

Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta tělesné kultury



Fakulta
tělesné kultury

**ODEZVA VYBRANÝCH VENTILAČNÍCH A
KARDIOVASKULÁRNÍCH PARAMETRŮ PŘI SEVERSKÉ CHŮZI
V PODMÍNKÁCH NORMOXIE A HYPOXIE U SOUBORU ŽEN**

Diplomová práce

Autor: Bc. Marek Hajda

Studijní program: Tělesná výchova a anglický jazyk

Vedoucí práce: Mgr. Filip Neuls, Ph.D.

Olomouc 2024

Bibliografická identifikace

Jméno autora: Bc. Marek Hajda

Název práce: Odezva vybraných ventilačních a kardiovaskulárních parametrů při severské chůzi v podmínkách normoxie a hypoxie u souboru žen

Vedoucí práce: Mgr. Filip Neuls, Ph.D.

Pracoviště: Katedra přírodních věd v kinantropologii

Rok obhajoby: 2024

Abstrakt:

Tato práce měřila a hodnotila odezvu kardiorespiračního systému na severskou chůzi. Severská chůze byla provedena v podmínkách normoxie a normobarické hypoxie. V podmínkách normoxie byla provedena prostá chůze po dobu 5 minut a poté následovalo 5 minut chůze severské. Stejná měření byla provedena i v hypoxii. Výsledky byly porovnány s chůzí prostou. V podmínkách hypoxie byla simulována výška ~2500 m n. m. Výzkumný soubor obsahoval 15 žen v období mladé dospělosti. Rychlost chůze byla stanovena 6 km/h. V podmínkách hypoxie byl naměřen 9,6% nárůst srdeční frekvence (SF), 9,7% nárůst spotřeby O_2 (VO_2) a 22,6% nárůst minutové ventilace (VE) při severské chůzi v porovnání s chůzí prostou. Tyto rozdíly byly na hladině $p < 0,001$. Nárůst intenzity zatížení odpovídal 0,5 MET. V podmínkách normoxie byl naměřen 11,3% nárůst SF, 11,2% nárůst VO_2 a 21,5% nárůst VE při použití holí. Rozdíly byly signifikantní na hladině $p < 0,001$. Nárůst intenzity zatížení odpovídal 0,6 MET. SpO_2 klesla z klidových hodnot během severské chůze o 1,67 % v normoxii a o 5,73 % v hypoxii. Při porovnání SpO_2 během chůze prosté a severské nebyl zjištěn signifikantní rozdíl. Saturace tedy klesá vlivem pohybové aktivity, nikoliv použitím holí. Při severské chůzi odpovídal medián subjektivního vnímání zátěže (RPE) hodnotě 3 a prosté chůze hodnotě 2 v podmínkách normoxie. V podmínkách hypoxie severská chůze dosáhl medián RPE hodnoty 4 a prosté chůze hodnoty 2. Při porovnání vlivu prostředí normoxie a hypoxie nebylo naměřeno významných rozdílů. Hlavním faktorem zvýšení hodnoty RPE je severská chůze.

Klíčová slova:

severská chůze, normoxie, hypoxie, kardiovaskulární odezva, ventilační odezva, intenzita zatížení

Souhlasím s půjčováním práce v rámci knihovních služeb.

Bibliographical identification**Author:** Bc. Marek Hajda**Title:** Response of selected ventilation and cardiovascular parameters during nordic walking in normoxia and hypoxia in women**Supervisor:** Mgr. Filip Neuls, Ph.D.**Department:** Department of Natural Sciences in Kinanthropology**Year:** 2024**Abstract:**

This thesis measured and evaluated cardiorespiratory response of Nordic walking. This was done in the environmental conditions of normoxia ($FiO_2 = 20.9\%$) and normobaric hypoxia ($FiO_2 = 15.3\%$). The study design consisted of 5 minutes of walking without poles and subsequent 5 minutes of nordic walking. Both measurements were done on a treadmill at speed of 6km/h in normoxia and hypoxia. The hypoxia environment was ~2500 m above sea level ($FiO_2 = 15.3\%$). Normoxia was equal to $FiO_2 = 20.9\%$. The study consisted of 15 young females. In hypoxia nordic walking caused increase of the heart rate (SF) by 9.6 %, oxygen consumption (VO_2) increased by 9.7 % and ventilation rate (VE) increased by 22.6 %. All of them statistically significant value $p < 0.001$. The increase of exercise intensity was equal to 0.5 MET. Measurements in normoxia reached similar increases during nordic walking. SF increased by 11.3 %, VO_2 increased by 11.2 and VE increased by 21.5 %. All values were statistically significant $p < 0.001$. The increase of exercise intensity was equal to 0.6 MET. Blood oxygen saturation (SpO_2) dropped during nordic walking by 1.67 % in normoxia and by 5.73 % in hypoxia. When compared with walking without poles nordic walking did not cause a significant change. The main reason for SpO_2 change was a physical activity not the use of poles. During nordic walking the median value of rate of perceived exertion (RPE) was 3 and 2 during walking without poles in normoxia. In hypoxia the median value of RPE was 4 during nordic walking and 2 during walking without poles. The main cause of RPE change was the usage of poles.

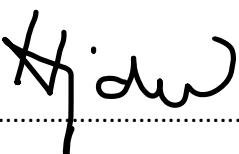
Keywords:

nordic walking, normoxia, hypoxia, cardiovascular response, ventilatory response, intensity of physical activity

I agree with the thesis paper to be lent within the library service.

Prohlašuji, že jsem tuto práci zpracoval samostatně pod vedením Mgr. Filipa Neulse, Ph.D., uvedl všechny použité literární a odborné zdroje a dodržoval zásady vědecké etiky.

V Olomouci dne 30. dubna 2024



.....

Poděkování patří mému vedoucímu Mgr. Filipu Neulsovi, Ph.D. za četné postřehy, rady a trpělivost. Za podporu bych chtěl poděkovat své rodině a blízkým.

Obsah

Seznam nejužívanějších zkratek a značek	9
1 Úvod	10
2 Přehled poznatků.....	11
2.1 Kardiovaskulární systém	11
2.1.1 Cévní regulace	11
2.1.2 Akční potenciál, srdeční revoluce a plnění srdce krví.....	12
2.1.3 Regulace činnosti srdce	12
2.2 Respirační systém	13
2.2.1 Dýchání	13
2.2.2 Regulace činnosti respiračního systému	15
2.3 Reakce kardiorespiračního systému na zátěž.....	16
2.3.1 Vyjádření intenzity zatížení.....	17
2.4 Hypoxie	17
2.4.1 Akutní vlivy hypoxie na člověka.....	18
2.4.2 Vysokohorská nemoc.....	19
2.4.3 Vliv hypoxie na nervovou soustavu	20
2.4.4 Detekce hypoxie v organismu.....	21
2.4.5 Adaptace organismu na hypoxii	21
2.4.6 Důsledky hypoxie na zdraví člověka	22
2.4.7 Uměle navozená hypoxie	23
2.5 Chůze	24
2.5.1 Pohyb dolních končetin	24
2.5.2 Pohyb horních končetin a trupu	24
2.6 Hole a severská chůze (nordic walking).....	25
2.6.1 Hole pro severskou chůzi.....	25
2.6.2 Pohyb dolních končetin	25
2.6.3 Pozice hlavy, trupu a pohyb horních končetin s holemi.....	25
2.6.4 Nordic walking a zdravý životní styl.....	26
3 Cíle	28

3.1	Hlavní cíl.....	28
3.2	Dílčí cíle	28
3.3	Výzkumné otázky	28
4	Metodika	29
4.1	Výzkumný soubor	29
4.2	Výzkumné podmínky a jejich standardizace	29
4.3	Výzkumný protokol a jeho realizace	30
4.4	Měřené parametry a použité přístroje	30
4.5	Statistické zpracování dat	31
5	Výsledky	33
5.1	Souhrnné výsledky saturací	33
5.2	Souhrnné výsledky v normoxii	34
5.3	Souhrnné výsledky v hypoxii.....	35
5.4	Komparace výsledků normoxie a hypoxie	36
5.5	Výsledky hodnocení subjektivně vnímaného zatížení (RPE).....	37
6	Diskuse.....	39
7	Závěry	42
8	Souhrn	44
9	Summary.....	46
10	Referenční seznam	48
11	Přílohy.....	53

SEZNAM NEJUŽÍVANĚJŠÍCH ZKRATEK A ZNAČEK

ANS	autonomní nervový systém
CNS	centrální nervová soustava
DF	dechová frekvence
pCO ₂	parciální tlak oxidu uhličitého
pO ₂	parciální tlak kyslíku
SF	srdeční frekvence
SpO ₂	saturace krve kyslíkem
VO ₂	spotřeba kyslíku
VO ₂ max	maximální spotřeba kyslíku

Poznámka: Značky, které se v textu vyskytují ojediněle, zde nejsou uvedeny.

1 ÚVOD

Odezva organismu na hypoxické prostředí je v poslední dekádě čteně studované téma (Pernica, Harsa, & Suchý, 2019). Převážně z důvodu širokého uplatnění hypoxického tréninku (pobytu v hypoxickém prostředí) pro zvyšování kondice, ač je odezva organismu individuálně variabilní (Botek et al., 2017). Yuyongsin et al. (2022) uvádí, že hypoxický trénink není jen účinnou metodou zvyšování kondice, ale také snižování hmotnosti a prevence nemocí. Mimo standardizované laboratorní podmínky se hypoxická odezva projevuje ve vyšších nadmořských výškách, a to především od 1500 m výše (Suchý, 2012). V hypoxii jsou zkoumány a aplikovány různé tréninkové programy. Řada z nich je neuplatnitelných mimo okruh vrcholového sportu. Aby hypoxický trénink byl uplatnitelný pro rozvoj kondice (dosahoval určité úrovně adherence) u běžné populace, je třeba zachování jednoduchosti a dostupnosti. K akutní fyziologické odezvě dochází v rámci minut, a to především zvýšením srdeční a dechové frekvence. K adaptaci organismu na hypoxické prostředí je třeba pobytu po dobu alespoň 3 týdnů 20–22 h/den (Botek et al., 2017). Prezentovaný výzkum je zaměřený na hlubší pochopení akutní odezvy organismu v hypoxických podmínkách, nikoliv na dlouhodobé změny hypoxií vyvolané.

Chůze a její alternativy se zde nabízí. Jednou z alternativ je nordic walking (severská chůze). Severská chůze nabrala na popularitě během pandemie SARS-CoV-2, a to především jako vhodná forma rehabilitace po prodělání onemocnění (Aliberti, 2023). Nordic walking má své základy v běžeckém lyžování (Okoličanyová, 2018) a spolu s trekkingovými holemi jsou nordic walking hole často využívány právě v prostředí vyšších nadmořských výšek, tudíž v hypoxii (Šcedrovienė & Vanagienė, 2023). Dále je možné vycházet ze skutečnosti, že hlavní civilizační chorobou je sedavý způsob života. U osob obézních, osob se sedavým způsobem života, osob v rehabilitaci či se zdravotními problémy je spektrum pohybových aktivit limitované. Tradiční aktivity jako plavání a běh často nejsou vhodné. Nordic walking je v těchto případech možnou alternativou (Chastin et al., 2015). Zapojením práce horních končetin se zvyšuje energetický výdej a snižují se nároky na práci dolních končetin – hole chůzi „ulehčují“ bez zvýšení pocitu námahy (Sovová, Zapletalová, & Cipryanová, 2008).

Tato diplomová práce se zabývá rozšířením poznatků o změnách kardiopulmonálního systému vyvolaných během severské chůze v podmínkách hypoxie.

2 PŘEHLED POZNATKŮ

2.1 Kardiovaskulární systém

Jeden z nezbytných systémů, pro správné pochopení změn vyvolaných zvýšením nadmořské výšky, je oběhový systém, a to převážně z pohledu fyziologie. Podílí se na transportu kyslíku ze vzduchu do mitochondrie, a na odvodu oxidu uhličitého a jiných zplodin metabolismu (Silbernagl & Despopoulos, 2016). Výrazně je zapojen do adaptace organismu v prostředí se sníženým parciálním tlakem O_2 (West, 2013). Kardiovaskulární systém primárně zprostředkovává cirkulaci krve, zjednodušeně se dá rozdělit na srdce a soustavu krevních cév. Krevní oběh se z pohledu fyziologického, ale také anatomického, dělí na malý krevní oběh (plicní) a velký krevní oběh (tělní) (Orel, 2019).

2.1.1 Cévní regulace

Systémově jsou cévy regulovány především ANS (Orel, 2019). Konkrétněji částí sympatikus – vazokonstrikce (zúžení) a vazodilatace (roztahení) cév, a to pomocí noradrenalinu (Trojan et al., 2003). Parasympatikus se na regulaci cév nepodílí. Cévy však nespádají pouze pod správu sympatiku, samotný O_2 působí na cévy vazodilatačně. Lze tudíž usoudit, že cévy se stahují/roztahují dle aktuálního stavu okysličení krve. Podobné účinky má ve velkém množství adrenalin (Silbernagl & Despopoulos, 2016).

Lokální regulace je závislá na mnoha faktorech metabolických, humorálních a mechanických (Rokyta et al., 2016):

- 1) Metabolické faktory (faktory tkáně) – mluvíme o pCO_2 , pO_2 , koncentraci adenosindifosfátu (ADP) a koncentraci vodíkových iontů (H^+).
- 2) Humorální faktory – produkty endotelových buněk, ty působí vazokonstrikčně (endotelin, angiotenzin II, vazopresin) nebo vazodilatačně (oxid dusnatý, prostacyklin). Jejich efekt může být upraven typem receptoru.
- 3) Mechanické – zde patří samotné působení tekoucí krve, které stěny cév roztahuje, ty reagují vazokonstrikcí. Tento mechanismus se lokálně podílí na ochraně tkáně před vysokým krevním tlakem.

Samotný proces okysličování krve je výměna plynů na bázi difuze. Pro zachování přehlednosti práce zde nebudou specifika rozebírána (více v kapitole 2.2).

2.1.2 Akční potenciál, srdeční revoluce a plnění srdce krví

K vypuzení krve ze srdce je potřeba impulz, kterému se říká akční potenciál (AP). Tyto impulzy (vzruchy) jsou generovány sinoatriálním uzlem (SA) na zadní straně pravé síně. Vzruchy spouští kontrakci síní a putují až k atrioventrikulárnímu uzlu (AV) uloženému u báze síní. AV šíření vzruchu zpomaluje. To má za důsledek kontrakci komor po provedení kontrakce síní (Rokyta et al., 2016). Z AV uzlu se potenciál šíří Hisovým svazkem přes vazivový prstenec na dvě raménka, každé raménko vede potenciál přes jednu komoru až k srdečnímu hrotu. V srdečním hrotu raménka pokračují ve stěnách komor a větví se na Purkyňova vlákna. Při šíření vzruchu dochází k depolarizaci, ta je následována vlnou repolarizace a proces se opakuje, oba procesy jsou zprostředkovány pomocí přesunů iontů sodíku (Na) a draslíku (K) přes buněčnou membránu. (Patton & Thibodeau, 2010). Samotná síla kontrakce je regulována množstvím iontů vápníku (Ca) (Kittnar & Miček, 2009)

Funkce srdce je zprostředkovávána cyklicky se opakující srdeční revolucí – stažením (systola) a relaxací (diastola). Jeden cyklus při srdeční frekvenci 72 tepů/min trvá 0,83 sec. SA uzel je primární udavatel rytmu srdce 60-90 tepů za minutu. AV uzel tuto funkci v případě poruchy SA uzlu přebírá, má však nižší frekvenci 30-40 tepů za minutu (Orel, 2019). Merkunová a Orel (2008) dále uvádí, že stažením dochází k vypuzení krve o objemu přibližně 70 ml (systolický objem), nedojde však k celkovému vyprázdnění a v srdci zůstává přibližně 50 ml krve (koncový systolický objem). Následuje fáze plnění komor, jehož koncový objem krve v srdci je 120 ml (koncový diastolický objem). Rokyta et al. (2016) jako vnitrosrdeční regulátor uvádí Frank-Starlingův zákon, ten lze shrnout následovně – čím více krve vteče do komor srdce ve fázi diastoly, tím více se srdeční svalovina roztáhne, odkryje se více místa pro vazbu myozinu na aktin a dochází k silnější kontrakci, tou je vypuzeno více krve. Objem krve přečerpaný srdcem za jednu minutu se nazývá minutový srdeční výdej (MVS). Za klidových podmínek u dospělého jedince se jedná o 5-6 l/min, takový jedinec v zátěži může zvýšit svůj MVS až na 20 l/min (Silbernagl & Despopoulos, 2016).

2.1.3 Regulace činnosti srdce

Podobně jako u cév, regulaci kardiovaskulárního systému zajišťuje ANS, tentokrát obě větve – sympatická a parasympatická. Sympatická má efekt stimulační a parasympatická inhibiční. (Orel, 2019). Do regulace se zapojují také hormony, zvané stresové, adrenalin a noradrenalin. Jejich účinek je velmi podobný sympatiku. Na srdce také přímě působí hormony štítné žlázy tyroxin a trijodtyronin – ovlivňují srdeční frekvenci a cirkulaci (Silbernagl & Despopoulos, 2016). Je důležité podotknout, že ANS a zmíněné hormony nejsou jediný regulátor aktivity

kardiovaskulárního systému. Dalším regulátorem je respirační centrum (podrobněji v kapitole 2.2), které vytváří rytmickou odchylku od normálního srdečního rytmu (respirační sinusová arytmie) (Rokyta et al., 2016).

Aktivita sympatiku zvyšuje srdeční frekvenci, až na 200-220 tepů za minutu. Dále zvyšuje sílu kontrakce a rychlost vedení vzruchu. Tím se následně zvyšuje objem přečerpané krve, a tudíž dodávka O₂ k pracujícím svalům (Patton & Thibodeau, 2010). Využití O₂ však zcela závisí na faktu, zda je organismus dostatečně adaptován na extrakci O₂ z krve a následném přesunu do buňky (Jančík et al., 2007).

Pro odhad maximální srdeční frekvence (SF_{max}) lze použít rovnici $SF_{max} = 220 - \text{věk}$ (Botek et al., 2016). Jak bylo zmíněno sympatikus dále systémově ovlivňuje vazokonstrikci a vazodilataci cév (Trojan et al., 2003).

Aktivita parasympatiku zprostředkovává procesy opačné. Zapojuje se především u procesů zotavných a zklidňujících jako je proces trávení aj., v rámci kardiovaskulárního systému snižuje SF, dále snižuje sílu stahu srdce a snižuje tlak krve (Rokyta et al., 2016).

2.2 Respirační systém

Jak bylo naznačeno v předešlé kapitole, respirační systém je nedílnou součástí procesu výměny plynů (přívod O₂ a odvod CO₂). Podobně jako systém kardiovaskulární, respirační systém se dá rozdělit na několik částí. Patton a Tibodeau (2010) uvádí dělení na dvě hlavní:

- 1) Horní cesty dýchací – nosní dutina, hltan a hrtan
- 2) Dolní cesty dýchací – průdušnice, průdušky a plíce

2.2.1 Dýchání

Proces dýchání má tři části (Orel, 2019):

- 1) Plicní ventilace – dvoufázový proces výměny plynů okolního prostředí a plicemi. Prvotní fází je inspirium (nádech) a druhou je expirium (výdech)
- 2) Proces výměny plynů mezi plicními sklípkami a krví, jedná se o proces difuze.
- 3) Respirace – proces výměny O₂ a CO₂ mezi svalovými buňkami a krví.

Plicní ventilace je proces ovlivněný zatížením organismu. K nádechu a výdechu dochází díky rozdílnému tlaku v plicích a okolním prostředí. V plicích je tento tlak ovlivněn činností dýchacích svalů (Rokyta et al., 2016). Klidový dechový objem, vdechnuté množství vzduchu, je u

dospělého muže zhruba 500-450 ml a u ženy 350-300 ml. S plicní ventilací je často spojován pojem vitální kapacita plic (VC), jedná se o objem výdechu po maximálním nadechnutí a vydechnutí. U zdravého muže se jedná o objem 4500 ± 300 ml (Patton & Thibodeau, 2010; Orel, 2019) a u ženy 3220 ± 490 ml (Kahraman et al., 2023). Podle Bozic-Krstic et al. (2010) zůstává vitální kapacita plic vzhledem k závislosti na věku u mužů i žen relativně neměnná, a to především ve věku 20-39 let, poté dochází ke značnému poklesu. I po maximálním výdechu však zůstane v plicích část objemu vzduchu (residuální objem), podle Orla (2019) se jedná o 1000 ml, Rokyta et al. (2016), Patton a Thibodeau (2010) uvádí objem 1200 ml.

Alveolární ventilace je termín používaný pro objem plynů, se kterým dochází k látkové výměně (Patton & Thibodeau, 2010). Výměna probíhá mezi alveoly (plicními sklípky) a krví v kapilárách, přes alveo-kapilární membránu. Výměna probíhá vždy z místa vyššího tlaku do místa nižšího. V prostoru plic je vyšší pO_2 a nižší pCO_2 a naopak v kapilární krvi je nižší pO_2 a vyšší pCO_2 (Orel, 2019). Za normálních podmínek dosahují parciální tlaky následujících hodnot. V alveolách je pO_2 13,33 kPa a pCO_2 5,33 kPa. Venózní pO_2 se pohybuje okolo 5,33 kPa a pCO_2 6,13 kPa. Z dechového objemu však ventiluje pouze část vzduchu v plicích, zbytek se nachází v mrtvém prostoru, na ventilaci se nepodílí (Silbernagl & Despopoulos, 2016). Hlavním transportním médiem O_2 je hemoglobin a vedlejším krevní plazma, ta zodpovídá za 3 % transportu O_2 . Hemoglobin je zodpovědný až za 97 % přepraveného O_2 , za klidových podmínek je krev schopna navázat 20 ml O_2 /100 ml krve. Nikdy nedochází ke 100% nasycení, normální hodnoty se pohybují mezi 98-95 % (Patton & Thibodeau, 2010). V krvi také dochází k transportu (odvodu) CO_2 pomocí bikarbonátu HCO_3^- , zodpovídá až za 84 % přepraveného CO_2 z tkání do plic. Samotný hemoglobin má také schopnost navázat CO_2 v menším množství, okolo 8 %. Krevní plazma pojme okolo 8 % CO_2 (Rokyta et al., 2016).

Přívod O_2 do svalů a odvod CO_2 probíhá, stejně jako alveolární ventilace, pomocí difuze – rozdílem parciálních tlaků. Díky jednodušší prostupnosti CO_2 je zde limitující faktor prostupnost O_2 . Kyslík je limitován především délkou difuzní dráhy a množstvím kapilár. Proto aby byla difuze možná, je nutný minimální rozdíl parciálních tlaků 0,1 kPa (Silbernagl & Despopoulos, 2016). Efektivnost toho procesu, z hlediska využití O_2 , se nazývá arterio-venózní diference – přesněji se jedná o rozdíl nasycení arteriální a venózní krve kyslíkem. Za klidových podmínek z 20 ml O_2 /100 ml krve dojde k extrakci 5 ml O_2 tkáněmi. Během zatížení tyto hodnoty stoupají na 16-17 ml O_2 /100 ml krve (Botek et al., 2017).

2.2.2 Regulace činnosti respiračního systému

Regulaci můžeme rozdělit na hormonální (humorální) a nervovou. Hormony zodpovědné za regulaci jsou převážně adrenalin, noradrenalin a progesteron (během těhotenství). Reakce vyvolaná těmito hormony závisí na druhu receptoru v tkáni (Orel, 2019). Centrálním místem nervové regulace jsou tzv. dýchací (respirační) centra uložená v mozgovém kmeni. Dle Merkunové a Orela (2008) obsahuje dýchací centrum dva typy neuronů – inspirační a expirační. Aktivita jednoho typu utlumuje aktivitu typu druhého a naopak. Rokyta et al. (2016) zpřesňuje oblast nálezu respiračních center na Varolův most a prodlouženou míchu. V prodloužené míše se nachází generátor automatického dýchání.

Samotný mozkový kmen spadá pod řízení hypotalamu. Hypotalamus je úzce propojen s vyššími částmi mozku (limbický systém, kůra), proto je možno dýchání ovlivnit emocemi, řečí, zpěvem, vůlí (Silbernagl & Despopoulos, 2016), dochází k navození “předstartovního stavu” aj (Merkunová & Orel, 2008).

Proces dýchání je ovlivnitelný volně naší myslí, avšak jen částečně, můžeme ovlivnit frekvenci a hloubku. Dojde-li k dlouhému přerušení dýchání, jsou inspirační neurony natolik stimulovány prostřednictvím receptorů, že dochází k samovolné obnově (Merkunová & Orel, 2008).

Podněty pro řízení dýchání jsou sledovány pomocí specializovaných receptorů. Mezi ně patří (Orel, 2019):

- 1) Centrální chemoreceptory – monitorují $p\text{CO}_2$ a pH v mozkomíšním moku.
- 2) Periferní chemoreceptory – monitorují převážně $p\text{O}_2$ arteriální krve v krční tepně a oblouku aorty.
- 3) Mechanoreceptory (stretch receptory) - monitorují hloubku dýchání.

Podle Rokyty et al. (2016) periferní receptory jsou převážně citlivé na $p\text{O}_2$ v krvi. Klesne-li tlak pod 7,3 kPa, citlivost receptorů se významně zvyšuje, což má za následek zvýšenou aktivaci respiračních center. Dále monitorují pH, dojde-li ke snížení, dochází k prohloubení a zrychlení dýchání (Kusmaulovo acidobazické dýchání.)

S nárůstem CO_2 v moku dochází ke snížení pH, na tento podnět odpovídají centrální chemoreceptory zvýšením ventilace. Zvýšení, které může být až desetinásobné, je dostatečné na to, aby klesl $p\text{CO}_2$ a stoupl pH. Tato reakce je účinná převážně v rozmezí $p\text{CO}_2$ 5-9 kPa, při dlouhodobém stavu zvýšení ale ventilace opět klesá, periferními receptory je “simulován” stav dostatku O_2 a dochází k ohrožení odezvy receptorů (Silbernagl & Despopoulos, 2016). Rokyta et

al. (2016) udává, že reakce centrálních chemoreceptorů je velmi rychlá, a to převážně kvůli velmi nízké kapacitě pufřů mozkomíšního moku.

K nervům vdechových svalů jsou v klidu vysílány rytmicky, 12–15krát za minutu, vzruchy a dochází k roztažení hrudní dutiny. Samotné roztažení dráždí inflační mechanoreceptory a ty vysílají prostřednictvím bloudivého nervu (vagu) signály pro útlum inspiračních neuronů (Merkunová & Orel, 2008). Tím dochází k jejich ochabnutí a ukončení vdechu (Orel, 2019).

Podobně jako cévy mají i dýchací cesty schopnost dilatace a konstriktce, jedná se však jen o dolní cesty dýchací. Hlavními faktory jsou zde aktivita sympatiku (dilatace) a parasimpatiku (konstriktce). Některé látky (acetylcholin, histamin, serotonin aj.) a fyzikální podněty (teplý/studený vzduch) mají konstriktční efekt (Rokyta et al., 2016).

2.3 Reakce kardiorespiračního systému na zátěž

V těle dochází k velkému množství změn za účelem vyrovnat se s aktuální úrovní zátěže a opětného docílení homeostázy organismu. Jedná se především o pokrytí nároků pracujících svalů na O_2 (VO_2) a odvod jejich zplodin (CO_2) (Orel, 2019).

Dle úrovně intenzity zatížení dochází k mnoha změnám, v rámci srdce dochází k zvýšení MSV, roztažení myokardu, zvýšení síly a frekvence stahů. Zvýšením práce srdce se zvýší celková cirkulace a tlak v krevním řečišti. Dochází k dilataci cév zásobujících svaly O_2 a k vazokonstriktci cév v oblasti v té chvíli méně potřebných systémů – trávicí trakt a ledviny (Kittnar & Mlček, 2009). K adaptaci respiračního systému dochází reakcí dýchacího centra na změny parciálních tlaků O_2 a CO_2 v krvi. V rámci plic se nejprve prohlubuje dýchání a zvyšuje dechový objem, až poté dochází k navýšení DF. Převážně u vyšších intenzit zatížení se DF zvýší natolik, že dochází k snížení dechového objemu. Podobně je tomu u srdce, které vypuzuje při vysokých frekvencích méně krve, nedochází k plnému stažení (Patton & Thibodeau, 2010). Při zátěži na střední úrovni intenzity (aerobní) dochází k pokrytí poptávky O_2 pracujících svalů a odvodu CO_2 . Dochází k ustálení SF a DF – nastává tzv. setrvalý stav (Rokyta et al., 2016). Pokud však je zatížení příliš vysoké, musí dojít k přerušení činnosti. Ke zmíněným změnám dochází především pomocí aktivace sympato-adrenální osy (Silbernagl & Despopoulos, 2016).

V rámci dlouhodobé (několikatýdenní) adaptace na zatížení střední intenzity dochází ke snížení sympato-adrenální aktivity, lepšímu prokrvení myokardu, sníží se spotřeba O_2 a zhušťuje se síť kapilár (Smolíková & Mlček, 2010). Dýchací ústrojí také prochází adaptací, a to především zlepšením ekonomiky dýchání – poměr ventilace a spotřeby O_2 (Rokyta et al., 2016). Je důležité podotknout, že se nejedná o veškeré změny zmíněných systémů, nýbrž o ty “nejvýznamnější” pro tuto práci.

2.3.1 Vyjádření intenzity zatížení

Pro vyjádření intenzity zatížení se velmi často uvádí úroveň maximální spotřeby kyslíku za minutu jedince – $VO_2\text{max}$ [ml/kg/min] (Silbernagl & Despopoulos, 2016). V klasifikaci úrovně intenzity se autoři liší, Botek et al. (2017) a Orel (2019) uvádí jako nízkou intenzitu zatížení u netrénovaného jedince do 45–55 % $VO_2\text{max}$, střední intenzita do 60–70 % $VO_2\text{max}$ a vysoká intenzita zatížení nad 70–80 % $VO_2\text{max}$. Ainsworth et al. (2011) uvádí jako další možnost vyjádření intenzity zatížení metabolický ekvivalent (MET). Jedná se o klidovou spotřebu O_2 (1 MET = 3,5 ml/kg/min), kdy nízká intenzita je 1,6–3 METs, střední intenzita 3–6 METs a vysoká intenzita >6 METs.

2.4 Hypoxie

V případě snížené dodávky O_2 navzdory potřebám tkání dochází ke stavu organismu zvanému hypoxie. Jinak řečeno, pO_2 v krvi artérií je natolik nízký, že nedochází k dostatečnému přísunu O_2 k naplnění požadavků tkání (Trojan et al., 2003). Hodnoty pO_2 ve stavu hypoxie se pohybují okolo 3,2 kPa (23 mm Hg). Hlavní funkcí O_2 ve tkáních je přijímat elektrony a vodíkové protony v respiračním řetězci, což se projevuje tvorbou molekul adenosintrifosfátu (ATP) v procesu zvaném oxidativní fosforylace (Máca et al., 2020; Kumar & Gabrilovich, 2014). Štěpením ATP za pomoci enzymu ATPáza se odděluje anorganický fosfát (Pi) od zmíněné molekuly za vzniku ADP a uvolnění energie. Tato energie je potřebná pro rozmanité buněčné procesy, kterými jsou například svalová kontrakce, proteosyntéza, lipogeneze, či membránový transport (Orel, 2019).

Opačný stav představuje hyperoxie, která se vyznačuje zvýšeným pO_2 ve tkáních, přičemž se hodnoty tohoto tlaku pohybují nad 20 kPa (150 mm Hg) (Suchý, 2012). Stav, kdy se ve tkáních nachází normální hodnoty O_2 , se nazývá normoxie. PO_2 se během tohoto stavu nachází v hodnotách 9,9–14,4 kPa (71–104 mm Hg) (Máca et al., 2020).

Trojan et al. (2003), Botek et al. (2017) a Suchý (2012) uvádí dělení hypoxie dle důvodů jejího vzniku do čtyř skupin:

- 1) Hypoxická hypoxie – je způsobena sníženým pO_2 v krvi artérií a následně nedostatečným přísunem O_2 k naplnění požadavků tkání. K tomuto jevu dochází během hypoventilace (mělkého či zpomaleného dýchání) nebo při redukované kapacitě plic či během pobytu ve vysokohorském prostředí, které je charakteristické sníženou koncentrací molekul vzduchu a tím pádem i koncentrací O_2 . Vysokohorské prostředí je prostředí se sníženým atmosférickým tlakem (hypobarií), proto se tento typ hypoxie v tomto prostředí také označuje jako hypobarická hypoxie. Tento typ hypoxie způsobuje akutní horkou nemoc (AMS, z anglického

„acute mountain sickness“) (Botek et al., 2017; West, 2013). V případě, že se ke tkáním nedostává naprosto žádný O_2 , dochází k takzvané anoxické hypoxii (Suchý, 2012).

2) Anemická (transportní) hypoxie – je způsobena sníženou koncentrací hemoglobinu v krvi (anémií/chudokrevností), nebo poruchou jeho funkce, což má za následek sníženou transportní kapacitu krve. Transportní kapacita krve pro O_2 může být také narušena v případě, že se na hemoglobin váže oxid uhelnatý, který se na červené barvivo váže lépe než kyslík (Trojan et al., 2003). K anemické hypoxii dochází za normálních hodnot pO_2 ve vzduchu v okolí (Botek et al., 2017).

3) Ischemická (stagnační či cirkulační) hypoxie – nastává v případě nedostatečného krevního zásobování. To může mít příčinu lokální, nebo systémovou. Mezi lokální příčiny se řadí ucpání tepen krevní sraženinou (trombem) či embolem, který může mít podobu např. tukové bublinky či uvolněného trombu do krevního řečiště (Trojan et al., 2003). Ischemie je další možnou místní příčinou. Systémovou příčinou je např. nedostatečná práce srdce či jeho selhání (Suchý, 2012).

4) Histotoxická (cytotoxická) hypoxie – dodávka O_2 tkáním je zajištěna, avšak tkáně nejsou schopné O_2 využít, jelikož u nich byly poškozeny enzymy oxidoredukčních reakcí nacházející se v mitochondriích těchto tkání. K poškození dochází toxiny, např. kyanidy (Trojan et al., 2003).

Jílek (1966) rozděluje hypoxii z hlediska závažnosti jejích důsledků na:

- 1) Funkční hypoxie – vyvolává reakce, kterými je za určitého stavu docíleno homeostázy.
- 2) Adaptační hypoxie – celkový organismus se s ní nedokáže snadno vyrovnat, proto dochází k metabolickým změnám na úrovni buněk.
- 3) Destrukční hypoxie – metabolické procesy buňky klesají pod úroveň, kdy lze zachovat její homeostázu.
- 4) Anoxie – nedostatek kyslíku způsobuje poškození a zánik buněk.

Podobnými znějícími jevy, jako je hypoxie, jsou hypoxemie a hypokapnie. Nedostatek O_2 čistě na úrovni arteriální krve se nazývá hypoxemií. Hypoxemie představuje redukované množství kyslíku v arteriální krvi, přičemž saturace krve klesá (SpO_2) pod 88 % za přítomnosti pO_2 menšího než 72 mm Hg (Máca et al., 2020). Hypokapnie představuje pokles pCO_2 v krvi pod 4,8 kPa (Guyton & Hall, 2000).

2.4.1 Akutní vlivy hypoxie na člověka

Hypoxický stav u člověka vyvolává zvýšenou SF, díky které je navýšen i MSV. Zvyšuje se tlak krve, a to i v plicích cévách, čímž je nastolen stav plicní hypertenze. DF se také zvyšuje

a dochází tak k hyperventilaci a zvýšení dechového objemu. V reakci na hypoxii se zvyšuje aktivita sympatiku (Hainsworth & Drinkhill, 2007).

Příznaky hypoxie lze vnímat také v psychickém prožívání člověka, u kterého se mění jeho nálady, emoce a také chování. Člověk pak bývá otupělý, nevrlý až nepřátelský, přičemž prožívá úzkostné stavy (Suchý, 2012). Emoční stavy špatné nálady se střídají s naprosto opačnými stavy euforie. Ke zlepšení tohoto psychického rozpoložení zrovna nenapomáhá ani dehydratace, nekvalitní spánek, zvonění v uších, bolesti hlavy a pocity na zvracení, což jsou další jevy, které s sebou hypoxie přináší (Šulc et al., 2001).

Melechovský (2005) popisuje některé tyto akutní vlivy hypoxie z hlediska procentuálního snížení arteriální SpO_2 , během kterého k těmto vlivům na člověka dochází. Saturace krve představuje nasycení krve O_2 , jehož hodnota se udává v procentech. Hodnota SpO_2 je spjatá s množstvím a složením vdechovaného vzduchu, s kvalitou výměny dýchacích plynů mezi alveolami a krví a se schopností krve transportovat O_2 . Desaturace je označení pro úbytek O_2 v krvi (Jančík et al., 2007)

Procentuální rozmezí hodnot SpO_2 a jeho akutní vlivy na člověka dle Melechovského (2005) se dělí na pět odlišných rozmezí. Rozmezí saturace 99–95 % se nevyznačuje žádnými specifickými příznaky. V rozmezí 95–85 % saturace se již zrychluje SF a DF jedince. Při 85–75 % saturace dochází ke zlepšení nálady jedince, který je nyní více komunikativní a zažívá pocity euforie. Rozmezí 75–60 % saturace se již vyznačuje úzkostmi, nevlí, pocity na zvracení, slabostí, zvoněním v uších, bolestmi hlavy, rozostřeným a tunelovým viděním, návalovými pocity horka a chladu, mravenčením, což vše je doprovázeno obtížným dýcháním. Zároveň jsou postiženy kognitivní funkce, což se zde projevuje zpomalenou rychlostí zpracování mluvených informací a zpomalenými reakcemi na změny poloh těla. U nižších procent SpO_2 již nastávají hypoxické křeče a jedinec již může upadnout do stavu bezvědomí.

2.4.2 Vysokohorská nemoc

Vlivem hypoxie, způsobené sníženým pO_2 ve vdechovaném vzduchu, a redukováného atmosférického tlaku dochází ve vysokých nadmořských výškách k onemocnění vysokohorskou nemocí (též výšková nemoc). Ve výšce okolo 5000 m n. m. je o 50 % nižší pO_2 než u hladiny moře a ve výšce 8000 m n. m. je již snížen pO_2 o 80 % (Bultas, 2015). Pojem vysoká nadmořská výška zde podle Dovalila et al. (2009) a Wilbera (2007) označuje výšky 3000 m n. m. a vyšší. Dovalil et al. (2009) a Wilber (2007) dále člení nadmořskou výšku na:

- 1) Nízká – do 800 m n. m.
- 2) Střední – od 800 do 1500 m n. m.

- 3) Vyšší – od 1500 do 3000 m n. m.
- 4) Vysoká – od 3000 m n. m. výše

Mírná forma výškové nemoci se může projevit při rychlém dosažení výšky 2500 m n. m. Tato lehká forma výškové nemoci se nazývá akutní horská nemoc a ve výšce 4000 m n. m. si její příznaky podstoupí zhruba třetina mužů a dvě třetiny žen (Bultas, 2015). Akutní horská nemoc má podle Lukse, Swensona a Bartscheho (2017) dvě formy, kterými jsou výškový otok plic a výškový otok mozku.

Příznaky vysokohorské nemoci jsou poruchy kognitivních funkcí, dušnost, nevolnost, zvonění v uších a slabost. V případě, že se tyto příznaky projeví, je vhodné zůstat v aktuální nadmořské výšce, dokud nedojde k aklimatizaci a příznaky nevyjmizí. V případě přetrvávajících příznaků je zahájen sestup (Bultas, 2015).

Potížením způsobeným vysokohorskou nemocí je možné se vyhnout pomocí pomalých aklimatizací, které by měly probíhat od výšky 3000 m n. m. každých 300 až 500 výškových metrů. Od 4000 m n. m. by již denní výškový posun měl obnášet pouze 200 až 300 metrů. Dalšími způsoby, jak vzdorovat výškové nemoci, je dobrý pitný režim, do kterého ovšem rozhodně nespadá alkohol. Dále je vhodné se vyvarovat kouření, různým tlumivým látkám působících na CNS a lékům způsobujících depresi dechového centra. Naopak je dobré přijímat pravidelně cukry v malých dávkách (Bultas, 2015). V případě AMS je doporučováno dvakrát denně přijímat 125 mg acetazolamidu, což je inhibitor karboanhydrázy jehož přijmutím lze docílit zvýšené saturace krve kyslíkem. Acetazolamid řeší problémy s poruchami spánku při dosahování vyšších nadmořských výšek (Luks et al., 2014).

Podle Lukse a Swensona (2008) je přijímáním 4 mg dexametazonu dvakrát denně možné docílit obdobných účinků jako u acetazolamidu. Dexametazon je kortikoid, který pak ve větších dávkách snižuje působení vaskulárního endotelového růstového faktoru při tvorbě mozkového edému.

2.4.3 Vliv hypoxie na nervovou soustavu

Nervový systém je výrazně citlivý na změny v dodávkách kyslíku. Nekróza nervových buněk má za následek poškození mozku, které může mít až nevrátelné následky. Poruchami CNS dochází k narušení kognitivních funkcí, které se projevují zhoršeným myšlením, potížemi s pamětí a prostorovou orientací, což může přerůst až ve ztrátu vědomí, podle závažnosti narušení CNS (Ševčík et al., 2014).

Také pozornost, jakožto koncentrace na určitou psychologickou aktivitu či určitý objekt, je vlivem hypoxie narušována (Peng, 2004). Wang et al. (2014) a Zhang et al. (2018) uvádí, že se

při expozici hypoxii prodlužuje doba odezvy vizuální prostorové pozornosti, přičemž se snižuje bdělost a exekutivní funkce. Dále se ukazuje, že se zhoršuje nejen pozornost na určitý cíl, ale zhoršuje se také pozornost k přípravám na dosažení cíle. Tímto dochází k úpadku či ztrátě schopnosti řešit problémy a učit se novým dovednostem či vědomostem (Klucká & Volfová, 2009).

2.4.4 Detekce hypoxie v organismu

Zaznamenání hypoxického stavu se odehrává na systémové úrovni a na úrovni buněk. Jaderné buňky disponují schopností odhalovat hypoxii speciálními receptory, které jsou napojeny na O₂ senzitivní iontové (draselné) kanály. Následná reakce buněk na hypoxii může být buďto časná, nebo pozdní. K časně reakci dochází aktivací předem vytvořených proteinů, což má trvání v řádu minut. Pozdní reakce probíhá v řádu hodin a její podstatou je zvýšení genové transkripce příslušných genů (Semenza, 2012).

K detekci dochází také na systémové úrovni, a to pomocí specializovaných chemoreceptorů, které se nachází v kardiovaskulárním systému a síti menších průdušek. V kardiovaskulárním systému v oblasti větvení krkavice se nachází karotická tělíska, která mají schopnost detekovat hypoxii právě v tomto systému. Touto schopností disponují také v systému větvení průdušek neuroepiteliální buňky, které sledují vdechované složení vzduchu z hlediska jeho obsahu kyslíku (Máca et al., 2020).

2.4.5 Adaptace organismu na hypoxii

Cílem adaptačních procesů je dodání potřebného O₂ do tkání, čímž je možné zajistit homeostatický stav jejich buněk. Pokud je přísun O₂ stále nedostačující, tak byla alespoň navýšena šance buněk nepříznivý stav překonat. Adaptační procesy mohou stejně jako detekce probíhat na systémové a buněčné úrovni (Máca et al., 2020).

K aktivaci systémové adaptace dochází již během několika minut. Součástí této adaptace je zvýšení MSV a minutové alveolární ventilace, což má za následek, a za cíl zároveň, zvýšení dodávky kyslíku do tkání. Během déletrvajících hypoxie se zvyšuje tvorba erythropoetinu, který stimuluje erythropoézu (tvorbu krvinek). Vyšší počet erytrocytů znamená vyšší kapacitu krve pro přenos O₂ do hypoxií postižených tkání. V rámci adaptace také dochází k tzv. hypoxické vazodilataci rezistenčních arteriol, což má za následek vyšší průtok krve orgány a opětné zajištění vyšší dodávky O₂. K hypoxické vazodilataci dochází zřetelně především na orgánech, které jsou choulostivé na nedostatek O₂, jako je např. myokard (Máca et al., 2020).

V plicním řečišti dochází naopak k zúžení cév známému jako hypoxická plicní vazokonstrikce. Účelem této vazokonstrikce je lokální redistribuce krve v plicním řečišti od hůře ventilovaných (hypoxických) plicních jednotek k lépe ventilovaným jednotkám, čímž je zajištěn lepší poměr ventilace a perfuze (V/Q). Perfuze zde představuje průtok krve plicními kapilárami (Sylvester et al., 2012).

Adaptační procesy vůči hypoxii na úrovni buňky jsou rozsáhlé. Jedním z adaptačních procesů buňky je započetí upřednostňování energeticky produktivních procesů před těmi, které energii spotřebovávají. Výnosnost anaerobního metabolismu se zvyšuje díky výraznější aktivitě určitých glykolytických enzymů, jako je tomu například u aktivity fosfofruktokinázy (Marsin et al., 2000).

Dalším adaptačním mechanismem buněk je zefektivnění oxidativní fosforylace v mitochondriích, čehož je docíleno snížením regulace uncoupling proteinem. Uncoupling protein reguluje tvorbu ATP z oxidativní fosforylace tak, že nahromaděnou energii z protonového gradientu nechává částečně přeměňovat na teplo. Snížením regulace tohoto proteinu je tedy docíleno efektivnějšího elektronového transportu a větší výnosnosti ATP z oxidativní fosforylace (Semenza, 2012).

V případě, že by předchozí zmíněné dvě adaptace nezlepšily buňce dostupnost ATP a nebyla by tak zajištěna její homeostáza, dochází k nekróze buňky. Průběh nekrózy začíná membránovou depolarizací následně doprovázenou nekontrolovatelným přívalem vápenatých iontů do buňky, načež se aktivují cytoplazmatické fosfolipázy a proteázy. Toto vše způsobí otok buňky, poničení jejích organel a její usmrcení (Semenza, 2012).

Pokud by hypoxický stav přetrvával dlouhodobě v řádu měsíců, pak dochází buď k nekróze buněk, anebo k jejich chronické adaptaci. Během této adaptace dochází ke snížení citlivosti buněk na hypoxii. Toho je docíleno snížením jejich metabolické aktivity, což se sice projeví menší produkcí ATP, ale také zmenšením nároků buňky na O₂, které jsou nyní o 40-60 % nižší (Schumacker et al., 1993).

2.4.6 Důsledky hypoxie na zdraví člověka

Hypoxie spojená s vysokohorskou nemocí, vedoucí až k ischemii tkáně, zvyšuje šanci na vznik arytmií. Zvýšená pohotovost krevních destiček pak podněcuje vznik koronární nebo mozkové příhody. Kvůli plicní hypertenzi, která působí na plicní kapiláry, dochází k pronikání plazmy a červených krvinek do vaziva uvnitř plic a tím vzniká plicní edém. K pronikání plazmy a erytrocytů do tkáně dochází vlivem Starlingových sil, zejména kvůli hydrostatickému tlaku intersticiální tekutiny. Výškový plicní edém se tvoří nad 4000 m n. m. (Bultas, 2015).

Z podobných důvodů může vzniknout také alveolární edém, což je druh plicního edému. Během tkáňové hypoxie a úbytku makroergních fosfátů dochází k narušení ATPázy, která doposud představovala aktivní pumpu odvádějící tekutiny z alveolárního prostoru do lymfatických cest. Narušením této pumpy dochází k nahromadění tekutiny v alveolách a vzniku alveolárního edému, který narušuje přestup O₂ ke kapilárám plic (West, 2004; West, 2006).

Další edém, který může vzniknout vlivem hypobarické hypoxie, je edém mozkový. Ischemie tkání, zapříčiněná hypoxemií a vazokonstrikcí, způsobuje poruchu funkce iontových kanálů, což opět jako u alveolárního edému způsobuje narušení ATPázy. Toto narušení může způsobit vznik edému uvnitř mozkových buněk, z nichž nejčastěji bývají postiženy astrocyty (Zhang et al., 2014; West, 2006).

Dalšími různými důsledky hypoxie můžou být chronické záněty, infarkt myokardu a vznik artritidy. Hypoxie také hraje svoji roli při metastázování nádorů (Kumar & Gabrilovich, 2014).

2.4.7 Uměle navozená hypoxie

K umělému navození hypoxie jsou využívány hypobarické nebo normobarické domy, stany a komory. Dříve byly také používány masky, ale ty se dnes nosí spíše za účelem navození nížinných podmínek při pobytu ve vyšších nadmořských výškách (Pernica et al., 2019).

Kyslíkový stan se skládá z plachty, která uzavírá prostor, a z agregátu, který dovnitř přes filtr vhání vzduch o požadované koncentraci, který navozuje normobarickou hypoxii. Nemusí tomu tak být, ale většinou stany nebývají moc velké, takže neumožňují trénink spojený s pohybovou aktivitou. Případné větší stany umožňují fyzické zatížení alespoň na sportovních trenažérech (Suchý, 2012).

Stany se využívají nejčastěji pro přespávání, a to konkrétně s obsahem vzduchu odpovídajícimu 2200 až 2600 m n. m. Ať už je to způsobeno vlivem hypoxie či hlukem agregátu, někteří sportovci mívají ve stanech problém s usínáním. Nevýhodou stanu je, že spánek v hypoxickém stavu zpomaluje regeneraci, avšak po 4 až 6 týdnech pravidelného deseti- až šestnáctihodinového pobytu v něm dochází k navýšení počtu erytrocytů. Pobyt ve stanu nemusí být 10 až 16 hodin v kuse, jelikož stejných výsledků se dosáhne, i když se celková délka pobytu rozdělí na kratší úseky, ve kterých se sportovec vystaví hypoxii několikrát za den (Suchý, 2012).

Hypoxické normobarické komory fungují na podobném principu jako kyslíkové stany. Znatelný rozdíl mezi stany a hypoxickými komorami představuje velikost. Hypoxické komory, díky svým rozměrům vždy umožňují trénink pomocí specializovaných sportovních trenažerů (West, 2013).

Změnu pO₂ v normobarických komorách a hypoxických stanech lze podle Wilbera (2007) změnit dalšími dvěma způsoby. Alternativní možností je vháněný vzduch ředit dusíkem, nebo vhánět do prostor již předem připravený hypoxický plyn.

Na rozdíl od normobarických komor se v těch hypobarických snižuje pO₂ snížením barometrického tlaku vzduchu (Wilber, 2007).

2.5 Chůze

Chůze je základní lidská lokomoce, kterou lze charakterizovat jako cyklický pohyb dolních končetin, kdy je alespoň jedna končetina v kontaktu s podložkou. Jedná se o formu kontrolovaného pádu, kdy tělo "padá" z jedné stabilní pozice stojné nohy dopředu na nohu švihovou (Neumannová et al., 2015). Kirtley (2006) definuje chůzi pomocí dvouoporové fáze (double support), tzn. v kontaktu s podložkou jsou obě chodidla. Jedná se o až o 20 % chůzového cyklu dle rychlosti chůze. V moment, kdy je dvouoporová fáze 0 % cyklu, se mění chůze v běh.

2.5.1 Pohyb dolních končetin

Dolní končetiny jsou od sebe na vzdálenost mezi rameny a pánví, chodidla směřují vpřed. Pánev mírně podsazená. Samotný krokový cyklus se dá rozdělit do tří fází (Kirtley, 2006; Škopek, 2010):

- 1) Zatěžování (loading), kdy chodidlo se dotkne podložky přes patu, je v pronaci a přehoupává se až do doby, kdy jsou v kontaktu s podložkou v oblasti nártních kostí. Koleno, dorzální flexory a chodidlo absorbují energii. Škopek (2010) zdůrazňuje nutnost vyvarovat se propnutí kolena při došlapu a přílišné elevace chodidla směrem vzhůru.
- 2) Opora a přechod (support/progression). V druhé fázi dochází k "zamčení" kotníku, trup se přehoupává přes stojnou nohu pomocí extenzorů kyčle a energie uchované švihovou nohou. Chodidlo supinuje a mění se na páku. Abduktory kyčle udržují stabilitu těla.
- 3) Odraz a švih je poslední fáze cyklu. Koleno se propíná a chodidlo se odráží od podložky pomocí plantárních flexorů. Svaly se uvolňují, v kolenu dochází k flexi a končetina švihem přechází zpět do první fáze, připravená k zahájení dalšího cyklu.

2.5.2 Pohyb horních končetin a trupu

Horní končetiny jsou mírně pokrčeny v lokti a pohybují se střídavě vpřed a vzad spolu s kontralaterální končetinou. Ramena jsou vzad a dolů. Trup mírně předkloněn. Střídání horních končetin dodržuje rytmus končetin dolních v poměru 1:1, při nižší rychlosti chůze se u některých

jedinců objevuje rytmus 2:1 (dva švihy horní končetiny na jeden dolní). Při vyšší rychlosti chůze se úhel pokrčení loktů zmenšuje kvůli zefektivnění pohybu (Bronstein, 2004; Filipová, 2022).

Koordinace horních a dolních končetin je spojena s rotací trupu mezi pánví a rameny, zefektivňuje pohyb a aktivuje hluboké stabilizační svalstvo, čímž chrání páteř (Filipová, 2022).

2.6 Hole a severská chůze (nordic walking)

2.6.1 Hole pro severskou chůzi

Hlavní funkcí holí je zvýšit dynamiku pohybu, a to aktivním odrazem na konci každého kroku. Je důležité si nezaměňovat jejich funkci za funkci holí trekingových, které slouží k opoře a odlehčení zátěže na klouby (Okoličányová, 2018).

Hole pro severskou chůzi se skládají z (Filipová, 2022):

- 1) Tělo hole – jednodílné nebo skládací, často z karbonu, sklolaminátu a grafitu.
- 2) Rukojeť – důležitý je ergonomický tvar a schopnost absorbovat vibrace, materiál různý.
- 3) Poutko – je esenciální pro správnou techniku chůze, měkké, pevné, anatomicky tvarované a hlavně nastavitelné.
- 4) Hrot/botička – koncová část hole, hlavní funkce je zajistit trakci.

Ideální délka holí je taková, aby při držení hole za rukojeť předloktí a paže svíraly pravý úhel (Nottingham & Jurasin, 2010). Pro začátečníky se doporučuje hole ještě o 5 cm kratší, jelikož delší hole mohou vést ke zhoršení techniky (Filipová, 2022).

2.6.2 Pohyb dolních končetin

Pohyb dolních končetin s holemi se neliší od chůze bez holí, technika viz výše. Škopek (2010) zmiňuje mírné natáhnutí přirozeného kroku.

2.6.3 Pozice hlavy, trupu a pohyb horních končetin s holemi

Z hlediska pozice jednotlivých segmentů, hlava je v prodloužení těla (nad rameny), brada rovnoběžná s povrchem, pohled směřuje několik metrů vpřed. Trup napřímený, je možný mírný předklon. Ramena jsou uvolněná a nad pánví. Zápěstí je v neutrální pozici a ruka drží rukojeť hole uvolněně, nikoliv křečovitě (Nottingham & Jurasin, 2010).

Samotný pohyb horních končetin je velmi podobný běžeckému lyžování, ve kterém má chůze s holemi své počátky. Paže jsou uvolněné a pohybují se přirozeně vpřed a vzad v rytmu chůze. Je důležité se vyvarovat pohybu s holemi do stran. Trup rotuje přirozeně s pohybem (Filipová, 2022).

Při manipulaci s holemi by se hrot měl po celou dobu nacházet za rukojetí (z pohledu směru pohybu). Pohyb má celkově tři části (Škopek, 2010):

- 1) Pohyb hole – pohyb začíná za úrovní boků, loketní kloub je v extenzi, dlaň otevřená, hůl visí na poutku. Končetina se pohybuje po přirozené trajektorii vpřed a vzhůru. Loketní kloub se v průběhu pohybu dostává do flexe.
- 2) Zapíchnutí a opora – hrot hole je v kontaktu s podložkou. Správně by měla být hůl zapíchnuta v úrovni paty nohy, co došlapuje vpřed. Loket je v mírné flexi. Na hůl, konkrétně na její poutko, je přenesena část hmotnosti těla, ruka svírá rukojeť. Při přenosu váhy rameno musí zůstat v dolní pozici.
- 3) Odpich – ruka provádí zapažení spolu s extenzí v lokti. Loketní kloub se dostává do propnutí a společně s chodidlem dochází k odpichu/odrazu. Ruka pouští holi a konec odrazuje je proveden přes poutko. Cyklus se opakuje.

2.6.4 Nordic walking a zdravý životní styl

Ideální kompenzací sedavého životního stylu, k rozvoji kondice a udržení zdraví, je alespoň 30 minut pohybové aktivity střední až vysoké intenzity denně (Chastin et al., 2015). Co se severské chůze týče, jedná se o aktivitu alespoň 20 minut střední intenzity (50-75 % SFmax), Filipová (2022) doporučuje 45-60 minut minimálně 3krát týdně. Okolyčanyová (2018) uvádí podobné hodnoty s tím, že 30 minut chůze s holemi denně snižuje nárůst obezity až o 58 %. Vhodné je k chůzi přistupovat jako ke každému jinému tréninku a progresivně zvyšovat intenzitu dle individuálních možností.

Pohybová aktivita a sport jsou rovněž klíčové k prevenci řady chorob. Chůze s holemi je právě díky své relativní nenáročnosti na prostředí a finance ideální. Správná technika chůze zvýší tělesný energetický výdej až o 20 % (Sovová, Zapletalová & Cipryanová, 2008) a zapojí se při ní 70-90% svalstva. Chůze s holemi pozitivně ovlivňuje klidovou srdeční frekvenci, krevní tlak, $VO_2\max$ a několik studií ukázalo její vhodnost při léčbě/rehabilitaci chronických onemocnění (Sanchez-Lastra et al., 2020).

Podle Morgulec-Adamowicz, Marszałek a Jagustyn (2011) chůze s holemi oproti běžné chůzi redukuje námahu kloubních spojení o 30 %, což ji dělá vhodnou právě pro lidi trpící nadváhou, u kterých jsou kloubní stres a bolesti častým problémem. Existují i studie, které

ukazují zvýšené zatížení kolenního kloubu (Hansen et al., 2008; Stief et al., 2008). Podle Dziuba et al. (2015) je kloubní stres především determinován technikou chůze s holemi, kdy špatná technika stres zvyšuje a správná snižuje. Jedinci s kloubními bolestmi nebo onemocněním či morbidně obézní jedinci by měli konzultovat s lékařem před zařazením chůze s holemi do jejich pohybového programu.

Giovanelli et al. (2023) provedli porovnání chůze a chůze s holemi u souboru 15 elitních/pokročilých trekových závodníků (muži $36,8 \pm 6,8$ let). Při chůzi s holemi bylo zatížení dolní končetiny o $2,8 \pm 6,4$ % nižší než při chůzi. Oproti výše zmíněným studiím u kardiopulmonálních parametrů nenaměřili signifikantní rozdíl mezi chůzí prostou a severskou. Zároveň zjistili, že účastníci, kteří vědomě tlačili do holí při chůzi do kopce, dosáhli vyšší redukce zatížení dolních končetin bez zvýšení nároků na příjem O_2 .

Chůze (a chůze severská) není vhodná jen pro zachování fyzického zdraví ale také zdraví mentálního, v současné době, kdy narůstá počet mentálních poruch (Thaller et al., 2022). Pohyb venku, nejlépe ve volné přírodě, pomáhá k vyplavení serotoninu a endorfinů, tím může pozitivně ovlivnit poruchy nálad, napomocť ke zlepšení poruch spánku a zmírnění deprese (Morgulec-Adamowicz, Marszałek & Jagustyn, 2011). Runenko et al. (2020) provedli 9měsíční výzkum chůze s holemi na skupině mladých dospělých (17-22 let), kdy hlavní skupina dosáhla mimo 18% redukce tělesného tuku a 22,5% nárůstu kondičních schopností, také 22% nárůst ve schopnosti zvládat výkyvy nálad během vystavení stresovým podmínkám.

K podobně slibným výsledkům dospěli Thaller et al. (2022), kteří zkombinovali severskou chůzi s horolezectvím u skupiny trpící psychickou poruchou (deprese, úzkosti, posttraumatický stres). Nordic walking i horolezectví působili pozitivně na redukci stresu, prevenci úzkostí a obecné zlepšení mentální stability. Mírné rozdíly byly naměřeny v "náběhu" pozitivních efektů; horolezectví vyžaduje vyšší úroveň koordinace a soustředění, takže redukce stresu a nastavení mentální pohody je pomalejší. Po 180 minutách obou aktivit se však naměřené hodnoty téměř vůbec nelišily. Co se zvládání stresových situací/vyvarování se panice, horolezectví dosáhlo značně lepších výsledků.

3 CÍLE

3.1 Hlavní cíl

Hlavním cílem práce je získání a vyhodnocení dat odezvy organismu při severské chůzi v normoxii a normobarické hypoxii.

3.2 Dílčí cíle

- 1) Změření odezvy kardiorepiračního systému při severské chůzi v normobarické hypoxii.
- 2) Změření odezvy kardiorepiračního systému při severské chůzi v normoxii.
- 3) Změření změny intenzity zatížení při chůzi, prosté i severské, v normobarické hypoxii.
- 4) Změření subjektivně vnímaného zatížení při severské chůzi v normoxii normobarické hypoxii.
- 5) Sledování subjektivně vnímaného zatížení při severské chůzi v normobarické hypoxii.

3.3 Výzkumné otázky

- 1) Do jaké míry bude severská chůze ovlivňovat kardiorepirační odezvu v podmínkách normoxie?
- 2) Do jaké míry bude severská chůze ovlivňovat kardiorepirační odezvu v podmínkách normobarické hypoxie?
- 3) Jakým způsobem se bude lišit intenzita zatížení při chůzi prosté a severské v podmínkách normoxie?
- 4) Jakým způsobem se bude lišit intenzita zatížení při chůzi prosté a severské v podmínkách normobarické hypoxie.
- 5) Co bude hlavním faktorem ovlivňujícím subjektivně vnímané zatížení?

4 METODIKA

4.1 Výzkumný soubor

Výzkumný soubor byl složen z 15 dobrovolnic věku 20-26 let. Většina účastnic byly studentky Univerzity Palackého v Olomouci. Účast byla omezena na ženy nekuřačky. Další charakteristikou souboru je, dle slovního vyjádření účastnic, sedavý způsob života, tj. neprovozují žádnou organizovanou či neorganizovanou sportovní aktivitu na pravidelné týdenní bázi. Všechny účastnice podepsaly informovaný souhlas (příloha 1) a byly obeznámeny s podmínkami pro účast výzkumu (příloha 2). Samotný výzkum byl schválen etickou komisí Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci.

Tabulka 1. Somatické a fyziologické charakteristiky výzkumného souboru (n = 15)

	M	SD
věk [roky]	23,2	2,34
tělesná výška [cm]	164,6	5,63
tělesná hmotnost [kg]	57,73	10,3
BMI [kg/m ²]	21,27	3,36
SFKlid [tepy/min]	65,27	5,27
predSFmax [tepy/min]	196,80	2,34
VC [l]	3,62	0,57
VC [%]	96,73	11,3
FEV1 [l]	3,19	0,48
FEV1 [%]	97,13	10,66

Vysvětlivky: M – aritmetický průměr, SD – směrodatná odchylka, BMI – body mass index, SFklid – klidová srdeční frekvence, predSFmax – predikovaná maximální srdeční frekvence (dle vzorce 220 - věk), VC – vitální kapacita plic, FEV1 – jednosekundová vitální kapacita

4.2 Výzkumné podmínky a jejich standardizace

Všechna měření byla provedená v laboratoři zátěžové fyziologie Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci. Laboratoř se nachází 260 metrů nad mořem (FiO₂ = 20,9 %). Všechna měření proběhla mezi 9:00 a 13:00 při teplotě vzduchu mezi 22-24 °C. Účastnice byly požádány, aby den před měřením neprováděly žádnou namáhavou (vysilující) pohybovou aktivitu a 2 hodiny před měřením nepožily žádnou látku, která by mohla ovlivnit jejich ANS (jídlo,

léky, kofeinové či jiné stimulanty aj.). Všechna měření byla provedena v hypoxické komoře. Mimo simulovanou hypoxii v hypoxické komoře panovaly stejné podmínky jako ve zbytku laboratoře. Všechna měření, která účastnice podstoupily, byla od sebe vzdáleny nejméně 48 hodin a nejvýše 2 týdny.

4.3 Výzkumný protokol a jeho realizace

Od účastnic byly získány vstupní hodnoty, klidová srdeční frekvence (měřeno ráno po probuzení, vleže) a podstoupily klidové spirometrické měření. Cílem spirometrického měření bylo získání vstupních dat a determinovat, zda jsou účastnice zdravotně způsobilé podstoupit měření v hypoxii.

Data byla sbírána ve dvou měřeních. Měření se skládalo z prosté chůze na běhátku 5 minut a poté 5 minut severskou chůzi. Během všech měření byl použit stejný pár polohovatelných nordic walking holí. Jednou bylo měření provedeno v normoxii (podmínky laboratoře) a jednou v hypoxii, kde byla simulována nadmořská výška ~2500 metrů ($FiO_2 = 15,3 \%$). Zvolená nadmořská výška by měla vyvolat dostatečnou odpověď organismu a zároveň udržovat šanci výskytu zdravotních komplikací na minimu (např. akutní horská nemoc postihuje 15 % jedinců) (Pernica, Harsa, & Suchý, 2019). Rychlost běhátka byla stanovena na 6 km/h za účelem vyvolání co nejvyšší odezvy a zachování efektivity pohybu (De Castro Cesar, 2007; Gomes Gonelli et al., 2011). Před dílčím měřením (hypoxickým a normobarickým) byla změřena klidová saturace O_2 krve účastnic, a dále v zátěži vždy v posledních 30 sekundách daného typu chůze. Při měřeních byla sbírána odezva vybraných kardiovaskulárních a ventilačních parametrů. Podobně jako se saturací byly účastnice v posledních 30 sekundách požádány o hodnocení vnímaného zatížení (RPE).

Všechny účastnice byly proškoleny o základní technice severské chůze. Pro každou účastnici byla velikost holí upravena (velikost = výška v loketním kloubu – 5 cm). Účastnicím nebylo sděleno, v jakém prostředí budou měření v daný den absolvovat.

4.4 Měřené parametry a použité přístroje

Součástí vstupních hodnot byla tělesná výška (cm) a tělesná hmotnost (kg), k měření byla použita váha SOEHLE 7307 (Leifheit Nassau, Německo)

Během klidové spirometrie byla měřena vitální kapacita (VC) a usilovná jednosekundová kapacita výdechu (FEV1), naměřené hodnoty byly také přepočítány na % vůči odhadovaným hodnotám dle povrchu těla. Pro spirometrii byly použity kalibrované přístroje (Spirostik se softwarem Blue Cherry; Geratherm Respiratory, Bad Kissingen, Německo).

K měření saturace arteriální krve O₂, před a během měření, byl použit pulzní oxymetr Nonin Onyx Vantage 9590 (Nonin Medical, Minneapolis, MN, USA).

Srdeční frekvence byla monitorována po celou dobu měření, bylo použito hrudního pásu (Polar, Kempele, Finsko).

K samotným měřením bylo použito běhátko Techno Gym (Cesena, Itálie), model Runrace HC 1200.

K měření ventilačních odezvy během dílčích měření bylo použito přístroje Ergostik se softwarem Blue Cherry (Geratherm Respiratory, Bad Kissingen, Německo). Mezi sledované parametry patřila spotřeba kyslíku (VO₂), minutová ventilace (VE) a respirační kvocient (RQ).

Pro chůzi byly použity nastavitelné hole NewFeel NW P120 (Decathlon, Villeneuve d'Ascq, Francie), hmotnost hole včetně "rukavice" a botičky byla 0,64 kg (kompletní pár 1,28 kg).

K navození normobarické hypoxie (dále jen hypoxie) byla použita komora o rozloze 45,5 m³ (výška 2,5 m, šířka 2,6 m a délka 7 m) a generátoru HG-1470 (Hypoxie Group, Praha, Česká republika). Komora byla nastavena, aby simulovala prostředí, odpovídající ~2,500 m nad mořem (FiO₂ = 15,3 %). Této koncentrace kyslíku bylo dosaženo pomocí zmíněného generátoru, ten filtruje kyslík a dusík ve vzduchu a upravuje jejich koncentraci. Vzduch se sníženou koncentrací O₂ proudí do komory. Cílená koncentrace je monitorována pomocí senzorů a udržována pomocí vstupních a výstupních ventilů. Koncentrace CO₂ byla udržována pod 1500 ppm (0,15 %) větráním komory po dílčím měření. Měření proběhly za relativní vlhkosti 30–40 %, ta byla dosažena pomocí komerčního zvlhčovače.

Ke zhodnocení vnímaného zatížení (RPE – rate of perceived exertion) byla použita Borgova stupnice 0-10 (Borg CR10). K upřesnění měla každá hodnota i slovní popis (Borg, 1998).

4.5 Statistické zpracování dat

Zpracování dat proběhlo za pomoci softwaru Statistica 13.4 (TIBCO Software, Palo Alto, CA, USA). Pro výpočty statistických veličin byla hladina statistické významnosti stanovena $p < 0,05$. Všechny komparace byly provedeny pomocí párového t-testu, mimo RPE. Pro komparace RPE byl použit Wilcoxonův párový test. Všechny statisticky signifikantní hodnoty jsou v části výsledků označeny *.

Odhad intenzity zátěže při prosté a severské chůzi byl postaven na měření spotřeby kyslíku a následném stanovení intenzity zátěže pomocí METs, kdy 1 MET odpovídá u žen kyslíkové spotřebě 3,4 ml/kg/min, s klasifikací 1-3 METs nízká intenzita, 3-6 METs střední intenzita, nad 6 METs vysoká intenzita (Ainsworth et al., 2011). Dále jsme využili i lineární souvislosti mezi maximální tepovou rezervou (MTR = SF_{max} - SF_{klid}) a spotřebou kyslíku (%MTR přibližně

odpovídají %VO₂max) s výsledkem odhadu intenzity zátěže v %VO₂max (Karvonen, Kentala, & Mustala, 1957).

5 VÝSLEDKY

5.1 Souhrnné výsledky saturací

Naměřené klidové hodnoty SpO₂ se pohybovaly v rámci norem (tabulka 2). V normoxii byla klidová SpO₂ 98,93 %, v hypoxii klidová SpO₂ klesla na 94,27 %. Při chůzi v normoxii hodnota SpO₂ vůči klidovým hodnotám (tabulka 4) klesla zhruba o 1,2 % a v hypoxii o 5,6 %. V porovnání s klidovými hodnotami při nordic walking došlo k poklesu v normoxii o 1,67 % a 5,73 % v hypoxii, ve všech případech se jedná o statisticky významné snížení saturace.

Vzájemným porovnáním naměřených hodnot chůze a nordic walking v podmínkách normoxie nebo hypoxie (tabulka 3) nebyl zjištěn statisticky významný pokles SpO₂. Snížení SpO₂ v normoxii odpovídalo 0,47 % ($p = 0,250$) a v hypoxii 0,13 % ($p = 0,769$).

Pohybová aktivita je hlavním faktorem poklesu SpO₂. V hypoxii je pokles výraznější. Souhrnně jsou všechny hodnoty uvedeny v tabulce 2.

Tabulka 2. souhrnné výsledky saturací krve O₂

	M	SD
N ₁ SpO _{2klid} [%]	98,93	0,26
N ₁ SpO ₂ [%]	97,73	1,58
N ₂ SpO ₂ [%]	97,27	2,02
H ₁ SpO _{2klid} [%]	94,27	2,55
H ₁ SpO ₂ [%]	88,67	2,94
H ₂ SpO ₂ [%]	88,53	2,75

Vysvětlivky: N₁ – normoxie bez holí, N₂ – normoxie s holemi, H₁ – hypoxie bez holí, H₂ – hypoxie s holemi, M – aritmetický průměr, SD – směrodatná odchylka, SpO_{2klid} – klidová saturace krve, SpO₂ – saturace krve

Tabulka 3. Komparace výsledků saturace krve O₂ z průběhu dílčích měření

	Δ	t	p
N ₁ SpO ₂ a N ₂ SpO ₂ [%]	-0,47	1,2	0,250
H ₁ SpO ₂ a H ₂ SpO ₂ [%]	-0,13	0,3	0,769
N ₁ SpO ₂ a H ₁ SpO ₂ [%]	-9,07	9,71	<0,001*
N ₂ SpO ₂ a H ₂ SpO ₂ [%]	-8,73	9,31	<0,001*

Vysvětlivky: Δ (%) – rozdíl průměrných hodnot, t – výsledek párového t-testu, p – hladina statistické významnosti (statistická významnost označena *), N₁ – normoxie bez holí, N₂ – normoxie s holemi, H₁ – hypoxie bez holí, H₂ – hypoxie s holemi, SpO₂ – saturace krve

Tabulka 4. Komparace saturací krve O₂ z dílčích měření s klidovými hodnotami

	Δ	t	p
N ₁ SpO _{2klid} a H ₁ SpO _{2klid} [%]	-4,67	7	<0,001*
N ₁ SpO _{2klid} a N ₁ SpO ₂ [%]	-1,2	2,81	0,014*
N ₁ SpO _{2klid} a N ₂ SpO ₂ [%]	-1,67	3,14	<0,007*
H ₁ SpO _{2klid} a H ₁ SpO ₂ [%]	-5,6	8,05	<0,001*
H ₁ SpO _{2klid} a H ₂ SpO ₂ [%]	-5,73	8,71	<0,001*

Vysvětlivky: Δ (%) – rozdíl průměrných hodnot, t – výsledek párového T-testu, p – hladina statistické významnosti (statistická významnost označena *), N₁ – normoxie bez holí, N₂ – normoxie s holemi, H₁ – hypoxie bez holí, H₂ – hypoxie s holemi, SpO_{2klid} – klidová saturace krve, SpO₂ – saturace krve

5.2 Souhrnné výsledky v normoxii

Všechny sledované parametry chůze a nordic walking v normoxii dosáhly významných rozdílů na hladině $p < 0,001$ (tabulka 6). Průměrné hodnoty SF vzrostly o 11,3 % a minutové ventilace (VE) o 21,6 %. Nárůsty byly zapříčiněny zvýšenou poptávkou svalů po O₂, respektive zvýšeným VO₂, a to o 11,2 %. Souhrnně jsou všechny hodnoty uvedeny v tabulce 5. Vycházíme-li z klidové VO₂ u žen (1 MET = 3,4 ml/kg/min), u prosté chůze bylo dosaženo intenzity zatížení na úrovni 5,3 METs. U nordic walking byla hodnota intenzity zatížení 5,9 METs, jednalo se o horní hranici pohybové aktivity střední intenzity (3-6 METs). Odhad intenzity zatížení dle SF, resp. vztahu mezi %MTR a %VO₂max, činí v dané rychlosti u prosté chůze $53,2 \pm 14,4$ %VO₂max a u severské chůze $64,9 \pm 13,2$ %VO₂max, což ukazuje na střední intenzitu (okolo aerobního prahu).

Tabulka 5. Souhrnné výsledky naměřené v normoxii

	M	SD
N ₁ SF [tep/min]	135	19,74
N ₁ VO ₂ [ml/kg/min]	17,91	1,47
N ₁ VE [l/min]	31	9,54
N ₁ RQ [CO ₂ /O ₂]	0,88	0,07
N ₂ SF [tep/min]	150,27	17,98
N ₂ VO ₂ [ml/kg/min]	19,85	1,89
N ₂ VE [l/min]	37,67	11
N ₂ RQ [CO ₂ /O ₂]	0,94	0,05

Vysvětlivky: N₁ – normoxie bez holí, N₂ – normoxie s holemi, M – aritmetický průměr, SD – směrodatná odchylka, SF – srdeční frekvence, VO₂ – spotřeba kyslíku, VE – minutová ventilace, RQ – respirační kvocient

Tabulka 6. Komparace parametrů při chůzi a nordic walking v normoxii

	Δ (%)	t	p
SF [tep/min]	+15,27 (+11,3 %)	10,97	<0,001*
VO ₂ [ml/kg/min]	+1,94 (+11,2 %)	5,51	<0,001*
VE [l/min]	+6,67 (21,6 %)	8,77	<0,001*
RQ [CO ₂ /O ₂]	+0,05	5,77	<0,001*

Vysvětlivky: Δ (%) – rozdíl průměrných hodnot, t – výsledek párového t-testu, p – hladina statistické významnosti (statistická významnost označena *), SF – srdeční frekvence, VO₂ – spotřeba kyslíku, VE – minutová ventilace, RQ – respirační kvocient

5.3 Souhrnné výsledky v hypoxii

I v hypoxii bylo dosaženo signifikantních rozdílů všech hodnot ($p < 0,001$). Nárůst průměrných hodnot SF byl o 9,6 % a VE o 22,6 %; k nárůstu došlo kvůli zvýšené VO₂ pracujících svalů o 9,7 %. Úroveň intenzity zatížení se opět pohybovala u horní hranice střední intenzity. U prosté chůze 5,5 METs a u nordic walking 6,0 METs. Vyjádřeno v %VO₂max, intenzita činila u prosté chůze 63,0 ± 11,7 % a u severské chůze 73,8 ± 10,5 %. Severská chůze v hypoxii tedy dle tohoto odhadu zasahovala již do pásma vysoké intenzity zatížení (nad 70 %VO₂max).

Vezmeme-li v potaz výsledky z části normoxie i hypoxie, dochází k nárůstu SF a VO₂ o ~10 % a VE o ~20 %.

Tabulka 7. Souhrnné výsledky naměřené v hypoxii

	M	SD
H ₁ SF [tep/min]	148,07	14,77
H ₁ VO ₂ [ml/kg/min]	18,59	1,43
H ₁ VE [l/min]	35	9,83
H ₁ RQ [CO ₂ /O ₂]	0,88	0,08
H ₂ SF [tep/min]	162,27	13,1
H ₂ VO ₂ [ml/kg/min]	20,43	1,55
H ₂ VE [l/min]	42,93	11,96
H ₂ RQ [CO ₂ /O ₂]	0,93	0,08

Vysvětlivky: H₁ – hypoxie bez holí, H₂ – hypoxie s holemi, M – aritmetický průměr, SD – směrodatná odchylka, SF – srdeční frekvence, VO₂ – spotřeba kyslíku, VE – minutová ventilace, RQ – respirační kvocient

Tabulka 8. Komparace parametrů při chůzi a nordic walking v hypoxii

	Δ (%)	t	p
SF [tep/min]	+14,2 (+9,6 %)	8,25	<0,001*
VO ₂ [ml/kg/min]	+1,83 (+9,7 %)	5,57	<0,001*
VE [l/min]	+7,93 (+22,6 %)	9,68	<0,001*
RQ [CO ₂ /O ₂]	+0,05	4,22	<0,001*

Vysvětlivky: Δ (%) – rozdíl průměrných hodnot, t – výsledek párového t-testu, p – hladina statistické významnosti (statistická významnost označena *), SF – srdeční frekvence, VO₂ – spotřeba kyslíku, VE – minutová ventilace, RQ – respirační kvocient

5.4 Komparace výsledků normoxie a hypoxie

Během prosté chůze v hypoxii došlo k nárůstu SF o 9,7 % oproti normoxii při hodnotě $p = 0,003$ a VE o 12,9 % při hodnotě $p < 0,001$ (tabulka 9).

Nárůst VO₂ o 3,9 % nedosahuje statisticky významných hodnot ($p = 0,069$). Zátěž neboli spotřeba kyslíku, je bez signifikantních změn při chůzi v dané rychlosti. To potvrzuje respirační kvocient (RQ) dosahující hodnot 0,88 v normoxii a 0,89 v hypoxii (tabulka 5 a 7).

Během nordic walking (tabulka 10) jsme dospěli k podobným výsledkům jako u prosté chůze. V hypoxii došlo k nárůstu SF o 8 % oproti normoxii při hodnotě $p = 0,003$ a VE o 13,8 % při hodnotě $p < 0,001$. Navýšení hodnot VO₂ o 2,5 % není statisticky významné, hodnota $p = 0,260$.

Odezva při prosté chůzi (tabulka 9) a při nordic walking (tabulka 10) odpovídala nárůstu SF o 9,7 % (13 tepů) u chůze a nárůstu SF o 8 % (12 tepů) u nordic walking. Při vzájemném porovnání je rozdíl zanedbatelný (rozdíl jednoho tepu). VE se u prosté chůze navýšila o 12,9 % (4 l) a u nordic walking o 13,8 % (5,27 l), což odpovídá reakci chemoreceptorů na nižší SpO₂, a tudíž zvýšení ventilace.

Tabulka 9. Komparace prosté chůze v normoxii a hypoxii

	Δ (%)	t	p
SF [tep/min]	+13,07 (+9,7 %)	3,64	0,003*
VO ₂ [ml/kg/min]	+0,68 (+3,9 %)	1,97	0,069
VE [l/min]	+4 (+12,9 %)	4,97	<0,001*
RQ [CO ₂ /O ₂]	-0,01	0,3	0,771

Vysvětlivky: Δ (%) – rozdíl průměrných hodnot, t – výsledek párového t-testu, p – hladina statistické významnosti (statistická významnost označena *), SF – srdeční frekvence, VO₂ – spotřeba kyslíku, VE – minutová ventilace, RQ – respirační kvocient

Tabulka 10. Komparace nordic walking v normoxii a hypoxii

	Δ (%)	t	p
SF [tep/min]	+12 (+8 %)	3,64	0,003*
VO ₂ [ml/kg/min]	+0,57 (+2,5 %)	1,17	0,260
VE [l/min]	+5,27 (+13,8 %)	5,71	<0,001*
RQ [CO ₂ /O ₂]	-0,01	0,47	0,643

Vysvětlivky: Δ (%) – rozdíl průměrných hodnot, t – výsledek párového t-testu, p – hladina statistické významnosti (statistická významnost označena *), SF – srdeční frekvence, VO₂ – spotřeba kyslíku, VE – minutová ventilace, RQ – respirační kvocient

5.5 Výsledky hodnocení subjektivně vnímaného zatížení (RPE)

V rámci subjektivního hodnocení zatížení byla prostá chůze v normoxii hodnocena v průměru 1,9 bodu a u nordic walking 3,33 bodu, v obou případech se jednalo o velmi nízké RPE. V hypoxii došlo k navýšení, průměr prosté chůze byl 2,4 bodu a nordic walking 3,67 bodu. Stejně jako v normoxii se jednalo o nízké RPE.

Pro porovnání RPE dílčích měření byl použit Wilcoxonův párový test (tabulka 12). U výzkumného souboru byly naměřeny statisticky významné rozdíly ve dvou případech.

U porovnání prosté chůze a nordic walking v normoxii, celkově 14 nenulových hodnot ($p < 0,001$). V prostředí hypoxie se také jednalo o porovnání prosté chůze s nordic walking, také se 14 nenulovými hodnotami ($p = 0,003$). U výzkumného souboru je za hlavní determinantu subjektivního zatížení považováno zapojení holí (nordic walking). Samotná hypoxie ovlivnila subjektivní pocit zatížení, avšak hodnoty byly statisticky nevýznamné.

Tabulka 11. Souhrnné výsledky RPE

	M	SD	Me	IQR
N ₁ RPE	1,9	1,04	2	2
N ₂ RPE	3,33	1,59	3	2
H ₁ RPE	2,4	1,18	2	1
H ₂ RPE	3,67	1,54	4	2

Vysvětlivky: H₁ – hypoxie bez holí, H₂ – hypoxie s holemi, N₁ – normoxie bez holí, N₂ – normoxie s holemi, RPE – Borgova stupnice, M – aritmetický průměr, Me – medián, SD – směrodatná odchylka, IQR – interkvartilové rozpětí

Tabulka 12. Komparace RPE během všech dílčích měření

	n	Z	p
N ₁ RPE a N ₂ RPE	14	3,3	<0,001*
H ₁ RPE a H ₂ RPE	14	3,01	0,003*
N ₁ RPE a H ₁ RPE	9	1,6	0,110
N ₂ RPE a H ₂ RPE	7	0,85	0,398

Vysvětlivky: H₁ – hypoxie bez holí, H₂ – hypoxie s holemi, N₁ – normoxie bez holí, N₂ – normoxie s holemi, RPE – Borgova stupnice, n – počet různých (nenulových) hodnot, Z – hodnota testované statistiky, p – hladina statistické významnosti (statistická významnost označena *)

6 DISKUSE

Odezva organismu při severské chůzi je hojně zkoumaný prvek, převážně v rámci rehabilitace. Nebereme-li v potaz trekking, je tato diplomová práce pilotní studií implementace severské chůze v hypoxickém prostředí. Vyhodnocená data v normoxii nebo hypoxii měření popisují odpověď organismu při severské chůzi. Při komparaci mezi měřeními v normoxii a hypoxii hodnoty VO_2 a RQ nedosáhly signifikantních změn. Nesignifikantní výsledky lze vysvětlit následovně:

Během prosté chůze v hypoxii došlo k nárůstu SF o 9,7 % a VE o 12,9 % oproti normoxii. VO_2 se však signifikantně nelišila a tomu odpovídal i RQ, kde byly průměrné hodnoty 0,88 v normoxii a 0,89 v hypoxii. Zvýšení SF a VE lze pochopit jako reakci transportního systému na poptávku O_2 z prostředí s nižší koncentrací O_2 ($FiO_2 = 15,3$ %). Pod úrovní ANP je RQ spojeno se spotřebou O_2 . Nad ANP převážně spojeno s CO_2 , a to díky pufro HCO_3^- (Ward, 2021). Zvýšení VO_2 o 3,9 % může znamenat nárůst spotřeby při zvýšené práci dýchacích svalů. Změny hodnot při severské chůzi v normoxii oproti hypoxii lze interpretovat stejným způsobem jako u chůze prosté.

Porovnáním statisticky významných hodnot z komparace normoxie a hypoxie u daného typu chůze dostaneme nárůst SF o 9,7 % u chůze a nárůstu SF o 8 % u nordic walking. V hodnotách tepu při chůzi se jedná o nárůst ze 135 tep/min v normoxii na 148 tep/min při chůzi v hypoxii (rozdíl 13 tepů). Hodnoty tepu severské chůze odpovídaly nárůstu z 150 tep/min v normoxii na 162 tep/min v hypoxii (rozdíl tepů 12). Zjistili jsme, že dochází zanedbatelnému nižšímu nárůstu. Zvýšení VE bylo o 12,9 % při prosté chůzi a 13,8 % při nordic walking. West (2013) uvádí, že akutní odezvou na hypoxické prostředí je převážně zvýšení SF a VE. Jak bylo je zmíněno výše zvýšení SF je zanedbatelné. Zvýšení VE připisujeme reakci chemoreceptorů na nižší SpO_2 během nordic walking.

RPE bylo převážně zvýšeno severskou chůzí, nikoliv hypoxií. Tyto výsledky jdou proti obecně známému tvrzení, že použití holí nezvyšuje subjektivní pocit zatížení při vyšším metabolickém (kalorickém) výdeji. Samotná hypoxie ovlivnila subjektivní pocit zatížení, avšak hodnoty byly statisticky nevýznamné.

Grainer et al. (2017) provedli studii, kde porovnávali prostou chůzi s chůzí severskou v přirozeném horském prostředí. Jednalo se o soubor 13 mužů a 8 žen (věk 41 ± 12 let; BMI $24,1 \pm 3,7$). Znalost techniky chůze byla základní. Účastníci ušli 3 různé tratě (2,2/3,4/7,2 km) každým typem chůze. Nejdelší trať dosáhla elevace 150 m. Vlivem severské chůze došlo k nárůstu SF o 18 %, energetického výdeje (EE) o 20 % a individuální rychlosti chůze o 7 %. Autoři připisují 13 % z celkového 20% navýšení EE zapojení holí. Zbýlých 7 % je připsáno navýšení

rychlosti. RPE během porovnání nedosáhlo významného navýšení. Autoři neuvedli nadmořskou výšku, ve které byla studie provedena. Pro přesnější porovnání výsledků je zásadní. Nárůst SF o 18 % byl výrazně vyšší než ~10 % v této studii.

Perrey a Fabre (2008) provedli studii na porovnání kardiorepirační odezvy chůze a chůze s holemi z kopce, po rovině a do kopce u ženského souboru 28,4 ± 8,8 let. Rychlost chůze byla zvolena individuálně dle komfortu 4,7 ± 0,6 km/h po rovině. Při porovnání chůze s holemi vůči prosté chůzi nebyl naměřen signifikantní nárůst VO₂, VE, SF a RPE. RPE vzrostlo z 9,9 ± 2,6 (Borg CR20) na 10,2 ± 2,3. Při chůzi s holemi z kopce bylo dosaženo nárůstu VO₂ o 19 % oproti chůzi s holemi na rovné ploše. Hodnoty statisticky nevýznamných nárůstů nebyly uvedeny.

Giovanelli et al. (2023) provedli porovnání chůze do kopce a chůze s holemi u souboru 15 elitních/pokročilých trekových závodníků (muži 36,8 ± 6,8 let). Úroveň zátěže byla různá, jelikož se jednalo o stupňovaný test zátěže. Koncově se pohybovala okolo 80 % VO₂max (anaerobního prahu účastníků). RPE během zatížení 80 % VO₂max bylo na úrovni 15,8 ± 1,5 (7,4 ± 0,75 Borg CR10) při chůzi s holemi a 16,9 ± 1,6 (8,45 ± 0,8 Borg CR10) u chůze prosté. Mezi chůzí a chůzí s holemi nedošlo k signifikantním rozdílům odezvy kardiorepiračního systému. Zatížení dolní končetiny bylo o 2,8 ± 6,4 % nižší u chůze s holemi než při chůzi prosté. Při aktivním tlačení do holí bylo dosaženo vyššího výkonu [W] bez zvýšení RPE a VO₂. Tyto poslední fakty podporují tvrzení Dziuba et al. (2015), že vliv holí je determinován technikou chůze. Správná technika pohyb ulehčuje, zátěž a pocit zatížení snižuje. Špatná technika naopak vyvolává zvýšení daných parametrů. Oproti studiím zmíněným výše tato diplomová práce dospěla k rozdílným výsledkům. Musíme vzít v potaz, do jaké míry byly parametry ovlivněné technikou samotné severské chůze při měřeních. Je nutno vzít v potaz následující faktory. Výzkumný soubor a jeho trénovanost byla zcela odlišná. Technika trekingové chůze s holemi a severská chůze nejsou identické. Trekové hole a hole pro severskou chůzi jsou odlišné hmotností, velikostí a za jakým účelem použití.

Cebula et al. (2020) provedli studii na souboru 18 žen po menopauze (věk 57,8 ± 2,01; BMI 26,4 ± 2,7). Ženy po dobu 6 týdnů tréninku 3krát týdně absolvovaly 60 minut tréninku severské chůze na travnaté ploše. Výzkum byl prováděn za standardizovaných podmínek. Jednalo se o chůzi stupňované intenzity počáteční rychlostí 0,25 m/s a finální rychlostí 1,75 m/s. Bylo provedeno také vstupní měření prostou a severskou chůzí na běžeckém pase rychlosti 1,75 m/s neboli 6,23 km/h. Během severské chůze před podstoupením 6týdenního tréninku byla naměřena spotřeba kyslíku VO₂ = 20,4 ± 2,28 ml/kg/min a po tréninku 20,82 ± 2,98 ml/kg/min. VE se před tréninkem rovnal 41,9 ± 8,87 l a po tréninku 41,7 ± 7,77 l. RQ odpovídal 0,90 ± 0,06 před tréninkem a po tréninku 0,85 ± 0,03. Zohledníme-li značně vyšší věk souboru, bylo (v této

práci) dosaženo velice podobné akutní odezvy organismu během severské chůze při podobné rychlosti v normoxii – $\text{VO}_2 = 19,85 \pm 1,89 \text{ ml/kg/min}$; $\text{VE} = 37,67 \pm 11 \text{ l}$; $\text{RQ} = 0,94 \pm 0,05$.

Mezi limity této diplomové práce může spadat:

- I přes proškolení o správné technice severské chůze se úroveň jejího provedení v souboru lišila.
- Dle slovního vyjádření se jednalo o ženy se „sedavým“ způsobem života. Nevíme, do jaké míry je toto tvrzení pravdivé. Různá úroveň fyzické kondice znamená různou úroveň odezvy.

7 ZÁVĚRY

Severská chůze vyvolala v normobarické hypoxii u daného souboru značnou odezvu u všech měřených parametrů mimo SpO₂. Obdobných výsledků bylo dosaženo také v podmínkách normoxie.

- Porovnáním severské chůze a prosté chůze v podmínkách hypoxie došlo ke zvýšení SF o 9,6 %, VO₂ o 9,7 % a VE dosáhla zvýšení 22,6 %.
- Porovnáním severské chůze a prosté chůze v podmínkách normoxie došlo ke zvýšení SF o 11,3 %, VO₂ o 11,2 % a VE dosáhla zvýšení 21,6 %.
- Souhrnně se při severské chůzi oproti chůzi prosté SF a VO₂ zvyšují o ~10 % a VE o ~20 %. Toto zvýšení je bez závislosti na hypoxii nebo normoxii.
- Hypoxické prostředí způsobilo pokles SpO₂ o 4,67 % oproti klidovým hodnotám v normoxii.
- SpO₂ klesla z klidových hodnot během severské chůze o 1,67 % v normoxii a o 5,73 % v hypoxii.
- SpO₂ klesla z klidových hodnot během prosté chůze o 1,2 % v normoxii a o 5,6 % v hypoxii.
- Při porovnání poklesu SpO₂ během chůze prosté a severské nebyl mezi nimi zjištěn signifikantní rozdíl. Saturace tedy klesá vlivem pohybové aktivity, nikoliv použitím holí.
- Intenzita zátěže při severské chůzi odpovídala 6,0 METs v podmínkách hypoxie a 5,9 METs v podmínkách normoxie. Prostá chůze se výrazně nelišila, intenzita zátěže odpovídala 5,5 METs v hypoxii a 5,3 METs v normoxii. Ve všech případech se jednalo o aktivitu střední intenzity zátěže (3–6 METs).
- V hodnotách %VO₂max odhadovaná intenzita zátěže dosáhla u severské chůze 73,8 ± 10,5 % v hypoxii a 64,9 ± 13,2 % v normoxii. U prosté chůze bylo naměřeno o něco nižších hodnot 63,0 ± 11,7 % v hypoxii a 53,2 ± 14,4 % v normoxii. Severská chůze v hypoxii dle odhadu přesáhla hodnoty 70 % VO₂max a zasahovala tak do pásma vysoké intenzity zátěže.
- Vlivem holí (severské chůze) došlo k navýšení intenzity zátěže o 0,5 MET v podmínkách hypoxie a 0,6 MET v podmínkách normoxie. Vyjádříme-li navýšení v %VO₂max šlo o ~11% navýšení v podmínkách hypoxie a ~11% navýšení v podmínkách normoxie.
- Při severské chůzi odpovídal medián hodnocení pocitu zátěže (RPE) hodnotě 3 a prosté chůze hodnotě 2 v podmínkách normoxie. V podmínkách hypoxie severská chůze

dosáhla mediánu RPE hodnoty 4 a prosté chůze hodnoty 2. Při porovnání vlivu prostředí normoxie a hypoxie nebylo naměřeno významných rozdílů.

- Severská chůze byla hlavním faktorem změny RPE, hypoxie nevyvolala významnou změnu subjektivně vnímaného zatížení.
- SF a VE byly významně ovlivněny jak typem chůze, tak podmínkami koncentrace O₂.
- VO₂ a RQ byli významně ovlivněny typem chůze, ale ne podmínkami koncentrace O₂.
- Dle naměřených výsledků vyvolala severská chůze signifikantní odezvu u sledovaných parametrů, a to bez výrazného zvýšení subjektivního pocitu zátěže, v podmínkách normoxie i hypoxie. Vezmeme-li v potaz absolutní hodnoty VE, SF a odhad intenzity zátěže pomocí %VO₂max, zjistíme, že v hypoxii je odezva značně vyšší. Lze tedy říct, že za účelem kardiovaskulárního a respiračního tréninku má spojení severské chůze s hypoxickým prostředím využitelný potenciál.

8 SOUHRN

Diplomová práce se řadí mezi práce zkoumající odezvu organismu v různých situacích v normobarické hypoxii. Výzkum byl proveden v prostorách laboratoří Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci. Tento výzkum poznatky o odezvě rozšiřuje, a to o reakci organismu na severskou chůzi.

Hlavním cílem bylo získání a vyhodnocení dat odezvy organismu při severské chůzi v normoxii a hypoxii.

Design studie byl složen ze dvou měření, každé měření se skládalo z 5 minut prosté chůze a 5 minut chůze severské. Rychlost chůze byla nastavena na 6 km/h. Jednou v podmínkách normoxie panující v prostředí laboratoře ($FiO_2 = 20,9 \%$) a jednou v podmínkách hypoxie. Navozená hypoxie odpovídala 2500 m n. m. ($FiO_2 = 15,3 \%$). Normobarická hypoxie byla vytvořena pomocí generátoru HG-1470. K měření byly použity hole NewFeel NW P120 vážící 1,28 kg. Data byla sbírána na souboru žen ($n = 15$) s průměrným věkem $23,2 \pm 2,34$ let. Průměrná tělesná výška byla $164,6 \pm 5,63$ cm, tělesná hmotnost $57,73 \pm 10,3$ kg a BMI $21,27 \pm 3,36$ kg/m². Mezi sledované parametry patřila SF, VE, VO_2 , SpO_2 , RQ a RPE. SF byla měřena pomocí hrudního pásu značky Polar. SpO_2 byla měřena pomocí oxymetru Nonin Onyx Vantage 9590. Ventilační parametry byly měřeny přístrojem Ergostik se softwarem Blue Cherry. K vyjádření RPE byla použita Borgova škála Borg CR10. Data byla zpracována softwarem Statistica 13.4 od společnosti TIBCO Software.

Naměřená data byla porovnávána převážně pomocí párového T-testu. Výjimkou bylo RPE. Hodnoty RPE z dílčích byly porovnány pomocí Wilcoxonova párového testu. Výsledky prokázaly signifikantní nárůst SF o 9,6 %, VO_2 o 9,7 % a VE o 22,6 % při severské chůzi oproti prosté chůzi v podmínkách normoxie. V podmínkách hypoxie byl také naměřen signifikantní nárůst SF o 11,3 %, VO_2 o 11,2 % a VE o 21,6 %. SpO_2 byla signifikantně ovlivněna pohybovou aktivitou. Pokles SpO_2 během prosté chůzi v normoxii odpovídal 1,2 % a 5,6 % v hypoxii. Severská chůze dosáhla podobného poklesu SpO_2 . V normoxii 1,67 % a 5,73 % v hypoxii. Samotný rozdíl mezi chůzí prostou a severskou signifikantní nebyl. Hlavní faktor ovlivňující intenzitu zátěže byla severská chůze. V normoxii severská chůze zvýšila intenzitu zatížení o 0,6 MET a v hypoxii o 0,5 MET. V hodnotách $\%VO_{2max}$ vlivem severské chůze došlo k navýšení o ~11 % v podmínkách normoxie i hypoxie. Pocit subjektivně vnímané zátěže nebyl významně ovlivněn hypoxickým prostředím, ale pouze typem chůze. Severskou chůzi lze považovat za hlavní faktor ovlivňující RPE.

Severská chůze vyvolá značnou odezvu kardiopulmonálního systému v normoxii i hypoxii, a to bez výrazného navýšení subjektivního pocitu zátěže. V hypoxii je tato odezva výraznější.

9 SUMMARY

This thesis belongs to a number of studies that deal with cardiorespiratory response in the environment of normobaric hypoxia. The study was conducted in the laboratory of the Faculty of physical culture of Palacký University in Olomouc. This thesis aims to broaden the field of knowledge with the body's response to Nordic walking.

This thesis aims to measure and evaluate the cardiorespiratory response to Nordic walking in normoxia and hypoxia.

The design consisted of two measurements. Each of them included 5 minutes of walking without poles and 5 minutes of Nordic walking. The treadmill speed was 6 km/h. Once in normoxia ($FiO_2 = 20.9\%$) and once in hypoxia. The simulated altitude was ~2500 m above sea level ($FiO_2 = 15.3\%$). The hypoxia environment was created with HG-1470 generator. Poles NewFeel NW 120, weighing 1.28 kg, were used for Nordic walking. All the data were collected on 15 women ($n = 15$) with the average age of 23.2 ± 2.34 years. Average height was 164.6 ± 5.63 cm, weight 57.73 ± 10.3 kg and BMI 21.27 ± 3.36 kg/m². The monitored parameters were heart rate (SF), respiratory rate (VE), blood oxygen saturation (SpO₂), oxygen consumption (VO₂), respiratory equivalent (RQ) and rate of perceived exertion (RPE). Heart rate was measured with Polar chest strap. SpO₂ was measured with a pulse oximeter Nonin Onyx Vantage 9590. Respiratory parameters were monitored using Ergostik with the Blue Cherry software. For RPE expression Borg CR10 scale was used. All data were processed using Statistica 13.4 software from TIBCO software.

Data were compared mostly via paired sample T-test. RPE being the only exception. RPE data was compared using Wilcoxon paired samples test. In normoxia the results showed significant increase in SF by 9.6 %, VO₂ by 9.7 % and VE by 22.6 % during Nordic walking compared to walking without poles. In hypoxia the results showed significant increase in SF by 11.3 %, VO₂ by 11.2 % and VE by 21.6 % during Nordic walking compared to walking without poles. SpO₂ was significantly influenced by physical activity in general, the difference between Nordic walking and walking without poles was not significant. The decrease of SpO₂ during walking without poles was 1.2 % in normoxia and 5.6 % in hypoxia. Nordic walking caused similar response 1.67 % in normoxia and 5.73 % in hypoxia. The difference between Nordic walking and walking without poles was insignificant. The main difference in exercise intensity was caused by Nordic walking. In normoxia the increase equalled to 0.6 MET and in hypoxia 0.5 MET. If we use the estimate of exercise intensity %VO₂max the increase during Nordic walking was ~11 % in normoxia and hypoxia. RPE wasn't influenced by the hypoxic environment, the main cause of RPE change was the physical activity. Nordic walking causes a significant response in the

cardiorespiratory system without increasing the rate of perceived exertion significantly. In the environment of hypoxia this response is greater.

10 REFERENČNÍ SEZNAM

- Ainsworth, B. et al. (2011). Compendium of Physical Activities: a second update of codes and MET values. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(8), 1575-1581. doi:10.1249/MSS.0b013e31821e12
- Aliberti, S. (2023). Perceptions on Nordic Walking in women post COVID-19 pandemic: motivations and future intentions. *Journal of Physical Education & Sport*, 23(1), 143-151. doi: 10.7752/jpes.2023.01018
- Borg, G. (1998). *Borg's perceived exertion and pan scales*. Champaign: Human Kinetics.
- Botek, M., Neuls, F., Klimešová, I., & Vyhnanek, J. (2017). *Fyziologie pro tělovýchovné obory: vybrané kapitoly část I*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- Bozic-Krstic, V., Rakić, R., & Pavlica, T. (2010). Correlation of vital lung capacity with body weight, longitudinal and circumference dimensions. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 24, 325-328. doi: 10.1080/13102818.2010.10817856
- Bronstein, A. M. (2004). *Clinical disorders of balance, posture and gait* (2nd ed). London: Edward Arnold.
- Bultas, J. (2015). Mountain sickness. *Časopis lékařů českých*, 154(6), 280-286.
- Cebula, A., et al. (2020). Physiological response and cardiorespiratory adaptation after a 6-week nordic walking training targeted at lipid oxidation in a group of post-menopausal women. *PLoS ONE*, 15(4), 1-16. doi: 10.1371/journal.pone.0230917
- De Castro Cesar, M., Gomes Gonelli, P. R., Seber, S., Pellegrinotti, Í. L., & De Lima Montebelo, M. I. (2007). Comparison of physiological responses to treadmill walking and running in young men. *Gazzetta Medica Italiana Archivio per Le Scienze Mediche*, 166(5), 163-167.
- Dovalil, J., Choutka, M., Svoboda, B., Hošek, V., Perič, T., Potměšil, J., Vránová, J., & Bunc, V. (2009). *Výkon a trénink ve sportu*. Praha: Olympia.
- Chastin, S. F. M., Palarea-Albaladejo, J., Dontje, M. L., & Skelton, D. A. (2015). Combined effects of time spent in physical activity, sedentary behaviors and sleep on obesity and cardio-metabolic health markers: a novel compositional data analysis approach. *PloS One*, 10(10). doi: 10.1371/journal.pone.0139984
- Filipová, V. (2022). *Chůze pro zdraví aneb Jak si chůzí a cvičením s hůlkami zlepšit zdraví, náladu a prodloužit aktivní život: metodická příručka pro současné i budoucí chodce*. Praha: Státní zdravotní ústav.
- Giovanelli, N., Pellegrini, B., Bortolan, L., Mari, L., Schena, F., & Lazzer, S. (2023). Do poles really "save the legs" during uphill pole walking at different intensities? *European Journal of Applied Physiology*, 123(12), 2803-2812. doi: 10.1007/s00421-023-05254-9

- Gomes Gonelli, P. R., Filho, E. G., Carraro, R., De Lima Montebelo, M. I., & Cesar, M. C. (2011). Comparison of cardiopulmonary responses to treadmill walking and running at the same speed in young women. *Journal of Exercise Physiology Online*, 14(3), 53–59.
- Grainer, A., Zerbini, L., Reggiani, C., Marcolin, G., Steele, J., Pavei, G., & Paoli, A. (2017). Physiological and perceptual responses to nordic walking in a natural mountain environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(10). doi: 10.3390/ijerph14101235
- Guyton, A. C., & Hall, J. E. (2000). *Textbook of medical physiology*. Philadelphia: WB. Saunders.
- Hainsworth, R., & Drinkhill, M. J. (2007). Cardiovascular adjustments for life at high altitude. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 158(2-3), 204-211. doi: 10.1016/j.resp.2007.05.006
- Hansen, L., Henriksen, M., Larsen, P., & Alkjaer, T. (2008). Nordic Walking does not reduce the loading of the knee joint. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 18(4), 436–441. doi: 10.1111/j.1600-0838.2007.00699.x
- Jančík, J., Závodná, E., & Bernaciková, M. (2007). *Fyziologie tělesné zátěže*. Brno: Masarykova univerzita.
- Jílek, L. (1966). *Stagnační hypoxie a anoxie mozku v průběhu ontogeneze*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství.
- Karvonen, M. J., Kentala, E., & Mustala, O. (1957). The effects of training on heart rate: A longitudinal study. *Annales Medicinae Experimentalis et Biologiae Fenniae*, 35(3), 307–315.
- Kirtley, C. (2006). *Clinical gait analysis: theory and practice*. Edinburg: Elsevier.
- Kittnar, O., & Mlček, M. (2009). *Atlas fyziologických regulací: 329 schémat*. Praha: Grada.
- Klucká, J., & Volfová, P. (2009). *Kognitivní trénink v praxi*. Praha: Grada.
- Kumar, V., & Gabilovich, D. I. (2014). Hypoxia-inducible factors in regulation of immune responses in tumour microenvironment. *Immunology*, 143(4), 512-519. doi: 10.1111/imm.12380
- Luks, A. M., McIntosh, S. E., Grissom, C. K. et al. (2014). Wilderness Medical Society practice guidelines for the prevention and treatment of acute altitude illness. *Wilderness & Environmental Medicine*, 25(4), 4-14. doi: 10.1016/j.wem.2010.03.002
- Luks, A. M., Swenson, E. R. (2008). Medication and dosage considerations in the prophylaxis and treatment of high-altitude illness. *CHEST*, 133(3), 744-755. doi: 10.1378/chest.07-1417
- Luks, A. M., Swenson, E. R., & Bartsch, P. (2017). Acute high-altitude sickness. *European Respiratory Review*, 26(143), 16-96. doi: 10.1183/16000617.0096-2016

- Máca, J., Káňová, M., Kula, R., & Ševčík, P. (2020). Hypoxemie/hypoxie a nové koncepty oxygenoterapie v intenzivní péči. *Vnitřní lékařství*, 66(2), 29-36. doi: 10.36290/vnl.2020.038
- Marsin, A. S., Bertrand, L., & Rider, M. H. (2000). Phosphorylation and activation of heart PFK-2 by AMPK has a role in the stimulation of glycolysis during ischaemia. *Current Biology*, 10(20), 1247-1255. doi: 10.1016/s0960-9822(00)00742-9
- Melechovský, D. (2005). Pulzní oxymetr. Letecký lékař. Retrieved 25. 5. 2023 from the World Wide Web: <https://www.leteckylekar.cz/kapitoly-z-letecke-mediciny/72-pulzni-oxymetr.html>
- Merkunová, A., & Orel, M. (2008). *Anatomie a fyziologie člověka: pro humanitní obory*. Praha: Grada.
- Morgulec-Adamowicz, N., Marszałek, J., & Jagustyn, P. (2011). Nordic walking – a new form of adapted physical activity (a literature review). *Human Movement*, 12(2), 124–132. doi: 10.2478/v10038-011-0009-7
- Nottingham, S., & Jurasin, A. (2010). *Nordic walking for total fitness*. Champaign: Human Kinetics.
- Neumannová, K., Janura, M., Dzirbíková, Z., Svoboda, Z., & Jakubec, L. (2015). *Analýza chůze u osob s chronickou obstrukční plicní nemocí*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- Okoličányová, L. (2018). *Moderní nordic walking: jdeme za zdravím*. Bratislava: Slovart.
- Orel, M. (2019). *Anatomie a fyziologie lidského těla pro humanitní obory*. Praha: Grada.
- Patton, K. T., & Thibodeau, G. A. (2010). *Anatomy & physiology (7th ed)*. Missouri: Mosby-Elsevier.
- Peng, D. (2004). *General psychology*. Beijing: Beijing Normal University Publishing Group.
- Pernica, J., Harsa, P., & Suchý, J. (2019). *Změny nálad při tréninku v hypoxii*. Praha: Karolinum.
- Perrey, S., & Fabre, N. (2008). Exertion during uphill, level and downhill walking with and without hiking poles. *Journal of Sports Science & Medicine*, 7(1), 32-38.
- Rokyta, R., Bernášková, K., Fraňek, M. et al. (2016). *Fyziologie (4th ed.)*. Praha: Galén.
- Runenko, S. D., Achkasov, E. E., Volodina, K. A., Zhukovskaya, A. V., Mushkambarov, N. N., & Butko, D. Y. (2020). Nordic Walking as an effective physical activity for weight loss among overweight young adults in high schools. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 60(2), 294–301. doi: 10.23736/S0022-4707.19.10093-X
- Sanchez-Lastra, M. A., Martínez-Lemos, R. I., Ayán, C., Miller, K. J., & Giráldez, A. (2020). Nordic walking for overweight and obese people: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Physical Activity and Health*, 17(7), 762-772. doi: 10.1123/jpah.2019-0357
- Silbernagl, S., & Despopoulos, A. (2016). *Atlas fyziologie člověka (4th ed.)*. Praha: Grada.

- Semenza, G. L. (2012). Hypoxia-inducible factors in physiology and medicine. *Cell Press*, 148(3), 399-408. doi: 10.1016/j.cell.2012.01.021
- Schumacker, P. T., Chandel, N., & Agusti, A. G. (1993). Oxygen conformance of cellular respiration in hepatocytes. *American Journal of Physiology*, 265(4), 395-402. doi: 10.1152/ajplung.1993.265.4.L395
- Smolíková, L., & Máček, M. (2010). *Respirační fyzioterapie a plicní rehabilitace*. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů.
- Sovová, E., Zapletalová, B., & Cipryanová, H. (2008). *100+1 otázek a odpovědí o chůzi, nejen nordické: chůze pro začátečníky i pokročilé, prevence mnoha onemocnění, slavné osobnosti a chůze*. Praha: Grada.
- Suchý, J. (2012). *Využití hypoxie a hyperoxie ve sportovním tréninku*. Praha: Karolinum.
- Sylvester, J. T., Shimoda, L. A., & Aaronson, P. I. (2012). Hypoxic pulmonary vasoconstriction. *Physiological Reviews*, 92(1), 367-520. doi: 10.1016/j.chest.2016.09.001
- Ščedrovienė, J., & Vanagienė, S. (2023). The practice of nordic walking in the context of tourism and active leisure. *Professional Studies: Theory & Practice*, 12(27), 81-88. doi: 10.56131/pstp.2023.27.1.124
- Ševčík, P., Cvachovec, K., Chytra, I., Černý, V., & Matějovič, M. (2014). *Intenzivní medicína*. Praha: Galén.
- Šulc, J., Bartoš, D., Došel, P., Truska, O., & Vanko, J. (2001). *Letecká psychofyziologie*. Praha: Ústav leteckého zdravotnictví.
- Thaller, L., Frühauf, A., Heimbeck, A., Voderholzer, U., & Kopp, M. (2022). A comparison of acute effects of climbing therapy with nordic walking for inpatient adults with mental health disorder a clinical pilot trial. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(11), 6767. doi: 10.3390/ijerph19116767
- Trojan, S. et al. (2003). *Lékařská fyziologie*. Praha: Grada.
- Wang, Y., Ma, H., Fu, S., Guo, S., Yang, X., Luo, P., & Han, B. (2014). Long-term exposure to high altitude affects voluntary spatial attention at early and late processing stages. *Scientific Reports*, 4(1). doi: 10.1038/srep04443
- Ward, S. A. (2021). Ventilation/carbon dioxide output relationships during exercise in health. *European Respiratory Review*, 30(160), 1–11. doi: 10.1183/16000617.0160-2020
- West, J. B. (2004). The physiologic basis of high-altitude diseases. *Annals of Internal Medicine*, 141(10), 789-800. doi: 10.7326/0003-4819-141-10-200411160-00010
- West, J. B. (2006). Adventures in high-altitude physiology. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 588(1), 7-16. doi: 10.1007/978-0-387-34817-9_2

- West, J. B. (2013). *High altitude medicine and physiology* (5th ed.). Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis Group.
- West, J. B., Schoene, R. B., Luks, A. M., & Milledge, J. S. (2013). *High altitude medicine and physiology* (5th ed.). Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis Group.
- Wilber, R. L. (2007). Application of altitude/hypoxic training by elite athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(9), 1610-1624. doi: 10.1249/mss.0b013e3180de49e6
- Zhang, D., Ma, H., Huang, J., Zhang, X., Ma, H., & Liu, M. (2018). Exploring the impact of chronic high-altitude exposure on visual spatial attention using the ERP approach. *Brain Behavior*, 8(5). doi: 10.1002/brb3.944
- Zhang, E., Zhang, J., Jin, J. et al. (2014). Variants of the low oxygen sensors EGLN and HIF-1AN associated with acute mountain sickness. *International Journal of Molecular Sciences*, 15(12), 21777-21787. doi: 10.3390/ijms151221777

11 PŘÍLOHY

Příloha č. 1 Informovaný souhlas

Informovaný souhlas

Název diplomové práce: Odezva vybraných ventilačních a kardiovaskulárních parametrů při chůzi s holemi v podmínkách normoxie a hypoxie u souboru žen

Jméno:

Datum narození:

Účastník byl do studie zařazen pod číslem:

1. Já, níže podepsaná souhlasím s mou účastí ve studii. Je mi více než 18 let.
2. Potvrzuji, že jsem si přečetla pro výše uvedenou studii *Informace pro účastníky studie*. Byla jsem podrobně informována o cíli studie, o jejích postupech, a o tom, co se ode mě očekává. Beru na vědomí, že prováděná studie je výzkumnou činností.
3. Porozuměla jsem tomu, že svou účast ve studii mohu kdykoliv přerušit či odstoupit. Moje účast ve studii je dobrovolná.
4. Při zařazení do studie budou moje osobní data uchována s plnou ochranou důvěrnosti dle platných zákonů ČR. Je zaručena ochrana důvěrnosti mých osobních dat. Při vlastním provádění studie mohou být osobní údaje poskytnuty jiným než výše uvedeným subjektům pouze bez identifikačních údajů, tzn. anonymní data pod číselným kódem. Rovněž pro výzkumné a vědecké účely mohou být moje osobní údaje poskytnuty pouze bez identifikačních údajů (anonymní data) nebo s mým výslovným souhlasem.
5. Porozuměla jsem tomu, že mé jméno se nebude nikdy vyskytovat v referátech o této studii. Já naopak nebudu proti použití výsledků z této studie.

Podpis účastníka:

Datum:

Informace pro účastníky studie

Název projektu

Odezva vybraných ventilačních a kardiovaskulárních parametrů při chůzi s holemi v podmínkách normoxie a hypoxie u souboru žen

Než se rozhodnete se studie zúčastnit je nutné být seznámena s několika důležitými informacemi, za jakým účelem je výzkum prováděn, co vše bude Vaše účast zahrnovat a práce s daty na Vás naměřených.

Cíl výzkumu

Cílem je získat data odezvy (odpovědi) organismu při chůzi s holemi v podmínkách běžné nadmořské výšky a simulované vysokohorské nadmořské výšky. Výsledky těchto měření nám pomohou určit vliv holí na organismus.

Co obnáší účast a jaké jsou podmínky pro účast?

V domluveném termínu, se dostavíte do laboratoře FTK, kde budete podrobena vstupnímu měření (spirometrie), to bude sloužit jako startovní čára pro výzkum. Následně budete podrobena měření chůze na běžeckém páse, s holemi i bez, a poté absolvujete stejná měření i v podmínkách simulované nadmořské výšky. Hole Vám budou zapůjčeny.

Podmínkou účasti je být nekuřákem a nemít žádné onemocnění kardiovaskulární, nebo onemocnění dýchacích cest, které by ovlivnilo naměřené výsledky, nebo ohrozilo Vaše zdraví v průběhu účasti výzkumu.

Čím pro mě bude účast přínosná?

Dozvíte se Vámi dosažené výsledky ze vstupního měření a také výsledky měření následujících. Tyto výsledky Vám pomůžou blíže nahlédnout do úrovně Vaší sportovní kondice.

Účast je dobrovolná, každý účastník může z měření kdykoliv odstoupit, bez jakéhokoliv důsledku a důvodu.

Účastník nemá nárok na peněžní odměnu.

Bezpečnost a kvalita výzkumu.

Měření bude prováděno v laboratoři FTK, za standardizovaných bezpečnostních a hygienických podmínek. Vedoucím práce je Mgr. Filip Neuls, Ph. D., který bude všechna měření monitorovat.

Tento projekt byl schválen etickou komisí fakulty.

Zpracování dat

Data získána během studie budou využívána pro tento projekt a související studie. Z dat bude odstraněn osobní identifikátor (Vaše jméno) a s daty se bude pracovat anonymně. Veškeré informace budou zpracovávány v souladu s českou legislativou a nebudou poskytovány dále.