

Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta tělesné kultury



Fakulta
tělesné kultury

VLIV SIMULOVANÉ NADMOŘSKÉ VÝŠKY NA KOGNITIVNÍ FUNKCE U ŽEN

Diplomová práce

Autor: Bc. Tomáš Lazárek

Studijní program: Učitelství tělesné výchovy pro 2. stupeň ZŠ a SŠ /
Učitelství geografie pro střední školy

Vedoucí práce: doc. PhDr. Michal Botek, Ph.D.

Olomouc 2024

Bibliografická identifikace

Jméno autora: Bc. Tomáš Lazárek

Název práce: Vliv simulované nadmořské výšky na kognitivní funkce u žen

Vedoucí práce: doc. PhDr. Michal Botek, Ph.D.

Pracoviště: Katedra přírodních věd v kinantropologii

Rok obhajoby: 2024

Abstrakt:

Diplomová práce se zaměřuje na zjištění vlivu simulované nadmořské výšky na kognitivní funkce u žen. Výzkum se skládal ze 3 měření, přičemž jedno bylo kontrolní (400 m) a dvě měření byla zátěžová (3500 m; 5000 m). Výzkumu účastnilo 12 žen ve věku 19-25 let. Probandky v klidových podmínkách inhalovaly 30 minut směsici vzduchu odpovídající dané nadmořské výšce a poté absolvovaly Test reakční doby (forma s5) a Corsiho test (forma S1) z testovací sady Vienna Test Systemu. Během testování byly probandky stále připojeny na hypoxikátor skrze dýchací masku. Celková doba testování trvala do 40 minut. V průběhu celého testování byla probandkám po 5 minutách zaznamenávána hodnota SpO₂ pomocí pulzního oxymetru. Byla nalezena negativní silná korelace ($r = -0,68$, $p = 0,015$) mezi reakční dobou ve 3500 a 400 m a SpO₂ ve 35. minutě. Rovněž byla nalezena negativní silná korelace ($r = -0,62$; $p = 0,032$) mezi chybnými sekvencemi v Corsiho testu v 5000 a 400 m a SpO₂ ve 40. minutě a taktéž byla nalezena negativní silná korelace ($r = -0,73$; $p = 0,007$) mezi sekvenční chybou v 5000 a 400 m a SpO₂ ve 40. minutě. Rozdíly ve výsledcích obou testů mezi jednotlivými simulovanými nadmořskými výškami nebyly signifikantní. Z výsledků Corsiho testu a Testu reakční doby vyplývá, že 30minutová expozice v simulovaných nadmořských výškách 3500 m a 5000 m u žen neovlivňuje rychlost reakce u ani krátkodobou paměť.

Klíčová slova:

Akutní hypoxie, kognitivní funkce, SpO₂, rychlost reakce, krátkodobá paměť, Corsiho test, nadmořská výška.

Souhlasím s půjčováním práce v rámci knihovních služeb.

Bibliographical identification

Author: Bc. Tomáš Lazárek
Title: Effect of simulated altitude on cognitive function in women

Supervisor: doc. PhDr. Michal Botek, Ph.D.
Department: Department of Natural Sciences in Kinanthropology
Year: 2024

Abstract:

This thesis focuses on the effect of simulated altitude on cognitive function in women. The research consisted of 3 measurements, one was a control (400 m) and two measurements were stress measurements (3500 m; 5000 m). Twelve women aged 19-25 years participated in the study. The subjects inhaled an air mixture corresponding to a given altitude for 30 minutes under resting conditions and then completed the Reaction Time Test (form s5) and the Corsi Test (form S1) from the Vienna Test System test kit. During testing, probands were still connected to the hypoxicator through a respiratory mask. The total testing time was up to 40 minutes. Throughout the testing, the probands' SpO₂ was recorded every 5 minutes using a pulse oximeter. A negative strong correlation ($r = -0.68$, $p = 0.015$) was found between reaction time at 3500 and 400 m and SpO₂ at minute 35. A negative strong correlation ($r = -0.62$, $p = 0.032$) was also found between sequence errors in the Corsi test at 5000 and 400 m and SpO₂ at minute 40, and a negative strong correlation ($r = -0.73$, $p = 0.007$) was also found between sequence errors at 5000 and 400 m and SpO₂ at minute 40. The differences in the results of both tests between the simulated altitudes were not significant. The results of the Corsi test and the Reaction Time Test showed that 30 min exposure at simulated altitudes of 3500 m and 5000 m did not affect reaction speed or short-term memory in women.

Keywords:

Acute hypoxia, cognitive function, SpO₂, reaction speed, short-term memory, Corsi test, altitude.

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

Prohlašuji, že jsem tuto práci zpracovala samostatně pod vedením doc. PhDr. Michala Botka, Ph.D., uvedl všechny použité literární a odborné zdroje a dodržoval zásady vědecké etiky.

V Olomouci dne 30. dubna 2024

.....

Děkuji vedoucímu práce doc. PhDr. Michalu Botkovi, Ph.D. za odborné vedení, pomoc a cenné rady, které mi poskytl při zpracování této práce. Dále bych chtěl poděkovat Mgr. Adamu Jarmarovi za pomoc a organizaci při výzkumu.

OBSAH

Obsah	7
1 Úvod	10
2 Přehled poznatků	12
2.1 Dýchací Systém	12
2.1.1 Ventilace	12
2.1.2 Plicní Objemy	13
2.1.3 Regulace dýchání	14
2.1.3.1 Chemická regulace dýchání	14
2.1.3.2 Nervová regulace dýchání	14
2.2 Nervový systém	15
2.2.1 Centrální část ANS	15
2.2.2 Periferní část ANS	15
2.2.2.1 Sympatikus a Parasympatikus	16
2.3 Kardiovaskulární soustava	17
2.3.1 Srdce a jeho činnost	17
2.3.2 Srdeční cyklus	18
2.3.3 Převodní systém srdeční	19
2.3.4 Regulace srdeční činnosti	19
2.3.4.1 Nervová regulace	19
2.3.4.2 Humorální regulace	20
2.3.4.3 Celulární regulace	21
2.3.5 Krevní tlak	21
2.3.6 Srdeční frekvence	22
2.3.7 Variabilita srdeční frekvence	23
2.3.8 Respirační sinusová arytmie	23
2.4 Kognitivní funkce	23
2.4.1 Vnímání	24
2.4.2 Pozornost	24
2.4.3 Zrakově-prostorové schopnosti	25

2.4.4	Myšlení	25
2.4.5	Paměť.....	26
2.4.6	Jazyk a řeč.....	27
2.4.7	Exekutivní funkce.....	27
2.4.8	Reakční čas.....	28
2.5	Hypoxie	28
2.5.1	Hypoxie v simulované nadmořské výšce	29
2.5.2	Vysokohorské tréninkové strategie.....	30
2.5.3	SpO ₂ a hypoxie.....	32
2.5.4	Genderové rozdíly v hypoxii	33
2.5.5	Vysokohorské prostředí.....	34
2.5.6	Akutní horská nemoc (AHN)	34
2.5.7	Výškový otok plic a výškový otok mozku	35
2.5.8	Vliv hypoxie na kognitivní funkce	36
2.6	Vienna test system (VTS)	38
2.6.1	Corsiho test.....	39
2.6.2	Test reakční doby.....	40
3	Cíle	42
3.1	Hlavní cíl.....	42
3.2	Dílčí cíle	42
3.3	Hypotézy	42
3.4	Výzkumné otázky	42
4	Metodika.....	43
4.1	Design.....	43
4.2	Výzkumný soubor.....	44
4.3	Metody sběru dat	44
4.4	Statistické zpracování dat	47
5	Výsledky.....	48
5.1	SpO ₂ v jednotlivých výškách.....	48
5.2	Porovnání SpO ₂ v jednotlivých výškách.....	51
5.3	Výsledky Testu reakční doby a jeho srovnání v jednotlivých výškách	51
5.4	Výsledky Corsiho testu a jejich srovnání v jednotlivých výškách.....	53

5.5	Korelace výsledků Testu reakční doby a SpO ₂	55
5.6	Korelace výsledků Corsiho testu a SPO2	56
6	Diskuse	58
7	Závěry	61
8	Souhrn	62
9	Summary	63
10	Referenční seznam	63

1 ÚVOD

S rostoucím počtem lidí navštěvujících horské oblasti, jak potvrzují zdroje jako Encyklopedie cestovního ruchu (Jafari, 2002) a statistiky zveřejněné v publikacích (Moss & Godde, 2000; Price, 1992), se tyto lokality stávají jednou z nejpoblárnějších turistických destinací po celém světě (UNEP, 2007). Tento rostoucí zájem přináší nové výzvy a možnosti, včetně možnosti rychlejšího přesunu do vyšších nadmořských výšek a následného vystavení netrénovaných a neaklimatizovaných osob hypoxickým podmínkám, které se obvykle vyskytují právě v horách, kde parciální tlak kyslíku v atmosféře klesá úměrně s poklesem barometrického tlaku (Brown & Grocott, 2013).

Hypoxie je tedy stav nedostatečného kyslíku v těle, který může nastat ve vyšších nadmořských výškách. Tento stav není výzvou pouze pro turisty, ale může být zásadní i pro horolezce, záchranáře, vojáky, piloty a další osoby, které jsou často vystaveny hypoxickému prostředí. Lidský mozek potřebuje k efektivnímu fungování nepřetržitý přísun kyslíku. Shaw et al. (2021) tvrdí, že v důsledku nedostatečného přísunu kyslíku může být kognitivní výkonnost narušena akutní expozicí v hypoxii, což potvrzují i autoři (Ando et al., 2020; McMorris et al., 2017), kteří tvrdí, že středně těžká až těžká hypoxie může zhoršit kognitivní schopnosti. Tato situace může vést k problémům v rozhodování, což je obzvláště kritické pro profese, které se musí rychle a správně rozhodovat. Tyto problémy v rozhodování mohou mít potenciálně fatální následky, což zdůrazňuje význam a aktuálnost studia vlivu hypoxie na kognitivní funkce.

Ve své diplomové práci se zaměřím na pokračování výzkumu provedeného Zachrdlou (2023), který zkoumal vliv 30minutové hypoxie na reakční rychlost a krátkodobou paměť pomocí Vienna Test Systemu. Hlavním rozdílem mezi těmito dvěma výzkumy je cílová skupina účastníků. Zatímco Zachrdla (2023) se soustředil výhradně na mužský výzkumný soubor, v této práci se zaměřím na ženskou populaci ve stejné věkové kategorii a posléze na srovnání vlivu krátkodobé hypoxie na kognitivní funkce u mužů a žen.

Přestože existuje nepřehledné množství literatury týkající se specifických reakcí na hypoxii, většina studií byla prováděna na mužích (Cowley et al., 2021; C.-H. Kim et al., 2015) nebo na smíšeném vzorku mužů a žen (Lefferts et al., 2016; Nakata et al., 2017). Tato skutečnost vede k omezenému pochopení genderových rozdílů ve fyziologických a kognitivních odezvách na hypoxii. Tímto způsobem plánuji rozšířit stávající poznatky a poskytnout komplexnější pohled na problematiku vlivu akutní hypoxie na kognitivní funkce a její genderové specifikace.

2 PŘEHLED POZNATKŮ

2.1 Dýchací Systém

Joukal a Vargová (2014) ve své publikaci popisují soustavu dýchacího ústrojí. Její význam spočívá ve výměně dýchacích plynů mezi organismem a vnějším prostředím. Tato výměna probíhá jak mezi vzduchem v plicích a krví – zevní dýchání, tak i mezi krví a tkáněmi – vnitřní dýchání. Dýchací soustava se skládá z dýchacích cest a orgánu nazývaného plíce. Dýchací cesty se dále dělí na horní a dolní. Horní cesty zahrnují nosní dutinu, vedlejší nosní dutiny a hltan, který slouží jako společný průchod pro trávicí a dýchací soustavu. K dolním cestám dýchacím náleží hrtan, průdušnice a průdušky.

Vdechovaný vzduch se dostává do těla nosem nebo ústy, proudí průdušnicí a vstupuje do průdušek. Existují dvě průdušky spojující průdušnici s oběma plícemi. Poté, co vzduch opustí průdušky, proudí do plic, kde se dostává do menších, užších průduchů známých také jako bronchioly. Na konci průdušek se nachází malé, shlukované vzduchové váčky zvané alveoly. Alveoly jsou velice tenké, jemné váčky tvořené souborem buněk zvaných alveolární buňky typu 1, které zajišťují rozhraní mezi mnoha kapilárami a zároveň lemují stěny plynů v alveolech. Molekulární kyslík (O_2) difunduje přes tyto alveolární buňky typu 1 do kapilár, které je obklopují. Jakmile se kyslík dostane do kapilár, je transportován hemoglobinem v červených krvinkách po celém těle sítí krevních cév (Treuting et al., 2017).

Kittnar et al. (2020) uvádí, že dýchání je vitální funkce, jejíž několikaminutová absence může vést k ireverzibilním změnám, a dokonce ke smrti. Během klidového metabolismu tzn. cca 7200kJ/den je nezbytné do tkání dopravit asi 250ml O_2 a zároveň odvést asi 200ml CO_2 každou minutu. Hlavní význam dýchání spočívá v eliminaci zplodin metabolismu, např. jen bazální metabolismus by anaerobní cestou za den vyrobil 10 kg laktátu.

2.1.1 Ventilace

Botek et al. (2017) definuje plicní ventilaci jako první ze tří mezistupňů celého procesu dýchání. Jedná se o výměnu plynů mezi okolním prostředím a plícemi. Kočárek (2010) dále tvrdí, že se jedná o mechanický proces, při kterém se vzduch dostává do plic následně z plic ven. Na tomto procesu se ze svalů podílí především bránice, břišní svaly a vnitřní a vnější mezižeberní svaly. Uvedené dýchací svaly v časových intervalech mění objem hrudní dutiny, s čímž souvisí i změna objemu plic.

Mourek (2012) charakterizuje ventilaci jako cyklický proces střídání nádechu a výdechu. Inflace, známá také jako vdech, je aktivní fází tohoto procesu. Klíčovým svalem zajišťujícím vdech je bránice. Bránice je inervována bráničním nervem, který vychází z krční páteře.

V klidovém stavu se při kontrakci bránice dutina hrudní rozšiřuje o přibližně 350 ml, což odpovídá objemu vzduchu vdechnutého do plic. Naopak za klidových podmínek výdech, označovaný jako deflace, probíhá pasivně. Tento proces je možný díky tlaku pružných orgánů dutiny břišní, které vytlačují bránici zpět nahoru. Tímto způsobem se žebra vrací do své původní polohy. Klidové dýchání, známé také jako eupnoe, je definováno jako frekvencí dýchání mezi 12 a 16 dechy za minutu, podle Mouradian Jr et al. (2012).

2.1.2 Plicní Objemy

Dechový objem představuje množství vzduchu, který vstupuje a vystupuje z plic během jednoho nádechu a výdechu. U zdravé osoby se obvykle pohybuje kolem 500 ml. Kromě toho do dechového objemu patří i takzvaný „mrtvý prostor“, což je segment dýchacích cest zapojený do ventilace plic, ale není zapojen do výměny plynů mezi vzduchem v plicích a krví. Tento mrtvý prostor činí přibližně 150 ml vzduchu. (Hall, 2016).

Vitální kapacita plic (VKP) udává maximální množství vzduchu, na jeden výdech. Jedná se o objem vzduchu, který vydechneme po hlubším nádechu. U mužů tato hodnota činí asi 4200 ml a u žen zhruba 3200 ml. Nicméně i po maximálním možném výdechu v plicích zůstává zhruba 1200–1500 ml vzduchu neboli tzv. reziduální objem, který vzniká při prvním nádechu po narození. Mezi další objemy se řadí inspirační rezervní objem, což je maximální objem, který může být ještě vdechnut po klidovém nádechu (3000 ml) a expirační rezervní objem, což je objem, který může být ještě vydechnut po klidovém výdechu (1100 ml) (Kočárek, 2010; Mourek, 2012; Mysliveček & Riljak, 2022; Rokyta et al., 2016).

Rokyta et al. (2016) dále uvádí, že kapacity stanovují součty minimálně dvou objemů. Vitální kapacita se skládá z dechového objemu + inspiračního a expiračního rezervního objemu. Platí tedy, že vitální kapacita je rovna objemu vzduchu vydechnutého po maximálním výdechu po předchozím maximálním nádechu. Inspirační kapacita (IC) je součtem dechového objemu a inspiračního rezervního objemu. IC je rovna maximálnímu nádechu po předchozím klidovém výdechu. Funkční reziduální kapacita je součtem reziduálního objemu a expiračního rezervního objemu. Je rovna množství vzduchu, který zůstává v plicích po normálním výdechu. Celková totální kapacita (TLC) je celkový objem plic. Je to součet všech objemů v plicích. Její hodnota u mladého muže se pohybuje kolem 5800 ml a u žen je rovna 4–5 l vzduchu. (Flesch & Dine, 2012; Rokyta et al., 2016).

2.1.3 Regulace dýchání

Dýchání řídí dýchací centrum nacházející se v prodloužené míše. Toto centrum neustále vysílá signály dolů po páteři a do svalů, které se podílejí na dýchání. Vyslané signály zajišťují, že se dýchací svaly pravidelně stahují (napínají) a uvolňují. Díky tomu probíhá dýchání automaticky, aniž bychom si toho byli vědomi (Sutton, 2014). Rokyta et al. (2016) dodává, že ačkoli většinu života člověk dýchá spontánně, lze rovněž dýchání ovlivnit volným rozhodnutím. Dýchání je řízeno chemickou a nervovou regulací. Ward (2014) ve své publikaci zmiňuje ještě regulaci humorální.

2.1.3.1 Chemická regulace dýchání

Chemickou regulaci dýchání stimulují změny parciálního tlaku kyslíku a oxidu uhličitého + změny pH. Tyto změny sledují centrální a periferní chemoreceptory (Rokyta et al., 2016).

Kittnar et al. (2021) popisuje centrální chemoreceptory jako zcela zásadní pro regulaci minutové ventilace. Jsou uloženy poblíž inspiračního centra v mozkovém kmeni a jsou senzitivní na pH cerebrospinálního moku (CSF). Skrze tyto receptory je regulována ventilace, tzn. při snížení hodnoty pH reagují zrychlením dýchání (hyperventilací) a naopak při zvýšení hodnoty pH reagují snížením dechové frekvence (hypoventilací).

Periferní chemoreceptory se nacházejí v karotických tělískách. Ty jsou prokrvena natolik, že jim k metabolismu postačuje pouze rozpuštěný kyslík v krvi. Periferní chemoreceptory informují trasami nervů vagu a glosopharyngeu o změnách parciálních tlaků kyslíku, oxidu uhličitého a pH v arteriální krvi. Zvýšení parciálního tlaku CO₂ a poklesu pH a parciálního tlaku O₂ pod 60 mm Hg vedou k hyperventilaci. (Kittnar et al., 2021; Orel, 2019; Rokyta et al., 2016).

2.1.3.2 Nervová regulace dýchání

Nervová kontrola dýchání probíhá v mozkové kůře, dřeni a Varolově mostu. Mozková kůra je zodpovědná za vědomou kontrolu dýchání, zatímco dřeň a Varolův most jsou zodpovědné za automatické dýchání. Nervové impulzy vznikající z dýchacích neuronů v těchto oblastech regulují činnost dýchacích svalů tím, že aktivují motorické neurony v krční a hrudní míše, které nakonec inervují dýchací svaly (Moutlana, 2020).

Kozyreva (2013) dále uvádí, že svoje postavení v regulaci dýchání zauímají i termoreceptory, které v situaci poklesu teploty pod určitou mez zapříčiňují zpomalení dechu.

2.2 Nervový systém

Nervový systém se specializuje na zpracování informací a řízení těla a jeho okolí. Dělí se na centrální nervovou soustavu (CNS), která obsahuje mozek a míchu, a periferní nervovou soustavu (PNS), která obsahuje smyslové a pohybové nervy. Nervový systém lze také rozdělit na volní nervový systém, který má vědomou kontrolu nad svou funkcí a autonomní nervový systém (ANS), který má spíše autonomní reflexní kontrolu než vědomou kontrolu nad svou funkcí. ANS se dělí na sympatickou větev, která stimuluje mozek a tělo při stresu a parasympatickou větev, která vrací mozek a tělo zpět do relaxačního stavu (Tam, 2015).

2.2.1 Centrální část ANS

Centrální část autonomního nervového systému (ANS) je hierarchicky uspořádána obdobně jako somatický nervový systém. Na nejnižší úrovni, v postranních rozích míchy, jsou autonomní jádra pro viscerální reflexy. Jádra pro jednoduché viscerální reflexy a retikulární formace pro složitější autonomní reakce jsou obsaženy v mozkovém kmenu. Nejvyšším regulačním centrem ANS je hypothalamus. Spolu s retikulární formací koordinuje autonomní a endokrinní systém. Spojení mezi hypothalamem a viscerálními jádry kranálních nervů zajišťuje Fasciculus longitudinalis posterior (Rokyta et al., 2016).

2.2.2 Periferní část ANS

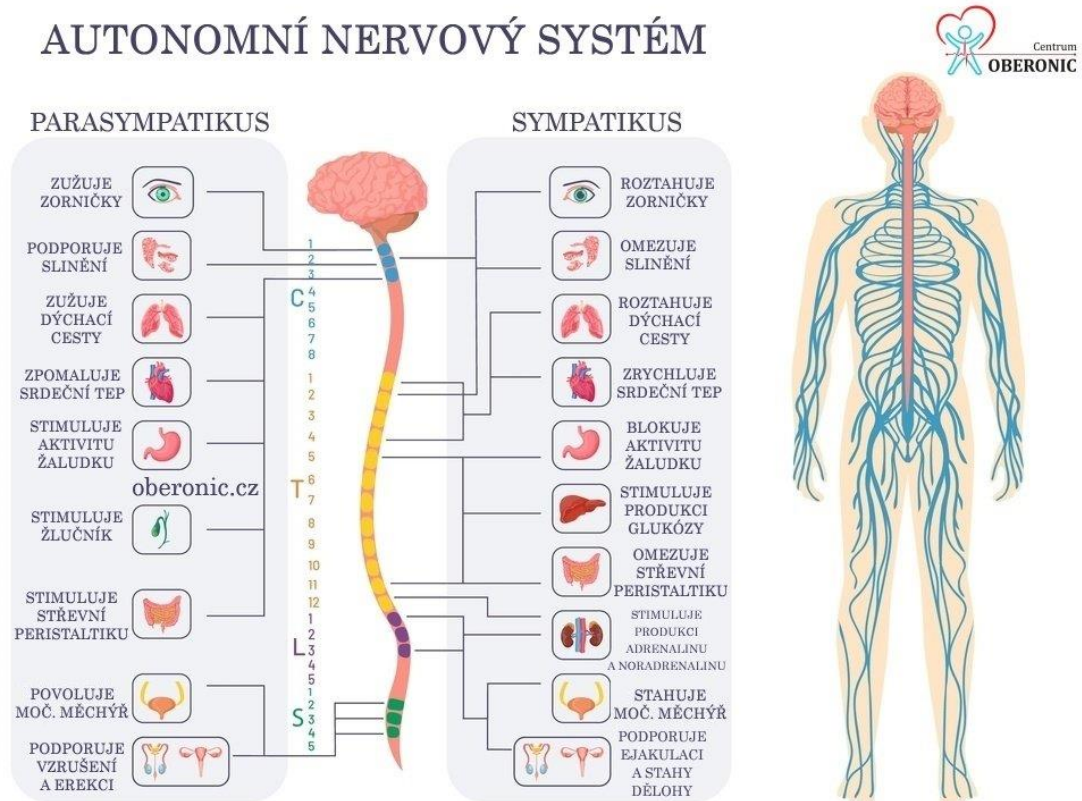
Autonomní nervová vlákna se podle Drugy a Grima (2013) dělí na dva funkční systémy, a to vlákna, která náleží sympatiku – vystupují z bederní a hrudní míchy a nazývají se jako torakolumbální systém a vlákna, která náleží parasympatiku – vystupují ze sakrální míchy a mozkového kmene a nazývají se kraniosakrální systém.

Periferní část ANS se dělí na aferentní a eferentní složku. Aferentní část je tvořena nervovými vlákny z různých receptorů vnitřních orgánů, jako jsou mechanoceptory, baroreceptory, chemoreceptory a nocireceptory, které posílají důležité informace do centrálního nervového systému. Eferentní část je zodpovědná za přenos informací k efektorovým orgánům, jako jsou svalová vlákna srdce, hladká svalovina orgánů, cév, bronchů, vzpřimovače chlupů a žlázy. Tato část se dále dělí na pregangliová a postgangliová vlákna. Pregangliové neurony, umístěné ve viscerálním sloupci míšním nebo v oblasti mozkového kmene, jsou myelinizovaná vlákna a využívají acetylcholin jako mediátor. Postgangliové neurony, nakupené ve vegetativních gangliích, jsou nemyelinizovaná vlákna a využívají různých mediátorů, například noradrenalinu v sympatickém systému a acetylcholinu v parasympatickém

systemu. Receptory v těchto eferentních vláknech mohou být buď nikotinové v případě pregangliových synapsí, nebo muskarinové v případě postgangliových synapsí. Eferentní dráhy autonomního systému, tvořené pregangliovými a postgangliovými neurony, jsou klíčové pro řízení funkce vnitřních orgánů a adaptaci organismu na různé podmínky. (Kittnar et al., 2021; Mysliveček & Riljak, 2022; Rokyta et al., 2016).

Obrázek 1

Funkce ANS



Převzato z <https://www.oberonic.cz/stresova-vs-relaxacni-reakce-cast-prvni/>

2.2.2.1 Sympatikus a Parasympatikus

Sympatikus a parasympatikus, dvě hlavní složky autonomního nervového systému se v mnoha ohledech odlišují od somatomotorických nervů. Zatímco somatomotorické nervy vedou signály přímo z centrálního nervového systému (CNS) k orgánům a tkáním, sympatikus a parasympatikus mají složitější cestu. Jejich nervy nejdou přímo do cílových orgánů, ale jsou postupně přepojovány na neurony v gangliích.

V tomto kontextu se používají termíny pregangliové a postgangliové neurony. Pregangliové neurony směřují ke gangliím, zatímco postgangliové neurony vedou signály z

ganglií k cílovým orgánům. V gangliích sympatika jsou vlákna umístěna dále od svých cílových orgánů, což je v kontrastu s gangliími parasympatika, která jsou umístěna blíže k cílovým orgánům, což znamená, že jejich vlákna jsou kratší.

Další významnou odlišností mezi sympatikem a parasympatikem jsou jejich mediátory, tedy chemické látky nebo neurotransmitery, které umožňují přenos signálů mezi nervovými buňkami a efektorovými buňkami. Pregangliová vlákna obou systémů využívají acetylcholin jako mediátor. Avšak postgangliová vlákna se liší v tom, že sympatická vlákna používají noradrenalin a parasympatická vlákna acetylcholin.

Je důležité poznamenat, že zatímco sympatikus je rozsáhlý systém s vlákny vstupujícími do většiny orgánů a tkání, parasympatikus se zaměřuje především na vnitřní orgány, jako jsou urogenitální, dýchací, trávicí orgány a žlázy s vnitřní sekrecí. Svaly, klouby končetin a kůže nejsou parasympaticky inervovány (Čihák, 2016a; Joukal & Vargová, 2014; Waschke et al., 2019).

Von Majewski et al. (2023) ve své publikaci zmiňuje různá působení sympatiku a parasympatiku na organismus. Například sympatikus spouští katabolické děje, zvyšuje teplotu, zrychluje srdeční frekvenci, zvyšuje tlak atd. Parasympatikus spouští anabolické děje, snižuje teplotu, zpomaluje srdeční frekvenci, snižuje krevní tlak atd.

2.3 Kardiovaskulární soustava

Kardiovaskulární soustava, známá také jako oběhová soustava, je komplexní síť krevních cév a srdce, která společně pracují na distribuci krve a živin po celém těle. Srdce prostřednictvím svých rytmických stahů, pohání krev tělem, zatímco krevní cévy ji vedou na správná místa.

V oběhové soustavě najdeme tři hlavní typy cév, každý s jedinečnou funkcí a strukturou. Tepny, známé také jako arterie, jsou velké cévy, které vedou kyslík a živiny ze srdce do různých částí těla. Naproti tomu, žíly nebo vény, mají tenčí stěnu a jejich hlavním úkolem je odvádět krev zpět do srdce. Mezi tyto dvě kategorie spadají kapiláry, mimořádně tenké cévy, které procházejí téměř všemi orgány a zajišťují výměnu látek mezi krví a tkáněmi.

Struktura krevních cév je komplexní a skládá se z vnitřní výstelky tvořené epitelem a vrstvy hladkého svalstva. Tento svalový plášť je klíčový pro regulaci průtoku krve, protože je schopen buď rozšiřovat (dilatace) nebo zužovat (kontrakce) cévy, což umožňuje přizpůsobení průtoku krve dle potřeb organismu (Kočárek, 2010; Silverthorn, 2018).

2.3.1 Srdce a jeho činnost

Srdce je svalový orgán červenohnědé barvy, který je klíčový pro oběhovou soustavu. U dospělého člověka má váhu mezi 270 a 320 g a je veliké přibližně jako jeho pěst. Vnitřní struktura

srdce je rozdělena na čtyři komory: pravou a levou předsíň a pravou a levou komoru. Levá předsíň přijímá krev z čtyř plicních žil, zatímco pravá předsíň je napájena dolní a horní dutou žilou. Z pravé komory vystupuje plicní kmen a z levé komory srdečnice, známá jako aorta (Joukal & Vargová, 2014).

2.3.2 Srdeční cyklus

Rokyta et al. (2016) popisuje srdeční cyklus jako neustále se opakující sérii kontrakcí a relaxací, které umožňují efektivní pumpování krve srdcem. Když srdce podstoupí kontrakci, známou jako systola, vypudí krev do arteriálního systému. Naopak během relaxační fáze, známé jako diastola, srdce nasává krev z venózního systému. Toto střídání kontrakce a relaxace má za následek oscilace tlaku v srdečních komorách, což je klíčové pro efektivní vypuzení krve při systole a její nasávání během diastoly.

Systolická fáze srdečního cyklu, zahájená systolou předsíní, je klíčovým okamžikem v srdečním funkčním procesu. Čihák a Grim (2016) uvádějí, že tato fáze předsíní trvá přibližně 0,06 s. Následuje systola komor, která se skládá z dvou hlavních fází. První fáze, nazývaná isovolumetrická kontrakce, je charakterizována stahováním svalových vláken myokardu kolem krve v komorách. Tato fáze způsobuje rychlý nárůst tlaku v komorách a uzavření atrioventrikulárních chlopní, což celkově trvá přibližně 0,05 s.

Druhá fáze – komorová ejekce, začíná, když tlak v komorách překoná diastolický tlak v aortě a plicním kmenu. V této fázi se pulmonální a aortální chlopně otevřou a krev je pumpována do aorty a plicního kmene. Během jednoho stahu komor je vypuzeno přibližně 80 ml krve, což při tepové frekvenci 75 tep/min představuje výdej zhruba 5,5 l krve za minutu. Doba trvání celé systoly komor je 0,27 s.

Diastolická fáze, která probíhá současně v předsíních i komorách, se dělí do tří fází. První fáze začíná rychlým poklesem tlaku v komorách, což vede k uzavření poloměsíčitých chlopní, jakmile tlak v komorách klesne pod tlak v aortě a plicním kmenu. Druhá fáze nastává po uzavření poloměsíčitých chlopní, kdy prudký pokles tlaku otevírá atrioventrikulární chlopně. V poslední fázi diastoly dochází k rychlému naplnění komor, které se postupně zpomaluje s blížícím se začátkem nové systoly. Celková doba trvání diastoly při tepové frekvenci 75 tep/min je 0,47 s (Čihák & Grim, 2016; Rokyta et al., 2016).

Mourek (2012) dále tvrdí, že levá komora má asi 4x-5krát výrazně mohutnější svalovinu než pravá komora. Levá komora totiž vypuzuje krev proti značnému odporu ve velkém oběhu. Zatímco pravá komora vypuzuje krev do řečiště malého oběhu, jež má za úkol eliminovat oxid uhličitý z plic a oksličit krev. Právě v malém oběhu je několikrát menší tlak než ve velkém.

2.3.3 Převodní systém srdeční

Podle Orla (2019) je převodní systém srdeční tvořený specializovanými srdečními buňkami. Na rozdíl od buněk pracovního myokardu, které jsou zodpovědné za uskutečnění srdečního stahu, má tento systém odlišnou roli. Automaticky totiž vytváří a dále rozvádí elektrické impulzy, které spouštějí kontrakci pracovního myokardu. Celý tento soubor buněk je utvořen svazky a uzlíky specializovaného myokardu.

Převodní systém srdce se skládá z několika klíčových komponent. Mezi tyto části patří sinoatriální uzel (SA), který určuje rytmus srdce a je známý jako "pacemaker". Dále existují nepravidelné svazky, jejichž hlavním úkolem je přenášet impulsy z sinoatriálního uzlu do atrioventrikulárního uzlu. Atrioventrikulární uzel (AV) následně přenáší elektrické impulzy z předsíní do komor srdce. V AV uzlu dojde k zpomalení elektrického signálu, aby se zpozdila kontrakce komor za kontrakcí předsíní. Pokud sinoatriální uzel selže, může atrioventrikulární uzel fungovat jako náhradní pacemaker. Další součástí převodního systému je Hisův atrioventrikulární svazek, rozdělený na pravé a levé Twarovy raménka. Z tohoto svazku vychází síť Purkyňových vláken, které šíří impulzy do obou komor srdce. Tato část systému přenáší impulzy rychlostí až 5 m/s, což je klíčové pro koordinovanou kontrakci komor (Rokyta et al., 2016).

2.3.4 Regulace srdeční činnosti

Činnost srdce se musí neustále uzpůsobovat obměňujícím se požadavkům organismu. Autoři Rokyta et al. (2016) a Mysliveček a Riljak (2022) se shodují, že srdeční činnost je podstatně ovlivněna řadou faktorů a procesů, které zahrnují nervovou regulaci, hormonální ovlivnění a fyziologické mechanismy srdce. Tento komplexní systém interakcí a regulací zajišťuje, že srdce je schopno rychle reagovat na změny v potřebách těla, ať už jde o zvýšenou fyzickou aktivitu, stresové situace nebo jiné vnější vlivy. Díky těmto adaptabilním mechanismům je srdeční činnost schopna udržovat stabilní krevní oběh a zásobování orgánů kyslíkem a živinami v různých podmínkách. Tento fakt zdůrazňuje důležitost a složitost řízení srdce a jeho zásadní úlohu v celkové funkci organismu.

2.3.4.1 Nervová regulace

Autonomní nervový systém (ANS) má zásadní význam při regulaci srdeční činnosti a funkce kardiiovaskulárního systému. Tento systém se skládá z dvou primárních složek: sympatického a parasympatického nervového systému, které operují v opozici. Zatímco sympatická část zvyšuje frekvenci a kontraktilitu srdce, parasympatická část má opačný efekt a snižuje je. Vlákna

sympatiku směřují k srdci ze sympatických ganglií, která jsou umístěna blízko páteře. Naopak vlákna parasympatiku směřují k srdci přímo z nervu vagus, který vychází z mozku a má rozsáhlé spojení s různými orgány v těle, včetně srdce (Čihák, 2016b).

Parasympatický nervový systém má nejrychlejší regulační účinek na srdeční funkci. Důvodem je kratší dráha jeho vláken k srdci a rychlejší účinek acetylcholinu na srdeční sval. Účinky sympatického systému jsou zprostředkovány dvoufázovým procesem zahrnujícím ganglia, což způsobuje mírné zpoždění (Boron & Boulpaep, 2016).

Informace o stavu kardiovaskulárního systému ANS získává ze speciálních sensorů nazývaných mechanoreceptory, které se nacházejí v srdečních komorách a síních. Tyto senzory reagují na roztažení srdce v důsledku přítoku krve z žil. Dále existují baroreceptory umístěné v aortálních obloucích a karotických tepnách, které monitorují krevní tlak v arteriálních stěnách. Signály z těchto sensorů a receptorů jsou zpracovávány v různých částech centrálního nervového systému, včetně mozkového kmene, hypothalamu a limbického systému. Odtud ANS koordinuje a řídí funkci celého kardiovaskulárního systému, včetně srdečního svalu, s cílem zajistit optimální adaptaci na různé fyzické a emocionální podmínky. (Rokyta et al., 2016).

Kittnar et al. (2021) tvrdí, že sympatický a parasympatický nervový systém společně ovlivňují srdeční aktivitu v různých situacích. Sympatikus, jehož nervy vycházejí z hrudní a bederní míchy reaguje na stresové situace a zvyšuje srdeční frekvenci a sílu stahů. Toho je schopen sympatikus docílit díky uvolňování neurotransmiteru noradrenalinu, který účinkuje na receptory beta-adrenergních buněk srdečního svalu, což má za následek zvyšování průchodnosti iontů (nejvíce sodíku a vápníku) do buněk.

Parasympatické nervy vycházejí z vagového jádra a z nukleus ambiguus. Jsou aktivní spíše během odpočinku a obvykle v situacích, kdy je tělo v rovnovážném stavu. Jako neurotransmitter zde působí acetylcholin. Ten ovlivňuje receptory muskarinového typu v myokardu, což má za následek zpomalení srdeční frekvence snížením prostupnosti sodíku a vápníku do buněk, jelikož se zvyšuje prostupnost draslíku (Čihák, 2016b)

2.3.4.2 Humorální regulace

Botek Michal et al. (2017) ve své publikaci uvádí, že mimo regulační aktivity ANS se na řízení srdeční frekvence podílejí i stresové hormony, především adrenalin a noradrenalin. Merkunová a Orel (2008) dále tvrdí, že tyto dva hormony dřeně nadledvin mají efekt podobný sympatiku a že působí okamžitě. Mezi hormony, ovlivňující srdeční činnost patří ještě hormony štítné žlázy, a to tyroxin (T4) a trijodtyronin (T3).

Autoři Oparil a Katholi (1990) zdůrazňují význam iontů Na⁺, K⁺, Ca²⁺ a Cl⁻ v regulaci kardiovaskulárních funkcí. Tyto ionty ovlivňují funkci sympatického nervového systému, regulují

uvolňování reninu a nastavují reaktivitu cév vůči látkám jako noradrenalin, angiotenzin II a vazopresin. Naopak, další hormony, včetně hormonu štítné žlázy, parathormonu a pohlavních hormonů, mají v této regulaci podružnější roli. Hormony štítné žlázy přispívají k zvyšování krevního tlaku, zejména systolického, především díky svému pozitivnímu inotropnímu účinku na srdeční sval.

2.3.4.3 Celulární regulace

Mourek (2012) se ve své publikaci zmiňuje o tzv. Starlingově zákoně, jako o svalových buňkách myokardu, které jsou schopné reagovat na větší stah svým větším protažením. Orel (2019) tvrdí, že Frank-Starlingův zákon je základním intrakardiálním regulačním mechanismem. Zjednodušeně to znamená, že čím více krve přiteče do komory v době diastoly, tím více se komory roztahují a tím více se prodlužují vlákna jejich myokardu. To vylepšuje postavení aktinu a myozinu – srdeční stah je poté silnější a srdce pak dokáže vypudit větší množství krve. Platí tedy, že čím více krve do srdce přiteče, tím větší je pak síla stahu a tím více krve srdce přečerpá, nicméně i Frank-Starlingův zákon má určité limity a může zvýšit sílu srdečního stahu jen do jisté míry. Pokud je protažení kardiomyocytů příliš velké, síla stahů klesá a srdce může jako pumpa selhávat.

2.3.5 Krevní tlak

Krevní tlak je z fyzikálního hlediska definován elastickou, kinetickou a gravitační energií. Z fyziologického pohledu je krevní tlak určen odporem v průtoku, kritickým uzávěrovým tlakem, srdečně aortálním propojením a dynamickou elasticitou cév (Astapenko & Černý, 2019)

Štursová et al. (2023) charakterizují krevní tlak jako sílu, kterou krev vyvíjí na stěny tepen. V normálním klidovém stavu se hodnoty krevního tlaku pohybují kolem 120/80 mm Hg. První číslo, 120 mm Hg, reprezentuje systolický tlak, což je tlak během ejekční fáze srdečního cyklu, kdy srdce vypuzuje krev do cév. Druhé číslo, 80 mm Hg, označuje diastolický tlak, který měří tlak v cévách během fáze plnění srdce krví, známé jako diastola.

Pokud dosáhnou hodnoty krevního tlaku hodnot vyšších než 140/90 mm Hg, jedná se o hypertenzi, což je zvýšený krevní tlak. Naopak, pokud krevní tlak klesne pod 100/65 mm Hg, hovoříme o hypotenzi, tedy nízkém krevním tlaku.

Sovová et al. (2008) dále tvrdí, že existuje vztah mezi věkem a krevním tlakem. Normální hodnota krevního tlaku po narození je 70/50 mm Hg, během prvního roku života stoupne průměrně na 94/52 mm Hg. U mužů kolem osmnácti let je systolický tlak v průměru o 10 mm Hg vyšší a diastolický tlak o 5 mm Hg vyšší, než je tomu u žen. Systolický tlak dospělých se obvykle zvyšuje s věkem, zatímco diastolický tlak se po padesáti letech. přibližně stabilizuje. Muži mají

během dospělosti obecně vyšší systolický tlak než ženy. Podle Loaiza-Betancur et al. (2021) u žen může nastat nárůst krevního tlaku kolem menopauzy, což může vést k hodnotám blízcím se těm u mužů. Autoři toto zvýšení hodnot krevní tlaku přičítají snížené produkci estrogenu během menopauzy a po ní.

V sedmdesáti letech pak muži a ženy obvykle dosahují podobných hodnot krevního tlaku. Tracking fenomén znamená schopnost jedince udržet své krevní tlakové hodnoty v konstantním poměru ke stejně starým jedincům (Sovová et al., 2008). Podle Krakoff et al. (2014) jsou rozsahy krevního tlaku ve věku 18–59 let:

- Optimální: Méně než 120/80 mmHg.
- Normální: Méně než 130/85 mmHg.

Ve věku 60 let a více:

- Optimální: Méně než 130/80 mmHg.
- Normální: Méně než 140/90 mmHg.

Výšku krevního tlaku může ovlivňovat řada faktorů jako například, genetické predispozice, životní styl, špatné stravování, obezita, nadměrná konzumace soli, alkohol, kouření, stres a nedostatek pohybové aktivity. Mezi další faktory se řadí chronické onemocnění ledvin a nadledvin, některé léky, včetně protizánětlivých léků (NSAID), antikoncepce a některých antidepresiv a hormonální nerovnováha (Mysliveček & Riljak, 2022).

Vysoký krevní tlak silně souvisí se zvýšeným rizikem mrtvice a infarktu. Zvýšení krevního tlaku o 7 mm Hg koreluje s 27 % zvýšením rizika srdečního infarktu a 22 % zvýšením rizika cévní mozkové příhod. Každé snížení hypertenze má významný podíl na snížení rizika koronárních příhod (Curd-Christiansen, 2009).

2.3.6 Srdeční frekvence

Srdeční frekvence je rovna počtu kontrakcí myokardu za čas. Klidová srdeční frekvence se obvykle pohybuje 60–80 tepů za minutu. Jestliže srdeční frekvence dosahuje v klidu hodnot nad 80 tepů za minutu, hovoříme o tachykardii. Pakliže klesne srdeční frekvence pod 60 tepů za minutu v klidu, jedná se o bradykardii (Mysliveček & Riljak, 2022).

Během zátěže se srdeční frekvence obvykle zvyšuje v reakci na vyšší metabolickou potřebu těla. Od hodnot okolo 100-120 tepů za minutu se většinou podílí na kompenzaci rostoucího minutového srdečního výdeje. Maximální srdeční frekvence se dá od 15. roku věku orientačně spočítat podle vzorce $SF_{max} = 220 - \text{věk}$ (Botek et al., 2017).

Tepová frekvence je pak podle Bartůňkové et al. (2013) pulsová vlna monitorovaná na periferní tepně. Rovná se srdečnímu tepovému objemu, který je vypuzen do krevního řečiště. Odvíjí se od velikosti objemu krve, tlaku a rychlosti průtoku krve. Hodnota srdeční a tepové frekvence by měla být u zdravého člověka stejná, nicméně u pacientů se síňovou fibrilací se může vyskytnout tzv. periferní deficit.

2.3.7 Variabilita srdeční frekvence

Lahiri et al. (2012) uvádí, že variabilita srdeční frekvence (HRV) odráží časové změny v ms mezi po sobě jdoucími RR intervaly v jednotlivých stazích srdce, které souvisejí s probíhající souhrou dvou částí autonomního nervového systému. Struhár et al. (2019) popisuje variabilitu SF jako periodické oscilování srdeční frekvence v průběhu času. Lze ji vypočítat jako čas, který uběhne mezi dvěma R kmity na elektrokardiografickém záznamu. SF je regulována sympatikem a parasympatikem a díky analýze variability SF víme více o způsobu autonomní kardiální regulace. Obecně lze říci, že sympatikus je aktivnější při únavě a aktivita parasympatiku klesá naopak u odpočínutého člověka je aktivita sympatiku nízká.

Bilchick a Berger (2006) tvrdí, že je prokázáno, že nerovnováha autonomního systému s posunem směrem ke zvýšené aktivitě sympatiku a snížené aktivitě parasympatiku, vede k většímu riziku úmrtí způsobenému srdečními příčinami. Hodnocení variability SF je důležité rovněž při prognóze a odhalení neurologických poruch. Drury et al. (2019) dále zmiňují, že kromě kardiologie a neurologie, je variabilita SF využívána i ve stomatologii a dalších lékařských oborech. Variabilita SF má značný význam i ve sportovním tréninku (Botek Michal et al., 2017).

2.3.8 Respirační sinusová arytmie

Respirační sinusová arytmie (RSA) je fyziologický jev, který odráží změny srdeční frekvence v synchronizaci s dýcháním. Během RSA se srdeční frekvence zvyšuje při nádechu a snižuje při výdechu. Tento cyklus je způsoben reflexní reakcí nervového systému na změny tlaku v hrudní dutině během dýchání (Draghici & Taylor, 2016).

U dospělých a starších zejména u starších jedinců dochází k obecnému snížení amplitudy RSA. To znamená, že variabilita srdeční frekvence během vdechu a výdechu se s přibývajícím věkem postupně zmenšuje (Ribeiro et al., 2023).

2.4 Kognitivní funkce

Klucká a Volfová (2016) označují kognitivní funkce neboli funkce poznávací, jako základní funkce našeho mozku. Dokážeme díky nim například poznávat okolní svět, plánovat své jednání

anebo zahájit interakci s dalšími lidmi. Kognitivní funkce přijímají a zpracovávají vjemy a také vysílají formou řeči nebo chováním signály do okolí. Do základních kognitivních funkcí, díky kterým se plnohodnotně člověk zapojuje do každodenního života patří zejména paměť, pozornost, zrakově-prostorové schopnosti, řeč a myšlení. Bartoš (2022) uvádí, že toto dělení je pouze umělé, jelikož se kognitivní funkce mezi sebou prolínají. Jsou to složité procesy, které začínají pozorností a vnímáním, následně ukládají informace a pomáhají s jejich vybavováním z paměti. Využívají myšlení ke zpracování vnímaných podnětů a přispívají k procesům plánování a rozhodování.

2.4.1 Vnímání

Percepce, známá též jako vnímání, představuje základní formu poznávací schopnosti, která se opírá o smyslovou interpretaci reality. Tento proces nám umožňuje vnímat jak vnější svět, tak i interní stav organismu, tedy informace o okolním a vnitřním prostředí. Jedná se o komplexní sérii mentálních operací, které umožňují mozku rozpoznávat, třídit, spojovat a přiřazovat význam podnětům získaným skrze smyslové receptory (Sternberg, 2002).

Vnímání je podle Gillnerové (2000) nižší forma poznávacího procesu, která produkuje vjem, což je kompletní obraz skutečnosti vytvořený prostřednictvím smyslových orgánů, jako jsou oči, uši, nos a ústa. Informace přijaté těmito receptory putují do mozku, kde se spojují do komplexního obrazu vnějšího i vnitřního prostředí tvořící základ názorného poznání. Vnímání je charakterizováno celistvostí a výběrovostí, přičemž pouze vybrané podněty jsou zahrnuty do vjemů v závislosti na zaměření pozornosti či individuální potřebě. Dalšími vlastnostmi vnímání jsou kontrastnost, předmětnost a historičnost, což odráží zahrnutí předchozích zkušeností člověka.

Podle Říčana (2005) je vnímání proces, který se skládá ze dvou klíčových etap. Začíná sensorickou fází, kde speciální receptory v těle zachycují různé vnější a vnitřní podněty jako doteky, teplotu, zvuky nebo světlo, a tyto informace přenášejí do mozku prostřednictvím nervových drah. Následuje kognitivní fáze, během které jsou tyto podněty mentálně zpracovány, interpretovány a začleněny do širších kontextů. Mozek analyzuje informace, umožňuje individuům porozumět svému okolí a formovat své názory a postoje.

2.4.2 Pozornost

Pozornost je vědomý proces zaměření na konkrétní podnět či situaci s důrazem na jejich selektivitu. Tato selektivita umožňuje jednotlivci efektivně vybírat, na co se zaměřit, a co naopak ignorovat. Emoce a motivace mají v tomto procesu významnou roli, neboť mohou ovlivnit, na

jaké podněty se zaměříme. Existují dva hlavní typy pozornosti: bezděčná a záměrná. Bezděčná pozornost je často vyvolána novými nebo potenciálně nebezpečnými podněty, zatímco záměrná pozornost je řízena konkrétním úkolem nebo povinností a často vyžaduje vynaložené úsilí. V rámci pozornosti lze rozlišit i dva další aspekty: ostražitost a pátrání. Ostražitost se soustředí na intenzivní sledování percepčního pole, zatímco pátrání představuje aktivní hledání s cílem dosáhnout určitého výsledku, což může být usnadněno znalostí specifických rysů hledaného objektu (Plháková, 2023).

Podle Nakonečného (2004) je pozornost mostem mezi omezeným množstvím informací, smyslovými podněty a pamětí. Toto trvalejší zaměření na konkrétní činnost, nazývané zájem, je nerozlučně spojeno s funkcí pozornosti. Kvalita naší pozornosti je formována různými faktory, včetně typologických vlastností, vývojových etap a cvičením. Její směřování je často určeno aktuálním stavem organismu, jeho potřebami a motivacemi. Klíčovým aspektem pozornosti je schopnost rozpoznat, které informace jsou relevantní a které irelevantní, což nám umožňuje lepší porozumění situaci a efektivní zpracování dat. Nicméně, podobně jako fyzická síla, i pozornost má své limity – může se vyčerpat a po intenzivním využití potřebuje regeneraci.

2.4.3 Zrakově-prostorové schopnosti

Zrakově-prostorové schopnosti se skládají z následujících dílčích složek: prostorová vizualizace, mentální rotace a prostorové vnímání (Voyer et al., 1995). Casey et al. (2008) uvádí, že prostorová vizualizace je vícestupňový proces a schopnost vytvářet dynamické obrazy a manipulovat s nimi. Zahrnuje také schopnost provádět pohyby různých dvourozměrných nebo trojrozměrných obrazců a mentálně kombinovat, transformovat a přesouvat tyto obrazce za účelem vytvoření nového návrhu. Mentální rotace je schopnost podívat se na dvourozměrnou nebo trojrozměrnou figuru nebo obrázek a mentálně si představit, jak by figura vypadala, kdyby byla otočena. Prostorové vnímání je podle Kotsopoulose, Makosze, Zambrzycké a Dicksona (2021) schopnost určovat prostorové vztahy s ohledem na orientaci vlastního těla.

Jedná se o sféru značně ovlivněnou faktory jako jsou psychiatrická onemocnění, stárnutí či poškození CNS (Křivohlavý & Preiss, 2009).

2.4.4 Myšlení

Podle Plhákové (2023) je myšlení procesem kognitivního zprostředkování, který zahrnuje porozumění vztahům a řešení problémů. Tento proces zahrnuje vědomý odraz reality a práci s objektivními vlastnostmi, souvislostmi a vztahy. Jedná se o poznávací proces sociálně podmíněný a nerozlučně spojený s řečí. Myšlení se liší od vnímání tím, že pracuje s kognitivními

prvky, jako jsou obrazy a pojmy a provádí operace jako analýza, abstrakce, hypotézy a srovnání. Je klíčovou součástí inteligence.

2.4.5 Paměť

Kulišťák (2017) označuje paměť jako klíčovou pro uchování a využívání informací během mentálních operací. Hraje roli v porozumění osobní identitě, zkušenostech, vědomostech a dovednostech a ovlivňuje chování jedince. Neuchovává však všechny informace, ale spíše ty, které se jeví jako relevantní nebo nezbytně nutné.

Paměť je považována za komplexní síť neurokognitivních procesů. Nervové buňky zpracovávají různorodé podněty, včetně verbálních, emocionálních a vizuálních a vytvářejí mezi nimi interneuronální spoje skrze plasticitu synapsí. Plasticitu a synaptické procesy lze chápat jako klíčový mechanismus paměti (Zeman, 2017).

Thayer (2016) rozlišuje paměť na několik typů: krátkodobou, dlouhodobou a sensorickou. Krátkodobá paměť je dočasná fáze paměti s omezenou kapacitou a trváním od několika sekund až po několik minut. Sensorická paměť zpracovává aktuální smyslové informace a udržuje je po omezenou dobu, zatímco dlouhodobá paměť je spojena s budováním nových synaptických spojení (Cahill & McGaugh, 1998; Costa-Mattioli & Sonenberg, 2008).

Změny v síle synaptických spojení hrají klíčovou roli v procesu učení a paměti. Tento složitý proces zahrnuje interakci neurotransmiterů, receptorů a formování nových synaptických drah, které posilují komunikaci mezi neurony. Vazba noradrenalinu (NA) aktivuje různé typy adrenergických receptorů, každý s odlišnou funkcí v signalizačních drahách. Tyto dráhy podporují syntézu sekundárních posílů, což je klíčové pro regulaci neuronální aktivity (Alexandrov & Fedoseev, 2012).

Eysenck (1988) uvádí, že krátkodobá paměť má omezenou kapacitu a krátkodobý časový rozpad, který se obvykle pohybuje mezi několika sekundami a jednou minutou. Informace uložené v krátkodobé paměti mohou být přeneseny do dlouhodobé paměti procesem zvaným konsolidace (Wang & Morris, 2010). Morellini (2013) tvrdí, že hlavní rozdíl mezi krátkodobou a dlouhodobou pamětí je ten, že dlouhodobá paměť může uchovávat neomezené množství informací po potenciálně neomezenou dobu.

Dlouhodobá paměť se dělí na nedeklarativní (neboli implicitní) a deklarativní (neboli explicitní). Nedeklarativní paměť představuje osvojení motorických dovedností a návyků, například procedurální paměť potřebnou k provádění integrovaných postupů, např. psaní na klávesnici počítače nebo jízda na kole. Odpovídá na otázku "jak" a je zprostředkována především subkortikálními oblastmi bazálních ganglií a mozečkem (Salmon & Butters, 1995; Thayer, 2016).

Deklarativní paměť naproti tomu odpovídá na otázku "co". Je aktivována vědomě a zahrnuje znalosti nebo vzpomínky na fakta věci, místa či osoby a významy těchto faktů. Deklarativní paměť se dále dělí na sémantickou a epizodickou. Sémantické vzpomínky uchovávají obecné faktické znalosti nezávisle na osobních zkušenostech nebo kontextu, v němž byly získány. Epizodické vzpomínky jsou pak vzpomínky na osobní zkušenosti. Typicky je prostorová paměť koncipována jako podtyp epizodické paměti, protože uchovává informace v časoprostorovém rámci (Nadel & MacDonald, 1980).

Modely kognitivního stárnutí potvrzují, že prostorová paměť je nesmírně citlivá na věk, protože se zdá, že je jednou z nejčasnějších kognitivních funkcí, které se s věkem zhoršují (Bizon et al., 2009; Blalock et al., 2003; Thayer, 2016).

2.4.6 Jazyk a řeč

Jazyk a řečové dovednosti hrají klíčovou roli v lidské komunikaci a myšlení. Jazyk nám umožňuje poznávat svět, vyjadřovat myšlenky a sdílet zkušenosti. Řeč je konkrétní schopností, která vyžaduje složitou koordinaci pohybů ústní dutiny a hlasivek. Skládá se z produktivního užívání jazyka a schopnosti porozumění. Slovní plynulost může být ovlivněna například stárnutím, což může vést k obtížím s nalezením vhodných slov a k používání obecných termínů nebo parafrází (Klucká & Volfová, 2016).

2.4.7 Exekutivní funkce

Zelazo et al. (1997) popisuje exekutivní funkce jako klíčové mentální procesy, které se projevují v naší schopnosti řešit problémy. Tento koncept zahrnuje čtyři základní fáze: reprezentaci, plánování, provedení a vyhodnocení. Tyto fáze společně tvoří koherentní mechanismus, který nám umožňuje účinně a flexibilně se vypořádat s různými úkoly a situacemi.

Das a Misra (2014) označují exekutivní funkce jako vyšší kognitivní procesy mozku, které zahrnují spoustu funkcí jako například flexibilitu myšlení, organizaci, rozhodování, kontrolu impulzů a další. Pomocí těchto funkcí člověk může flexibilně a efektivně reagovat na nové situace, řídit své chování a dosahovat cílů. Exekutivní funkce jsou klíčové pro úspěšné fungování v každodenním životě.

Harvey (2019) dodává, že se jedná se o komplexní pojem, který zahrnuje procesy odpovědné za řízení a optimalizaci ostatních kognitivních schopností. Tato kontrola umožňuje jedincům efektivně řešit problémy a vytvářet plány do budoucna. Exekutivní funkce jsou zásadní pro kognitivní funkce vyšší úrovně, rozhodování a úkoly zaměřené na cíle.

2.4.8 Reakční čas

Ve své publikaci Lehnert et al. (2010) tvrdí, že reakční rychlost (RR), známá také jako rychlost reakce nebo schopnost reakce, je schopnost organismu odpovědět na podnět nebo zahájit pohyb co nejrychleji. Tato schopnost je klíčová pro efektivní interakci s okolím. RR se rozlišuje podle druhu podnětu a typu odpovědi. Podněty mohou být vizuální, akustické, taktilní nebo kinestetické, zatímco odpovědi se dělí na jednoduché a výběrové.

Podle Arifa et al. (2022) se reakce rozdělují na jednoduché, rozpoznávací a výběrové, což je model, který je stále používán. Jednoduché reakce patří mezi nejrychlejší. Subjekt zde reaguje na jediný podnět okamžitě. Rozpoznávací reakce vyžadují výběr stimulu mezi více možnostmi, zatímco výběrové reakce zahrnují volbu správné odpovědi mezi různými možnostmi. Každá reakce má svůj proces od percepce stimulu až po motorickou odezvu. Jednoduché reakce jsou na jednoznačné podněty s předem danou odpovědí, zatímco výběrové reakce vyžadují volbu odpovědi z více možností podle situace a zkušenosti.

2.5 Hypoxie

Hypoxie je stav, kdy dochází k poklesu parciálního tlaku kyslíku (P_{aO_2}) v arteriální krvi pod normální hodnotu (obvykle 80-100 mmHg). Tento pokles může být způsoben řadou faktorů (Mason et al., 2010). Hypoxie může mít různou intenzitu, od mírné po těžkou, a může se projevovat akutně, chronicky nebo akutně i chronicky. Reakce na hypoxii je různá, zatímco některé tkáně mohou některé formy hypoxie/ischemie snášet delší dobu, jiné tkáně jsou nízkou hladinou kyslíku vážně poškozeny (Beenish S. Bhutta et al., 2022).

Podle příčiny vzniku můžeme hypoxii rozdělit na několik typů. Mezi ně patří:

- 1) Hypoxemická hypoxie: Jejím charakteristickým znakem je nízký parciální tlak kyslíku v arteriální krvi, jehož hodnota dosahuje méně než 13 kPa. Tento typ hypoxie se objevuje v důsledku pobytu v vyšší nadmořské výšce, v oblastech s nižším pO_2 , při hypoventilaci nebo při omezené difúzní kapacitě plic.
- 2) Anemická hypoxie: V tomto případě není v krvi dostatek hemoglobinu, který je schopen přenášet kyslík do tkání nebo část hemoglobinu není schopna kyslík přenášet. Tento typ hypoxie se děje za normálních hodnot pO_2 . Nastává v důsledku nízkého množství kyslíku v krvi, což může být způsobeno například krvácením, nedostatkem železa, anémií (snížená hladina červených krvinek), nebo genetickými poruchami, které ovlivňují hemoglobin.

- 3) Ischemická hypoxie: Je následkem nedostačujícího oběhu krve kapilárami. Pokles tlaku mohou způsobit například srdeční infarkt (srdeční sval je izolován od přívodu krve) nebo mozková mrtvice (část mozku je izolována) či velká ztráta krve nebo ucpaní cév – trombóza a embolie.
- 4) Histotoxická hypoxie: Nastává, když je kyslík dostupný, ale buňky nemohou kyslík použít kvůli přítomnosti toxinů. Tyto toxiny mohou zahrnovat některé léky, alkohol, či jiné chemikálie např. otrava kyanidem. (Botek Michal et al., 2017; Myroshnychenko, 2022; Nečas et al., 2021; Stefan Silbernagl & Despopoulos Agamemnon, 2016).

2.5.1 Hypoxie v simulované nadmořské výšce

Frakce vdechovaného kyslíku (FiO_2) je klíčovým faktorem v určování úrovně kyslíku, kterou jedinec přijímá. Naše atmosféra má standardně FiO_2 21 %, což znamená, že i při různých nadmořských výškách zůstává množství kyslíku ve vzduchu konstantní (Fuentes & Chowdhury, 2020).

Tabulka 1

Ekvivalentní hodnoty FiO_2 k nadmořským výškám

Altitude classifications.

Classification	Altitude (m)	Altitude (ft)	Equivalent FiO_2 (%)
Near sea-level	<500	<1640	19.8–20.9
Low altitude	500–2000	1640–6560	16.7–19.8
Moderate altitude	2000–3000	6560–9840	14.8–16.7
High altitude	3000–5500	9840–18,040	10.9–14.8
Extreme altitude	>5500	>18,040	≤10.9

Poznámka: Převzato od (Sinex & Chapman, 2015)

Nicméně hypoxie může být simulována bez fyzické změny prostředí pomocí zařízení, jako jsou hypoxické komory či masky. Ty umožňují kontrolu nad dodávaným množstvím kyslíku, což vede ke sníženému obsahu kyslíku, jako by osoba byla ve skutečně vyšší nadmořské výšce. Tato simulace hypoxie se často využívá ve výzkumu nebo při tréninku sportovců. Poskytuje kontrolovanou expozici hypoxii, což může být užitečné jak pro studium účinků na tělo, tak pro přípravu sportovců na soutěže ve výšce. Tyto metody nabízejí alternativu k fyzickému přesunu

do skutečně vyšších nadmořských výšek, což je výhodné z finančního hlediska a umožňuje sportovcům efektivně trénovat v podmínkách s nižším obsahem kyslíku (Suchý, 2012).

Hypoxii lze vyvolat dvěma základními metodami. První je v rámci normoxie, kdy je osoba vystavena nižší koncentraci kyslíku při stejném tlaku jako v normálním vzduchu. Toto se typicky stává ve vysokých nadmořských výškách, kde je řidší obsah vzduchu, což vede k normobarické hypoxii. Druhým způsobem je hypobarická hypoxie, kdy při stejné koncentraci kyslíku dochází k poklesu barometrického tlaku. Tento jev je častý například při letadlech, která přelétají ve vysokých nadmořských výškách s nízkým atmosférickým tlakem. (Botek et al., 2017; Suchý, Jiří, 2012; Wilber, 2007).

Fyziologické rozdíly po vystavení normobarické hypoxi a hypobarické hypoxii jsou v současnosti předmětem mnoha diskusí (Millet & Debevec, 2020; Richalet, 2020), nicméně Conkin (2011) uvádí, že z praktických a logistických důvodů se normobarická hypoxie často používá jako laboratorní alternativa k hypobarické hypoxii, kdy se vdechovaná frakce kyslíku sníží, aby se zohlednil vyšší barometrický tlak a vyvolalo se "výškově ekvivalentní" snížení PO₂.

2.5.2 Vysokohorské tréninkové strategie

Olympijské hry v Mexiku City v roce 1968 rozpoutaly vlnu zájmu o trénink v nadmořské výšce. Tato zvýšená pozornost byla odpovědí na pozoruhodné výkony sportovců, kteří trénovali nebo žili ve vyšších nadmořských výškách. Jejich úspěchy překonávaly výkony kolegů, kteří se trénovali v nížinných oblastech. Tato nová perspektiva otevřela dveře k dalšímu zkoumání výhod a technik tréninku ve vyšších nadmořských výškách (Wilber, 2004).

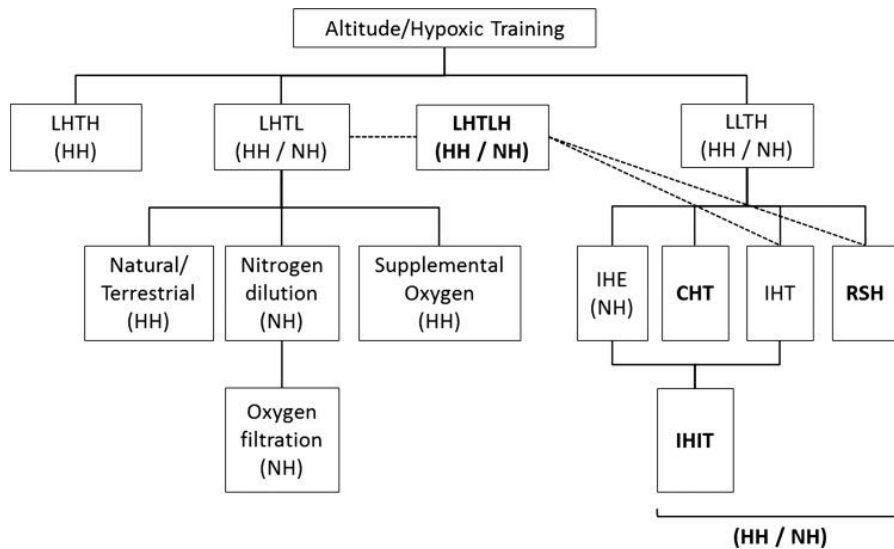
V roce 2007 uvedl Wilber hlavní metody výškového/hypoxického tréninku, které využívají elitní sportovci: "žít vysoko – trénovat vysoko" (LHTH) a "žít vysoko – trénovat nízko" (LHTL). Tyto metody zahrnují spaní ve výšce pro dosažení adaptace hematologických vlastností (např. zvýšení objemu erytrocytů), anebo provádění tréninku na úrovni moře pro dosažení maximálního výkonu (s udržením intenzity tréninku na úrovni moře a tokem kyslíku). Metoda LHTL může být realizována pomocí různých prostředků a zařízení, jako je přirozená/pozemská výška, ředění dusíkem, filtrace kyslíku a doplňkový kyslík. Další metodou je "žít nízko – trénovat vysoko" (LLTH). Tato strategie zahrnuje přerušovanou hypoxickou expozici v klidu (známou jako IHE) nebo během přerušovaných hypoxických tréninků (označovaných jako IHT) (Millet et al., 2013).

Metoda LHTL zahrnuje hypoxickou expozici až 16 h denně (Sinex & Chapman, 2015). Bonetti a Hopkins (2009) tvrdí, že metoda LHTL může přinést zlepšení výkonnosti při cvičení na úrovni moře o 0,3 až 7,7 %. Astridge et al. (2024) dále uvádí, že většina výzkumů se shoduje na

schopnosti LHTH vyvolat u plavců výraznou fyziologickou adaptaci, přičemž typické zvýšení hemoglobinu (Hb mass) se pohybuje od 3,4 do 7,8 % (v závislosti na délce pobytu a nadmořské výšce).

Obrázek 2

Hypoxické tréninkové strategie pro sportovce



Poznámka: *LHTH* = žít vysoko, trénovat vysoko; *LHTL* = žít vysoko, trénovat nízko; *LHTLH* = žít vysoko, trénovat nízko a vysoko; *LLTH* = žít nízko, trénovat vysoko; *IHE* = přerušovaná hypoxická expozice; *CHT* = kontinuální hypoxický trénink; *IHT* = intervalový hypoxický trénink; *RSH* = opakovaný sprintový trénink v hypoxii; *IHIT* = přerušovaná hypoxická expozice během intervalového tréninku; *NH* = normobarická hypoxie; *HH* = hypobarická hypoxie (Millet et al., 2013).

Obrázek 3

Rozsahy nadmořských výšek pro „bytí“ a trénink podle běžných modelů výškového tréninku.

Altitude Model	Altitude Range
LHTH	1250m–3000m
LHTL	Live High = 1250m–3000m Train Low = 0m – ≤ 1200m
LLTH	Live Low = ≤ 1199m Train High = ≥ 1200m
LLTL	Live Low = ≤ 1199m Train Low = ≤ 1200m
IHT/IHE	Live = ≤ 1199m Train = ≥ 1200m

Poznámka: IHE = Přerušovaná hypoxická expozice, IHT = Přerušovaný hypoxický trénink, LHTH = Žít vysoko, trénovat vysoko, LHTL = Žít vysoko, trénovat nízkou, LLTH = Žít nízkou, trénovat vysoko, LLTL = Žít nízkou, trénovat vysoko (Bonato et al., 2023).

2.5.3 SpO₂ a hypoxie

Mourek (2012) uvádí, že hemoglobin (Hb) umí reverzibilně vázat kyslík (1 g HB váže 1,39 O₂). V praxi může tedy arteriální krev nasycená kyslíkem transportovat až 200 ml O₂ v 1 litru krve. Kyslík, který se váže na hemoglobin je odevzdáván na periférii tkáním. Platí, že čím méně je kyslíku v tkáních, tím více kyslíku se vyváže z oxyhemoglobinu. Hb je taktéž schopen přenášet i molekuly CO₂, které váže na aminoskupinu proteinového řetězce. Tato sloučenina nese název karbaminohemoglobin. Stejně jako u kyslíku je tato sloučenina reverzibilní a platí, že CO₂ se může na Hb navázat pouze v případě, že už na něm není navázaný kyslík a naopak.

Hemoglobin v arteriální krvi není nasycen na 100 %, jelikož existují arteriovenózní zkratky. SpO₂ arteriální krve se pohybuje mezi 95–98 %. Tyto hodnoty lze v praxi naměřit pulsními oxymetry. SPO₂ venózní krve v klidu se pohybuje kolem 70–75 %. V situaci, kdy se zvyšuje metabolismus dochází ke snížení SPO₂, jelikož tkáně extrahují větší množství kyslíku (Mysliveček & Riljak, 2022; Rokyta et al., 2016).

Azam et al. (2023) retrospektivní kohortovou studií zjistil, že naměřené údaje z oxymetru mohou být ovlivněny pigmentací kůže melaninem, který ovlivňuje absorpci a rozptyl světla, což může vést odlišným naměřeným hodnotám u lidí s jinou než bílou barvou pleti.

Melechovský (2023) uvádí, že normální hodnoty SpO₂ se pohybují mezi 98 a 95 %. V rozmezí od 95 do 85 % často nejsou pozorovatelné žádné symptomy, avšak může se začít zvyšovat frekvence dechu a srdeční tep. Pokles hodnot SpO₂ na úroveň mezi 85 a 75 % může přinést zlepšení nálady, zvýšenou komunikativnost a pocity euforie či mírné opilosti. Avšak při dalším snížení SpO₂ v rozmezí 75 až 60 % se objevují příznaky jako slabost, dušnost, úzkost, bolesti hlavy, nevolnost, snížená koncentrace a neostré vidění, stejně jako obtíže s porozuměním mluvenému slovu. Kritické hodnoty pod 60 % mohou vést k hypoxickým křečím a ztrátě vědomí. Je však důležité zdůraznit, že uvedené hodnoty jsou pouze orientační, protože každý jedinec reaguje na hypoxii individuálně, což může vést k významným individuálním rozdílům. McMorris et al. (2017) dodává, že vzhledem k tomu, že saturace pulzní oxymetrie (SPO₂) a okysličení mozku reagují v reakci na hypoxii podobně, používá se SpO₂ obecně k indikaci stupně hypoxie a lze ji také využít jako důležitý prediktor kognitivních funkcí při hypoxii.

2.5.4 Genderové rozdíly v hypoxii

Přestože existuje nepřehledné množství literatury týkající se specifických reakcí na hypoxii, většina studií byla prováděna na mužích (Cowley et al., 2021; C.-H. Kim et al., 2015) nebo na smíšeném vzorku mužů a žen (Lefferts et al., 2016; Nakata et al., 2017). Tato skutečnost vede k omezenému pochopení genderových rozdílů ve fyziologických a kognitivních odezvách na hypoxii, nicméně podle Leventala et al. (2018) existuje řada studií uvádějících rozdíly mezi pohlavími v SPO₂, a to že ženy mají vyšší průměrnou hodnotu SpO₂ než muži. Sundström Poromaa a Gingnell (2014) jako příčinu tohoto rozdílu označují pohlavně specifické rozdíly v hormonech, které se podílí na regulaci dýchání a nepřímo vyvolávají změny ve funkci dýchacího systému (Loprinzi & Frith, 2018).

V rámci studií zaměřených na genderové rozdíly v reakci na hypoxii byl identifikován pozoruhodný vliv estrogenů na cerebrální krevní proud (CBF). Výzkumy potvrdily, že estrogény mají příznivý vliv na CBF (Sundström Poromaa & Gingnell, 2014). Krejza et al. (2003) tvrdí, že zvýšení hladiny estrogenů může snížit cerebrovaskulární rezistenci, což vede k menšímu stísnění cév v mozku a usnadňuje průtok krve. Tímto způsobem estrogény zvyšují rychlost cerebrálního krevního proudu (Peltonen et al., 2016).

Další rozdíl v reakci na hypoxii může být nižší úroveň hepcidinu během menstruace u žen (Merlo et al., 2023) a nižší úroveň železa v těle obecně u žen, kterým se tato úroveň zvyšuje po menopauze (C. Kim et al., 2012). Podle Simmen et al. (2019) hypoxie totiž vytváří podmínky pro uvolňování železa z intestinálního epitelu. Současně s tím, autofagie při hypoxii redukuje zánětlivé procesy v buňkách HT-29. V případě buněk Caco-2 je absorpce železa klíčová pro

potlačení hypoxií indukovaného zánětu. Tento proces mobilizace železa do enterocytů může představovat důležitý ochranný mechanismus. Nicméně spojitost mezi zásobami železa v těle u žen a reakcí na hypoxii je stále v procesu zkoumání.

V rámci studie Cardenosa (2021) byly zkoumány genderové rozdíly v reakci na hypoxii. Ženy vykazovaly významně vyšší bazální energetický výdej ve srovnání s muži. Dále byly u žen pozorovány vyšší hodnoty glukózy v krvi ve 3 h a u mužů vyšší hodnoty glukózy a laktátu v krvi po 4-7 hodinách. Vyšší bazální metabolismus u žen ostatně potvrzují i Sobrino et al. (2010) a Ospina et al. (2002), kteří jako důvod uvádí právě zvýšenou vazodilataci mozkových tepen stimulovanou nárůstem estrogenů, zejména v časně folikulární fázi.

Genderovým rozdílem v hypoxii se věnovali i Botek, Krejčí a McKune (2018), kteří došli ke zjištění, že 10minutová expozice v simulované nadmořské výšce 6200 m ukázala podobné úroveň desaturace kyslíkem a „ústup“ vagu u obou pohlaví. Nicméně, ženy vykazovaly relativně nižší sympatickou odpověď na klidovou expozici hypoxii ve srovnání s muži. Opožděný návrat SpO_2 k výchozí hodnotě během zotavování po expozici hypoxii se zdá být způsoben prodlouženou stimulací sympatiku u mužů, ale ne u žen. Dále byl zjištěn rozdíl v reakci na hypoxii v klidovém stavu a v akutní reakci na hypoxii, který souvisí se vztahem mezi hladinou SpO_2 a maximální aerobní kapacitou, a to v závislosti na pohlaví. Zatímco klidová VO_{2max} u žen nebyla spojena s klidovými hladinami desaturace, u mužů byla VO_{2max} korelovala s reakcí SpO_2 .

2.5.5 Vysokohorské prostředí

Výškové zóny se podle Rotmana (2016) dělí do tří kategorií: střední, velké a extrémní. Střední výšky (1 500–2 500 m) nezpůsobují zdravému člověku problémy, SaO_2 je nad 90 %, ačkoliv se zvyšuje klidová ventilace a klesá maximální spotřeba kyslíku o 1 % na každých 100 m. Naopak velké výšky (2 500–5 300 m) přinášejí pokles SaO_2 pod 90 %, snižuje se VO_{2max} o 10 % na každých 1 000 m, avšak lze dosáhnout úplné a dlouhodobé aklimatizace. Extrémní výšky (nad přibližně 5 300 m) neumožňují přizpůsobení se, vedou k výrazné hypoxemii a hypokapnii, inhibují anaerobní glykolýzu a mohou vést k smrti při dlouhém pobytu („zóna smrti“).

Suchý (2012) dále dělí nadmořskou výšku do 800 metrů nad mořem jako nízkou, do 1500 m n. m. jako střední, od 1500 do 3000 m jako vyšší, od 3000 m užívá pojem vysoká a nad 5800 m jako extrémní.

2.5.6 Akutní horská nemoc (AHN)

Akutní horská nemoc (AHS) je nejčastějším typem vysokohorské nemoci, která postihuje více než čtvrtinu osob cestujících do nadmořské výšky nad 3500 m (Meier et al., 2017).

Bartůňková et al. (2013) uvádí, že při výstupu do nadmořské výšky nad 4300 m n. m. postihuje dokonce 67 % osob. Příznaky AHS se obvykle objeví během 4-12 hodin po dosažení vysoké nadmořské výšky a mohou se projevovat od mírných až po závažné (Luks et al., 2017). Hypoxie je hlavním faktorem přispívajícím k patofyziologickým procesům AHS. Způsobuje hypoxemii, zánět, zvýšený tlak v plicnici a intrakraniální (nitrolebeční) tlak (Imray et al., 2010; Luks & Hackett, 2022; Wilson et al., 2009). Nečas et al. (2021) dodává, že mezi nejzávažnější možné komplikace AHS ohrožující život patří plicní a mozkový edém. Jejich hlavní příčina je nadměrná reakce arteriol na nízký PO_2 , konkrétně vazokonstrikce v plicní cirkulaci a vazodilatace v mozkové cirkulaci.

Jako prevence AHN se považuje pomalý výstup a postupná aklimatizace, popř. preventivní konzumace acetazolamidu (M. Liu et al., 2024). Acetazolamid se řadí mezi diuretika. Inhibuje karbonhydrázy, které potlačují resorpci bikarbonátů v proximálním tubulu ledvin s následnou bikarbonátovou diurézou. Metabolická alkalóza, kterou způsobuje AHN je tak vyrušena značnými ztrátami bikarbonátů (Bartůňková et al., 2013).

2.5.7 Výškový otok plic a výškový otok mozku

Basnyat a Murdoch (2003) tvrdí, že hypobarická hypoxie způsobená rychlou expozicí ve vysoké nadmořské výšce vede ke sníženému přísunu kyslíku do tkání. Neschopnost lidského organismu přizpůsobit se hypoxické stimulaci vyvolává řadu vysokohorských onemocnění, včetně AHS, vysokohorského plicního edému (HAPE) a vysokohorského mozkového edému (HACE).

Nejvíce citlivý na hypoxický stres je kvůli vysoké potřebě kyslíku mozek. HACE je konečným stadiem AHS a je charakterizován ataxií a změnou vědomí, která může přejít v kóma a smrt (R. E. F. Turner et al., 2021). Mazur et al. (2020) uvádí, že HACE je potenciálně smrtelným projevem AHS a obvykle vzniká během prvních 2 dní u jedinců rychle stoupajících do nadmořských výšek nad 4000 m. Bartůňková et al. (2013) dodává, že neléčená forma může během několik hodin skončit smrtí.

West (2012) definuje HAPE jako nekardiogenní plicní edém, který se může vyvinout během 1-5 dnů po akutní expozici ve výšce nad 3000 m n. m. Hlavním patofyziologickým faktorem vzniku HAPE je nadměrná hypoxická plicní vazokonstrikce (HPV) (Dehnert et al., 2007).

Bartůňková et al. (2013) popisuje počáteční příznaky jako dušnost, suchý kašel, náhlý pokles výkonu, poslechový nález na plicích, vykašlávání zpěněného a krvavého sputa, horečka, zvracení, cyanóza a pokles SpO_2 na 60–50 %. Jak u HACE, tak u HAPE je nezbytný přesun do nižší

nadmořské výšky, podání kyslíku a kortikoidů. Prasad (2011) dodává, že u léčby všech třech uvedených nemocí lze úspěšně využít mobilní hyperbarické komory.

2.5.8 Vliv hypoxie na kognitivní funkce

Lidský mozek jakožto orgán vysoce náročný na kyslík potřebuje k efektivnímu fungování jeho nepřetržitý přísun. Náhlé vystavení hypoxii ovlivňuje několik základních fyziologických systémů, např. kardiovaskulární a centrální nervový systém (Aebi et al., 2020; Kammerer et al., 2018)

Výzkumy naznačují, že u zdravých dospělých jedinců, kteří byli vystaveni nadmořské výšce 6096 metrů po dobu patnácti minut, dochází k poklesu schopnosti kódovat, obnovovat a uchovávat paměť (Nation et al., 2017)

Li a Wang (2022) uvádí, že podle jejich výzkumu jsou kognitivní funkce citlivé na nízký tlak a hypoxii ve vysokohorském prostředí, přičemž intenzita tohoto dopadu závisí na konkrétní nadmořské výšce a době expozice daným podmínkám.

Studie zaznamenaly, že jak akutní, tak dlouhodobá expozice nedostatku kyslíku může nepříznivě ovlivnit různé kognitivní aspekty, včetně pozornosti a exekutivních funkcí. S narůstající nadmořskou výškou se zhoršují kognitivní funkce, které mohou přetrvávat i po návratu z vysokohorského prostředí (Ortega et al., 2004). Například de Aquino Lemos et al. (2012) při simulované nadmořské výšce 4500 m taktéž došli jak na zhoršení reakčního času, tak i zhoršení krátkodobé paměti testovanou Corsiho bloky. Doba expozice hypoxii byla 24 h a výzkumný soubor tvořilo 10 mužů ve věku 23–30 let. Asmaro, Mayall a Ferguson (2013) pozorovali zhoršení krátkodobé paměti testované "Testem přímé řady čísel" v simulované nadmořské výšce 5334 a ještě větší zhoršení oproti normoxii registrovali v simulované nadmořské výšce 7620 m.

Zhang et al. (2013) v rámci „Testu číselného rozpětí“ zaznamenali signifikantní zhoršení krátkodobé paměti v nadmořských výškách 3500, 4500 a 5100 m s porovnáním s výsledky na úrovni hladiny moře a s výsledky po 5denní aklimatizaci v nadmořské výšce 3500 m. Doba expozice nebyla uvedena.

Udayabanu, Kumaran a Katyal (2012) tvrdí, že hypobarická hypoxie způsobuje kognitivní dysfunkci u lidí i zvířat, což souvisí s poškozením hippocampu, části mozku zodpovědné za učení a paměť. Hypoxie má podle některých studií významný dopad na kognitivní výkon a může vést k obtížím s učením a verbálními schopnostmi. Tato studie byla prováděna hypobarické komoře s odpovídající simulovanou nadmořskou výškou 7620 m. Subjekty byly této výšce vystaveni 6 hodin denně po dobu tří dnů.

Pramsohler et al. (2017) zjistili, že 7hodinová expozice v simulovaných nadmořských výškách 3500 a 5500 m neovlivňuje motorické tempo, ale reakční čas se oproti normoxii ve 3500 m i v 5000 m zhoršil. V dané studii byl použit: "Test reakčního času s výběrem". Nakata, Miyamoto, Ogoh, Kakigi a Shibasaki (2017) naopak došli k tomu, že v rámci Go/no-go testu není reakční rychlost signifikantně ovlivněna po 30 minutách expozice ve výšce 4500 m oproti normoxii.

Efekt hypoxie na kognitivní procesy se však může lišit u jednotlivých jedinců (Griva et al., 2017).

V souvislosti s akutní hypoxií a reoxygenací je většina studií zaměřena na odhalení potenciálních kognitivních dopadů u letců, kteří zažívají náhlou ztrátu tlaku v kokpitu při vysokých nadmořských výškách. Řada různých testů dokumentovala pokles kognitivních a motorických schopností za podmínek akutní hypoxie (Asmaro et al., 2013; Stepanek et al., 2013).

Největší množství informací o neurokognitivních účincích delší, avšak nechronické hypoxie se zaměřuje na členy expedic do vysokých hor. Expozice hypoxii snižuje neurokognitivní funkce, jak je patrné z různých ukazatelů, převážně v oblastech pozornosti a rychlosti zpracování informací, což je spojeno s kortikální nebo kortikálně-subkortikální konektivitou. Několik studií potvrdilo zhoršení pozornosti a rychlosti zpracování informací během pobytu ve vysokých nadmořských výškách (Bjursten et al., 2010; Ortega et al., 2004).

Podle Bicklera et al. (2017) se má obecně za to, že tyto kognitivní deficity se zlepšují s aklimatizací a jsou vratné při sestupu do nižších nadmořských výšek. Informace o dlouhodobých účincích opakovaných dlouhodobých expozic ve velmi vysokých nadmořských výškách jsou velmi omezené.

Bickler et al. (2017) dále tvrdí, že akutní expozice hypoxii v laboratorním prostředí vyvolává přechodné kognitivní účinky podobné reverzibilním změnám při expozici ve výškách a přetrvávajícím změnám pozorovaným po traumatickém poškození mozku.

Turner, Barker-Collo, Connell a Gant (2015) ve své práci během 50 minut dýchání s použitím 10 % kyslíku (což odpovídalo SpO_2 přibližně 75 %) zaznamenali následující kognitivní účinky: Pokles neurokognitivního indexu, složené paměti, verbální paměti, vizuální paměti, rychlosti zpracování informací, exekutivních funkcí, psychomotorické rychlosti, reakčního času, komplexní pozornosti a kognitivní flexibility o 10 až 30 %. Společným rysem těchto změn je, že hypoxie vyvolává rozptýlení, takže účastníci měli problém soustředit se na cokoli jiného než na potřebu vzduchu. Žádný z účastníků po skončení studie nepozoroval zbytkové účinky expozice hypoxie.

Bickler et al. (2017) uvádí, že krátká a hluboká hypoxie (SpO_2 50-70 % po dobu 10-30 minut) je u zdravých lidí dobře snášena a není doprovázena systémovou acidózou ani poruchou

krevního oběhu. Naproti tomu dlouhodobá hypoxie, která provází například CMS nebo chronická plicní onemocnění, je spojena s úmrtností. V případě krátké hypoxie důkazy podporují závěr, že nedochází k poškození centrálního nervového systému. Krátkodobá hypoxie podle Bicklera et al. (2017) nevede k poškození kognitivních funkcí.

2.6 Vienna test system (VTS)

Vienna Test System (VTS) je testovací systém pro počítačové psychologické hodnocení. Byl vyvinut v 80. letech 20. století společností Schuhfried Company, kterou v roce 1947 založil Dr. Felix Schuhfried.

Vienna test system se skládá ze čtyř oblastí, a to:

1. **NEURO** – V rámci Vienna Test Systemu jsou k dispozici různé psychologické testy určené pro klinicko-neuropsychologické hodnocení, které mohou být použity pro diagnostiku, monitorování a hodnocení různých neurologických a psychiatrických poruch.
2. **HR – Human Resources** – Jedná se o oblast VTS zaměřenou na lidské zdroje, která poskytuje nástroje pro hodnocení a výběr personálu ve firemním prostředí. Testy se zabývají osobnostními vlastnostmi, pracovním výkonem, řízením stresu a týmovou spoluprací zaměstnanců. Díky těmto testovým bateriím je pro firmy snazší najít vhodné kandidáty a optimalizovat výkon pracovních týmů (Schuhfried, 2022).
3. **TRAFFIC** – Oblast VTS řeší posouzení schopností a dovedností řidičů. Obsahem jsou různé testy a úkoly, jejichž výstupem je hodnocení různých aspektů řízení a bezpečnosti silničního provozu. Mezi testy se řadí například: test reakčního času, schopnost vnímat a reagovat na různé situace na silnici, vnímání rizika se schopností reagovat v různých dopravních situacích. Výsledky testů slouží k identifikaci potenciálních rizikových faktorů spojených s řízením a pro hodnocení schopností a dovedností samotných řidičů (Schuhfried, 2022).
4. **SPORT** – VTS je taktéž nástroj pro hodnocení sportovní psychologie. Může sloužit například pro analýzu profilu, hodnocení talentu, tvorbu tréninkových plánů a dále poskytuje hráčům a sportovcům jejich sportovně psychologického profilu, jak z hlediska dovedností, tak osobnosti. VTS využívají vrcholoví sportovci a výzkumné

ústavy po celém světě. Mezi sportovní kluby patří například rakouská a německá fotbalová reprezentace či řecký národní basketbalový tým (Schuhfried, 2022).

2.6.1 Corsiho test

Jedná se o testy, které zkoumají rozsah paměti. Zaměřují se především na krátkodobou paměť, která má pouze omezenou kapacitu. Blokovaný test pro hodnocení okamžitého blokového rozpětí hodnotí kapacitu vizuálně-prostorového subsystému v rámci krátkodobé paměti. Po více než tři desetiletí byla platnost tohoto testu opakovaně potvrzována v neuropsychologické literatuře a byl široce používán v klinickém kontextu (Baddeley, 2001; Piccardi et al., 2008).

Test má několik forem. Verze pro dospělé a děti se liší v počtu kostek na začátku testování. Děti začínají na dvou kostkách, zatímco dospělí na třech.

Varianty testů:

S1/S2: Pro dospělé/děti – prostorová paměť dopředu

S3/S4: Pro dospělé/děti – proces učení prostorové pracovní paměti a rozpětí prostorové paměti dopředu

S5/S6: Pro dospělé/děti – rozpětí prostorové paměti dozadu

S7: rozpětí prostorové paměti pozpátku, geriatrická forma testu

Corsiho test je nástroj v neuropsychologii, který monitoruje čtyři klíčové proměnné, aby posoudil paměťové schopnosti jednotlivce. První proměnnou je bezprostřední zapamatování kostek (BZP), což reflektuje maximální počet sekvencí po sobě jdoucích kostek, které si proband dokáže zapamatovat. Další dvě proměnné se týkají počtu správně a chybně zapamatovaných frekvencí, což poskytuje informace o celkové paměťové kapacitě a přesnosti zapamatování. Poslední proměnnou je hodnota sekvenčních chyb, kdy respondenti správně identifikují kostky, ale ve špatném sledu.

V průběhu testování respondenti vidí devět nepravidelně uspořádaných kostek na obrazovce. Jejich úkolem je sledovat kurzor, který se postupně dotýká určitého počtu těchto kostek. Na konci této sekvence zazní signál; respondent musí danou sekvenci zopakovat buď dopředu, nebo dozadu, v závislosti na formě testu. Délka sekvence se po každém třetím pokusu zvyšuje, dokud není dosaženo maximálního počtu devíti kostek.

Pro testování učení v oblasti prostorové pracovní paměti se ve dvou testových formách (S3/S4) nejprve zjišťuje rozpětí prostorové paměti. Na jeho základě se určuje cílová sekvence, která je o jednu úroveň delší než dříve dosažené rozpětí paměti.

V této práci budou probandi absolvovat variantu S1. Nejprve absolvují cvičnou variantu se třemi kostkami, která se nezapočítává do celkového hodnocení. Poté jim program postupně označí kostky v různém pořadí. Začíná se na 4 kostkách a po třech sekvencích se vždy počet kostek zvýší o jednu. Maximální počet označovaných kostek je 9. Cílem je, aby probandi po zaznění tónu označili správně pořadí, ve kterém jim kostky byly prezentovány. Test má 24 sekvencí, přičemž obsahuje i cílovou sekvenci, která se osmkrát opakuje. Konec testu nastává v případě, že proband chybuje ve třech sekvencích za sebou nebo v případě, že správně označí poslední cílovou sekvenci (Schuhfried, 2022).

2.6.2 Test reakční doby

Test reakční doby umožňuje použití speciálních forem testování ke stanovení reakční doby a doby motorické reakce. Mezi hlavní oblasti použití se například řadí dopravní, klinická, pedagogická a sportovní psychologie.

V reakčním testu jsou na monitoru prezentovány optické podněty (žluté, bílé a červené světlo) a zároveň je skrze reproduktor prezentovaný tón, jehož frekvence se pohybuje kolem 2000 Hz (Schuhfried, 2022). Reakční test má až 8 forem, nicméně v této práci je použita jen forma S5.

Ve formě testu S5 proband reaguje stiskem černého hranatého tlačítka na reakčním panelu. Pod reakčním tlačítkem je umístěno kulaté tlačítko zlaté barvy neboli „klidové tlačítko“. Samotné testování probíhá tak, že má proband položený prst na klidovém tlačítku, což je výchozí pozice, ze které musí stejným prstem stisknout reakční tlačítko, pakliže se objeví kritický podnět. Po stisknutí reakčního tlačítka musí položit prst zpět na klidové tlačítko. Úkolem probanda je co nejrychlejší stisknutí reakčního tlačítka v reakci na kritické podněty. Kritické podněty ve formě testu S5 jsou:

- Svítící žluté a červené kolečko zároveň.
- Svítící žluté kolečko + zaznění tónu.

Test reakční doby sleduje hodnoty týkající se rychlosti reakce a tempa motoriky, vše v milisekundách. Rychlost reakce je definována jako interval času, který začíná okamžikem, kdy se objeví klíčový stimul, a končí, když proband zvedne prst z výchozího tlačítka. Motorické tempo se měří jako časový rozdíl mezi momentem, kdy je prst odstraněn z klidového tlačítka, a následným stiskem reakčního tlačítka. I když test reakční doby zahrnuje více faktorů, tato studie se specializuje na aspekty rychlosti reakce a motorické odezvy.

Obrázek 4

Reakční panel



Vlastní foto

3 CÍLE

3.1 Hlavní cíl

Hlavním cílem práce je zjistit vliv akutní hypoxie na kognitivní funkce u žen.

3.2 Dílčí cíle

1. Sledování SpO₂ a její změny v simulovaných nadmořských výškách.
2. Zjištění vlivu SpO₂ na reakční dobu a krátkodobou paměť.
3. Zjištění vlivu hypoxie na reakční dobu.
4. Zjištění vlivu hypoxie na krátkodobou paměť.

3.3 Hypotézy

H1: Rostoucí hypoxie vede ke zpomalení reakční doby.

H2: Rostoucí hypoxie vede ke zhoršení krátkodobé paměti.

3.4 Výzkumné otázky

- 1) Jaký vztah je mezi SpO₂ a reakční dobou?
- 2) Jaký vztah je mezi SpO₂ a krátkodobou paměťí?

4 METODIKA

4.1 Design

Výzkum byl realizován v únoru a březnu roku 2024 v prostorách výzkumného pracoviště na Fakultě tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci. Výzkum se skládal ze 3 měření, přičemž jedno měření bylo kontrolní (400 m n. m.) a dvě měření byla zátěžová (3500 m n. m.; 5000 m n. m.). Probandky během celého testování seděly v klidových podmínkách a nejprve 30 minut inhalovaly vzduch skrze dýchací masku napojenou na hypoxikátor MAG – 10, který simuloval hypoxické či normoxické podmínky ve výše uvedených nadmořských výškách. Po 30minutové inhalaci následovalo plnění Testu reakční doby (individuálně od 3 do 5 minut), a poté následoval Corsiho test zaměřený na krátkodobou paměť (individuálně od 6 do 9 minut). Během plnění reakčního a Corsiho testu byly probandky stále připojeny na hypoxikátor skrze dýchací masku. Doba jednoho měření se trvala 40 minut. Během celého testování měly probandky rovněž oxymetr na ukazováčku levé ruky, ze kterého se každých pět minut zaznamenávaly hodnoty SpO₂.

Probandky před ani během expozice nevěděly jakou vzduchovou směs z dané nadmořské výšky vdechují, aby se předešlo nepříjemným očekáváním spojeným s hypoxickým prostředím. Pořadí expozic bylo určeno náhodně na základě permutační tabulky. Mezi jednotlivými expozicemi byl vždy odstup minimálně 7 dní a každé měření probíhalo vždy ve stejný den a čas. Celý výzkum byl schválen Etickou komisí Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci. Číslo etické komise - 8/2013.

Obrázek 5

Hypoxikátor MAG – 10,



Vlastní foto

4.2 Výzkumný soubor

Výzkumný soubor se skládal z 12 žen ve věku 19–25 let s průměrným věkem 21,9 let. Všechny probandky jsou studentkami Univerzity Palackého v Olomouci, nekuřačky, bez zdravotních komplikací a fyzicky aktivní. Zároveň nebyly během posledních 6 měsíců vystaveny nadmořské výšce větší než 2000 m. Před prvním měřením proběhla familiarizace neboli seznámení s výzkumem, procesem měření a prostorami laboratoře fyziologie, tak aby si probandky vše osvojily. Poté byl všemi podepsán písemný informovaný souhlas s prováděním měření. Probandky byly taktéž poučeny, aby se vyvarovali den před a v den testování alkoholu, konzumaci kofeinu, nadměrné fyzické aktivitě a taktéž aby v den testování volili vhodné stravování.

4.3 Metody sběru dat

K získání dat reakční doby a krátkodobé paměti byly využity testy z Vienna test systému. V reakčním testu byla aplikována forma S5, kdy probandky musely reagovat na dvě různé kombinace podnětů a ignorovat ostatní. Pro zajištění slyšitelnosti tónu si proband před každým měřením upravil hlasitost tak, aby byl tón slyšitelný i přes hučící hypoxikátor. Před každým testováním absolvoval proband fázi nácvičku. Pro hodnocení krátkodobé paměti byl použit Corsiho test ve formě S1, kde měl proband označovat kostky v pořadí, jak byly prezentovány. Před každým měřením se probandky absolvovaly dvě cvičné sekvence. Data byla později exportována z VTS do excelu, kde byla zpracována.

Pro sledování SpO₂ byl použit bezdrátový pulzní oxymetr Nonin 9590 ONYX Vantage (výrobek společnosti Nonin Medical, Inc. se sídlem v USA), umístěný na ukazováčku levé ruky. SpO₂ byla zaznamenávána každých 5 minut.

Obrázek 6

Probandka absolvující Test reakční doby



Obrázek 7

Probandka absolvující Corsiho test



4.4 Statistické zpracování dat

Všechna data z pulzního oxymetru a výsledků z programu VTS byla importována do programu Microsoft Excel a zpracována. Nejprve byla provedena kontrola normality dat pomocí Shapiro-Wilkova testu. Byla stanovena úroveň významnosti $\alpha = 0,05$. Následně byla provedena párová analýza pomocí Studentového t-testu k určení statistické významnosti rozdílů mezi výsledky testů v jednotlivých simulovaných nadmořských výškách. Pro korelaci mezi SpO₂ a výsledků testů v jednotlivých simulovaných nadmořských výškách byl použit Pearsonův korelační koeficient. Síla korelace byla interpretována na základě hodnot r blíže k 1, -1 nebo 0 podle Evansna (1996) a to ve škále:

- 0,00 - 0,19 „velmi slabá“
- 0,20 - 0,39 „slabá“
- 0,40 - 0,59 „střední“
- 0,60 - 0,79 „silná“
- 0,80 - 1,00 „velmi silná“

5 VÝSLEDKY

5.1 SpO₂ v jednotlivých výškách

V Tabulce 2 a na Obrázku 8, jsou prezentovány jednotlivé průměrné hodnoty SpO₂ v simulované nadmořské výšce 400 m v průběhu expozice. Po 20 minutách expozice byla zaznamenána nejnižší průměrná hodnota SpO₂ ve výši 97,92 %. Nejvyšší průměrná hodnota byla naměřena po 40 minutách 98,67 %.

Průměrné hodnoty SpO₂ se od začátku testování do 10 minuty mírně zvyšovaly (98,5 %), po dalších 5 minutách nastal mírný pokles. Největší pokles byl zaznamenán během 20. minuty (97,92 %). Na 25. minutě šly hodnoty opět strmě nahoru (98,5 %) a poté mírně stoupaly až do 40. minuty (98,67 %). Nejvyšší výběrová směrodatná odchylka byla na začátku testování (1,06) a nejmenší byla v 15. minutě (0,51).

Tabulka 2

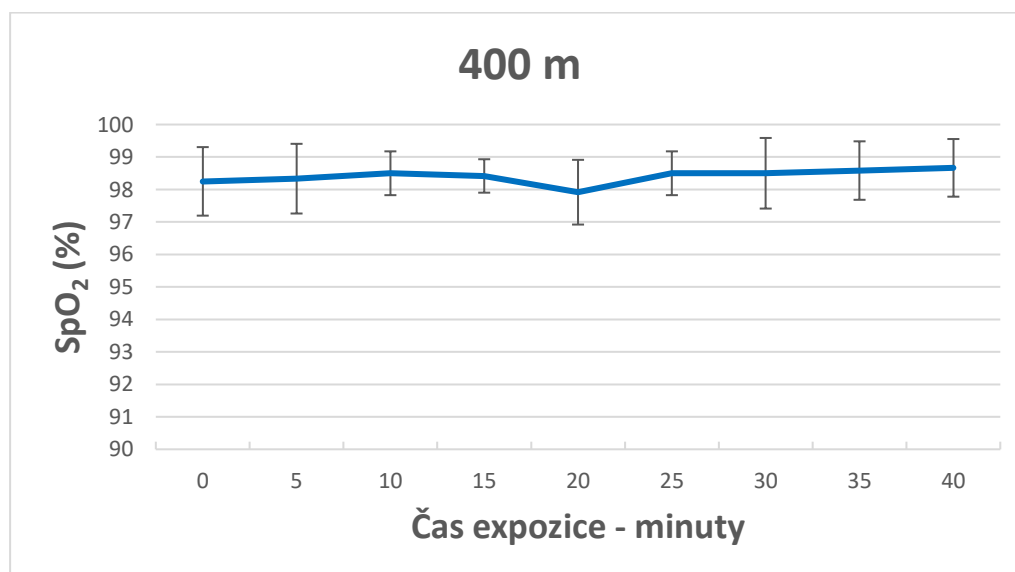
Průměrné hodnoty SpO₂ ve 400 m

Čas (min)	0	5	10	15	20	25	30	35	40
SpO ₂ (%)	98,25	98,33	98,50	98,42	97,92	98,50	98,50	98,58	98,67
SD	1,06	1,07	0,67	0,51	1,00	0,67	1,09	0,90	0,89

Poznámka: SD = směrodatná výběrová odchylka, SpO₂ = saturace krve kyslíkem.

Obrázek 8

Graf průměrných hodnot SpO₂ ve 400 m



V Tabulce 3 a na Obrázku 9, jsou prezentovány jednotlivé průměrné hodnoty kyslíku SpO₂ ve 3500 m n. m. v průběhu expozice. Minimální průměrná hodnota SpO₂ (91,33 %) byla zaznamenána během 35 minuty expozice. Nejvyšší průměrná hodnota (mimo hodnotu na počátku expozice) byla naměřena během 5. minuty expozice – 92,83 %.

Průměrné hodnoty SpO₂ se od začátku expozice (96 %) do 10. minuty značně snižovaly (91,42 %). Od té doby se mírně zvyšovaly a snižovaly, nicméně rozdíly byly minimální. Nejvyšší výběrová směrodatná odchylka byla ve 25. minutě testování (3,63) a nejmenší byla v 45. minutě na konci testování (2,17).

Tabulka 3

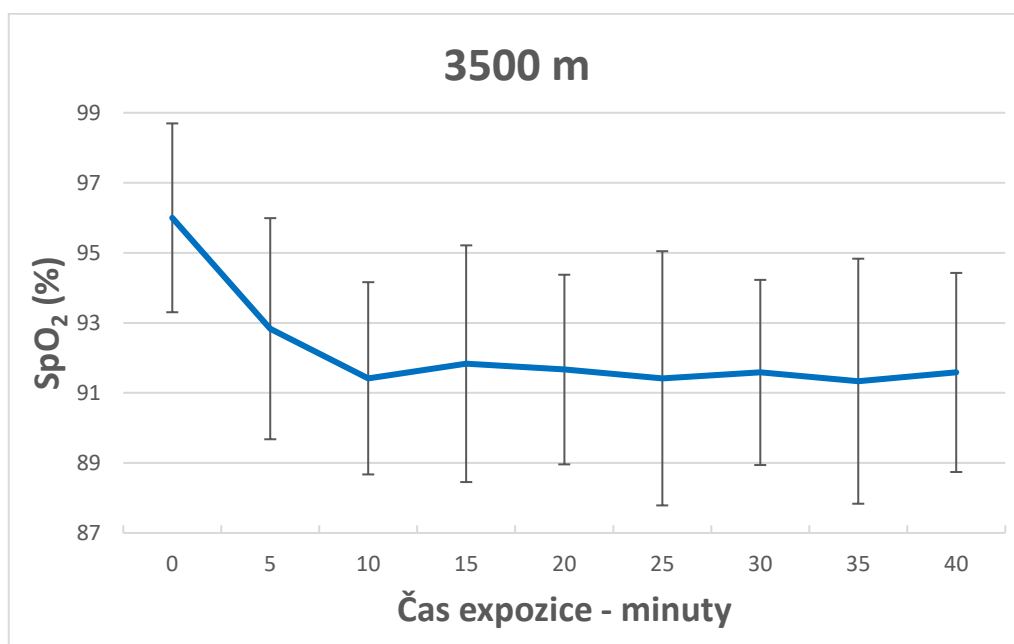
Průměrné hodnoty SpO₂ ve 3500 m

Čas (min)	0	5	10	15	20	25	30	35	40
SpO ₂ (%)	96,00	92,83	91,42	91,83	91,67	91,42	91,58	91,33	91,58
SD	2,70	3,16	2,75	3,38	2,71	3,63	2,64	3,50	2,84

Poznámka: SD = směrodatná výběrová odchylka, SpO₂ = saturace krve kyslíkem.

Obrázek 9

Graf průměrných hodnot SPO₂ ve 3500 m



V Tabulce 4 a na Obrázku 10, jsou prezentovány jednotlivé průměrné hodnoty SpO₂ v 5000 m n. m. v průběhu expozice. Po 15 minutách expozice, byla zaznamenána nejnižší průměrná hodnota SpO₂ ve výši 83,17 %. Nejvyšší průměrná hodnota (mimo hodnotu na počátku expozice) byla naměřena během 5. minuty expozice – 87,25 %.

Průměrné hodnoty SpO₂ se od začátku expozice (96,42 %) do 5. minuty značně snižovaly (87,25 %). Od 5. do 10. minuty hodnoty dále klesaly na 85,92 % a v 15 minutě expozice klesly na minimum 83,17 %. Od té doby se mírně zvyšovaly do 30 minuty (začátku testování), kde zároveň bylo zaznamenáno značné zvýšení hodnot SpO₂ na 85,17 %. Ve 35. minutě opět došlo ke snížení na hodnotu 83,58 % a ve 40 minutě hodnoty mírně stouply na 84,33 %. Nejvyšší výběrová směrodatná odchylka byla v 15. minutě testování (5,01) a nejmenší byla na počátku expozice (3,26).

Tabulka 4

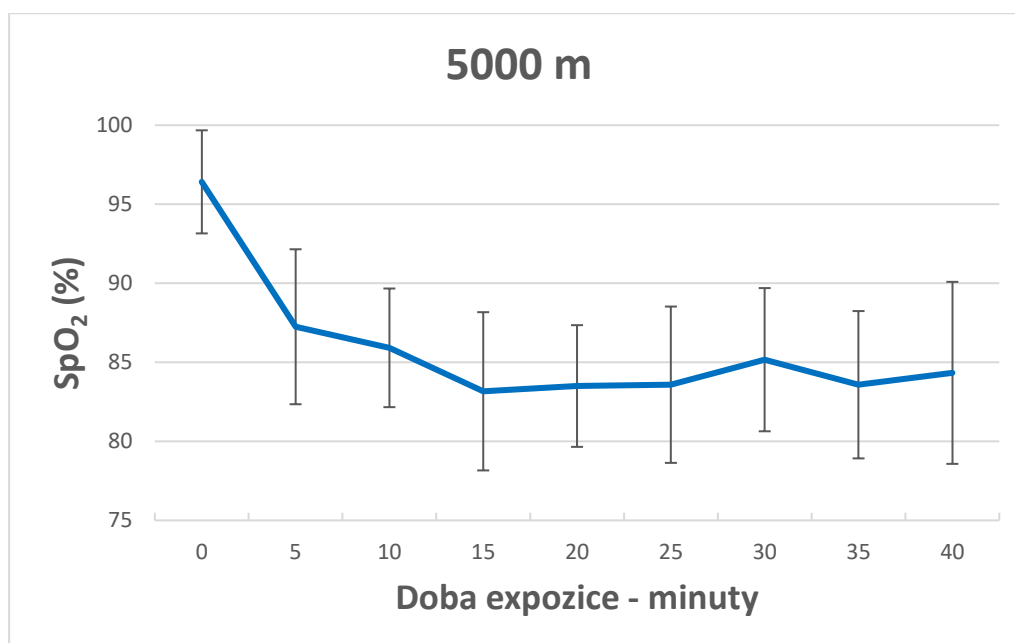
Průměrné hodnoty SpO₂ ve 5000 m

Čas (min)	0	5	10	15	20	25	30	35	40
SpO ₂ (%)	96,42	87,25	85,92	83,17	83,50	83,58	85,17	83,58	84,33
SD	3,26	4,90	3,75	5,01	3,85	4,94	3,64	4,66	5,76

Poznámka: SD = směrodatná výběrová odchylka, SpO₂ = saturace krve kyslíkem.

Obrázek 10

Graf průměrných hodnot SpO₂ v 5000 m



5.2 Porovnání SpO₂ v jednotlivých výškách

V tabulce 5 jsou zobrazeny průměry SpO₂ v jednotlivých výškách a čase. Vyjma začátku měření jsou rozdíly mezi jednotlivými výškami v čase vždy signifikantní – $p \leq 0,001$. Ve 3500 m byly průměrné hodnoty SpO₂ vždy nižší než ve 400 m a v 5000 m byly průměrné hodnoty SpO₂ kromě počátku měření vždy nižší než ve 3500 m.

Tabulka 5

Průměry SpO₂ v daných výškách v čase a jejich rozdíly

Čas (min)	Průměr			Rozdíl					
	400 m	3500 m	5000 m	400 vs 3500		400 vs 5000		3500 vs 5000	
0	98,25	96,00	96,42	2,25	p=0,017	1,83	p=0,086	-0,42	p=0,736
5	98,33	92,83	87,25	5,50	p<0,001	11,08	p<0,001	5,58	p=0,004
10	98,50	91,42	85,92	7,08	p<0,001	12,58	p<0,001	5,50	p<0,001
15	98,42	91,83	83,17	6,58	p<0,001	15,25	p<0,001	8,67	p<0,001
20	97,92	91,67	83,50	6,25	p<0,001	14,42	p<0,001	8,17	p<0,001
25	98,50	91,42	83,58	7,08	p<0,001	14,92	p<0,001	7,83	p<0,001
30	98,50	91,58	85,17	6,92	p<0,001	13,41	p<0,001	6,41	p<0,001
35	98,58	91,33	83,58	7,25	p<0,001	15,00	p<0,001	7,75	p<0,001
40	98,67	91,58	84,33	7,08	p<0,001	14,33	p<0,001	7,25	p<0,001
45	98,40	90,20	85,38	8,20	p<0,001	13,03	p<0,001	4,83	p=0,001

Poznámka p = statistická signifikace

5.3 Výsledky Testu reakční doby a jeho srovnání v jednotlivých výškách

Na obrázku 11 a na obrázku 12 jsou vidět průměrné hodnoty reakční rychlosti a motorického tempa a jejich rozptyl v jednotlivých výškách. V tabulce 6 jsou zobrazeny rozdíly průměrů reakční rychlosti a motorického tempa v jednotlivých simulovaných nadmořských výškách. Ve 400 m byla průměrná reakční rychlost – 466,58 ms i průměrné motorické tempo – 126,75 ms nejrychlejší, nicméně rozdíly vůči výsledkům v 3500 m a 5000 m nebyly signifikantní. Ve 3500 m byla průměrná reakční rychlost i motorické tempo rychlejší než v 5000 m, ale rozdíly opět nebyly signifikantní.

Tabulka 6

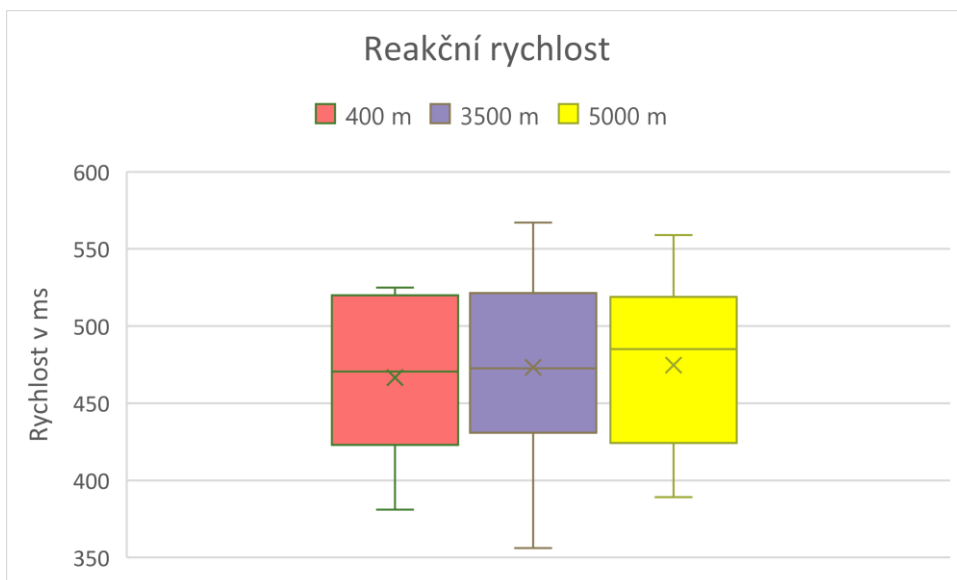
Výsledky a rozdíly Testu reakční doby v jednotlivých nadmořských výškách

	Průměr			Rozdíl		
	400 m	3500 m	5000 m	400-3500 m	400-5000 m	3500-5000 m
RT (ms)	466,58±50,34	473,17±57,87	474,67±51,42	p=0,77	p=0,7	p=0,95
MT (ms)	126,75±31,88	131,5±43,05	137,58±52,94	p=0,76	p=0,55	p=0,76

Poznámka RT = reakční rychlost, MT = motorické tempo, p = statistická signifikace

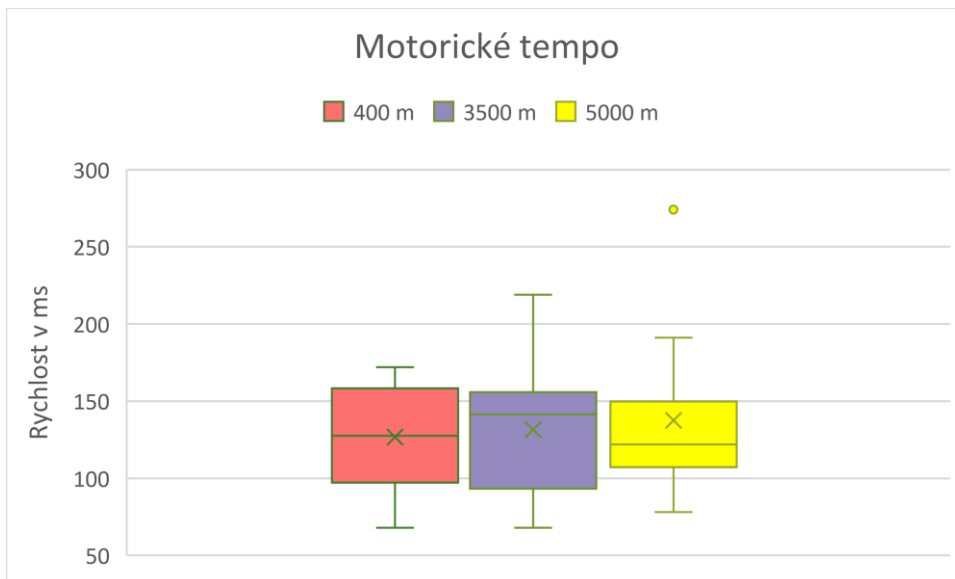
Obrázek 11

Krabicový graf reakční rychlosti v jednotlivých výškách



Obrázek 12

Krabicový graf motorického tempa v jednotlivých výškách



5.4 Výsledky Corsiho testu a jejich srovnání v jednotlivých výškách

V tabulce 7 a na obrázku 13 jsou uvedeny průměrné hodnoty a rozdíly průměrů výsledků Corsiho testu v jednotlivých výškách. Nejvyšší hodnoty BZP (6,5) byly naměřeny v normoxii ve 400 m, nicméně oproti hodnotám naměřeným ve 3500 m a 5000 m nebyly rozdíly signifikantní. Nejvyšší průměrný počet správných sekvencí (12,67) byl naměřen v simulované hypoxii v 5000 m, opět ani tento rozdíl nebyl vůči ostatním výškám signifikantní. V průměru nejvíce chybných sekvencí (4,50) bylo zaznamenáno při simulované nadmořské výšce v 5000 m. Rozdíl oproti ostatním výškám opět nebyl signifikantní. Největší průměrná sekvenční chyba (2,42) byla pozorována při simulované hypoxii v 5000 m opět bez signifikantním rozdílům vůči ostatním výškám.

Tabulka 7

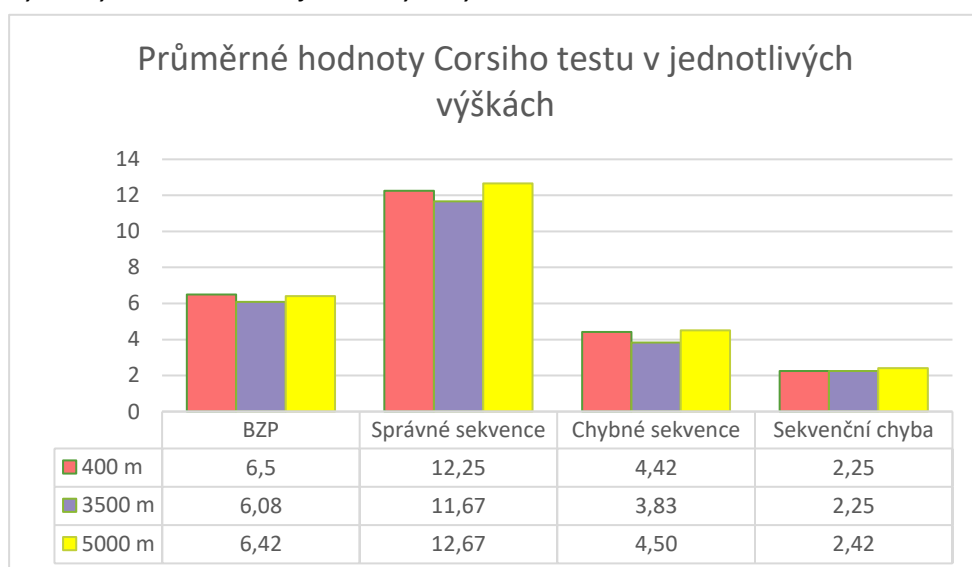
Výsledky a rozdíly Corsiho testu v jednotlivých nadmořských výškách.

	Průměr			Rozdíl		
	400 m	3500 m	5000 m	400-3500 m	400-5000 m	3500-5000 m
BZP	6,5±0,90	6,08±1,16	6,42±1,08	p=0,339	p=0,840	p=0,476
Správné sekvence	12,25±2,01	11,67±3,03	12,67±3,14	p=0,584	p=0,703	p=0,436
Chybné sekvence	4,42±1,00	3,83±1,19	4,5±1,09	p=0,208	p=0,847	p=0,167
Sekvenční chyba	2,25±1,22	2,25±0,87	2,42±1,51	p=1	p=0,768	p=0,744

Poznámka BZP = bezprostřední zapamatování pořadí kostek, p = statistická signifikace

Obrázek 13

Výsledky Corsiho testu v jednotlivých výškách



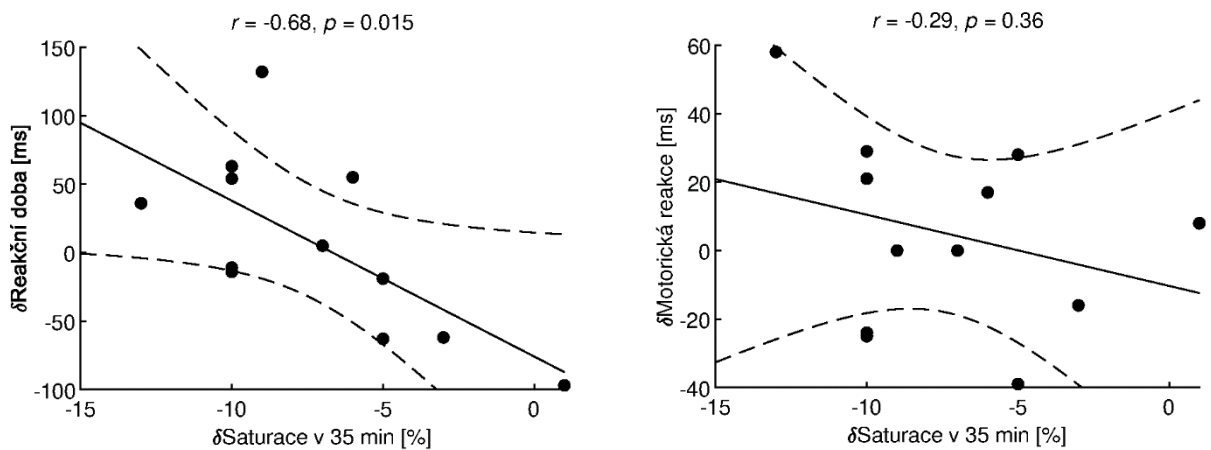
Poznámka BZP = bezprostřední zapamatování pořadí kostek

5.5 Korelace výsledků Testu reakční doby a SpO₂

Byla nalezena negativní signifikantní silná korelace ($r = -0,68$; $p = 0,015$) mezi reakční dobou v simulované nadmořské výšce 3500 m a 400 m a SpO₂ v 35. minutě. Korelace mezi reakční dobou v simulované nadmořské výšce 5000 m a 400 m a SpO₂ v 35. minutě nebyla signifikantní ($r = -0,32$; $p = 0,31$). Dále byla nalezena negativní slabá korelace ($r = -0,29$; $p = 0,36$) mezi motorickým tempem v simulované nadmořské výšce 3500 m a 400 m a SpO₂ v 35. minutě. Střední korelace mezi motorickým tempem v simulované nadmořské výšce 5000 m a 400 m a SpO₂ v 35. minutě taktéž nebyla signifikantní ($r = -0,54$; $p = 0,071$).

Obrázek 14

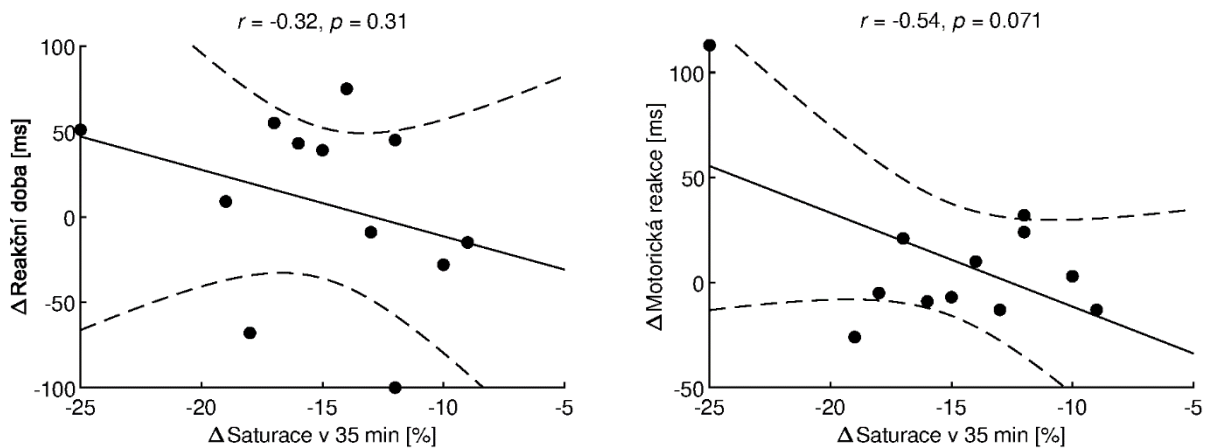
Test reakční doby, vztahy mezi rozdíly 3500 m a 400 m



Poznámka: δ = rozdíl hodnot mezi výškami 3500 m a 400 m, r = Pearsonův korelační koeficient p = statistická významnost korelačního koeficientu.

Obrázek 15

Test reakční doby, vztahy mezi rozdíly 5000 m a 400 m



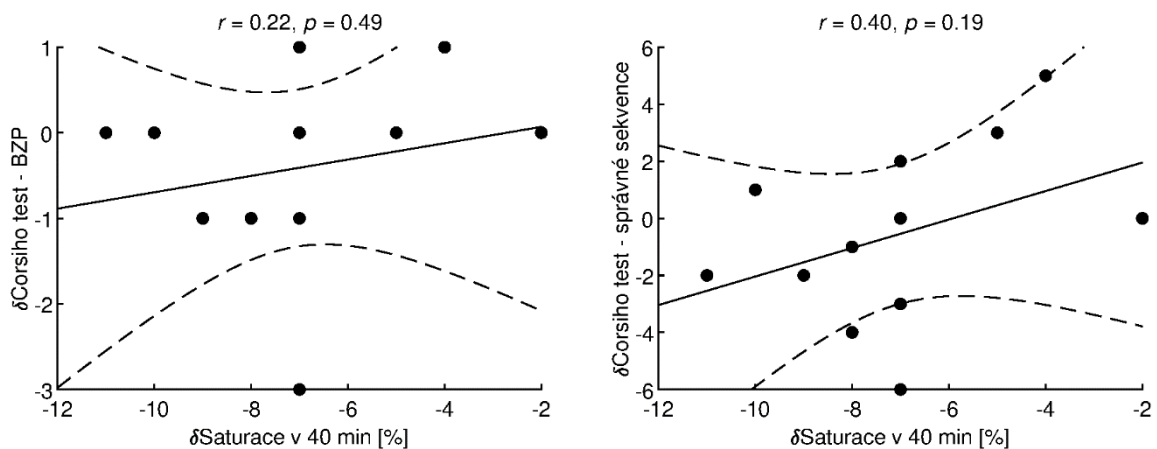
Poznámka: Δ = Rozdíl hodnot mezi výškami 5000 m a 400 m, r = Pearsonův korelační koeficient p = statistická významnost korelačního koeficientu.

5.6 Korelace výsledků Corsiho testu a SpO₂

Střední korelace ($r = 0,22$; $p = 0,49$) mezi BZP a SpO₂ v 40. minutě v simulované nadmořské výšce 3500 a 400 m nebyla signifikantní, stejně tak střední korelace ($r = 0,40$; $p = 0,19$) mezi správnými sekvencemi a SpO₂ v 40. minutě v simulované nadmořské výšce 3500 a 400 m nebyla signifikantní. V rámci analýzy vztahů mezi chybnými sekvencemi a sekvenčními chybami v Corsiho testu a SpO₂ ve 40. minutě byla zjištěna minimální, nebo dokonce žádná spojitost. Slabá korelace mezi těmito proměnnými se jevila blížká nule, naznačující nezávislost mezi nimi.

Obrázek 16

Corsiho test, vztahy mezi rozdíly 3500 m a 400 m

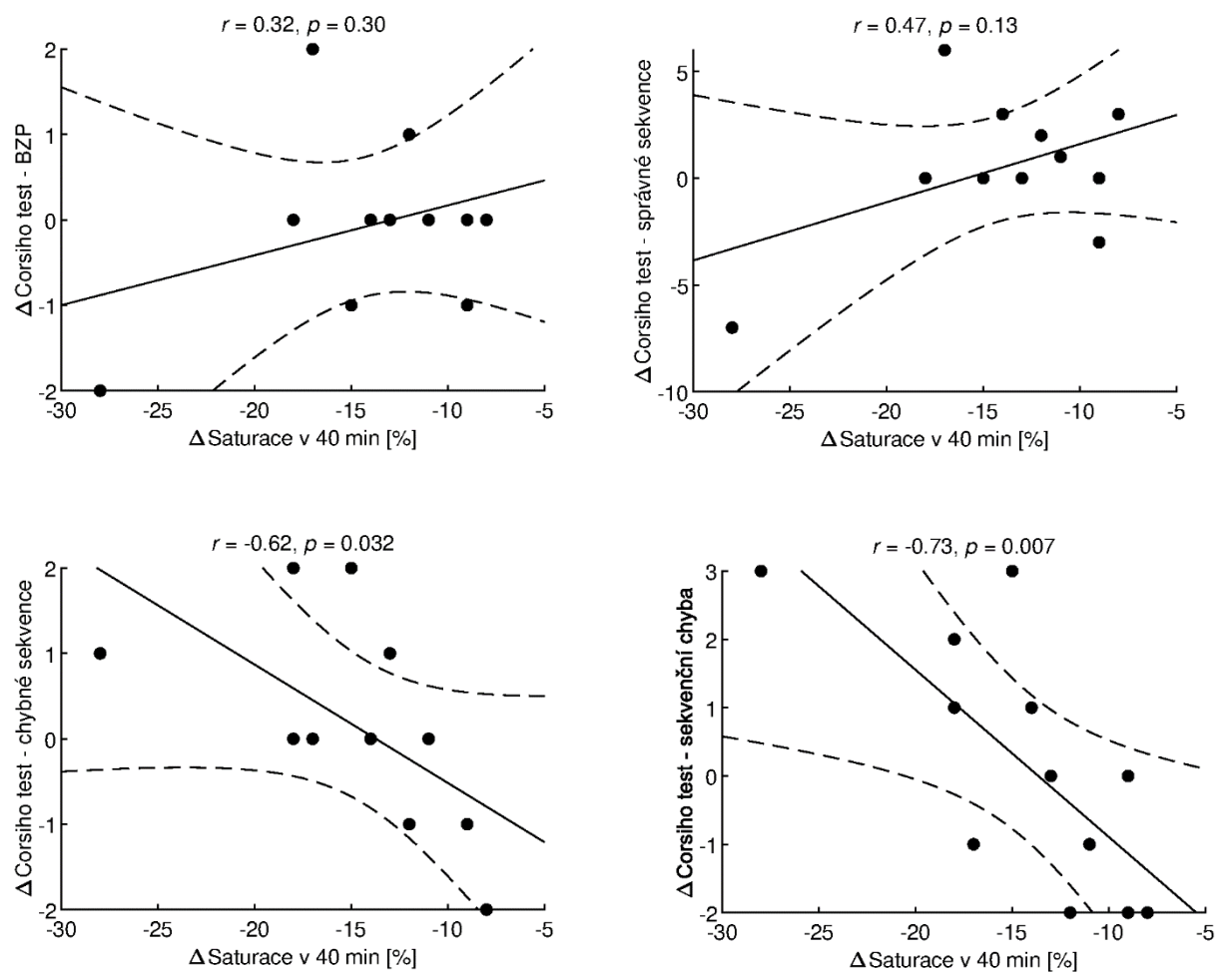


Poznámka: δ = rozdíl hodnot mezi výškami 3500 m a 400 m, r = Pearsonův korelační koeficient p = statistická významnost korelačního koeficientu.

Slabá korelace ($r = 0,32$; $p = 0,30$) mezi BZP a SpO_2 v 40. minutě v simulované nadmořské výšce 5000 a 400 m nebyla signifikantní, stejně tak střední korelace ($r = 0,47$; $p = 0,13$) mezi správnými sekvencemi a SpO_2 v 40. minutě v simulované nadmořské výšce 5000 a 400 m nebyla signifikantní. Byla nalezena signifikantní negativní silná korelace mezi chybnými sekvencemi ($r = -0,62$; $p = 0,032$) a SpO_2 ve 40. minutě v simulované nadmořské výšce 5000 a 400 m a dále byla nalezena signifikantní negativní silná korelace ($r = -0,73$; $p = 0,007$) mezi sekvenční chybou a SpO_2 v 40. minutě v simulované nadmořské výšce 5000 a 400 m.

Obrázek 17

Corsiho test, vztahy mezi rozdíly 5000 m a 400 m



Poznámka: Δ = Rozdíl hodnot mezi výškami 5000 m a 400 m, r = Pearsonův korelační koeficient p = statistická významnost korelačního koeficientu

6 DISKUSE

V rámci diplomové práce byl proveden výzkum, který se zabýval zkoumáním vlivu hypoxie na kognitivní funkce u žen, konkrétně na reakční dobu a krátkodobou paměť testovanou pomocí Corsiho testu. Oba testy jsou ze sady VTS. Pro tuto studii bylo vybráno 12 žen ve věku 19–25 let. Probandky byly vystaveny simulovaným nadmořským výškám 400 m (nejnižší dostupná výška, která lze simulovat hypoxikátorem), 3500 m a 5000 m. Simulované výšce 3500 m odpovídá podle Sinexe a Chapmana (2015) FiO_2 zhruba 14,02 % a pro 5000 m je FiO_2 zhruba 11,68 %.

V průběhu expozice byly probandkám průběžně měřeny hodnoty SpO_2 , zatímco dýchaly hypoxickou směs ze simulované nadmořské výšky skrze dýchací masku připojenou k hypoxikátoru. Po této expozici trvající 30 minut začalo plnění Testu reakční doby a Corsiho testu, přičemž probandky stále dýchaly směs vzduchu z hypoxikátoru. Celková doba expozice včetně plnění testů trvala do 40 minut.

V normoxii se průměrné hodnoty SpO_2 pohybovaly nad 98 %. Shapiro, Stein, MacRae a O'Reilly (2023) uvádí, že tyto hodnoty SpO_2 jsou pro danou věkovou skupinu zcela běžné. Jedinou výjimkou, kdy hodnoty byly nižší než 98 % ($97,92 \pm 1$ %), byla 20. minuta expozice. Toto minimum zaznamenal ve stejný čas i Zachrdla (2023) a Turner, Barker-Collo, Connell a Gant (2015). Podle uvedených autorů lze toto snížení přičítat nahromaděnému CO_2 v dýchací masce. Následné opětovné zvýšení hodnot SpO_2 lze nejspíše přičítat fyziologické reakci těla v rámci zvýšení frekvence a hloubky dýchání či zvýšení SF a KT.

Průměrné hodnoty SpO_2 v simulované nadmořské výšce 3500 m se pohybovaly kolem 91–92 %, přičemž nejmenší průměrná hodnota byla zaznamenána ve 35. minutě $91,33 \pm 3,50$ %. V simulované nadmořské výšce 5000 m se průměrná SpO_2 pohybovala od $83,17 \pm 5,01$ – $87,25 \pm 4,90$ %, přičemž její nejmenší průměrná hodnota byla ve 20. minutě, a to $83,17 \pm 5,01$ %. Hodnoty SpO_2 naměřené při hypoxii v simulovaných výškách 3500 a 5000 m jsou podobné jako v řadě studií, v kterých se měřila SpO_2 (Bilo et al., 2015; Faulhaber et al., 2012; C. W. Liu et al., 2019; Moraga et al., 2018; Rao et al., 2015; Rupp et al., 2013).

Rozdíly v reakční rychlosti i motorickém tempu při simulovaných nadmořských výškách 400, 3500 a 5000 m byly minimální. V hlavním sledovaném ukazateli u Corsiho testu (BZP) sice dopadla nejlépe normoxie, ale rozdíly výsledků mezi jednotlivými simulovanými nadmořskými výškami nebyly signifikantní. Z výsledků je tedy zřejmé, že krátkodobá expozice hypoxií v simulovaných nadmořských výškách 3500 a 5000 m u žen neovlivňuje krátkodobou paměť ani rychlost reakce.

Nakata, Miyamoto, Ogoh, Kakigi a Shibasaki (2017) ve své studii měřili reakční rychlost pomocí Go/no-go testu a po 30 minutách expozice neregistrovali žádný signifikantní rozdíl mezi

hypoxií ve 4500 m a normoxií. Toto tvrzení potvrzují i výsledky Assaf, Kuzmanović, Vučković, a Ružić (2021), kteří v rámci The Ruler Drop testu nezjistili žádné signifikantní rozdíly v rychlosti reakce v hypoxii (2800 m) oproti normoxii. Rozdílné výsledky v reakčních časech v různých studiích mohou být spojeny s délkou expozice hypoxií. Například Li et al. (2012) zjistil, že vizuální reakční čas v hypoxii (3900 m) nebyl signifikantně odlišný od reakčního času v normoxii. Na druhou stranu, čas auditivní reakce byl signifikantně kratší v normoxii. Je důležité poznamenat, že tato studie prováděla měření reakčního času v hypoxii až po 5. dni expozice. Tato studie byla prováděna ve vysokohorském prostředí a účastnilo se jí 54 probandů. Mackintosh et al. (1988) hodnotil psychomotorické výkonnosti u 20 jedinců. Byly zaznamenány změny v reakční v nadmořské výšce (5008 m), nicméně probandi byli vystaveni hypoxickému prostředí delší dobu a taktéž mohli být ovlivněni AHN. Shukitt-Hale, Banderet a Lieberman (1998) se ve své práci věnovali mimo jiné vlivu hypoxie v simulované nadmořských výškách 4200 a 4700 m na reakční rychlost v rámci testu „Simple (reaction time)“ a došli k závěrům, že hypoxie má signifikantní vliv ve smyslu delší doby reakce, ale opět byla expozice hypoxickému prostředí delší, a to konkrétně 4–5 hodin. To potvrzuje i Pramsöhler et al. (2017), kteří došli k závěru, že 7hodinová expozice hypoxií neovlivňuje motorické tempo, ale reakční čas se oproti normoxii ve výškách 3500 a 5500 m signifikantně zhoršil.

De Aquino Lemos et al. (2012) ve své studii při simulované nadmořské výšce 4500 m taktéž došel na jak zhoršení reakčního času, tak i zhoršení krátkodobé paměti testovanou Corsiho bloky. Doba expozice hypoxií ovšem byla 24 h. Zhoršení krátkodobé paměti testované "Obrázkovým rozpoznávacím testem" ve své práci rovněž registroval Shi et al. (2016). Testování probíhalo po 3 hodinách v nadmořské výšce 4280 m. Ghosh, Gaur, Sinha a Aravindakshan (2020) nezaznamenali signifikantní zhoršení krátkodobé paměti testované Corsiho testem v nadmořské výšce 4267 m. Asmaro, Mayall a Ferguson (2013) pozorovali zhoršení krátkodobé paměti testované "Testem přímé řady čísel" v simulované nadmořské výšce 5334 a ještě větší zhoršení oproti normoxii registrovali v simulované nadmořské výšce 7620 m. Všechny výše zmíněné studie pracovaly s mužským nebo genderově smíšeným výzkumným souborem.

V rámci diskuse k výsledkům této diplomové práce je důležité zdůraznit, proč akutní hypoxie neměla vliv na kognitivní funkce u žen při simulovaných nadmořských výškách 3500 a 5000 m. Výsledky výše uvedených studií naznačují, že jedním z klíčových faktorů může být délka expozice hypoxickému prostředí. Analýza předchozích výzkumů naznačuje, že pokud byla doba expozice hypoxií kratší než 30 minut, kognitivní funkce zůstávaly neměnné i při nadmořských výškách srovnatelných s těmi v naší studii. Další zjištění naznačují, že pokud nastalo zhoršení kognitivních funkcí, bylo to zejména po delší době expozice zejména v řádu několika hodin a více nebo při vyšších nadmořských výškách. To potvrzuje i Fan et al. (2024), podle kterého jsou efekty

vysokohorského prostředí na fyzické a duševní stavy dynamické a vyvíjejí se v závislosti na čase stráveném ve výšce (Fan et al., 2024). Na druhou stranu dlouhotrvající expozice může paradoxně vést k aklimatizaci a částečnému zlepšení kognitivních funkcí (Zubieta-Calleja et al., 2011).

Druhým aspektem může být nadmořská výška samotná. Některé metody hodnocení kognitivních funkcí nemusí být citlivé na relativně nízké nadmořské výšky (Fan et al., 2024). Proto je důležité při výběru metod hodnocení vycházet ze studií s podobnými výškovými podmínkami, aby byly výsledky co nejpřesnější a srovnatelné.

Z výzkumu Zachrdly (2023), který se věnoval vlivu 30minutové hypoxie na kognitivní funkce čistě u mužského souboru stejné věkové kategorie ve stejných simulovaných nadmořských výškách je patrné, že daná expozice hypoxii neovlivňuje rychlost reakce u mužů. Ke stejnému závěru došla i tato práce u žen. Zachrdla (2023) dále došel k signifikantnímu zlepšení krátkodobé paměti v rámci sledovaného parametru „počet správných sekvencí“ v 5000 m oproti 3500 m. Dané zlepšení bylo registrováno i v této práci, ale nebylo signifikantní. Autor toto zlepšení připisuje kompenzačním mechanismům mozku, kdy řada studií (Iwasaki et al., 2011; Lawley et al., 2017; Smith & Ainslie, 2017; Vestergaard et al., 2016) potvrzuje, že zvýšení CBF koreluje se snížením SpO₂ arteriální krve. Udržení metabolismu mozku by tedy mohlo vést k zabránění vzniku poruch kognitivních funkcí.

Dále byla v předložené práci nalezena negativní silná korelace ($r = -0,68$, $p = 0,015$) mezi reakční dobou ve 3500 a 400 m a SpO₂ ve 35. minutě. Rovněž byla nalezena negativní signifikantní silná korelace ($r = -0,62$; $p = 0,032$) mezi chybnými sekvencemi v Corsiho testu v 5000 a 400 m a SpO₂ ve 40. minutě a taktéž byla nalezena negativní signifikantní silná korelace ($r = -0,73$; $p = 0,007$) mezi sekvenční chybou v 5000 a 400 m a SpO₂ ve 40. minutě. Tyto korelace vyjadřují, že čím byla nižší saturace ve 3500 m vůči 400 m, tím byla delší doba reakce ve 3500 m vůči 400 m a že čím byla nižší saturace v 5000 m vůči 400 m, tím byla větší chybovost v Corsiho testu. Probandky u kterých docházelo k většímu poklesu hodnoty SpO₂ v důsledku expozice vyšší nadmořské výšce v porovnání s normoxií, bylo také pozorováno zhoršení kognitivních funkcí.

Při nedostatku kyslíku se hodnoty PaO₂ a SpO₂ postupně snižují s rostoucí intenzitou hypoxie. Předpokládá se, že pokles saturace kyslíkem v mozku a následné fyziologické procesy vedou ke zhoršení kognitivních funkcí při hypoxii a že se tyto poruchy zintenzivňují s narůstající intenzitou hypoxie. (Ortega et al., 2004; Virués-Ortega et al., 2006; Yan, 2014). Sohn, Chung a Jang (2005) ve své studii navíc zjistili, že došlo ke zlepšení kognitivního výkonu a za podmínek inhalace 30 % kyslíku. Výše zmíněné korelace tedy podporují hypotézu, že nižší hodnoty SpO₂ souvisí se zhoršením kognitivních funkcí.

7 ZÁVĚRY

Tato diplomová práce zkoumala vliv akutní 30 min hypoxie na kognitivní funkce u žen v různých simulovaných nadmořských výškách odpovídajícím 400 m, 3500 m a 5000 m. Kognitivní funkce byly hodnoceny Testem reakční doby a Corsiho testem.

Z dosažených výsledků je patrné, že SpO₂ signifikantně klesala se zvyšující se nadmořskou výškou. Přestože byla nalezena signifikantní změna v SpO₂, 30minutová hypoxie neprokázala negativní vliv na reakční rychlost ani na krátkodobou paměť u zkoumané kohorty žen.

Dále byla nalezena negativní silná korelace mezi reakční dobou ve 3500 a 400 m a SpO₂ ve 35. minutě. Rovněž byla nalezena negativní silná korelace mezi chybnými sekvencemi v Corsiho testu v 5000 a 400 m a SpO₂ ve 40. minutě a taktéž byla nalezena negativní silná korelace mezi sekvenční chybou v 5000 a 400 m a SpO₂ ve 40. minutě. Nalezené korelace naznačují souvislost mezi sníženou hodnotou SpO₂ a zhoršenou kognitivní funkcí.

Závěrem lze konstatovat, že rostoucí hypoxie nevede ke zpomalení reakční doby, ani ke zhoršení krátkodobé paměti během 30minutové expozice u žen ve zkoumaných výškách.

8 SOUHRN

S narůstajícím zájmem o horské aktivity a stoupajícím počtem turistů navštěvujících horské oblasti, je nezbytné porozumět vlivu hypoxie na kognitivní funkce u lidí vystavených výškovým podmínkám. Hypoxie, stav nedostatku kyslíku v těle, může mít významné dopady na rozhodování a kognitivní výkonnost, zejména u profesí, které vyžadují rychlé a efektivní myšlení. Studie zkoumající tento fenomén se však často zaměřují na mužské populace, což brání plně porozumět genderovým rozdílům v reakcích na hypoxii.

Hlavním cílem této diplomové práce bylo zkoumat vliv akutní hypoxie na kognitivní funkce u žen. V rámci tohoto výzkumu bylo sledováno, jak akutní hypoxie ovlivňuje reakční časy a krátkodobou paměť u 12 žen ve věku 19–25 let. Studie zahrnovala tři měření: jedno kontrolní provedené v simulované nadmořské výšce 400 m a dvě zátěžová měření provedené v simulovaných výškách 3500 m a 5000 m.

Během měření probandky inhalovaly vzduch z hypoxikátoru, ke kterému byly připojeny skrze dýchací masku. Po 30minutové inhalaci směsi vzduchu odpovídajícím jednotlivým nadmořským výškám následovalo plnění Testu reakční doby a Corsiho testu zaměřeného na krátkodobou paměť. Celková doba jednoho měření trvala do 40 minut. Probandkám byly průběžně zaznamenávány hodnoty SpO_2 z pulzního oxymetru.

Hodnoty SpO_2 podle klesaly se zvyšující se nadmořskou výškou. Nejvyšší průměrné hodnoty SpO_2 byly naměřené v normoxii a nejmenší průměrné hodnoty SpO_2 byly naměřeny v 5000 m.

Přestože byla nalezena signifikantní změna v SpO_2 mezi jednotlivými výškami, 30minutová hypoxie neprokázala negativní vliv na reakční rychlost ani na krátkodobou paměť u zkoumané kohorty žen. V porovnání s ostatními studiemi, u kterých došlo ke zhoršení kognitivních funkcí vlivem hypoxie vypadá být rozhodující zejména délka expozice. Je předmětem dalšího zkoumání, jaká je časová hranice pro zhoršení úrovně kognitivních funkcí při stejných nadmořských výškách. Dalším důvodem, proč daná expozice neovlivnila kognitivní funkce může být zvýšení CBF, které koreluje se snížením SpO_2 arteriální krve. Udržení metabolismu mozku by tedy mohlo vést k zabránění vzniku poruch kognitivních funkcí.

Byly nalezeny silné negativní korelace ze, kterých plyne, že probandky, u kterých docházelo k většímu poklesu hodnoty SpO_2 v důsledku expozice vyšší nadmořské výšce v porovnání s normoxií, bylo také pozorováno zhoršení kognitivních funkcí.

9 SUMMARY

With the growing interest in mountain activities and the increasing number of tourists visiting mountain areas, it is essential to understand the effect of hypoxia on cognitive function in people exposed to high-altitude conditions. Hypoxia, a state of oxygen deprivation in the body, can have significant effects on decision making and cognitive performance, especially in occupations that require fast and efficient thinking. However, studies examining this phenomenon often focus on male populations, which prevents a full understanding of gender differences in responses to hypoxia.

The main aim of this thesis was to investigate the effect of acute hypoxia on cognitive function in women. This research investigated how acute hypoxia affects reaction times and short-term memory in 12 women aged 19-25 years. The study included three measurements: one control measurement taken at a simulated altitude of 400 m and two stress measurements taken at simulated altitudes of 3500 m and 5000 m.

During the measurements, the probands inhaled air from a hypoxicator to which they were connected through a breathing mask. A 30minute inhalation of a mixture of air corresponding to each altitude was followed by performance of the Reaction Time Test and the Corsi Test for short-term memory. The total time for one measurement was up to 40 minutes. The subjects' SpO₂ values were continuously recorded from a pulse oximeter.

SpO₂ values decreased with increasing altitude, according to the results. The highest mean SpO₂ values were measured at normoxia and the lowest mean SpO₂ values were measured at 5000 m.

Although a significant change in SpO₂ was found between altitudes, 30 min of hypoxia did not show a negative effect on reaction time or short-term memory in the cohort of women studied. Compared to other studies in which cognitive impairment due to hypoxia occurred, the length of exposure seems to be particularly crucial. It is a matter for further investigation what is the time threshold for cognitive deterioration at the same altitudes. Another reason why a given exposure did not affect cognitive function may be an increase in CBF that correlates with a decrease in arterial blood SpO₂. Thus, maintaining brain metabolism could lead to the prevention of cognitive impairment.

Strong negative correlations were found, suggesting that probands who experienced a greater decrease in SpO₂ due to exposure to higher altitude compared to normoxia also showed cognitive impairment.

10 REFERENČNÍ SEZNAM

- Aebi, M. R., Bourdillon, N., Noser, P., Millet, G. P., & Bron, D. (2020). Cognitive Impairment During Combined Normobaric vs. Hypobaric and Normoxic vs. Hypoxic Acute Exposure. *Aerospace Medicine and Human Performance*, 91(11), 845–851. <https://doi.org/10.3357/AMHP.5616.2020>
- Alexandrov, A. K., & Fedoseev, L. M. (2012). *Long-term memory: mechanisms, types and disorders*. Nova Science Publishers.
- Ando, S., Komiyama, T., Sudo, M., Higaki, Y., Ishida, K., Costello, J. T., & Katayama, K. (2020). The interactive effects of acute exercise and hypoxia on cognitive performance: A narrative review. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 30(3), 384–398. <https://doi.org/10.1111/sms.13573>
- Arif, S. M. U., Brizzi, M., Carli, M., & Battisti, F. (2022). Human reaction time in a mixed reality environment. *Frontiers in Neuroscience*, 16. <https://doi.org/10.3389/fnins.2022.897240>
- Asmaro, D., Mayall, J., & Ferguson, S. (2013). Cognition at Altitude: Impairment in Executive and Memory Processes Under Hypoxic Conditions. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 84(11), 1159–1165. <https://doi.org/10.3357/ASEM.3661.2013>
- Assaf, G. K., Kuzmanović, J., Vučković, V., & Ružić, L. (2021). The effects of short-term hypoxia on upper body isometric strength and reaction time. *Hrvatski športskomedicinski vjesnik*, 36(2), 79–83. <https://hrcak.srce.hr/277880>
- Astapenko, D., & Černý, V. (2019). Krevní tlak-fyzika a fyziologie. *Anesteziologie a Intenzivní Medicína*, 30(5), 241–243.
- Astridge, D. J., McKenna, M., Campbell, A., & Turner, A. P. (2024). Haemoglobin mass responses and performance outcomes among high-performance swimmers following a 3-week live-high, train-high camp at 2320 m. *European Journal of Applied Physiology*. <https://doi.org/10.1007/s00421-024-05454-x>
- Azam, F., Roshan, A., & Siddiqui, L. (2023). Pulse oximeter and different skin tones in Pakistan. *Journal of the Pakistan Medical Association*, 73(7), 1563–1563. <https://doi.org/10.47391/JPMA.7899>
- Baddeley, A. D. (2001). Is working memory still working? *American Psychologist*, 56(11), 851–864. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.56.11.851>
- Bartoš, A. (2022). *Kognitivní funkce, soběstačnost a kognitivní syndromy*.
- Bartůňková, S., Heller, J., Kohlíková, E., Petr, M., Smitka, K., Šteffl, M., & Vránová, J. (2013). *Fyziologie pohybové zátěže*. Univerzita Karlova v Praze, Fakulta tělesné výchovy a sportu.

- Basnyat, B., & Murdoch, D. R. (2003). High-altitude illness. *The Lancet*, *361*(9373), 1967–1974. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(03\)13591-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(03)13591-X)
- Beenish S. Bhutta, Faysal Alghoula, & Ilya Berim. (2022). *Hypoxia*. StatPearls.
- Bickler, P. E., Feiner, J. R., Lipnick, M. S., Batchelder, P., MacLeod, D. B., & Severinghaus, J. W. (2017). Effects of Acute, Profound Hypoxia on Healthy Humans: Implications for Safety of Tests Evaluating Pulse Oximetry or Tissue Oximetry Performance. *Anesthesia & Analgesia*, *124*(1), 146–153. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000001421>
- Bilchick, K. C., & Berger, R. D. (2006). Heart Rate Variability. *Journal of Cardiovascular Electrophysiology*, *17*(6), 691–694. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8167.2006.00501.x>
- Bilo, G., Villafuerte, F. C., Faini, A., Anza-Ramírez, C., Revera, M., Giuliano, A., Caravita, S., Gregorini, F., Lombardi, C., Salvioni, E., Macarlupu, J. L., Ossoli, D., Landaveri, L., Lang, M., Agostoni, P., Sosa, J. M., Mancía, G., & Parati, G. (2015). Ambulatory Blood Pressure in Untreated and Treated Hypertensive Patients at High Altitude. *Hypertension*, *65*(6), 1266–1272. <https://doi.org/10.1161/HYPERTENSIONAHA.114.05003>
- Bizon, J. L., LaSarge, C. L., Montgomery, K. S., McDermott, A. N., Setlow, B., & Griffith, W. H. (2009). Spatial reference and working memory across the lifespan of male Fischer 344 rats. *Neurobiology of Aging*, *30*(4), 646–655. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2007.08.004>
- Bjurstén, H., Ederoth, P., Sigurdsson, E., Gottfredsson, M., Syk, I., Einarsson, O., & Gudbjartsson, T. (2010). S100B Profiles and Cognitive Function at High Altitude. *High Altitude Medicine & Biology*, *11*(1), 31–38. <https://doi.org/10.1089/ham.2009.1041>
- Blalock, E. M., Chen, K.-C., Sharrow, K., Herman, J. P., Porter, N. M., Foster, T. C., & Landfield, P. W. (2003). Gene Microarrays in Hippocampal Aging: Statistical Profiling Identifies Novel Processes Correlated with Cognitive Impairment. *The Journal of Neuroscience*, *23*(9), 3807–3819. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.23-09-03807.2003>
- Bonato, G., Goodman, S. P. J., & Tjoh, L. (2023). Physiological and performance effects of live high train low altitude training for elite endurance athletes: A narrative review. *Current Research in Physiology*, *6*, 100113. <https://doi.org/10.1016/j.crphys.2023.100113>
- Bonetti, D. L., & Hopkins, W. G. (2009). Sea-Level Exercise Performance Following Adaptation to Hypoxia. *Sports Medicine*, *39*(2), 107–127. <https://doi.org/10.2165/00007256-200939020-00002>
- Boron, W. F., & Boulpaep, E. L. (2016). *Medical physiology E-book*. Elsevier Health Sciences.
- Botek, M., Krejčí, J., & McKune, A. (2018). Sex Differences in Autonomic Cardiac Control and Oxygen Saturation Response to Short-Term Normobaric Hypoxia and Following Recovery:

- Effect of Aerobic Fitness. *Frontiers in Endocrinology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fendo.2018.00697>
- Botek, M., Neuls, F., Klimešová, I., & Vyhnánek, J. (2017). *Fyziologie pro tělovýchovné obory* (1. Vydání). Univerzita Palackého v Olomouci.
- Botek Michal, Krejčí Jakub, Andrew J., & McKune. (2017). *Variabilita srdeční frekvence v tréninkovém procesu: historie, současnost a perspektiva*. Univerzita Palackého v Olomouci.
- Brown, J. P., & Grocott, M. P. (2013). Humans at altitude: physiology and pathophysiology. *Continuing Education in Anaesthesia Critical Care & Pain*, 13(1), 17–22. <https://doi.org/10.1093/bjaceaccp/mks047>
- Cahill, L., & McGaugh, J. L. (1998). Mechanisms of emotional arousal and lasting declarative memory. *Trends in Neurosciences*, 21(7), 294–299. [https://doi.org/10.1016/S0166-2236\(97\)01214-9](https://doi.org/10.1016/S0166-2236(97)01214-9)
- Cardenosa, M. (2021). Normobaric Hypoxia Exposure on Substrate Oxidation Pattern: Sex Differences. *Acta Endocrinologica (Bucharest)*, 17(1), 14–21. <https://doi.org/10.4183/aeb.2021.14>
- Casey, B. M., Andrews, N., Schindler, H., Kersh, J. E., Samper, A., & Copley, J. (2008). The Development of Spatial Skills Through Interventions Involving Block Building Activities. *Cognition and Instruction*, 26(3), 269–309. <https://doi.org/10.1080/07370000802177177>
- Conkin, J. (2011). PH2O and simulated hypobaric hypoxia. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 82(12), 1157–1158. <https://doi.org/10.3357/ASEM.3145.2011>
- Costa-Mattioli, M., & Sonenberg, N. (2008). *Chapter 5 Translational control of gene expression: A molecular switch for memory storage* (s. 81–95). [https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(07\)00005-2](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(07)00005-2)
- Cowley, E. S., Olenick, A. A., McNulty, K. L., & Ross, E. Z. (2021). “Invisible Sportswomen”: The Sex Data Gap in Sport and Exercise Science Research. *Women in Sport and Physical Activity Journal*, 29(2), 146–151. <https://doi.org/10.1123/wspaj.2021-0028>
- Curd-Christiansen, C. (2009). *Principles and practice of aviation medicine*. World scientific.
- Čihák, R. (2016a). *Anatomie 3 Svazek II – Centrální nervový systém* (Třetí vydání). Grada Publishing.
- Čihák, R. (2016b). *Anatomie 3 Svazek III – Periferní nervový systém Kůže a kožní orgány Smyslové orgány*. Grada Publishing.
- Čihák, R., & Grim, M. (2016). *Anatomie 3 Svazek I – Nauka o cévách* (Třetí vydání). Grada Publishing.
- Das, J. P., & Misra, S. B. (2014). *Cognitive planning and executive functions: Applications in management and education*. SAGE Publications India.

- de Aquino Lemos, V., Antunes, H. K. M., dos Santos, R. V. T., Lira, F. S., Tufik, S., & de Mello, M. T. (2012). High altitude exposure impairs sleep patterns, mood, and cognitive functions. *Psychophysiology*, *49*(9), 1298–1306. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2012.01411.x>
- Dehnert, C., Berger, M. M., Mairbäurl, H., & Bärtsch, P. (2007). High altitude pulmonary edema: A pressure-induced leak. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, *158*(2–3), 266–273. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2007.05.002>
- Draghici, A. E., & Taylor, J. A. (2016). The physiological basis and measurement of heart rate variability in humans. *Journal of Physiological Anthropology*, *35*(1), 22. <https://doi.org/10.1186/s40101-016-0113-7>
- Druga, R., & Grim, M. (2013). *Anatomie periferního nervového systému, smyslových orgánů a kůže*. Galén Karolinium.
- Drury, R. L., Porges, S., Thayer, J., & Ginsberg, J. P. (2019). Editorial: Heart Rate Variability, Health and Well-Being: A Systems Perspective. *Frontiers in Public Health*, *7*. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2019.00323>
- Eysenck, M. W. (1988). Models of Memory: Information Processing. In *Benzodiazepine Receptor Ligands, Memory and Information Processing* (s. 3–11). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-73288-1_1
- Fan, H., Meng, Y., Zhu, L., Fan, M., Wang, D., & Zhao, Y. (2024). A review of methods for assessment of cognitive function in high-altitude hypoxic environments. *Brain and Behavior*, *14*(2). <https://doi.org/10.1002/brb3.3418>
- Faulhaber, M., Gatterer, H., Bernardi, L., & Burtscher, M. (2012). Intermittent hypoxia does not affect arterial oxygen saturation at rest during short-term exposure to simulated altitudes up to 4000 m*. *Medicina Sportiva*, *16*(3), 87–91. <https://doi.org/10.5604/17342260.1011383>
- Flesch, J. D., & Dine, C. J. (2012). Lung Volumes. *Chest*, *142*(2), 506–510. <https://doi.org/10.1378/chest.11-2964>
- Fuentes, S., & Chowdhury, Y. S. (2020). *Fraction of inspired oxygen*.
- Ghosh, D., Gaur, D., Sinha, B., & Aravindakshan, B. (2020). Concurrent white noise and acute hypobaric hypoxia: Effect on aviation cognitive performance. *Indian Journal of Aerospace Medicine*, *64*, 82. https://doi.org/10.25259/IJASM_28_2020
- Gillnerová, I. (2000). *Slovník základních pojmů z psychologie*. Fortuna.
- Griva, K., Stygall, J., Wilson, M. H., Martin, D., Levett, D., Mitchell, K., Mythen, M., Montgomery, H. E., Grocott, M. P., Aref-Adib, G., Edsell, M., Plant, T., Imray, C., Cooke, D., Harrington, J., Khosravi, M., & Newman, S. P. (2017). Caudwell Xtreme Everest: A prospective study of the

- effects of environmental hypoxia on cognitive functioning. *PLOS ONE*, 12(3), e0174277. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174277>
- Hall, J. E. (2016). *Guyton and Hall textbook of medical physiology* (13th edition). Elsevier.
- Harvey, P. D. (2019). Domains of cognition and their assessment. *Dialogues in Clinical Neuroscience*, 21(3), 227–237. <https://doi.org/10.31887/DCNS.2019.21.3/pharvey>
- Imray, C., Wright, A., Subudhi, A., & Roach, R. (2010). Acute Mountain Sickness: Pathophysiology, Prevention, and Treatment. *Progress in Cardiovascular Diseases*, 52(6), 467–484. <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2010.02.003>
- Iwasaki, K.-I., Zhang, R., Zuckerman, J. H., Ogawa, Y., Hansen, L. H., & Levine, B. D. (2011). Impaired Dynamic Cerebral Autoregulation at Extreme High Altitude Even after Acclimatization. *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism*, 31(1), 283–292. <https://doi.org/10.1038/jcbfm.2010.88>
- Joukal, M., & Vargová, L. (2014). *Anatomie dýchacího, kardiovaskulárního, lymfatického a nervového systému pro fyzioterapeuty*. Masarykova univerzita.
- Kammerer, T., Faihs, V., Hulde, N., Bayer, A., Hübner, M., Brettner, F., Karlen, W., Kröpfl, J. M., Rehm, M., Spengler, C., & Schäfer, S. T. (2018). Changes of hemodynamic and cerebral oxygenation after exercise in normobaric and hypobaric hypoxia: associations with acute mountain sickness. *Annals of Occupational and Environmental Medicine*, 30(1), 66. <https://doi.org/10.1186/s40557-018-0276-2>
- Kim, C., Nan, B., Kong, S., & Harlow, S. (2012). Changes in Iron Measures over Menopause and Associations with Insulin Resistance. *Journal of Women's Health*, 21(8), 872–877. <https://doi.org/10.1089/jwh.2012.3549>
- Kim, C.-H., Ryan, E. J., Seo, Y., Peacock, C., Gunstad, J., Muller, M. D., Ridgel, A. L., & Glickman, E. L. (2015). Low intensity exercise does not impact cognitive function during exposure to normobaric hypoxia. *Physiology & Behavior*, 151, 24–28. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2015.07.003>
- Kittnar, O., Jandová, K., Kuriščák, E., Langmeier, M., Marešová, D., Mlček, M., Mysliveček, J., Pokorný, J., Riljak, V., & Trojan, S. (2021). *Přehled lékařské fyziologie*. Grada Publishing.
- Kittnar, O., Kuriščák, E., Langmeier, M., Marešová, D., Mlček, M., Mysliveček, J., Pokorný, J., Riljak, V., & Trojan, S. (2020). *Lékařská fyziologie* (2. vydání). Grada Publishing.
- Klucká, J., & Volfová, P. (2016). *Kognitivní trénink v praxi* (2. rozšířené vydání). Grada Publishing.
- Kočárek, E. (2010). *Biologie člověka 2*. Scientia.
- Kotsopoulos, D., Makosz, S., Zambrzycka, J., & Dickson, B. A. (2021). Individual differences in young children's visual-spatial abilities. *Early Child Development and Care*, 191(14), 2246–2259. <https://doi.org/10.1080/03004430.2019.1699918>

- Kozyreva, T. (2013). Adaptation to cold of homeothermic organism: changes in afferent and efferent links of the thermoregulatory system. *Journal of Experimental and Integrative Medicine*, 3(4), 255. <https://doi.org/10.5455/jeim.010813.ir.013>
- Krakoff, L. R., Gillespie, R. L., Ferdinand, K. C., Fergus, I. V., Akinboboye, O., Williams, K. A., Walsh, M. N., Bairey Merz, C. N., & Pepine, C. J. (2014). 2014 Hypertension Recommendations From the Eighth Joint National Committee Panel Members Raise Concerns for Elderly Black and Female Populations. *Journal of the American College of Cardiology*, 64(4), 394–402. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2014.06.014>
- Krejza, J., Siemkowicz, J., Sawicka, M., Szylak, A., Kochanowicz, J., Mariak, Z., Lewko, J., Spektor, V., Babikian, V., & Bert, R. (2003). Oscillations of cerebrovascular resistance throughout the menstrual cycle in healthy women. *Ultrasound in Obstetrics & Gynecology*, 22(6), 627–632. <https://doi.org/10.1002/uog.907>
- Křivohlavý, J., & Preiss, M. (2009). *Trénování paměti a poznávacích schopností*. Grada Publishing.
- Kulišťák, P. (2017). *Klinická neuropsychologie v praxi*. Karolinium.
- Lahiri, M. K., Chicos, A., Bergner, D., Ng, J., Banthia, S., Wang, N. C., Subačius, H., Kadish, A. H., & Goldberger, J. J. (2012). Recovery of Heart Rate Variability and Ventricular Repolarization Indices Following Exercise. *Annals of Noninvasive Electrocardiology*, 17(4), 349–360. <https://doi.org/10.1111/j.1542-474X.2012.00527.x>
- Lawley, J. S., Macdonald, J. H., Oliver, S. J., & Mullins, P. G. (2017). Unexpected reductions in regional cerebral perfusion during prolonged hypoxia. *The Journal of Physiology*, 595(3), 935–947. <https://doi.org/10.1113/JP272557>
- Lefferts, W. K., Babcock, M. C., Tiss, M. J., Ives, S. J., White, C. N., Brutsaert, T. D., & Heffernan, K. S. (2016). Effect of hypoxia on cerebrovascular and cognitive function during moderate intensity exercise. *Physiology & Behavior*, 165, 108–118. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2016.07.003>
- Lehnert, M., Novosad, J., Neuls, F., Langer, F., & Botek, M. (2010). *Trénink kondice ve sportu*. Univerzita Palackého v Olomouci.
- Levental, S., Picard, E., Mimouni, F., Joseph, L., Samuel, T. Y., Bromiker, R., Mandel, D., Arish, N., & Goldberg, S. (2018). Sex-linked difference in blood oxygen saturation. *The Clinical Respiratory Journal*, 12(5), 1900–1904. <https://doi.org/10.1111/crj.12753>
- Li, P., Zhang, G., You, H., Zheng, R., & Gao, Y. (2012). Training-dependent cognitive advantage is suppressed at high altitude. *Physiology & Behavior*, 106(4), 439–445. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2012.03.002>

- Li, Y., & Wang, Y. (2022). Effects of Long-Term Exposure to High Altitude Hypoxia on Cognitive Function and Its Mechanism: A Narrative Review. *Brain Sciences*, *12*(6), 808. <https://doi.org/10.3390/brainsci12060808>
- Liu, C. W., Li, Z. B., Guo, J., Shi, Y. J., Wang, J. L., & Chen, Y. D. (2019). Physiological Variables Associated with the Development of Acute Mountain Sickness. *Chinese Medical Sciences Journal*, *0*(0), 233. <https://doi.org/10.24920/003518>
- Liu, M., Jiao, X., Li, R., Li, J., Wang, L., Wang, L., Wang, Y., Lv, C., Huang, D., Wei, R., Wang, L., Ji, X., & Guo, X. (2024). Effects of acetazolamide combined with remote ischemic preconditioning on risk of acute mountain sickness: a randomized clinical trial. *BMC Medicine*, *22*(1), 4. <https://doi.org/10.1186/s12916-023-03209-7>
- Loaiza-Betancur, A. F., Chulvi-Medrano, I., Díaz-López, V. A., & Gómez-Tomás, C. (2021). The effect of exercise training on blood pressure in menopause and postmenopausal women: A systematic review of randomized controlled trials. *Maturitas*, *149*, 40–55. <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2021.05.005>
- Loprinzi, P., & Frith, E. (2018). The Role of Sex in Memory Function: Considerations and Recommendations in the Context of Exercise. *Journal of Clinical Medicine*, *7*(6), 132. <https://doi.org/10.3390/jcm7060132>
- Luks, A. M., & Hackett, P. H. (2022). Medical Conditions and High-Altitude Travel. *New England Journal of Medicine*, *386*(4), 364–373. <https://doi.org/10.1056/NEJMra2104829>
- Luks, A. M., Swenson, E. R., & Bärtsch, P. (2017). Acute high-altitude sickness. *European Respiratory Review*, *26*(143), 160096. <https://doi.org/10.1183/16000617.0096-2016>
- Mackintosh, J., Thomas, D., Olive, J., Chesner, I., & Knight, R. (1988). The effect of altitude on tests of reaction time and alertness. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, *59*(3), 246–248.
- Mason, R. J., Broaddus, V. C., Martin, T. R., King, T. E., Schraufnagel, D., Murray, J. F., & Nadel, J. A. (2010). *Murray and Nadel's textbook of respiratory medicine E-book: 2-volume set*. Elsevier Health Sciences.
- Mazur, K., Machaj, D., Jastrzębska, S., Płaczek, A., & Mazur, D. (2020). Prevention and treatment of high altitude cerebral edema (HACE). *Journal of Education, Health and Sport*, *10*(2), 120–125. <https://doi.org/10.12775/JEHS.2020.10.02.016>
- McMorris, T., Hale, B. J., Barwood, M., Costello, J., & Corbett, J. (2017). Effect of acute hypoxia on cognition: A systematic review and meta-regression analysis. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *74*, 225–232. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.01.019>

- Meier, D., Collet, T.-H., Locatelli, I., Cornuz, J., Kayser, B., Simel, D. L., & Sartori, C. (2017). Does This Patient Have Acute Mountain Sickness? *JAMA*, *318*(18), 1810. <https://doi.org/10.1001/jama.2017.16192>
- Melechovský, D. (2023). *Pulzní oxymetr*. <https://www.leteckylekar.cz/kapitoly-z-letecke-mediciny/72-pulzni-oxymetr.html>
- Merkunová, A., & Orel, M. (2008). *Anatomie a fyziologie člověka pro humanitní obory*. Grada Publishing.
- Merlo, F., Groothof, D., Khatami, F., Ahanchi, N. S., Wehrli, F., Bakker, S. J. L., Eisenga, M. F., & Muka, T. (2023). Changes in Iron Status Biomarkers with Advancing Age According to Sex and Menopause: A Population-Based Study. *Journal of Clinical Medicine*, *12*(16), 5338. <https://doi.org/10.3390/jcm12165338>
- Millet, G. P., & Debevec, T. (2020). CrossTalk proposal: Barometric pressure, independent of P_{iO_2} , is the forgotten parameter in altitude physiology and mountain medicine. *The Journal of Physiology*, *598*(5), 893–896. <https://doi.org/10.1113/JP278673>
- Millet, G. P., Faiss, R., Brocherie, F., & Girard, O. (2013). Hypoxic training and team sports: a challenge to traditional methods? *British Journal of Sports Medicine*, *47*(Suppl 1), i6–i7. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092793>
- Moraga, F. A., López, I., Morales, A., Soza, D., & Noack, J. (2018). The Effect of Oxygen Enrichment on Cardiorespiratory and Neuropsychological Responses in Workers With Chronic Intermittent Exposure to High Altitude (ALMA, 5,050 m). *Frontiers in Physiology*, *9*. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00187>
- Morellini, F. (2013). Spatial memory tasks in rodents: what do they model? *Cell and Tissue Research*, *354*(1), 273–286. <https://doi.org/10.1007/s00441-013-1668-9>
- Mouradian Jr, G. C., Forster, H. V., & Hodges, M. R. (2012). Acute and chronic effects of carotid body denervation on ventilation and chemoreflexes in three rat strains. *The Journal of Physiology*, *590*(14), 3335–3347. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2012.234658>
- Mourek, J. (2012). *Fyziologie Učebnice pro studenty zdravotnických oborů*. Grada Publishing.
- Moutlana, H. (2020). Physiological control of respiration. *Southern African Journal of Anaesthesia and Analgesia*, *S128–S132*. <https://doi.org/10.36303/SAJAA.2020.26.6.S3.2557>
- Myroshnychenko, M. (2022). The effect of different types of hypoxia on the morpho-functional state of the kidneys of fetuses and newborns: the results of own long-term experimental studies: the effect of different types of hypoxia on the morpho-functional state of the kidneys of fetuses and newborns. *Inter Collegas*, *9*(1), 86–92. <https://doi.org/10.35339/ic.9.1.86-92>

- Mysliviček, J., & Riljak, V. (2022). *Fyziologie: repetitorium* (2. rozšířené vydání). Stanislav Juhaňák – Triton.
- Nadel, L., & MacDonald, L. (1980). Hippocampus: cognitive map or working memory? *Behavioral and Neural Biology*, 29(3), 405–409. [https://doi.org/10.1016/S0163-1047\(80\)90430-6](https://doi.org/10.1016/S0163-1047(80)90430-6)
- Nakata, H., Miyamoto, T., Ogoh, S., Kakigi, R., & Shibasaki, M. (2017). Effects of acute hypoxia on human cognitive processing: a study using ERPs and SEPs. *Journal of Applied Physiology*, 123(5), 1246–1255. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00348.2017>
- Nakonečný, M. (2004). *Psychologie téměř pro každého*. Academia.
- Nation, D. A., Bondi, M. W., Gayles, E., & Delis, D. C. (2017). Mechanisms of Memory Dysfunction during High Altitude Hypoxia Training in Military Aircrew. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 23(1), 1–10. <https://doi.org/10.1017/S1355617716000965>
- Nečas, E., Humlová, Z., Klener, P., Kofránek, J., Krijt, J., Maršálek, P., Maruna, P., Mělková, Z., Prokešová, L., Stopka, T., Šulc, K., Vokurka, M., & Živný, J. (2021). *Obecná patologická fyziologie*. Univerzita Karlova nakladatelství Karolinium.
- Oparil, S., & Katholi, R. (1990). *Current concepts in cardiovascular physiology*.
- Orel, M. (2019). *Anatomie a fyziologie lidského těla pro humanitní obory*. Grada Publishing.
- Ortega, J., Buena-Casal, G., Garrido, E., & Alcazar, B. (2004). Neuropsychological Functioning Associated with High-Altitude Exposure. *Neuropsychology Review*, 14(4), 197–224. <https://doi.org/10.1007/s11065-004-8159-4>
- Ospina, J. A., Krause, D. N., & Duckles, S. P. (2002). 17 β -Estradiol Increases Rat Cerebrovascular Prostacyclin Synthesis by Elevating Cyclooxygenase-1 and Prostacyclin Synthase. *Stroke*, 33(2), 600–605. <https://doi.org/10.1161/hs0202.102732>
- Peltonen, G. L., Harrell, J. W., Aleckson, B. P., LaPlante, K. M., Crain, M. K., & Schrage, W. G. (2016). Cerebral blood flow regulation in women across menstrual phase: differential contribution of cyclooxygenase to basal, hypoxic, and hypercapnic vascular tone. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 311(2), R222–R231. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00106.2016>
- Piccardi, L., Iaria, G., Ricci, M., Bianchini, F., Zompanti, L., & Guariglia, C. (2008). Walking in the Corsi test: Which type of memory do you need? *Neuroscience Letters*, 432(2), 127–131. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2007.12.044>
- Plhánková, A. (2023). *Učebnice obecné psychologie* (2. vydání). Academia.
- Pramsohler, S., Wimmer, S., Kopp, M., Gatterer, H., Faulhaber, M., Burtscher, M., & Netzer, N. C. (2017). Normobaric hypoxia overnight impairs cognitive reaction time. *BMC Neuroscience*, 18(1), 43. <https://doi.org/10.1186/s12868-017-0362-3>

- Prasad, B. K. (2011). ENT morbidity at high altitude. *The Journal of Laryngology & Otology*, 125(2), 188–192. <https://doi.org/10.1017/S0022215110002331>
- Rao, M., Li, J., Qin, J., Zhang, J., Gao, X., Yu, S., Yu, J., Chen, G., Xu, B., Li, H., Rao, R., Huang, L., & Jin, J. (2015). Left Ventricular Function during Acute High-Altitude Exposure in a Large Group of Healthy Young Chinese Men. *PLOS ONE*, 10(1), e0116936. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0116936>
- Ribeiro, A. S. F., Zerolo, B. E., Lopez-Espuela, F., Sanchez, R., & Fernandes, V. S. (2023). Cardiac System during the Aging Process. *Aging and disease*, 0. <https://doi.org/10.14336/AD.2023.0115>
- Richalet, J. (2020). CrossTalk opposing view: Barometric pressure, independent of, is not the forgotten parameter in altitude physiology and mountain medicine. *The Journal of Physiology*, 598(5), 897–899. <https://doi.org/10.1113/JP279160>
- Rokyta, R., Bernášková, K., Nohejlová, K., Franěk, M., Paul, T., Kučera, P., Pekárková, I., Matějovská, I., & Pometlová, M. (2016). *Fyziologie* (Třetí vydání). Galén.
- Rotman, I. (2016). *Akutní horská nemoc – léčení a prevence*. Společnost horské medicíny ČR. http://www.horska-medicina.cz/wp-content/uploads/Akutni_horska_nemoc-leceni_a_prevence_OCM-2016-02.pdf
- Rupp, T., Leti, T., Jubeau, M., Millet, G. Y., Bricout, V. A., Levy, P., Wuyam, B., Perrey, S., & Verges, S. (2013). Tissue deoxygenation kinetics induced by prolonged hypoxic exposure in healthy humans at rest. *Journal of Biomedical Optics*, 18(9), 095002. <https://doi.org/10.1117/1.JBO.18.9.095002>
- Říčan, P. (2005). *Psychologie: příručka pro studenty*. Portál.
- Salmon, D. P., & Butters, N. (1995). Neurobiology of skill and habit learning. *Current Opinion in Neurobiology*, 5(2), 184–190. [https://doi.org/10.1016/0959-4388\(95\)80025-5](https://doi.org/10.1016/0959-4388(95)80025-5)
- Shapiro, I., Stein, J., MacRae, C., & O'Reilly, M. (2023). Pulse oximetry values from 33,080 participants in the Apple Heart & Movement Study. *npj Digital Medicine*, 6(1), 134. <https://doi.org/10.1038/s41746-023-00851-6>
- Shaw, D. M., Cabre, G., & Gant, N. (2021). Hypoxic Hypoxia and Brain Function in Military Aviation: Basic Physiology and Applied Perspectives. *Frontiers in Physiology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.665821>
- Shi, Q. H., Ge, D., Zhao, Wci., Ma, X., Hu, K. Y., Lu, Y., Liu, Z. X., Ran, J. H., Li, X. L., Zhou, Y., & Fu, J. F. (2016). A Computerized Evaluation of Sensory Memory and Short-term Memory Impairment After Rapid Ascent to 4280 m. *Biomedical and Environmental Sciences*, 29(6), 457–460.

- Shukitt-Hale, B., Banderet, L. E., & Lieberman, H. R. (1998). Elevation-Dependent Symptom, Mood, and Performance Changes Produced by Exposure to Hypobaric Hypoxia. *The International Journal of Aviation Psychology*, 8(4), 319–334. https://doi.org/10.1207/s15327108ijap0804_1
- Schuhfried. (2022). *Vienna Test System*. <https://www.schuhfried.com/vienna-test-system/>
- Silverthorn, D. U. (2018). *Human Physiology: An Integrated Approach, Global Edition*. Pearson.
- Simmen, S., Cosin-Roger, J., Melhem, H., Maliachovas, N., Maane, M., Baebler, K., Weder, B., Maeyashiki, C., Spanaus, K., Scharl, M., de Vallière, C., Zeitz, J., Vavricka, S. R., Hausmann, M., Rogler, G., & Ruiz, P. A. (2019). Iron Prevents Hypoxia-Associated Inflammation Through the Regulation of Nuclear Factor- κ B in the Intestinal Epithelium. *Cellular and Molecular Gastroenterology and Hepatology*, 7(2), 339–355. <https://doi.org/10.1016/j.jcmgh.2018.10.006>
- Sinex, J. A., & Chapman, R. F. (2015). Hypoxic training methods for improving endurance exercise performance. *Journal of Sport and Health Science*, 4(4), 325–332. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2015.07.005>
- Smith, K. J., & Ainslie, P. N. (2017). Regulation of cerebral blood flow and metabolism during exercise. *Experimental Physiology*, 102(11), 1356–1371. <https://doi.org/10.1113/EP086249>
- Sobrino, A., Oviedo, P. J., Novella, S., Laguna-Fernandez, A., Bueno, C., García-Pérez, M. A., Tarín, J. J., Cano, A., & Hermenegildo, C. (2010). Estradiol selectively stimulates endothelial prostacyclin production through estrogen receptor- α . *Journal of Molecular Endocrinology*, 44(4), 237–246. <https://doi.org/10.1677/JME-09-0112>
- Sohn, J.-H., Chung, S.-C., & Jang, E.-H. (2005). 30% Oxygen Inhalation Enhances Cognitive Performance through Robust Activation in the Brain. *Journal of PHYSIOLOGICAL ANTHROPOLOGY and Applied Human Science*, 24(1), 51–53. <https://doi.org/10.2114/jpa.24.51>
- Sovová, E., Hrčková, Y., Marečková, J., & Kmoníčková, A. (2008). *Hypertenze pro praxi*. Univerzita Palackého v Olomouci – Lékařská fakulta.
- Stefan Silbernagl, & Despopoulos Agamemnon. (2016). *Atlas fyziologie člověka: překlad 8. německého vydání*. Grada Publishing.
- Stepanek, J., Cocco, D., Pradhan, G. N., Smith, B. E., Bartlett, J., Studer, M., Kuhn, F., & Cevette, M. J. (2013). Early Detection of Hypoxia-Induced Cognitive Impairment Using the King-Devick Test. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 84(10), 1017–1022. <https://doi.org/10.3357/ASEM.3616.2013>
- Sternberg, R. (2002). *Kognitivní psychologie*. Portál.

- Struhár, I., Novotný, J., Bernaciková, M., Kapounková, K., Pospíchal, V., & Tomášková, I. (2019). *Titul: Zátěžová diagnostika v tělovýchovné a sportovní praxi*. Masarykova Univerzita.
- Suchý, J. (2012). *Využití hypoxie a hyperoxie ve sportovním tréninku* (1. vydání). Karolinum.
- Sundström Poromaa, I., & Gingnell, M. (2014). Menstrual cycle influence on cognitive function and emotion processing from a reproductive perspective. *Frontiers in Neuroscience*, 8. <https://doi.org/10.3389/fnins.2014.00380>
- Sutton, A. L. (2014). *Respiratory Disorders Sourcebook: Basic Consumer Health Information About the Risk Factors, Symptoms, Diagnosis, and Treatment of Lung and Respiratory Disorders, Including Asthma, Bronchitis, Chronic Obstructive Pulmonary Disease (copd), Influenza, Lung Cancer, Pneumonia, and Other Infect* (Third edition). Omnigraphics.
- ŠTURSOVÁ, P., BUDINSKÁ, X., NOVÁKOVÁ, Z., DOBŠÁK, P., & BABULA, P. (2023). Sports Activities and Cardiovascular System Change. *Physiological Research, Suppl. 5*, S429–S444. <https://doi.org/10.33549/physiolres.935238>
- Tam, N. (2015). *Nervous System: A Tutorial Study Guide*.
- Thayer, E. A. (2016). *Spatial, Long – and Short-term Memory*. Nova Science Publishers.
- Treuting, P. M., Dintzis, S. M., & Montine, K. S. (2017). *Comparative anatomy and histology: a mouse, rat, and human atlas*. Academic Press.
- Turner, C. E., Barker-Collo, S. L., Connell, C. J. W., & Gant, N. (2015). Acute hypoxic gas breathing severely impairs cognition and task learning in humans. *Physiology & Behavior*, 142, 104–110. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2015.02.006>
- Turner, R. E. F., Gatterer, H., Falla, M., & Lawley, J. S. (2021). High-altitude cerebral edema: its own entity or end-stage acute mountain sickness? *Journal of Applied Physiology*, 131(1), 313–325. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00861.2019>
- Udayabanu, M., Kumaran, D., & Katyal, A. (2012). Free chelatable zinc modulates the cholinergic function during hypobaric hypoxia-induced neuronal damage: an in vivo study. *Neuroscience*, 202, 434–445. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2011.11.022>
- Vestergaard, M. B., Lindberg, U., Aachmann-Andersen, N. J., Lisbjerg, K., Christensen, S. J., Law, I., Rasmussen, P., Olsen, N. V., & Larsson, H. B. (2016). Acute hypoxia increases the cerebral metabolic rate – a magnetic resonance imaging study. *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism*, 36(6), 1046–1058. <https://doi.org/10.1177/0271678X15606460>
- Virués-Ortega, J., Garrido, E., Javierre, C., & Kloezeman, K. C. (2006). Human behaviour and development under high-altitude conditions. *Developmental Science*, 9(4), 400–410. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2006.00505.x>
- von Majewski, K., Kraus, O., Rhein, C., Lieb, M., Erim, Y., & Rohleder, N. (2023). Acute stress responses of autonomous nervous system, HPA axis, and inflammatory system in

- posttraumatic stress disorder. *Translational Psychiatry*, 13(1), 36.
<https://doi.org/10.1038/s41398-023-02331-7>
- Voyer, D., Voyer, S., & Bryden, M. P. (1995). Magnitude of sex differences in spatial abilities: A meta-analysis and consideration of critical variables. *Psychological Bulletin*, 117(2), 250–270. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.117.2.250>
- Wang, S.-H., & Morris, R. G. M. (2010). Hippocampal-Neocortical Interactions in Memory Formation, Consolidation, and Reconsolidation. *Annual Review of Psychology*, 61(1), 49–79. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.093008.100523>
- Ward, S. A. (2014). Control of Breathing During Exercise. *Colloquium Series on Integrated Systems Physiology: From Molecule to Function*, 6(3), 1–93.
<https://doi.org/10.4199/C00108ED1V01Y201406ISP052>
- Waschke, J., Böckers, T. M., & Paulsen, F. (2019). *Sobotta Anatomy textbook*. Elsevier.
- West, J. B. (2012). High-Altitude Medicine. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 186(12), 1229–1237. <https://doi.org/10.1164/rccm.201207-1323CI>
- Wilber, R. L. (2004). *Altitude training and athletic performance*. Human Kinetics.
- WILBER, R. L. (2007). Application of Altitude/Hypoxic Training by Elite Athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(9), 1610–1624.
<https://doi.org/10.1249/mss.0b013e3180de49e6>
- Wilson, M. H., Newman, S., & Imray, C. H. (2009). The cerebral effects of ascent to high altitudes. *The Lancet Neurology*, 8(2), 175–191. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(09\)70014-6](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(09)70014-6)
- Yan, X. (2014). Cognitive Impairments at High Altitudes and Adaptation. *High Altitude Medicine & Biology*, 15(2), 141–145. <https://doi.org/10.1089/ham.2014.1009>
- Zachrdla, M. (2023). *Vliv simulované nadmořské výšky na kognitivní funkce* [Diplomová práce]. Univerzita Palackého v Olomouci.
- Zelazo, P. D., Carter, A., Reznick, J. S., & Frye, D. (1997). Early Development of Executive Function: A Problem-Solving Framework. *Review of General Psychology*, 1(2), 198–226.
<https://doi.org/10.1037/1089-2680.1.2.198>
- Zeman, K. (2017). Lidská paměť. In *Universitas-revue Masarykovy univerzity*.
- Zhang, G., Zhou, S.-M., Yuan, C., Tian, H.-J., Li, P., & Gao, Y.-Q. (2013). The Effects of Short-Term and Long-Term Exposure to a High Altitude Hypoxic Environment on Neurobehavioral Function. *High Altitude Medicine & Biology*, 14(4), 338–341.
<https://doi.org/10.1089/ham.2012.1091>
- Zubieta-Calleja, G., Zubieta-Castillo, G., Zubieta-Calleja, L., Ardaya-Zubieta, G., & Paulev, P.-E. (2011). Do Over 200 Million Healthy Altitude Residents Really Suffer from Chronic Acid–

Base Disorders? *Indian Journal of Clinical Biochemistry*, 26(1), 62–65.
<https://doi.org/10.1007/s12291-010-0088-9>