

Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta tělesné kultury

Odezva organismu na atletický trénink
v hypoxickém prostředí

Autor: Jan Sadil, tělesná výchova a geografie

Vedoucí práce: Mgr. Michal Valenta

Olomouc 2020

Jméno a příjmení autora: Jan Sadil

Název bakalářské práce: Odezva organismu na atletický trénink v hypoxickém prostředí

Vedoucí práce: Mgr. Michal Valenta

Pracoviště: Katedra sportu

Rok obhajoby bakalářské práce: 2020

Abstrakt: *Úvod:* Tato studie zkoumá odezvu organismu na atletický trénink v hypoxickém prostředí u běžců na střední vzdálenosti. Práce se zabývá vlivy hypoxické expozice na vybrané fyziologické parametry a celkovou výkonnost běžců na střední tratě. Popisuje průběh adaptace na prostředí a pomáhá zjistit optimální trvání a nadmořskou výšku expozice pro atletický trénink. Na základě anketního šetření jsme zjistili, jaká místa využívá česká běžecká špička za účelem vysokohorského prostředí a rozhodli jsme se zjistit, zda jsou optimální. Popsána je i struktura běžce na střední vzdálenosti z oblasti somatických, kondičních, psychických a techniky s taktikou. Studie se zabývá i alternativními formami hypoxického prostředí. *Cíl:* Hlavním cílem této bakalářské práce je vytvořit systematický přehled studií, zkoumající odezvu organismu na atletický trénink běžce na střední tratě v hypoxickém prostředí a vliv na jeho výkonnost. *Metodika:* Z celkových 879 prací nalezených dle klíčových slov se finální analýze podrobilo 17 studií. *Výsledky:* Hypoxické prostředí je doporučená a osvědčená součást předsezónní přípravy běžců na střední vzdálenosti. Mezi reakce organismu na hypoxické prostředí řadíme snížení VO_{2max} , postupné zvyšování hemoglobinu v těle a celkový pocit větší námahy při zátěži. Naopak po ukončení tréninku probíhající v hypoxii se VO_{2max} zvyšuje společně s objemem hemoglobinu. Tyto parametry korelují s celkovou výkonností běžce, která se taktéž zvyšuje. Neoptimálnější nadmořská výška pro zlepšení výkonnosti běžce na střední tratě se pohybuje v rozmezí 2000 až 2500 metrů nad mořem, ale pozitivní efekty byly zaznamenány i ve vyšších nadmořských výškách. Tudíž můžeme tvrdit, že nadmořská výška není jediné, co ovlivňuje výkonnost po ukončení hypoxické expozice. Tato tvrzení nám potvrzují obecně známá doporučení, která označují nadmořskou výšku 2200 za nejvíce ideální.

Klíčová slova: Hypoxie, vysokohorské prostředí, vysokohorský trénink, běh na střední tratě, VO_{2max} , hemoglobin

Author: Jan Sadil

Title of the bachelor thesis: Response of the organism to athletic training in an alpine environment

Supervisor: Mgr. Michal Valenta

Department: Department of sport

The year of presentation: 2020

Abstract: Introduction: This study examines the body's response to athletic training in a hypoxic environment in middle-distance runners. The work deals with the effects of hypoxic exposure on selected physiological parameters and the performance of middle-distance runners. It describes the adaptation to the environment and helps to determine the optimal duration and dose of exposure for athletic training. Based on a survey, we found out where the Czech elite runners are located for the purposes of the alpine environment, and we will decide if it is optimal. The structure of a medium-distance runner in the field of somatic, fitness, mental and tactical techniques is also described. The study also deals with alternative forms of hypoxic environment. Aim: The main aim of this bachelor's thesis is to create a review of studies examining the body's response to athletic training of runners on medium tracks in a hypoxic environment and the impact on its performance. Methods: Out of a total of 879 works found by keywords, 17 studies were subjected to final analysis. Results: Hypoxic environment is a recommended and proven part of pre-season training of runners at medium distances. The body's reactions to the hypoxic environment include a decrease in VO_{2max} , a gradual increase in hemoglobin in the body and an overall feeling of greater exertion during exercise. Conversely, after training in hypoxia, VO_{2max} increases with hemoglobin mass. These parameters correlate with the overall performance of the runner, which also increases. The most optimal altitude for improving the performance of middle distance runners is in the range of 2000 to 2500 meters above sea level, but positive effects have also been recorded at higher altitudes. Therefore, we can argue that altitude is not the only thing that affects performance after hypoxic exposure. These statements confirm the generally known recommendations that make the altitude of 2200 the most ideal.

Key words: Hypoxia, altitude environment, altitude training, middle-distance running, VO_{2max} , hemoglobin

Děkuji vedoucímu práce Mgr. Michalovi Valentovi za pomoc a cenné rady při zpracování bakalářské práce.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a s odbornou pomocí Mgr. Michala Valenty, uvedl všechny literární a odborné zdroje a řídil se zásadami vědecké etiky.

jméno a příjmení autora

Obsah

1	Úvod	5
2	Přehled poznatků	6
2.1	Struktura sportovního výkonu běžce na střední tratě	6
2.1.1	Somatické faktory	6
2.1.2	Kondiční faktory	8
2.1.3	Technika	9
2.1.4	Taktika	10
2.1.5	Psychika	10
2.2	Trénink běžce na střední tratě	11
2.3	Vysokohorské prostředí	12
2.3.1	Hypoxie	12
2.3.2	Kategorizace hypoxického prostředí	13
2.3.3	Vliv vysokohorského prostředí na organismus	14
2.4	Fáze a průběh aklimatizace	15
2.4.1	Akomodace	15
2.4.2	Adaptace	15
2.4.3	Aklimatizace	15
2.5	Trénink ve vysokohorském prostředí	16
2.5.1	Tréninkové modely využívající nadmořské výšky	18
2.6	Alternativy vysokohorské prostředí	20
2.6.1	Sedmidenní vysokohorský trénink	20
2.6.2	Kyslíkové stany	20
2.6.3	Barokomory	21
2.6.4	Trénink s hypoxickými přístroji	21
3	Cíle a výsledky práce	22
3.1	Hlavní cíl	22

3.2	Dílčí cíle	22
3.3	Výzkumné otázky	22
4	Metodika práce	23
5	Výsledky	25
5.1	Finální studie	25
5.2	Účastníci studií	27
5.3	Prostředí.....	27
5.4	Obsah studií.....	28
6	Diskuze	34
6.1	Limity práce.....	35
7	Závěry.....	36
8	Souhrn	37
9	Summary	38
10	Referenční seznam.....	39
11	Přílohy	45

1 Úvod

Běh patří odjakživa mezi nejzákladnější lidské pohyby. Podle Moravce (2003) jsou běhy na střední a dlouhé tratě jedny z nejvíce rozšířených disciplín v atletice. Navíc jsou v mládežnických kategoriích velmi oblíbené. Lákadlem je porovnání svých sil mezi ostatními závodníky v přímém souboji na trati, kterou se snaží zvládnout co nejrychleji.

Důležitá je příprava na tyto soutěže. Ta probíhá celoročně, ale pro naši práci je stěžejní ta, která probíhá ve vyšších nadmořských výškách. Elitní běžci na střední vzdálenosti často využívají hypoxické prostředí za účelem zlepšení jejich výkonnosti, vycházející z adaptace na prostředí (Sharma et al., 2019). Dále podporuje zvýšení objemu hemoglobinu, zlepšení svalové paměti a zvýšení prahu snášenlivosti laktátu (Friendman-Bette, 2008). Trénovaní sportovci touto metodou zvyšují VO_{2max} a ekonomiku cvičení (Levine a Stray-Gundersen, 2005). Pro účely práce jsme vytvořili anketu mezi elitními českými běžci (Příloha 1). Dotazovali jsme se na místa, která využívají za účelem vysokohorského soustředění a také na celkovou délku expozice. Ověříme, zda tyto místa a délku expozice můžeme označit za ideální, či nikoli.

2 Přehled poznatků

2.1 Struktura sportovního výkonu běžce na střední tratě.

Abychom mohli mluvit o vlivu prostředí na sportovce, musíme nejdříve popsat strukturu výkonu zkoumaného subjektu.

Struktura sportovního výkonu na střední a dlouhé tratě je působení vlivů vrozených dispozic, prostředí a záměrného tréninku. Z teoretického hlediska je možné tento komplex chápat jako celek, složený z dílčích vzájemně propojených částí (Dovalil, aj. 2012). To potvrzuje i Moravec (2003), který dále rozděluje strukturu sportovního výkonu na oblast somatickou, osobnostní (psychickou), kondiční a techniku s taktikou.

2.1.1 Somatické faktory

Somatické faktory jsou relativně stálé a ve značné míře geneticky podmíněné činitele hrají v řadě sportů významnou roli (Dovalil, 2012). Vrozené a následně v dětství získané předpoklady hrají hlavní roli v budoucí výkonnosti běžce (Kučera, Truska, 2000). Výkonnost při bězích na střední, ale i dlouhé tratě ovlivňuje spousta fyziologických faktorů (Coyle, 1999; Joyner a Coyle, 2008). Za elitní běžce považujeme jedince, kteří se zúčastnili alespoň jedné vrcholné akce ve své disciplíně. Hodnoty BMI se u těchto běžců orientují v průměru kolem 22,5 (kg/m²) (Abraham, 2010). Procentuální zastoupení tuku v těle se pohybuje na nízké hladině okolo 6.5 % (Abraham, 2010). Výzkumy Billat et al. (2004), Sánchez (2020) a Housh et al. (1984) udávají průměrnou tělesnou výšku od 175 do 179 centimetrů. Tyto údaje definují postavu běžce na střední tratě. Nejčastějším ukazatelem pro určení výkonnosti je VO_{2max} . Elitní běžci dosahují hodnot 70 ml·min⁻¹·kg⁻¹ a více (Saunders et al., 2009; Sharma et al., 2017; Sharma et al., 2019). Energetické zásobování je uskutečněno jak anaerobními procesy, tak i aerobními (Spencer a Gatin, 2001). Pro zlepšení výkonu je důležité zaměřit se na zlepšení obou složek.

Podle Moravce (2003) jsou nejzákladnějšími údaji, které nás zajímají a podle kterých se orientujeme směrem k jednotlivým disciplínám tělesná výška, hmotnost, poměr dolních končetin k trupu a hodnoty podkožního tuku. A na základě těchto proměnných rozlišuje tři typy běžců: Odrasový, atletický a frekvenční (Tabulka 1).

Tabulka 1

Definice odrazového, atletického a frekvenčního typu podle Moravce (2003).

	Odrazový typ	Atletický typ	Frekvenční typ
Výška (cm)	175+ muži / 160 ženy	165-178 muži/ 157-170	155-170 muži /147-162 ženy
Váha (kg)	60-80 muži/50-65 ženy	60-75 muži / 50-65 ženy	50-65 muži/ 45-60 ženy
Svalstvo	Útlé a výrazně šlachovité	Dobře vyvinuté s velikou silou	Šlachovité a dobře vyvinuté
Tuková vrstva	Na minimu	Na minimu	Na minimu s tolerancí k slabší tukové vrstvě
Končetiny	Dlouhé a tenké	Přiměřeně dlouhé	Kratší
Trup	Kratší	Přiměřený poměr mezi končetinami	Kratší
Typický znak	Dlouhý krok + důraznější odraz	Všestranné pohybové schopnosti	Frekvenční krok
Typická trať	Střední a dlouhé tratě	Všechny běžecké disciplíny	Dlouhé (vytrvalostní) tratě

Dalším faktorem je složení svalu z hlediska zastoupení svalových vláken. Typy vláken, jejichž podíl je v podstatě určen geneticky, ovlivňují různé funkce svalů. Dovalil (2002) uvádí 2 typy vláken, a to vlákna bílá, rychlá a červená, pomalá. Dále zmiňuje, že poměr těchto dvou vláken je cennou diagnostickou hodnotou při hledání talentovaných sportovců pro danou specializaci. Podle Dovalila (2012) mají běžci na střední tratě (konkrétně 800 m) daleko větší zastoupení rychlých vláken v poměru s vlákny pomalými ve srovnání s běžci na dlouhé tratě. Největší dominanci bílých vláken však nacházíme u sprinterů, kde se celkové množství pohybuje kolem 70%. V Tabulce 2 nalezneme procentuální zastoupení vláken bílých k vláknům červeným.

Tabulka 2

Procentuální zastoupení vláken v různých odvětvích běhů (Dovalil, 2002).

Sport	Bílá (rychlá) vlákna v %	Červená (pomalá) vlákna v %
Běh na dlouhé tratě	21	79
Nesportovci	50	50
Běh na střední tratě	53	47
Sprint	70	30

2.1.2 Kondiční faktory

Podle Moravce (2003) je kondiční příprava nejdůležitější složkou sportovního tréninku. Má za úkol vytvářet základní tělesné předpoklady pro vysokou výkonnosti v daném sportu. Tuto kondiční přípravu rozdělujeme na dvě důležité složky. Všeobecnou a speciální. Obě složky se navzájem doplňují a jedna bez druhé není schopna účinně fungovat.

Trénink všeobecných kondičních schopností napomáhá podle Moravce (2003) především všestrannému rozvoji organismu na základě rozvoje základních pohybových schopností. Mezi ně řadíme rychlost, sílu, vytrvalost a koordinační schopnosti (Dovalil, 2005). Rozvoj těchto schopností vždy předchází rozvoji speciálních pohybových schopností, a to jak v průběhu ročního cyklu, tak i několikaletém cyklus (Kučera & Truska, 2000). Důležitou funkcí tréninku těchto schopností je odstranění určitých nedostatků při nerovnoměrném tělesném rozvoji. To se týká především jednotlivých svalových skupin. Dále vytváří prostor pro aktivní odpočinek v období, kdy není tréninkové zatížení tak vysoké a v přestávkách mezi tréninkovými jednotkami. Konkrétním příkladem mohou být pomalé regenerační klusy neodbytně patřící do přípravy běžce na střední tratě (z 33 %) (Boileau, 1982).

Speciální kondiční příprava napomáhá ke zdokonalování obecných, ale zejména speciálních pohybových schopností (Moravec, 2003). Zde mluvíme například o běžeckých úsecích či atletických abecedách, rychlostních trénincích, ale také závodech. Intervalové tréninky mají v ročním cyklu zastoupení 33 % tréninku a trénink rychlosti 18 % (Boileau, 1982).

V Tabulce 3 najdeme ideální procentuální zastoupení všeobecné a speciální složky v horizontu biologického věku jedince.

Tabulka 3

Ideální procentuální zastoupení všeobecné a speciální složky v horizontu biologického věku jedince (Moravec, 2003)

Věk (roky)	Všeobecná kondiční příprava (%)	Speciální kondiční příprava (%)
15	65	35
16	60	40
17	55	45
18	50	50

Z Tabulky 3 vyplývá, že každým rokem se v horizontu od patnácti do osmnácti let snižuje zastoupení všeobecné kondiční příprava zhruba o 5 % a nahrazuje se kondiční přípravou speciální.

2.1.3 Technika

Technikou se rozumí účelný způsob řešení pohybového úkolu, který je v souladu s možnostmi jedince, s biomechanickými zákonitostmi pohybu a uskutečňuje se na základě neurofyziologických mechanismů řízení pohybu (Dovalil, 2012). Při výkonu nejde jen o fyziologické předpoklady, ale pro zlepšení výkonnosti je důležité zlepšit i techniku provedení (Cunningham, 2013).

Moravec (2003) rozděluje techniku běhu na frekvenci a délku kroku. Pokud se při konstantní rychlosti běhu změní frekvence, ovlivní to délku kroku, a naopak (Moore, 2016). Běžci se snaží zvolit si optimální a efektivní délku a frekvenci kroku na základě své vrozené, podvědomé biomechaniky nebo-li samooptimalizace (Moore, 2012; Williams, 1987). Ekonomický běh eliminuje vertikální a horizontální pohyb těžiště, což má za následek minimalizaci výdeje energie (Kenney, Wilmore & Costill 2015). Co se týče délky kroku, rozsah pohybu kolene při různých rychlostech je u běžců na střední tratě menší než u běžců na dlouhé tratě (Cunningham, 2013). Celkovou délku kroku mají při maximální rychlosti lepší sprinteři než běžci na dlouhé tratě (Armstrong, 1984; Bushnell, 2007), běžci na střední tratě se pohybují mezi sprintery a dlouhotraťáři (Cunningham, 2013). Podle Moravce (2003) jsme schopni rozvíjet pouze běžecký odraz a s ním spojenou délku kroku.

2.1.4 Taktika

Taktická příprava spočívá ve schopnosti efektivně využít své možnosti a síly k vítězství. (Moravec 2003). Sportovci se učí takticky myslet. Makubuya a Kaufman (2018) zmiňují, že existuje mnoho strategií využívaných při vrcholových kláních. Liší se jak průběžným umístěním, rychlostí běhu anebo dokonce atakováním psychiky soupeřů. Taktika spočívá ve stanovení tempa, či udržení výhodného místa ve skupině. Do taktické přípravy před závodem patří také seznámení se se jmény soupeřů, jejich výkonností, aktuální formou a očekávanou taktikou. Přes znalosti a doporučení trenéra je třeba nechat prostor pro samostatné řešení situací závodníkem (Millerová, 1994). Na rozdíl od ostatních faktorů, taktika nelze nijak objektivně změřit (Thiel et al., 2012)

2.1.5 Psychika

Přestože struktura výkonu vychází ze sportovní specializace, (s odpovídajícími faktory kondičními, technickými a taktickými) mají u všech výkonů zásadní význam faktory psychické (Dovalil, 2002). Psychika je nejvyšší regulační stupeň lidského organismu, často má rozhodující vliv na okamžitý výkon. Zaměřujeme se na postupnou přípravu na závody a na bezprostřední přípravu před závodem. Smyslem psychické přípravy je urychlovat a zkvalitňovat celkovou adaptaci a regulaci psychických funkcí na podmínky velkých závodů. Cílem je vytvářet dlouhodobé i bezprostřední předpoklady pro optimální regulační úroveň psychického stavu (Písařík, Liška, 1985).

Podle Moravce (2003) je vhodné se zaměřit na mentálně silné jedince, vyrovnané, cílevědomé a ctižádostivé s vysokou úrovní volních a morálních vlastností. Dokonce se zmiňuje že vhodný je i typ s mírným sklonem k cholerismu. Popisuje skutečnosti, při kterých je rozdílná odolnost závodníků snášet monotónní zatížení jednotvárné činnosti. Zmiňuje introvertní povahu běžců jako výhodu, kterým tyto monotónní činnosti vyhovuje, a dokonce ji vyhledávají. Jde především o vytrvalce. Naopak jedinci se silně cholerickými znaky jsou vedeni jako nevhodnými pro běhy pro jejich nadměrná vznětlivost, náladovost a těžkou ovladatelnost. Nevhodnými typy jsou také melancholické a flegmatické pro svoji nízkou vzrušivost a často minimální ctižádostivost.

Moravec (2003) uvádí, že v běžeckých disciplínách se objevují rysy důslednosti, cílevědomosti, schopnosti snášet dlouhodobě velké tréninkové zatížení, schopnosti koncentrace ve stavu dlouhotrvající únavy a schopnosti dobrého a optimálního uspořádání svého volného času.

2.2 Trénink běžce na střední tratě

Cílem tréninku je zlepšení výkonnosti. Výkonnost běžce na střední tratě je spojena s množstvím energie, kterou je schopen uvolnit pomocí aerobních a anaerobních systémů, za účelem účinné lokomoce (Snell, 1990). Běh na 800 metrů je charakterizován jako činnost submaximální intenzity. Skládá se celkově z 39 % (muži), 33 % (ženy) využití anaerobního metabolismu (Hill, 1999). Trénink elitních běžců na střední tratě se v ročním cyklu skládá z 33 % intervalového tréninku, 33 % dlouhých pomalých běhů, závodního tempa 16 % a tréninku rychlosti 18 % (Boileau, 1982). Je dokázáno, že VO_{2max} a maximální kyslíkový deficit výrazně korelují s výkonností při bězích na střední tratě (Di Prampero et al., 1993). Pro zlepšení výkonnosti běžce na střední tratě je cílem zlepšení jejich aerobní kapacity. Jedna z využívaných metod, vedoucí k dosažení tohoto cíle je hypoxie. (Levine a Stray-Gundersen 1997; Gore et al., 2001; Saltin et al. 1995; Nummela and Rusko 2000).

2.3 Vysokohorské prostředí

Botek, Neuls, Klimešová a Vyhnánek (2017) uvádějí, že počátek nejintenzivnějšího zkoumání vlivu nadmořské výšky na lidské tělo fyziology a lékaři byl po roce 1968. Tento rok se konaly Olympijské hry v Mexiko City, které dosahuje nadmořské výšky 2240 m n.m. *Ukázalo se, že vlivem řidšího vzduchu dosahovali zlepšené výkonnosti zejména sprinteři, skokani či vrhači, zatímco na výkony ve vytrvalostních disciplínách měla vyšší nadmořská výška účinek zcela opačný* (Botek, Neuls, Klimešová, Vyhnánek, 2017). Dovalil, Potměšil a Bunc (2012) uvádí, že po této fázi výzkumu se směr obrátil i na fázi zkoumání vlivu nadmořské přípravy na výkonnost v běžných výškách. *V obou případech se jedná o adaptaci na změněné podmínky a o vliv zatěžování na změn v organismu, které jsou příznivé pro výkonnost ve vyšších nadmořských výškách a které přetrvávají a udržují se po určitou dobu po návratu* (Dovalil, Potměšil, Bunc, 2012).

Nadmořská výška ovlivňuje lidské tělo odlišným způsobem v různých nadmořských úrovních. Dovalil (2012) poukazuje na snížení barometrického tlaku (o 12 % na 1000 m.) a parciálního tlaku kyslíku se zvyšující se nadmořskou výškou. Teplota vzduchu se snižuje o 1 stupeň Celsia každých 150 metrů nezávisle na zeměpisné šířce. Teplotu může ovlivnit vítr. Horský vzduch se liší od vzduchu v nížinách. Rozdílové hodnoty se týkají tlaku vodních par. Ten klesá přibližně o 25 % na každých 1000 metrů. *Výdej vody ze sliznic průdušek se proto při dýchání znásobuje* (Suchý, Dovalil a Perič 2009). Díky větší propustnosti atmosféry se zvyšuje intenzita ultrafialového záření asi o 20-30 % na 1000m výšky. Intenzitu záření ovlivňuje i odraz od sněhu, který je v těchto nadmořských výškách častý. Tyto vnější vlivy vyvolávají aktuální reakci lidského organismu (Dovalil, 2012).

2.3.1 Hypoxie

Ve spojitosti s nadmořskou výškou se setkáváme s pojmem hypoxie, který je důležité definovat. Trojan a kolektiv (1994) popisuje hypoxii jako stav, kdy organismus není schopen dostávat optimální přísun kyslíku. Jednodušeji řečeno to je nerovnováha mezi dodávkou kyslíku a požadavky tkáně organismu. To má za následek poruchu či omezení funkce organismu. Pokud je tkáň bez jakéhokoliv obsahu kyslíku, mluvíme o anoxii. Botek, Neuls, Klimešová a Vyhnánek (2017) rozdělují hypoxii do 4 základních typů podle příčiny vzniku.

- Hypoxická: k hypoxické hypoxii dochází třemi různými způsoby. V důsledku pobytu ve vyšší nadmořské výšce nebo prostředí s nižším parciálním tlakem kyslíku dochází k hypobarické hypoxii. Při normobarické hypoxii dochází k poklesu koncentrace kyslíku

ve vdechované směsi pod 21 %. Poslední mechanismus zaznamenáváme při poruše transportu kyslíku do plic, či snížené ventilaci plic.

- Anemická: vzniká ze situace normální hodnoty parciálního tlaku kyslíku v okolním vzduchu. Transport je narušen kombinací snížení transportní kapacity krve pro kyslík v důsledku nedostatku erytrocytů se schopností přenést kyslík. Často bývá na vině snížený počet červených krvinek či hemoglobinu.
- Ischemická (stagnační): je výsledkem nedostatečného proudění krve kapilárami (například pokles tlaku krve, vyvolaný selháním srdce či velkou ztrátou krve).
- Histotoxická: vzniká za situace normální dodávky kyslíku tkáním, které jej nemohou z důvodu toxického poškození dostatečně využít.

2.3.2 Kategorizace hypoxického prostředí

Pro účely sportovního tréninku je nadmořská výška rozdělena na pět výškových rozmezí (Tabulka 4) (Dovalil et al., 1999). Nejnižší je výška od hladiny moře po 800 m n.m. Střední výška se pohybuje v rozmezí 800–1500 m n.m., vyšší 1500–3000 m n.m. a vysoká nad 3000 m n.m. Výška nad 5800 m n.m. je označována jako EXTRÉMNÍ. Pro atletický trénink je tato výška naprosto nevhodná. Značně ztížená je schopnost aklimatizace a trvalý pobyt je taktéž velmi obtížný.

Tabulka 4

Kategorizace nadmořské výšky dle Dovalila et al. (1999)

Nadmořská výška	Název
Od hladiny moře do 800 m n.m.	NÍZKA
800–1500 m n.m.	STŘEDNÍ
1500–3000 m n.m.	VYŠŠÍ
Nad 3000 m n.m.	VYSOKÁ
Nad 5800 m n.m.	EXTRÉMNÍ

Dovalil (1999) a Gore a kol. (2001) označuje 2200 m n.m. jako nejideálnější výšku pro tréninkový kemp. Potvrzuje to výzkum Chapmana et al. (2017), který označuje všechna prostředí od 2000 do 2500 metrů nad mořem za optimální. Samozřejmě není snadné najít místo pro trénink s takto přesně danými parametry. Nad hranicí této výšky se sportovní trénink nedoporučuje z důvodu nuceného snižování zatížení, které je sportovec schopen snášet. Sportovec je schopen procesu aklimatizace a snášenlivost hypoxické prostředí se stále zlepšuje. *Pokud to podmínky umožňují, pak se doporučuje postupné zvyšování výšky* (Lychatz, 1990).

2.3.3 Vliv vysokohorského prostředí na organismus

Vysokohorské prostředí vyvolává významné změny v činnosti organismu. V kapitole kategorizace určíme výšku 2100 až 2500 m n.m. jako ideální a níže zmíněné fyziologické změny se týkají především této výšky. Některé změny jsou krátkodobé a trvají několik dní a některé jsou dlouhodobé a ovlivňují organismus v horizontu měsíců. Trénink v takovém prostředí přináší velkou spoustu benefitů napomáhající ke zvýšení výkonnosti běžců na střední tratě, ale také určitá rizika.

Podle Dovalila (2012) díky nižšímu parciálnímu tlaku při tréninku v nadmořské výšce nastává kompenzační reakce. Ta má za následek zrychlení vegetativních funkcí. U neadaptovaných jedinců se zvyšuje plicní ventilace až o 20 %. Tepová frekvence se při střední intenzitě zatížení zvyšuje od 20-30 % oproti nížině. *Úroveň maximální spotřeby kyslíku (VO_{2max}) se u neadaptovaných jedinců snižuje ve výšce 1 200 m n.m. přibližně o 5 až 10 % a od 1 600 m n.m. připadá na každých 1 000 m pokles asi o 9 až 11 % VO_{2max} x.* (Robergs, 1998). Studie dokazují, že hodnoty VO_{2max} při zátěžovém testu jsou v normoxii značně vyšší než v hypoxii (Black et al., 2017).

Hypoxie spojená s nižším parciálním tlakem kyslíku ve vzduchu stimuluje tvorbu hemoglobinu a červených krvinek v těle a za následek zaznamenáváme změnu buněčných funkcí a metabolismu (Brugniaux et al., 2006). Takové prostředí stimuluje i tvorbu svalového myoglobinu. Dovalil (2012) říká, že až o 16 %. Myoglobin slouží také jako rezerva kyslíku. Zvýšení počtu červených krvinek lze pozorovat již 3. den pobytu ve vysokohorském prostředí. (Pupiš a Čilík, 2012).

2.4 Fáze a průběh aklimatizace

Adaptace na vyšší nadmořskou výšku trvá jako komplexní proces přibližně 21 dnů, poté dochází ke stabilizaci (Dovalil a kol, 1999). Obvykle se se rozděluje na tři základní fáze. První je akomodace, následuje adaptace a třetí aklimatizace. Aby průběh aklimatizace proběhl správně, musí se brát zřetel na výkonnostní a zdravotní stav běžce a sestavit ideální tréninkový plán. Ten by se měl lišit od tréninku v nížinách, neboť hypoxické prostředí má odlišné nároky na lidský organismus. Adaptační procesy spojené s hypoxickým prostředím mají své omezené trvání. Podle Dovalila (2012) přetrvávají maximálně 4 měsíce ukončení fáze adaptace.

2.4.1 Akomodace

Krátkodobá a bezprostřední reakce na hypoxické prostředí se nazývá akomodace a trvá přibližně od 3 do 8 dní (Suchý, Dovalil, Perič, 2009). Vedle poklesu výkonnosti zaznamenáváme zvýšenou hyperventilaci, tepovou frekvenci, zvýšení krevního laktátu, a naopak snížení VO_{2max} (Wehrin a Hallén, 2006). Sportovci si při vysokohorských pobytech často stěžují na ranní bolesti hlavy a výjimkou není ani zhoršení dýchacích schopností během spánku (Shirahata, 2004).

2.4.2 Adaptace

Navazuje na akomodaci. Suchý, Dovalil a Perič (2009) ji charakterizují změnami v organismu po dobu osmi dní. Výkonnost sportovce se postupně zlepšuje a přibližuje se k hodnotám v nížinách (Suchý, Dovalil a Perič, 2009). Dochází k metabolickým změnám, které vedou k poklesu klidové tepové frekvence, klidového minutového srdečního objemu a zvýšení vitální kapacity plic (Dovalil, 2005). Začínají opadat pocity podrážděnosti a střídají je pocity štěstí, dočasné euforie a sebedůvěry.

2.4.3 Aklimatizace

V procesu trvajícím přibližně 21 dní probíhá fáze aklimatizace kolem 16. až 17. dne (Suchý, Dovalil, Perič, 2009). Nastává kompletní aklimatizace na hypoxické prostředí (Wilber, 2004). Důsledkem aklimatizace je zvýšení pufrovací kapacity krve, efektivnější odbourávání laktátu a tím i rychlejší regenerace organismu (Friedmann-Bette, 2008). Díky tomu je sportovec je schopen snášet větší zátěž v tréninku, která se podobá tréninku v nížině. V této části je možné zaznamenání mírného krátkodobého poklesu výkonnosti (Dovalil, 2005).

2.5 Trénink ve vysokohorském prostředí

Hypoxická expozice se stala oblíbenou metodou běžců, jak zlepšit svoji výkonnost (Saunders et al., 2009). Experimentální výzkumy dokazují zlepšení aerobní kapacity (Levine et al. 1997; Gore et al. 2001), ale také anaerobní kapacity (Saltin et al. 1995; Nummela and Rusko 2000). Hypoxický trénink napomáhá zvýšení objemu hemoglobinu (Brugniaux et al., 2006) a zlepšuje pufrovací kapacitu svalů, které zvyšuje hranici snášenlivosti laktátu ve svalu (Friedmann-Bette, 2008). Absolvování hypoxické expozice v horizontu tří týdnů zvyšuje hodnoty VO_{2max} a snižuje srdeční frekvenci (Brugniaux et al., 2006). Při těchto výzkumech je zapotřebí brát v potaz individualitu běžců na střední tratě (Koistinen, 1995). Podle Dovalila (2012) se můžeme bavit o vysokohorském tréninku od 1500 m n.m. Využíváme ho jak na soutěže v nižších nadmořských výškách, tak i v těch vysokých. Suchý, Dovalil a Perič (2009) ve stavbě tréninku ve vysoký nadmořské výšce přikládají největší váhu zotavovacím procesům. Doporučují, že v případě potřeby je vhodné přidat odpočinkový den. Předpřipravený tréninkový plán by měl počítat s úrovní trénovanosti jedince, vycházející z tréninku v nížině. Nejvíce ideální délka pobytu ve vyšší nadmořské výšce se udává 21 až 28 dnů, kdy 21 dnů je považováno za minimum (Suchý, Dovalil a Perič, 2009). Opakované pobyty mají pro zlepšení výkonosti veliký význam.

Suchý, Dovalil a Perič (2009) ve své práci popisují zásady, na které by si měl sportovec dávat pozor při tréninkovém kempu ve vysokohorském prostředí trvající 21 dní. Kemp rozdělují na tři části, kterým bychom měli věnovat pozornost (Tabulka 5).

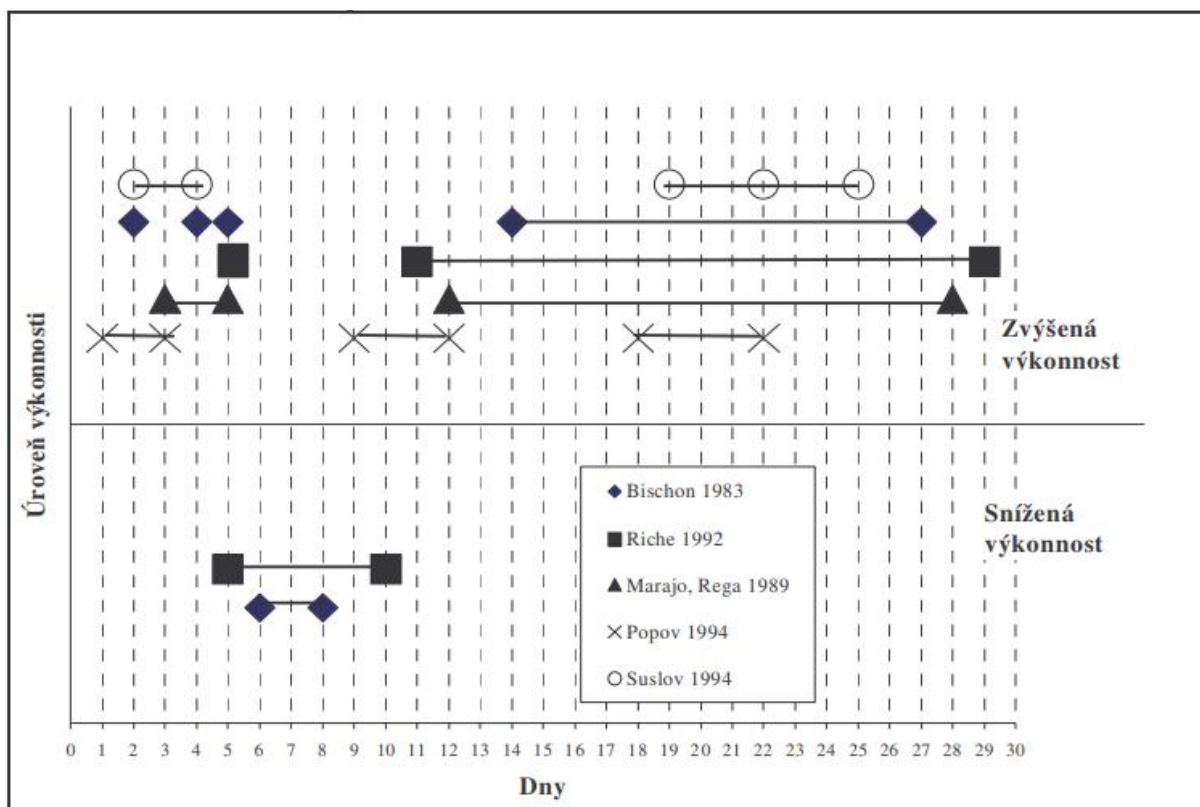
Tabulka 5:

Tři část tréninkového kempu trvající 21 dní dle Suchého, Dovalila a Periče (2009)

Fáze	Dny	Specifika vybraných částí
1.	1.-6.	Snížená intenzita zatížení. Energetické krytí převážně aerobní. Souvislé běhy a fartleky a později intervalové tréninky. Maximálně 75% zatížení oproti normoxii. Okolo 3. dne nezvyšovat zatížení, aby nedošlo k přetížení.
2.	7.-12.	Náročnější aerobní zatížení. Postupné zvyšování zatížení. Důležité zařazení ATP-CP tréninku. Doporučuje se na konec zařadit lehký laktátový test.
3.	12.-21.	Podoba tréninku v hypoxii. Přibývá intervalových tréninků.

Během kempu ve vyšších výškách musíme počítat s krizovými dny. První nastává ihned 2.den po příjezdu, což je způsobeno reakcí organismu na prostředí a trvá do třetího dne (Dovalil, 2005). Je třeba brát v potaz, že se po první krizi může dostat sportovec do euforie a následně přecenit své síly při tréninku. Musíme tedy tréninkové zatížení zvyšovat přiměřeně a s opatrností, a to i přes to, že se jedinec bude cítit na větší tréninkové dávky. Další krize sportovce čeká 9. den. Probíhá v důsledku mírnější únavy a s tím spojenou psychikou (Suchý, Dovalil, Perič, 2009). Tato krize se označuje za individuální a odeznívá až kolem 13. dne pobytu. S poslední krizí se setkáváme 15. den. Bývá nejhlubší a Suchý, Dovalil a Perič (2009) dokonce mluví o akutní depresi, která odezní až 19. den.

Obvyklý plán po ukončení pobytu je návrat do nížiny. Poslední 2 až 3 dny tréninkového kempu jsou ve znamení odpočinku a regenerace, přičemž stupeň zatížení se výrazně snižuje (Suchý, Dovalil, Perič, 2009). Po návratu do nížiny je důležité pokračovat minimálně 2 až 4 dny ve snížení zatížení a zvýšení regenerace (Dovalil, 2005). Do 10. dne je typické snížení výkonnosti. Až od 10. dne po ukončení tréninkového kempu ve vysokohorském prostředí výkonnost stoupá a nejlepších hodnot dosahuje okolo 3. týdne v rozmezí 3 až 4 dnů (Dovalil, 2005). *Pozitivní efekty pozvolna mizí po 5-6 týdnech normoxie* (Wilber, 2004). Fáze reaktimizace po tréninkovém kempu je vyobrazena na Obrázku 1. Na něm vidíme pět různých výzkumů zaměřených na reaktimizaci (Dovalil et al., 1999).



Obrázek 1. Fáze výkonnosti v průběhu reaktimizace (Dovalil et al., 1999)

2.5.1 Tréninkové modely využívající nadmořské výšky

Botek, Neuls, Klimešová a Vyhnánek (2017) předkládají tři různé typy tréninkových modelů ve vyšších nadmořských výškách:

Žít vysoko – trénovat vysoko (LHTH)

Žít vysoko – trénovat nízko (LHTL)

Žít nízko – trénovat vysoko (LLTH)

Model „Žít vysoko – trénovat vysoko (LHTH) je charakteristickým rysem společného pobytu a tréninku v nadmořské výšce od 1500 do 4000 m n. m., který má za cíl zvýšit transportní kapacitu krve pro O₂ (Botek, Neuls, Klimešová a Vyhnánek, 2017). Woods et al. (2017) zaznamenává zlepšení klidové rychlosti metabolismu. Robertson et al. (2010) potvrzuje prokázané zvýšení objemu hemoglobinu a VO_{2max} po třech týdnech v simulované výšce 3000 metrů nad mořem. Model je typický pro sportovce využívající hypoxické expozice za účelem

vysokohorského soustředění (Sperlich et al., 2016; Woods et al., 2017), ale také pro sportovce, žijící ve vysokých nadmořských výškách (Etiopie) (Botek, Neuls, Klimešová a Vyhnánek, 2017).

Druhým typem je „žít vysoko – trénovat nízko“. Sportovci těží především z adaptačních procesů probíhajících ve vysokých nadmořských výškách, které vedou ke zlepšením výkonů podávajících v nížinách až o 1,9 % (Saunders et al., 2009). Rozložení dne vzhledem k pobytu vysoká/nízká nadmořská výška by se mělo pohybovat kolem 20-22 hodin ve vysoké nadmořské výšce a zbytek v nížinách. Většina výzkumů probíhá jen při simulaci hypoxie během spánku (Saunders et al., 2009; Brugniaux et al. 2006; Robertson et al., 2010). Ve vyšší nadmořské výšce se odehrává proces aklimatizace (Botek, Neuls, Klimešová a Vyhnánek, 2017). Ta přináší benefity, jako jsou například zvýšení objemu hemoglobinu (Saunders et al., 2009; Robertson et al., 2010) a maximálního anaerobního výkonu (Brugniaux et al., 2006; Robertson et al., 2010). Naopak negativně ovlivněny jsou zotavovací procesy, které probíhají pomaleji. Nižší nadmořská výška slouží k tréninku. Sportovec je schopen odtrénovat větší objem tréninku při vyšší intenzitě zatížení.

Poslední model spočívá v kombinaci pobytu v normoxii a vystavení hypoxické expozice za účelem tréninkového zatížení sportovce, trvající méně než 3 hodiny. (McLean et al., 2014). Funguje na opačném principu jako druhý model „žít vysoko – trénovat nízko“. Způsob a intenzita zatížení jsou klíčovými faktory zprostředkováním reakce na model LLTH (McLean et al., 2014). Optimální se zdají tréninky s vyšší intenzitou na anaerobní úrovni (McLean et al., 2014). Zotavovací procesy jsou v nížině rychlejší než ve vyšší nadmořské výšce (Suchý, Dovalil, Perič, 2009). Ovšem účinky takto krátkodobých tréninků jsou spekulativní a tento model je využíván spíše díky snadnému uskutečnění především z časového a ekonomického hlediska.

2.6 Alternativy vysokohorské prostředí

Naplánovat a také uskutečnit vysokohorské soustředění není pro většinu sportovců vždy jednoduché. Často tomu překážejí faktory ekonomické, sociální nebo časová náročnost. Tudíž přirozeně hledají cestu, jak v rámci možností uskutečnit soustředění, či nasimulovat vysokohorské prostředí. Alternativou může být tradiční tréninkový kemp, ale ve zkrácené podobě (Bahenský a Suchý, 2015). Složitější postup je využívání umělého hypoxického prostředí, ke kterému je zapotřebí speciálních přístrojů (Ogawa et al., 2005 a 2007). Nejčastěji využívanými prostředky jsou kyslíkové stany a barokomory. Za zmínku stojí trénink s hypoxickými přístroji, který taktéž přináší značné benefity (Ogawa et al., 2005, 2007).

V tréninku sportovce přirozeně hledáme tu nejúčinnější a nejvhodnější cestu. Ale přeci jen při výběru jednotlivých alternativ musíme brát v úvahu spoustu proměnných, jako je jejich účinnost, doložená výzkumnými výsledky a dosažitelnost, která souvisí s ekonomickými a psychickými faktory (Dovalil, 2005). Důležitá je také časová náročnost.

2.6.1 Sedmidenní vysokohorský trénink

Považujeme ho za zkrácený ve srovnání s ideální délkou pobytu, které se nejčastěji udává v rozmezí 21 až 28 dní. Tréninkový kemp se zkracuje u elitních běžců na střední tratě především kvůli ekonomickým faktorům a také z důvodu časové náročnosti. Na základě ankety zjišťujeme, že metoda je často využívána v mládežnických kategoriích, kterých se týká povinná školní docházka. Je dokázáno, že takto zkrácené tréninkové kempy v žádném případě nenahradí doporučenou délku pobytu. Ukazatelem je například objem hemoglobinu. Daniels & Oldridge (1970) prokázali při opakovaných třítýdenních pobytech ve vyšší nadmořské výšce navýšení množství hemoglobinu o 6 %, Berglund a kol. (2002) o 9 %, Heinicke a kol. (2005) o 8,5 %. Suchý (2012) udává po absolvování desetidenním pobytu ve vyšší nadmořské výšce zvýšení hemoglobinu o 4,2 %. Bahenský a Suchý (2015) zaznamenávají hodnoty po týdenním pobytu značně menší. Určité benefity přeci jen přináší. Bahenský a Suchý (2015) přichází se závěrem, že v kombinaci s dobře zvolenou intenzitou zatížení a skladbou tréninku může i takto krátké soustředění zlepšit výkonnost běžce na střední tratě.

2.6.2 Kyslíkové stany

Jsou to plachtou uzavřené prostory, do kterých je pomocí přístroje přenášen speciálně upravený vzduch, který odpovídá vzduchu v předem navolené nadmořské výšce (Suchý, Dovalil,

Perič, 2009). Nejčastější vyžití stanu spočívá v pasivním pobytu sportovce, nejčastěji spánku. Využívají je vrcholoví sportovci za účelem zvýšení počtu červených krvinek, které urychlují transport kyslíku do tkání, a tak napomáhají zvýšit výkonnost (Dovalil, 2005). Kyslíkové stany stejně jako vysokohorské prostředí snižují schopnost regenerace. Při kombinaci tréninku a nadměrného využívání stanu hrozí přetrénování. Důležité je hlídání počtu krvinek v krvi i z důvodu, že nadměrný počet červených krvinek v těle je považován za doping. Stany jsou využívány z důvodu snadné instalace a využívání z pohodlí domova (Suchý, Dovalil, Perič, 2009).

2.6.3 Barokomory

Navazují na kyslíkové stany. Rozdílem je prostor místnosti, do které je vháněn požadovaný kyslík simulující hypoxické prostředí. Prostory nejsou využívány jen pasivní činností, ale naopak je zde prostor pro aktivní činnosti. Komory obsahují trenažéry, běžecké pásy či rotopedy.

V současné době řada vrcholových sportovců obvykle kombinuje trénink v přirozené vyšší nadmořské výšce se spánkem v kyslíkových stanech/barokomorách (v některých případech doplňovaných omezeným tréninkem za využití trenažerů v barokomorách) a tréninkem v normoxii (Suchý a Dovalil, 2005). I zde je důležité hlídat hladinu počtu červených krvinek v těle z důvodu snížení schopnosti regenerace. Díky laboratornímu prostředí je snadnější zkoumat kladiny i jiných parametrů. Například saturace kyslíku v krvi, hladina železa v krevním séru a parciálního tlaku kyslíku.

2.6.4 Trénink s hypoxickými přístroji

Hypoxické systémy pracují na principu simulace vysokohorského prostředí, ve kterém je nižší koncentrace kyslíku (Ogawa et al., 2005 a 2007). Jedná se o speciální přístroj, který simuluje vysokohorský vzduch a sportovec tento vzduch vdechuje přes masku nasazenou na obličej. Celý stroj je připevněn na těle sportovce a ten vykonává aktivitu s touto výbavou. To můžeme považovat za nevýhodu této metody která je pro některé sportovce nekomfortní. I přes to se tento trend výzkumu začíná rozmáhat a budují se nové hypoxické komory. Důkazem toho je například nově vybudovaná hypoxická komora v Aplikačním centru Baluo Univerzity Palackého v Olomouci.

3 Cíle a výsledky práce

3.1 Hlavní cíl

Hlavním cílem práce je vytvořit systematický přehled studií, zkoumající odezvu organismu na atletický trénink běžce na střední tratě v hypoxickém prostředí a vliv na jeho výkonnost.

3.2 Dílčí cíle

- 1) Zjistit jaký vliv má hypoxický trénink na výkonnosti běžce na střední vzdálenosti.
- 2) Zjistit optimální nadmořskou výšku a délku expozice pro hypoxický trénink za účelem zlepšení výkonnosti běžců na střední vzdálenosti

3.3 Výzkumné otázky

- 1) Jaká je ideální nadmořská výška pro zlepšení výkonu?
- 2) Jaký vliv má hypoxický trénink na výkonost běžce?
- 3) Jaký vliv má hypoxie na vybrané fyziologické parametry?

4 Metodika práce

Přehled vědeckých studií byl vytvořen v roce 2020. Ke strategii vyhledávání byla využita databáze Web of science (WBS). K vytvoření databáze byla využita otázka PECO bez využití komparace. Metoda se skládá z P (populace), E (expozice), C (komparace) a O (outcome, výsledek). Pro naše účely nevyužíváme C (komparace). Dalším krokem bylo zvolit si klíčová slova ke každé části. Cílem bylo vyhledat studie, týkající se vlivu hypoxického prostředí na organismus běžce. Klíčová slova pro populaci byla zvolena: running, runner, runners, track and field a track and fields. Pro expozici altitude environment, hypoxic environment, hypoxia, alpine training, high-altitude, altitude training camp, altitude training camps. Komparaci vynecháváme, neboť není v našem případě potřebná. Pro outcome jsme si zvolili slova VO2max, lactate, performance, pulse, aerobic, anaerobic, hearth rate, erythrocyte count, hemoglobin a hematocrit. Vyhledávací strategie začala vyhledáním každého oddílu (P, E, O) zvlášť za pomoci znaku OR. Počet vyhledaných studií je P (564), E (185009), O (5537274). Následně byl použit znak AND ve vzoru (P AND E AND O AND) a výsledkem je 879 studií. Pro velké množství studií jsme se rozhodli zúžit populaci na běžce na střední tratě. Díky specifikaci dle klíčových slov: middle distance runner, Middle distance runners a Middle distance running zbylo 36 studií.

Další krok vyhledávací strategie spočíval ve vyřazení nevhodných studií. První fází bylo posouzení výsledků dle názvu prací. Zde jsme vyloučili celkově 6 studií, které dle svého názvu nenasvědčovaly že se věnují naší problematice. Vyloučeny byly studie, které se nezabývaly lidskou populací a které se netýkaly atletiky. Tudiž nám z celkového počtu 36 zbylo 30. Dalším krokem bylo posouzení dle abstraktu. Po přečtení všech abstraktů jsme vyřadili dalších 10 studií. Většina vyřazených studií neodpovídala parametru populace a už se jimi nebudeme dále zabírat. Zbylo 20 studií. Posledním krokem bylo posouzení dle textu. Po přečtení plných textů jsme vyřadili celkově 3 studie. Celkově jsme tedy pracovali se 17 studií. Celkový postup je zaznamenán v Tabulce 6.

Tabulka 6

Popsání postupu vyhledávání studií až ke konečným studiím podrobených finální analýzou.

P (populace)	E (expozice)	C (komparace)	O (outcome)	+
Running	altitude environment	X	VO2max	Middle-distance runner
runner	hypoxic environment		lactate	Middle-distance runners
runners	hypoxia		performance	Middle distance running
Track and field	alpine training		pulse	
Track and fields	high-altitude		aerobic	
	altitude training camp		anaerobic	
	altitude training camps		heart rate	
			erythrocyte count	
			hemoglobin	
			hematocrit	
630800	185009	0	5537274	566
(P) And (E) And (C) And (O) = 879				
(P) And (E) And (C) And (O) AND (+) = 36				
1) Posuzování dle názvu		30		
2) Posuzování dle abstraktu		20		
3) Posuzování dle textu		17		

5 Výsledky

Po prvním vyhledávání v databázi WBS jsme našli celkově 36 studií odpovídajících našim požadavkům a řídící se otázkou PECO. Postupně jsme odstranili studie, které se zdály nerelevantní. První posuzování proběhlo dle svého názvu. Sekundární dle abstraktu a finální korekce byla po přečtení plného textu. Z 36 studií nám zbylo studií 17. Podrobné popis vyhledávací strategie je v Tabulce 6.

5.1 Finální studie

V Tabulce 7 je seznam vybraných studií k finální analýze. Studie jsou rozděleny pod ID (1-17). Každý řádek obsahuje Autora, rok vydání, zaměření výzkumu, časopis, ze kterého článek pochází a počet citací. Ze zjištění počtu citací byl zvolen Google Scholar, neboť databáze WBS obsahuje méně dat. Tabulka 8 obsahuje vybrané studie, které se zaměřují na porovnání parametrů před a po hypoxické expozici. Následně v Tabulce 9 jsou detailněji popsány všechny analyzované studie.

Tabulka 7

*Přehled vybraných studií. * počet citací k 10.4.2020 z Google Scholar.*

ID	Autor	Rok	Cíl výzkumu	Časopis	Počet citací
S1	Ogawa et al.	2005	Jaký má vliv střídavý krátkodobý stupňovaný výkon při běhu na střední vzdálenost v hypobarické hypoxii.	European journal of applied physiology	13
S2	Saunders et al.	2009	Zlepšení závodní výkonnosti u elitních běžců na střední vzdálenosti po kumulované výškové expozici.	International journal of sports physiology and performance	28
S3	Sharma et al.	2017	Vliv tréninku v nadmořské výšce 2100 m n.m. na rychlost běhu a hodnocení relace vnímané námahy při různých intenzitách u elitních běžců na střední vzdálenost	International journal of sports physiology and performance	8
S4	Ogawa et al.	2007	Metabolická odezva během střídavého stupňovaného sprintu v průměrné hypobarické hypoxii u soutěžních běžců na střední vzdálenosti	European journal of applied physiology	19
S5	Sperlich et al.	2016	Řízení zatížení u elitních německých běžců během třítydenního vysokohorského tréninku.	Physiological reports	15

S6	Woods et al.	2017	Čtyři týdny typického tréninku v nadmořské výšce zvyšují klidovou rychlost metabolismu u vysoce trénovaných běžců na střední vzdálenosti	International journal of sport nutrition and exercise metabolism	18
S7	Black et al.	2017	Maximální spotřeba kyslíku je dosažena v hypoxii, a ne v normoxii během vyčerpávajícího běhu vysoké intenzity.	Frontiers in physiology	1
S8	Brugniaux et al.	2006	18 dní využívání modelu „living high, training low“ stimuluje erythropoézu a zvyšuje aerobní výkon u elitních běžců na střední vzdálenosti.	Journal of applied physiology	176
S9	Sharma et al.	2019	Normobarická hypoxie snižuje VO ₂ při různých intenzitách u vysoce trénovaných běžců.	Medicine and science in sports and exercise	6
S10	Saunders et al.	2009	Zlepšení ekonomiky běhu a zvýšení počtu hemoglobinu u elitních běžců po prodloužené průměrné vysokohorské expozici.	Journal of science and medicine in sport	70
S11	Chapman et al.	2014	Definování „dávky“ vysokohorského tréninku: jak vysoko žít pro zvýšení výkonnosti v optimální nadmořské výšce.	Journal of applied physiology	86
S12	Robertson et al.	2010	Efektivita přerušovaného tréninku v hypoxii kombinováno s modelem „live high/train low“.	European journal of applied physiology	74
S13	Ogawa et al.	2007	Vztah mezi klidovou ventilační chemosenzitivitou a maximálním příjmem kyslíku při střední hypobarické hypoxii.	Journal of applied physiology	18
S14	Ashenden et al.	2000	Simulovaná střední nadmořská výška zvyšuje sérum erythropoetin, ale nezvyšuje produkci retikulocytů u dobře trénovaných běžců.	European journal of applied physiology	132
S15	Neya et al.	2007	Účinky noční normobarické hypoxie a tréninku s vysokou intenzitou při přerušované normobarické hypoxii na ekonomiku běhu a objemu hemoglobinu	European journal of applied physiolog	58
S16	Hall et al.	2019	Jednorázová versus rozdělená dávka železa optimalizuje objem hemoglobinu v nadmořské výšce 2106 m	Medicine and science in sports and exercise	6
S17	Hoshikawa et al.	2013	Efekt normobarické hypoxie odpovídající 2000 metrů na spánek a fyziologické aspekty atletů	Journal of strenght and conditioning research	4

5.2 Účastníci studií

Ve vybraných studiích se testování zúčastnilo celkově 208 subjektů. Z toho 171 mužů a 55 žen. Ve člancích Saunderson et al. (2009) a Ogawi et al. (2010), studujících dohromady 20 respondentů nebylo uvedeno žádné pohlaví. Chapman et al. (2014) uvádí ve své práci, že v průběhu výzkumu byli nuceni odstoupit tři respondenti z důvodu osobních problémů, autohavárii a nemoci. Průměrný věk respondentů je 22,66 let. Do tohoto průměru nezařazujeme výzkum Woodse et al. (2017), který uvádí pouze věkové rozmezí respondentů, a výzkumy Robertsona et al. (2010) a Ogawi et al. (2007), které neuvádí žádný věk.

Po přečtení studií zjišťujeme, že ve většině případů se setkáváme s výzkumy, prováděnými na vrcholových běžcích na střední a dlouhé tratě. Výjimku nacházíme pouze jen ve studiích Sharmi et al. (2019), kde je výzkum prováděn jak na běžcích, tak na triatlonistech a studii Ogawi et al. (2007), ve které rozdělil respondenty na netrénované studenty tělesné výchovy, běžce na dlouhé tratě a běžce na střední tratě. Ve všech studiích je popsána výkonnost probandů. Nejčastějšími hodnotami vyjadřující trénovanost sportovců je hodnota VO_{2max} . Ta se nevyskytuje celkově v šesti studiích (ve studii Sperlicha et al. (2016), Chapmana et al. (2014), Robertsona et al. (2010), Woodse et al. (2017), Halla et al., (2019) a Hoshikawu et al., (2013). Kromě studií Halla et al., (2019) a Hoshikawu et al., (2013) všechny zmíněné studie nahrazují VO_{2max} hodnotami osobního či sezónního maxima.

5.3 Prostředí

Všech sedmnáct vybraných studií se zabývá tématem hypoxie a všechna s ní přišla do styku. Celkově 12 studií využívá simulovanou hypoxii. Celkové rozmezí simulovaných nadmořských výšek se pohybuje od 3000 metrů nad mořem až po 2100 metrů nad mořem. Nejvyšší (3000 m n.m.) nadmořskou výšku využili pro účely výzkumu Robertson et al. (2010) a Bragniaux et al. (2006) a Neya et al. (2007). Druhý jmenovaný aplikoval čtrnáctihodinový pobyt denně v komoře. Nejdříve v simulované nadmořské výšce 2500 metrů nad mořem a po šestidenní adaptaci zvýšili výšku na 3000 metrů nad mořem na dobu dalších dvanácti dní. Při obou výzkumech byly využity i přírodní podmínky za účelem komparace výsledků s kontrolní skupinou. Zbylé čtyři studie probíhaly čistě v přírodních podmínkách. Výzkumy Sharmi et al. (2017), Sperlicha et al. (2016) a Woodse et al. (2017) a Halla et al., (2019) probíhaly při tréninkových kempch ve Flagstaffu v Arizoně (2100 m n.m.). Odlišné místo využil Chapman et al. (2014), který respondenty rozdělil dokonce na čtyři různá místa se čtyřmi různými

nadmořskými výškami v Utahu (Heber City – 1780 m, Park City – 2085 m, Deer Valley – 2454 m a Geardsman's Pass – 2800 m).

5.4 Obsah studií

Přehled všech zanalyzovaných studií nalezneme v Tabulce 9. Obsahuje délku a výšku expozice, počet testovaných a tréninkový model. Vypsány jsou také nejčastěji sledované parametry (VO_{2max} , výkonnost a hemoglobin).

Vliv hypoxie zkoumají všechny vybrané studie, nicméně se liší ve svých metodách. Celkem 6 studií využívá náhodně vybranou kontrolovanou skupinu vykonávající podobné, či totožné testování v normoxii. Slouží ke komparaci zjištěných výsledků se skupinou využívající hypoxické prostředí. Zanalyzované práce vykazují pestrost ve využitých tréninkových modelech. Setkáváme se se všemi třemi (LHTH, LHTL a LLTH). Doporučená období pro takovéto výzkumy bývá po sezóně ve fázi přípravy na následující sezónu.

Lacour et al. (1990) uvádí fakt, že po závodě na 800 jsou naměřeny hodnoty laktátu přibližně stejné jako po absolvování poloviční tratě. Dokazuje tak, že anaerobní složka a její zlepšení hraje velkou roli při výkonu běžce na střední vzdálenosti. Na to navazují práce Ogawi et al. (2005) a (2007), které shodně zkoumaly vliv hypoxie na střídavý krátkodobý trénink. Využitím maximal anaerobic running testu (MART) bylo zjištěno, že i přes rapidní snížení VO_{2max} (při „test vita maxima“ o $12,3 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$) v simulované výšce 2500 m n.m. ve srovnání v normoxii, nemá hypoxie vliv na maximální rychlost a celkový čas běhu při MART. Výsledky naznačují, že krátkodobý střídavý výkon není ovlivněn hypoxií (2500 m n.m.) i přes fakt, že jsou sníženy aerobní schopnosti.

Celkem 7 studií bylo zaměřeno na sledování hodnot VO_{2max} . Všechny dokazují, že hypoxická expozice zásadně snižuje dosahované hodnoty VO_{2max} . Práce Sharmi et al. (2019) sledovala hodnoty VO_{2max} ve třech nadmořských výškách (580, 1400 a 2100 m n.m.), při třech různých stupních zatížení a uvádí, že v nejvyšší nadmořské výšce (2100 m n.m.) je propad VO_{2max} výrazně nejvyšší. S odlišným zaměřením výzkumu se setkáváme u Blacka et al. (2017). Ten studoval rozdíly dosažených hodnot VO_{2max} v normoxii a hypoxii při CWR (constant work rate) testu. Nejdříve potvrzuje fakt, že v hypoxickém prostředí se VO_{2max} snižuje, ale doplňuje, že anaerobně trénovaní běžci nejsou schopni dosáhnout VO_{2max} při dvouminutovém maximálním běhu. Naopak v hypoxii díky snížené hodnotě VO_{2max} lze těchto hodnot dosáhnout.

Pohyb VO_{2max} před a po hypoxické expozici sledoval Brugniaux et al. (2006) ve své práci. Po ukončení osmnáctidenní expozici se VO_{2max} zvýšilo o $7,1 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ a po dalších patnácti dnech kleslo o $3,4 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Obrázek 2.). S hodnotami VO_{2max} koreluje i celková výkonnost. Na tu se zaměřil Saunders et al. (2009), který přišel s poznatkem, že opakované minimálně týdenní hypoxické expozici se zvyšuje výkonnost (v tomto případě o 1,9 %) běžce na střední vzdálenosti. Výzkum byl proveden na základě komparace osobních či sezónních maxim.

Zajímavé poznatky přináší práce Sperlicha et al. (2016) a Chapmana et al. (2017). První jmenovaný sledoval psychobiologické stresové markery elitních běžců na střední vzdálenosti během 21 dní na výcvikovém kempu ve Flagstaff (Arizona). Tato práce by mohla sloužit jako příručka poukazující na zásady, které je zapotřebí sledovat. Druhý Chapman et al. (2017) přinesl obohacující výsledky výzkumem v Americe. Studoval optimální nadmořskou výšku při čtyřtýdenní vysokohorské expozici. Vytvořil 4 skupiny vysokoškolských atletů a vyslal je do 1700, 2085, 2454 a 2800 metrů nad mořem. Dle výsledovaných hodnot erythropoetinu a následné výkonnosti při testu na tři kilometry určil nejideálnější výškové rozmezí mezi 2000 a 2500 metry nad mořem. Potvrzuje tak dříve prováděná sledování.

Celkem 5 analyzovaných studií se zaměřilo na sledování hodnoty Erythropoetinu (EPO), hormonu zodpovědného za produkci krvinek v těle. Brugniaux et al. (2006) se své práci uvádí, že po osmnáctidenní hypoxické expozici a tréninku v nížině (LHTL) se díky stimulaci erythropoézy zvýšil objem hemoglobinu o 10 %. Chapman et al. (2017) hypotézu potvrzuje a navazuje tvrzením, že erythropoetin se zvyšuje u všech uskutečněných vysokohorských expozic (1780, 2085, 2454 a 2800 m n.m.) po dobu od 24-48 dní od ukončení. Největší následný pokles až na hladinu před expozicí byl u 1700 a 2800 m n.m. Ashenden et al (2000) dokonce přichází s výsledky, kde se za dobu 24 dní (3x (5 nocí hypoxie/2 noci normoxie)) sérum erythropoetinu v simulované nadmořské (2650 m n.m.) zvýšilo o 57 % oproti kontrolní skupině v normoxii.

Ze všech analyzovaných studií se celkově 8 zaměřuje na komparaci výsledků před a po hypoxické expozici. Podrobněji jsou popsány v Tabulce 8, kde jsou zaznamenány změny zaměřené na výkonnost, VO_{2max} a hemoglobin.

Tabulka 8

Vybrané studie, které se zaměřují na porovnání vybraných parametrů před a po hypoxické expozici.

ID	Nadmořská výška	Délka expozice	Počet testovaných	Model	Sim. Prostř.	Změna výkonnosti po hypoxické expozici	Změna VO _{2max} po hypoxické expozici	Změna hemoglobinu po hypoxické expozici
S2	2846, 1700- 2200	44d + 4x7 až 10d	7	LHTL+L HTHTL	ANO	Osobní/letošní rekordy o 1,9% lepší	X	X
S6	2200	4 týdny	10	LHTH	NE	Zvýšení RMR	X	stejný
S8	2500, 3000	18 dní	11	LHTL	ANO	Zlepšení aerobní i anaerobní výkonnosti díky zlepšení transportu kyslíku	Zvýšené	zvýšení
S10	2860	46 dní	18	LHTL	ANO	Zvýšení RE (zvýšení HBmass)	Stejně	zvýšení
S11	1780,2085,2 454,2800	4 týdny	48	LHTH	NE	V 2085 a 2454 m n.m. zlepšení časů při testu na 3 kilometry	V 2085 a 2454 zlepšení	V 2085 a 2454 zvýšení
S12	3000	3 týdny	17	LHTL+T H	ANO	Zlepšení časů při testu na 3 km	Zvýšené	zvýšení
S14	2650	24 dní	11	X	ANO	X	X	zvýšení
S15	3000	31 dní	25	LH, TH	ANO	VO ₂ stejné jak v normoxii. Při submaximální rychlosti (12,14,16 a 18 km/h)	Nezvýšené	X

Poznámka. RMR= resting metabolic rate, RE= running economy; HBmass= objem hemoglobinu;
VO₂ = příjem kyslíku

Tabulka 9

Podrobný přehled všechny zanalyzovaných studií

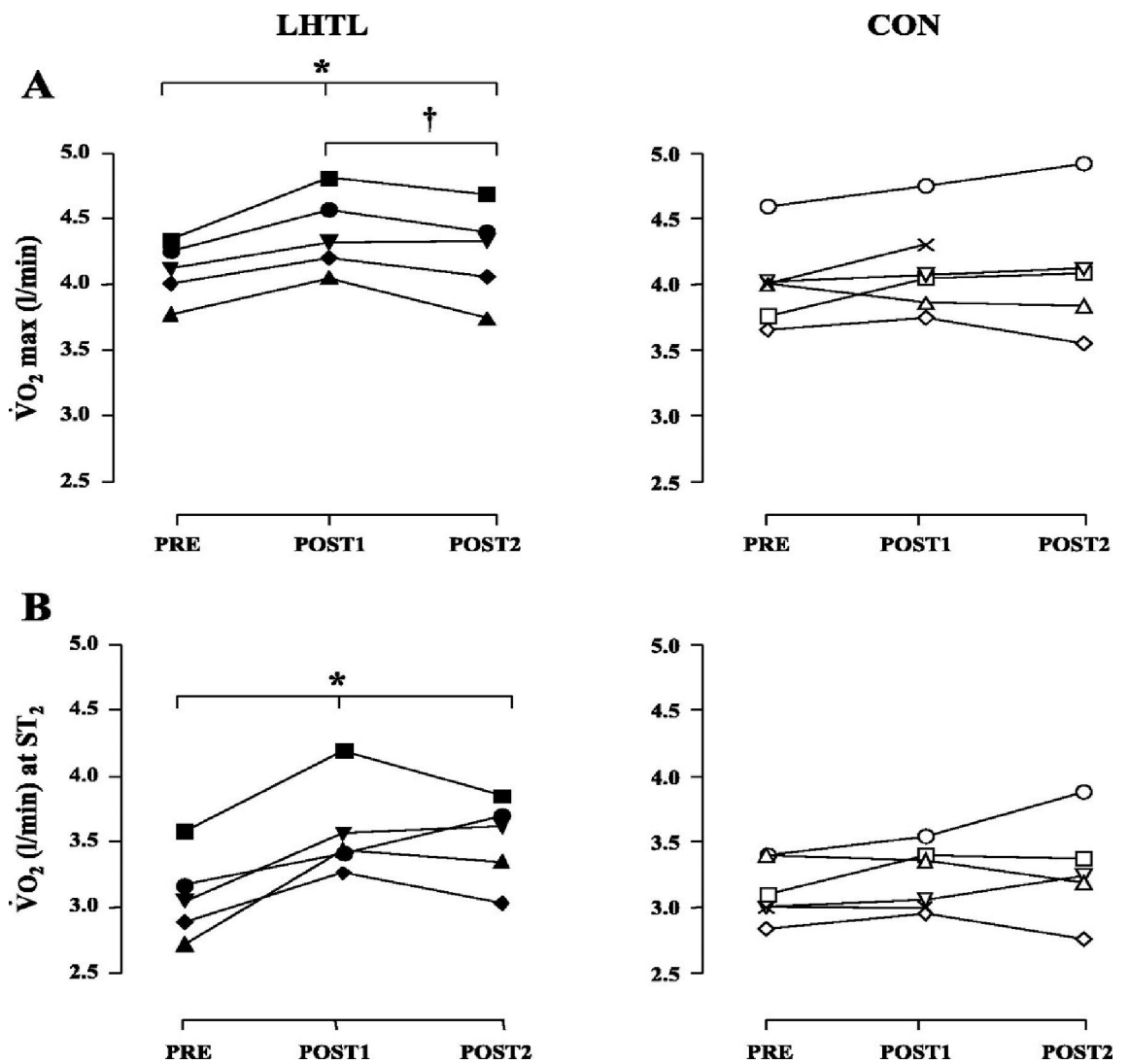
ID	Nadmořská výška	Délka expozice	Počet testovaných	Model	Simulované Prostředí	Výkonnost	VO _{2max}	Hemoglobin
S1	2500	4 dny	7	X	ANO	v N stejná jak v NH	v N stejné jak v NH	X
S2	2846, 1700- 2200	44dní + 4x7 až 10 dní	7	LHTL+L HTHTL	ANO	PB/SB lepší o 1,9 % po ukončení expozice	X	X
S3	2100,	4-5 týdnů	19	LHTH	NE	RS o 6% pomalejší, intervaly o 3,6% pomalejší oproti N	V H nižší jak v N	X
S4	2500	1 den	9	X	ANO	v N stejná jak v NH	X	X
S5	2100	3 týdny	9	LHTH	NE	X	X	V N stejný jak v HH
S6	2200	4 týdny	10	LHTH	NE	X	X	V N stejný jak v HH
S7	3500 (FIO ₂ 0.13)	1 den	14	X	ANO	X	V NH nižší jak N	V NH nižší jak N
S8	2500, 3000	18 dní	11	LHTL	ANO	Po expozici lepšení aerob. i anaerob. výkonnosti díky zlepšení transportu kyslíku	Po expozici zvýšené	Po expozici zvýšení
S9	1400,2100	1 den	8	X	ANO	X	V NH snížení oproti N	X

S10	2860	46 dní	18	LHTL	ANO	Zvýšení RE (zvýšení HBmass)	V N stejné jak v NH	Po ukončení expozice zvýšení
S11	1780,2085,2 454,2800	4 týdny	48	LHTH	NE	V 2085 a 2454 m n.m. zlepšení časů při testu na 3 kilometry	V 2085 a 2454 zlepšení	V 2085 a 2454 zlepšení
S12	3000	3 týdny	17	LHTL+T H	ANO	Zlepšení časů při testu na 3 km	zvýšení	zvýšení
S13	2500	4 dny	20	X	ANO	X	V NH nižší než v N	Laktát vyšší v NH než v N
S14	2650	24 dní	11	X	ANO	X	X	Po NH expozici zvýšení
S15	3000	31 dní	25	LH, TH	ANO	V N stejná jak v NH	V N stejné jak v NH	V N stejné jak v NH
S16	2106	15 dní	26	LHTH	NE	X	X	Po HH expozici zvýšení
S17	2000	6 nocí	7	X	ANO	X	X	X

*Poznámka.*N= normoxie; H= normoxie; NH= normobarická hypoxie; HH= hypobarická hypoxie;

RE= running economy; RS= running speed; PB/SB= osobní/letošní nejlepší výkon; HBmass=

objem hemoglobinu; X= neuváděno



Obrázek 2. Jednotlivé hodnoty absorpce kyslíku ($\dot{V}O_2$) při vyčerpání (A) a při druhém ventilačním prahu (ST_2 ; B). Zkouška byla provedena před, na konci a 15 dní po skončení tréninku v hypoxické prostředí. $\dot{V}O_2 \text{ max}$ =maximální $\dot{V}O_2$. (Brugniaux et al., 2006).

6 Diskuze

Účelem bakalářské práce bylo vytvořit systematický přehled studií, zkoumající odezvu organismu na atletický trénink běžce na střední vzdálenosti v hypoxickém prostředí a vliv na jeho výkonnost. Z výsledků vyplývá, že hypoxické prostředí má vliv na výkonnost elitních běžců na střední vzdálenosti. Práce Ogawi et al. (2005) a (2007) pokazuje na fakt, že hypoxie (2500 m n.m.) má příznivý vliv i na anaerobní složku. Nejčastějším sledovaným parametrem je VO_{2max} . Všichni testovaní probandi zaznamenali pokles dosahovaných hodnot při vystavení a průběhu hypoxické expozice. Celkem 3 studie poukazují na zvýšení VO_{2max} po ukončení hypoxické expozice (Brugniaux et al., 2006, Chapman et al., 2017, Robertson et al., 2010). Naopak výzkum Nayi et al., 2007 udává, že po prodělání 31-denní expozice ve výšce 3000 metrů nad mořem se VO_{2max} nezvýšilo. Saunders et al. (2006) se zaměřuje pouze na výkonnost a zaznamenává zvýšení osobních nebo letošních rekordů o 1,9 %. Je nám známo, že VO_{2max} koreluje s výkonností, tudíž můžeme tvrdit, že hypoxická expozice má pozitivní vliv na výkonnost běžců na střední vzdálenosti.

Druhým nejvíce sledovaným parametrem byl hemoglobin, který taktéž vykazuje známky zvýšení po ukončení vysokohorské expozice. Zvýšení počtu červených krvinek vlivem zlepšení funkce erythropoetinu má kladný dopad na výkonnost běžce na střední vzdálenosti. Celkem 6 studií zkoumalo hodnoty hemoglobinu po prodělání hypoxické expozice. Pouze jediný z námi vybraných výzkumů zaznamenal hodnoty hemoglobinu, které se po ukončení expozice nelišily od hodnot na počátku (Woods et al., 2017). Zbytek studií (Brugniaux et al., 2006; Chapman et al., 2017; Robertson et al., 2010; Saunders et al., 2009 a Ashenden et al., 2000) vykazují ve svých studiích zvýšení hodnot hemoglobinu po ukončení expozice. Tato tvrzení ovlivňují pohled na hypoxická prostředí (přirozených a simulovaných) využívaných ke zlepšení výkonnosti běžců na střední vzdálenosti.

Pokud bychom měli uvést optimální nadmořskou výšku pro elitní běžce na střední vzdálenosti, tak nahlédneme na práci Chapmana et al. (2017). Jako jediný sledoval optimální nadmořskou výšku (po dobu čtyř týdnů) pro vysokohorský trénink. Doporučuje uskutečnit expozici v rozmezí 2000 až 2500 metrů nad moře. Náš výzkum tato tvrzení potvrzuje, neboť pozitivní výsledky po prodělání hypoxické expozice v tomto rozmezí (2000-2500 m n.m.) jsme zaznamenali u všech studií. Naopak nejednoznačné výsledky zaznamenáváme u třech výzkumů, které probíhaly ve výšce 3000 metrů. Celkově dva výzkumy zaznamenávají pozitivní vliv u vybraných fyziologických parametrů (VO_{2max} , hemoglobin) a jeden výzkum nezaznamenal žádné zlepšení těchto parametrů. Příčinu můžeme najít buď v lišící se době expozice, nebo v odlišném

stylu tréninku. Délka pobytů ve vybraných studiích se nachází ve velmi širokém spektru od 18 až po 46 dní. Téměř všechny studie poukazují na pozitivní vliv takto dlouhé hypoxické expozice. Tudiž nejsme schopni z analyzovaných studií určit ideální délku expozice.

Dle získaných poznatků můžeme tvrdit, že hypoxické prostředí přináší benefity ovlivňující výkonnost běžce na střední tratě. Zlepšení VO_{2max} a zvýšení erythropoetinu napomáhá ke zlepšení výkonnosti elitních běžců. Ideální nadmořskou výšku označujeme v rozmezí 2000 až 2500 m n.m. Avšak zjišťujeme, že pozitivní efekt hypoxické expozice můžeme zaznamenat i ve vyšších nadmořských výškách. Tudiž nadmořská výška není jediný faktor ovlivňující výkonnost běžce. Pro porovnání jsme vytvořili anketu mezi českou běžecskou špičkou (Příloha 1). Zjišťujeme, že ideální nadmořskou výšku využívá jen málokdo. Nejvíce běžců na střední a dlouhé tratě nachází pohodlí pro trénink v nedalekých Vysokých Tatrách, přesněji v oblasti Štrbského plesa (1340 m n.m.), a taktéž na území Šumavského Zadova (900-1100 m n.m.). Místo pobytu přibližující se ideálu je v Italském Melagu (1800-1900 m n.m.). Z výsledku ankety vyplývá, že jediné ideální místo je Keňa (2400 m n.m.), kam jezdí jen hrstka českých běžců. Jako inspiraci může současný či budoucí trenér využít poznatků práce Sperlicha et al. (2016). Součástí je i detailně popsany tréninkový plán se sledujícími biomarkery organismu běžce (kreatin, tělesná hmotnost, tepová frekvence atd.).

Samozřejmě námi vyzkoumané výsledky a závěry nejsou pravidlem pro každého jedince. V potaz musíme vzít skutečnost, že ne každý reaguje na hypoxii stejně a vyskytují se jedinci, kteří jsou více či méně citliví na hypoxii (Kovtun, Voevoda, 2013). K určení senzitivity na hypoxii je v dnešní době možné využít speciální barokomory. Vyžívají se například před vstupem do vyšších nadmořských výšek za účelem ověření svých možností. Příklad takové komory nalezneme v Aplikačním centru Baluo Univerzity Palackého v Olomouci.

6.1 Limity práce

Pro přesnější a konstruktivnější výsledky práce by bylo vhodné zařadit více vyhledávacích databází do celkového rozsahu práce. Dalšími limity práce jsou placené články, ke kterým nemá univerzita bezplatný přístup.

7 Závěry

Hypoxické prostředí je doporučená a osvědčená součást předsezónní přípravy běžců na střední vzdálenosti. Mezi reakce organismu na hypoxické prostředí řadíme snížení VO_{2max} , postupné zvyšování hemoglobinu v těle a celkový pocit větší námahy při zátěži. Naopak po ukončení tréninku probíhající v hypoxii se VO_{2max} zvyšuje společně s objemem hemoglobinu. Tyto parametry korelují s celkovou výkonností běžce, která se taktéž zvyšuje. Na základě analyzovaných prací jsme zjistili, že neoptimálnější nadmořská výška pro zlepšení výkonnosti běžce na střední tratě se pohybuje v rozmezí 2000 až 2500 metrů nad mořem, ale pozitivní efekty byly zaznamenány i ve vyšších nadmořských výškách. Tudíž můžeme tvrdit, že nadmořská výška není jediné, co ovlivňuje výkonnost po ukončení hypoxické expozice. Tato tvrzení nám potvrzují obecně známá doporučení, která označují nadmořskou výšku 2200 za nejvíce ideální. Optimální délka expozice je na základě našich studií nejednoznačná.

8 Souhrn

Běh patří odjakživa mezi nejzákladnější lidské pohyby. Podle Moravce (2003) jsou běhy na střední a dlouhé tratě jedny z nejlépe rozšířených disciplín v atletice. Elitní běžci na střední vzdálenosti často využívají hypoxické prostředí za účelem zlepšení jejich výkonnosti, vycházející z adaptace na prostředí (Sharma et al., 2019). V práci jsme vycházeli ze znalostí, že hypoxické prostředí má kladný vliv na výkonnost běžců na střední vzdálenost. Práce to potvrzuje.

Hlavním cílem práce bylo vytvořit systematický přehled studií, zkoumající odezvu organismu na atletický trénink běžce na střední tratě v hypoxickém prostředí a vliv na jeho výkonnost.

Vyhledávací strategie proběhla prostřednictvím databáze Web of Science. Postupovala dle strategie PECO otázky. Vybrané studie byly podrobeny užším kritériím. Byly vyřazeny studie, které neodpovídaly popisu dle svého názvu, následně dle abstraktu a finální redukce proběhla po přečtení plných textů. Pro finální analýzu bylo připraveno celkově 17 studií.

Nejčastěji sledovaným parametrem ve studiích bylo VO_{2max} . Je nám známo, že VO_{2max} koreluje s výkonností, a tak můžeme na základě výsledků studií tvrdit, že hypoxická expozice má pozitivní vliv na výkonnost běžců na střední vzdálenosti. Sledován byl také objem hemoglobinu, který má taktéž pozitivní vliv na výkonnost. Studie poukázaly na fakt, že hypoxické expozice taktéž zvyšuje hodnoty objemu hemoglobinu. Ideální nadmořskou výšku označujeme v rozmezí 2000 až 2500 m n.m. Avšak zjišťujeme, že pozitivní efekt hypoxické expozice můžeme zaznamenat i ve vyšších nadmořských výškách.

9 Summary

Running has always been one of the most basic human movements. According to Moravec (2003), running on medium and long distances is one of the most widespread disciplines in athletics. Elite mid-distance runners often use hypoxic environments to improve their performance based on adaptation to the environment (Sharma et al., 2019). We based our knowledge on the knowledge that a hypoxic environment has a positive effect on the performance of medium-distance runners. The work confirms this.

The main goal of this work was to create a systematic overview of studies examining the body's response to athletic training of runners on medium tracks in a hypoxic environment and the impact on its performance.

The search strategy was conducted through the Web of Science database. She followed the PECO question strategy. Selected studies were subjected to narrower criteria. Studies that did not correspond to the description according to their name were excluded, then according to the abstract, and the final reduction took place after reading the full texts. A total of 17 studies were prepared for the final analysis.

The most frequently monitored parameter in the studies was VO_{2max} . We know that VO_{2max} correlates with performance, so based on the results of studies, we can say that hypoxic exposure has a positive effect on the performance of mid-distance runners. The volume of hemoglobin was also monitored, which also has a positive effect on performance. Studies have shown that hypoxic exposure also increases hemoglobin volume values. The ideal altitude is in the range of 2000 to 2500 m above sea level. However, we find that the positive effect of hypoxic exposure can be observed even at higher altitudes

10 Referenční seznam

Abraham, G. (2010). Analysis of anthropometry, body composition and performance variables of young Indian athletes in southern region. *Indian Journal of Science and Technology*, 3(12), 1210-1213.

Armstrong LE, Costill DL, Gehlsen G. Biomechanical comparison of university sprinters and marathon runners. *Track Technique* 87:2781- 2782, 1984.

Ashenden, M. J., Gore, C. J., Dobson, G. P., Boston, T. T., Parisotto, R., Emslie, K. R., ... & Hahn, A. G. (2000). Simulated moderate altitude elevates serum erythropoietin but does not increase reticulocyte production in well-trained runners. *European journal of applied physiology*, 81(5), 428-435.

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.

Berglund, B., Gennser, M., Örnhagen, H., Östberg, C. & Wide, L. (2002). Erythropoietin concentrations during 10 days of normobaric hypoxia under controlled environmental circumstances. *Acta Physiol Scand*, 174, 225–229.

Billat, V. L., Lepretre, P. M., Heugas, A. M., & Koralsztein, J. P. (2004). Energetics of middle-distance running performances in male and female junior using track measurements. *The Japanese journal of physiology*, 54(2), 125-135.

Black, M. I., Potter, C. R., Corbett, J., Clark, C. C., & Draper, S. B. (2017). Maximal oxygen uptake is achieved in hypoxia but not normoxia during an exhaustive severe intensity run. *Frontiers in physiology*, 8, 96

Boileau, R. A., Mayhew, J. L., Riner, W. F., & Lussier, L. (1982). Physiological characteristics of elite middle and long distance runners. *Can J Appl Sport Sci*, 7(3), 167-72.

Botek, Michal, Filip Neuls, Iva Klimešová a Jaroslav Vyhnánek. *Fyziologie pro tělovýchovné obory: (vybrané kapitoly)*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2017-. ISBN 978-80-244-5307-1.

Brugniaux, J. V., Schmitt, L., Robach, P., Nicolet, G., Fouillot, J. P., Moutereau, S., ... & Cornolo, J. (2006). Eighteen days of “living high, training low” stimulate erythropoiesis and enhance aerobic performance in elite middle-distance runners. *Journal of Applied Physiology*, 100(1), 203-211.

Bushnell T, Hunter I. Differences in technique between sprinters and distance runners at equal and maximal speeds. *Sports biomech* 6(3):261-268, 2007.

- Coyle, E. F. (1999). Physiological determinants of endurance exercise performance. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 2, 181–189
- Cunningham, R., Hunter, I., Seeley, M. K., & Feland, B. (2013). Variations in running technique between female sprinters, middle, and distance runners. *International Journal of Exercise Science*, 6(1), 6.
- Daniels, J. & Oldridge, N. (1970). The effects of alternate exposure to altitude and sea level on world-class middle-distance runners. *Medicine Science in Sports* 2, 107–112.
- Di Prampero, P. E., Capelli, C., Pagliaro, P., Antonutto, G., Girardis, M., Zamparo, P., & Soule, R. G. (1993). Energetics of best performances in middle-distance running. *Journal of Applied Physiology*, 74(5), 2318-2324.
- Dovalil, J. a kol.: Sportovní výkon a trénink ve vyšší nadmořské výšce. Praha, OV, 1999
- Dovalil, J., Svoboda, B., & Choutka, M. (2005). Řízení sportovního tréninku. *DOVALIL, J. a kol. Výkon a trénink ve sportu. Praha: Olympia.*
- Dovalil, Josef a Miroslav Choutka. *Výkon a trénink ve sportu*. 4. vyd. Praha [i.e. Velké Přílepy]: Olympia, 2012. ISBN 978-80-7376-326-8.
- Fejfar, Z., Přerovský, I. *Klinická fyziologie krevního oběhu*. 3. vyd. Praha: Galén, 2002. 361 s
- Friedmann-Bette, B. (2008). Classical altitude training. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 18(s1), 11–20. PubMed doi:10.1111/j.1600-0838.2008.00828.x
- Gore, C.J. a kol.: Live high: train low increases muscle buffer capacity and submaximal cycling efficiency. *Acta Physiologica Scandinavica* 173, 2001, 102-112.
- Gore CJ, Hahn AG, Aughey DT, Martin DT, Ashenden MJ, Clark AP, Granham AD, Roberts AD, Slaters GJ, McKenna MJ (2001) Live high: train low increases muscle buffer capacity and sub-maximal cycling efficiency. *Acta Physiol Scand* 173:275–286
- Hall, R., Peeling, P., Nemeth, E., Bergland, D., McCluskey, W. T., & Stellingwerff, T. (2019). Single versus split dose of iron optimizes hemoglobin mass gains at 2106 m altitude. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 51(4), 751-759.
- 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. *Int J Sports Med*, 26 (5) 350–355.

- Hill, D. W. (1999). Energy system contributions in middle-distance running events. *Journal of sports sciences*, 17(6), 477-483.
- Hoshikawa, M., Suzuki, Y., & Oriishi, M. (2013). Effects of normobaric hypoxia equivalent to 2,000-m altitude on sleep and physiological conditions of athletes: A study using sheet-type sensor. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(8), 2309-2313.
- Housh, T. J., Thorland, W. G., Johnson, G. O., & Tharp, G. D. (1984). Body build and composition variables as discriminators of sports participation of elite adolescent male athletes. *Journal of sports medicine and physical fitness*, 24(3), 169-174.
- Chapman, R. F., Karlsen, T., Resaland, G. K., Ge, R. L., Harber, M. P., Witkowski, S., ... & Levine, B. D. (2014). Defining the “dose” of altitude training: how high to live for optimal sea level performance enhancement. *Journal of applied physiology*, 116(6), 595-603.
- Joyner, M. J., & Coyle, E. F. (2008). Endurance exercise performance: the physiology of champions. *Journal of Physiology*, 586, 35–44.
- Kenney, W. L., Wilmore, J., Costill, D. 2015. *Physiology of Sport and Exercise*. 6. vyd. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Koistinen, P.T. a kol.: Aerobic fitness influences the response of maxima oxygen uptake and lactate treshold in acute hypobaric hypoxia. *Int. J of Sports Medicine* 26, 1995.
- Kovtun, L. T., & Voevoda, M. I. (2013). Susceptibility to hypoxia and breathing control changes after short-term cold exposures. *International journal of circumpolar health*, 72(1), 21574.
- Kučera V, Truska J. *Běhy na střední a dlouhé tratě*. Praha: Olympia, 2000
- Lacour JR, Bouvant E, Barthe'le'my JC (1990) Post-competition blood lactate concentrations as indicators of anaerobic energy expenditure during 400-m and 800-m races. *Eur J Appl Physiol* 61:172–176
- Levine, B. D., & Stray-Gundersen, J. (2005). Point: positive effects of intermittent hypoxia (live high: train low) on exercise performance are mediated primarily by augmented red cell volume. *Journal of applied physiology*, 99(5), 2053-2055.
- Levine BD, Stray-Gundersen J (1997) “Living high-training low”: effect of moderate-altitude acclimatization with low altitude training on performance. *J Appl Physiol* 83:102–112
- Lychatz, S.: *Tendenzen der trainingsmethodische Entwicklung in der Ausdauersportarten im Olympiazzyklus 1985 bis 1988*. *Leistungssport* 20, Münster, 1990, 45-47.

- Makubuya, T., & Kaufman, M. Racing Strategies and Tactics–For Outdoor Middle Distance Events.
- McLean, B. D., Gore, C. J., & Kemp, J. (2014). Application of 'live low-train high' for enhancing normoxic exercise performance in team sport athletes. *Sports Medicine*, 44(9), 1275-1287.
- Millerová, V. aj. Základy atletického tréninku. 1. vyd. Praha: Karolinum, 1994. 80 s.
- Moore, I. S. (2016). Is there an economical running technique? A review of modifiable biomechanical factors affecting running economy. *Sports Medicine*, 46(6), 793-807.
- Moore IS, Jones AM, Dixon SJ. Mechanisms for improved running economy in beginner runners. *Med Sci Sports Exerc.* 2012;44:1756–63.
- Moravec, P. aj. Abeceda atletického trenéra In Vindušková, J. (editor) aj. 1. vyd. Praha: Olympia, 2003. s.150-179, ISBN 80-7033-770-2.
- Neumann, Georg, PFÜTZNER, Arndt a HOTTENROTT, Kuno. Trénink pod kontrolou: metody, kontrola a vyhodnocení vytrvalostního tréninku. 1. vyd. Praha: Grada, 2005, 181 s.
- Nummela A, Rusko H (2000) Acclimatization to altitude and normoxic training improve 400-m running performance at sea level. *J Sports Sci* 18:411–419
- Neya, M., Enoki, T., Kumai, Y., Sugoh, T., & Kawahara, T. (2007). The effects of nightly normobaric hypoxia and high intensity training under intermittent normobaric hypoxia on running economy and hemoglobin mass. *Journal of Applied Physiology*, 103(3), 828-834.
- Ogawa, T., Hayashi, K., Ichinose, M., Wada, H., & Nishiyasu, T. (2007). Metabolic response during intermittent graded sprint running in moderate hypobaric hypoxia in competitive middle-distance runners. *European journal of applied physiology*, 99(1), 39-46.
- Ogawa, T., Hayashi, K., Ichinose, M., & Nishiyasu, T. (2007). Relationship between resting ventilatory chemosensitivity and maximal oxygen uptake in moderate hypobaric hypoxia. *Journal of Applied Physiology*, 103(4), 1221-1226.
- Písařík, M., Liška, J. Běhy na střední a dlouhé tratě 1.část, 1.vyd. Praha: ÚV ČSTV, 1985
- Písařík, M., Liška, J. Běhy na střední a dlouhé tratě 2.část, 1.vyd. Praha: ÚV ČSTV, 1989.
- Pupiš, Martin a Ivan Čilík. RÔZNE ALTERNATÍVY HYPOXICKEJ PRÍPRAVY A ICH VYUŽITIE V ŠPORTE. In: ATLETIKA 2012. 2012. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 2012, s.

- Robertson, E. Y., Saunders, P. U., Pyne, D. B., Gore, C. J., & Anson, J. M. (2010). Effectiveness of intermittent training in hypoxia combined with live high/train low. *European journal of applied physiology*, *110*(2), 379-387.
- Saltin B, Kim CK, Terrados N, Larsen H, Svedenhag J, Rolf CJ (1995) Morphology, enzyme activities and buffer capacity in leg muscles of Kenyan and Scandinavian runners. *Scand J Med Sci Sports* 5:222–230
- Rogers RA, Roberts S. Exercise physiology: Exercise, performance, and clinical applications. St Louis: Mosby, 1997
- Sánchez Muñoz, C., Muros, J. J., López Belmonte, Ó., & Zabala, M. (2020). Anthropometric Characteristics, Body Composition and Somatotype of Elite Male Young Runners. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *17*(2), 674.
- 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., Telford, R. D., Pyne, D. B., Hahn, A. G., & Gore, C. J. (2009). Improved running economy and increased hemoglobin mass in elite runners after extended moderate altitude exposure. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *12*(1), 67-72.
- Saunders, P. U., Telford, R. D., Pyne, D. B., Gore, C. J., & Hahn, A. G. (2009). Improved race performance in elite middle-distance runners after cumulative altitude exposure. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *4*(1), 134-138.
- Sharma, A. P., Saunders, P. U., Garvican-Lewis, L. A., Clark, B., Stanley, J., Robertson, E. Y., & Thompson, K. G. (2017). The effect of training at 2100-m altitude on running speed and session rating of perceived exertion at different intensities in elite middle-distance runners. *International journal of sports physiology and performance*, *12*(s2), S2-147.
- Sharma, A. P., Saunders, P. U., Garvican-Lewis, L. A., Clark, B., Gore, C. J., Thompson, K. G., & Periard, J. D. (2019). Normobaric Hypoxia Reduces $\dot{V}O_2$ at Different Intensities in Highly Trained Runners. *Medicine and science in sports and exercise*, *51*(1), 174-182.
- Shirahata, K. My experience of hypoxic training. In: Proceedings of the 8th International Symposium on Altitude Training. Kawahara, T, ed. Tokyo, Japan, Nonprofit Organization, Kousho Training Kankyo System Kenkyukai, 2004. pp. 18–19.
- Snell, P. (1990). Middle distance running. In *Physiology of sports* (pp. 101-120). E and FN Spon London.

- Sperlich, B., Achtzehn, S., de Marées, M., von Pape, H., & Mester, J. (2016). Load management in elite German distance runners during 3-weeks of high-altitude training. *Physiological reports*, 4(12), e12845.
- Spencer MR, Gatin PB (2001) Energy system contribution during 200- to 1500-m running in highly trained athletes. *Med Sci Sports Exerc* 33:157–162
- Suchý, Jiří, Josef Dovalil a Tomáš Perič. Současné trendy tréninku ve vyšší nadmořské výšce. *Česká kinantropologie*. Praha: Vědecká společnost kinantropologie, 2009, **13**(2), 38-53. ISSN 12119261
- Suchý, J., Dovalil, J.: Adaptace a problematika tréninku v hypoxickém prostředí, NŠC revue 1, Bratislava, 2005, 19-22.
- Svedenhag J, Saltin B, Johanson C, Kaijser L (1991) Aerobic and anaerobic exercise capacities of elite middle-distance runners after two weeks of training at moderate altitude. *J Med Sci Sports* 11:205–214
- Thiel, C., Foster, C., Banzer, W., & De Koning, J. (2012). Pacing in Olympic track races: competitive tactics versus best performance strategy. *Journal of sports sciences*, 30(11), 1107-1115.
- Wehrli JP, Hallén J: Linear decrease in VO₂max and performance with increasing altitude in endurance athletes. *Eur J Appl Physiol* 96: 404 - 412, 2006.
- Wilber, L.R.: Altitude training and Athletic performance. Champaign : Human Kinetics, 2004.
- Williams KR, Cavanagh PR. Relationship between distance running mechanics, running economy, and performance. *J Appl Physiol*. 1987;63:1236–45.
- Woods, A. L., Sharma, A. P., Garvican-Lewis, L. A., Saunders, P. U., Rice, A. J., & Thompson, K. G. (2017). Four weeks of classical altitude training increases resting metabolic rate in highly trained middle-distance runners. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 27(1), 83-90.

11 Přílohy

Příloha 1

Výsledky ankety

Místo vysokohorského kempu	Počet atletů uvádějící konkrétní místo
Šumava (900-1100 m n.m.)	23
Štrbské pleso (1340 m n.m.)	43
Melago (1800-1900 m n.m.)	16
Keňa (2400 m n.m.)	3
Celkem	58

Poznámky. Jeden atlet mohl uvést více možností, neboť nejzdí stále na stejné místo