trend vývoje naměřených relativních hodnot VO_{2max} u chlapců ve sledovaném období



Graf 33.

Lineární trend vývoje relativních hodnot VO_{2max} vyjádřených jako procentuální hodnota normy u chlapců ve sledovaném období

Shrnutí: V této kapitole je graficky prezentován vývoj všech zaznamenaných hodnot VO_{2max} v porovnání s aktuální hodnotou individuální normy u každého jedince zvlášť. Všichni sledovaní běžci a běžkyně dosahují významně nadprůměrných hodnot. Přestože mají nadprůměrné hodnoty VO_{2max} , vlivem absolvovaného tréninku dochází ještě k jejich růstu. U všech chlapců dochází k růstu hodnot VO_{2max} v průběhu sledování (naměřených hodnot i hodnot vyjádřených jako procento individuální normy). U dívek dochází v průběhu sledování také k nárůstu naměřených hodnot s výjimkou tří z nich, resp. čtyř u hodnot vyjádřených jako procento normy, u nichž naměřené hodnoty v podstatě kopírují hodnoty běžné populace, ale na vyšší úrovni. To je podstatné, protože je VO_{2max} předpokladem běžického výkonu.

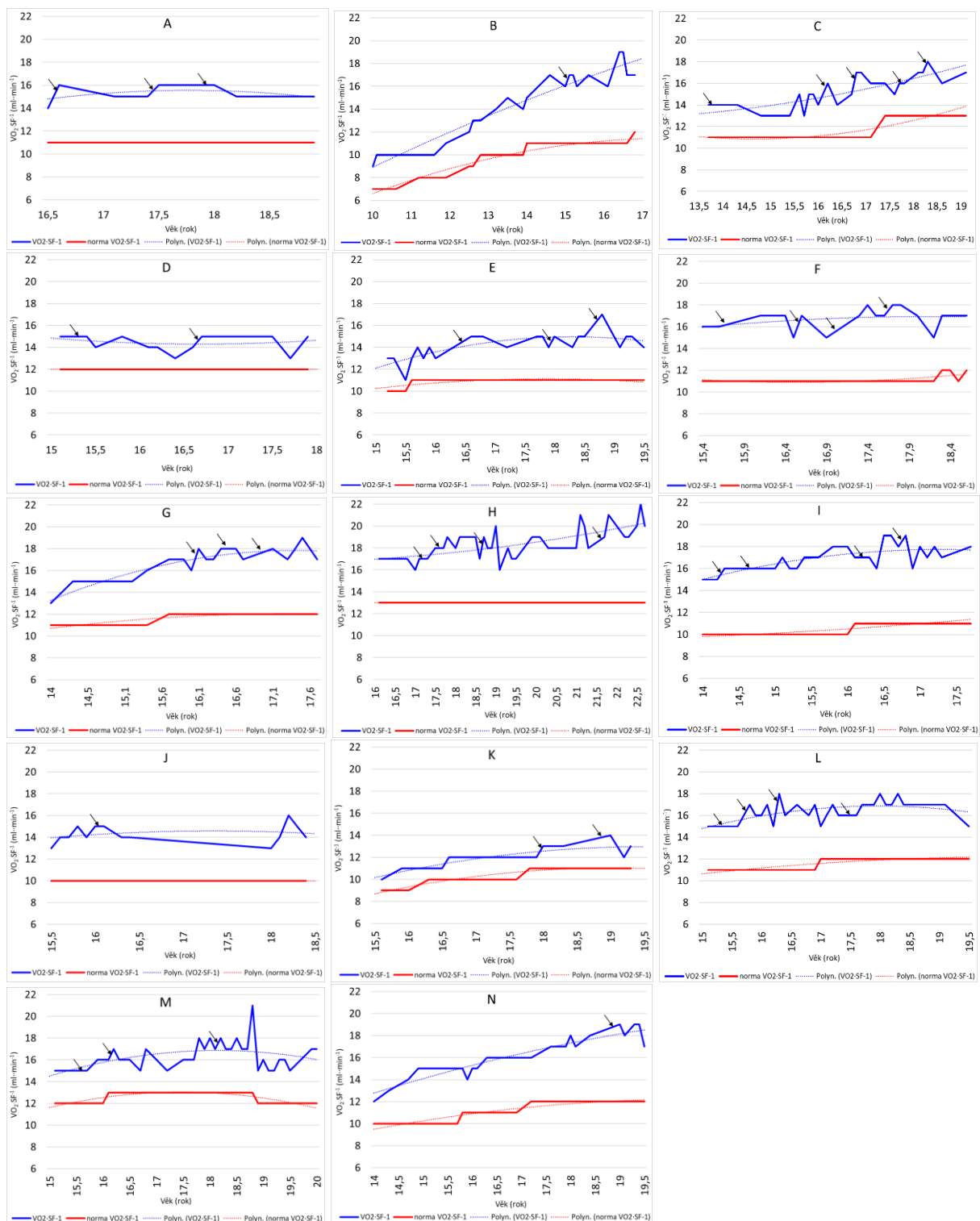
5.4.4 Dlouhodobé změny $VO_2 \cdot SF^{-1}$

V grafu 34 a 35 je zachycen vývoj hodnot $VO_2 \cdot SF^{-1}$ v průběhu sledování v porovnání s hodnotami individuální normy každé běžkyně a každého běžce. V grafu jsou zaznamenány všechny naměřené hodnoty $VO_2 \cdot SF^{-1}$ v průběhu sledování. Nezkoumali jsme, jak se hodnota $VO_2 \cdot SF^{-1}$ měnila primárně vlivem změny VO_2 či vlivem změny srdeční frekvence (SF).

Dívky kazuistika $VO_2 \cdot SF^{-1}$

Z grafu 34 je patrné, že u všech sledovaných dívek dosahují naměřené hodnoty vysoce nadprůměrných hodnot v porovnání s individuální normou pro běžnou populaci. Vstupní hodnoty $VO_2 \cdot SF^{-1}$ u dívek se pohybují mezi 110 a 145 %, z toho vyplývá, že jejich úroveň je vysoce nadprůměrná. U všech běžkyň je významně vyšší hodnota $VO_2 \cdot SF^{-1}$ oproti normě od začátku sledování. Z grafu 34 je patrné, že u většiny dívek je trend vývoje hodnot $VO_2 \cdot SF^{-1}$ stoupající. Jsou zde ale výjimky. U dívek A, D a J vykazují naměřené hodnoty $VO_2 \cdot SF^{-1}$ stagnaci. U všech tří dívek je ukončen růst v 17 letech (viz tabulka 2), ale hodnota jejich individuální normy se již od počátku sledování nemění. U dívek B, C, E, F, G, H, I, K, L, M, N dochází k postupnému dlouhodobému vývoji hodnot $VO_2 \cdot SF^{-1}$, ale u všech sledovaných dívek dochází i ke krátkodobým změnám v závislosti na absolvovaném tréninkovém zatížení.

U sledovaných dívek se vyskytují dva základní typy modelů průběhu změn $VO_2 \cdot SF^{-1}$. U obou je po celou dobu sledování dosažená hodnota nadprůměrná. U části dívek trend naměřené hodnoty kopírují trend hodnot individuální normy, u části z nich je trend naměřených hodnot rostoucí oproti hodnotám individuální normy. Při hodnocení vlivu dlouhodobého běžického tréninkového zatížení na hodnotu $VO_2 \cdot SF^{-1}$ u dívek dosáhla u ANOVA analýzy hodnota $p = 0,000$. Změna hodnot $VO_2 \cdot SF^{-1}$ vlivem longitudinálního běžického tréninkového zatížení je u dívek statisticky významná.



Graf 34.

Vývoj naměřených hodnot a individuální normy VO_2-SF^{-1} u dívek (A-N) ve sledovaném období
 Pozn.: modře naměřené hodnoty, červeně hodnoty normy

Chlapci kazuistika VO_2-SF^{-1}

Z grafu 35 je patrné, že u šesti sledovaných chlapců dosahují naměřená data signifikantně vyšších hodnot v porovnání s individuální normou pro běžnou populaci po celou dobu sledování (počáteční hodnota na úrovni 100–131 % individuální normy). U dvou chlapců (O a X) jsou počáteční naměřené hodnoty na úrovni individuální normy, poté je postupně

významně převyšují. U dvou chlapců (S a U) je naměřená hodnota v průběhu sledování jen mírně nadprůměrná, u běžce S dokonce v průběhu sledování dokonce hodnota individuální normy dočasně převyšuje naměřené hodnoty. Bylo to v období, kdy měl několikaměsíční tréninkový výpadek ze zdravotních důvodů. Vstupní hodnoty $VO_2 \cdot SF^{-1}$ u chlapců jsou vysoce nadprůměrná (u dvou průměrná). Z grafu 35 je patrné, že u všech chlapců je trend vývoje hodnot $VO_2 \cdot SF^{-1}$ stoupající.

U sledovaných chlapců se vyskytují dva základní typy modelů průběhu změn $VO_2 \cdot SF^{-1}$. U jednoho modelu se naměřená hodnota $VO_2 \cdot SF^{-1}$ z počátečních průměrných hodnot stává stále více nadprůměrnou a ve druhém modelu je naměřená hodnota po celou dobu sledování nadprůměrná a trend hodnot v podstatě kopíruje trend hodnoty individuální normy. Při hodnocení vlivu dlouhodobého běžeckého tréninkového zatížení na hodnotu $VO_2 \cdot SF^{-1}$ u chlapců dosáhla u ANOVA analýzy hodnota $p = 0,011$. Změna hodnot $VO_2 \cdot SF^{-1}$ vlivem longitudinálního běžeckého tréninkového zatížení je u chlapců statisticky významná.

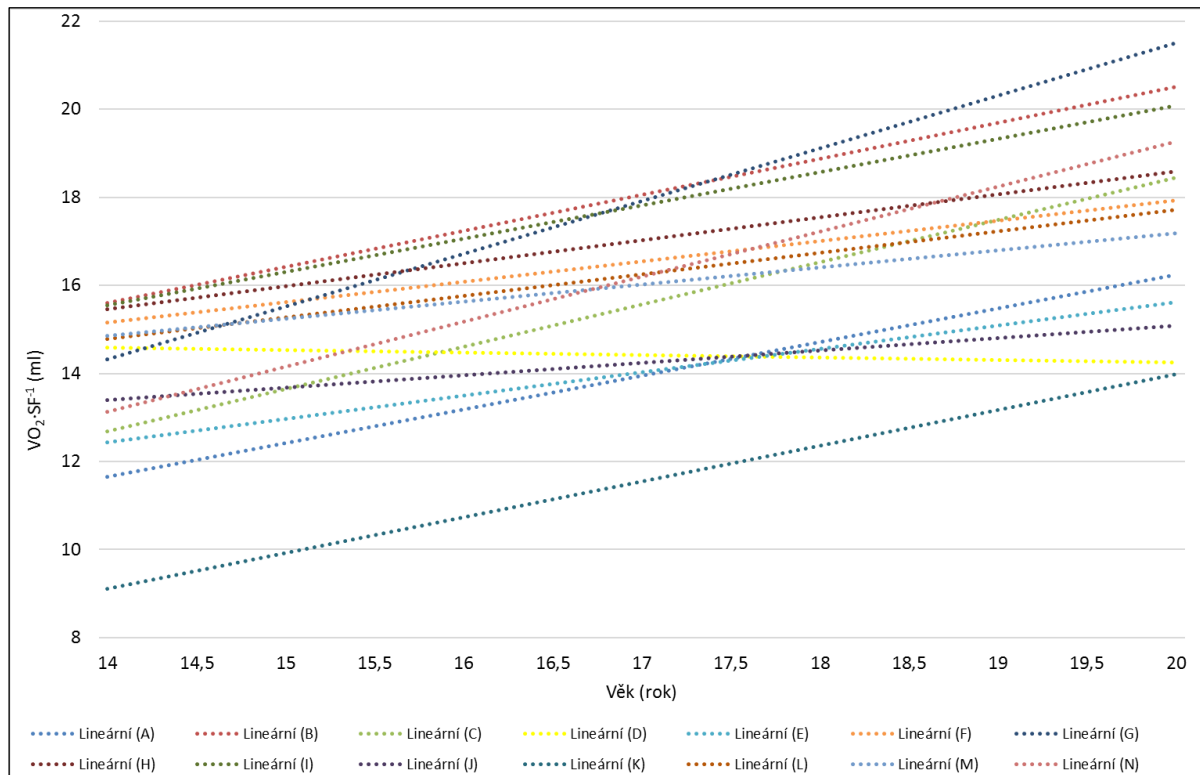


Graf 35.

Vývoj naměřených hodnot a individuální normy $VO_2 \cdot SF^{-1}$ u chlapců (O-X) ve sledovaném období
 Pozn.: modře naměřené hodnoty, červeně hodnoty normy

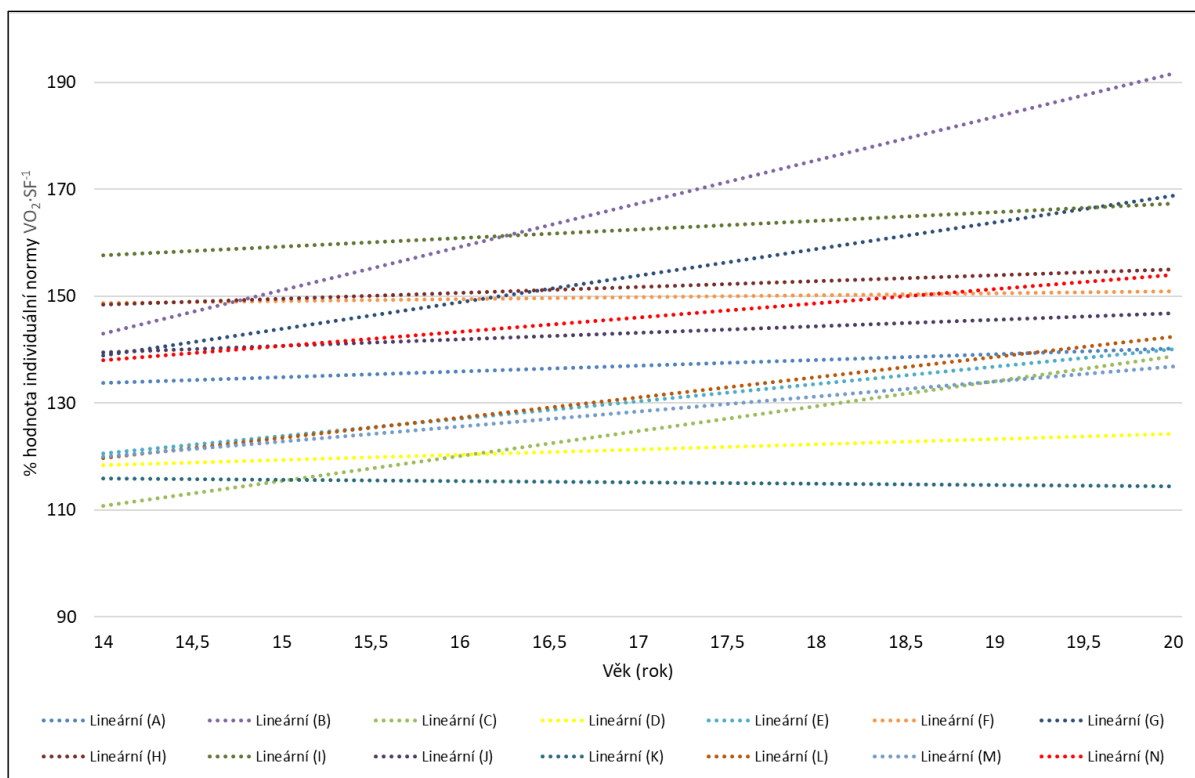
Dívky souhrnný vývoj $VO_2 \cdot SF^{-1}$

V grafu 36 je zobrazen trend vývoje hodnoty $VO_2 \cdot SF^{-1}$ u dívek. Koeficient determinace dosahuje $0,43 \pm 0,25$. Až na jednu sledovanou běžkyni dochází u dívek k rostoucímu trendu v průběhu sledování. U jedné z nich je trend stagnující až mírně klesající. V grafu 37 je zobrazen trend vývoje hodnoty $VO_2 \cdot SF^{-1}$ vyjádřený jako procento individuální normy u dívek. Tato hodnota vykazuje podobný trend jako naměřená hodnota. U jedné dívky je trend stagnace až mírného poklesu, u ostatních křivka trendu vykazuje větší či menší růst. Koeficient determinace dosahuje $0,15 \pm 0,14$.



Graf 36.

Lineární trend vývoje $VO_2 \cdot SF^{-1}$ u dívek ve sledovaném období

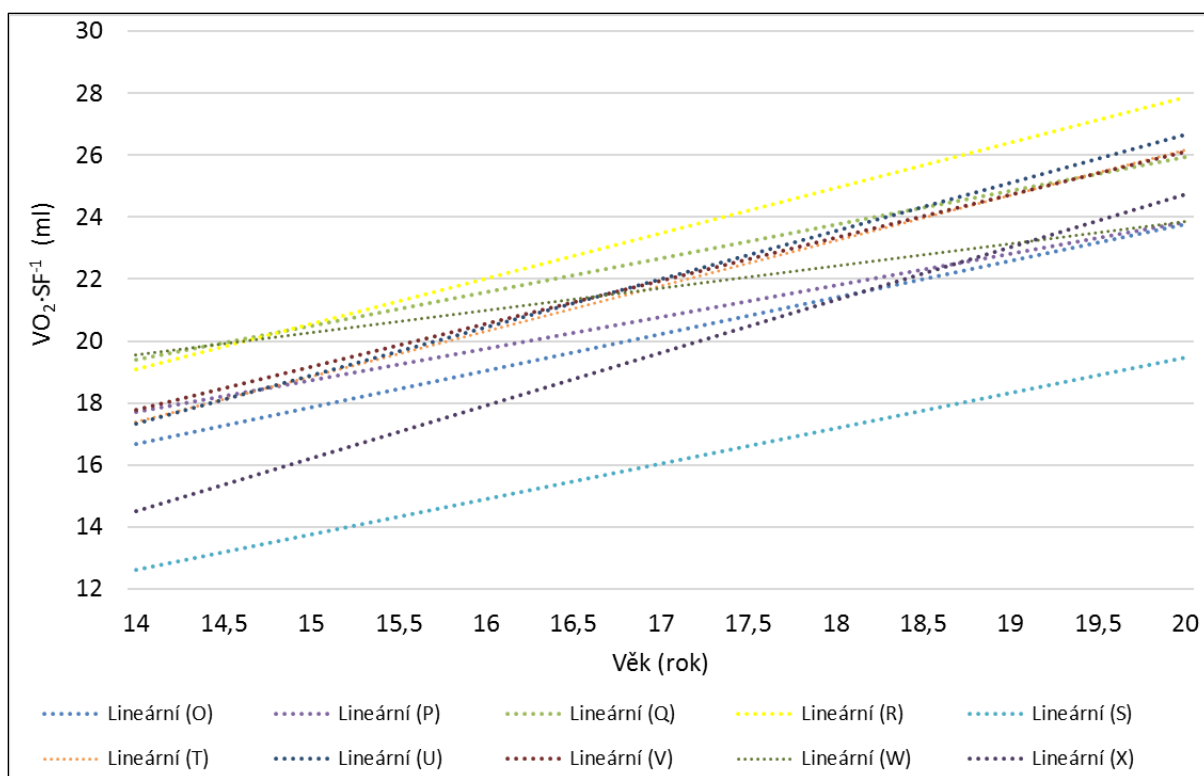


Graf 37.

Lineární trend vývoje hodnot $VO_2 \cdot SF^{-1}$ vyjádřených jako procentuální hodnota normy u dívek ve sledovaném období

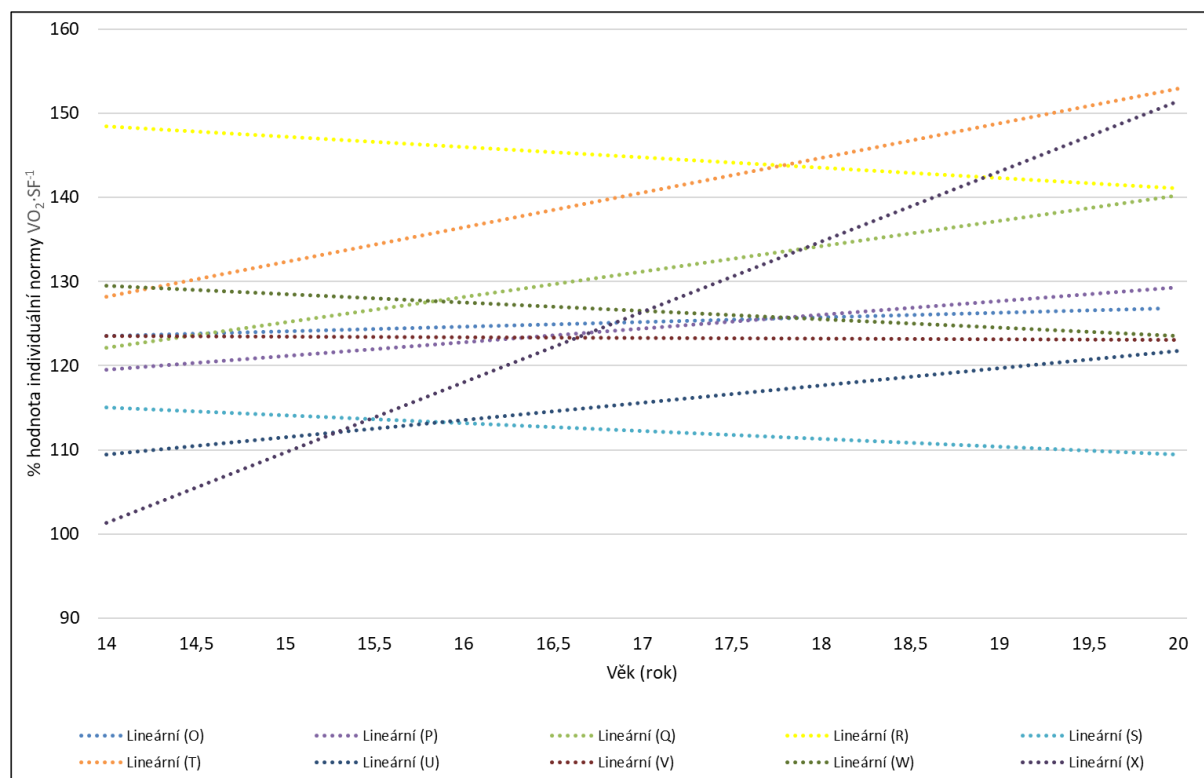
Chlapci souhrnný vývoj $VO_2 \cdot SF^{-1}$

U všech chlapců je zaznamenán rostoucí trend naměřené $VO_2 \cdot SF^{-1}$ (graf 38). Koeficient determinace dosahuje $0,62 \pm 0,19$. Až na dva běžce (běžci S a W) je rostoucí trend i u hodnoty vyjádřené jako procentuální hodnota individuální normy (graf 39). Trend změny hodnot $VO_2 \cdot SF^{-1}$ je tedy až na dvě výjimky odlišný od běžné populace. Koeficient determinace dosahuje $0,15 \pm 0,22$.



Graf 38.

Lineární trend vývoje $VO_2 \cdot SF^{-1}$ u chlapců ve sledovaném období.



Graf 39.

Lineární trend vývoje hodnot $VO_2 \cdot SF^{-1}$ vyjádřených jako procentuální hodnota normy u chlapců ve sledovaném období

Shrnutí: V této kapitole je graficky prezentován vývoj hodnot $VO_2 \cdot SF^{-1}$ v porovnání s aktuální hodnotou individuální normy u každého jedince zvlášť. Všichni sledovaní běžci a běžkyně dosahují významně nadprůměrných hodnot. Až na výjimky dochází k růstu hodnot $VO_2 \cdot SF^{-1}$ v průběhu sledování. Přestože mají sledované dívky a chlapci nadprůměrné hodnoty $VO_2 \cdot SF^{-1}$, vlivem absolvovaného tréninku dochází ještě k jejich růstu.

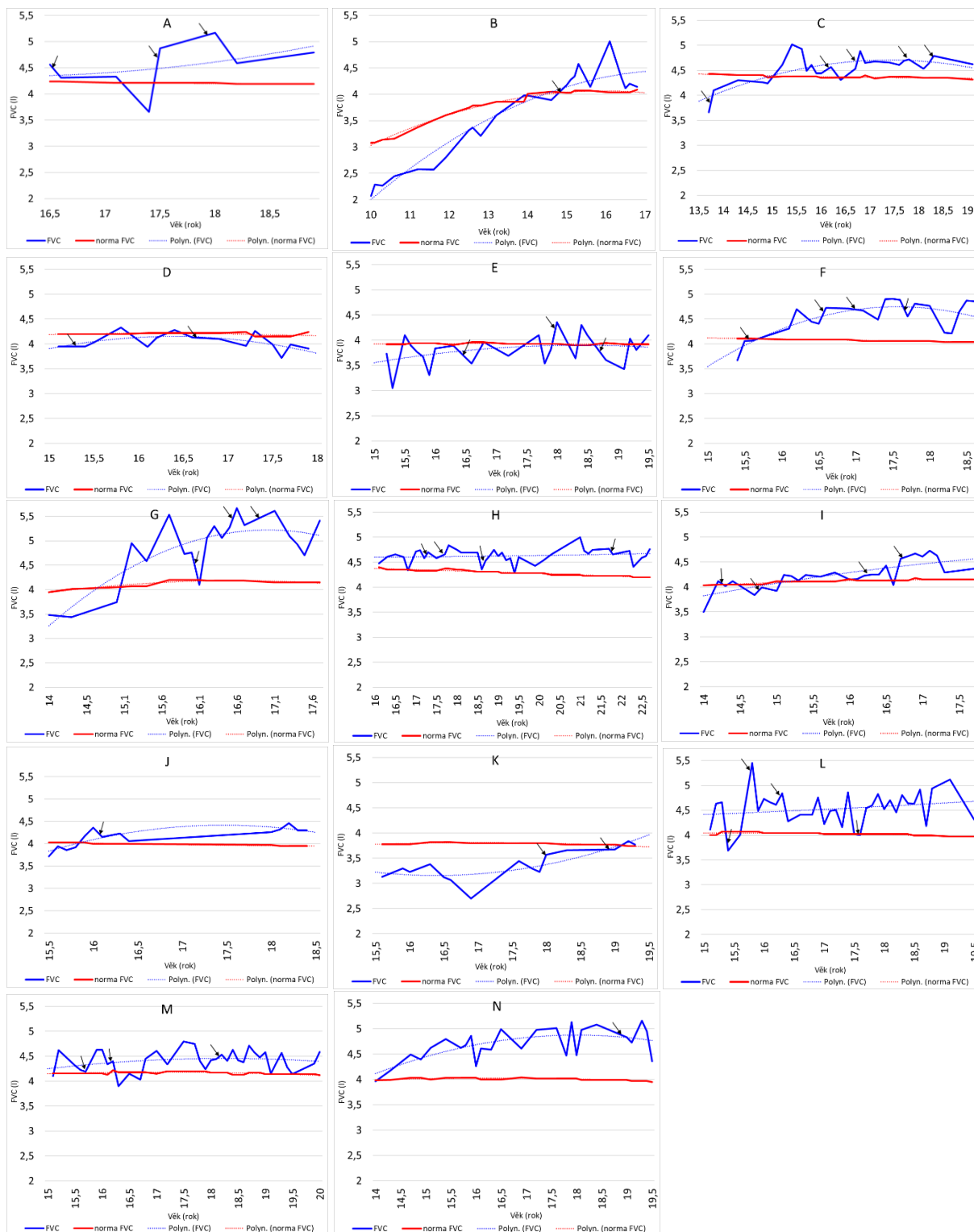
5.4.5 Dlouhodobé změny FVC

V grafu 40 a 41 je zachycen vývoj hodnot FVC v průběhu sledování v porovnání s hodnotami individuální normy každé běžkyně a každého běžce.

Dívky kazuistika FVC

V grafu jsou zaznamenány všechny naměřené hodnoty FVC v průběhu sledování. Z grafu 40 je patrné, že pouze u čtyř dívek ze čtrnácti je vstupní hodnota FVC nadprůměrná. U dívek D, E a K se naměřená hodnota FVC dostane jen výjimečně v průběhu sledování nad úroveň individuální normy. U všech dívek s výjimkou dvou (D a H) je trend naměřených hodnot rostoucí, u všech sledovaných dívek dochází i ke krátkodobým změnám v závislosti na absolvovaném tréninkovém zatížení. Vstupní hodnoty FVC u dívek se pohybují mezi 82 a 107 %, z toho vyplývá, že jejich úroveň je podprůměrná až průměrná. U deseti dívek je naměřená hodnota v průběhu sledování převážně nadprůměrná (viz graf 40).

Vyskytují se podobné modely jako u předchozích parametrů, ale u FVC existuje typický model, kdy je vstupní hodnota FVC nižší než příslušná norma a v průběhu sledování dochází k postupnému překonání hodnoty individuální normy a dalšímu růstu. Druhý typický model v podstatě kopíruje hodnotu normy, u některých běžkyň pod hodnotou normy, u některých nad její hodnotou. Při hodnocení vlivu dlouhodobého běžeckého tréninkového zatížení na hodnotu FVC u dívek dosáhla u ANOVA analýzy hodnota $p = 0,005$. Změna hodnot FVC vlivem longitudinálního běžeckého tréninkového zatížení je u dívek statisticky významná.



Graf 40.

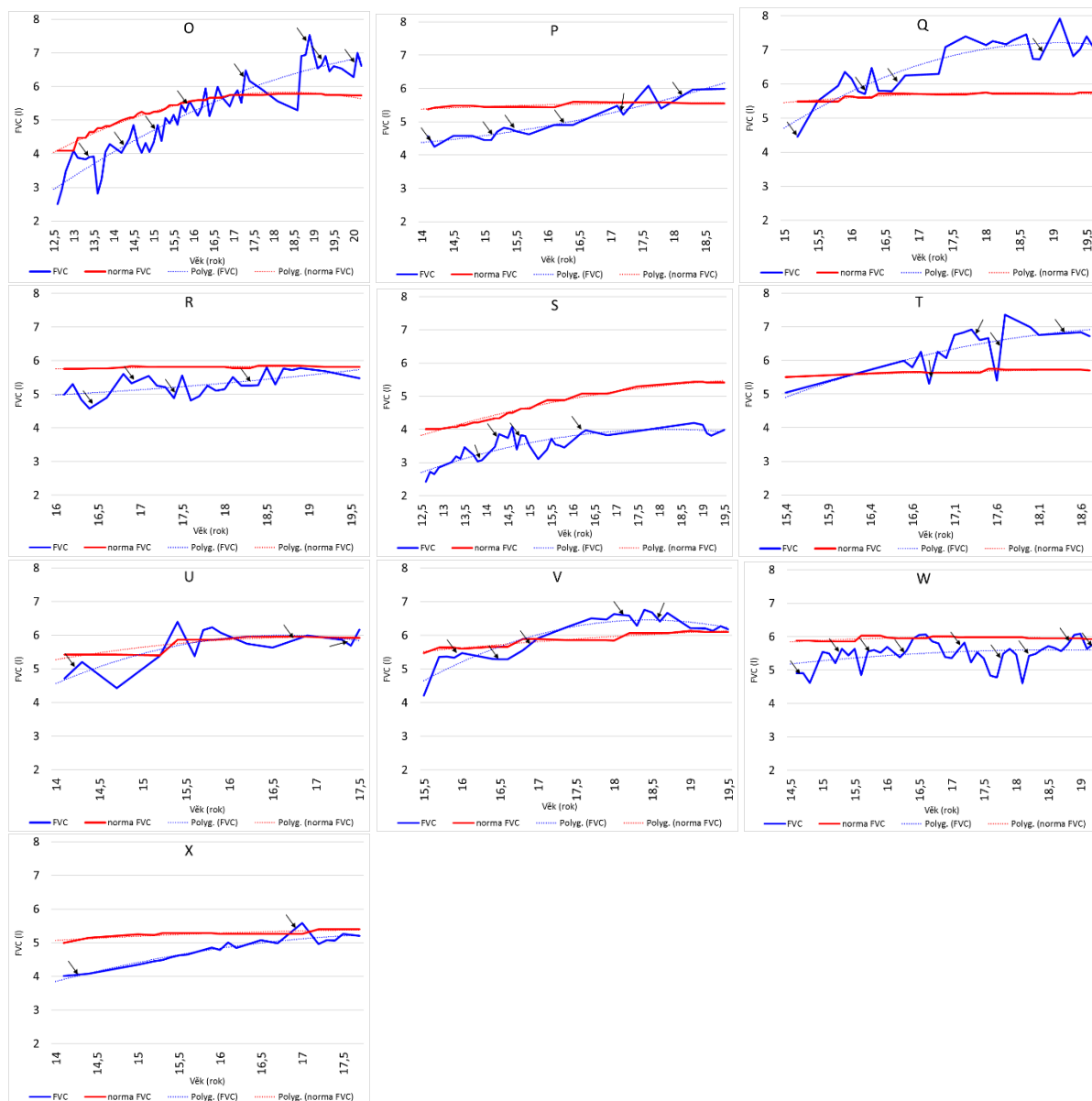
Vývoj naměřených hodnot a individuální normy FVC u dívek (A-N) ve sledovaném období
 Pozn.: modře naměřené hodnoty, červeně hodnoty normy

Chlapci kazuistika FVC

Z grafu 41 je patrné, že pouze u jednoho chlapce z deseti je vstupní hodnota FVC nadprůměrná, u ostatních je podprůměrná až průměrná (počáteční hodnota na úrovni 61–109 % individuální normy). U chlapců R a S se naměřená hodnota nikdy nedostala nad hodnotu

individuální normy, u běžců U, W a X zcela sporadicky. U všech chlapců je trend naměřených hodnot FVC rostoucí, u všech sledovaných chlapců dochází i ke krátkodobým změnám v závislosti na absolvovaném tréninkovém zatížení. Vyskytují se podobné modely jako u hodnot FVC dívek. Existuje skupina chlapců, kteří mají vstupní hodnoty nižší, než je příslušná norma, dosažená hodnota roste, a postupně hodnotu normy překoná. U druhého hlavního modelu naměřená hodnota FVC v podstatě kopíruje hodnotu normy.

Při hodnocení vlivu dlouhodobého běžeckého tréninkového zatížení na hodnotu FVC u chlapců dosáhla u ANOVA analýzy hodnota $p = 0,022$. Změna hodnot FVC vlivem longitudinálního běžeckého tréninkového zatížení je u chlapců statisticky významná.



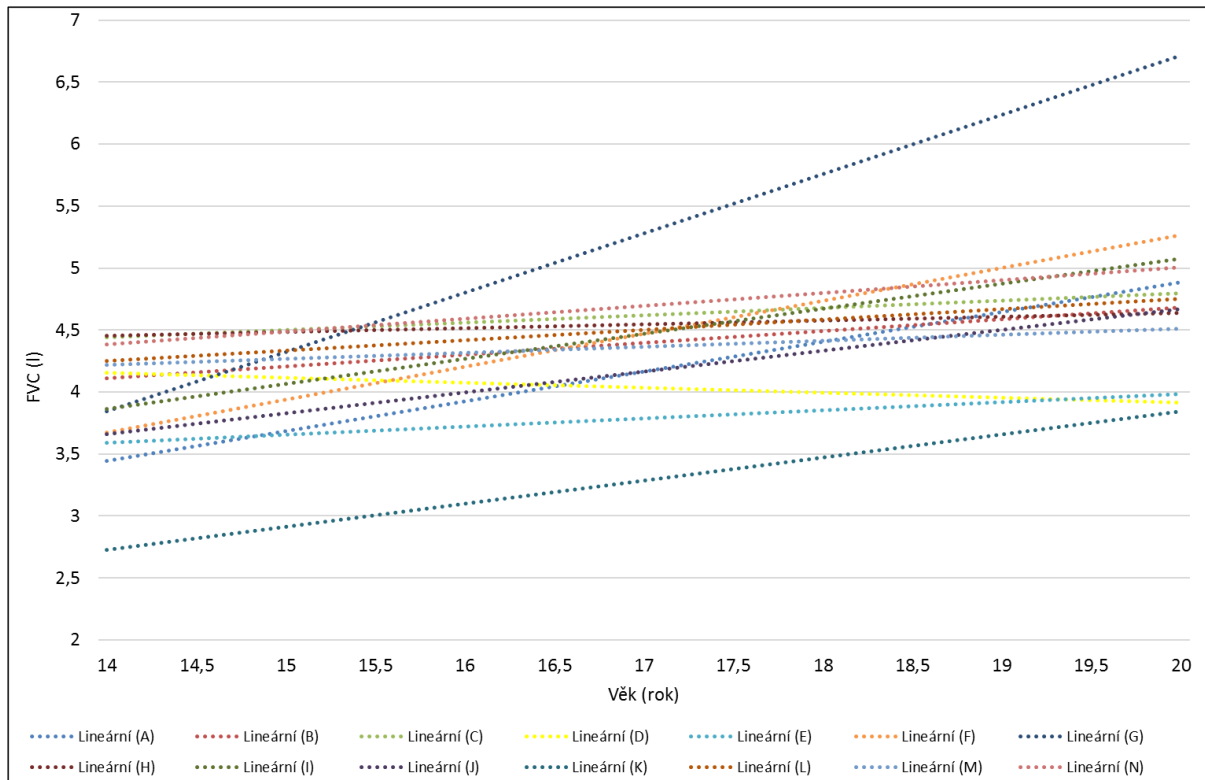
Graf 41.

*Vývoj naměřených hodnot a individuální normy FVC u chlapců (O-X) ve sledovaném období
Pozn.: modře naměřené hodnoty, červeně hodnoty normy*

Dívky souhrnný vývoj FVC

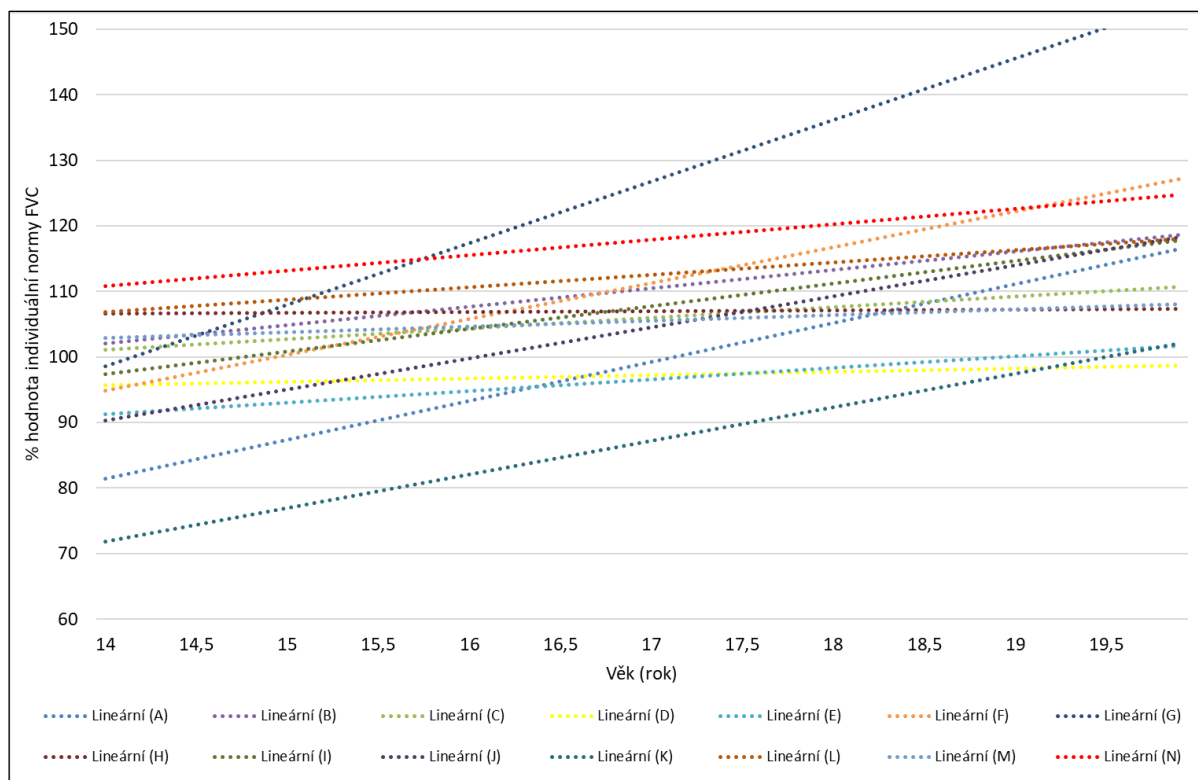
V grafu 42 je zobrazen trend vývoje hodnoty FVC u dívek. Koeficient determinace dosahuje $0,30 \pm 0,22$. Až na jednu sledovanou běžkyni (D) dochází u dívek k rostoucímu trendu

v průběhu sledování. U jedné dívky D je trend stagnující až mírně klesající. V grafu 43 je zobrazen trend vývoje hodnoty FVC vyjádřený jako procento individuální normy u dívek. Tato hodnota vykazuje rostoucí trend u všech sledovaných dívek. Koeficient determinace dosahuje $0,24 \pm 0,19$.



Graf 42.

Lineární trend vývoje FVC u dívek ve sledovaném období

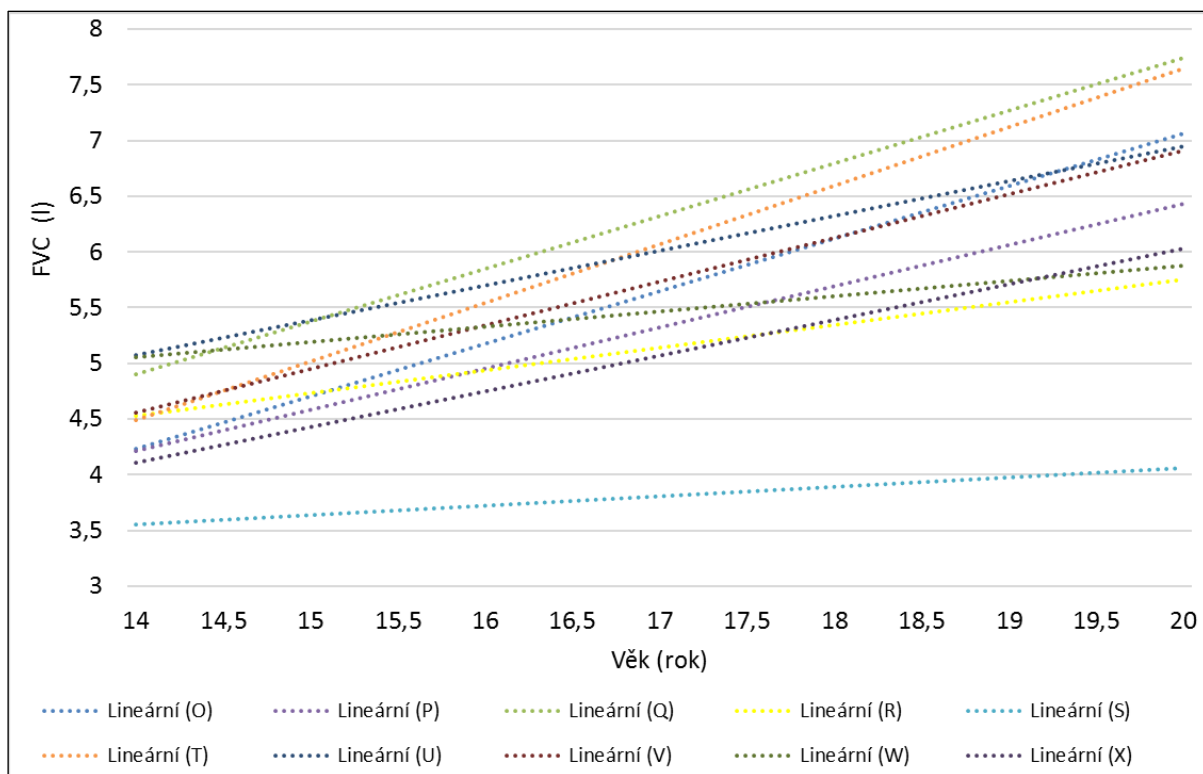


Graf 43.

Lineární trend vývoje hodnot FVC vyjádřených jako procentuální hodnota normy u dívek ve sledovaném období

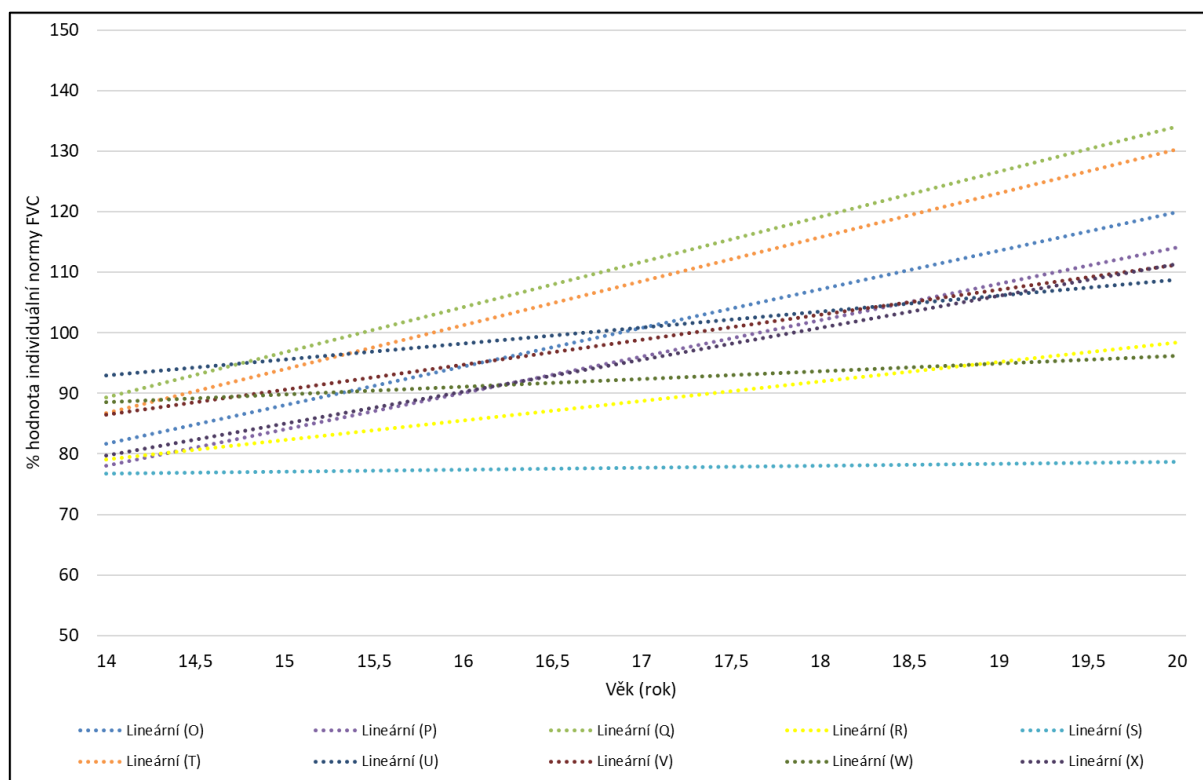
Chlapci souhrnný vývoj FVC

V grafu 44 je zobrazen trend vývoje hodnoty FVC u chlapců. Koeficient determinace dosahuje $0,55 \pm 0,23$. Trend vývoje parametru v průběhu sledování je u všech chlapců rostoucí. Stejný trend je i u parametru FVC vyjádřeném jako procento individuální normy (graf 45). Tato hodnota vykazuje rostoucí trend u všech sledovaných chlapců. Koeficient determinace dosahuje $0,41 \pm 0,28$.



Graf 44.

Lineární trend vývoje FVC u chlapců ve sledovaném období



Graf 45.

Lineární trend vývoje hodnot FVC vyjádřených jako procentuální hodnota normy u chlapců ve sledovaném období

Shrnutí: V této kapitole je graficky prezentován vývoj hodnot FVC v porovnání s aktuální hodnotou individuální normy u každého jedince zvlášť. Na počátku sledování dosahují sledovaní běžci a běžkyně nadprůměrných hodnot pouze výjimečně (4 dívky a 1 chlapec). Až na jednu výjimku dochází u všech sledovaných k růstu hodnot FVC v průběhu sledování vlivem přirozeného vývoje, ale zejména absolvovaného vytrvalostního běžeckého tréninku.

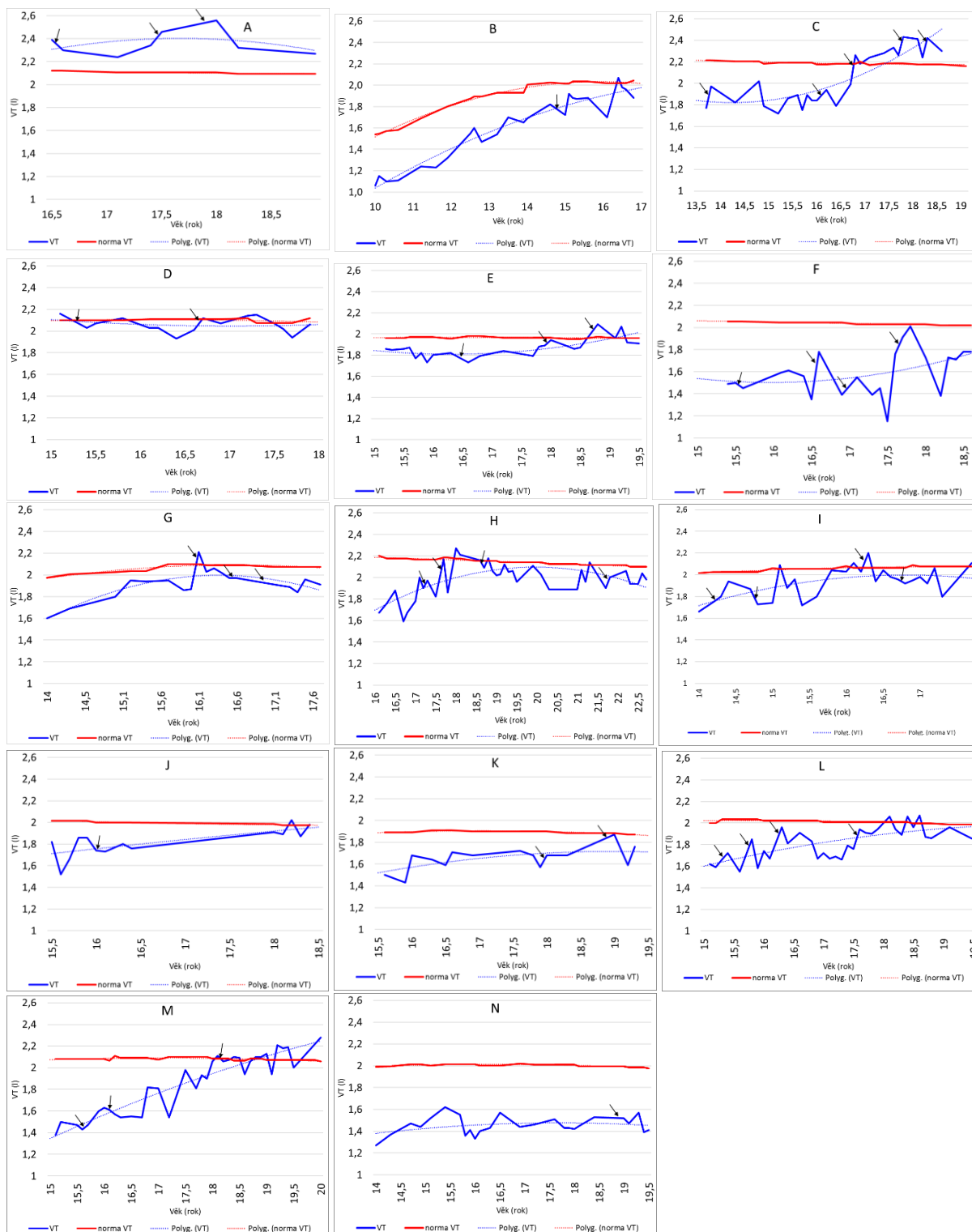
5.4.6 Dlouhodobé změny VT

V grafu 46 a 47 je zachycen vývoj hodnot VT v průběhu sledování v porovnání s hodnotami individuální normy každé běžkyně a každého běžce.

Dívky kazuistika VT

V grafu jsou zaznamenány všechny naměřené hodnoty VT v průběhu sledování. Z grafu 46 je patrné, že pouze u dvou dívek ze čtrnácti je vstupní hodnota VT nadprůměrná. Pouze u dívky A je naměřená hodnota VT po celou dobu nadprůměrná, u dívky C poslední dva roky sledování. U ostatních dívek je hodnota VT po celou dobu podprůměrná či je nadprůměrná zcela sporadicky (viz graf 46). U všech dívek s výjimkou dvou (A a D) je trend naměřených hodnot rostoucí, u všech sledovaných dívek dochází i ke krátkodobým změnám v závislosti na absolvovaném tréninkovém zatížení. Vstupní hodnoty VT u dívek se pohybují mezi 68 a 112 %, z toho vyplývá, že jejich úroveň je podprůměrná až průměrná. Vyskytují se podobné modely jako u předchozích parametrů. Jeden model vykazuje rostoucí trend naměřené hodnoty v průběhu sledování. Druhý model představuje trend naměřené hodnoty, která kopíruje trend hodnoty individuální normy, v tomto případě převážně pod její úrovní.

Při hodnocení vlivu dlouhodobého běžeckého tréninkového zatížení na hodnotu VT u dívek dosáhla u ANOVA analýzy hodnota $p = 0,000$. Změna hodnot VT vlivem longitudinálního běžeckého tréninkového zatížení je u dívek statisticky významná. Jak je patrné z grafů 46, 47, 52 a 53, hodnoty VT jsou u většiny běžkyň, stejně tak i u běžců podprůměrné, hodnoty BF jsou u nich naopak nadprůměrné. V průběhu sledování dochází k růstu hodnot VT a snižování hodnot BF u většiny sledovaných běžců a běžkyň.



Graf 46.

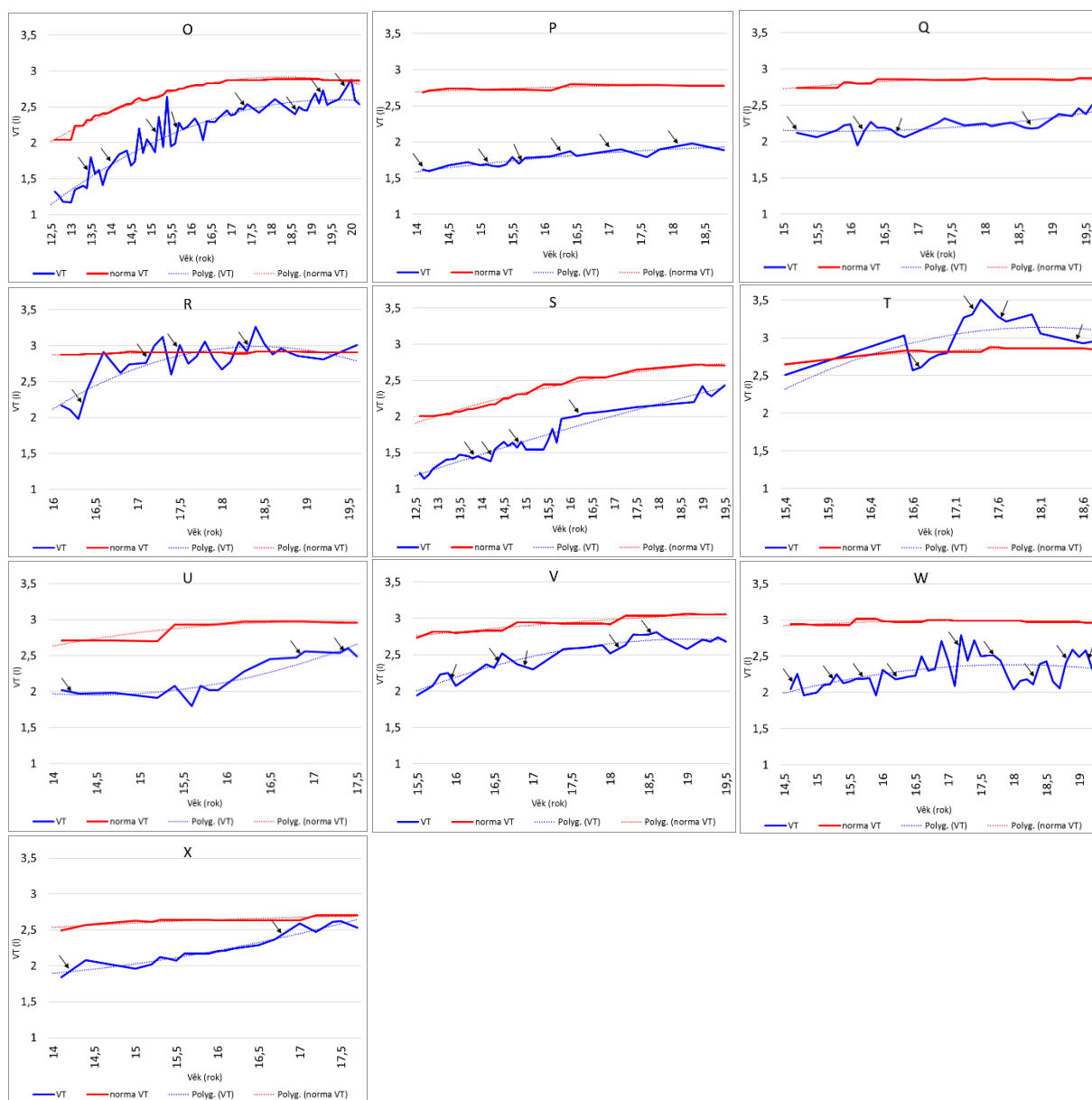
Vývoj naměřených hodnot a individuální normy VT u dívek (A-N) ve sledovaném období
 Pozn.: modře naměřené hodnoty, červeně hodnoty normy

Chlapci kazuistika VT

Z grafu 47 je patrné, že u všech sledovaných chlapců je vstupní hodnota VT podprůměrná (počáteční hodnota na úrovni 56–78 % individuální normy). U chlapců P, Q, S, U, V, W a X se naměřená hodnota nikdy nedostala nad hodnotu individuální normy, u běžců O a R sporadicky, u běžce T se nad hodnotu individuální normy dostala po půl roce tréninku, od té doby tento

běžec dosahuje nadprůměrné hodnoty. Trend naměřené hodnoty VT je u všech chlapců rostoucí. Vyskytují se podobné modely jako u hodnot VT dívek a u FVC. Existuje skupina chlapců, u kterých naměřená hodnota VT roste rychleji, než je individuální hodnota normy. Pak je také skupina chlapců, kde naměřená hodnota parametru v podstatě kopíruje hodnotu individuální normy (O, P, Q, S, W). To může být ovlivněno rytmem běhu a dechu.

Při hodnocení vlivu dlouhodobého běžeckého tréninkového zatížení na hodnotu VT u chlapců dosáhla u ANOVA analýzy hodnota $p = 0,014$. Změna hodnot VT vlivem longitudinálního běžeckého tréninkového zatížení je u chlapců statisticky významná.



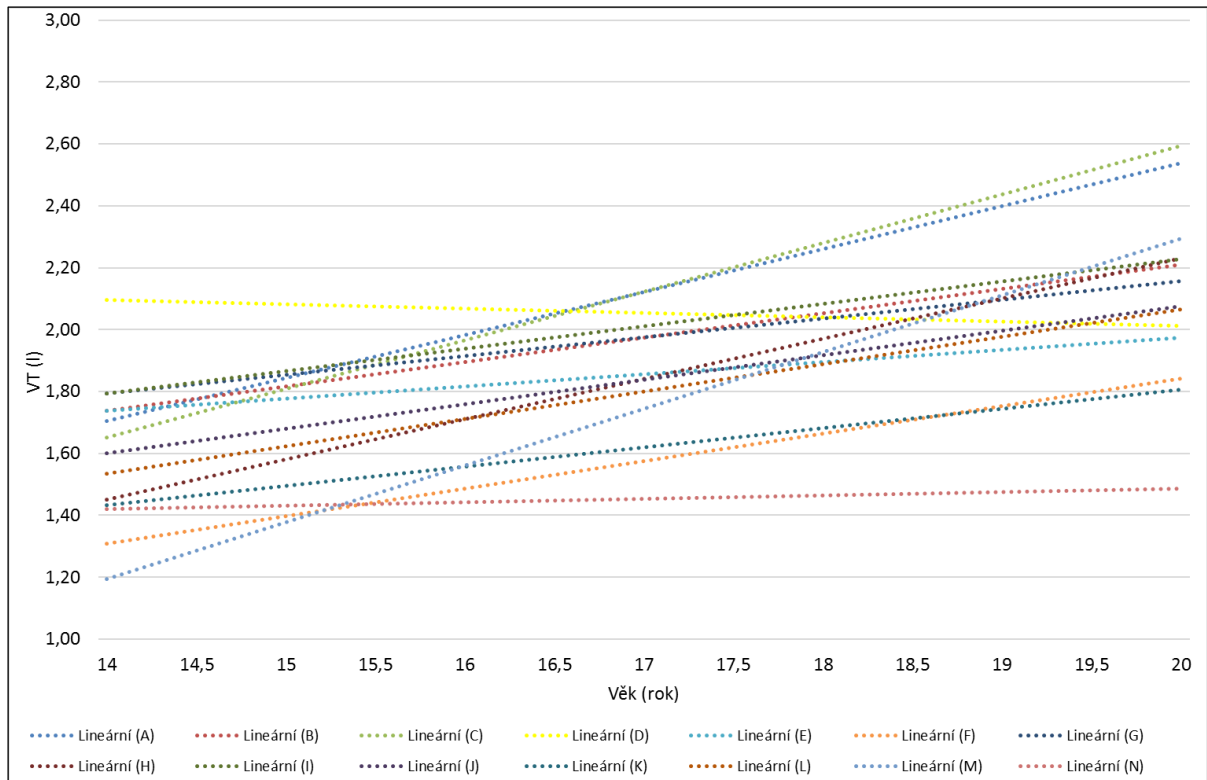
Graf 47.

Vývoj naměřených hodnot a individuální normy VT u chlapců (O-X) ve sledovaném období
Pozn.: modře naměřené hodnoty, červeně hodnoty normy

Dívky souhrnný vývoj VT

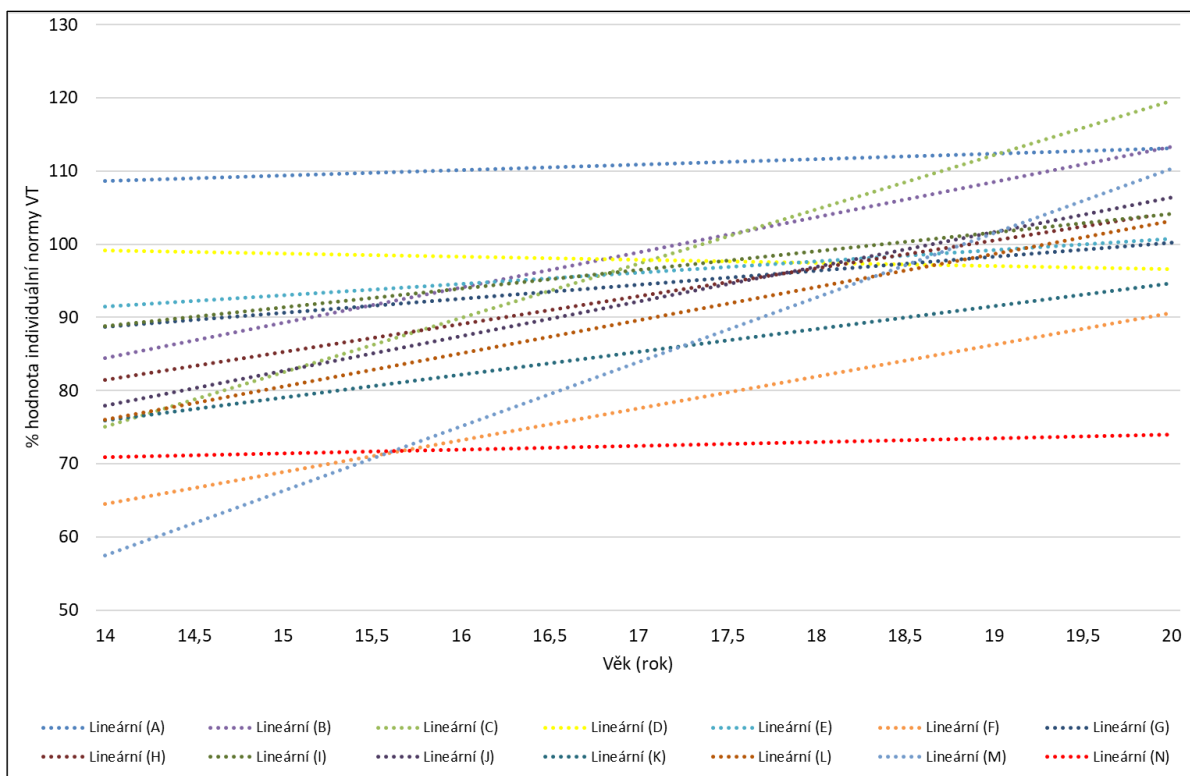
V grafu 48 je zobrazen lineární trend vývoje hodnoty VT u dívek. Koeficient determinace dosahuje $0,42 \pm 0,24$. Stejně jako u parametru FVC, až na jednu sledovanou běžkyni (D) dochází

u dívek k rostoucímu trendu v průběhu sledování. U jedné dívky D je trend mírně klesající. V grafu 49 je zobrazen lineární trend vývoje hodnoty VT vyjádřený jako procento individuální normy u dívek. Tato hodnota vykazuje rostoucí trend u všech sledovaných dívek. Koeficient determinace dosahuje $0,33 \pm 0,27$.



Graf 48.

Lineární trend vývoje VT u dívek ve sledovaném období

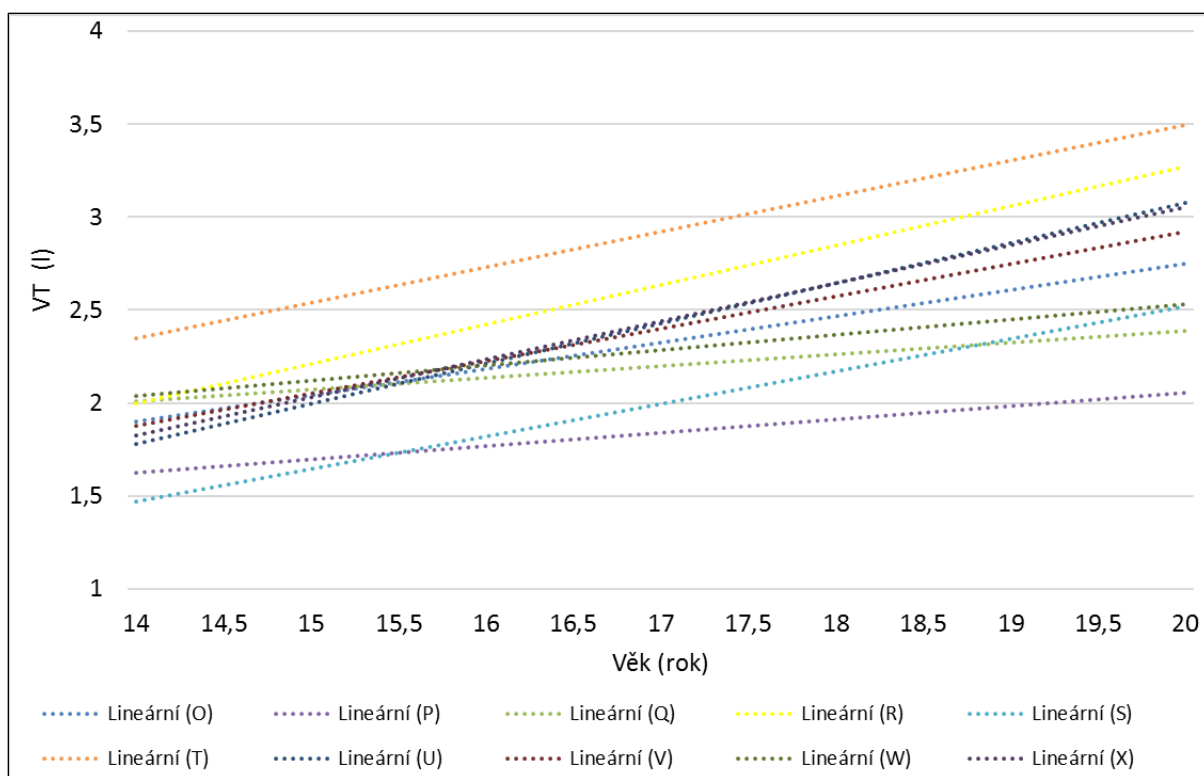


Graf 49.

Lineární trend vývoje hodnot VT vyjádřených jako procentuální hodnota normy u dívek ve sledovaném období

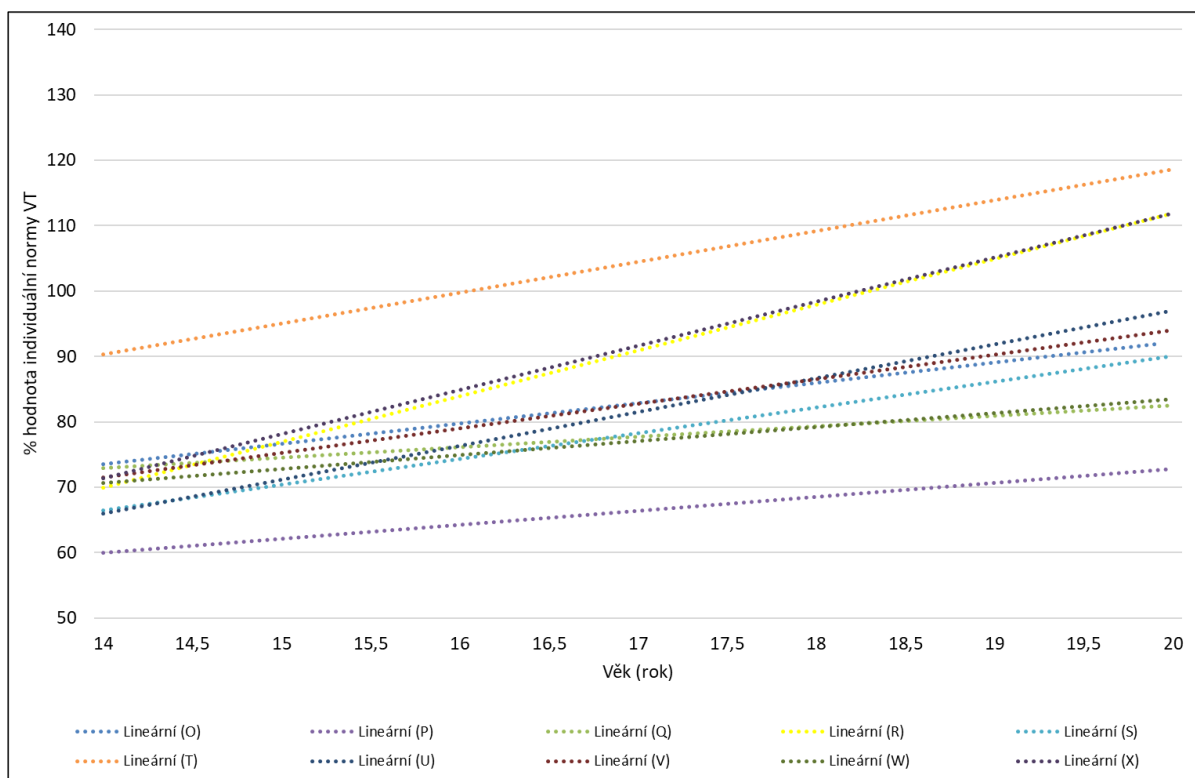
Chlapci kazuistika VT

V grafu 50 je zobrazen trend vývoje hodnoty VT u chlapců. Koeficient determinace dosahuje $0,63 \pm 0,24$. Trend vývoje parametru v průběhu sledování je u všech chlapců rostoucí. Stejný trend je i u parametru VT vyjádřeném jako procento individuální normy (graf 51). Tato hodnota vykazuje rostoucí trend u všech sledovaných chlapců. Koeficient determinace dosahuje $0,50 \pm 0,24$.



Graf 50.

Lineární trend vývoje VT u chlapců ve sledovaném období



Graf 51.

Lineární trend vývoje hodnot VT vyjádřených jako procentuální hodnota normy u chlapců ve sledovaném období

Shrnutí: V této kapitole je graficky prezentován vývoj hodnot VT v porovnání s aktuální hodnotou individuální normy u každého jedince zvlášť. Na počátku sledování dosahují sledovaní běžci a běžkyně nadprůměrných hodnot pouze výjimečně (dvě dívky, žádný chlapec). V průběhu sledování se opakovaně dostanou naměřené hodnoty nad úroveň normy pouze u devíti dívek a u dvou chlapců. Až na dvě výjimky dochází u všech sledovaných k růstu hodnot VT v průběhu sledování. Zde je patrná souvislost s hodnotami BF. Jak je patrné z grafů 52 a 53, všichni běžci a běžkyně mají nadprůměrné hodnoty BF, což má vliv na hodnoty VT.

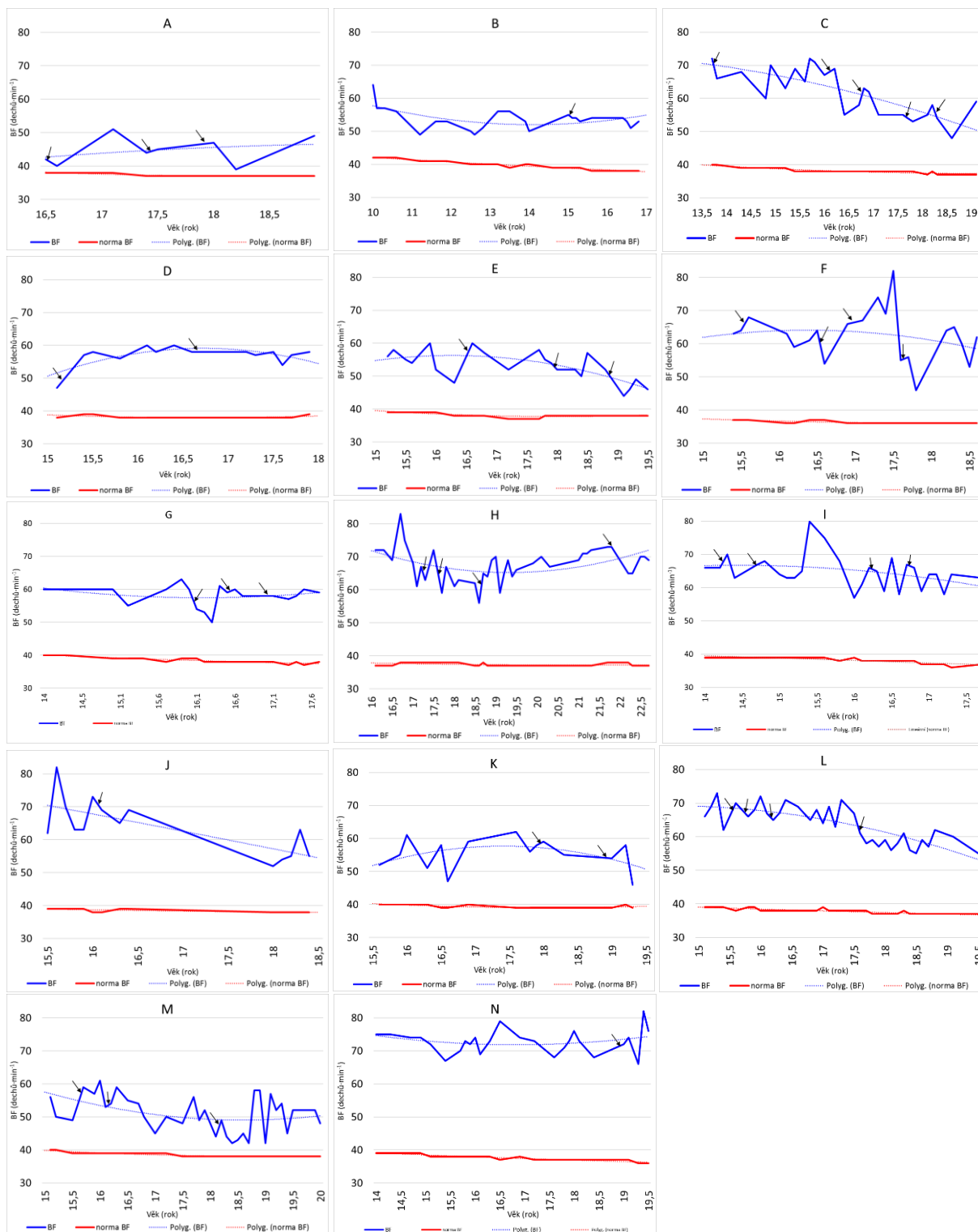
5.4.7 Dlouhodobé změny BF

V grafu 52 a 53 je zachycen vývoj hodnot BF v průběhu sledování v porovnání s hodnotami individuální normy každé běžkyně a každého běžce.

Dívky kazuistika BF

V grafu jsou zaznamenány všechny naměřené hodnoty BF v průběhu sledování. Z grafu 52 je patrné, že u všech dívek je vstupní hodnota BF nadprůměrná. U všech dívek s výjimkou čtyř (A, D, F a K) je trend naměřených hodnot klesající, u některých z nich ne po celou dobu sledování. U všech sledovaných dívek dochází i ke krátkodobým změnám v závislosti na absolvovaném tréninkovém zatížení. Vstupní hodnoty BF u dívek se pohybují mezi 110 a 194 %, z toho vyplývá, že jejich úroveň je nadprůměrná. Vyskytují se podobné typy modelů jako u předchozích parametrů. Častější model vykazuje klesající trend naměřené hodnoty v průběhu sledování. Druhý model představuje trend naměřené hodnoty, která kopíruje trend hodnoty individuální normy.

Při hodnocení vlivu dlouhodobého běžeckého tréninkového zatížení na hodnotu BF u dívek dosáhla u ANOVA analýzy hodnota $p = 0,562$. Změna hodnot BF vlivem longitudinálního běžeckého tréninkového zatížení není u dívek statisticky významná.



Graf 52.

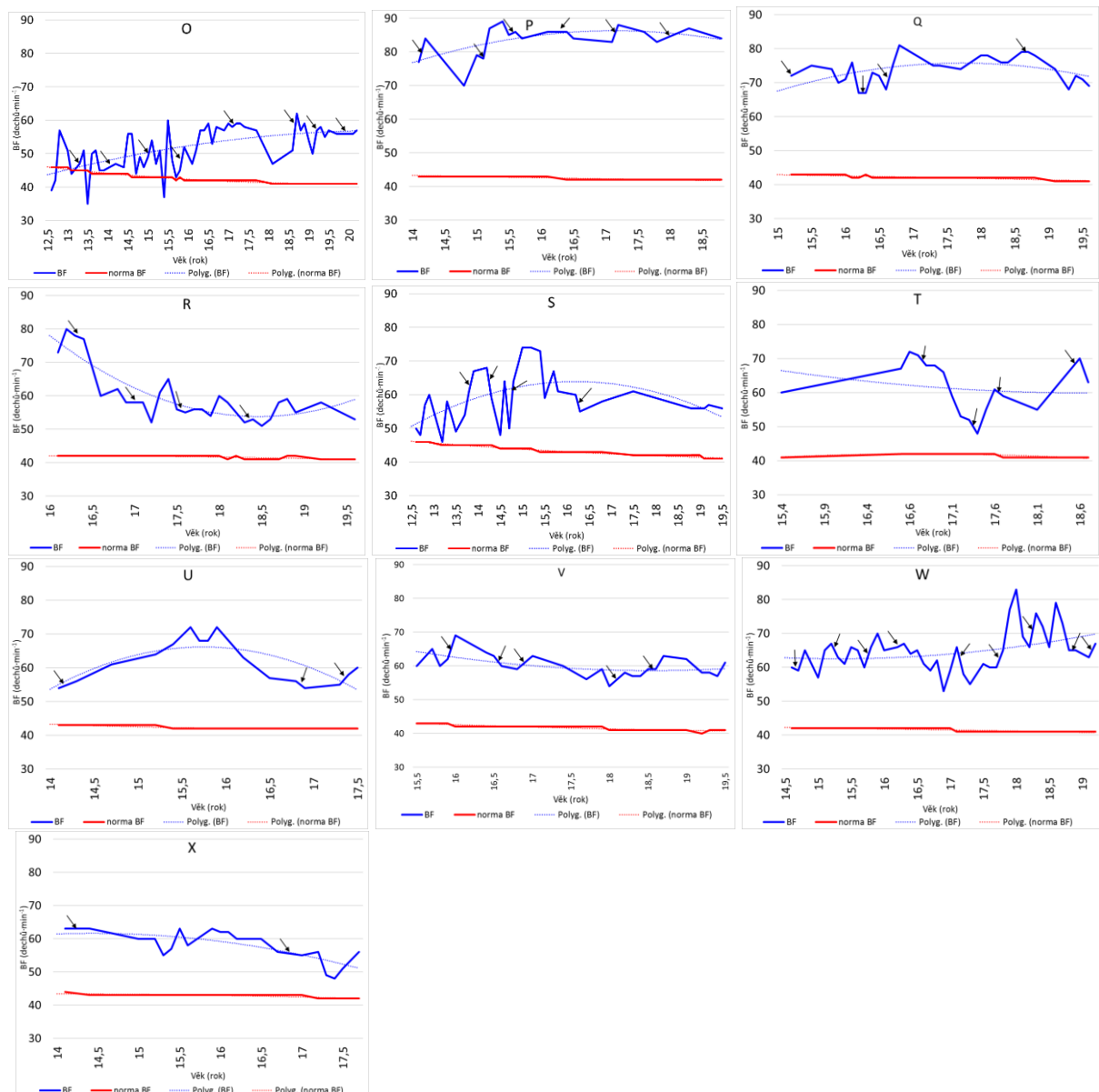
Vývoj naměřených hodnot a individuální normy BF u dívek (A-N) ve sledovaném období
 Pozn.: modře naměřené hodnoty, červeně hodnoty normy

Chlapci kazuistika BF

Z grafu 53 je patrné, že u všech sledovaných chlapců, až na jednoho (O) je vstupní hodnota BF nadprůměrná (počáteční hodnota na úrovni 84–185 % individuální normy). Běžec O je astmatik, jeho respirační parametry jsou touto diagnózou limitovány. U všech chlapců je

naměřená hodnota po celou dobu sledování nadprůměrná, u běžce A se výjimečně dostala pod hodnotu normy. U čtyř chlapců je trend naměřené hodnoty BF u chlapců klesající, u čtyř je rostoucí a u dvou je stagnující. Existuje model s klesající naměřenou hodnotou BF, vyskytuje se také model s trendem z počátku rostoucím, poté klesajícím. Pak je také model, kde naměřená hodnota parametru v podstatě kopíruje hodnotu individuální normy.

Při hodnocení vlivu dlouhodobého běžeckého tréninkového zatížení na hodnotu BF u chlapců dosáhla u ANOVA analýzy hodnota $p = 0,486$. Změna hodnot BF vlivem longitudinálního běžeckého tréninkového zatížení není u chlapců statisticky významná.



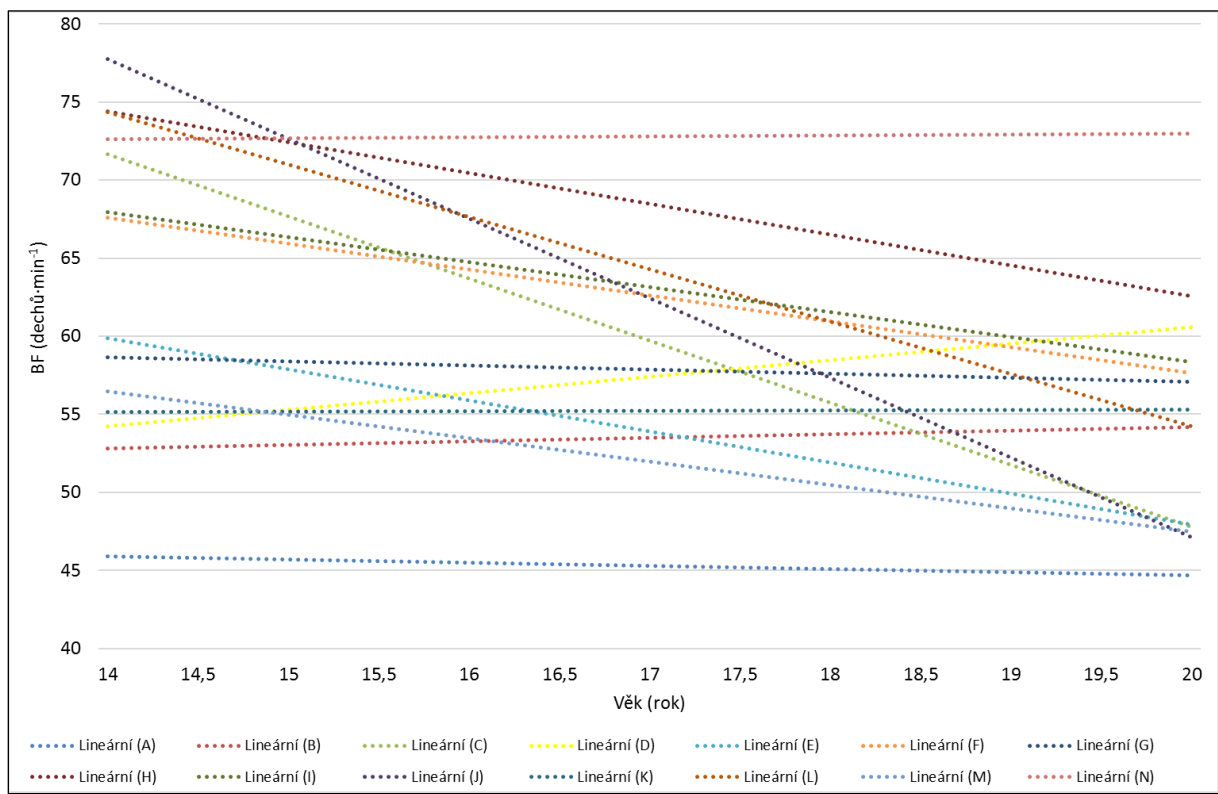
Graf 53.

*Vývoj naměřených hodnot a individuální normy BF u chlapců (O-X) ve sledovaném období
Pozn.: modře naměřené hodnoty, červeně hodnoty normy*

Dívky souhrnný vývoj BF

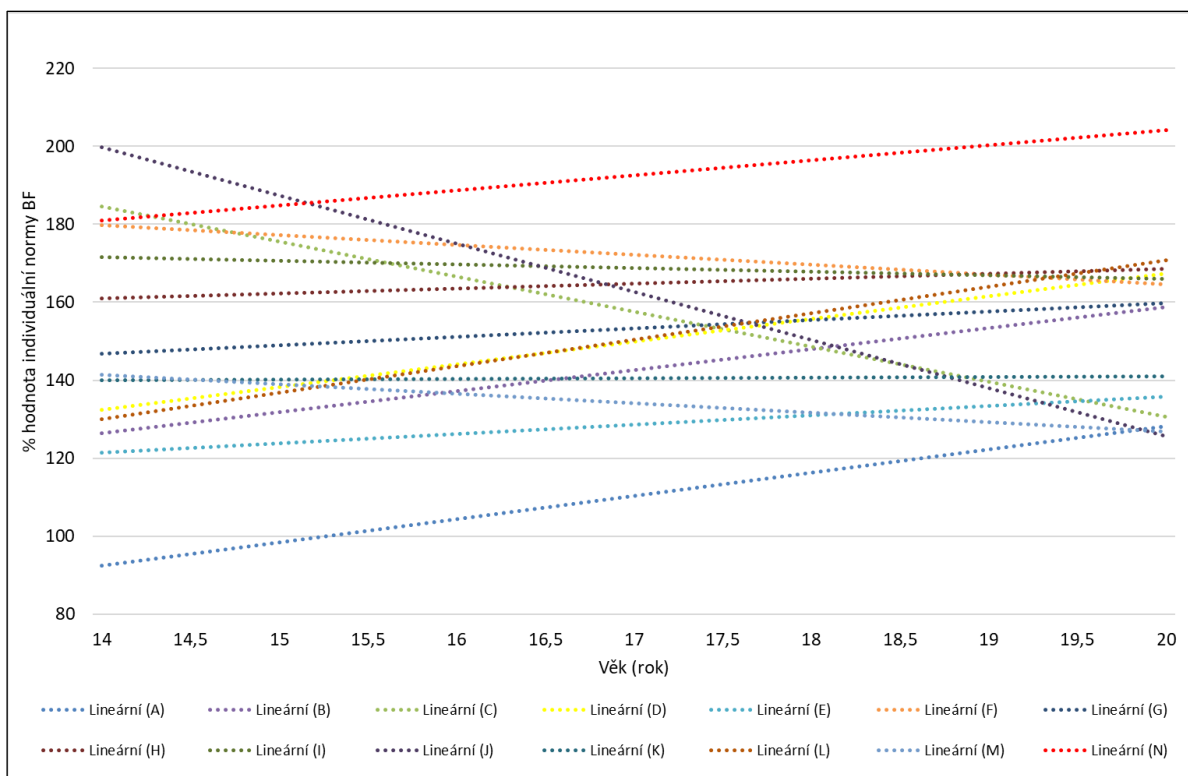
V grafu 54 je zobrazen trend vývoje hodnoty BF u dívek. Koeficient determinace dosahuje $0,20 \pm 0,22$. Až na čtyři sledované běžkyně (B, D, K, N) dochází u dívek ke klesajícímu trendu hodnot BF v průběhu sledování. V grafu 55 je zobrazen trend vývoje hodnoty BF

vyjádřený jako procento individuální normy u dívek. Tato hodnota vykazuje rostoucí trend u osmi sledovaných dívek (A, B, D, E, G, H, L, N), u jedné je trend stagnující (K). Koeficient determinace dosahuje $0,16 \pm 0,16$.



Graf 54.

Lineární trend vývoje BF u dívek ve sledovaném období

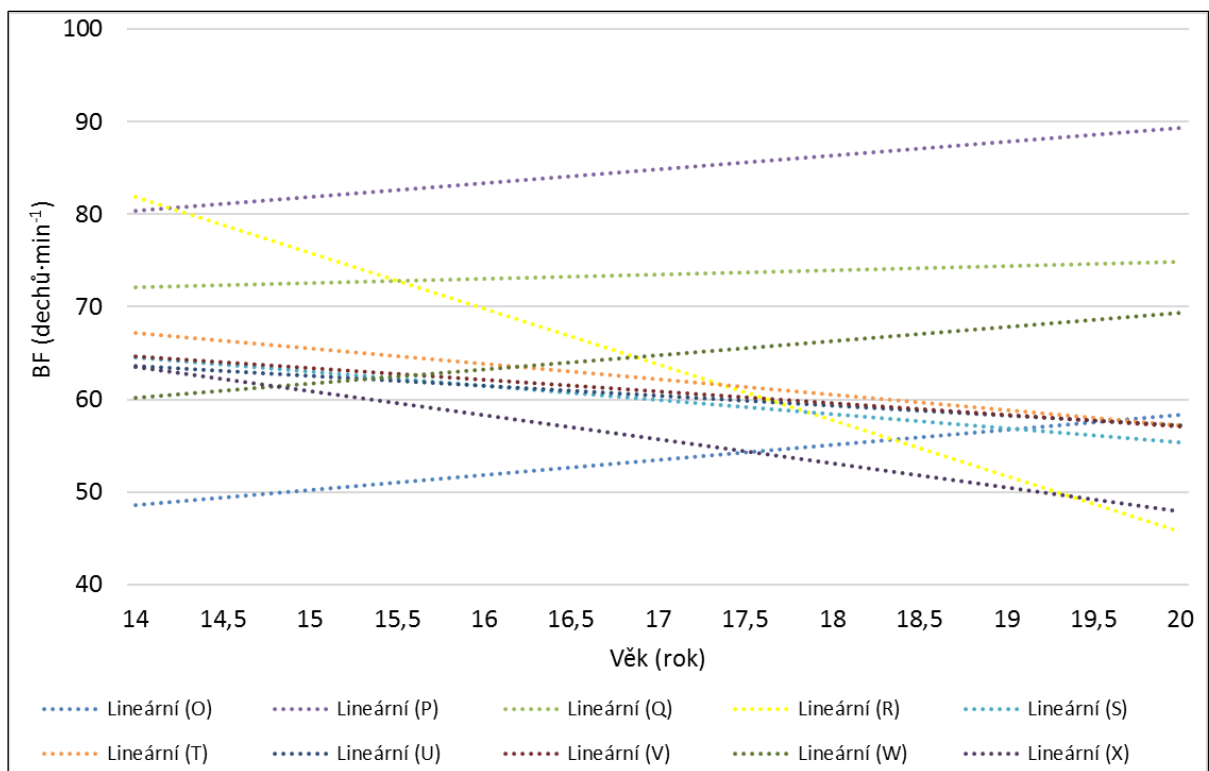


Graf 55.

Lineární trend vývoje hodnot BF vyjádřených jako procentuální hodnota normy u dívek ve sledovaném období

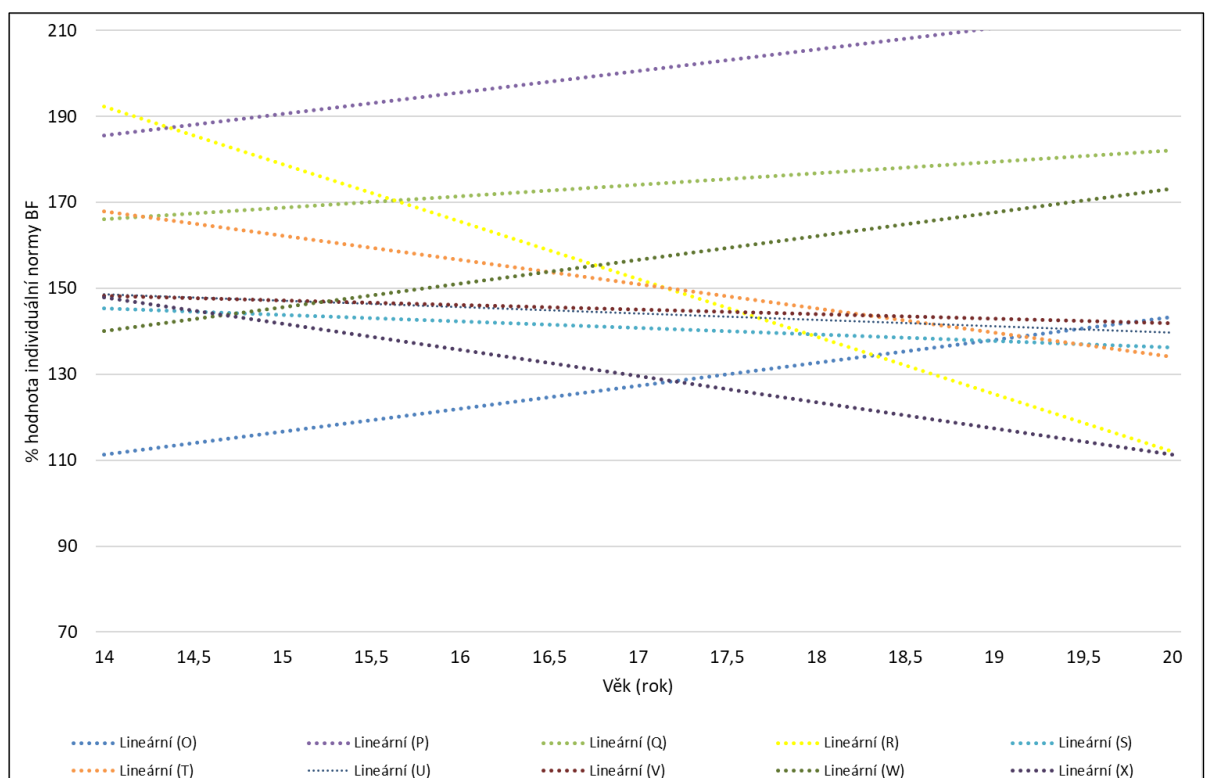
Chlapci souhrnný vývoj BF

V grafu 56 je zobrazen trend vývoje hodnoty BF u chlapců. Koeficient determinace dosahuje $0,20 \pm 0,16$. Trend vývoje parametru v průběhu sledování je u šesti chlapců klesající, u čtyř je rostoucí (O, P, Q, W). Stejný trend je i u parametru BF vyjádřeném jako procento individuální normy (graf 57). Také u čtyř sledovaných chlapců je trend stoupající (O, P, Q, W), u ostatních klesající. Koeficient determinace dosahuje $0,21 \pm 0,17$.



Graf 56.

Lineární trend vývoje BF u chlapců ve sledovaném období



Graf 57.

Lineární trend vývoje hodnot BF vyjádřených jako procentuální hodnota normy u chlapců ve sledovaném období

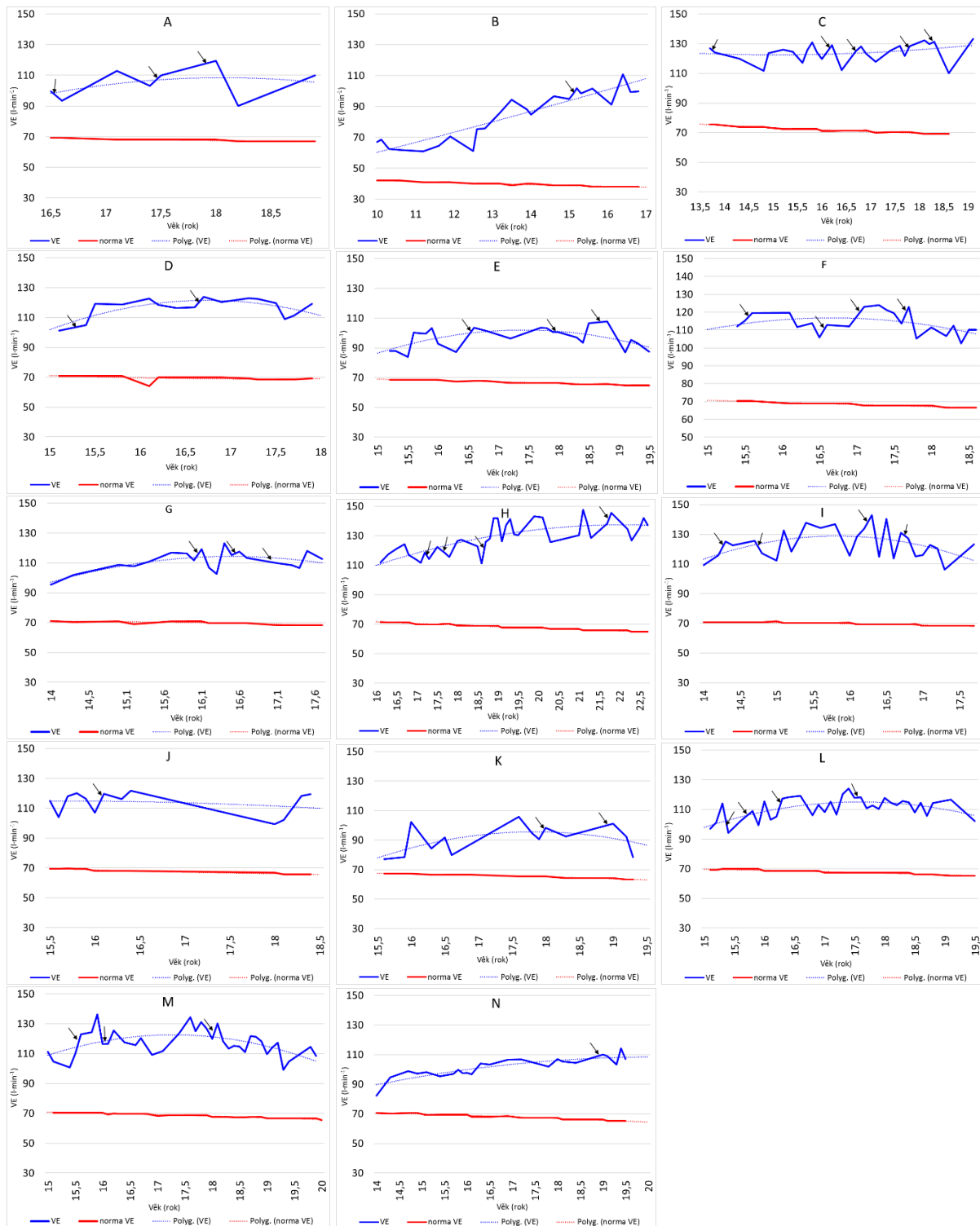
Shrnutí: V této kapitole je graficky prezentován vývoj hodnot BF v porovnání s aktuální hodnotou individuální normy u každého jedince zvlášť. Od počátku po celé sledování dosahují sledovaní běžci a běžkyně nadprůměrných hodnot. V průběhu sledování dochází k nevýznamnému klesajícímu trendu naměřených hodnot u většiny sledovaných s výjimkou tří dívek (N, K, D) a čtyř chlapců (O, P, Q, W).

5.4.8 Dlouhodobé změny VE

V grafu 58 a 59 je zachycen vývoj hodnot VE v průběhu sledování v porovnání s hodnotami individuální normy každé běžkyně a každého běžce.

Dívky kazuistika VE

V grafu jsou zaznamenány všechny naměřené hodnoty VE v průběhu sledování. Z grafu 58 je patrné, že s výjimkou jedné běžkyně je u všech sledovaných dívek vstupní hodnota VE nadprůměrná. S výjimkou dívky C je naměřená hodnota VE po celou dobu nadprůměrná, u dívky C je nadprůměrná až poslední dva roky sledování. U dívek B, C, G, H, N je trend naměřených hodnot rostoucí, u dalších sledovaných dívek (A, D, E, F, I, J, K, L, M) v prvních dvou letech je trend rostoucí, poté klesající. U všech dívek dochází i ke krátkodobým změnám v závislosti na absolvovaném tréninkovém zatížení. Vstupní hodnoty VE u dívek se pohybují mezi 87 a 169 %, z toho vyplývá, že jejich úroveň je s jednou výjimkou nadprůměrná. Jeden model průběhu trendu vykazuje rostoucí trend naměřené hodnoty v průběhu sledování. Druhý model představuje trend naměřené hodnoty, který je první dva roky stoupající a poté klesající. Při hodnocení vlivu dlouhodobého běžeckého tréninkového zatížení na hodnotu VE u dívek dosáhla u ANOVA analýzy hodnota $p = 0,000$. Změna hodnot VE vlivem longitudinálního běžeckého tréninkového zatížení je u dívek statisticky významná.



Graf 58.

Vývoj naměřených hodnot a individuální normy VE u dívek (A-N) ve sledovaném období

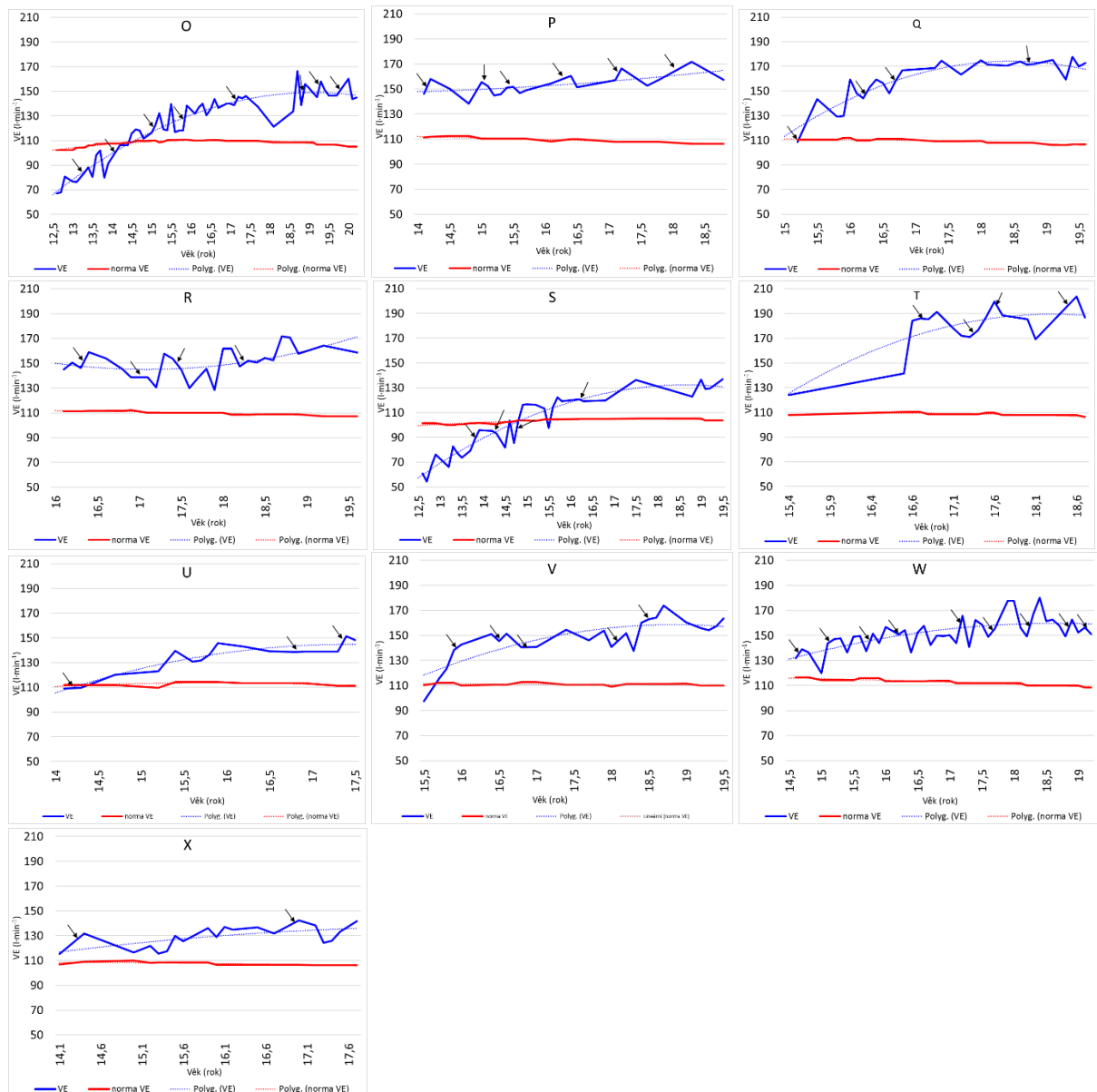
Pozn.: modře naměřené hodnoty, červeně hodnoty normy

Chlapci kazuistika VE

Z grafu 59 je patrné, že u všech sledovaných chlapců dosahují naměřené hodnoty ve druhé polovině sledování vysoce nadprůměrných hodnot v porovnání s individuální normou pro běžnou populaci (počáteční hodnota na úrovni 54–167 % individuální normy). U šesti chlapců jsou počáteční naměřené hodnoty VE nad úrovní individuální normy, u čtyř (O, S, U,

V) jsou pod její úrovní. Poté ji postupně významně převyšují. Z grafu 59 je patrné, že u všech chlapců je trend vývoje hodnot VE stoupající. U sledovaných chlapců se vyskytují dva základní typy modelů průběhu změn $VO_2 \cdot SF^{-1}$. U všech chlapců je rostoucí trend hodnoty.

Při hodnocení vlivu dlouhodobého běžeckého tréninkového zatížení na hodnotu VE u chlapců dosáhla u ANOVA analýzy hodnota $p = 0,000$. Změna hodnot VE vlivem longitudinálního běžeckého tréninkového zatížení je u chlapců statisticky významná.



Graf 59.

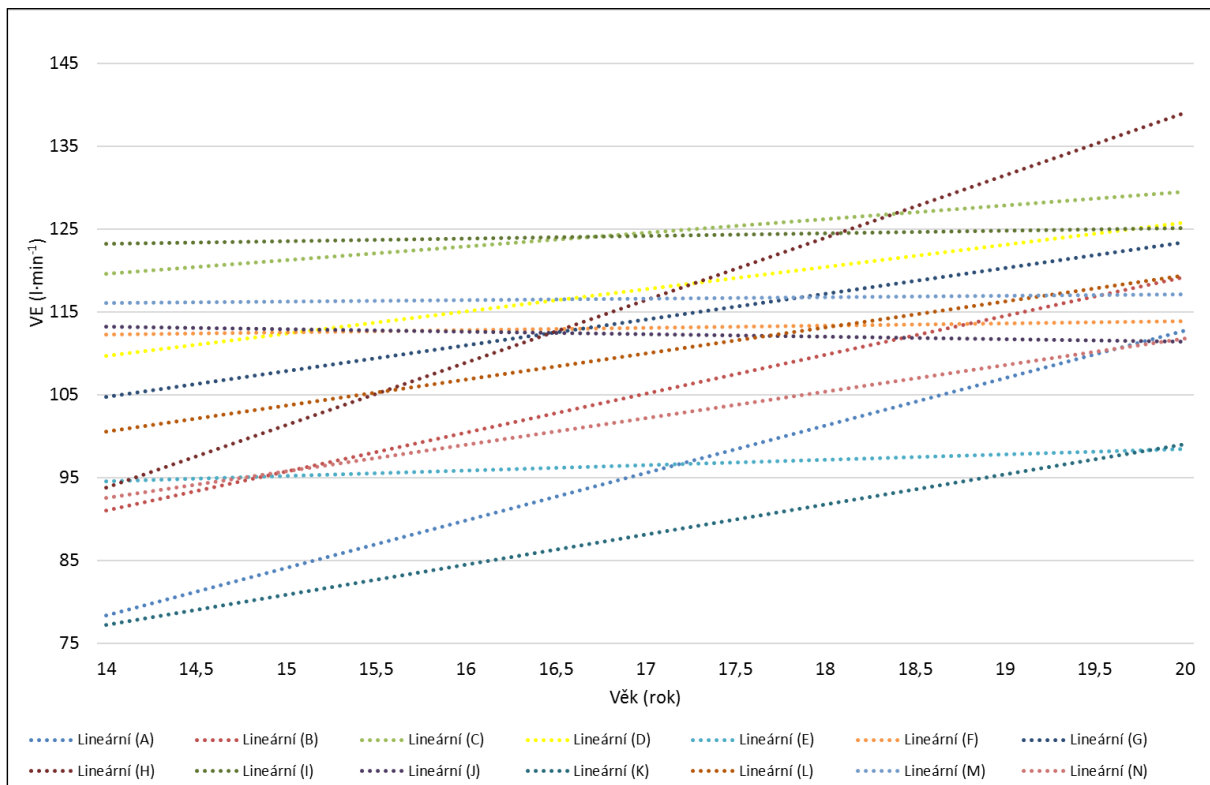
Vývoj naměřených hodnot a individuální normy VE u chlapců (O-X) ve sledovaném období

Pozn.: modře naměřené hodnoty, červeně hodnoty normy

Dívky souhrnný vývoj VE

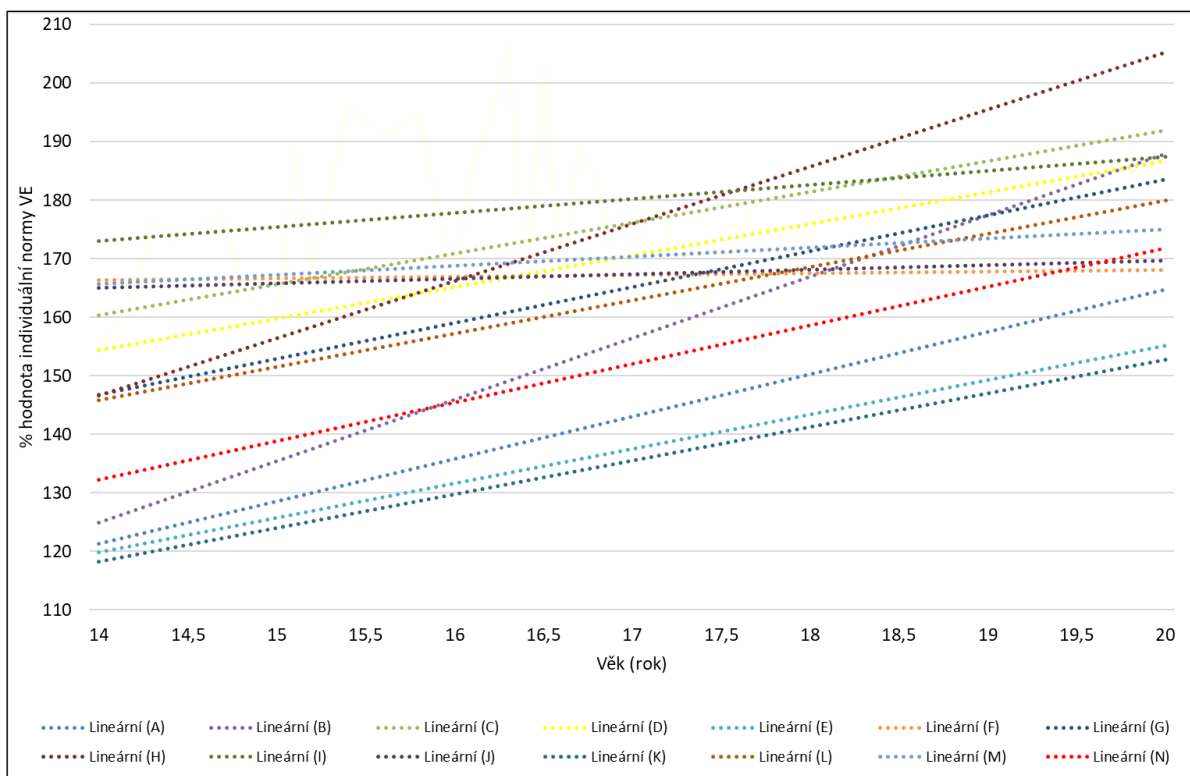
V grafu 60 je zobrazen trend vývoje hodnoty VE u dívek. Koeficient determinace dosahuje $0,22 \pm 0,23$. U všech sledovaných dívek dochází ke stoupajícímu trendu hodnot VE v průběhu sledování. V grafu 61 je zobrazen trend vývoje hodnoty VE, je vyjádřen jako

procento individuální normy u dívek. Tato hodnota také vykazuje rostoucí trend u všech sledovaných dívek. Koeficient determinace dosahuje $0,28 \pm 0,24$.



Graf 60.

Lineární trend vývoje VE u dívek ve sledovaném období

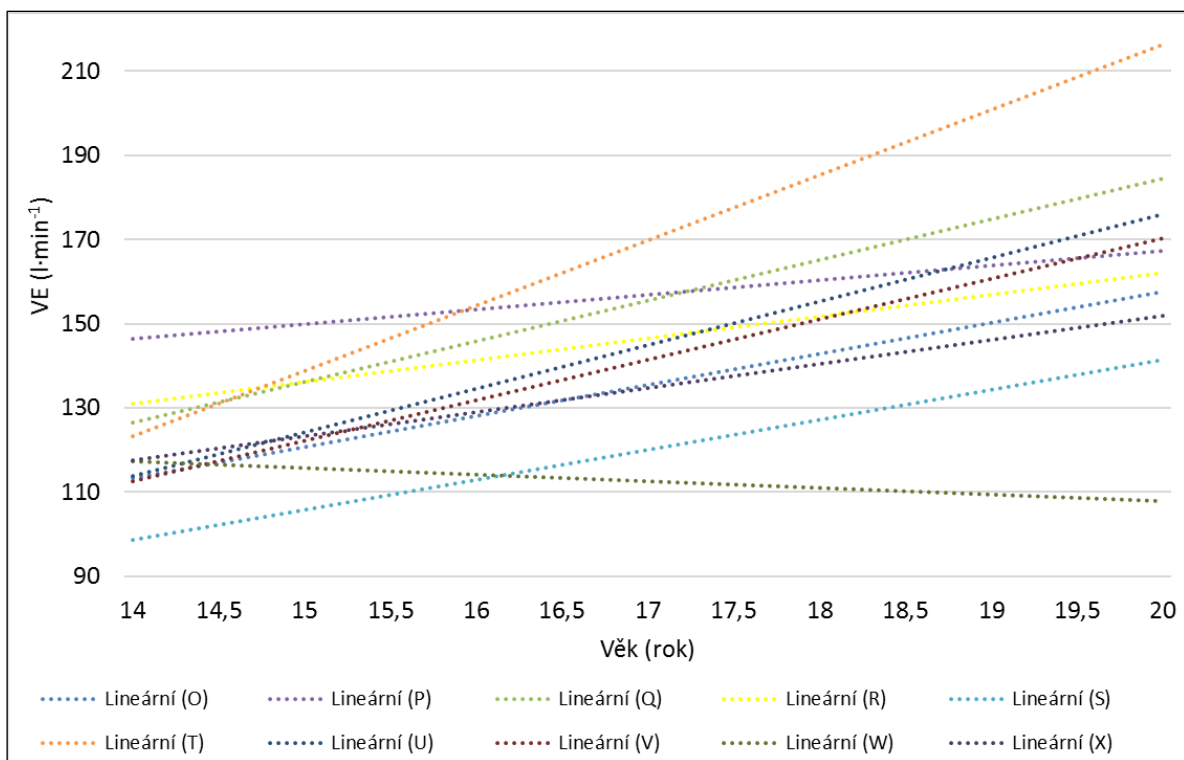


Graf 61.

Lineární trend vývoje hodnot VE vyjádřených jako procentuální hodnota normy u dívek ve sledovaném období

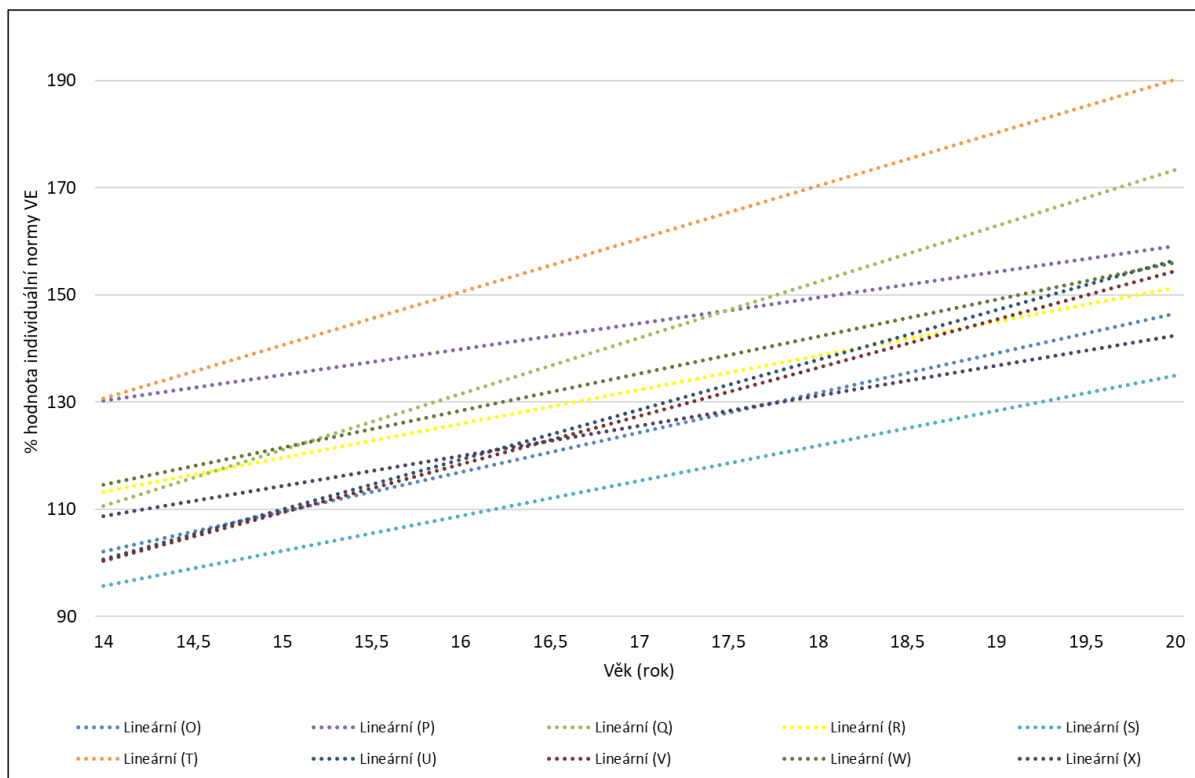
Chlapci souhrnný vývoj VE

V grafu 62 je zobrazen trend vývoje hodnoty VE u chlapců. Koeficient determinace dosahuje $0,57 \pm 0,19$. Trend vývoje parametru v průběhu sledování je u devíti chlapců stoupající, pouze u běžce W je klesající. Podobný trend je i u parametru VE vyjádřeném jako procento individuální normy, kde je ale stoupající trend u všech chlapců (graf 63). Koeficient determinace dosahuje $0,56 \pm 0,18$.



Graf 62.

Lineární trend vývoje VE u chlapců ve sledovaném období



Graf 63.

Lineární trend vývoje hodnot VE vyjádřených jako procentuální hodnota normy u chlapců ve sledovaném období

Nadprůměrná hodnota VE u dívek i u chlapců je primárně dána vysokou hodnotou BF, ale v průběhu sledování dochází převážně k významnému nárůstu hodnot VT a nevýznamnému poklesu hodnot BF.

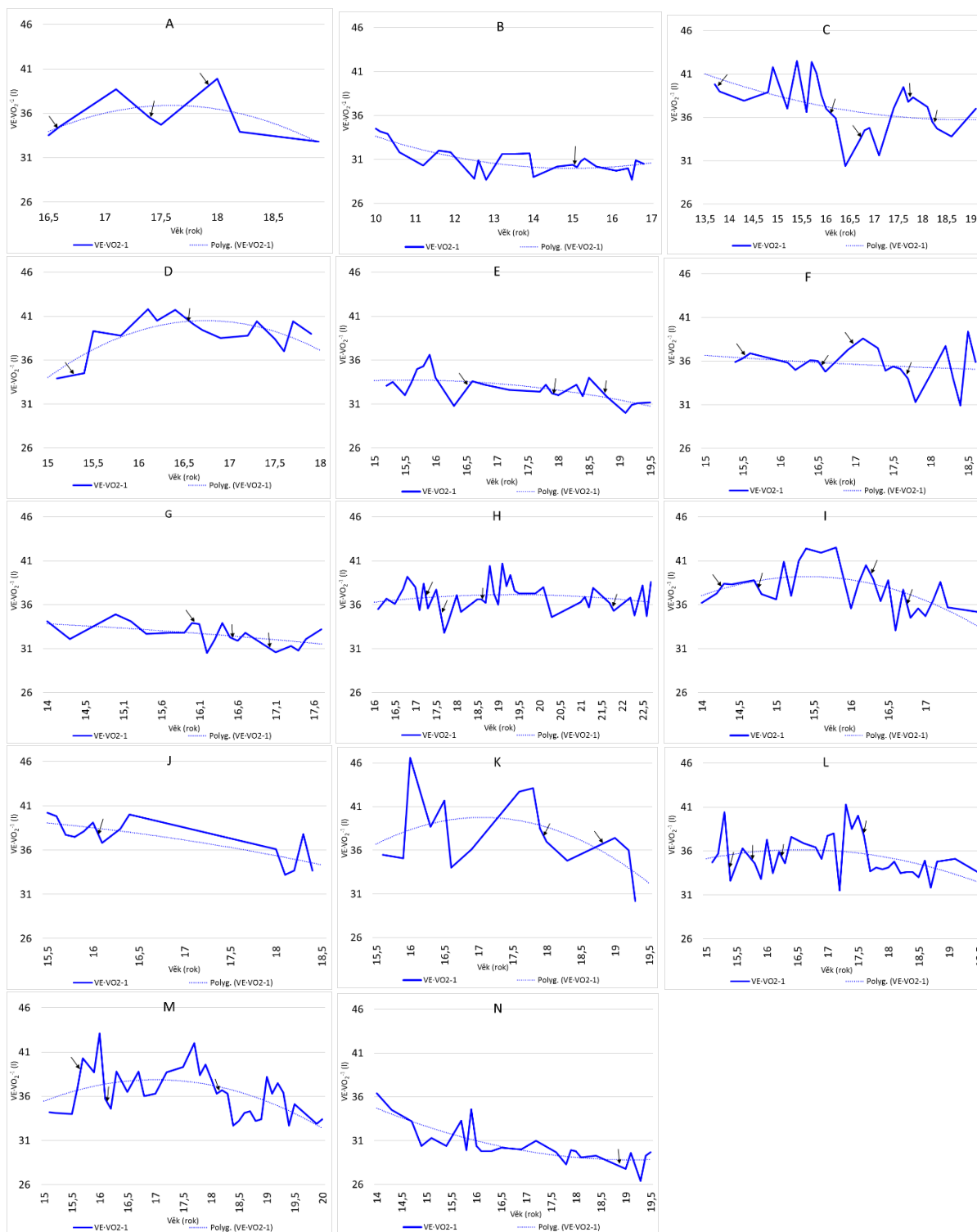
Shrnutí: V této kapitole je graficky prezentován vývoj hodnot VE v porovnání s aktuální hodnotou individuální normy u každého jedince zvlášť. Všichni sledovaní běžci a běžkyně dosahují významně nadprůměrných hodnot. Až na výjimky (J, W) dochází vlivem absolvovaného tréninkového zatížení k růstu hodnot VE v průběhu sledování.

5.4.9 Dlouhodobé změny $VE \cdot VO_2^{-1}$

V grafu 64 a 65 je zachycen vývoj hodnot $VE \cdot VO_2^{-1}$ v průběhu sledování u každé běžkyně a každého běžce.

Dívky kazuistika $VE \cdot VO_2^{-1}$

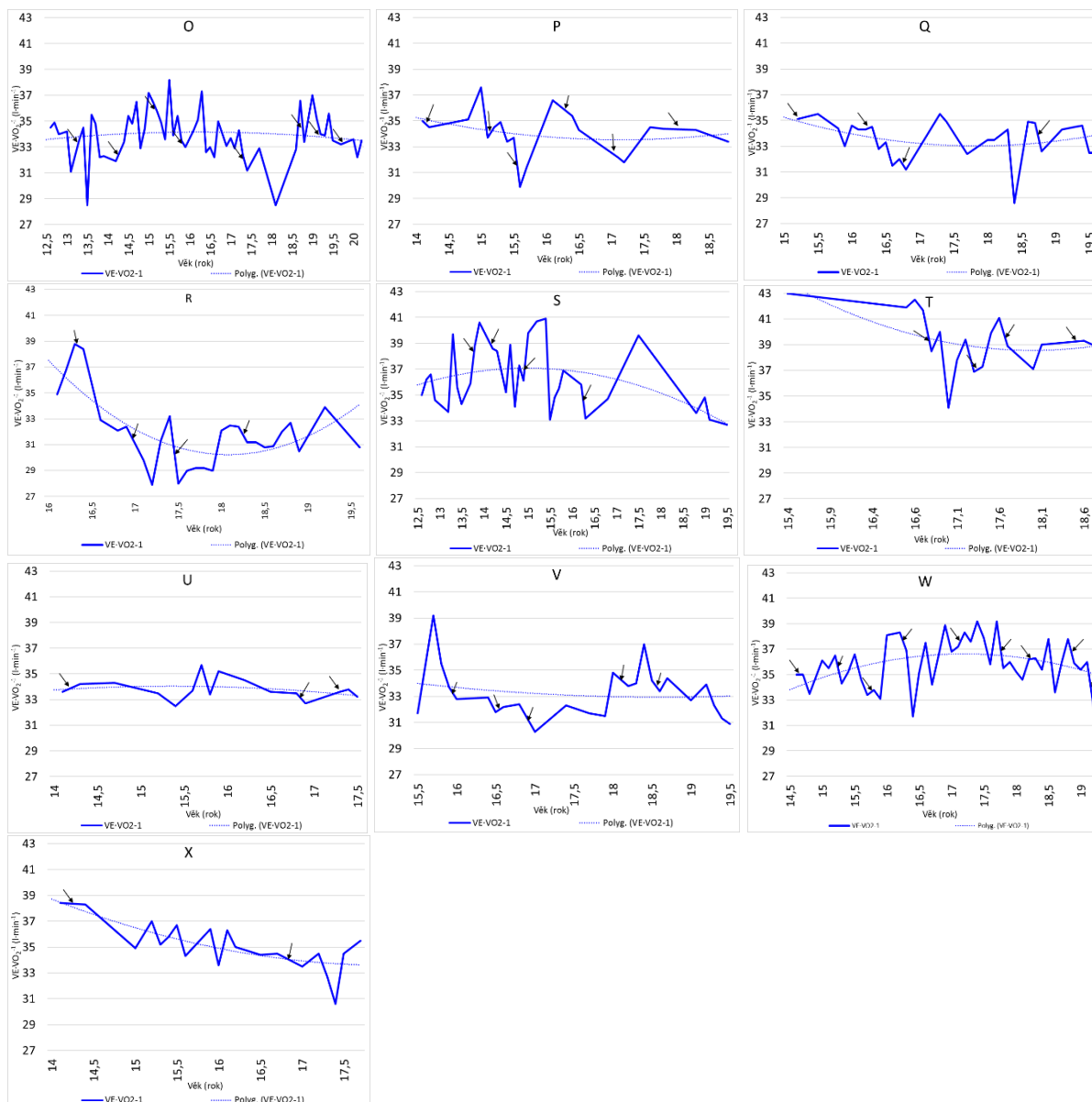
U tohoto parametru nejsou uvedené referenční hodnoty, protože nejsou stanoveny. V grafu jsou zaznamenány všechny naměřené hodnoty $VE \cdot VO_2^{-1}$ v průběhu sledování. U dívek A, D, H, I, K, L je trend naměřené hodnoty $VE \cdot VO_2^{-1}$ zpočátku rostoucí, poté klesající. U všech ostatních dívek je klesající. U všech dívek dochází i ke krátkodobým změnám v závislosti na absolvovaném tréninkovém zatížení.



Graf 64.

Vývoj naměřených hodnot a individuální normy $VE \cdot VO_2^{-1}$ u dívek (A-N) ve sledovaném období
Chlapci kazuistika $VE \cdot VO_2^{-1}$

Z grafu 65 je patrné, že u čtyř chlapců (P, Q, V, X) je trend naměřené hodnoty $VE \cdot VO_2^{-1}$ klesající. U chlapců O, S, U, W je zpočátku trend hodnot $VE \cdot VO_2^{-1}$ rostoucí, poté klesající. U dvou chlapců (R a T) je trend hodnot $VE \cdot VO_2^{-1}$ zpočátku klesající, poté rostoucí.

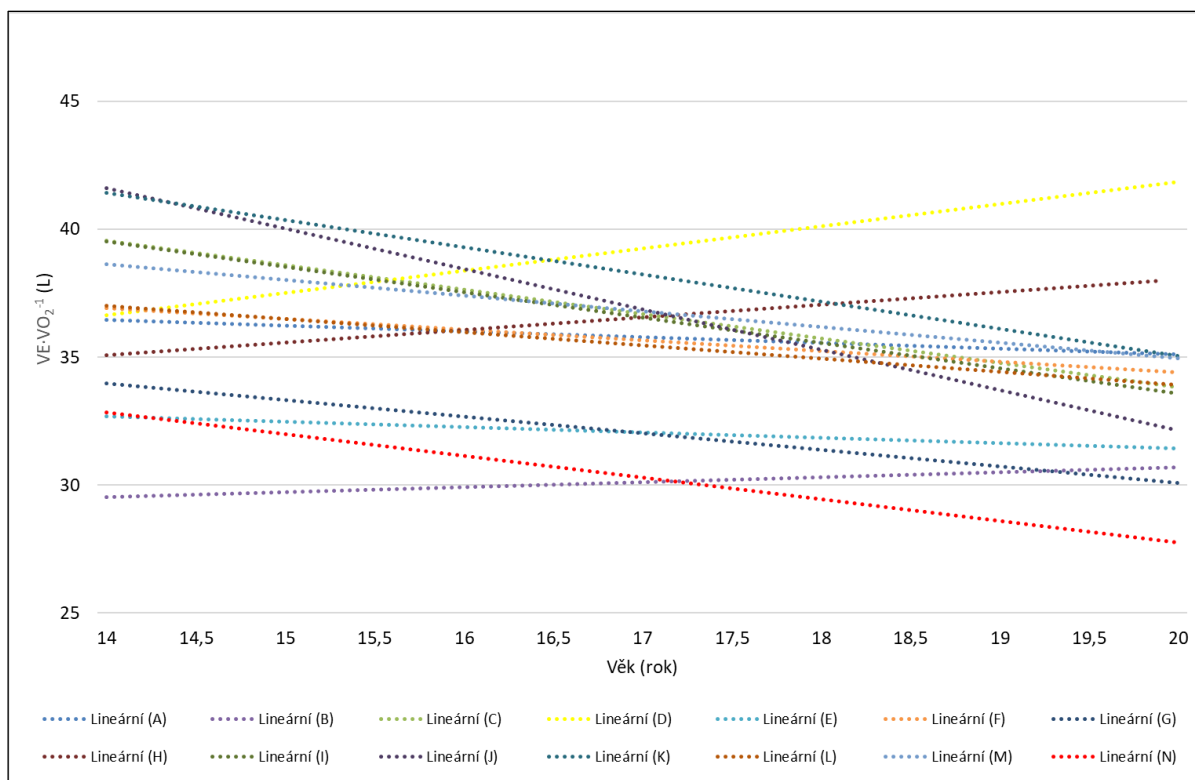


Graf 65.

Vývoj naměřených hodnot a individuální normy $VE \cdot VO_2^{-1}$ u chlapců (O-X) ve sledovaném období

Dívky souhrnný vývoj $VE \cdot VO_2^{-1}$

V grafu 66 je zobrazen trend vývoje hodnoty $VE \cdot VO_2^{-1}$ u dívek. Koeficient determinace dosahuje $0,16 \pm 0,18$. S výjimkou tří dívek (B, D, H), u všech sledovaných dívek dochází ke klesajícímu trendu hodnot $VE \cdot VO_2^{-1}$ v průběhu sledování.

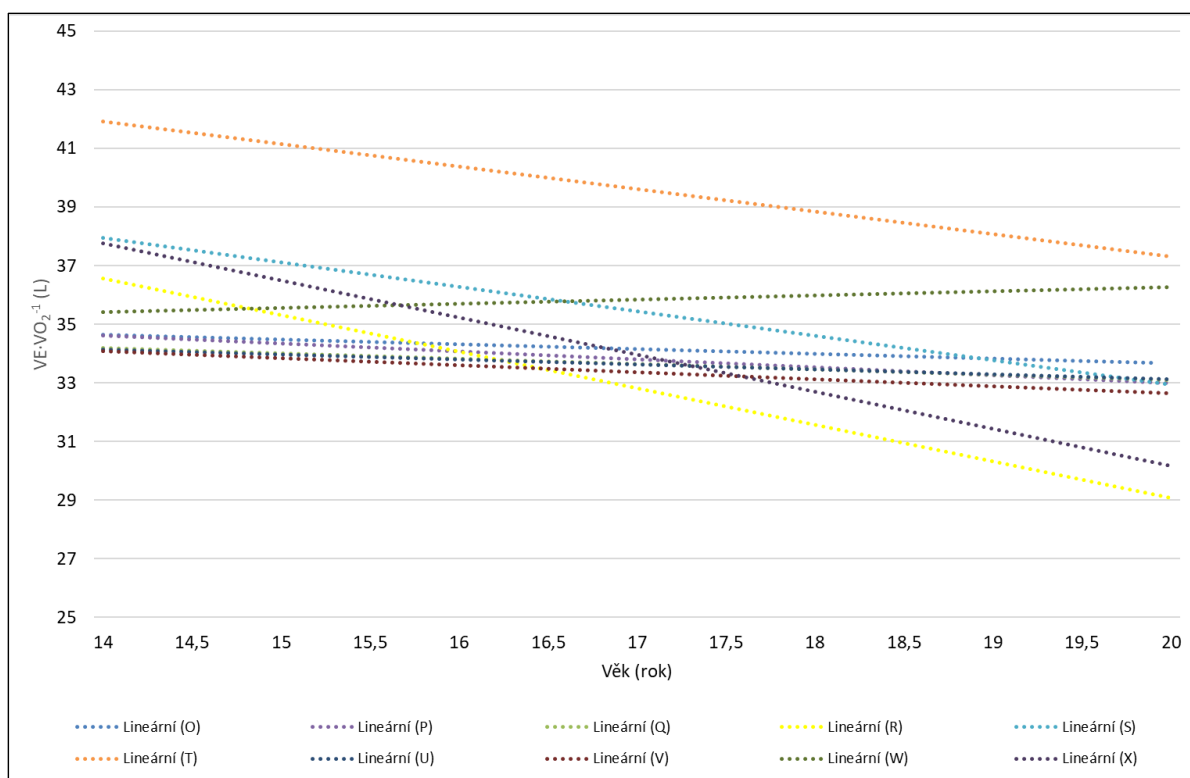


Graf 66.

Lineární trend vývoje $VE \cdot VO_2^{-1}$ u dívek ve sledovaném období

Chlapci souhrnný vývoj $VE \cdot VO_2^{-1}$

V grafu 67 je zobrazen trend vývoje hodnoty $VE \cdot VO_2^{-1}$ u chlapců. Koeficient determinace dosahuje $0,12 \pm 0,16$. S výjimkou jednoho běžce (W), dochází u všech sledovaných chlapců ke klesajícímu trendu hodnot $VE \cdot VO_2^{-1}$ v průběhu sledování.



Graf 67.

Lineární trend vývoje $VE \cdot VO_2^{-1}$ u chlapců ve sledovaném období

Vzhledem k převažujícímu klesajícímu trendu naměřených hodnot $VE \cdot VO_2^{-1}$ lze konstatovat, že u většiny sledovaných běžkyň a běžců dochází k ekonomizaci příjmu kyslíku vlivem dlouhodobého běžeckého vytrvalostního tréninku.

Shrnutí: V této kapitole je graficky prezentován vývoj hodnot $VE \cdot VO_2^{-1}$. U parametru $VE \cdot VO_2^{-1}$ nejsou dostupné referenční hodnoty, není tedy provedeno srovnání. Až na výjimky (B, D, H, W) dochází ke klesajícímu trendu hodnot $VE \cdot VO_2^{-1}$ v průběhu sledování.

5.4.10 Změny respiračních parametrů v průběhu intervence

V tabulkách 8 a 13 jsou prezentovány hodnoty respiračních parametrů na začátku sledování, resp. před započítáním pravidelného běžeckého tréninku a na konci sledování (cca po čtyřech letech pravidelného tréninku) u dívek a chlapců. V tabulkách 9 a 14 je uvedena změna parametru za dobu sledování v procentech. V tabulkách 10 a 15 jsou uvedeny změny příslušné individuální normy u dívek a chlapců stanovené pro každého jedince na začátku a na konci sledování. V tabulkách 11 a 16 jsou prezentovány hodnoty respiračních parametrů na začátku sledování, resp. před započítáním pravidelného běžeckého tréninku a na konci sledování (cca po čtyřech letech pravidelného tréninku) u dívek a chlapců vyjádřené jako procento individuální normy, změna těchto hodnot v procentech za dobu sledování je uvedena v tabulkách 12 a 17.

Dívky

Jak již bylo uvedeno v analýze jednotlivých parametrů, při ANOVA analýze vlivu absolvovaného tréninkového zatížení na vybrané respirační parametry byl u dívek prokázán významný vliv tréninku na hodnoty VO_{2max} ($p = 0,000$), $VO_2 \cdot SF^{-1}$ ($p = 000$), FVC ($p = 0,005$), VT ($p = 0001$), VE ($p = 0,000$). Na BF má tréninkové zatížení nevýznamný vliv ($p = 0,562$). V tabulce

8, 10 a 11 jsou uvedeny vstupní a výstupní hodnoty sledovaných respiračních parametrů a norem, je uvedena i významnost změny prostřednictvím t-testu. Z tabulky 9 je patrné, že u všech naměřených hodnot respiračních parametrů s výjimkou BF došlo v průběhu sledování ke statisticky i věcně významné změně všech sledovaných parametrů s výjimkou BF (změna je jen věcně významná).

Tabulka 8.

Naměřené hodnoty respiračních parametrů u dívek na začátku a na konci sledování – před a po cca 4 letech intervence pravidelného běžeckého tréninku

	VO _{2max} (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	VO ₂ ·SF ⁻¹ (ml)	FVC (l)	VT (l)	BF (dechů· min ⁻¹)	VE (l·min ⁻¹)	VE·VO ₂ ⁻¹ (l)
před	45,46 ± 4,90	13,0 ± 1,2	3,65 ± 0,40	1,58 ± 0,25	61,6 ± 8,8	92,6 ± 11,1	36,41 ± 2,34
po	54,61 ± 4,89	17,1 ± 2,3	4,46 ± 0,46	1,97 ± 0,24	59,3 ± 6,9	115,4 ± 13,1	33,59 ± 3,51

Tabulka 9.

Procentuální změna naměřených hodnot respiračních parametrů u dívek za dobu sledování – cca 4 let intervence pravidelného běžeckého tréninku

	VO _{2max}	VO ₂ ·SF ⁻¹	FVC	VT	BF	VE	VE·VO ₂ ⁻¹
změna	21,4 ±	31,5 ±	23,4 ±	25,8 ±	-2,8 ±	25,2 ±	-7,6 ±
(%)	16,3* ^v	14,7* ^v	17,4* ^v	17,9* ^v	10,8 ^m	11,0* ^v	9,1* ^v

*Pozn.: * – statisticky významná změna (p < 0,05), věcně významná změna: ^m – s malým efektem, ^s – se středním efektem, ^v – s velkým efektem*

V tabulce 10 je uvedena hodnota individuální normy pro každou dívku, která je mj. vztažena i k věku a somatickým parametrům. To nepřímo prezentuje vývoj parametru u nesportující populace. To samé platí i pro tabulku 15, kde je uvedena hodnota individuální normy chlapců. Jak je z tabulky 10 patrné, u hodnot individuální normy dívek nenastala v průběhu sledování statisticky významná změna s výjimkou parametru VO₂·SF⁻¹ (zvýšení hodnoty), BF a VE (u obou snížení hodnoty). Věcně významná změna je zaznamenána u parametrů VO₂·SF⁻¹, FVC, VT, BF a VE. Z této analýzy je patrné, u kterých parametrů dochází v průběhu dospívání k významné změně u nesportující populace.

Tabulka 10.

Stanovená hodnota příslušné individuální normy respiračních parametrů u dívek na začátku a na konci sledování – před a po cca 4 letech intervence pravidelného běžeckého tréninku

	VO _{2max} (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	VO ₂ ·SF ⁻¹ (ml)	FVC (l)	VT (l)	BF (dechů· min ⁻¹)	VE (l·min ⁻¹)
před	36,10 ± 2,84	10,8 ± 1,0	4,04 ± 0,17	2,03 ± 0,09	38,8 ± 1,1	70,1 ± 1,6
po	36,19 ± 3,41	11,6 ± 0,8* ^v	4,08 ± 0,15 ^m	2,04 ± 0,07	37,7 ± 1,1* ^v	67,0 ± 1,75* ^v

*Pozn.: * – významná změna (p < 0,05), věcně významná změna: ^m – s malým efektem, ^s – se středním efektem, ^v – s velkým efektem*

V průběhu sledování došlo vlivem absolvovaného tréninkového zatížení u dívek ke statisticky i věcně významné změně všech parametrů vyjádřených jako procento individuální normy s výjimkou BF (viz tabulka 11 a 12). To potvrzuje výsledky ANOVA analýzy, u všech sledovaných parametrů s výjimkou BF došlo k významné změně v důsledku běžeckého tréninku.

Tabulka 11.

Naměřená hodnota respiračních parametrů vyjádřená jako procento individuální normy respiračních parametrů u dívek na začátku a na konci sledování – před a po cca 4 letech intervence pravidelného běžeckého tréninku

	VO _{2max} (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	VO ₂ ·SF ⁻¹ (ml)	FVC (l)	VT (l)	BF (dechů· min ⁻¹)	VE (l·min ⁻¹)
před	126,3 ± 12,3	120,9 ± 9,3	90,2 ± 8,3	78,0 ± 11,8	159,1 ± 24,0	131,9 ± 13,4
po	151,7 ± 14,9	146,6 ± 17,1	109,2 ± 11,0	96,1 ± 9,4	157,3 ± 18,5	172,1 ± 18,2

Tabulka 12.

Procentuální změna hodnot respiračních parametrů vyjádřených jako procento individuální normy u dívek za dobu sledování – cca 4 let intervence pravidelného běžeckého tréninku

	VO _{2max}	VO ₂ ·SF ⁻¹	FVC	VT	BF	VE
změna (%)	20,8 ± 11,6 ^{*v}	21,6 ± 13,7 ^{*v}	22,2 ± 17,0 ^{*v}	25,3 ± 18,8 ^{*v}	-0,3 ± 9,0	31,1 ± 12,8 ^{*v}

Pozn.: * – významná změna ($p < 0,05$), věcně významná změna: ^m – s malým efektem, ^s – se středním efektem, ^v – s velkým efektem

Chlapci

Při ANOVA analýze vlivu absolvovaného tréninkového zatížení na vybrané respirační parametry byl u chlapců prokázán významný vliv tréninku na hodnoty VO_{2max} ($p = 0,000$), VO₂·SF⁻¹ ($p = 0,011$), FVC ($p = 0,022$), VT ($p = 0,014$), VE ($p = 0,000$). Na BF má tréninkové zatížení nevýznamný vliv ($p = 0,486$). V tabulce 13 jsou uvedeny naměřené hodnoty respiračních parametrů. Při izolovaném hodnocení změny respiračních parametrů sledovaných chlapců došlo ke statisticky i věcně významné změně všech sledovaných parametrů s výjimkou BF (změna je jen věcně významná), viz tabulka 14.

Tabulka 13.

Naměřené hodnoty respiračních parametrů u chlapců na začátku a na konci sledování – před a po cca 4 letech intervence pravidelného běžeckého tréninku

	VO _{2max} (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	VO ₂ ·SF ⁻¹ (ml)	FVC (l)	VT (l)	BF (dechů· min ⁻¹)	VE (l·min ⁻¹)	VE·VO ₂ ⁻¹ (l)
před	59,49 ± 3,31	16,9 ± 3,0	4,41 ± 0,40	1,92 ± 0,27	61,3 ± 10,0	112,8 ± 20,0	36,45 ± 2,98
po	66,48 ± 4,53	23,6 ± 2,3	5,88 ± 0,82	2,58 ± 0,29	63,8 ± 9,3	162,5 ± 18,3	33,70 ± 2,23

Tabulka 14.

Procentuální změna naměřených hodnot respiračních parametrů u chlapců za dobu sledování – cca 4 let intervence pravidelného běžeckého tréninku

	VO _{2max}	VO ₂ ·SF ⁻¹	FVC	VT	BF	VE	VE·VO ₂ ⁻¹
	11,9 ±	42,1 ±	33,1 ±	35,7 ±	5,4 ±	46,9 ±	-7,1 ±
změna (%)	6,4 ^{*v}	17,0 ^{*v}	15,1 ^{*v}	17,1 ^{*v}	13,2 ^m	21,2 ^{*v}	7,2 ^{*v}

Pozn.: * – statisticky významná změna ($p < 0,05$), věcně významná změna: ^m – s malým efektem, ^s – se středním efektem, ^v – s velkým efektem

U hodnot individuální normy u chlapců byla v průběhu sledování zaznamenána statisticky i věcně významná změna u parametrů VO₂·SF⁻¹, FVC, VT, BF a VE. U parametru VO_{2max} je změna pouze věcně významná, viz tabulka 15. Z toho vyplývá, že u těchto parametrů by měl věk v průběhu dospívání hrát významnou roli.

Tabulka 15.

Stanovená hodnota příslušné individuální normy respiračních parametrů u chlapců na začátku a na konci sledování – před a po cca 4 letech intervence pravidelného běžeckého tréninku

	VO _{2max} (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	VO ₂ ·SF ⁻¹ (ml)	FVC (l)	VT (l)	BF (dechů· min ⁻¹)	VE (l·min ⁻¹)
před	48,80 ± 3,83	14,7 ± 1,8	5,28 ± 0,3	2,63 ± 0,18	42,9 ± 0,9	109,1 ± 4,5
po	47,64 ± 2,74 ^m	17,9 ± 1,3 ^{*v}	5,74 ± 0,22 ^{*v}	2,87 ± 0,11 ^{*v}	41,3 ± 0,5 ^{*v}	107,4 ± 2,2 ^{*s}

Pozn.: * – významná změna ($p < 0,05$), věcně významná změna: ^m – s malým efektem, ^s – se středním efektem, ^v – s velkým efektem

Jak je patrné z tabulky 16 a 17, v průběhu sledování došlo vlivem absolvovaného tréninkového zatížení u chlapců k významné změně všech parametrů vyjádřených jako procento individuální normy s výjimkou BF (změna je pouze věcně významná). To potvrzuje výsledky ANOVA analýzy.

Tabulka 16.

Naměřená hodnota respiračních parametrů vyjádřená jako procento individuální normy respiračních parametrů u chlapců na začátku a na konci sledování – před a po cca 4 letech intervence pravidelného běžeckého tréninku

	VO _{2max} (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	VO ₂ ·SF ⁻¹ (ml)	FVC (l)	VT (l)	BF (dechů· min ⁻¹)	VE (l·min ⁻¹)
před	122,9 ± 13,9	115,1 ± 15,2	83,6 ± 5,0	73,2 ± 8,8	143,2 ± 24,5	103,3 ± 16,9
po	140,1 ± 13,8	132,0 ± 11,3	102,3 ± 13,2	90,1 ± 9,6	154,4 ± 22,1	151,3 ± 16,6

Tabulka 17.

Procentuální změna hodnot respiračních parametrů vyjádřených jako procento individuální normy u chlapců za dobu sledování – cca 4 let intervence pravidelného běžeckého tréninku

	VO _{2max}	VO ₂ ·SF ⁻¹	FVC	VT	BF	VE
změna (%)	14,4 ± 6,0 ^{*v}	16,2 ± 15,5 ^{*v}	22,6 ± 15,6 ^{*v}	23,6 ± 11,3 ^{*v}	9,5 ± 14,4 ^s	49,1 ± 20,8 ^{*v}

Pozn.: * – významná změna ($p < 0,05$), věcně významná změna: ^m – s malým efektem, ^s – se středním efektem, ^v – s velkým efektem

Shrnutí: V této kapitole jsou souhrnně prezentovány naměřené vstupní a výstupní hodnoty respiračních parametrů a také hodnoty individuálních norem. Je prezentována statistická i věcná významnost změny jednotlivých parametrů v průběhu sledování a také vlivu absolvovaného tréninkového zatížení na vybrané respirační parametry. U chlapců i u dívek došlo vlivem absolvovaného běžeckého vytrvalostního tréninkového zatížení v průběhu sledování ke statisticky i věcně významné změně těchto respiračních parametrů: VO_{2max}, VO₂·SF⁻¹, FVC, VT a VE, a to i přesto, že u některých z nich byla počáteční hodnota na vysoké úrovni. U parametru BF došlo k věcně významné změně.

U nesportujících dívek ve věku 14–19 let dochází vlivem přirozeného vývoje k významnému zvýšení hodnot VO₂·SF⁻¹ a k významnému snížení hodnot VE a BF (viz hodnoty normy – tabulka 10). Naproti tomu vliv tréninku se projevil u všech parametrů: došlo k významnému zvýšení parametrů VO_{2max}, VO₂·SF⁻¹, FVC, VT, VE a k významnému snížení parametrů BF a VE·VO₂⁻¹. U nesportujících chlapců dochází vlivem vývoje k významnému zvýšení hodnot VO₂·SF⁻¹, FVC a VT a k významnému snížení hodnot BF a VE (viz hodnoty normy – tabulka 15). Vliv tréninku se projevil významným zvýšením hodnot VO_{2max}, VO₂·SF⁻¹, FVC, VT,

VE, BF (zvýšení hodnot BF je jen věcně významné) a k významnému snížení hodnot $VE \cdot VO_2^{-1}$. U dívek i u chlapců je nejcitlivější na vytrvalostní běžecký trénink parametr $VO_2 \cdot SF^{-1}$, kde se projevílo zvýšení hodnot VO_{2max} i hodnot SF. Vliv běžeckého vytrvalostního tréninku byl ve sledovaném období větší než vliv přirozeného vývoje.

5.4.11 Vliv jednotlivých respiračních parametrů na výkon

Dívky – naměřené hodnoty

Pro zjištění, jaký je vztah mezi dosaženou úrovní běžeckého výkonu a jednotlivých respiračních parametrů, byla provedena korelační analýza u jednotlivých probandů. Z tabulky 18 je patrné, že prostřednictvím korelační analýzy u dívek byl prokázán významný vztah dosaženého běžeckého výkonu a VO_{2max} (s výjimkou běžkyně K) a u VE u třinácti ze čtrnácti sledovaných dívek (u jedné je vztah těsně pod hranicí významnosti), u $VO_2 \cdot SF^{-1}$ u jedenácti, u FVC u deseti, u VT u devíti. U BF existuje negativní vztah s dosaženým běžeckým výkonem u třinácti dívek, ale významný je pouze u čtyř z nich. Až na jednu dívku je zjištěn negativní vztah dosaženého běžeckého výkonu také s parametrem $VE \cdot VO_2^{-1}$ tento vztah je ale významný pouze u pěti dívek ze čtrnácti. U běžkyně A jsou korelace výkonu a některých respiračních parametrů (FVC, VT, BF, VE) těsně pod hranicí významnosti, u této běžkyně je k dispozici pouze sedm pozorování. U běžkyně D je významný vztah běžeckého výkonu a pouze dvou respiračních parametrů (VO_{2max} a VE). U této běžkyně byla zaznamenána nevyrovnanost v úrovni závodního běžeckého výkonu i při absolvování submaximálního testu (CPET) v laboratoři (pravděpodobně psychického rázu), což mohlo ovlivnit naše výsledky (viz tabulka 18 a 20). U běžkyně K byla zaznamenána významná korelace výkonu pouze s jedním respiračním parametrem (VE). Tato běžkyně závodila na 800 m, ale trénink byl postaven zejména na rozvoji rychlostních předpokladů.

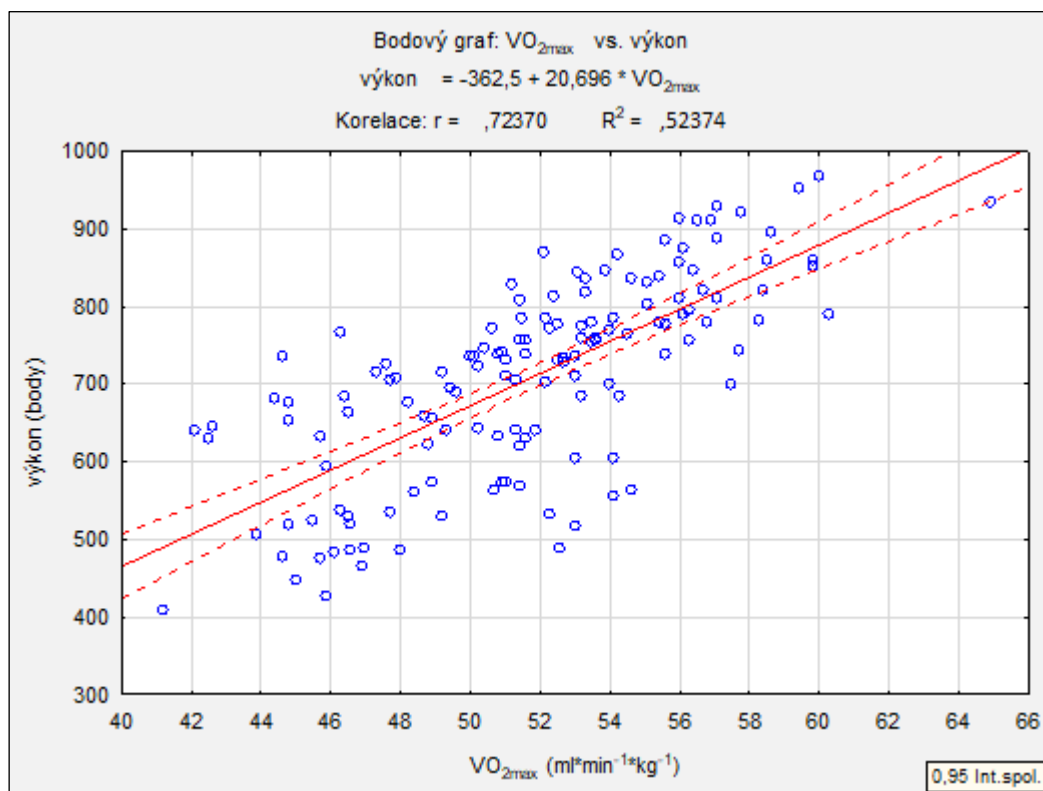
Tabulka 18.

Hodnota Pearsonova korelačního koeficientu vyjadřující vztah dosaženého běžeckého výkonu vyjádřeného prostřednictvím bodů dle „Maďarských tabulek“ a respiračních parametrů u jednotlivých dívek

dívka	VO_{2max}	$VO_2 \cdot SF^{-1}$	FVC	VT	BF	VE	$VE \cdot VO_2^{-1}$	počet pozorování	kritická hodnota
A	0,791*	0,875*	0,732	0,753	-0,694	0,739	-0,317	7	0,755
B	0,807*	0,752*	0,736*	0,773*	0,210	0,807*	-0,255	16	0,497
C	0,822*	0,851*	0,761*	0,911*	-0,921*	0,709*	-0,859*	12	0,576
D	0,768*	0,678	0,273	0,376	-0,349	0,901*	0,137	8	0,707
E	0,838*	0,811*	0,879*	0,331	-0,449	0,694*	-0,020	10	0,632
F	0,830*	0,662	0,636	0,688*	-0,495	0,817*	-0,098	9	0,666
G	0,762*	0,975*	0,960*	0,828*	-0,562	0,840*	-0,829*	8	0,707
H	0,815*	0,856*	0,585*	0,619*	-0,364	0,788*	-0,439	13	0,553
I	0,853*	0,816*	0,716*	0,884*	-0,629	0,767*	-0,671	8	0,707
J	0,824*	0,803*	0,941*	0,876*	-0,837*	0,927*	-0,824*	8	0,707
K	0,320	0,642	0,325	0,638	-0,527	0,926*	-0,130	9	0,666
L	0,714*	0,852*	0,757*	0,897*	-0,256	0,901*	-0,939*	10	0,632
M	0,873*	0,660*	0,893*	0,671*	-0,531*	0,931*	0,370	15	0,514
N	0,830*	0,893*	0,943*	0,521	-0,926*	0,838*	-0,836*	12	0,576

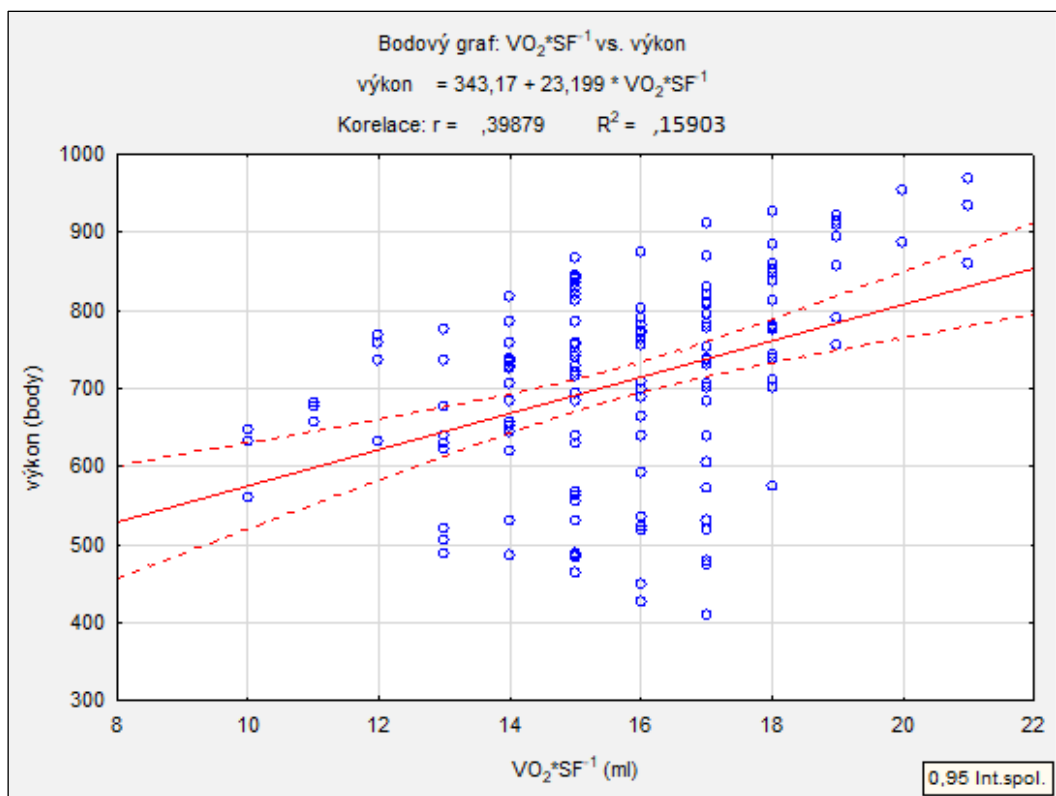
Pozn.: * – významný vztah ($p < 0,05$)

V grafech 68–93 je prezentována korelační a regresní analýza vztahu výkonnostní úrovně a jednotlivých sledovaných respiračních parametrů. Posuzováno bylo 141 hodnot u dívek a 103 hodnot u chlapců analyzovaných izolovaně v tabulkách 18 a 19. V takto postavené analýze mohou být výsledky ovlivněny nehomogenitou skupiny běžců a běžkyň způsobenou existencí individuálních rozdílů v somatických a dalších parametrech (výška postavy, tělesná hmotnost, typ běžce z pohledu délky trati, stupeň biologického vývoje, stupeň sportovního vývoje, ...). I přes tyto interindividuální rozdíly korelační a regresní analýza potvrdila, že existuje významný vztah mezi výkonem v bězích na střední a dlouhé tratě a hodnotou VO_{2max} u adolescentních běžkyň (graf 68). Hodnota VO_{2max} má u sledovaných dívek významný vliv na hodnotu výkonu v bězích na střední a dlouhé tratě ($R^2 = 0,52$), viz graf 68. To platí i pro hodnotu vyjádřenou jako procento individuální normy, viz graf 82 ($R^2 = 0,23$). Z dalších parametrů u dívek významně korelují s výkonnostní úrovní v bězích na středních a dlouhých tratích (vyjádřenou prostřednictvím bodů dle „Maďarských“ tabulek) parametry VE, $VO_2 \cdot SF^{-1}$, VT a FVC. Vztah hodnot VE a výkonu je uveden v grafu 73, jeho vliv na výkon je také významný ($R^2 = 0,20$). Podobný vliv je i v případě hodnoty vyjádřené jako procento individuální normy ($R^2 = 0,21$), viz graf 87. U parametru $VO_2 \cdot SF^{-1}$ dosahuje Pearsonův korelační koeficient významné hodnoty (viz graf 69) a koeficient determinace je 0,16. U hodnoty vyjádřené jako procento individuální normy (viz graf 83) nedosahuje Pearsonův korelační koeficient kritické hodnoty a koeficient determinace má hodnotu 0,05.



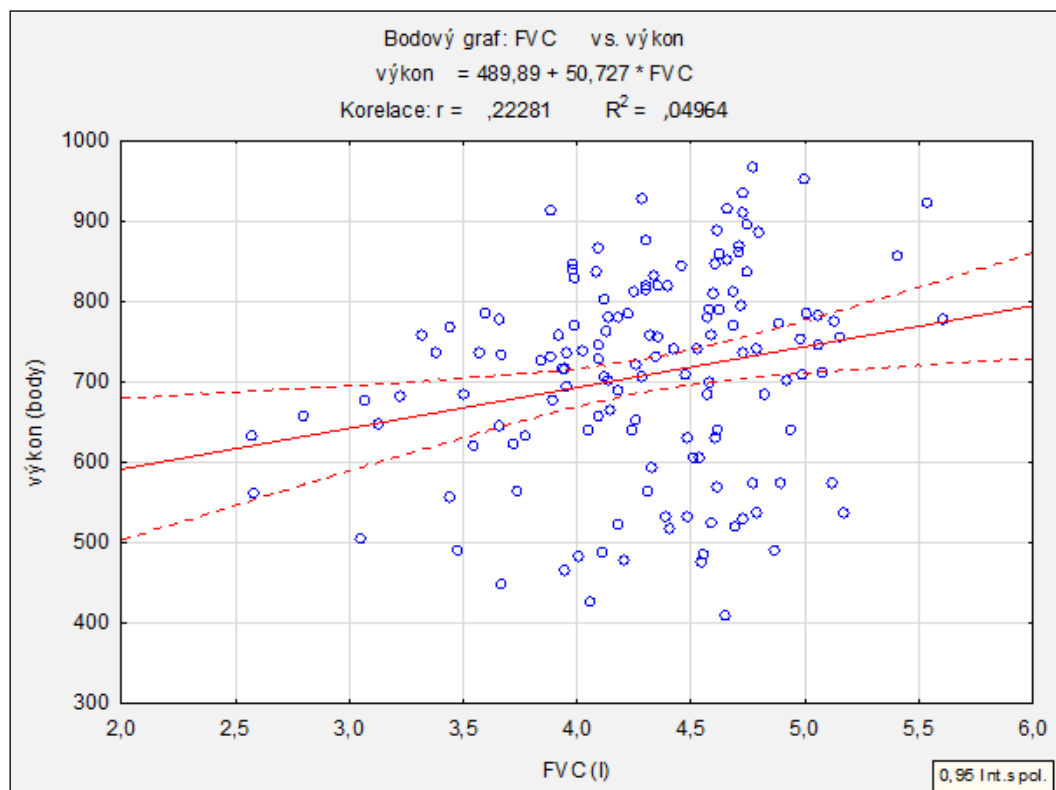
Graf 68.

Závislost běžeckého výkonu vyjádřeného dle tzv. „Maďarských“ tabulek na relativní hodnotě VO_{2max} u dívek



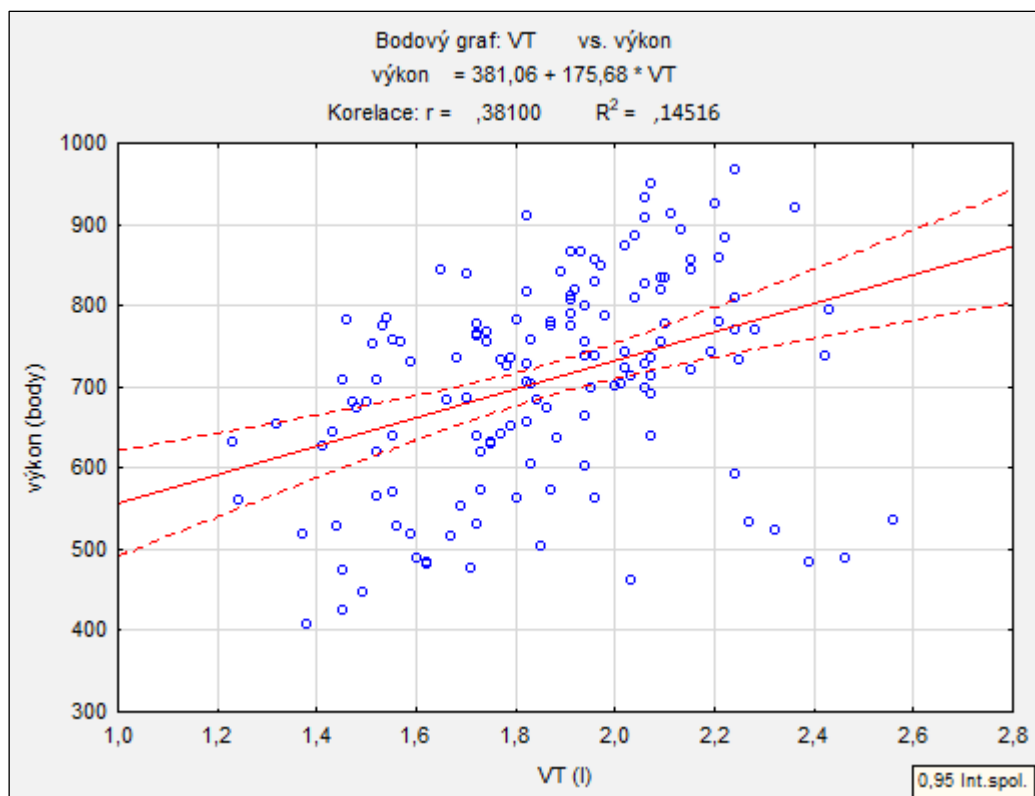
Graf 69.

Závislost běžeckého výkonu vyjádřeného dle tzv. „Maďarských“ tabulek na hodnotě $VO_2 \cdot SF^{-1}$ u dívek



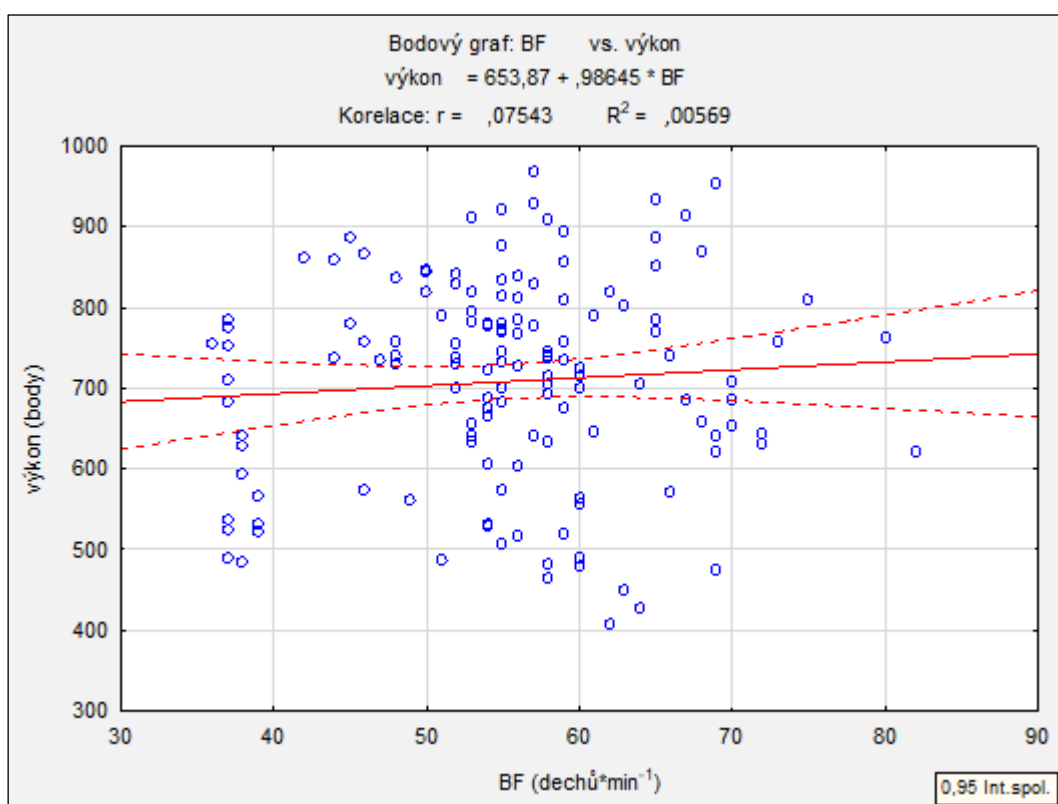
Graf 70.

Závislost běžeckého výkonu vyjádřeného dle tzv. „Maďarských“ tabulek na hodnotě FVC u dívek



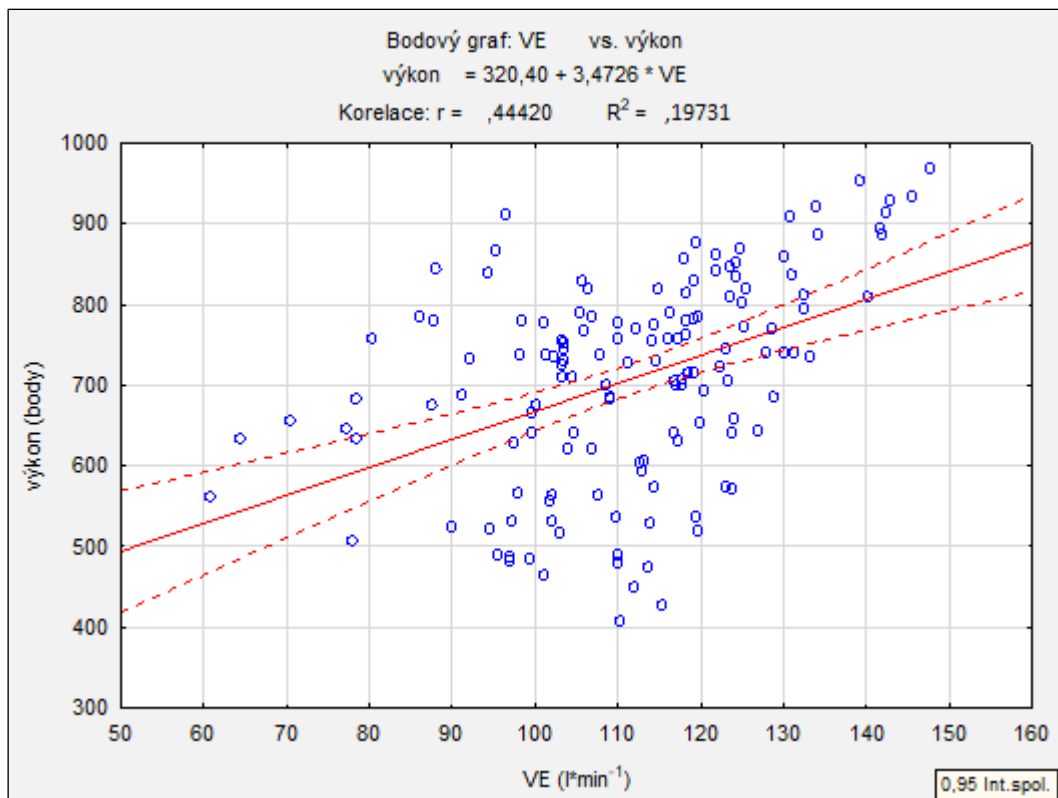
Graf 71.

Závislost běžeckého výkonu vyjádřeného dle tzv. „Maďarských“ tabulek na hodnotě VT u dívek



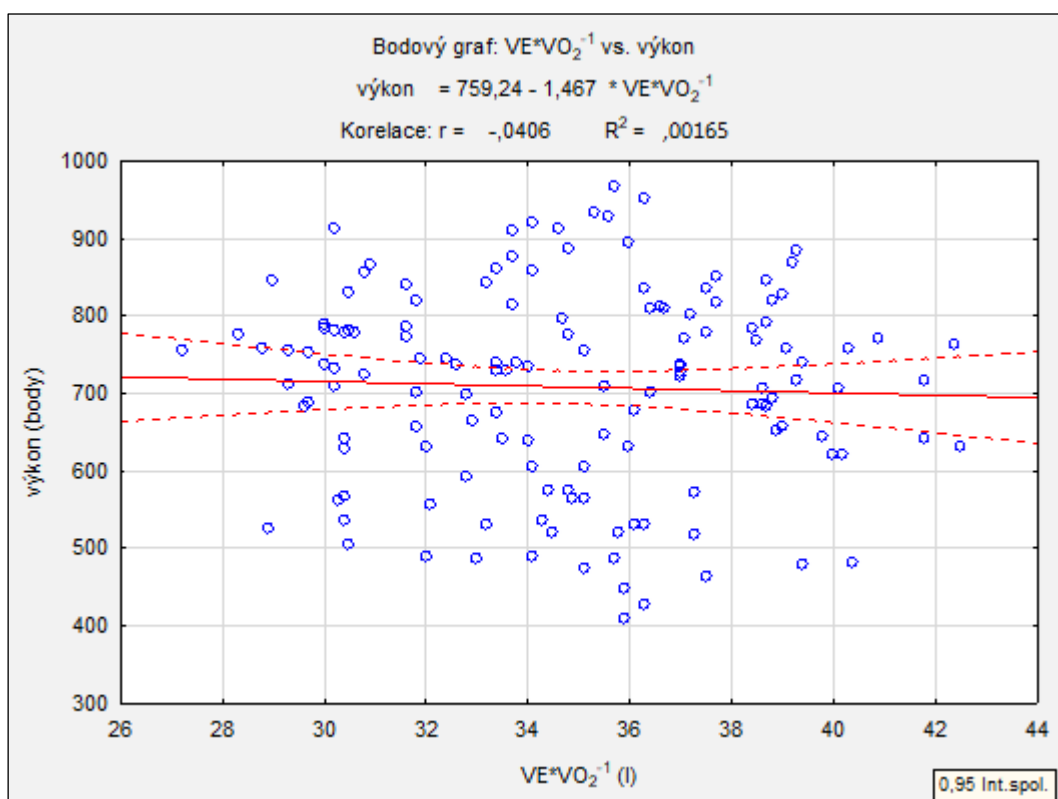
Graf 72.

Závislost běžeckého výkonu vyjádřeného dle tzv. „Maďarských“ tabulek na hodnotě BF u dívek



Graf 73.

Závislost běžeckého výkonu vyjádřeného dle tzv. „Maďarských“ tabulek na hodnotě VE u dívek



Graf 74.

Závislost běžeckého výkonu vyjádřeného dle tzv. „Maďarských“ tabulek na hodnotě $VE \cdot VO_2^{-1}$ u dívek

Chlapci – naměřené hodnoty

U všech deseti sledovaných chlapců byl prostřednictvím individuální korelační analýzy (viz tabulka 19) prokázán významný vztah dosaženého běžeckého výkonu a hodnot VO_{2max} a VE, u devíti z deseti u parametru $VO_2 \cdot SF^{-1}$ a FVC (s výjimkou běžce T, u kterého jsme posuzovali jen 7 hodnot). U osmi z deseti je významná závislost dosaženého běžeckého výkonu na VT. Vztah dosaženého běžeckého výkonu a $VE \cdot VO_2^{-1}$ je negativní, ale významný vztah byl prokázán pouze u dvou chlapců. U parametru BF je prokázán negativní vztah s dosaženým běžeckým výkonem u čtyř sledovaných chlapců.

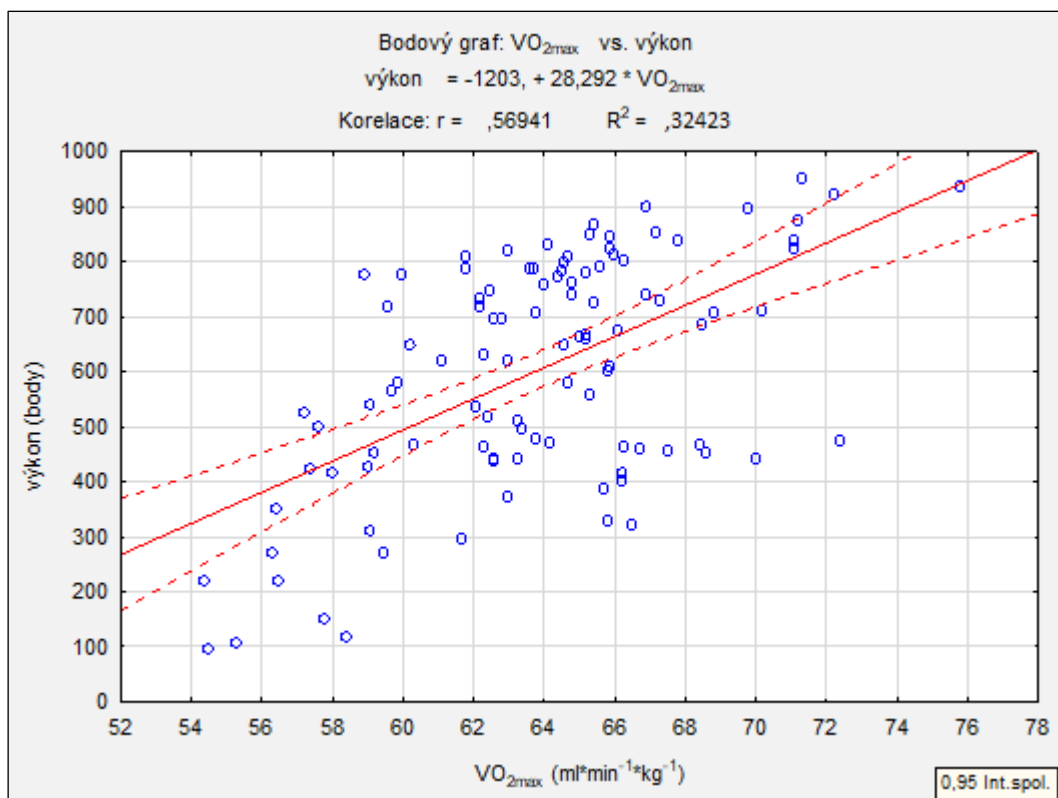
Tabulka 19.

Hodnota Pearsonova korelačního koeficientu vyjadřující vztah dosaženého běžeckého výkonu vyjádřeného prostřednictvím bodů dle „Maďarských tabulek“ a respiračních parametrů u jednotlivých chlapců

chlapec	VO_{2max}	$VO_2 \cdot SF^{-1}$	FVC	VT	BF	VE	$VE \cdot VO_2^{-1}$	počet	
								pozorování	kritická hodnota
O	0,894*	0,962*	0,961*	0,962*	0,764*	0,974*	-0,428	16	0,497
P	0,781*	0,945*	0,815*	0,926*	0,875*	0,716*	-0,373	11	0,602
Q	0,891*	0,922*	0,897*	0,770*	0,607*	0,960*	-0,598	11	0,602
R	0,867*	0,933*	0,869*	0,957*	-0,766*	0,802*	-0,819*	8	0,707
S	0,869*	0,719*	0,872*	0,723*	0,370	0,873*	-0,267	14	0,532
T	0,921*	0,390	0,736	0,623	-0,165	0,909*	-0,503	7	0,755
U	0,850*	0,901*	0,924*	0,799*	-0,090	0,933*	-0,292	8	0,707
V	0,864*	0,918*	0,888*	0,972*	-0,588	0,949*	-0,435	10	0,632
W	0,685*	0,840*	0,883*	0,657*	0,324	0,870*	-0,293	10	0,632
X	0,804*	0,794*	0,838*	0,665	-0,417	0,699*	-0,842*	9	0,666

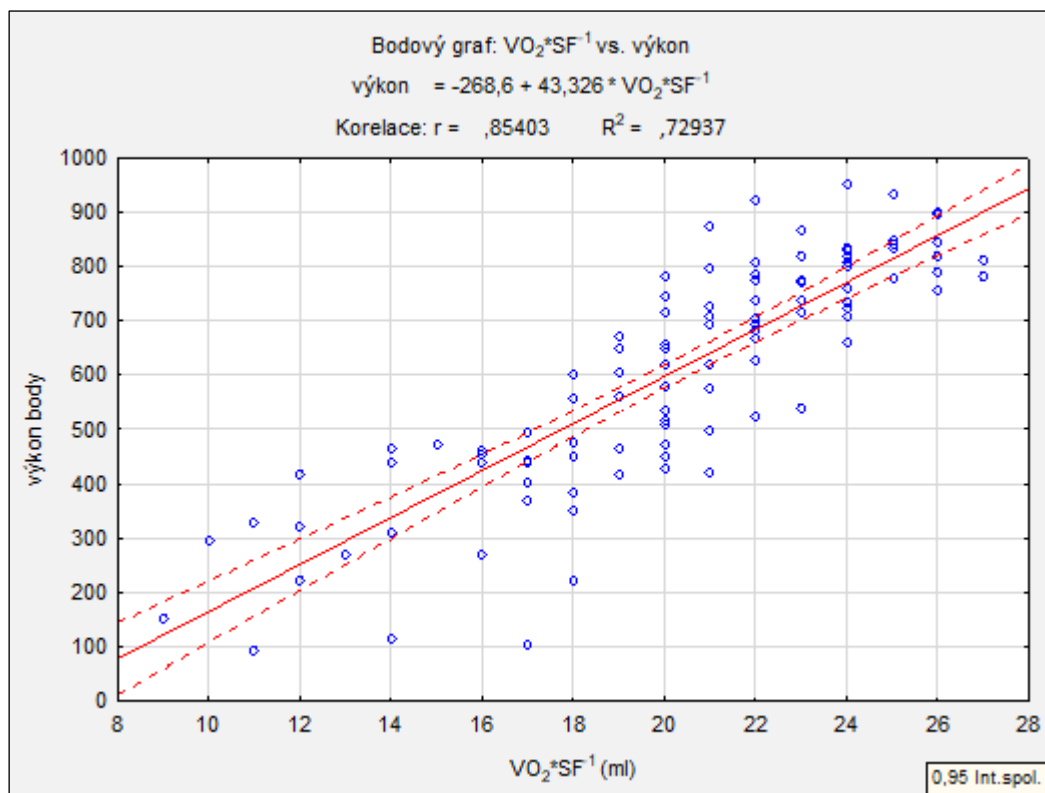
Pozn.: * – významný vztah ($p < 0,05$)

Korelační a regresní analýza u adolescentních chlapců potvrdila, že existuje významný vztah mezi výkonem v běžích na střední a dlouhé tratě a hodnotou těchto respiračních parametrů: VO_{2max} , $VO_2 \cdot SF^{-1}$, FVC, VT, VE a BF, vztah výkonu a parametru $VE \cdot VO_2^{-1}$ je pod hranicí významnosti (grafy 75–81, 88–93). Hodnota VO_{2max} má u sledovaných chlapců významný vliv na hodnotu výkonu v běžích na střední a dlouhé tratě ($R^2 = 0,32$), ještě větší v případě hodnoty vyjádřené jako procento individuální normy ($R^2 = 0,54$), viz grafy 75 a 82. U parametru $VO_2 \cdot SF^{-1}$ dosahuje koeficient determinace hodnoty 0,73, u hodnoty vyjádřené jako procento individuální normy 0,62 (viz grafy 76 a 83), u parametru FVC dosahuje koeficient determinace hodnoty 0,63, resp. 0,52 u hodnoty vyjádřené jako procento individuální normy (graf 77 a 90). U parametru VT dosahuje koeficient determinace 0,53, resp. 0,35 u hodnoty vyjádřené jako procento individuální normy (graf 78 a 91). U parametru BF dosahuje koeficient determinace 0,08, resp. 0,16 u hodnoty vyjádřené jako procento individuální normy (graf 79 a 92). Nejvyšší koeficient determinace 0,77 byl zaznamenán u parametru VE, u parametru vyjádřeného jako procento individuální normy dosahuje koeficient determinace hodnoty 0,73 (graf 80 a 93).



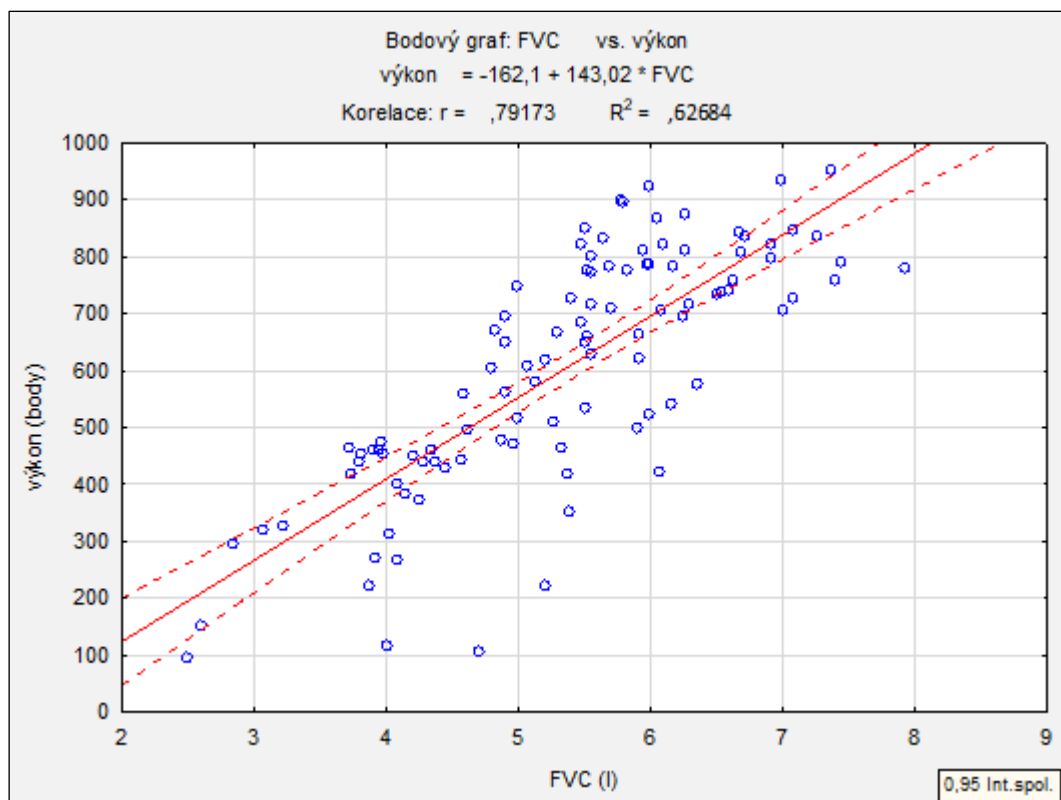
Graf 75.

Závislost běžeckého výkonu vyjádřeného dle tzv. „Maďarských“ tabulek na relativní hodnotě VO_{2max} u chlapců



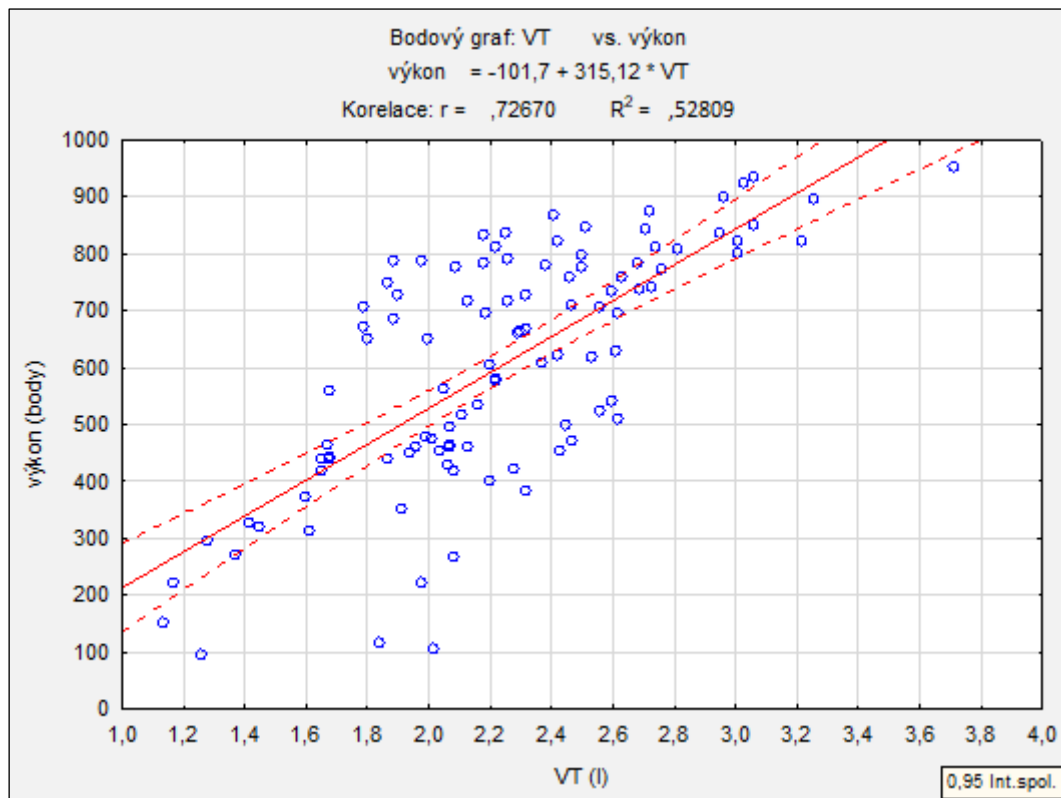
Graf 76.

Závislost běžeckého výkonu vyjádřeného dle tzv. „Maďarských“ tabulek na hodnotě $VO_2 \cdot SF^{-1}$ u chlapců



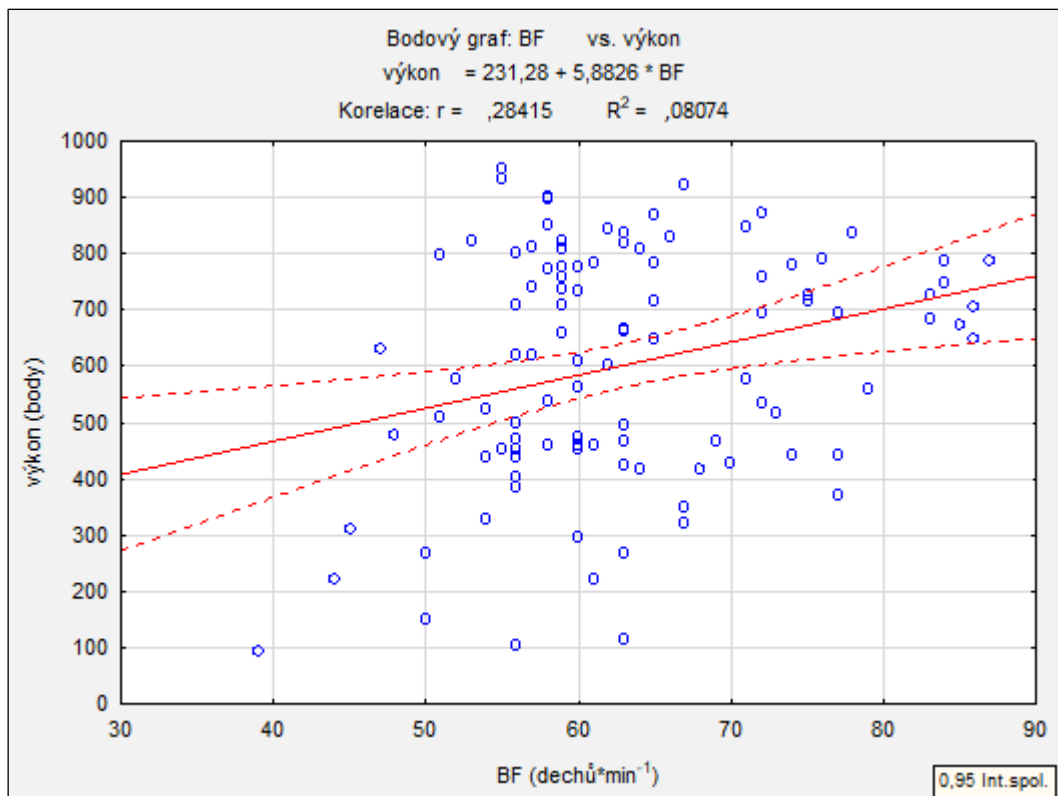
Graf 77.

Závislost běžeckého výkonu vyjádřeného dle tzv. „Maďarských“ tabulek na hodnotě FVC u chlapců



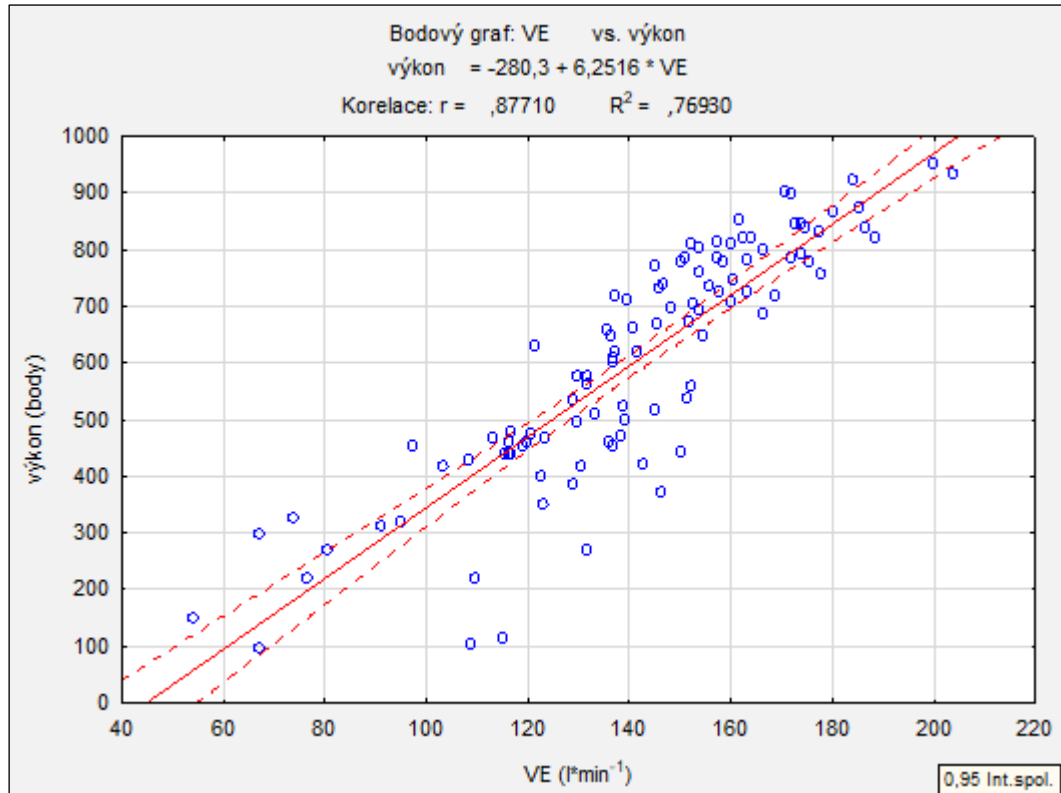
Graf 78.

Závislost běžeckého výkonu vyjádřeného dle tzv. „Maďarských“ tabulek na hodnotě VT u chlapců



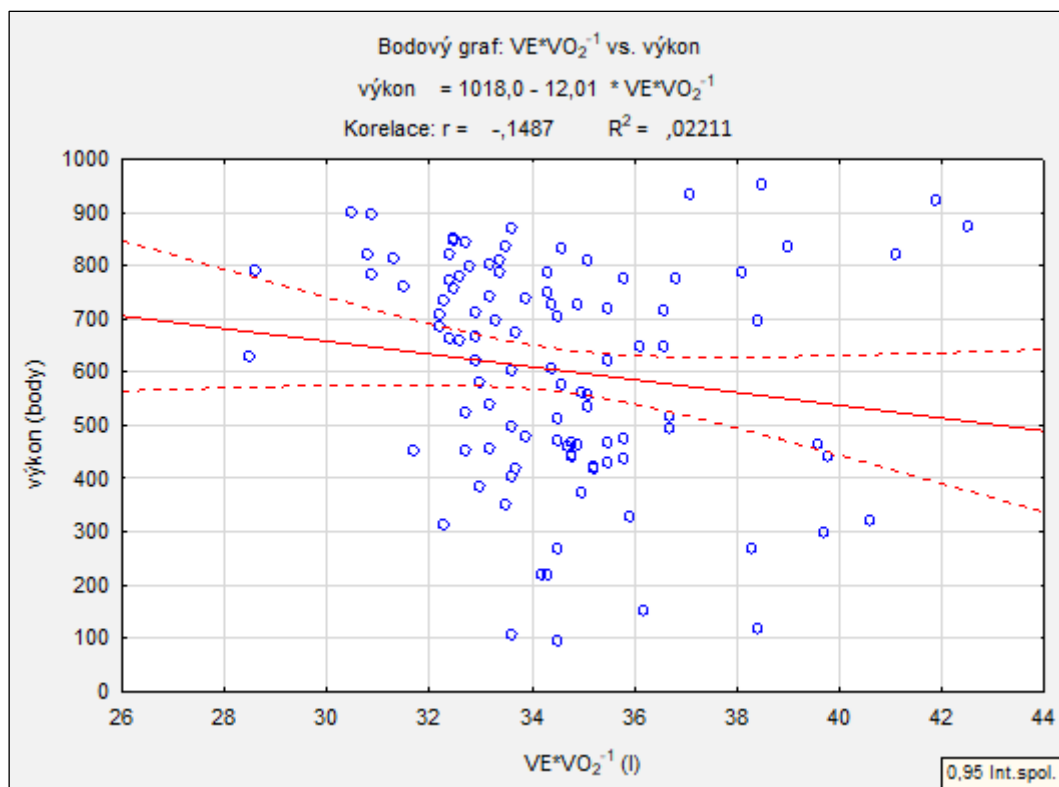
Graf 79.

Závislost běžeckého výkonu vyjádřeného dle tzv. „Maďarských“ tabulek na hodnotě BF u chlapců



Graf 80.

Závislost běžeckého výkonu vyjádřeného dle tzv. „Maďarských“ tabulek na hodnotě VE u chlapců



Graf 81.

Závislost běžeckého výkonu vyjádřeného dle tzv. „Maďarských“ tabulek na hodnotě $VE \cdot VO_2^{-1}$ u chlapců

Dívky – hodnoty vyjádřené jako procento individuální normy

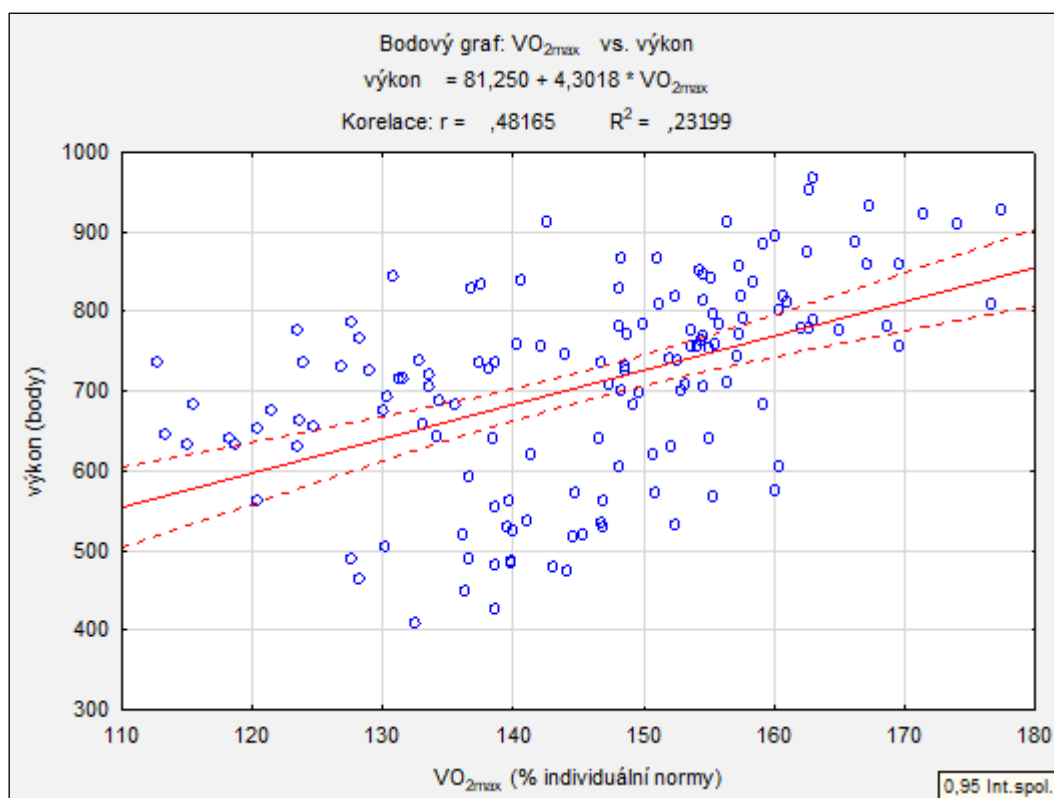
V tabulce 20 je prezentována korelační analýza dosaženého běžeckého výkonu hodnoty jednotlivých respiračních parametrů u dívek vyjádřených jako procento individuální normy. To ukazuje na vliv tréninkového zatížení na výkonnostní úroveň adolescentních sportovců při eliminaci změn způsobených vývojem organismu. U dívek byl prokázán významný vztah dosaženého běžeckého výkonu s parametrem VE u třinácti ze čtrnácti dívek, u VO_{2max} u dvanácti, u jedenácti $VO_2 \cdot SF^{-1}$, u deseti FVC, u devíti VT. U jedenácti ze čtrnácti byla zjištěna negativní souvislost s BF, ale jen u tří je významná.

Tabulka 20.

Vztah dosaženého běžeckého výkonu vyjádřeného přestřednictvím bodů dle „Maďarských tabulek“ a jednotlivých respiračních parametrů vyjádřených jako procento individuální normy u dívek prostřednictvím Pearsonova korelačního koeficientu

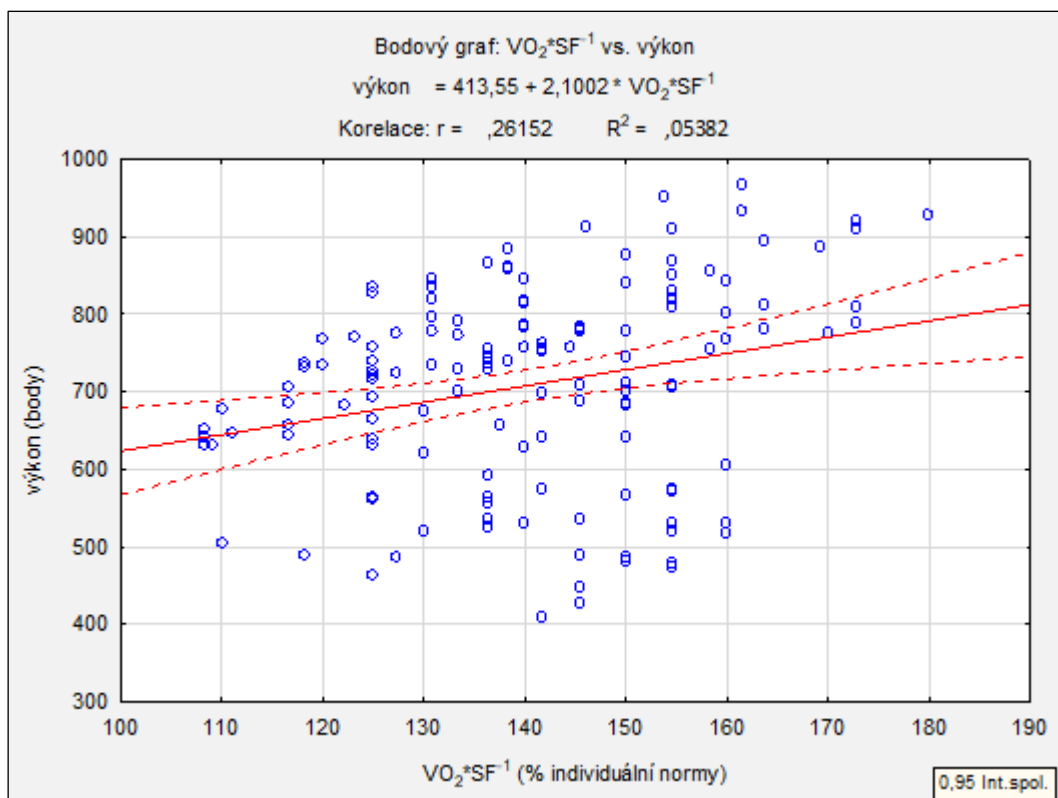
dívky	VO _{2max}	VO ₂ ·SF ⁻¹	FVC	VT	BF	VE	počet pozorování	kritická hodnota
A	0,871*	0,772*	0,658	0,511	0,674	0,680	7	0,755
B	0,584*	0,683*	0,730*	0,742*	0,502	0,750*	16	0,497
C	0,888*	0,854*	0,764*	0,925*	-0,922*	0,829*	12	0,576
D	0,879*	0,678	0,498	0,360	-0,117	0,747*	8	0,707
E	0,758*	0,842*	0,857*	0,346	-0,308	0,822*	10	0,632
F	0,857*	0,816*	0,551	0,764*	-0,453	0,682*	9	0,666
G	0,907*	0,922*	0,816*	0,862*	-0,176	0,948*	8	0,707
H	0,726*	0,436	0,853*	0,581*	-0,395	0,779*	13	0,553
I	0,878*	0,821*	0,705	0,783*	-0,690	0,938*	8	0,707
J	0,830*	0,823*	0,920*	0,858*	-0,766*	0,909*	8	0,707
K	0,579	0,816*	0,709*	0,539	-0,467	0,894*	9	0,666
L	0,615	0,377	0,765*	0,912*	0,101	0,827*	10	0,632
M	0,836*	0,595*	0,831*	0,716*	-0,718*	0,888*	15	0,514
N	0,753*	0,606*	0,791*	0,302	-0,337	0,912*	12	0,576

Pozn.: * – významný vztah ($p < 0,05$)



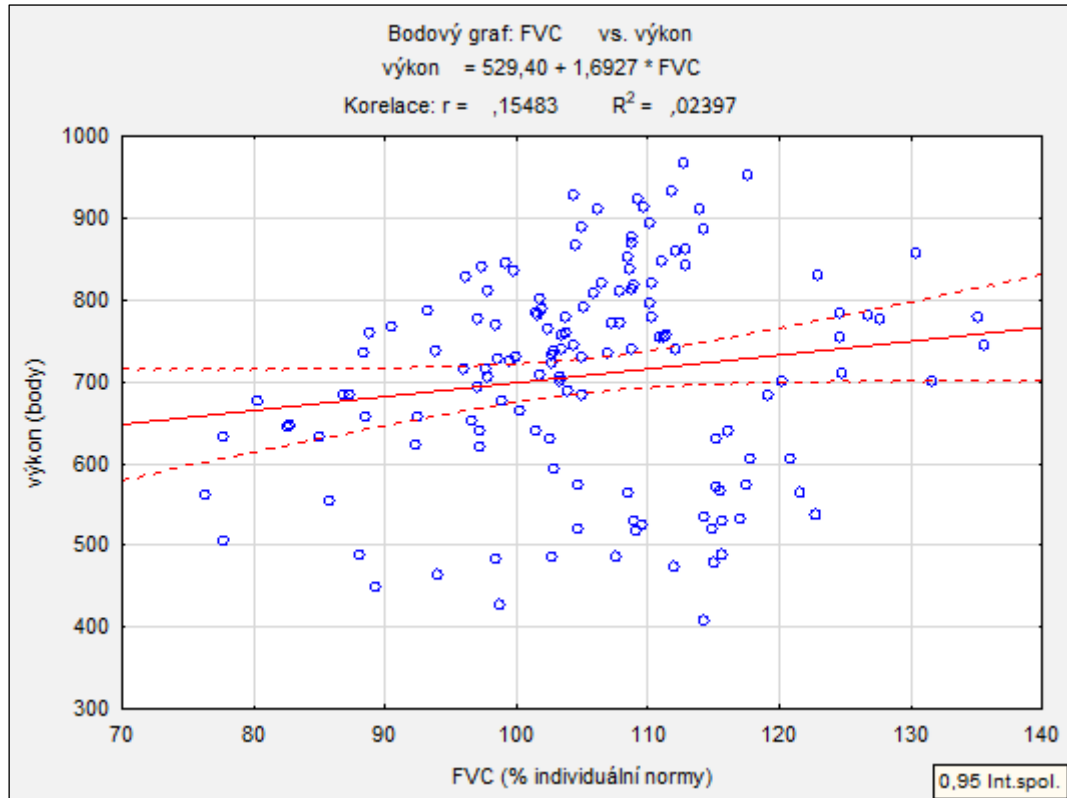
Graf 82.

Závislost běžeckého výkonu vyjádřeného dle tzv. „Maďarských“ tabulek na relativní hodnotě VO_{2max} vyjádřené jako procento individuální normy u dívek



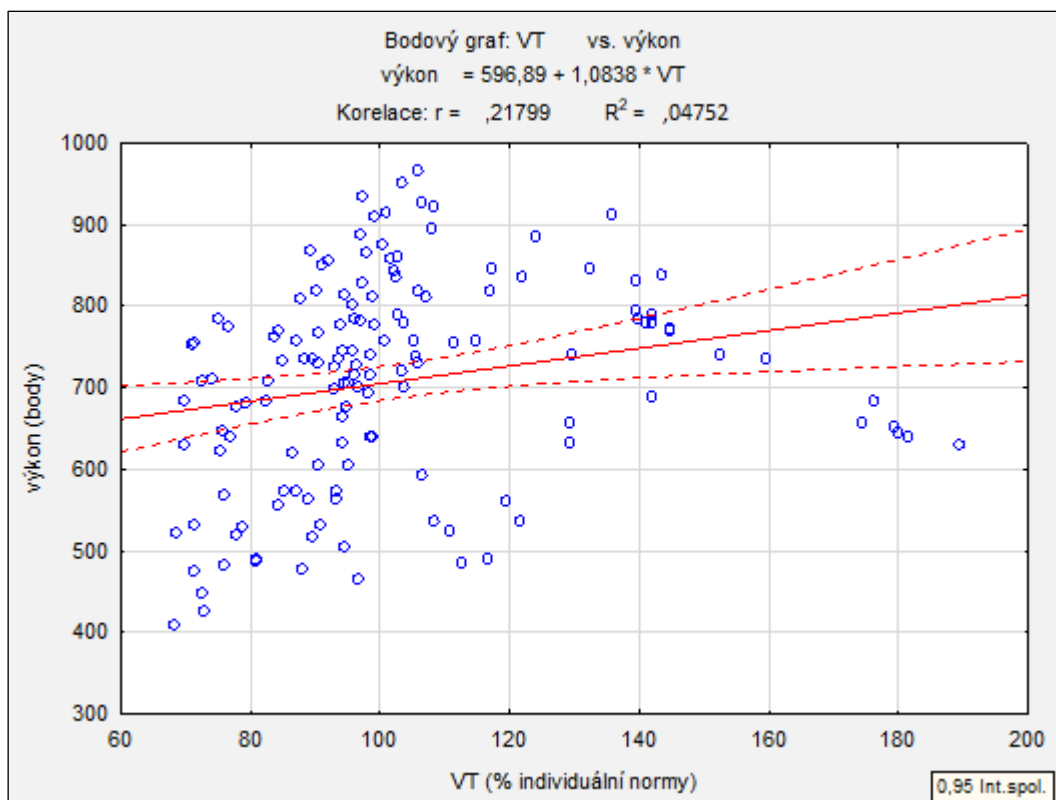
Graf 83.

Závislost běžeckého výkonu vyjádřeného dle tzv. „Maďarských“ tabulek na hodnotě $VO_2 \cdot SF^{-1}$ vyjádřených jako procento individuální normy u dívek



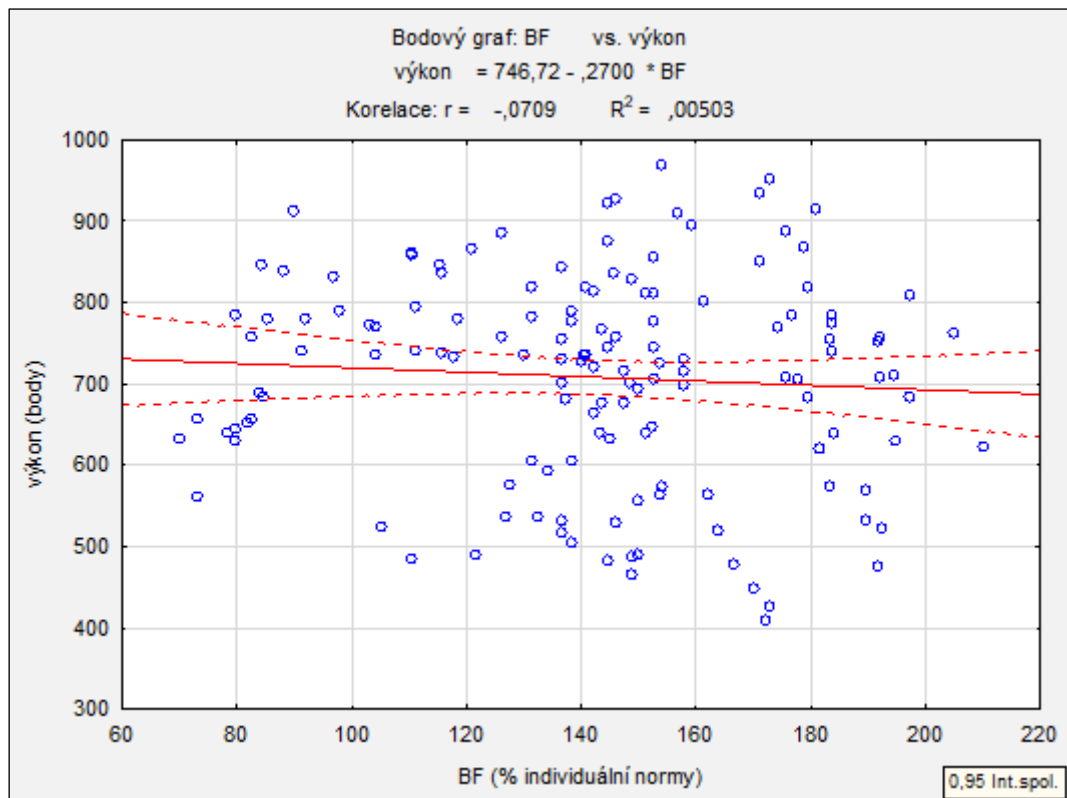
Graf 84.

Závislost běžeckého výkonu vyjádřeného dle tzv. „Maďarských“ tabulek na hodnotě FVC vyjádřených jako procento individuální normy u dívek



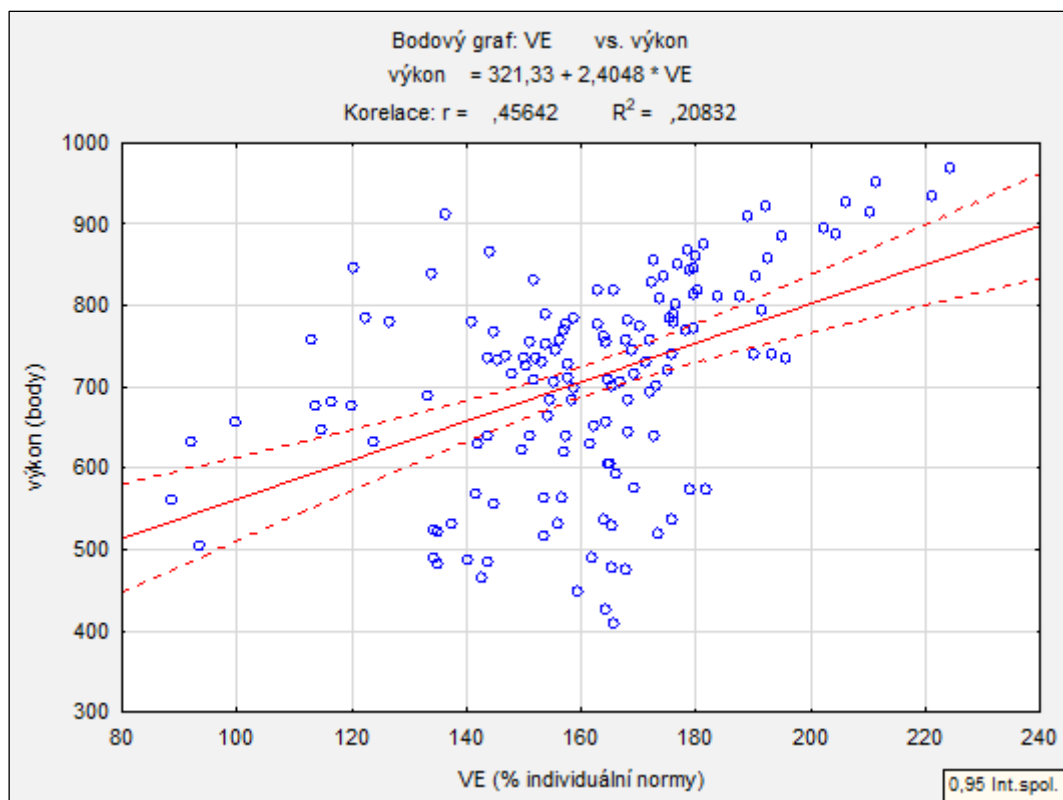
Graf 85.

Závislost běžeckého výkonu vyjádřeného dle tzv. „Maďarských“ tabulek na hodnotě VT vyjádřených jako procento individuální normy u dívek



Graf 86.

Závislost běžeckého výkonu vyjádřeného dle tzv. „Maďarských“ tabulek na hodnotě BF vyjádřených jako procento individuální normy u dívek



Graf 87.

Závislost běžeckého výkonu vyjádřeného dle tzv. „Maďarských“ tabulek na hodnotě VE vyjádřených jako procento individuální normy u dívek

Chlapci – hodnoty vyjádřené jako procento individuální normy

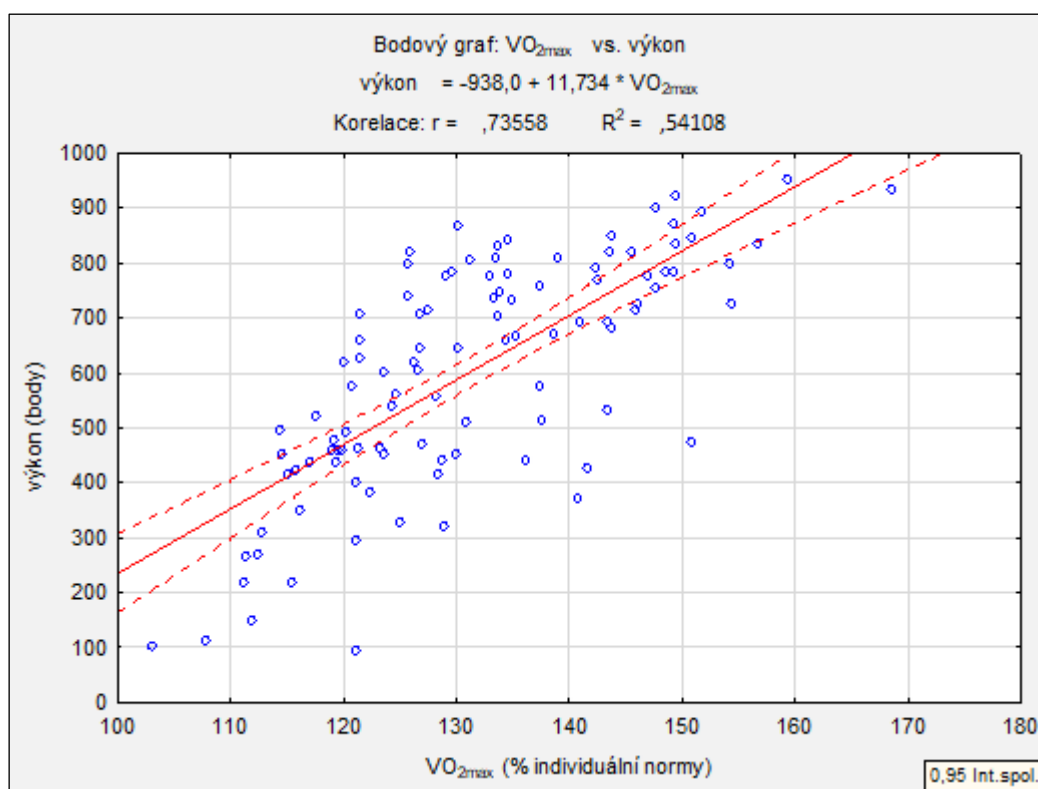
U všech chlapců byla prokázána souvislost mezi dosaženým výkonem a hodnotou FVC, u devíti z deseti chlapců byl prokázán vztah mezi dosaženým běžeckým výkonem a hodnotou VE, u šesti z nich s hodnotou VO_{2max} , $VO_2 \cdot SF^{-1}$ a VT. Čtyři chlapci vykazují negativní vztah běžeckého výkonu a hodnot BF, z toho jeden významný a u šesti je vztah pozitivní, z toho u dvou významný (viz tabulka 21).

Tabulka 21.

Vztah dosaženého běžeckého výkonu vyjádřeného přestřednictvím bodů dle „Maďarských tabulek“ a jednotlivých respiračních parametrů vyjádřených jako procento individuální normy u chlapců prostřednictvím Pearsonova korelačního koeficientu

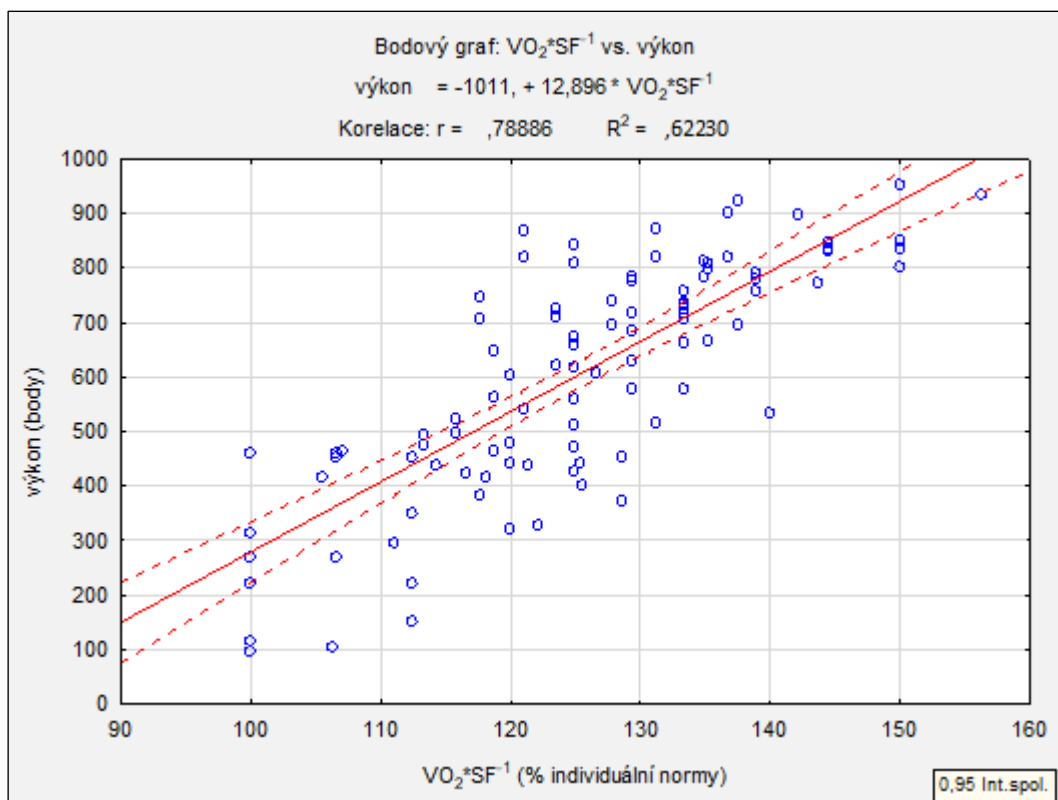
chlapci	VO _{2max}	VO ₂ ·SF ⁻¹	FVC	VT	BF	VE	počet pozorování	kritická hodnota
O	0,718*	0,925*	0,891*	0,900*	0,884*	0,974*	16	0,497
P	0,532	0,469	0,777*	0,892*	0,928*	0,814*	11	0,602
Q	0,693*	0,704*	0,898*	0,500	0,595	0,961*	11	0,602
R	0,714	0,528	0,870*	0,886*	-0,784*	0,752*	8	0,707
S	0,637	0,719*	0,798*	0,702*	0,370	0,874*	14	0,532
T	0,813*	0,915*	0,861*	0,517	-0,420	0,366	7	0,755
U	0,881*	0,678	0,810*	0,675	0,099	0,930*	8	0,707
V	0,844*	0,666*	0,866*	0,898*	-0,457	0,955*	10	0,632
W	0,640	0,477	0,860*	0,726*	0,484	0,946*	10	0,632
X	0,869*	0,837*	0,815*	0,649	-0,333	0,709*	9	0,666

Pozn.: * – významný vztah ($p < 0,05$)



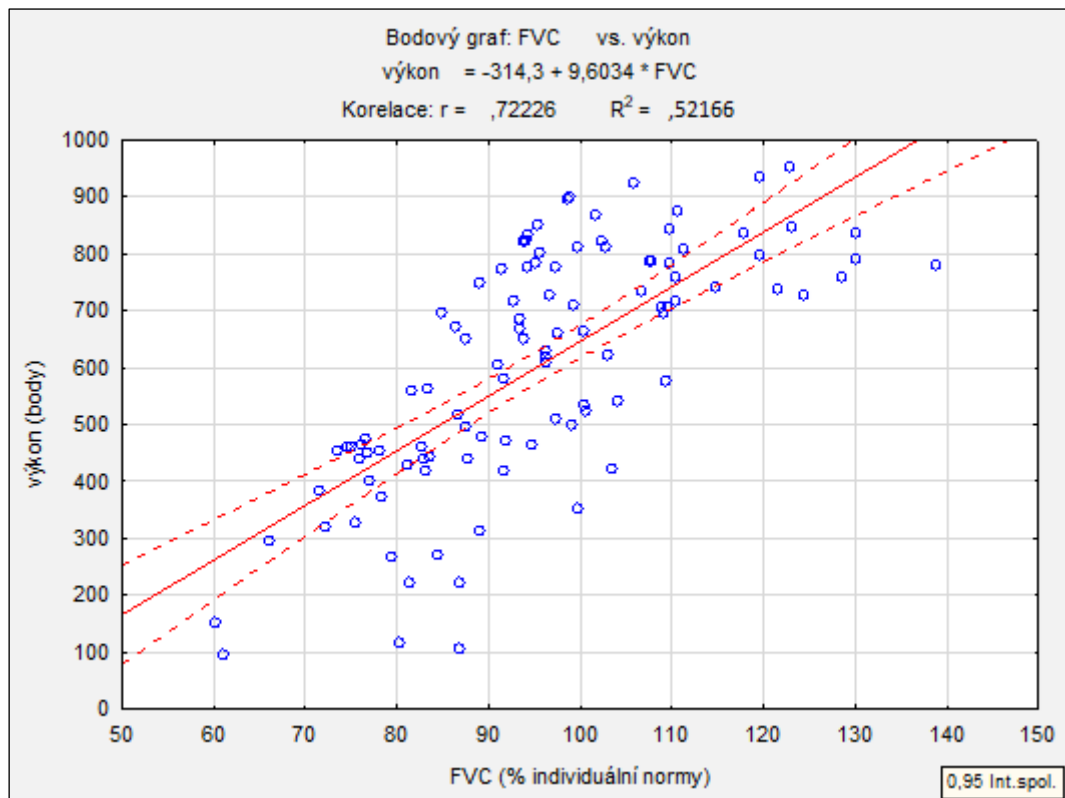
Graf 88.

Závislost běžeckého výkonu vyjádřeného dle tzv. „Maďarských“ tabulek na relativní hodnotě VO_{2max} vyjádřených jako procento individuální normy u chlapců



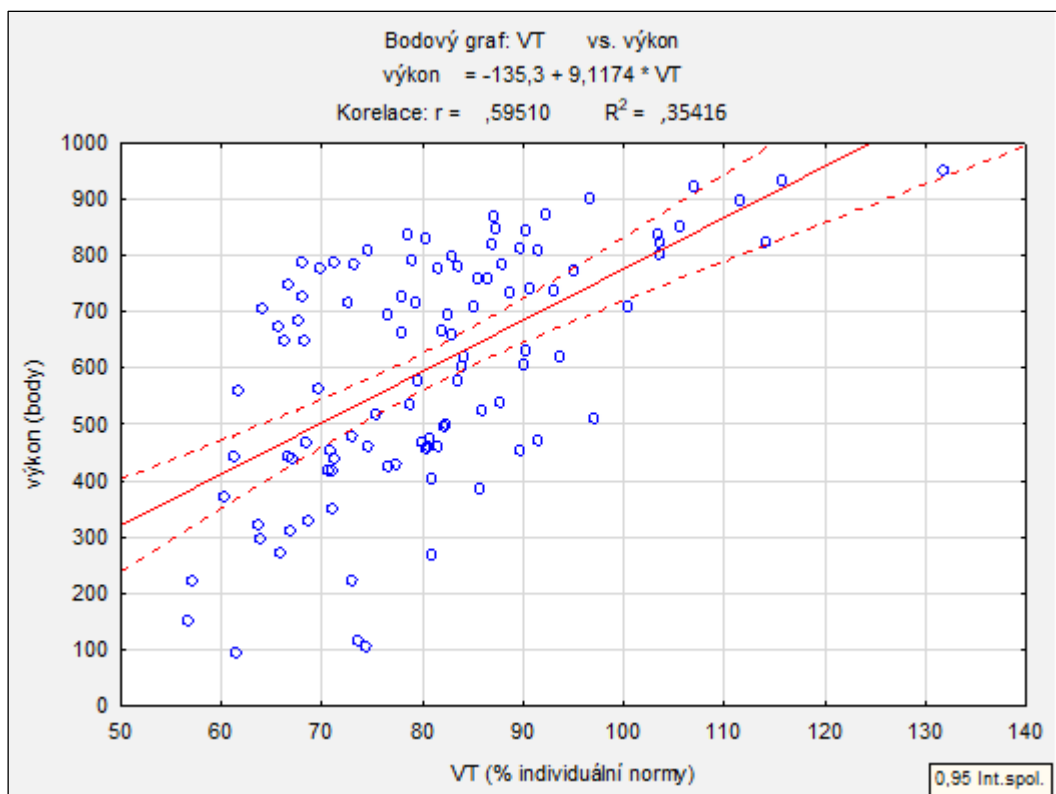
Graf 89.

Závislost běžeckého výkonu vyjádřeného dle tzv. „Maďarských“ tabulek na hodnotě $VO_2 \cdot SF^{-1}$ vyjádřených jako procento individuální normy u chlapců



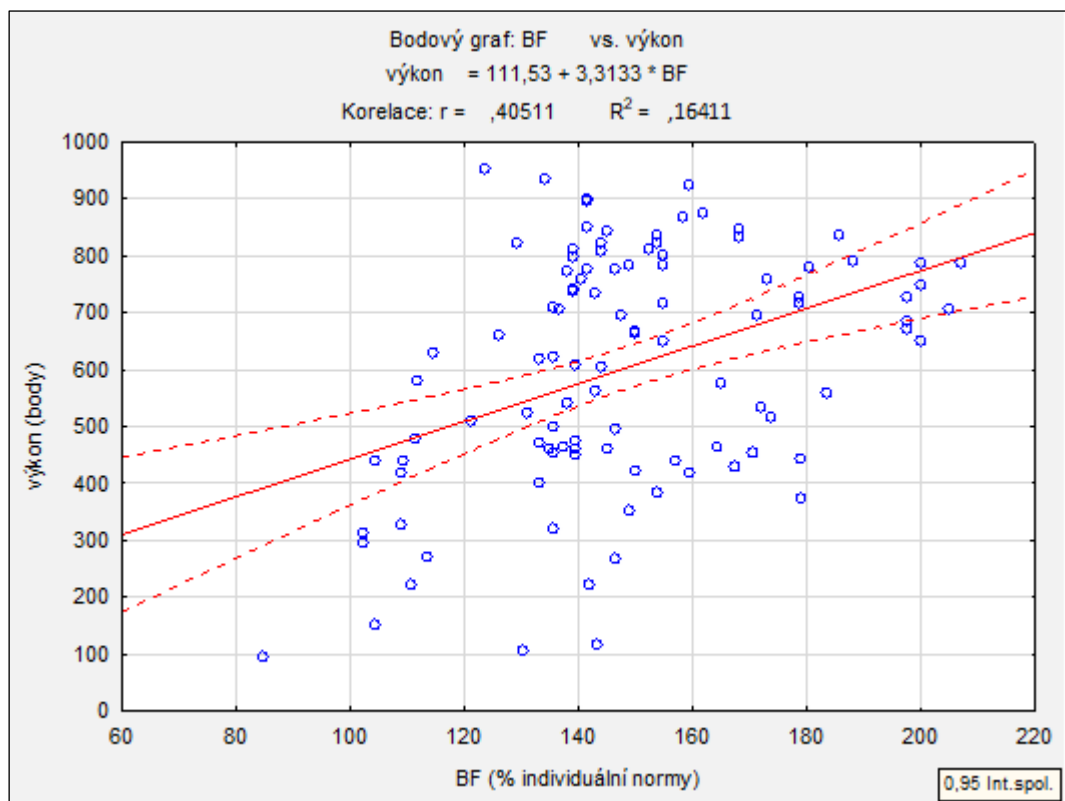
Graf 90.

Závislost běžeckého výkonu vyjádřeného dle tzv. „Maďarských“ tabulek na hodnotě FVC vyjádřených jako procento individuální normy u chlapců



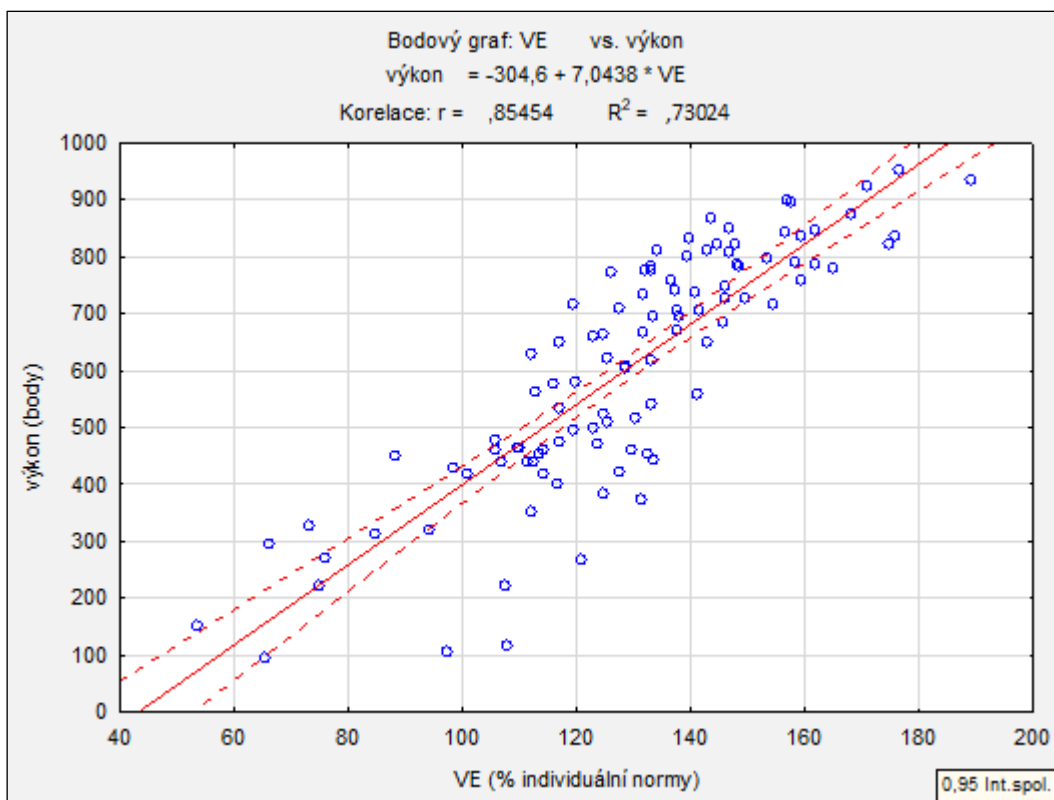
Graf 91.

Závislost běžeckého výkonu vyjádřeného dle tzv. „Maďarských“ tabulek na hodnotě VT vyjádřených jako procento individuální normy u chlapců



Graf 92.

Závislost běžeckého výkonu vyjádřeného dle tzv. „Maďarských“ tabulek na hodnotě BF vyjádřených jako procento individuální normy u chlapců



Graf 93.

Závislost běžeckého výkonu vyjádřeného dle tzv. „Maďarských“ tabulek na hodnotě VE vyjádřených jako procento individuální normy u chlapců

Shrnutí: Respirační parametry mají vliv na závodní běžecký výkon vyjádřený prostřednictvím bodové škály dle „Maďarských tabulek“. U dívek byl prokázán vliv VO_{2max} , $VO_2 \cdot SF^{-1}$, FVC, VT, VE na dosažený závodní výkon. Tyto parametry tedy významně ovlivňují výkonnost. S výjimkou parametru FVC mají významný vliv i pokud jsou hodnoceny jako procento individuální normy. Jejich změny v důsledku absolvovaného tréninku mají větší vliv na výkon než je jejich dlouhodobý přirozený vývoj. U obou analýz (naměřených hodnot i hodnot vztažených k hodnotě normy) je prokázán největší vliv parametru VO_{2max} . U chlapců jsme prokázali významný vliv VO_{2max} , $VO_2 \cdot SF^{-1}$, FVC, VT, BF a VE na dosažený závodní výkon, také u naměřené hodnoty parametru u hodnot vyjádřených jako procento příslušné individuální normy. Největší vliv na dosažený závodní výkon při hodnocení naměřených hodnot má parametr VE, téměř srovnatelný také FVC, VT a VO_{2max} . U všech sledovaných parametrů je vztah těsnější u chlapců než u dívek s výjimkou naměřené hodnoty VO_{2max} .

5.4.12 Věk dosažení limitních hodnot jednotlivých parametrů

Dívky

V tabulce 22 je uvedena hodnota věku v momentu ukončení tělesného růstu a věku dosažení limitních hodnot jednotlivých respiračních parametrů u každé dívky, v tabulce 24 u každého chlapce. Zjišťovali jsme dosažení maximálních hodnot u parametrů: VO_{2max} (relativní hodnota), $VO_2 \cdot SF^{-1}$, FVC, VT a VE. U parametrů BF a $VE \cdot VO_2^{-1}$ jsme zjišťovali minimální hodnotu parametrů (zjišťovali jsme hodnotu, která je cílem tréninku). V tabulkách 23 a 25 je uvedena hodnota Pearsonova korelačního koeficientu hodnotícího vztah věku ukončení tělesného růstu a věku dosažení limitní hodnoty příslušného respiračního parametru.

Tabulka 22.

Věk dosažení maximálních hodnot sledovaného parametru v průběhu cca 4 let intervence pravidelného běžeckého tréninku a věk ukončení růstu u dívek

běžkyně	VO _{2max} (rok)	VO ₂ ·SF ⁻¹ (rok)	FVC (rok)	VT (rok)	BF (rok)	VE (rok)	VE·VO ₂ ⁻¹ (rok)	ukončení růstu (rok)
A	16,6	16,6	18,0	18,0	18,2	18,0	18,9	17,0
B	16,4	16,4	16,1	16,4	14,0	16,4	13,8	16,4
C	18,2	18,3	15,4	17,8	18,6	19,1	16,4	17,1
D	17,6	15,1	15,8	15,1	15,1	16,7	15,1	17,2
E	18,8	18,8	18,0	18,8	19,1	18,8	19,1	18,3
F	17,7	17,4	17,5	17,8	17,8	17,3	18,4	15,4
G	16,1	17,5	16,6	16,1	16,3	16,4	16,2	15,7
H	17,7	19,0	17,8	18,0	18,6	19,9	17,7	14,9
I	16,3	16,5	17,1	16,3	16,0	16,3	16,6	17,0
J	18,2	18,2	18,2	18,2	18,0	16,4	18,1	15,6
K	19,2	19,0	19,2	19,0	19,3	17,6	19,3	16,3
L	17,2	16,3	15,8	18,6	18,5	17,4	17,2	17,3
M	18,8	18,8	17,5	20,0	18,4	16,0	18,4	16,1
N	19,0	19,0	19,3	15,4	19,3	19,4	19,3	15,7
průměr	17,7	17,6	17,3	17,5	17,7	17,6	17,5	16,4
SD	1,0	1,2	1,2	1,4	1,6	1,2	1,6	0,9

Tabulka 23.

Hodnota Pearsonova korelačního koeficientu vyjadřujícího vztah věku ukončení tělesného růstu a věku dosažení limitní hodnoty respiračního parametru u dívek v průběhu sledování – cca 4 let intervence pravidelného běžeckého tréninku

VO _{2max}	VO ₂ ·SF ⁻¹	FVC	VT	BF	VE	VE·VO ₂ ⁻¹
-0,02	-0,35	-0,34	0,07	-0,05	-0,01	-0,10

Pozn.: * – významný vztah (p < 0,05)

Chlapci

Tabulka 24.

Věk dosažení maximálních hodnot sledovaného parametru v průběhu cca 4 let intervence pravidelného běžeckého tréninku a věk ukončení růstu u chlapců

běžec	VO _{2max} (rok)	VO ₂ ·SF ⁻¹ (rok)	FVC (rok)	VT (rok)	BF (rok)	VE (rok)	VE·VO ₂ ⁻¹ (rok)	ukončení růstu (rok)
O	15,9	18,9	18,9	20,0	14,5	18,7	14,5	17,7
P	15,6	17,2	17,6	18,3	14,8	18,3	15,6	16,4
Q	16,8	19,5	19,1	19,6	16,2	19,4	18,4	19,4
R	18,7	17,3	18,5	18,4	18,5	18,7	17,2	18,2
S	14,9	19,5	18,8	19,5	14,5	19,5	19,0	18,8
T	18,6	18,6	17,7	17,7	17,4	18,6	17,0	17,7
U	15,4	17,4	15,4	17,4	16,9	17,4	15,4	15,9
V	16,4	19,5	18,4	18,6	18,0	18,7	17,0	19,2
W	17,8	18,0	19,0	17,2	16,9	18,4	16,4	15,4
X	18,6	18,6	17,0	18,6	17,4	18,6	17,4	17,9
průměr	16,9	18,5	18,0	18,5	16,5	18,6	16,8	17,7
SD	1,4	0,9	1,1	0,9	1,4	0,6	1,3	1,3

Tabulka 25.

Hodnota Pearsonova korelačního koeficientu vyjadřujícího vztah věku ukončení tělesného růstu a věku dosažení limitní hodnoty respiračního parametru u chlapců v průběhu sledování – cca 4 let intervence pravidelného běžeckého tréninku

VO _{2max}	VO ₂ ·SF ⁻¹	FVC	VT	BF	VE	VE·VO ₂ ⁻¹
0,02	0,75*	0,44	0,72*	0,07	0,78*	0,64*

Pozn.: * – významný vztah ($p < 0,05$)

U dívek nebyl zaznamenán žádný významný vztah, u chlapců je významný vztah věku ukončení tělesného růstu a věku dosažení limitní hodnoty u těchto respiračních parametrů: VO₂·SF⁻¹, VT, VE a VE·VO₂⁻¹. Rozdíly mezi dívkami a chlapci jsou pravděpodobně dány rozdílným vývojem somatických a fyziologických parametrů v průběhu adolescence. Dalším důvodem může být dřívější ukončení růstu u děvčat.

Shrnutí: Při hodnocení souvislosti věku ukončení tělesného růstu a dosažení limitních hodnot respiračních parametrů jsme zjistili, že u dívek není žádný vztah mezi těmito proměnnými, což je pravděpodobně dáno dřívějším ukončením růstu a rozdílným vývojem somatických a fyziologických parametrů ve sledovaném období. U chlapců existuje významný vztah věku dosažení individuálně vrcholných hodnot VO₂·SF⁻¹, VT, VE a VE·VO₂⁻¹ s věkem ukončení tělesného růstu.

5.4.13 Tělesná výška a respirační parametry

U adolescentních běžkyň a běžců dochází v průběhu dospívání k změnám tělesné výšky (viz kapitola 5.4.1), lze ji tedy považovat za parametr prezentující tělesný vývoj. Prostřednictvím korelační analýzy (tabulka 26) jsme u dívek prokázali významnou souvislost tělesné výšky s hodnotami VO_{2max}, VO₂·SF⁻¹, FVC, VT, VE a VE·VO₂⁻¹. U chlapců byla prokázána

významná souvislost tělesné výšky a těchto respiračních parametrů: $VO_2 \cdot SF^{-1}$, FVC, VT, BF, VE a $VE \cdot VO_2^{-1}$. U parametru $VE \cdot VO_2^{-1}$ se jedná u chlapců o negativní vztah, u dívek o pozitivní.

Tabulka 26.

Hodnota Pearsonova korelačního koeficientu hodnotícího vztah tělesné výšky a jednotlivých respiračních parametrů

	VO_{2max}	$VO_2 \cdot SF^{-1}$	FVC	VT	BF	VE	$VE \cdot VO_2^{-1}$
dívky	0,251*	0,659*	0,686*	0,676*	0,151	0,821*	0,319*
chlapci	0,171	0,902*	0,814*	0,730*	0,211*	0,797*	-0,340*

Protože je konečná výška postavy významně odlišná u jednotlivých běžkyň (maximální rozdíl 13 cm) i běžců (maximální rozdíl 12 cm), provedli jsme i korelační analýzu u jednotlivých dívek a chlapců. Prostřednictvím korelační analýzy u jednotlivých běžkyň (tabulka 27) jsme prokázali významnou souvislost tělesné výšky s hodnotami $VO_2 \cdot SF^{-1}$ u třinácti ze čtrnácti dívek, s parametrem VT u jedenácti z nich, s hodnotou FVC u deseti dívek, s parametry VO_{2max} u devíti a VE u osmi, u hodnot $VE \cdot VO_2^{-1}$ byl prokázán negativní vztah s tělesnou výškou u dvanácti dívek, ale jen u tří je významný. U parametru BF byla negativní souvislost s tělesnou výškou u dvanácti dívek, jen u tří byla významná. U všech chlapců jsme zjistili významnou korelaci s výškou v parametrech $VO_2 \cdot SF^{-1}$, FVC a VT, u devíti z deseti chlapců u hodnot VE, u čtyř chlapců u parametru VO_{2max} (tabulka 28). U hodnot $VE \cdot VO_2^{-1}$ byl prokázán u devíti z deseti negativní vztah s výškou, ale jen u dvou je významný. U parametru BF je vztah pozitivní u šesti chlapců (z toho u dvou významný) a u čtyř negativní (z toho jeden významný).

Tabulka 27.

Hodnota Pearsonova korelačního koeficientu určujícího vztah tělesné výšky a jednotlivých respiračních parametrů u dívek

dívky	VO_{2max}	$VO_2 \cdot SF^{-1}$	FVC	VT	BF	VE	$VE \cdot VO_2^{-1}$	počet pozorování	kritická hodnota
A	0,536	0,847*	0,553	0,883*	-0,283	0,600	-0,132	10	0,632
B	0,701*	0,941*	0,962*	0,960*	-0,437*	0,893*	-0,767*	27	0,381
C	0,446*	0,660*	0,611*	0,750*	-0,709*	0,280	-0,293	27	0,381
D	0,209	-0,119	-0,258	-0,165	0,304	0,360	0,396	16	0,497
E	0,464*	0,658*	0,255	0,600*	-0,537	0,160	-0,550*	24	0,404
F	0,333	0,538*	0,630*	0,297	-0,153	0,552*	-0,326	23	0,413
G	0,522*	0,829*	0,810*	0,778*	-0,216	0,684*	-0,348	20	0,444
H	0,530*	0,500*	0,614*	0,670*	-0,227	0,539*	-0,067	40	0,312
I	0,093	0,779*	0,835*	0,709*	-0,328	0,319	-0,188	28	0,374
J	0,800*	0,686*	0,732*	0,201	-0,175	0,409	-0,481	15	0,514
K	0,501*	0,744*	0,426	0,691*	0,095	0,559*	-0,058	16	0,497
L	0,466*	0,665*	0,345*	0,648*	-0,550*	0,671*	-0,150	37	0,324
M	0,138	0,540*	0,402*	0,627*	-0,301	0,425*	0,003	38	0,320
N	0,623*	0,654*	0,647*	0,460*	-0,186	0,723*	-0,703*	26	0,388

Pozn.: * – významný vztah ($p < 0,05$)

Tabulka 28.

Hodnota Pearsonova korelačního koeficientu určujícího vztah tělesné výšky a jednotlivých respiračních parametrů u chlapců

chlapci	VO _{2max}	VO ₂ ·SF ⁻¹	FVC	VT	BF	VE	VE·VO ₂ ⁻¹	počet pozorování	kritická hodnota
O	0,662*	0,956*	0,889*	0,936*	0,586*	0,948*	0,021	58	0,258
P	0,323	0,624*	0,824*	0,863*	0,439*	0,664*	-0,037	21	0,433
Q	0,514*	0,800*	0,805*	0,620*	0,287	0,866*	-0,364	28	0,374
R	0,352	0,620*	0,663*	0,705*	-0,756*	0,333	-0,464*	28	0,374
S	0,174	0,945*	0,769*	0,952*	0,159	0,917*	-0,329	34	0,339
T	0,600*	0,695*	0,607*	0,617*	-0,190	0,730*	-0,368	17	0,482
U	0,218	0,864*	0,770*	0,601*	0,201	0,937*	-0,101	16	0,497
V	0,294	0,773*	0,870*	0,936*	-0,506*	0,781*	-0,066	25	0,396
W	0,421*	0,712*	0,644*	0,540*	0,198	0,668*	-0,207	47	0,287
X	0,387	0,921*	0,857*	0,885*	-0,593*	0,657*	-0,713*	22	0,423

Pozn.: * – významný vztah ($p < 0,05$)

Tělesná výška má významný vztah u adolescentních běžkyň s několika respiračními parametry: VO₂·SF⁻¹, VT, FVC. U chlapců se stejnými parametry, navíc ještě s VE.

Shrnutí: Některé respirační parametry mají v průběhu dospívání významný vztah s tělesnou výškou. Je pravděpodobné, že prokázaná významnost tělesné výšky může být spojená s vývojem, který představuje v daném věku i tělesný vývoj. To je využitelné pro analýzu aktuálního stavu, vhodnou interpretaci vývoje jedinců a jejich fyziologických a somatických změn a také pro predikci dalšího vývoje. U dívek se jedná zejména o parametry: VO₂·SF⁻¹, VT, FVC, VO_{2max} a částečně u VE. U chlapců VO₂·SF⁻¹, FVC, VT a VE. Existují mezipohlavní rozdíly, které jsou dané odlišným průběhem dospívání a odlišnými somatickými a fyziologickými změnami v průběhu dospívání. Přesto existují parametry (VO₂·SF⁻¹, VT, FVC), které mají u obou pohlaví významný vztah s tělesnou výškou.

6 Diskuze

Cílem tréninkového procesu v bězích na střední a dlouhé tratě je připravit organismus na podání limitního výkonu (Neumann et al., 2000; Noakes, 2003; McArdle et al., 2016; Bahenský, 2018). Mimo předpokladů ekonomiky pohybu je výkonnost v běžeckých disciplínách podmíněna určitou úrovní parametrů, které souvisejí s výkonem (resp. s energetickým výdejem), patří mezi ně i respirační parametry. Úroveň respiračních parametrů a stav dýchací soustavy mají vliv na úroveň výkonu ve vytrvalostním sportu, ale i na vytrvalostní aktivity běžné populace. Jsou nezbytnou podmínkou, ale ne jedinou (Bunc, 1989; Neumann et al., 2000; Amann, 2012). Úroveň respiračních parametrů ovlivňuje dodávku O_2 do svalů podílejících se na pohybu a v důsledku toho má vliv na rozvoj únavy při zátěži a na aerobní kapacitu organismu (Amann, 2012), existují rozdíly mezi chlapci a dívkami (Armstrong & Welsman, 2007; Máček & Radvanský, 2011; Kenney et al., 2015). To se potvrdilo i v naší studii. V průběhu dospívání dochází k jejich vývoji, společně s vývojem somatických parametrů ovlivňují i aktuální výkonnost.

Některé fyziologické a somatické parametry determinují výkonnost v bězích na střední a dlouhé tratě (Dovalil et al., 2005; Powers, 2014; Kenney et al., 2015). Vytrvalostní sportovci mají oproti běžné populaci vyšší hodnotu VO_{2max} a dalších respiračních parametrů již před započítáním systematického tréninku, což může být dáno vrozenými dispozicemi i předchozí spontánní aktivitou. Po zařazení systematického tréninku se respirační parametry ještě dále rozvíjejí, dostávají se na významně vyšší úroveň než u nesportující populace (Bouchard et al., 1981; Neumann et al., 2000; Bahenský & Bunc, 2018). U sportujících dívek jsou dosaženy nejvyšší hodnoty respiračních parametrů ve věku 17–18 let, u sportujících chlapců mezi 16,5–19 let, což je v souladu s již publikovanými závěry (McMurray et al., 2002; Armstrong et al., 2011; Kemper et al., 2013; Nes et al., 2013; Welde et al., 2020). Oproti běžné populaci tedy dochází ke zlepšování respiračních parametrů do pozdějšího věku, než je popsáno v literatuře (McMurray et al., 2002; Armstrong et al., 2011; Kemper et al., 2013; Nes et al., 2013; Welde et al., 2020). Např. u netrénujících dívek dochází k poklesu relativních hodnot VO_{2max} okolo 14. roku věku (Rowland et al., 1997; Bar-Or & Rowland, 2004; Máček & Radvanský, 2011; Armstrong & Welsman, 2019).

Některé parametry jsou po celou dobu u sledovaných jedinců nadprůměrné (VO_{2max} , $VO_2 \cdot SF^{-1}$, BF a VE), což souvisí s vyšší potřebou kyslíku u vytrvalostních sportovců. U některých parametrů nedosahují u části jedinců naměřené hodnoty úrovně normy, ale vlivem absolvovaného vytrvalostního tréninku dochází ke zlepšení naměřených hodnot (FVC a VT). Je otázkou, proč u těchto dvou hodnot dosahují sledovaní adolescentní běžci nižších hodnot, na to by byla potřeba dalšího výzkumu. Je ale pravděpodobné, že potřebný minutový respirační objem je zajištěn primárně zvýšenou dechovou frekvencí, což může být v důsledku zapojení dýchacích svalů do držení těla při běhu (Hodges et al., 1997; Hodges & Gandevia, 2000; Chaitow et al., 2002). Dalším důvodem bude ovlivnění dechové frekvence rytmem běhu, který souvisí s rytmem dýchání. Většina běžců používá při pomalém běhu rytmus dýchání 3-3 (nádech na tři kroky a výdech na 3 kroky) nebo rytmus 2-2, který je více využíván u elitních běžců, případně 1-2 či 2-1 při velmi intenzivním běhu (Daniels, 2013). Při této dechové frekvenci je obtížné využít větší objem plic, z toho důvodu nedosahují běžci při běhu vyšších hodnot VT. Je možné, že díky absolvovanému tréninkovému zatížení je vytvořen tento

stereotyp. Přesto dochází vlivem běžického vytrvalostního tréninku k významnému nárůstu hodnot VT a nevýznamnému poklesu hodnot BF. S hodnotou VT pravděpodobně souvisí i hodnota FVC. Takto nastavený dechový vzor lze částečně změnit prostřednictvím dechových cvičení. Obecně platí, že aerobní trénink vede ke zlepšení o 5–6 % VO_{2max} u dětí nebo dospívajících (LeMura et al., 1999), u studií s významným tréninkovým efektem je zaznamenáno průměrné zlepšení VO_{2max} o 8–10 % (např. Baquet et al., 2002). Již publikované výsledky naznačují, že pro významné zlepšení VO_{2max} je nezbytné tréninkové intenzity vyšší než 80 % maximální srdeční frekvence (Baquet et al., 2003). V naší studii jsme zaznamenali při krátkodobé (jedenáctidenní) intervenci zlepšení VO_{2max} o 12,2 %, což je nad horní hranici již publikovaných hodnot. Při dlouhodobé (cca čtyřleté) intervenci běžického tréninku jsme zaznamenali zlepšení hodnot VO_{2max} u dívek o 21,4 %, u chlapců o 11,9 %. Pokud vyloučíme vliv dospívání, došlo u dívek ke zlepšení o 20,8 %, u chlapců o 14,4 %. K tomuto významnému zlepšení došlo i přesto, že vstupní hodnoty sledovaných běžců a běžkyň byly nadprůměrné (Armstrong & Barker, 2011). V důsledku dlouhodobého běžického tréninku dochází k významnému ovlivnění i dalších respiračních parametrů, které souvisejí s vytrvalostní pohybovou aktivitou u dívek i u chlapců, což je v souladu s publikovanými závěry (Richards et al., 2009; Welde et al., 2020). Dochází také k významnému zvýšení hodnot $VO_2 \cdot SF^{-1}$ (o 31,5 % u dívek, o 42,1 % u chlapců), FVC (o 23,4 % u dívek, o 33,1 % u chlapců), VT (o 25,8 % u dívek, o 35,7 % u chlapců) a VE (o 25,2 % u dívek, 46,9 % u chlapců). Ke zlepšení těchto hodnot dochází, i pokud vyřadíme vliv přirozeného vývoje v důsledku dospívání na sledované parametry. Změny způsobené vytrvalostním běžickým tréninkem převyšují změny způsobené přirozeným vývojem a jsou významné i přesto, že již vstupní hodnoty většiny sledovaných parametrů jsou vysoce nadprůměrné (s výjimkou FVC a VT – u těchto parametrů jsou referenční hodnoty na sobě závislé). Hodnoty $VO_2 \cdot SF^{-1}$ vzrostly za dobu sledování o 21,6 % u dívek, o 16,2 % u chlapců, FVC o 22,2 % u dívek, o 22,6 % u chlapců, VT o 25,3 % u dívek, o 23,6 % u chlapců a VE o 31,1 % u dívek, 49,1 % u chlapců. Tím byla potvrzena hypotéza **H1**.

Vztah úrovně VO_{2max} a výkonnostní úrovně je již prokázán (Neumann et al., 2000; Kenney et al., 2015). Abychom minimalizovali vliv mezidenní biologické variability, která dosahuje přibližně 3,5 % (Knaier et al., 2019), dle některých autorů až 5,6 % (Katch et al., 1982; Baquet et al., 2003), provedli jsme i regresní a korelační analýzu všech průběžně naměřených hodnot respiračních parametrů a dosažených výkonů v rámci sledovaného tří až pětiletého období. Pro možnost hodnocení jsme použili tabulky hodnotící všechny atletické disciplíny, tzv. „Maďarské tabulky“, resp. IAAF scoring tables of athletics (IAAF Council, 2001). Nejsou dokonalým nástrojem na hodnocení výkonů, ale neexistuje jiná lepší možnost, jak porovnat úroveň výkonů napříč atletickými disciplínami. V naší studii jsme prostřednictvím korelační a regresní analýzy také potvrdili významný vliv VO_{2max} na výkon (Neumann et al., 2000; Kyröläinen et al., 2001; Saunders et al., 2004; Jones, 2006; Bahenský & Bunc, 2018). Ale také jsme prokázali, že na výkon v běžích na střední a dlouhé tratě u adolescentních běžců mají významný vliv další respirační parametry. Velmi těsná závislost je zjištěna u parametru $VO_2 \cdot SF^{-1}$, který má samozřejmě souvislost s hodnotou VO_{2max} a SF. Na růst této hodnoty má i sportovní bradykardie, tzv. běžické srdce (Noakes, 2003; McArdle et al., 2016). Dalším parametrem, který má významný vliv na běžický výkon je VE, který prezentuje kapacitu dýchacího systému. Jeho hodnota je dána hodnotou VT a BF. Vliv VT na běžický výkon je významný, vliv BF je prokázán pouze u chlapců, u dívek není významný. Vliv $VE \cdot VO_2^{-1}$ není

významný ani u chlapců ani u dívek. Nejvyšší koeficient determinace byl zaznamenán u dívek u parametru VO_{2max} a u chlapců u parametrů $VO_2 \cdot SF^{-1}$ a VE. Vysoký koeficient determinace je zaznamenán i u dalších výše uvedených parametrů, což je dáno tím, že spolu parametry vzájemně souvisejí.

Genderové rozdíly ve vlivných parametrech jsou pravděpodobně dány somatickými rozdíly mezi chlapci a dívkami (zejména množství tukové hmoty) a rozdílným vývojem fyziologických parametrů (zejména množství krve, hemoglobinu, erytrocytů, ...) v průběhu dospívání (Santisteban et al., 2022). Průběh výkonnostní úrovně u dívek a chlapců v období dospívání je odlišný, ovlivňují ji vývojové změny organismu v průběhu dospívání (Andersen et al., 1987; Andersen & Haraldsdottir, 1993; Kolle et al., 2010; Armstrong et al., 2011; Nes et al., 2013). U dívek je tělesný růst ukončen dříve než u chlapců, vývoj somatických parametrů (zejména svalové a tukové hmoty) v průběhu dospívání je odlišný. U chlapců ovlivňují somatické a fyziologické změny v průběhu adolescence výkonnostní úroveň převážně pozitivně, u dívek je tento vliv komplikovanější, ne vždy pozitivní (Andersen et al., 1987; Kolle et al., 2010; Armstrong et al., 2011; Nes et al., 2013). Přesto dochází v důsledku dlouhodobého běžického tréninku u adolescentních běžců (chlapců i dívek) k významnému zlepšení výkonnostní úrovně i zlepšení úrovně sledovaných respiračních parametrů. Tyto respirační parametry mají významný vliv na výkonnostní úroveň v běžích na střední a dlouhé tratě, tím jsme potvrdili hypotézu **H2**. Přestože byl vývoj respiračních parametrů ukončen u dívek ve věku 17–18 let, u chlapců mezi 16,5–19 lety, výkonnostní růst dále pokračuje. Z toho také vyplývá, že pro podání limitního výkonu v běžích na střední a dlouhé tratě je potřeba optimální úroveň respiračních parametrů, ne maximální.

Protože byli předmětem našeho zkoumání adolescentní sportovci, u nichž ještě nebyl ukončen tělesný růst, provedli jsme také analýzu vlivu tělesné výšky na respirační parametry. U dívek dochází k ukončení nárůstu respiračních parametrů do jednoho roku od ukončení růstu, u chlapců je situace srovnatelná. Prokázali jsme významný vztah tělesné výšky a hodnot $VO_2 \cdot SF^{-1}$, VT, FVC u dívek i chlapců, u chlapců navíc i u parametru VE. V literatuře je potvrzeno, že fyziologické parametry mají souvislost se somatickými parametry (Eston & Reilly, 2009, McArdle et al., 2016). Ve studii Šprynarové et al. (1987) byla prokázána u 11–18letých chlapců souvislost tělesné výšky a hodnoty VO_{2max} , to se v naší studii potvrdilo pouze u dívek. Je prokázána souvislost respiračních parametrů (FVC, VT) s BMI (Bhatti et al., 2019), ještě silnější je závislost parametrů FVC a VT na tělesné výšce (Bhatti et al., 2014; Seresht et al., 2014). V naší studii jsme tyto závěry potvrdili, navíc jsme zjistili také vztah tělesné výšky a parametru $VO_2 \cdot SF^{-1}$, resp. VE. U parametru $VE \cdot VO_2^{-1}$ je u chlapců prokázána negativní významná souvislost s tělesnou výškou, u dívek je tato závislost pozitivní. To může souviset se somatickými změnami v průběhu dospívání. Tím jsme potvrdili hypotézu **H3**. Také jsme ale prokázali, že ukončení tělesného růstu neznamena automaticky ukončení rozvoje respiračních parametrů, což je v souladu s procesy, které probíhají v průběhu dospívání a později (Armstrong & Welsman, 2007; Máček & Radvanský, 2011; Kenney et al., 2015). U dívek není významná souvislost mezi věkem ukončení tělesného růstu a věkem dosažení vrcholné úrovně v respiračních parametrech. Jedním z důvodů ale může být, že věk ukončení růstu u děvčat ($16,4 \pm 0,9$ roku) je v polovině doby sledování (14–19 let), u některých dokonce ještě dříve. U chlapců jsme prokázali významnou souvislost věku ukončení tělesného růstu a věku vrcholné úrovně těchto respiračních parametrů: $VO_2 \cdot SF^{-1}$, VT, VE a $VE \cdot VO_2^{-1}$. U parametru VO_{2max} a BF

není tato souvislost významná. To je využitelné v tréninkové praxi, kde mají tyto skutečnosti dopad na zatěžování, při výběru talentů, v diagnostice. V průběhu dospívání lze prostřednictvím systematického tréninkového procesu respirační parametry ovlivnit lépe, ale možnost ovlivnění je i v dospělosti (Neumann et al., 2000; Máček & Radvanský, 2011; McArdle et al., 2016; Heller, 2018).

Respirační parametry jsou ovlivnitelné i prostřednictvím krátkodobé intervence. Efekt krátkodobé intervence se projevuje po určitou dobu, pokud je intervence dlouhodobá, může ovlivnit parametry trvaleji (Máček & Radvanský, 2011; Kenney et al., 2015). V naší studii jsme prokázali, že vybrané respirační parametry lze ovlivnit v průběhu krátkodobé intervence běžického tréninku ve zvýšené nadmořské výšce v délce trvání cca jedenácti dnů a také v průběhu dvouměsíčního tréninku dechových cvičení založených na józe. Některé parametry lze tedy ovlivnit i specifickou krátkodobou intervencí, při dlouhodobé intervenci lze vyvolat dlouhodobější změny. Longitudinální běžický trénink může ovlivnit vybrané respirační parametry adolescentních chlapců a dívek. Platí také, že respirační parametry mají souvislost s výkonnostní úrovní, jsou tedy determinanty výkonu. Předmětem této práce bylo zjistit efekt zvolené intervence, ale neřešila, jak dlouho bude efekt odeznívat. Nárůst parametrů je ale vždy jen dočasný (Máček & Radvanský, 2011; Kenney et al., 2015). Prostřednictvím osmitýdenní intervence dechových cvičení založených na józe došlo k významnému zlepšení respiračních parametrů, které souvisí s kvalitou, resp. s ekonomikou dýchání, a to jak v klidu (FVC), tak i při submaximální intenzitě (VT a BF). To je v souladu s poznatky dalších studií, které primárně zkoumaly změnu dechového vzoru (Ozmen et al., 2017; Bahenský et al., 2019; Bahenský et al., 2019a; Bahenský et al., 2020; Bahenský et al., 2021). V těchto studiích ale nebyly měřeny a hodnoceny všechny respirační parametry, ale pouze VT, BF a VE. Zvýšení VT a snížení BF při zachování VE je znakem lepší ekonomiky dýchání (McArdle et al., 2016). Změna těchto parametrů může souviset i se změnou dechového vzoru v důsledku realizované intervence (Bahenský et al., 2020; Bahenský et al., 2021). Prostřednictvím použité intervence lze zlepšit úroveň dechového objemu trénovaných běžců, což je důležité zjištění pro praxi vzhledem k faktu, že ve věku 14–15 let většina běžců a běžkyň nedosahuje ani na průměrné hodnoty. Na dalších parametrech (VO_{2max} , $VO_2 \cdot SF^{-1}$, VE, či $VE \cdot VO_2^{-1}$) se zvolená intervence neprojevila, nemá tedy prokazatelný vliv na hodnoty přímo související s dosaženým výkonem při testu spiroergometrie, nebylo dosaženo podnětového prahu. Vliv na výkon běžců na střední a dlouhé tratě jsme nezjišťovali, neprokázali jsme ani významnou změnu parametrů přímo souvisejících s výkonem (VO_{2max}), což je v souladu s již publikovanými závěry. Krátkodobý (několikatýdenní) trénink dýchacích svalů nemá vliv na vytrvalostní výkonnost (Wells et al., 2005; Ozmen et al., 2017). Přesto jsme prokázali významný vliv osmitýdenní intervence dechových cvičení založených na józe na respirační parametry FVC, VT a BF. Tím jsme potvrdili hypotézu **H4**. Protože dýchací svaly spotřebovávají cca 10 % energie potřebné pro pohyb při vysoké intenzitě zatížení (McArdle et al., 2016), bylo by zajímavé zjistit, zda by dlouhodobější aplikace této intervence měla vliv i na parametry spojené s příjmem kyslíku.

Trénink ve zvýšené nadmořské výšce je jedním ze základních pilířů běžického tréninku (Burtscher et al., 1996; Bonetti & Hopkins, 2009; Diebel et al., 2017). Obecně platí, že nejvhodnější nadmořská výška pro trénink běžců na střední a dlouhé tratě je okolo 2 000 m n. m. či o něco níže (Gore et al., 2001; Noakes, 2003; Wilber, 2004; Saunders et al., 2009; Wachsmuth et al., 2013), pro mládež je doporučována i nižší (Pahud, 1986; Buchheit et al.,

2012; Saltin et al., 1995; Bahenský & Suchý, 2015). Přestože v nadmořské výšce ~1 000 m n. m. jsou podmínky jen mírně odlišné od prostředí, ve kterém sledovaní sportovci žijí trvale (~400 m n. m.), lze prostřednictvím jedenáctidenního soustředění významně ovlivnit vybrané respirační parametry. Otázkou je, zda by delší intervence v těchto podmínkách vyvolala významnější změny, protože jako optimální délka tréninkového kempu je doporučováno 3–4 týdny (Levine & Stray-Gundersen, 1997; Heinicke et al., 2005; Suchý, 2012). V důsledku tréninku, který sportovci realizují v průběhu jedenáctidenního tréninkového kempu ve střední nadmořské výšce (~1 000 m n. m.), dochází k významné změně VO_{2max} , $VO_2 \cdot SF^{-1}$ a FVC. Tím byla potvrzena hypotéza **H5**. U hodnoty VO_{2max} došlo k navýšení o 5,24 %. Takovéto zlepšení je popsáno i v důsledku dalších typů intervencí (Baquet et al., 2003), ale zde se jedná o delší intervence a již trénované jedince s vysokou vstupní hodnotou VO_{2max} . U dalších respiračních parametrů (VE, $VE \cdot VO_2^{-1}$, VT a BF) nedošlo k významné změně. Změna VO_{2max} ve střední nadmořské výšce je již v literatuře doložena (Bahenský & Malátová, 2018), v této již publikované studii ale nebyly hodnoceny další respirační parametry, pouze VO_{2max} a $VO_2 \cdot SF^{-1}$.

V nadmořské výšce ~1850 m n. m. jsou podmínky pro pobyt a pro trénink náročnější, náročnost se zvyšuje s rostoucí nadmořskou výškou. Tento typ intervence je ve vrcholovém sportu, zejména vytrvalostním, velmi rozšířen. Je prokázán jeho významný vliv na výkonnostní úroveň (Burtscher et al., 1996; Bonetti & Hopkins, 2009; Diebel et al., 2017; Bahenský & Grosicki, 2021). Opět je otázkou délka intervence, námi zvolená délka soustředění je pod doporučenou hranicí (Levine & Stray-Gundersen, 1997; Heinicke et al., 2005; Suchý, 2012). Přesto došlo k významné změně respiračních parametrů. U parametrů FVC, BF a $VE \cdot VO_2^{-1}$ nejsou zaznamenané změny významné, ale v důsledku jedenáctidenního tréninkového kempu došlo k významným změnám VO_{2max} , $VO_2 \cdot SF^{-1}$, VT a VE. Hodnota VO_{2max} narostla v důsledku tréninku ve vyšší nadmořské výšce o 12,22 %, což převyšuje většinu publikovaných výsledků za srovnatelnou délku intervence (Levine & Stray-Gundersen, 1997; Baquet et al., 2003; Suchý & Opočenský, 2015; Bahenský et al., 2020a) a významně převyšuje také námi zjištěný nárůst hodnot ve střední nadmořské výšce za stejnou dobu srovnatelné intervence. Tento nárůst je mimořádný, jedním z vlivů byl disciplinovaný přístup běžců a běžkyň a důsledná individualizace tréninku. Podobná situace je i u parametru $VO_2 \cdot SF^{-1}$, kdy ve vyšší nadmořské výšce dochází k nárůstu o 10,90 % (ve střední nadmořské výšce o 4,29 %) a parametru VE, kdy je zaznamenán nárůst ve vyšší nadmořské výšce o 12,38 %, oproti 3,82 % ve střední nadmořské výšce. Hodnota VT vzrostla v důsledku tréninku ve vyšší nadmořské výšce o 6,42 %, ve střední nadmořské výšce poklesla o 0,87 %. Není jasná příčina snížení hodnoty VT v důsledku tréninkového kempu ve střední nadmořské výšce, ale domníváme se, že by na tuto skutečnost mohlo mít vliv velmi chladné a vlhké počasí, které panovalo v průběhu tohoto soustředění. To mohlo mírně ovlivnit zdravotní stav účastníků soustředění, i když nikdo nenahlásil neonemocnění. Dechová frekvence se zvýšila jak v důsledku soustředění ve vyšší nadmořské výšce (o 7,52 %), tak v důsledku soustředění ve střední nadmořské výšce (o 5,53 %).

Potvrdili jsme, že v důsledku tréninku ve zvýšené nadmořské výšce (v ~1 000 m i v ~1850 m n. m.) dochází k významné změně parametrů, které jsou přímo spojené s vytrvalostní výkonnostní úrovní VO_{2max} a $VO_2 \cdot SF^{-1}$. V důsledku tréninkového kempu ve střední nadmořské výšce došlo navíc k významnému zlepšení FVC, k němuž ale nedošlo v důsledku tréninkového pobytu ve vyšší nadmořské výšce. Vlivem tréninkového kempu ve vyšší nadmořské výšce došlo ještě ke zvýšení VT a VE, což pravděpodobně souvisí s nižší hodnotou parciálního tlaku O_2 ve

vyšší nadmořské výšce. Kvalitativně jsou změny parametrů větší ve vyšší nadmořské výšce než ve střední, podstatnou roli ale hraje stanovení optimální intenzity a objemu zatížení. Ve většině publikovaných studií je ale hodnoceno pouze VO_{2max} , výjimečně i některý jiný respirační parametr. Trénink ve vyšší nadmořské výšce ovlivňuje výkonnostní úroveň (Burtscher et al., 1996; Bonetti & Hopkins, 2009; Diebel et al., 2017; Bahenský et al., 2020a; Bahenský & Grosicki, 2021), ale také vybrané respirační parametry. Tím byla potvrzena hypotéza **H6**.

Zajímavé by také bylo zpracovat data o dalším vývoji po 19. roku věku, ta ale nejsou u všech sledovaných k dispozici, protože jsme u většiny sledovaných sportovců ukončili sběr dat ve věku 19 let. Dosažení dospělosti je také období, kdy nejvíce atletů mění své působiště (nová škola, vstup do střediska, ...) nebo končí svoji kariéru. V tuto dobu se blíží v bězích na střední a dlouhé tratě období vrcholné výkonnosti, v závislosti na disciplíně a genderu je obvykle mezi 22 a 28 lety (Bahenský, 2021).

7 Limity práce

Mezi hlavní limity práce patří chybějící kontrolní skupina u longitudinální studie. Mezi limity longitudinální studie také patří:

- záměrný výběr – vzorek není reprezentativní,
- nejednotný věk na začátku sledování u jednotlivých účastníků,
- nejednotná sportovní historie účastníků před začátkem sledování,
- různá vstupní výkonnostní úroveň,
- postupný vstup účastníků do výzkumu,
- relativní stáří použitých referenčních hodnot ukončení růstu (z roku 2001) – to ale nehraje roli při hodnocení trendů (novější relevantní data však nejsou dostupná),
- některé referenční hodnoty nejsou vztažené ke středoevropské populaci, ty ale nejsou dostupné v potřebném rozsahu a formě,
- neúplnost referenčních hodnot – nejsou stanoveny v potřebné podobě pro parametry VT a $VE \cdot VO_2^{-1}$.

8 Závěr

Přes zmíněné limity práce dokládá nezbytnost a výhody hodnocení respiračních parametrů v průběhu dospívání u adolescentních běžců na střední a dlouhé tratě. Respirační parametry hrají ve vytrvalostních sportech významnou roli, prostřednictvím jejich hodnocení lze individualizovat tréninkové zatížení, hodnotit efekt tréninku a provádět výběr talentů. Prokázali jsme, že respirační parametry u adolescentních běžců a běžkyň je možné ovlivnit jak krátkodobou intervencí (intervencí dechových cvičení o délce osmi týdnů či jedenáctidenním tréninkem ve zvýšené nadmořské výšce), tak dlouhodobým systematickým běžeckým vytrvalostním tréninkem alespoň šestkrát týdně po dobu 3–5 let. Longitudinální běžecký vytrvalostní trénink má významný vliv na respirační parametry (zejména na VO_{2max} , $VO_2 \cdot SF^{-1}$, FVC, VT a VE), tedy i na parametry přímo související s výkonnostní úrovní ve vytrvalostních disciplínách.

Potvrdili jsme, že respirační parametr VO_{2max} má významný vliv na úroveň výkonu adolescentních běžců na střední a dlouhé tratě hodnocenou prostřednictvím tzv. „Maďarských“ tabulek. Představuje nutnou nikoliv postačující podmínku vytrvalostního výkonu. Ale prokázali jsme i velmi silný vliv parametrů $VO_2 \cdot SF^{-1}$, VT, VE a FVC na výkonnostní úroveň. Na úroveň respiračních parametrů mají také vliv somatické parametry, prokázali jsme souvislost výšky postavy s $VO_2 \cdot SF^{-1}$, VT, FVC, VO_{2max} u dívek i u chlapců, u chlapců také s VE.

Osmitýdenní intervence dechových cvičení založených na józe významně pozitivně ovlivnila hodnoty respiračních parametrů ovlivňující kvalitu dýchání při zátěži (VT a BF). Krátkodobé intervence (11 dnů) každodenního dvoufázového běžeckého tréninku přiměřené intenzity ve ztížených podmínkách zvýšené nadmořské výšky (~1 000 m n. m.) mají také významný vliv na respirační parametry VO_{2max} , $VO_2 \cdot SF^{-1}$ a FVC. Tréninkový kemp v nadmořské výšce ~1 850 m n. m. o délce 11 dnů (trénink dvakrát denně) má také významný vliv na respirační parametry VO_{2max} , $VO_2 \cdot SF^{-1}$, VT, BF a VE.

Naše závěry dokládají nezbytnost věnovat se rozvoji respiračních parametrů u sportující mládeže, zejména u vytrvalostních disciplín, včetně běžců na střední a dlouhé tratě. Není potřeba dosažení maximálních hodnot respiračních parametrů, ale dosažení optimálních hodnot je jednou z nezbytných podmínek pro dosažení limitního výkonu.

Referenční seznam

- Aarnio, M., Winter, T., Peltonen, J., Kujala, U. M., & Kaprio, J. (2002). Stability of leisure-time physical activity during adolescence—a longitudinal study among 16-, 17-and 18-year-old Finnish youth. *Scandinavian journal of medicine & science in sports, 12*(3), 179–185.
- Agarwal, D., Chovatiya, R., & Rana, M. (2020). Equanimity in the time of COVID: The past ameliorates the present. *Journal of Clinical Anesthesia, 67*, 110022.
- Aires, L., Pratt, M., Lobelo, F., Marina Santos, R., Paula Santos, M., & Mota, J. (2011). Associations of cardiorespiratory fitness in children and adolescents with physical activity, active commuting to school, and screen time. *Journal of Physical Activity and Health, 8*(2), 198.
- Aliverti, A. (2016). The respiratory muscles during exercise. *Breathe, 12*(2), 165–168.
- Altavilla, G., Furino, F., Di Palmo, M., & Raiola, G. (2015). The child hypokinetic and the overtrained. *Sport Science, 8*(1), 72–74.
- Amann, M. (2012). Pulmonary system limitations to endurance exercise performance in humans. *Experimental physiology, 97*(3), 311–318.
- American College of Sports Medicine. (2018). *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription, 10th ed.* Wolters Kluwer: Philadelphia, PA, USA.
- American Thoracic Society. (2003). ATS/ACCP statement on cardiopulmonary exercise testing. *American journal of respiratory and critical care medicine, 167*(2), 211–277.
- Andersen, L. B., & Haraldsdottir, J. (1993). Tracking of cardiovascular disease risk factors including maximal oxygen uptake and physical activity from late teenage to adulthood An 8-year follow-up study. *Journal of internal medicine, 234*(3), 309–315.
- Andersen, L. B., Henckel, P., & Saltin, B. (1987). Maximal oxygen uptake in Danish adolescents 16–19 years of age. *European journal of applied physiology and occupational physiology, 56*(1), 74–82.
- Armstrong, N. (2019). Youth aerobic fitness. *Pediatric exercise science, 31*(2), 137–143.
- Armstrong, N., & Barker, A. R. (2009). Oxygen uptake kinetics in children and adolescents: a review. *Pediatric Exercise Science, 21*(2), 130–47.
- Armstrong, N., & Barker, A. R. (2011). Endurance training and elite young athletes. *The elite young athlete, 56*, 59–83.
- Armstrong, N., & McManus, A. M. (2011). Physiology of elite young male athletes. *The elite young athlete, 56*, 1–22.
- Armstrong, N., & Van Mechelen, W. (Eds.). (2017). *Oxford textbook of children's sport and exercise medicine.* Oxford University Press.
- Armstrong, N., & Welsman, J. (2019). Clarity and confusion in the development of youth aerobic fitness. *Frontiers in physiology, 10*, 979.
- Armstrong, N., & Welsman, J. (2019a). Development of peak oxygen uptake from 11–16 years determined using both treadmill and cycle ergometry. *European journal of applied physiology, 119*(3), 801–812.
- Armstrong, N., & Welsman, J. (2019b). Sex-specific longitudinal modeling of short-term power in 11-to 18-year-olds. *Medicine and science in sports and exercise, 51*(5), 1055.
- Armstrong, N., & Welsman, J. R. (1994). Assessment and interpretation of aerobic fitness in children and adolescents. *Exercise and sport sciences reviews, 22*, 435–476.

- Armstrong, N., & Welsman, J. R. (2006). The physical activity patterns of European youth with reference to methods of assessment. *Sports medicine*, 36(12), 1067–1086.
- Armstrong, N., & Welsman, J. R. (2007). Aerobic fitness: what are we measuring? *Pediatric Fitness*, 50, 5–25.
- Armstrong, N., Tomkinson, G., & Ekelund, U. (2011). Aerobic fitness and its relationship to sport, exercise training and habitual physical activity during youth. *British journal of sports medicine*, 45(11), 849–858.
- Artero, E. G., Jackson, A. S., Sui, X., Lee, D. C., O'Connor, D. P., Lavie, C. J., ... & Blair, S. N. (2014). Longitudinal algorithms to estimate cardiorespiratory fitness: associations with nonfatal cardiovascular disease and disease-specific mortality. *Journal of the American College of Cardiology*, 63(21), 2289–2296.
- Aspenes, S. T., Nilsen, T. I., Skaug, E. A., Bertheussen, G. F., Ellingsen, Ø., Vatten, L., & Wisløff, U. (2011). Peak oxygen uptake and cardiovascular risk factors in 4631 healthy women and men. *Medicine and science in sports and exercise*, 43(8), 1465–1473.
- Åstrand, P. O., & Rodahl, K. (1986). *Textbook of Work Physiology*. New York: McGraw Hill.
- Åstrand, P. O., Rodahl, K., Dahl, H., & Strømme, S. B. (2003). *Textbook of work physiology: physiological bases of exercise*. Human kinetics.
- Bahenský, P., & Suchý, J. (2015). Vliv sedmidenního tréninkového kempu ve vyšší nadmořské výšce na vybrané funkční a biochemické parametry mladých běžců. *Studia Sportiva*, 9(1), 63–72.
- Bahenský, P., & Bunc, V. (2018). *Trénink mládeže v běžích na střední a dlouhé tratě*. Karolinum.
- Bahenský, P., & Malátová, R. (2018). Fyziologické, biochemické a výkonnostní změny u adolescentních běžců vlivem 10-denního tréninkového kempu v 1040 m n. m. *Studia Kineanthropologica*, 19(3), 147–157.
- Bahenský, P., Malátová, R., & Bunc, V. (2019). Changed dynamic ventilation parameters as a result of a breathing exercise intervention program. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 59(8), 1369–1375.
- Bahenský, P., Hermann, T., & Malátová, R. (2019a). Breathing pattern during load and its change due to interventional program of breathing exercise. *Sport and Quality of Life* 7.–9. 11. 2019, 133.
- Bahenský, P., Bunc, V., Marko, D., & Malátová, R. (2020). Dynamics of ventilation parameters at different load intensities and the options to influence it by a breathing exercise. *Fit Journal of Science in Sport and Exercise*, 60, 1101–1109.
- Bahenský, P., Bunc, V., Tlustý, P., & Grosicki, G. J. (2020a). Effect of an eleven-day altitude training program on aerobic and anaerobic performance in adolescent runners. *Medicina*, 56(4), 184.
- Bahenský, P., Marko, D., Grosicki, J. G., & Malátová, R. (2020b). Warm-up breathing exercises accelerate VO₂ kinetics and reduce subjective strain during incremental cycling exercise in adolescents. *Journal of Physical Education and Sport*, 20(6), 3361–3367.
- Bahenský, P., & Tlustý, T. (2020). Age of peak performance of elite men in middle-and long distance running in the Czech Republic between 1945–2019. *Journal of Education, Health and Sport*, 10(5), 180–189.
- Bahenský, P., & Grosicki, J. G. (2021). Superior Adaptations in Adolescent Runners Using Heart Rate Variability (HRV)-Guided Training at Altitude. *Biosensors*, 11(3), 77.

- Bahenský, P. (2021). *Vývoj výkonnostní úrovně v běžích na střední a dlouhé tratě na území České republiky od roku 1945 po současnost*. Pedagogická fakulta Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích.
- Bahenský, P., Bunc, V., Malátová, R., Marko, D., Grosicki, G. J., & Schuster, J. (2021). Impact of a breathing intervention on engagement of abdominal, thoracic, and subclavian musculature during exercise, a randomized trial. *Journal of clinical medicine*, 10(16), 3514.
- Bahenský, P., Marko, D., Krajcigr, M., & Schuster, J. (2021a). *Fyziologie tělesných cvičení*. Pedagogická fakulta Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích.
- Balyi, I., & Williams, C. A. (2009). *Coaching the young developing performer: Tracking physical growth and development to inform coaching programmes*. Coachwise 1st4sport.
- Bar-Or, O., & Rowland, T. W. (2004). *Pediatric exercise medicine: from physiologic principles to health care application*. Human Kinetics.
- Barker, A. R., & Armstrong, N. (2011). Exercise testing elite young athletes. *The Elite Young Athlete*, 56, 106–125.
- Bangsbo, J., Krstrup, P., Duda, J., Hillman, C., Andersen, L. B., Weiss, M., Williams, C. A., Lintunen, T., Green, K., Hansen, P. R., Naylor, P. J., Ericsson, I., Nielsen, G., Froberg, K., Bugge, A., Lundbye-Jensen, J., Schipperijn, J., Dagkas, S., Agergaard, S., von Seelen, J., Østergaard, C., Skovgaard, T., Busch, H., & Elbe, A. M. (2016). The Copenhagen Consensus Conference 2016: children, youth, and physical activity in schools and during leisure time. *British journal of sports medicine*, 50(19), 1177–1178.
- Baquet, G., Berthoin, S., Dupont, G., Blondel, N., Fabre, C., & Van Praagh, E. (2002). Effects of high intensity intermittent training on peak $\dot{V}O_2$ in prepubertal children. *International journal of sports medicine*, 23(06), 439–444.
- Baquet, G., Van Praagh, E., & Berthoin, S. (2003). Endurance training and aerobic fitness in young people. *Sports medicine*, 33(15), 1127–1143.
- Bartůňková, S., Heller, J., Kohlíková, E., Petr, M., Smitka, K., Štefl, M., & Vránová, J. (2013). *Fyziologie pohybové zátěže*. FTVS UK.
- Bassett, D. R., & Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(1), 70–84.
- Baxter-Jones, A. D., Barbour-Tuck, E. N., Dale, D., Sherar, L. B., Knight, C. J., Cumming, S. P., Ferguson, L., Kowalski, K., & Humbert, M. L. (2020). The role of growth and maturation during adolescence on team-selection and short-term sports participation. *Annals of human biology*, 47(4), 316–323.
- Benchetrit, G. (2000). Breathing pattern in humans: diversity and individuality. *Respiration physiology*, 122(2–3), 123–129.
- Benson, R., & Connolly, D. (2011). *Heart rate training*. Human Kinetics.
- Bergeron, M. F., Mountjoy, M., Armstrong, N., Chia, M., Côté, J., Emery, C. A., Faigenbaum, A., Hall jr., G., Kriemler, S., Léglise, M., Malina, R. M., Pensgaard, A. M., Sanchez, A., Soligard, T., Sundgot-Borgen, J., Mechelen, W., Weissensteiner, J. R., & Engebretsen, L. (2015). International Olympic Committee consensus statement on youth athletic development. *British journal of sports medicine*, 49(13), 843–851.

- Beunen, G. P., Rogers, D. M., Woynarowska, B., & Malina, R. M. (1997). Longitudinal study of ontogenetic allometry of oxygen uptake in boys and girls grouped by maturity status. *Annals of human biology*, 24(1), 33–43.
- Bhatti, U., Rani, K., & Memon, M. Q. (2014). Variation in lung volumes and capacities among young males in relation to height. *Journal of Ayub Medical College Abbottabad*, 26(2), 200–202.
- Bhatti, U., Laghari, Z. A., & Syed, B. M. (2019). Effect of Body Mass Index on respiratory parameters: A cross-sectional analytical Study. *Pakistan Journal of Medical Sciences*, 35(6), 1724.
- Bilo, G., Revera, M., Bussotti, M., Bonacina, D., Styczkiewicz, K., Caldara, G., Giglio, A., Faini, A., Giuliano, A., Lombardi, C., Kawecka-Jaszcz, K., Mancina, G., Agostoni, P., & Parati, G. (2012). Effects of slow deep breathing at high altitude on oxygen saturation, pulmonary and systemic hemodynamics. *PloS one*, 7(11), e49074.
- Bláha, P., Vignerová, J., Riedlová, J., Kobzová, J., Krejčovský, L., & Brabec, M. (2005). 6. celostátní antropologický výzkum dětí a mládeže 2001 Česká republika. SZU.
- Bockenbauer, S. E., Chen, H., Julliard, K. N., & Weedon, J. (2007). Measuring thoracic excursion: reliability of the cloth tape measure technique. *Journal of Osteopathic Medicine*, 107(5), 191–196.
- Bompa, T. O. 2000. *Total Training for Young Champions: Proven conditioning programs for athletes ages 6 to 18*. Human Kinetics.
- Bonetti, D. L. & Hopkins, W. G. (2009). Meta-analysis of sea level performance following adaptation to hypoxia. *Sports Medicine* 39, 107–127.
- Bosquet, L., Montpetit, J., Arvisais, D., & Mujika, I. (2007). Effects of tapering on performance: A meta-analysis. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(8), 1358–1365.
- Bouchard, C., Thibault, M. C., & Jobin, J. (1981). Advances in selected areas of human work physiology. *American Journal of Physical Anthropology*, 24(S2), 1–36.
- Bouchard, C., Stepward, R. J. & Stephens T. (1994). *Physical activity, fitness, and Health*. Human Kinetics, Champaign.
- Bouchard, C., Malina, R. M., & Pérusse, L. (1997). *Genetics of fitness and physical performance*. Human Kinetics.
- Buchan, D. S., Boddy, L. M., Young, J. D., Cooper, S. M., Noakes, T. D., Mahoney, C., Shields, J. P. H., & Baker, J. S. (2015). Relationships between cardiorespiratory and muscular fitness with cardiometabolic risk in adolescents. *Research in Sports Medicine*, 23(3), 227–239.
- Buchheit, M., Kuitunen, S., Voss, S. C., Williams, B., Mendez-Villanueva, A., & Bourdon, P. C. (2012). Physiological strain associated with high-intensity hypoxic intervals in highly trained young runners. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(1), 94–106.
- Bunc, V. (1989). *Biokybernetický přístup k hodnocení reakce organismu na tělesné zatížení*. VÚT UK.
- Bunc, V. (1996). Pohybové aktivity jako prostředek ovlivňování zdravotně orientované zdatnosti. In: Tillinger, P. & Perič, T. (eds.): *Sborník referátů z Národní konference „Tělesná výchova a sport na přelomu století“*, 172–174.
- Bunc, V. (2003). *Determinanty sportovního tréninku dětí a mládeže*. Fakulta tělesné výchovy a sportu UK.

- Bunc, V. (2006). Změny vybraných parametrů tělesného složení a aerobní zdatnosti u vysoce trénovaných fotbalistů v průběhu tréninkového roku. *HRY 2006*, 71.
- Bunc, V. (2009) Diagnostics of sport performance predisposition. *Sci.Rev.Phys. Culture. XII(1)*, 5–14.
- Bunc, V. (2012). Kvantitativní a kvalitativní diagnostika ve hrách. *Hry 2012*, 7.
- Bunc, V. (2013). Functional profile of young trained athletes. *Česká kinantropologie*, 17(4).
- Bunc, V., & Skalská, M. (2012). Chůze jako prostředek ovlivnění zdatnosti a nadváhy nebo obezity. *Studia Kinanthropologica*, 8(3), 180–185.
- Bunc, V., Ejem, M., Kučera, V., & Moravec, P. (1992). Assessment of predispositions for endurance running from field tests. *Journal of sports sciences*, 10(3), 237–242.
- Bureš, M. (1986). *Atletika – běh na 800m a 1500m (ženy)*. ÚV ČSTV.
- Burtscher, M., Nachbauer, W., Baumgartl, P., & Philadelphia, M. (1996). Benefits of training at moderate altitude versus sea level training in amateur runners. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 74(6), 558–563.
- Cahalin, L. P. (2004). *Pulmonary evaluation. Cardiovascular and pulmonary physical therapy*. McGraw-Hill.
- Carney, S. (2017). *What Doesn't Kill Us: How Freezing Water, Extreme Altitude, and Environmental Conditioning Will Renew Our Lost Evolutionary Strength*. Rodale.
- Clifton-Smith, T. (2014). Breathing pattern disorders and the athlete. Breathing pattern disorders and the athlete. In *Recognizing and Treating Breathing Disorders E-Book: A Multidisciplinary Approach*. Churchill Livingstone.
- Cobley, S., Baker, J., Wattie, N., & McKenna, J. (2009). Annual age-grouping and athlete development: a meta-analytical review of relative age effects in sport. *Sports Med.* 39, 235–256.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. (4th ed.). Academic Press.
- Cooper, D. M., Leu, S. Y., Taylor-Lucas, C., Lu, K., Galassetti, P., & Radom-Aizik, S. (2016). Cardiopulmonary exercise testing in children and adolescents with high body mass index. *Pediatric exercise science*, 28(1), 98–108.
- Cooper, D. M., & Weiler-Ravell, D. (1984). Gas exchange response to exercise in children. *American Review of Respiratory Disease*, 129(2P2), S47–S48.
- Courtney, R., & Cohen, M. (2008). Investigating the claims of Konstantin Buteyko M.D., Ph.D: the relationship of breath holding time to end tidal CO₂ and other proposed measures of dysfunctional breathing. *The Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 14(2), 115–123.
- Courtney, R., van Dixhoorn, J., Greenwood, K. M., Anthonissen, E. L. (2011). Medically unexplained dyspnea: partly moderated by dysfunctional (thoracic dominant) breathing pattern. *Journal of Asthma*, 48(3), 259–265.
- Čelíkovský, S. (1990). *Antropomotorika pro studující tělesnou výchovu*. 3. vyd. SPN.
- Daniels, J., Oldridge, N., Nagle, F., & White, B. (1978). Differences and changes in VO₂ among young runners 10 to 18 years of age. *Medicine and Science in Sports*, 10(3), 200–203.
- Daniels, J. (2013). *Daniels' running formula*. Human Kinetics.

- DeFina, L. F., Haskell, W. L., Willis, B. L., Barlow, C. E., Finley, C. E., Levine, B. D., & Cooper, K. H. (2015). Physical activity versus cardiorespiratory fitness: two (partly) distinct components of cardiovascular health? *Progress in cardiovascular diseases*, *57*(4), 324–329.
- Dencker, M., Thorsson, O., Karlsson, M. K., Lindén, C., Wollmer, P., & Andersen, L. B. (2012). Aerobic fitness related to cardiovascular risk factors in young children. *European journal of pediatrics*, *171*(4), 705–710.
- Dengel, D. R., Flynn, M. G., Costill, D. L., & Kirwan, J. P. (1989). Determinants of success during triathlon competition. *Research quarterly for exercise and sport*, *60*(3), 234–238.
- De Waelle, S., De Meester, A., Deconinck, F., & Haerens, L. (2018). Measuring perceived motor competence: a comparison between different instruments. In *23rd Annual congress of the European College of Sport Science (ECSS 2018): Sport science at the cutting edge*. European College of Sport Science.
- Diebel, S. R., Newhouse, I., Thompson, D. S., & Johnson, V. B. (2017). The effects of a 10-day altitude training camp at 1828 meters on varsity cross-country runners. *International journal of exercise science*, *10*(1), 97.
- Di Paco, A., Dubé, B. P., & Laveneziana, P. (2017). Changes in ventilatory response to exercise in trained athletes: Respiratory physiological benefits beyond cardiovascular performance. *Archivos de Bronconeumología (English Edition)*, *53*(5), 237–244.
- Dill, D. B., & Adams, W. C. (1971). Maximal oxygen uptake at sea level and at 3,090-m altitude in high school champion runners. *Journal of Applied Physiology*, *30*(6), 854–859.
- Dominelli, P. B., Archiza, B., Ramsook, A. H., Mitchell, R. A., Peters, C. M., Molgat-Seon, Y., Henderson, W. R., Koehle, M. S., Boushel, R., & Sheel, A. W. (2017). Effects of respiratory muscle work on respiratory and locomotor blood flow during exercise. *Experimental physiology*, *102*(11), 1535–1547.
- Ďoubal, S., Klemra, P., Filipová, M., & Dolejš, J. (1997). *Teoretická gerontologie*. Praha.
- Dovalil, J., Choutka, M., Svoboda, B., Hošek, V., Perič, T., Potměšil, J., Vránová, J., & Bunc, V. (2005). *Výkon a trénink ve sportu*. Olympia.
- Dylevský, I., Druda, R., & Mrázková, O. (2000). *Funkční anatomie člověka*. Praha: Grada.
- Eisenmann, J. C., Till, K., & Baker, J. (2020). Growth, maturation and youth sports: issues and practical solutions. *Annals of Human Biology*, *47*(4), 324–327.
- Enoksen, E., Tjelta, A. R., & Tjelta, L. I. (2011). Distribution of Training Volume and Intensity of Elite Male and Female Track and Marathon Runners. *International Journal of Sports Science & Coaching*, *6*(2), 273–293.
- Eston, R. G., & Reilly, T. (2009). *Kinanthropometry and exercise physiology laboratory manual: exercise physiology (Vol. 2)*. Taylor & Francis.
- Faghy, M. A., & Brown, P. I. (2019). Functional training of the inspiratory muscles improves load carriage performance. *Ergonomics*, *62*(11), 1439–1449.
- Fawkner, S. G., & Armstrong, N. (2004). Sex differences in the oxygen uptake kinetic response to heavy-intensity exercise in prepubertal children. *European journal of applied physiology*, *93*(1), 210–216.
- Fu, Q., Townsend, N. E., Shiller, S. M., Martini, E. R., Okazaki, K., Shibata, S., Truijens, M. J., Rodríguez, F. A., Gore, C. J., Stray-Gundersen, J., & Levine, B. D. (2007). Intermittent hypobaric hypoxia exposure does not cause sustained alterations in autonomic control of

- blood pressure in young athletes. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 292(5), 1977–1984.
- García-Hermoso, A., Ramírez-Vélez, R., García-Alonso, Y., Alonso-Martínez, A. M., & Izquierdo, M. (2020). Association of cardiorespiratory fitness levels during youth with health risk later in life: a systematic review and meta-analysis. *JAMA pediatrics*, 174(10), 952–960.
- Gilbert, C., Chaitow, L., & Bradley, D. (2014). *Recognizing and treating breathing disorders*. Elsevier Health Sciences, Churchill Livingstone.
- Gítánanda, S. G. (1999). *Jóga krok za krokem. Učebnice pro učitele a žáky*. Dobra & Fontána.
- Göhl, O., Walker, D. J., Walterspacher, S., Langer, D., Spengler, C. M., Wanke, T., Petrovic, M., Zwick, R. H., Stieglitz, S., Glöskl, R., Dellweg, D., & Kabitz, H. J. (2016). Respiratory muscle training: state of the art. *Pneumologie (Stuttgart, Germany)*, 70(1), 37–48.
- Gore, C., Hanhn, A. G., Aughey, R. J., Martin, D. T., Ashenden, M. J., & Clark, S. A. (2001). Live high: train low increases muscle buffer capacity and submaximal cycling efficiency. *Acta Physiol. Scand.*, 173(3), 275–286.
- Granados, C., Izquierdo, M., Ibáñez, J., Ruesta, M., & Gorostiaga, E. M. (2008). Effects of an entire season on physical fitness in elite female handball players. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 40(2), 351–361.
- Hagerman, F. C., & Hagerman, M. T. (1990). A comparison of energy output and input among elite rowers. *FISA Coach*, 2, 5–8.
- Hamdouni, H., Kliszczewicz, B., Zouhal, H., Rhibi, F., Ben Salah, B. S., & Ben Abderrahman, A. (2021). Effect of three fitness programs on strength, speed, flexibility and muscle power on sedentary subjects. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 62(1), 25–38.
- Hanon, C., & Thomas, C. (2011). Effects of optimal pacing strategies for 400-, 800-, and 1500-m races on the [Vdot] O₂ response. *Journal of sports sciences*, 29(9), 905–912.
- Havlíčková, L., Bartůňková, S., Dlouhá, R., Melichna, J., Šrámek, P., & Vránová, J. (2006). *Fyziologie tělesné zátěže I: obecná část*. Karolinum.
- Heinicke, K., Heinicke, I. Schmidt, W., & Wolfarth, B. (2005). A three-week traditional altitude training increase hemoglobin mass and red cell volume in elite biathlon athletes. *International Journal of Sports Medicine*, 26(5) 350–355.
- Heller, J. (1997). Funkční zátěžová diagnostika a její aplikace ve sportu. *Lékařské listy*, 40, 10–12.
- Heller, J., & Vodička, P. (2011). *Praktická cvičení z fyziologie tělesné zátěže*. Praha: Karolinum.
- Heller, J. (2018). *Zátěžová funkční diagnostika ve sportu: východiska, aplikace a interpretace*. Karolinum.
- Hendl, J. (2009). *Přehled statistických metod: Analýza a metaanalýza dat*. Portál.
- Hermansen, L., & Saltin, B. (1969). Oxygen uptake during maximal treadmill and bicycle exercise. *Journal of applied physiology*, 26(1), 31–37.
- Hinde, K. L., Low, C., Lloyd, R., & Cooke, C. B. (2020). Inspiratory muscle training at sea level improves the strength of inspiratory muscles during load carriage in cold-hypoxia. *Ergonomics*, 63(12), 1584–1598.
- Hodges, P. W., Butler, J. E., McKenzie, D. K., & Gandevia, S. C. (1997). Contraction of the human diaphragm during rapid postural adjustments. *The Journal of physiology*, 505(Pt 2), 539.

- Hodges, P. W., & Gandevia, S. C. (2000). Changes in intra-abdominal pressure during postural and respiratory activation of the human diaphragm. *Journal of applied Physiology*, *89*(3), 967–976.
- Hodges, P. W., Heijnen, I., & Gandevia, S. C. (2001). Postural activity of the diaphragm is reduced in humans when respiratory demand increases. *The Journal of physiology*, *537*(3), 999–1008.
- Hof, I. (2016). *The Wim Hof Method Explained*. Innerfire: Amsterdam, The Netherlands.
- Hof, W., Jong, K. D., & Brown, A. (2017). *The way of the iceman: How the Wim Hof method creates radiant, longterm health-using the science and secrets of breath control, cold-training and commitment*. The United States: Dragon Door Publications.
- Hof, W. (2020). *The Wim Hof Method: Activate Your Full Human Potential*. Sounds True.
- Hoffman, J. (2014). *Physiological aspects of sport training and performance*. Human Kinetics.
- Hofmann, S., & Schneider, G. (1985). Eignungsbeurteilung und Auswahl im Nachwuchsleistungssport. *Theorie Praxis Körperkultur*, *34*, 44–52.
- Howie, E. K., McVeigh, J. A., Smith, A. J., & Straker, L. M. (2016). Organized sport trajectories from childhood to adolescence and health associations. *Medicine and science in sports and exercise*, *48*(7), 1331–1339.
- Hruzevych, I., Bohuslavska, V., Kropta, R., Galan, Y., Nakonechnyi, I., & Pityn, M. (2017). The effectiveness of the endogenous-hypoxic breathing in the physical training of skilled swimmers. *Journal of Physical Education & Sport*, *17*.
- Chaitow, L., Bradley, D., & Gilbert, C. (2002). *Multidisciplinary approaches to breathing pattern disorders*. Elsevier Health Sciences.
- Chaitow, L. (2004). Breathing pattern disorders, motor control, and low back pain. *Journal of Osteopathic Medicine*, *7*(1), 33–40.
- Chapman, R. F., Stray-Gundersen, J., & Levine, B. D. (1998). Individual variation in response to altitude training. *Journal of applied physiology*, *85*(4), 1448–1456.
- IAAF Council editor. (2001). *IAAF Scoring Tables for Combined Events*. IAAF.
- Illi, S. K., Held, U., Frank, I., & Spengler, C. M. (2012). Effect of respiratory muscle training on exercise performance in healthy individuals: a systematic review and meta-analysis. *Sports medicine*, *42*, 707–724.
- Ingjer, F. (1992). Development of maximal oxygen uptake in young elite male cross-country skiers: A longitudinal study. *Journal of sports sciences*, *10*(1), 49–63.
- Jackson, S. A., & Csikszentmihalyi, M. (1999). *Flow in sports*. Human Kinetics.
- Janz, K. F., Dawson, J. D. & Mahony, I. T. (1999). Tracking physical fitness and physical activity from childhood to adolescence: the Muscatine study. *Medicine and science in sports and exercise*, *32*, 1250–1257.
- Janz, K. F., Dawson, J. D., & Mahoney, L. T. (2000). Tracking physical fitness and physical activity from childhood to adolescence: the Muscatine study. *Medicine and science in sports and exercise*, *32*(7), 1250–1257.
- Jones, N. L. (1997). *Clinical exercise testing*. WB Saunders Company.
- Jones, A. M. (2006). The physiology of the world record holder for the women's marathon. *International Journal of Sports Science & Coaching*, *1*(2), 101–116.
- Jordan, T., Lukaszuk, J., Mistic, M., & Umoren, J. (2010). Effect of beta-alanine supplementation on the onset of blood lactate accumulation (OBLA) during treadmill running: Pre/post 2

- treatment experimental design. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 7(1), 20.
- Joulia, F., Steinberg, J. G., Faucher, M., Jamin, T., Ulmer, C., Kipson, N., & Jammes, Y. (2003). Breath-hold training of humans reduces oxidative stress and blood acidosis after static and dynamic apnea. *Respiratory physiology & neurobiology*, 137(1), 19–27.
- Kairouz, C., Jacob, C., El Hage, R., Khoury, G., Moussa, E., & Zouhal, H. (2013). Effect of hyperventilation followed by a 1 min recovery on the Wingate performance. *Science & Sports*, 28(1), e15–e18.
- Kalvach, Z. (1997). *Úvod do gerontologie a geriatricie*: Karolinum.
- Kaminoff, L. (2006). What yoga therapists should know about the anatomy of breathing. *International Journal of Yoga Therapy*, 16(1), 67–77.
- Kampmiller, T., Vanderka, M., Laczó, E., & Peráček, P. (2012). *Teória športu a didaktika športového tréningu*. ICM Agency
- Kaneko, H., & Horie, J. (2012). Breathing movements of the chest and abdominal wall in healthy subjects. *Respiratory care*, 57(9), 1442–1451.
- Karthik, P. S., Chandrasekhar, M., Ambareesha, K., & Nikhil, C. (2014). Effect of pranayama and suryanamaskar on pulmonary functions in medical students. *Journal of clinical and diagnostic research*, 8(12), 4–6.
- Katch, V. L., Sady, S. S., & Freedson, P. (1982). Biological variability in maximum aerobic power. *Medicine and science in sports and exercise*, 14(1), 21–25.
- Kemper, H. C., Twisk, J. W., & van Mechelen, W. (2013). Changes in aerobic fitness in boys and girls over a period of 25 years: data from the Amsterdam Growth And Health Longitudinal Study revisited and extended. *Pediatric Exercise Science*, 25(4).
- Kenney, W. L., Wilmore, J., & Costill, D. (2015). *Physiology of Sport and Exercise* 6th Edition. Human kinetics.
- Kisner, C., & Colby, L. A. (2007). Management of pulmonary conditions. In *Therapeutic Exercise: Foundations and Techniques*, 5th ed.; FA Davis Company: Philadelphia, PA, USA, 851–882.
- Knaier, R., Infanger, D., Niemeyer, M., Cajochen, C., & Schmidt-Trucksäss, A. (2019). In athletes, the diurnal variations in maximum oxygen uptake are more than twice as large as the day-to-day variations. *Frontiers in physiology*, 10, 219.
- Kogler, A. (1971). *Jóga, základy tělesných cvičení*. Šport.
- Kokkinos, P., & Myers, J. (2010). Exercise and physical activity: clinical outcomes and applications. *Circulation*, 122(16), 1637–1648.
- Kolář, P., & Lewit, K. (2005). Význam hlubokého stabilizačního systému v rámci vertebrogenních obtíží. *Neurologie pro praxi*, 6(5), 270–75.
- Kolář, P. (2006). Vertebrogenní obtíže a stabilizační funkce páteře - diagnostika. *Rehabilitace a fyzikální lékařství*, 13(4), 155–70.
- Kolář, P., Bitnar, P., Dyrhonová, O., Horáček, O., Kříž, J., Adámková, M., Caltá, J., Lewit, K., Valouchová, P., Čech, Z., Kobesová, A., Smékal, D., Lepšíková, D., Hyšperská, V., Šafářová, M., Zounková, I., Tomanová, M., Vařeka, I., Marčišová, H., Knotek, P., Zedka, M., Čakrt, O., Kynčl, M., Šulc, J., Smolíková, L., Pavlů, D., Tomisová, D., Tomis, C., Schreier, B., Kálal, J., Schönová, V., Komárek, V., Chamoutová, K., Krawczyk, P., Wurstová, I., Čakrt, O., Truc, M., Černý, R., Jeřábek, J., Dailová, B., Schejbalová, A., Kraus, J., Švehlík, M., Votavová, M.,

- Cikánková, V., Čumpelík, J., Kubů, V., Štulík, J., Dobeš, M., Máček, M., Radvanský, J., Babková, L., Koudelková, I., Kalvach, Z., Matouš, M., Hradil, V., Ježková, M., Hoskovcová, M., Kozák, J., Hátlová, B., & Zumrová, I. (2009). *Rehabilitace v klinické praxi*. Praha: Galén.
- Kolář, P., Šulc, J., Kynčl, M., Šanda, J., Čákr, O., Anđel, R., Kumagai, K., & Kobesová, A. (2012). Postural function of the diaphragm in persons with and without chronic low back pain. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 42(4), 352–62.
- Kolle, E., Steene-Johannessen, J., Andersen, L. B., & Anderssen, S. A. (2010). Objectively assessed physical activity and aerobic fitness in a population-based sample of Norwegian 9-and 15-year-olds. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 20(1), e41–e47.
- Kovářová, L., Kovář, K., & Horčic, J. (2012). Vytvoření standardů pro hodnocení výkonu na anaerobním prahu u triatlonistů v juniorské kategorii. *Studia Kinanthropologica*, 13 (1), 30–36.
- Kox, M., Stoffels, M., Smeekens, S. P., Van Alfen, N., Gomes, M., Eijsvogels, T. M., Hopman, M. T. E., Van der Hoeven, J. G., Netea, M. G., & Pickkers, P. (2012). The influence of concentration/meditation on autonomic nervous system activity and the innate immune response: a case study. *Psychosomatic medicine*, 74(5), 489–494.
- Kox, M., van Eijk, L. T., Zwaag, J., van den Wildenberg, J., Sweep, F. C., van der Hoeven, J. G., & Pickkers, P. (2014). Voluntary activation of the sympathetic nervous system and attenuation of the innate immune response in humans. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(20), 7379–7384.
- Kroidl, R., Schwarz, S., Lehnigk, B., & Fritsch, J. (Eds.). (2014). *Kursbuch Spiroergometrie: Technik und Befundung verständlich gemacht*. Georg Thieme Verlag.
- Kučera, V., & Truksa, Z. (2000). *Běhy na střední a dlouhé tratě*. Olympia.
- Kuppusamy, M., Kamaldeen, D., Pitani, R., & Amaldas, J. (2016). Immediate Effects of Bhramari Pranayama on Resting Cardiovascular Parameters in Healthy Adolescents. *Journal of clinical and diagnostic research*, 10(5), 17–19.
- Kyröläinen, H., Belli, A., & Komi, P. V. (2001). Biomechanical factors affecting running economy. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 33(8), 1330–1337.
- Laffey, J. G., & Kavanagh, B. P. (2002). Hypocapnia. *New England Journal of Medicine*, 347(1), 43–53.
- LaMonte, M. J., Barlow, C. E., Jurca, R., Kampert, J. B., Church, T. S., & Blair, S. N. (2005). Cardiorespiratory fitness is inversely associated with the incidence of metabolic syndrome: a prospective study of men and women. *Circulation*, 112(4), 505–512.
- Landgraff, H. W., Riiser, A., Lihagen, M., Skei, M., Leirstein, S., & Hallén, J. (2021). Longitudinal changes in maximal oxygen uptake in adolescent girls and boys with different training backgrounds. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 31, 65–72.
- Lang, J. J., Tremblay, M. S., Ortega, F. B., Ruiz, J. R., & Tomkinson, G. R. (2019). Review of criterion-referenced standards for cardiorespiratory fitness: what percentage of 1 142 026 international children and youth are apparently healthy? *British Journal of Sports Medicine*, 53(15), 953–958.
- Lehmann, M., Dickhuth, H. H., Gendrisch, G., Lazar, W., Thum, M., Kaminski, R., Aramendi, J. F., Peterke, E., Wieland, W., & Keul, J. (1991). Training-overtraining. A prospective, experimental study with experienced middle-and long-distance runners. *International journal of sports medicine*, 12(05), 444–452.

- Leithäuser, R. M., Böning, D., Hütler, M., & Beneke, R. (2016). Enhancement on Wingate anaerobic test performance with hyperventilation. *International journal of sports physiology and performance*, 11(5), 627–634.
- LeMura, L. M., von Dullivard, S. P., Carlonas, R., & Andreacci, J. (1999). Can exercise training improve maximal aerobic power (VO_{2max}) in children: a meta-analytic review. *Journal of Science in Sport and Exercise*, 2(3), 1–14.
- Levine, B. D., & Stray-Gundersen, J. (1997). „Living high-training low”: effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. *Journal of applied physiology*, 83(1), 102–112.
- Lindholm, P., & Gennser, M. (2005). Aggravated hypoxia during breath-holds after prolonged exercise. *European journal of applied physiology*, 93(5–6), 701–707.
- Loftin, M., Sothorn, M., Abe, T., & Bonis, M. (2016). Expression of VO_{2peak} in children and youth, with special reference to allometric scaling. *Sports Medicine*, 46(10), 1451–1460.
- Lolli, L., Batterham, A. M., Weston, K. L., & Atkinson, G. (2017). Size exponents for scaling maximal oxygen uptake in over 6500 humans: a systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 47(7), 1405–1419.
- Loprinzi, P. D., Cardinal, B. J., Loprinzi, K. L., & Lee, H. (2012). Benefits and environmental determinants of physical activity in children and adolescents. *Obesity facts*, 5(4), 597–610.
- Maciejczyk, M., Sudol, G., & Szygula Z. (2012). Influence of hypoxia training on the aerobic capacity of an elite race walker. *Human movement*, 13(4), 360–366.
- Máček, M., & Radvanský, J. (2011). Fyziologie a klinické aspekty pohybové aktivity. Galén.
- Mador, M. J., & Acevedo, F. A. (1991). Effect of respiratory muscle fatigue on breathing pattern during incremental exercise. *American Review of Respiratory Disease*, 143(3), 462–468.
- Maestroni, G. J. (2006). Sympathetic Nervous System Influence on the Innate Immune Response. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1069(1), 195–207.
- Mahéšvaránanda, P. S. (2006). *Jóga v denním životě*. Mladá fronta.
- Malátová, R., Pucelik, J., Rokytova, J., & Kolar, P. (2007). The objectification of therapeutical methods used for improvement of the deep stabilizing spinal system. *Neuroendocrinology Letters*, 28(3), 315–320.
- Malátová, R., Pucelik, J., Rokytová, J., & Kolar, P. (2008). Technical means for objectification of medical treatments in the area of the deep stabilisation spinal system. *Neuroendocrinology Letters*, 29(1), 125–130.
- Malátová, R., Bahenský, P., Mareš, M., & Rost, M. (2017). Breathing pattern of restful and deep breathing. In: Zvonař, M., & Sajdlová, Z. *Proceedings of the 11th International Conference on Kinanthropology, Sport and Quality of Life 29. 11.-1. 12. 2017*, 199–210. Masarykova univerzita.
- Malátová, R. (2021). The importance of breathing stereotype and intervention possibilities. *Post Doctoral Thesis*. Masarykova univerzita.
- Malátová, R., Bahenský, P., Rost, M., & Marko, D. (2022). Breathing pattern and its evaluation by muscle dynamometer md03. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine*, 236(12), 1777–1782.
- Malina, R. M. (1993). Youth Sports: readiness, selection and trainability. In: Duquet, W, Day, J. A. P. (eds.): *Kinanthropometry IV*, E & FN Spon, London, 285–310.

- Malina, R. M., Beunen, G., Lefevre, J., & Woynarowska, B. (1997). Maturity-associated variation in peak oxygen uptake in active adolescent boys and girls. *Annals of human biology*, 24(1), 19–31.
- Malina, R. M. (2001). Physical activity and fitness: pathways from childhood to adulthood. *American Journal of Human Biology: The Official Journal of the Human Biology Association*, 13(2), 162–172.
- Malina, R. M., Bouchard, C., & Bar-Or, O. (2004). *Growth, maturation, and physical activity*. Human kinetics.
- Malina, R. M. (2010). Early sport specialization: roots, effectiveness, risks. *Current sports medicine reports*, 9(6), 364–371.
- Marconi, C., Marzorati, M., & Cerretelli, P. (2006). Work capacity of permanent residents of high altitude. *High altitude medicine & biology*, 7(2), 105–115.
- Marko, D. (2020). Comparison of results of spiroergometry on running and bicycle ergometer of athletes with running and cycling specialization. *Sport and Quality of Life* 7.–9. 11. 2019, 140.
- Marko, D., Bahenský, P., Bunc, V., Grosicki, J. G., & Vondrasek, D. J. (2022). Does Wim Hof Method Improve Breathing Economy during Exercise? *Journal of Clinical Medicine*, 11(8), 2218.
- Marko, D., Bahenský, P., Snarr, R. L., & Malátová, R. (2022a). $\dot{V}O_2$ peak Comparison of a Treadmill Vs. Cycling Protocol in Elite Teenage Competitive Runners, Cyclists, and Swimmers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 36(10), 2875–2882.
- Marta, C., Marinho, D. A., & Marques, M. C. (2012). Physical fitness in prepubescent children: an update. *Journal of Physical Education and Sport*, 12(4), 445.
- Matecki, S., Prioux, J., Amsallem, F., Mercier, J., Prefaut, C., & Ramonatxo, M. (2001). Maximal oxygen uptake in healthy children: factors of variation and available standards. *Revue des maladies respiratoires*, 18(5), 499–506.
- McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2016). Measuring and evaluating energygenerating capacities during physical activity. In: *Essentials of Exercise Physiology*. Philadelphia, PA: Wolters Kluwer, 193–224.
- McMurray, R. G., Harrell, J. S., Bangdiwala, S. I., & Hu, J. (2003). Tracking of physical activity and aerobic power from childhood through adolescence. *Medicine and science in sports and exercise*, 35(11), 1914–1922.
- McMurray, R. G., Harrell, J. S., Bradley, C. B., Deng, S., & Bangdiwala, S. I. (2002). Predicted maximal aerobic power in youth is related to age, gender, and ethnicity. *Medicine and science in sports and exercise*, 34(1), 145–151.
- Měkota, K. (1983). Motorické testy v tělesné výchově. SPN.
- Měkota, K., & Novosad, J. (2005). *Motorické schopnosti*. Olomouc: Univerzita Palackého.
- Měkota, K., & Cuberek, R. (2007). *Pohybové dovednosti-činnosti-výkony*. Univerzita Palackého.
- Millet, G. P., Jaouen, B., Borrani, F., & Candau, R. (2002). Effects of concurrent endurance and strength training on running economy and VO_2 kinetics. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 34(8), 1351–1359.
- Miravittles, M., Vogelmeier, C., Roche, N., Halpin, D., Cardoso, J., Chuchalin, A. G., Kankaanranta, H., Sandström, T., Śliwiński, P., Zatloukal, J., & Blasi, F. (2016). A review of

- national guidelines for management of COPD in Europe. *European Respiratory Journal*, 47(2), 625–637.
- Moodie, L., Reeve, J., & Elkins, M. (2011). Inspiratory muscle training increases inspiratory muscle strength in patients weaning from mechanical ventilation: a systematic review. *Journal of physiotherapy*, 57(4), 213–221.
- Moss, D. (2004). *Tricks of the Trade for Middle Distance, Distance & Cross-country Running*. Physical Education Digest-Book Division.
- Mujika, I. (2010). Intense training: the key to optimal performance before and during the taper. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 20(s2), 24–31.
- Myers, J., McAuley, P., Lavie, C. J., Despres, J. P., Arena, R., & Kokkinos, P. (2015). Physical activity and cardiorespiratory fitness as major markers of cardiovascular risk: their independent and interwoven importance to health status. *Progress in cardiovascular diseases*, 57(4), 306–314.
- Neptune, R., Sasaki, K., & Kautz, S., A. (2008). The effect of walking speed on muscle function and mechanical energetics. *Gait Posture*, 28, 135–143.
- Nes, B. M., Osthus, I. B., Welde, B., Aspenes, S. T., & Wisloff, U. (2013). Peak oxygen uptake and physical activity in 13-to 18-year-olds: the Young-HUNT study. *Exerc Medicine & Science in Sports & Exercise*, 45(2), 304–313.
- Neumann, G., Pfützner, A., & Berbalk, A. (2000). *Successful endurance training*. Meyer & Meyer Verlag.
- Neumann, G., Pfützner, A., & Hottenrott, K. (2005). *Trénink pod kontrolou: Metody, kontrola a vyhodnocení vytrvalostního tréninku*. Grada.
- Neumannová, K., Zatloukal, J., & Koblížek, V. (2019). Doporučený postup plicní rehabilitace (pp. 564–606). In Kolek, V. et al. *Doporučené postupy v pneumologii*. Maxdorf.
- Neumannová, K., Zatloukal, J., Kopecký, M., & Koblížek, V. (2021). Doporučený postup plicní rehabilitace u onemocnění COVID-19. *ČPFS ČLS JEP*.
- Nivethitha, L., Mooventhan, A., & Manjunath, N. K. (2016). *Effects of Various Pránáyáma on Cardiovascular and Autonomic Variables*. *Ancient science of life*, 36(2), 72–77.
- Noakes, T. (2003). *Lore of running*. Human kinetics.
- Novotná, V., Čechovská, I., & Bunc, V. (2006). *Fit programy pro ženy: průvodce kondiční přípravou: 258 ilustrovaných cviků: 12 komplexních pohybových programů*. Grada.
- Novotný, J. (2015). *Hypokineze a „civilizační choroby*. [online], [cit. 11. 03. 2023]. Dostupné z: <http://www.fsps.muni.cz/~novotny/Hypokin.htm>
- Ornelas, R. T., Silva, A. M., Minderico, C. S., & Sardinha, L. B. (2011). Changes in cardiorespiratory fitness predict changes in body composition from childhood to adolescence: findings from the European Youth Heart Study. *The Physician and Sportsmedicine*, 39(2), 78–86.
- Ortega, F. B., Ruiz, J. R., Castillo, M. J., & Sjörström, M. (2008). Physical fitness in childhood and adolescence: a powerful marker of health. *International journal of obesity*, 32(1), 1–11.
- O’Toole, M. L., & Douglas, P. S. (1995). *Applied physiology of triathlon*. *Sports Medicine*, 19, 251–267.
- Ozmen, T., Gunes, G. Y., Ucar, I., Dogan, H., & Gafuroglu, T. U. (2017). Effect of respiratory muscle training on pulmonary function and aerobic endurance in soccer players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 57(5), 507–513.

- Pahud, F. (1986). Training at altitude: general principles and personal experience. *New studies in athletics*, 3, 53–57.
- Paleček, F. (1987). *Patofyziologie dýchání*. Avicenum.
- Parazzi, P. L. F., Marson, F. A. D. L., Ribeiro, M. A. G. D. O., Schivinski, C. I. S., & Ribeiro, J. D. (2015). Ventilatory efficiency in children and adolescents: A systematic review. *Disease markers*, 2015.
- Pastucha, D. (2014). *Tělovýchovné lékařství: vybrané kapitoly (1st ed.)*. Praha: Grada.
- Perič, T. 2004. Sportovní příprava dětí. Grada.
- Pessoa, I., Sclausser, M. B., Parreira, V. F., Fregonezi, G. A., Sheel, A. W., Chung, F., & Reid, W. D. (2014). Reference values for maximal inspiratory pressure: a systematic review. *Canadian Respiratory Journal*, 21(1), 43–50.
- Pfützner, A. (1990). *Zu grundlegenden Problemen der Erhöhung der Leistungswirksamkeit des Vorbereitungssystems im Skilanglauf: ein Beitrag für eine auf Weltspitzenleistungen gerichtete Entwicklungskonzeption*. Dissertation. Leipzig: Deutsche Hochschule für Körperkultur.
- Písařík, M., & Liška, J. (1985). *Běhy na střední a dlouhé tratě – Základní programový materiál pro vrcholový sport, I. část*. Praha: ÚV ČSTV – vědeckometodické oddělení.
- Písařík, M., & Liška, J. (1989). *Běhy na střední a dlouhé tratě – Základní programový materiál pro vrcholový sport, II. část*. Praha: ÚV ČSTV – vědeckometodické oddělení.
- Placheta, Z., Dohnalová, I., Novotný, J., Zatloukal, B., Čechovský, K., & Dražil, V. (1996). *Exercise functional diagnostics and physical therapy prescription in internal medicine*. Masarykova univerzita.
- Placheta, Z., Siegllová, J., & Štejfa, M. (1999). *Zátěžová diagnostika v ambulanci a klinické praxi*. Grada.
- Pollock, M. L. (1980). Measurement of cardiorespiratory fitness and body composition in the clinical setting. *Comprehensive Therapy*, 6, 12–27.
- Popov, I. (1994). The pros and cons of altitude training. In *New Studies in Athletics*, IAAF, 2, 15–21.
- Porter, A. K., Matthews, K. J., Salvo, D., & Kohl, H. W. (2017). Associations of physical activity, sedentary time, and screen time with cardiovascular fitness in United States adolescents: results from the NHANES National Youth Fitness Survey. *Journal of Physical Activity and Health*, 14(7), 506–512.
- Powers, S., & Howley, E. T. (2014). *Exercise physiology: Theory and application to fitness and performance*. McGraw-Hill Higher Education.
- Quanjer, P. H., Stanojevic, S., Stocks, J., Hall, G. L., Prasad, K. V. V., Cole, T. J., Rosenthal, M., Perez-Padilla, R., Hankinson, J. L., Falaschetti, E., Golshan, M., Brunekreef, B., Al-Rawas, O., Kühr, J., Trabelsi, Y., and M. S. M. (2010). Changes in the FEV1/FVC Ratio during Childhood and Adolescence: An Intercontinental Study. *European Respiratory Journal*, 36(6), 1391–1399.
- Radhakrishnan, K., Sharma, V. K., & Subramanian, S. K. (2017). Does treadmill running performance, heart rate and breathing rate response during maximal graded exercise improve after volitional respiratory muscle training? *British Journal of Sports Medicine*, 48(5S), 297.

- Radvanský, J., & Matouš, M. (1999). Zátěžové testování dětí a adolescentů—hlavní sledované parametry a specifika jejich měření a hodnocení v dětském věku. *Medicina Sportiva Bohemica et Slovaca*, 8(1), 2–6.
- Ramli, M. I., Hamzaid, N. A., Engkasan, J. P., & Usman, J. (2023). Respiratory muscle training: a bibliometric analysis of 60 years' multidisciplinary journey. *Biomedical engineering online*, 22(1), 50.
- Reuter, B. (2012). *Developing endurance*. Human Kinetics.
- Richards, R., Poulton, R., Reeder, A. I., & Williams, S. (2009). Childhood and contemporaneous correlates of adolescent leisure time physical inactivity: a longitudinal study. *Journal of Adolescent Health*, 44(3), 260–267.
- Rivas, E., Huynh, H., & Galassetti, P. R. (2019). Obesity affects submaximal oxygen uptake-heart rate relationship and exercise economy differently in pre-and post-pubescent boys and girls. *International Journal of Exercise Science*, 12(3), 748.
- Rowland, T., Vanderburgh, P., & Cunningham, L. (1997). Body size and the growth of maximal aerobic power in children: a longitudinal analysis. *Pediatric Exercise Science*, 9(3), 262–274.
- Rowland, T. W. (2017). *Cardiopulmonary exercise testing in children and adolescents*. Human Kinetics.
- Ruiz, J. R., Ortega, F. B., Loit, H. M., Veidebaum, T., & Sjöström, M. (2007). Body fat is associated with blood pressure in school-aged girls with low cardiorespiratory fitness: the European Youth Heart Study. *Journal of hypertension*, 25(10), 2027–2034.
- Russo, M. A., Santarelli, D. M., & O'Rourke, D. (2017). The physiological effects of slow breathing in the healthy human. *Breathe*, 13(4), 298–309.
- Rutenfranz, J., Máček, M., Lange Andersen, K., Bell, R. D., Vavra, J., Radvanský, J., Klimmer, J., & Kylian, H. (1990). The relationship between changing body height and growth related changes in maximal aerobic power. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 60(4), 282–287.
- Salnykova, S., Hruzevych, I., Bohuslavská, V., Nakonechnyi, I., Kyselytsia, O., & Pityn, M. (2017). Combined application of aquafitness and the endogenous-hypoxic breathing technique for the improvement of physical condition of 30-49-year-old women. *Journal of Physical Education and Sport*, 17(4), 2544–2552
- Saltin, B., Larsen, H., Terrados, N., Bangsbo, J., Bak, T., Kim, C. K., Svedenhag, J., & Rolf, C. J. (1995). Aerobic exercise capacity at sea level and altitude in Kenyan boys, junior and senior runners compared with Scandinavian runners. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 5(4), 209–221.
- Santisteban, K. J., Lovering, A. T., Halliwill, J. R., & Minson, C. T. (2022). Sex differences in VO_{2max} and the impact on endurance-exercise performance. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(9), 4946.
- Saunders, P. U., Pyne, D. B., & Gore, C. J. (2009). Endurance training at altitude. *High altitude medicine & biology*, 10(2), 135–148.
- Saunders, P. U., Pyne, D. B., Telford, R. D., & Hawley, J. A. (2004). Factors Affecting Running Economy in Trained Distance Runners. *Sports Medicine*, 34(7), 465–485.
- Saunders, P. U., Telford, R. D., Pyne, D. B., Cunningham, R. B., Gore, C. J., Hahn, A. G., & Hawley, J. A. (2004a). Improved running economy in elite runners after 20 days of simulated moderate altitude exposure. *Journal of Applied Physiology*, 96(3), 931–937.

- Secher, N. H. (1983). The physiology of rowing. *Journal of Sports Sciences*, 1(1), 23–53.
- Seiler, S. (2011). A brief history of endurance testing in athletes. *Sportscience*, 15, 40–88.
- Seliger, V., & Bartůnek, Z. (1976). *Mean values of various indices of physical fitness in the investigation of Czechoslovak population aged 12–55 years*. Czechoslovak Association of Physical Culture.
- Seresht, L. M., Golparvar, M., & Yaraghi, A. (2014). Comparative evaluation of hemodynamic and respiratory parameters during mechanical ventilation with two tidal volumes calculated by demi-span based height and measured height in normal lungs. *Advanced Biomedical Research*, 3.
- Schagatay, E., Haughey, H., & Reimers, J. (2005). Speed of spleen volume changes evoked by serial apneas. *European journal of applied physiology*, 93(4), 447–452.
- Sherar, L. B., Baxter-Jones, A. D., Faulkner, R. A., & Russell, K. W. (2007). Do physical maturity and birth date predict talent in male youth ice hockey players? *Journal of sports sciences*, 25(8), 879–886.
- Sonetti, D. A., Wetter, T. J., Pegelow, D. F., & Dempsey, J. A. (2001). Effects of respiratory muscle training versus placebo on endurance exercise performance. *Respiration physiology*, 127(2–3), 185–199.
- Soumar, L., Soulek, I., & Kučera, V. (2000). *Laktát a tepová frekvence jako významní pomocníci při řízení tréninku*. Casri.
- Šprynarová, Š., Pařízková, J., & Bunc, V. (1987). Relationships between body dimensions and resting and working oxygen consumption in boys aged 11 to 18 years. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 56(6), 725–736.
- Stevenson, C. L. (1990). „The athletics career: some contingencies of sport specialization“. *Journal of Sport Behavior*, 13(2): 103–113.
- Stray-Gundersen, J., Chapman, R. F., & Levine, B. D. (2001). “Living high-training low” altitude training improves sea level performance in male and female elite runners. *Journal of applied physiology*.
- Suchý, J. (2012). *Využití hypoxie a hyperoxie ve sportovním tréninku*. Karolinum.
- Suchý, J., & Opočenský, J. (2015). Usefulness of training camps at high altitude for well-trained adolescents. *Acta Gymnica*, 45(1), 13–20.
- Suslov, F. P. (1994). Basic principles of training at high altitude. *In New Studies in Athletics, IAAF*, 2, 45–49.
- Svatoň, V., & Tupý, J. (1997). *Program zdravotně orientované zdatnosti*. Svoboda.
- Svedenhag, J., & Sjödín, B. (1984). Maximal and submaximal oxygen uptakes and blood lactate levels in elite male middle-and long-distance runners. *International journal of sports medicine*, 5(5), 255–261.
- Svedenhag, J., Saltin, B., Johansson, C., & Kaijser, L. (1991). Aerobic and anaerobic exercise capacities of elite middle-distance runners after two weeks of training at moderate altitude. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 1(4), 205–214.
- Szczepan, S., Danek, N., Michalik, K., Wróblewska, Z., & Zatoń, K. (2020). Influence of a six-week swimming training with added respiratory dead space on respiratory muscle strength and pulmonary function in recreational swimmers. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(16), 5743.

- Szczygieł, E., Blaut, J., Zielonka-Pycka, K., Tomaszewski, K., Golec, J., Czechowska, D., Masloň, A., & Golec, E. (2018). The impact of deep muscle training on the quality of posture and breathing. *Journal of motor behavior*, *50*(2), 219–227.
- Telama, R., Yang, X., Hirvensalo, M., & Raitakari, O. (2006). Participation in organized youth sport as a predictor of adult physical activity: a 21-year longitudinal study. *Pediatric Exercise Science*, *18*(1), 76–88.
- Tjelta, L., & Enoksen, E. (2010). Training Characteristics of Male Junior Cross Country and Track Runners on European Top Level. *International Journal of Sports Science & Coaching*, *5*(2), 193–203.
- Tomkinson, G. R., & Olds, T. S. (2007). Secular changes in pediatric aerobic fitness test performance: the global picture. In *Pediatric Fitness* (Vol. 50, pp. 46–66). Karger Publishers.
- Tomkinson, G. R., Lang, J. J., & Tremblay, M. S. (2019). Temporal trends in the cardiorespiratory fitness of children and adolescents representing 19 high-income and upper middle-income countries between 1981 and 2014. *British Journal of Sports Medicine*, *53*(8), 478–486.
- Tupý, J. (1986). *Metodické pokyny k učebním osnovám pro I. – IV. Ročník sportovní školy. Atletika, běžecké disciplíny na střední a dlouhé tratě*. MŠ ČSR.
- Várnay, F., Homolka, P., Mířková, P., & Dobšák, L. (2020). *Spiroergometrie v kardiologii a sportovní medicíně*. Grada.
- Verges, S., Lenherr, O., Haner, A. C., Schulz, C., & Spengler, C. M. (2007). Increased fatigue resistance of respiratory muscles during exercise after respiratory muscle endurance training. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, *292*(3), R1246–R1253.
- Vinay, A. V., Venkatesh, D., & Ambarish, V. (2016). Impact of short-term practice of yoga on heart rate variability. *International journal of yoga*, *9*(1), 62.
- Votava, J., Doležalová, V., Dostálek, C., Lepičovská, V., Nešpor, K., & Šedivý, J. (1988). *Jóga očima lékařů*. Avicenum.
- Wachsmuth, N. B., Völzke, C., Prommer, N., Schmidt-Trucksäss, A., Frese, F., Spahl, O., Eastwood, A., Stray-Gundersen, J., & Schmidt, W. (2013). The effects of classic altitude training on hemoglobin mass in swimmers. *European journal of applied physiology*, *113*(5), 1199–1211.
- Wasserman, K., Hansen, J. E., Sue, D. Y., Whipp, B. J., & Froelicher, V. F. (1987). Principles of exercise testing and interpretation. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation and Prevention*, *7*(4), 189.
- Weavil, J. C., & Amann, M. (2019). Neuromuscular fatigue during whole body exercise. *Current opinion in physiology*, *10*, 128–136.
- Welde, B., Morseth, B., Handegård, B. H., & Lagestad, P. (2020). Effect of sex, body mass index and physical activity level on peak oxygen uptake among 14–19 years old adolescents. *Frontiers in Sports and Active Living*, *2*, 78.
- Wells, G. D., Plyley, M., Thomas, S., Goodman, L., & Duffin, J. (2005). Effects of concurrent inspiratory and expiratory muscle training on respiratory and exercise performance in competitive swimmers. *European journal of applied physiology*, *94*, 527–540.
- Whipp, B. J. (2010). The peak versus maximum oxygen uptake issue. *Milan: CPX International Inc*, 1–9.

- Wilber, R. L. (2004). *Altitude training and athletic performance*. Champaign: Human Kinetics.
- Wonisch, M., Fruhwald, F. M., Hofmann, P., Hödl, R., Klein, W., Kraxner, W., Maier, R., Pokan, R., Smekal, G., & Watzinger, N. (2003). Spiroergometrie in der Kardiologie-Grundlagen der Physiologie und Terminologie. *Journal für Kardiologie-Austrian Journal of Cardiology*, 10(9), 383–390.
- World health organisation (2016). *Report of the Commission on Ending Childhood Obesity*. World Health Organization.
- Yadav, R., Yadav, R. K., Sarvottam, K., & Netam, R. (2017). Framingham Risk Score and Estimated 10-Year Cardiovascular Disease Risk Reduction by a Short-Term Yoga-Based Life-Style Intervention. *The journal of alternative and complementary medicine: research on paradigm, practice, and policy*, 23(9), 730–737.
- Yuan, G., Drost, N. A., & McIvor, R. A. (2013). Respiratory rate and breathing pattern. *IEEE Journal of Translational Engineering in Health and Medicine*, 10(1), 23–25.
- Zambahari, R. (2004). Trends in cardiovascular diseases and risk factors in Malaysia. In *International Congress Series* (Vol. 1262, pp. 446–449). Elsevier.
- Zanconato, S., Baraldi, E., Santuz, P., Rigon, F., Vido, L., Da Dalt, L., & Zacchello, F. (1989). Gas exchange during exercise in obese children. *European Journal of Pediatrics*, 148(7), 614–617.
- Zapletal, A., Houštěk, J., Šamánek, M., Čopová, M., & Paul, T. (1985). Lung function in children and adolescents with idiopathic interstitial pulmonary fibrosis. *Pediatric Pulmonology*, 1(3), 154–166.
- Zapletal, A., & Chalupova, J. (2003). Forced expiratory parameters in healthy preschool children (3–6 years of age). *Pediatric pulmonology*, 35(3), 200–207.
- Zapletal, A., Šamánek, M., & Paul, T. (1987). Page/Contents/Preface. In *Lung Function in Children and Adolescents* (Vol. 22, pp. I-VIII). Karger Publishers.