

Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta tělesné kultury



---

Fakulta  
tělesné kultury

**VLIV NORMOBARICKÉ HYPOXIE NA  
KRÁTKODOBOU PAMĚŤ, JEMNOU MOTORIKU A  
SÍLU STISKU U SOUBORU ŽEN**

Diplomová práce

Autor: Dominika Hejčová

Studijní program: TV-Bi

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

Olomouc 2024



## **Bibliografická identifikace**

**Jméno autora:** Dominika Hejčová  
**Název práce:** Vliv normobarické hypoxie na krátkodobou paměť, jemnou motoriku a sílu stisku u souboru žen

**Vedoucí práce:** Mgr. Filip Neuls, Ph.D.  
**Pracoviště:** Katedra přírodních věd v kinantropologii  
**Rok obhajoby:** 2024

### **Abstrakt:**

Se zvyšující se popularitou turistiky, lyžování a horolezectví roste počet netrénovaných a neaklimatizovaných jedinců, kteří se běžně dostávají do vysokých nadmořských výšek, respektive do hypoxického prostředí. Pobyt v hypoxii vede ke snížení saturace krve kyslíkem a může negativně ovlivňovat organismus. V diplomové práci se budu zabývat vlivem hypoxie na krátkodobou paměť, jemnou motoriku a sílu stisku. Měření se zúčastnilo 16 zdravých žen ve věku mladší dospělosti. Měření probíhalo dvakrát: jednou v normoxii a jednou v hypoxii v simulované výšce 4000 m n. m. Obě měření proběhla v hypoxické komoře. Testované osoby absolvovaly postupně tři testy, dva z nich byly vybrány z Vienna Test systému, konkrétně Corsiho test krátkodobé paměti a MLS testová baterie pro jemnou motoriku. Třetím testem byl handgrip test pro zjištění síly stisku.

V Corsiho testu pro krátkodobou paměť se v hypoxii signifikantně zvýšila chybovost, u ostatních parametrů se neobjevily signifikantní rozdíly. V testech pro jemnou motoriku nebyly u většiny proměnných zjištěny signifikantní rozdíly. Jediný parametr, který byl hypoxickým prostředím signifikantně ovlivněn, byl u testu tapping, konkrétně počet zásahů po dobu 32 sekund. V hypoxii se počet zásahů mírně zvýšil. Výrazné rozdíly mezi měřeními v normoxii a hypoxii byly zjištěny v síle stisku. Pokles síly v hypoxii se pohyboval průměrně o 9 N (o 2,9 %) u pravé ruky. Pokles síly se projevil taktéž u levé ruky, konkrétně o 17,7 N (o 6,1 %).

### **Klíčová slova:**

hypoxie, normoxie, saturace, paměť, jemná motorika

Souhlasím s půjčováním práce v rámci knihovních služeb.

**Bibliographical identification**

**Author:** Dominika Hejčová  
**Title:** Effect of normobaric hypoxia on short-term memory, fine motor skills, and grip strength in a group of women

**Supervisor:** Mgr. Filip Neuls, Ph.D.  
**Department:** Department of Natural Sciences in Kinanthropology  
**Year:** 2024  
**Abstract:**

With the increasing popularity of hiking, skiing and mountaineering, there is a growing number of untrained and unacclimatized individuals who routinely reach high altitudes or hypoxic environments. Being in hypoxia leads to a decrease in blood oxygen saturation and can negatively affect the body. In my thesis I will examine the effects of hypoxia on short-term memory, fine motor skills and grip strength. A total of 16 healthy young women participated in the measurements. Measurements were taken twice: once in normoxia and once in hypoxia at a simulated altitude of 4000 m above sea level. Both measurements were performed in a hypoxic chamber. Subjects completed three tests consecutively, two of which were selected from the Vienna Test System, namely the Corsi test for short-term memory and the MLS test battery for fine motor skills. The third test was the handgrip test, to determine the strength of the grip.

In the Corsi test for short-term memory, the error rate increased significantly in hypoxia, while no significant differences were found in the other parameters. In tests for fine motor skills, no significant differences were found for most variables. The only parameter that was significantly affected by the hypoxic environment was in the tapping test, specifically the number of hits for 32 seconds. In hypoxia, the number of hits increased slightly. Significant differences between the measurements in normoxia and hypoxia were found in the force of the squeeze. The decrease in force in hypoxia averaged 9 N (2.9%) in the right hand. The decrease in force was also evident in the left hand, specifically by 17.7 N (6.1%).

**Key words:**  
hypoxia, normoxia, saturation, memory, fine motor skills

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

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

V Olomouci dne 30. dubna 2024

.....

Děkuji vedoucímu práce Mgr. Filipu Neulsovi za odborné vedení, rady a čas, který mi věnoval při zpracování diplomové práce. Také bych chtěla poděkovat všem zúčastněným ženám, které se zúčastnily měření za jejich ochotu a zodpovědný přístup.

# OBSAH

Obsah .....	7
1 Úvod .....	9
2 Přehled poznatků .....	11
2.1 Hypoxie .....	11
2.1.1 Druhy hypoxie .....	11
2.1.2 Projevy hypoxie .....	13
2.1.3 Vysokohorské prostředí .....	13
2.1.4 Aklimatizace na vysokohorské prostředí .....	14
2.1.5 Akutní horská nemoc .....	15
2.2 Saturace krve kyslíkem .....	16
2.3 Nervový systém .....	18
2.3.1 Autonomní nervový systém .....	19
2.4 Kognitivní funkce .....	22
2.4.1 Paměť .....	22
2.4.2 Učení .....	24
2.4.3 Pozornost .....	25
2.4.4 Myšlení .....	25
2.5 Motorické funkce .....	26
2.5.1 Hrubá motorika .....	26
2.5.2 Jemná motorika .....	26
2.6 Vliv hypoxie na orgánové soustavy .....	28
2.6.1 Dýchací systém .....	28
2.6.2 Kardiovaskulární systém .....	28
2.6.3 Mozek (kognitivní funkce) .....	29
3 Cíle .....	31
3.1 Hlavní cíl .....	31
3.2 Dílčí cíle .....	31
3.3 Výzkumné otázky .....	31
4 Metodika .....	32

4.1	Výzkumný soubor .....	32
4.2	Výzkumný protokol .....	32
4.2.1	Standardizace podmínek .....	32
4.3	Průběh měření .....	33
4.4	Statistické zpracování dat .....	37
5	Výsledky .....	39
5.1	Průměrná saturace krve kyslíkem v normoxii a hypoxii .....	39
5.2	Výsledky testů jemné motoriky .....	40
5.2.1	Steadiness .....	40
5.2.2	Sledování dráhy .....	41
5.2.3	Aiming .....	43
5.2.4	Tapping .....	45
5.3	Výsledky Corsiho testu .....	45
5.4	Výsledky handgrip testu .....	47
6	Diskuse .....	49
6.1	Limity studie .....	51
7	Závěry .....	52
8	Souhrn .....	53
9	SUMMARY .....	55
10	Referenční seznam .....	57
11	Přílohy .....	62



# 1 ÚVOD

Vysokohorské prostředí není prostředím, které by bylo pro lidský organismus běžné. Nicméně se v dnešní době lidé stále častěji a mnohem snáze než dříve do vysokých nadmořských výšek dostávají. V posledních letech stoupla popularita lyžování, turistiky, ale také horolezectví. Lidé si často ani neuvědomují, že pohodlnou cestou lanovkou vystoupají za pár minut, bez předchozí aklimatizace, o stovky metrů výš.

S narůstající nadmořskou výškou se sice složení vzduchu jako takové nemění, ale klesá atmosférický tlak vzduchu, stejně jako parciální tlak kyslíku, což má za následek snížení množství dostupného kyslíku pro pracující tkáň (Sinex & Chapman, 2015). Richalet (2021) definuje hypoxii jako stav, kdy dochází k nedostatečné dodávce kyslíku do tkání. Nedostatek kyslíku v těle způsobuje řadu fyziologických změn. Pokud nedostatek kyslíku trvá delší dobu nebo je významný, může to mít škodlivé následky na fungování a zdraví jedince. Může vést k akutní horské nemoci, narušení pozornosti a krátkodobé paměti, dochází ke změnám v dechové a srdeční frekvenci. Tyto změny mohou mít za následek špatné rozhodování v důležitých situacích, což může mít velmi vážné důsledky.

Diplomová práce zkoumá vliv normobarické hypoxie na kognitivní funkce, jemnou motoriku a sílu stisku u souboru žen. V dnešní době je díky novým technologiím vytvoření hypoxických podmínek jednodušší než dříve. V této práci byla konkrétně využita hypoxická komora k navození podmínek ve 4000 m n. m.

Teoretická část práce shrnuje nejdůležitější kapitoly týkající se hypoxie a jejího vlivu na kognitivní funkce, jemnou motoriku a sílu stisku. Přibližuje problematiku vysokohorského prostředí a také s ním spojenou akutní horskou nemocí. Je podložena řadou studií, které se danou problematikou zabývají.

Praktická část práce shrnuje výsledky měření, které proběhlo v laboratoři zátěžové fyziologie FTK UP v Olomouci. Měření se zúčastnilo 16 dívek ve věku mladší dospělosti. Měření probíhalo v hypoxické komoře dvakrát, jednou v simulované normobarické hypoxii ve výšce 4000 m n. m. a jednou v normoxii. Testované osoby postupně absolvovaly tři testy, dva byly vybrány z Vienna test systému, konkrétně Corsiho test na paměť a MLS testová baterie pro jemnou motoriku. Posledním testem byl handgrip test pro změření síly stisku. Po celou dobu měření, ať už v normoxii nebo hypoxii, byla testovaným měřena saturace krve kyslíkem.

Získání nových poznatků, které zahrnují reakci organismu na hypoxické prostředí, především na jemnou motoriku, paměť a sílu stisku, může přispět k pochopení rizik, které s sebou hypoxické prostředí přináší.

## 2 PŘEHLED POZNATKŮ

### 2.1 Hypoxie

Bhutta et al. (2022) definuje hypoxii jako stav, kdy je množství kyslíku v tkáních nedostatečné k udržení homeostázy. To může nastat jako výsledek nedostatečné dodávky kyslíku do tkání, a to buď důsledkem nízkého krevního zásobení, nebo nízkého obsahu kyslíku v arteriální krvi, tzv. hypoxémie. Hypoxie může mít různou intenzitu od mírné až po vysokou a může se projevovat akutní nebo chronickou formou. Odpověď lidského organismu na hypoxii je proměnlivá; zatímco některé tkáně mohou tolerovat některé formy hypoxie po delší dobu, jiné tkáně mohou být nízkou hladinou kyslíku poškozeny velmi brzy.

Kyslík je nezbytný pro životně důležité funkce buněk a tkání. Pokud nedostatek kyslíku trvá delší dobu nebo je významný, může to mít škodlivé následky na fungování a zdraví jedince.

Dle Botka et al. (2017) studium hypoxie a jejího dopadu na lidský organismus sahá až k roku 400 př. n. l. Studie se především soustředily na účinky nízkých teplot při výstupu do vyšších nadmořských výšek. V době těchto výzkumů nebylo možné přímo zkoumat účinky řidšího vzduchu, protože vynález rtuťového barometru k měření atmosférického tlaku je datován až do 17. století, kdy ho vynalezl fyzik a matematik E. Torricelli. V téže době Blaise Pascal poznamenal, že ve vyšších nadmořských výškách klesá atmosférický tlak.

Dnes se stalo zkoumání vlivu hypoxie velmi populární, a to nejen díky většímu počtu lidí pohybujících se ve vysokých nadmořských výškách. Vlivem hypoxie se mimo jiné zabývají i trenéři, sportovní lékaři, fyziologové a fyzioterapeuti, a to především vzhledem k tomu, že díky tréninku v hypoxickém prostředí dochází u některých sportovců ke zlepšení pozdějšího sportovního výkonu (Botek et al., 2017).

#### 2.1.1 Druhy hypoxie

Dle Trojana (2003) existuje několik druhů hypoxie:

- 1) **Hypoxická hypoxie:** Tento typ hypoxie se vyskytuje v důsledku nízkého parciálního tlaku kyslíku ( $pO_2$ ) v arteriální krvi. Může být způsobena nízkým

obsahem kyslíku ve vzduchu (například ve vysokých nadmořských výškách), problémy s dýchacími cestami, poruchami plic nebo nedostatečnou plicní ventilací.

- 2) **Ischemická hypoxie (cirkulační):** Tento typ hypoxie nastává v důsledku nedostatečného průtoku krve do tkání a orgánů, což brání přívodu kyslíku. Může být způsobena krevními sraženinami, srdečními poruchami nebo jinými příčinami, které omezují průtok krve.
- 3) **Anemická hypoxie:** V této situaci je množství kyslíkových nosičů (červených krvinek) v krvi nedostatečné. Příčinou anemické hypoxie bývá nejčastěji ztráta krve, nedostatek hemoglobinu nebo červených krvinek, což může být způsobeno nedostatkem železa, poruchou tvorby červených krvinek nebo rychlejší degradací červených krvinek, kterou způsobují určitá onemocnění.
- 4) **Histotoxická hypoxie:** Tento typ hypoxie vzniká v důsledku neschopnosti tkání správně využívat kyslík, který je v krvi přítomen. Dochází zde k poškození enzymů v mitochondriích. Může být způsobena například intoxikací alkoholem nebo některými léky.

Dále můžeme hypoxii dělit na hypobarickou a normobarickou. Hypobarickou hypoxií rozumíme hypoxii přirozenou, se kterou se běžně setkáme při výstupu do vyšších nadmořských výšek. Normobarická hypoxie je hypoxie simulovaná, navozená uměle nejčastěji v laboratorních podmínkách. Normobarickou hypoxii můžeme navodit více způsoby: filtrací kyslíku, ředěním kyslíku nebo hypoxickým plynem (Savourey et al., 2003).

Normobarická hypoxie do jisté míry přesně simuluje podmínky vysokohorského prostředí, nicméně jistými aspekty se od hypobarické (přirozeně se vyskytující) hypoxie liší. V případě normobarické hypoxie není upravován  $pO_2$ , ale snižuje se množství obsaženého  $O_2$ . V případě hypobarické hypoxie ve vysokohorském prostředí je zaznamenáno nižší nasycení arteriální krve kyslíkem, což vede k výraznějším projevům hypoxie. Tento stav způsobuje zvýšenou plicní ventilaci, což má za následek snížení parciální tlaku oxidu uhličitého a zvýšení krevní alkalózy. Normobarická hypoxie přináší výhodu v možnosti regulace složení dýchacích plynů, což umožňuje simulaci různých nadmořských výšek (Savourey et al., 2003).

### **2.1.2 *Projevy hypoxie***

Šulc (2011) rozděluje několik zón vysokohorského prostředí, které jsou spjaty s typickými projevy hypoxie. První zóna je již něco málo nad 1 000 m n. m., v této výšce dochází ke zrychlení dechové i srdeční frekvence, pro většinu lidí je ale nepatrné a žádným způsobem je neovlivňuje. Mezi nadmořskou výškou 1 500 až 1 800 m n. m. dochází ke zrychlenému dýchání a často mohou lidé pocítit silnější a rychlejší bušení srdce. Rozmezí od 1800 m n. m. až 4000 m n. m. je často spjata s projevy, jako jsou závratě, slabost, bolest hlavy, pocit dušnosti a pocení.

Dle Meiera et al. (2017) je nadmořská výška nad 4000 m n. m. spjata s projevy akutní horské nemoci, jako jsou nevolnost, ztráta chuti k jídlu, malátnost, bolest hlavy a nespavost. Kapitola akutní horská nemoc je popsána níže.

Šulc (2011) uvádí, že v zóně mezi 4 500 a 6 000 m n. m., dochází k poruchám smyslů, pozornosti a jedinci nejsou schopni zvládat složitější úkoly. Za kritickou oblast považuje výšku mezi 6 000 a 7 000 m n. m., kde mohou nastat závažné problémy ohrožující život. Pokud není dodána dostatečná dávka kyslíku, může dojít k selhání organismu, ztrátě vědomí a smrti.

### **2.1.3 *Vysokohorské prostředí***

Při výstupu do vyšších nadmořských výšek zůstává chemické složení vzduchu stejné, ale dochází zde k fyzikálním změnám vzduchu. Tyto změny ovlivňují fyziologické procesy v lidském těle (Botek et al., 2017). S narůstající nadmořskou výškou klesá atmosférický tlak vzduchu, stejně jako parciální tlak kyslíku, což má za následek snížení množství dostupného kyslíku pro pracující tkáň (Sinex & Chapman, 2015). Různí autoři rozdělují nadmořskou výšku do různých kategorií či stupňů.

Sinex a Chapman (2015) například definují nadmořskou výšku do pěti stupňů:

- 1) Nízký stupeň blízko moře do 500 m n. m.
- 2) Nízká nadmořská výška do 2000 m n. m.
- 3) Mírná nadmořská výška do 3000 m n. m.
- 4) Vysoká nadmořská výška od 3000 do 5500 m n. m.
- 5) Extrémní nadmořská výška nad 5500 m n. m.

Suchý (2012) rozděluje nadmořskou výšku do 4 stupňů:

- 1) nízká výška – od hladiny moře do 800 m n. m.
- 2) střední výška – do 1500 m n. m.
- 3) vyšší výška – 1500–3000 m n. m.
- 4) vysoká výška – nad 3000 m n. m.

Borowska et al. (2014) dělí nadmořskou výšku do tří zón:

### **1. Vysoká nadmořská výška (1500-3500 m n. m.)**

Tato výška je spojována s lehkým snížením nasycení arteriální krve kyslíkem a poklesem parciálního tlaku arteriální krve na rozmezí 55 až 75 mmHg. To vede k nižšímu výkonu organismu a zvýšené plicní ventilaci. Tato oblast je často spojována s vysokohorským tréninkem sportovců.

### **2. Velmi vysoká nadmořská výška (3500-5500 m n. m.)**

Saturace krve kyslíkem klesne na hodnoty mezi 75 % a 85 % a parciální tlak dále klesá. Tento stav způsobuje vzrůstající hypoxémii (snížená koncentrace kyslíku v krvi). Kromě příznaků akutní horské nemoci může dojít k plicnímu edému a dalším plicním problémům. Je zde nezbytná aklimatizace, jelikož rychlý výstup bez předcházejícího tréninku představuje významné riziko.

### **3. Extrémní nadmořská výška (nad 5500 m n. m.)**

Tato výška způsobuje těžkou hypoxémii. Saturace krve kyslíkem klesne na 58–75%. Příliš rychlý výstup vede k výškovým nemocem a zdravotním komplikacím.

Mimo klesající atmosférický tlak vzduchu a parciální tlak kyslíku dochází ve vysokých nadmořských výškách k dalšímu problému a tím je teplota. Ta zpravidla klesá o 0,65 °C na 100 m (Suchý, 2012).

#### **2.1.4 Aklimatizace na vysokohorské prostředí**

Aklimatizaci na vysokohorské prostředí můžeme definovat jako soubor adaptačních procesů a změn na vnější či vnitřní podněty (stresory) z prostředí, které ovlivňují fyziologické funkce člověka a přispívají k lepší výkonnosti. Aklimatizaci můžeme také popsat jako přizpůsobení organismu na aktuální podmínky prostředí

(Jandová, 2009). Adaptace na vyšší nadmořské výšky musí probíhat postupně. Aklimatizace se liší v závislosti na individualitě, každý člověk reaguje na vyšší nadmořskou výšku trochu jinak, délka aklimatizace a její specifika se tedy u každého jedince liší. Pro úspěšnou aklimatizaci je velmi důležitá celková dosažená výška, rychlost výstupu, překonaný výškový rozdíl a zdravotní stav jednotlivce (Máček & Radvanský, 2011).

Dovalil et al. (2012) uvádějí 3 fáze procesu aklimatizace trvající přibližně 20 dní, po nichž nastává přizpůsobení organismu aktuálním podmínkám prostředí.

- 1) Fáze akomodace – trvá od 3 do 8 dnů. Během této fáze je typický pokles výkonu.
- 2) Fáze adaptace – trvá zhruba 8 dní. V tomto období probíhají metabolické adaptace na zátěž, což vede ke zvýšení výkonnosti.
- 3) Fáze aklimatizace – zahrnuje celkové přizpůsobení organismu a nastává po 16. nebo 17. dni pobytu ve vyšší nadmořské výšce.

### **2.1.5 Akutní horská nemoc**

Akutní horská nemoc je nejběžnějším typem onemocnění ve vysoké nadmořské výšce. Vyskytuje se až u jedné čtvrtiny lidí, kteří se pohybují v nadmořských výškách okolo 3500 m n. m. a až u poloviny lidí, kteří se pohybují v nadmořských výškách nad 6000 m n.m. Vždy však záleží na aklimatizaci a individuálních dispozicích jedince (Jin, 2017).

S rostoucí nadmořskou výškou a klesajícím parciálním tlakem kyslíku může docházet k souboru symptomů souvisejících s akutní horskou nemocí. Mezi prvotní příznaky akutní horské nemoci řadíme bolest hlavy v kombinaci s dalšími příznaky, kterými mohou být závratě, nevolnost, ztráta chuti k jídlu a malátnost. Bolest hlavy se často zhoršuje v noci a při zvýšené námaze. Dalším ze závažných příznaků je nespavost, která je provázena následnou vyčerpaností organismu (Imray et al., 2010). Společným znakem akutní horské nemoci je výrazné zvýšení periferní sympatické aktivity (Karinen et al., 2010).

Příznaky se obvykle objevují 6 až 12 hodin po výstupu a mohou se pohybovat od mírných až po závažné. Ke zlepšení a zmírnění příznaků obvykle dochází po jednom až dvou dnech, pokud nedojde k dalšímu výstupu do vyšších nadmořských výšek. V některých případech mohou příznaky přetrvávat i déle.

U mírných příznaků je nemoc léčena odpočinkem, léky proti bolesti (především ke zmírnění bolesti hlavy) a dostatečným pitným režimem. Závažnější případy lze léčit kyslíkem podávaným přes nosní kanylu a také některými léky na předpis. Pokud jsou příznaky závažné nebo přetrvávají, doporučuje se sestoupit do nižší nadmořské výšky (Jin, 2017).

Náhlý pokles atmosférického tlaku ve vzduchu může způsobit otok plic nebo otok mozku (Novotný et al., 2003). Otok plic, popřípadě otok mozku je život ohrožující stav, vyznačující se příznaky kolísavé chůze, zmateností, sníženého vědomí, dušností, pocením, kašlem a lapáním po dechu (Jin, 2017).

## 2.2 Saturace krve kyslíkem

Saturace krve kyslíkem ( $SpO_2$ ) vyjadřuje procentuální podíl okysličeného hemoglobinu (oxyhemoglobinu) z celkového množství hemoglobinu v krvi. Tento parametr se měří pomocí neinvazivní metody nazývané pulzní oxymetrie, při které se detektor oxymetru umísťuje typicky na konečky prstů nebo ušní lalůčky. Princip fungování oxymetru spočívá v rozdílné absorpci červeného a infračerveného světla okysličenou a neokysličenou krví (Chan et al., 2013; Tremper, 1989). Běžně se hodnota saturace pohybuje mezi 95 % až 98 % nikdy však nedosahuje 100 %, protože asi 2 % hemoglobinu v krvi tvoří methemoglobin a karboxyhemoglobin (Langmeier et al., 2009).

Se stoupající nadmořskou výškou klesá parciální tlak kyslíku a s ním logicky také saturace krve kyslíkem.

Dle Šulce můžeme rozdělit hypoxické prostředí do čtyř pásem:

- indferentní pásmo (0–2000 m)
- kompenzační pásmo (nad 3000 m)
- práh hypoxických poruch (nad 4000 m)
- kritická zóna (nad 6000 m)



## Tabulka 1

*Komplexní účinky hypoxie na člověka (Šulc, 2001)*

Výška [m]	$p_iO_2$ [mmHg]	Název
0-2000	159–125	Indiferentní pásmo
2000	125	Práh hypoxické reakce
2000-3000	125-109	Zóna úplné kompenzace
4000	94	Práh hypoxických poruch
4000-6000	94-73	Zóna neúplné kompenzace
6000	73	Kritický práh
6000-7500	73-60	Kritická zóna

*Poznámka:  $p_iO_2$  = parciální tlak kyslíku*

### Indiferentní pásmo

Toto pásmo zahrnuje výšku do 2000 m. V těchto výškách nebývá vliv snižujícího se parciálního tlaku, na člověka, znatelný. Saturace krve kyslíkem se pohybuje v rozmezí od 97 % do 87 % (Šulc, 2001).

### Kompenzační pásmo

Pásmo zahrnující výšku od 2000 m n. m. do 3000 m n. m. U náchylnějších jedinců se již mohou objevovat první příznaky sníženého parciálního tlaku kyslíkem jako je bolest hlavy a malátnost. Saturace se pohybuje od 87 % do 80 % (Campbell & Bargshaw, 2002).

### Práh hypoxických poruch

Práh hypoxických poruch zahrnuje oblast nad výškou 4000 m n. m., saturace se pohybuje mezi 80 % až 67 % (Šulc, 2001).

### Kritická zóna

Po dosažení hranice kritické úrovně nadmořské výšky 6000 m n. m., kde je arteriální saturace kyslíku obvykle mezi 65 % a 60 %, se postupně zvyšuje pravděpodobnost ztráty vědomí, což může vést k fatálním následkům až smrti (Šulc, 2001).

## 2.3 Nervový systém

Nervový systém člověka je komplexní síť nervů a buněk, která řídí a koordinuje činnost těla. Skládá se ze dvou hlavních částí: centrálního nervového systému a periferního nervového systému (Mourek, 2012).

Nervový systém funguje na principu přenosu elektrických a chemických signálů mezi neurony. Neurony jsou základními stavebními jednotkami nervového systému a komunikují pomocí neurotransmiterů, chemických látek, které přenášejí signály z jedné buňky na druhou (Mourek, 2012).

Nervový systém je klíčový pro vnímání okolního prostředí, zpracovávání informací, učení, reakce na různé podněty a udržení tělesných funkcí. Jeho komplexnost a schopnost přizpůsobit se různým podmínkám jsou extrémně důležité pro fungování lidského těla (Mourek, 2012).

Centrální nervový systém (CNS) je tvořen mozkem a míchou. Hraje klíčovou roli při řízení a koordinaci vědomých i nevědomých funkcí těla. Mozek je centrálním orgánem CNS a řídí složité procesy, jako jsou myšlení, vnímání, paměť, učení, emocionální reakce a řízení pohybu. Mícha se nachází v páteřním kanálu a přenáší informace mezi mozkem a zbytkem těla. Zprostředkovává reflexy a je zodpovědná za přenos sensorických informací z periferie do mozku a motorických signálů z mozku zpět do svalů a žláz (Rokyta et al., 2016).

Periferní nervový systém (PNS) slouží k propojení centrálního nervového systému s různými částmi těla, přenáší informace mezi CNS a okolním prostředím a umožňuje tělu reagovat na různé podněty. PNS můžeme rozdělit na dva oddíly, a to somatický a autonomní (Mourek, 2012).

**Somatický nervový systém** je zapojený do vědomého pohybu a vnímání. Zprostředkovává vědomé řízení těla pomocí kosterních svalů. Přenáší sensorické informace (například dotek, bolest, teplota) z receptivních buněk (receptorů) v těle do centrálního nervového systému a následně přenáší signály z mozku do svalů. Je tvořen třemi typy nervů (sensorické, motorické, smíšené) (Irmíš, 2007).

**Autonomní nervový systém (ANS)** je zodpovědný za nevědomé (automatické) funkce těla. Je jakýmsi kontrolním mechanismem a funguje z velké části nezávisle na vůli člověka. Hraje klíčovou roli v regulaci mnoha tělesných funkcí, včetně kontroly srdeční frekvence, dýchání, trávení, krevního tlaku a dalších fyziologických procesů (Irmíš, 2007).

Hypoxie neboli nedostatek kyslíku v tkáních a orgánech může ovlivnit fungování autonomního nervového systému různými způsoby. Když tkáně nedostávají dostatečné množství kyslíku, tělo se snaží kompenzovat tento nedostatek pomocí různých mechanismů, včetně reflexů regulovaných autonomním nervovým systémem (Rokyta et al., 2016).

### **2.3.1 Autonomní nervový systém**

ANS nebo také vegetativní či útrobní, má kontrolu nad činností srdce, krevních cév, žláz a hladkého svalstva. ANS se společně s dalšími systémy výrazně podílí na udržování homeostázy tím, že reguluje základní životní funkce a aktivitu orgánů. Jak už jeho název naznačuje, má relativní nezávislost na centrálním nervovém systému a není ovlivnitelný vůlí, nicméně je známo, že je z určité části pod vlivem řídicích center CNS (Čihák, 2004).

ANS je složený z centrální a periferní části. Centrální část tvoří vzestupné a sestupné dráhy, které jsou napojené na míšní centra. Periferní část je rozdělena na aferentní a eferentní část, eferentní část se dále dělí na dvě části, sympatikus a parasympatikus (Irmiš, 2007)

ANS se odlišuje od somatického nervového systému jak anatomicky, tak funkčně. Jeho nervová vlákna jsou tenčí a přenos vzruchů probíhá pomaleji. Pracujeme zde s pojmy pregangliová a postgangliová vlákna (Čihák, 2004). Pregangliová vlákna s myelinovou pochvou přenášejí vzruchy rychleji než postgangliová, která myelinovou pochvu nemají. Autonomní reflexy mají v průběhu více synapsí, což způsobuje delší reakční dobu (Trojan et al., 2003).

#### **Centrální část**

Jak již bylo zmíněno výše, ANS nefunguje zcela nezávisle na centrálním nervovém systému. Existují specifická centra CNS, která činnost ANS ovlivňují. Mezi ně řadíme centra v prodloužené míše, konkrétně mozkový kmen (střední mozek, Varolův most, prodloužená mícha, mluvíme o tzv. retikulární formaci). Mezi další centra patří hypothalamus, mozková kůra nebo limbický systém (Čihák, 2004; Irmiš, 2007).

#### *Mozkový kmen*

Mozkový kmen neslouží pouze jako spojení mezi míchou a mozkem, jsou zde také uložena důležitá centra pro kontrolu dýchání, polykání a vyměšování, nebo také nepodmíněných reflexů (Myslivoček & Myslivečková, 1989). Nachází se zde také centra,

kteřá řídí krevní oběh a činnost srdce (Ganong, 1999). Prodloužená mícha pak umožňuje interakci mezi vegetativními a somatickými funkcemi (Trojan et al., 1996).

### *Hypothalamus*

Hypothalamus je hlavním centrem, které řídí ANS. Současně má vliv také na endokrinní systém. Jeho přední část ovlivňuje činnost parasympatiku, zatímco zadní část reguluje sympatikus (Trojan et al., 1996). Hypotalamus je jednou z nejstarších a nejmenších částí mozku. A přesto tato malá oblast obsahuje centra, která řídí základní životní funkce. Mezi ně patří energetický metabolismus, od výživy přes trávení, kontrolu metabolismu a výdej energie; rovnováha tekutin a elektrolytů, od příjmu tekutin přes absorpci a vylučování tekutin; termoregulace, od volby prostředí přes produkci a zachování tepla a reakci na horečku; cykly probuzení a spánku a nouzové reakce na stresory v prostředí; reprodukce, od kontroly reprodukčních hormonů přes těhotenství, porod a kojení (Saper & Lowell, 2014). Mimo jiné společně s hypofýzou tvoří funkční systém hypothalamo-hypofyzární, který je nadřazeným koordinačním centrem humorální regulace a hraje významnou roli v reakci na zátěž (stres) (Irmiš, 2007).

### *Mozková kůra a limbický systém*

Mozková kůra zajišťuje propojení autonomních a somatických funkcí při úmyslných pohybech. Limbický systém řídí emoce, kontroluje úzkost, strach a účastní se některých procesů při tvorbě krátkodobé paměti (Štěpánová, 2009).

### **Periferní část**

Eferentní část autonomního nervového systému je rozdělena do dvou částí: sympatické a parasympatické. Tyto části vykazují protichůdné účinky, mluvíme o nich jako o antagonistech. Sympatická část je aktivnější v obdobích zvýšené energetické potřeby (například při útěku nebo boji). Na druhou stranu parasympatická část se více zapojuje v klidovém stavu a má za úkol regulovat funkce spojené s trávením a ukládáním energie. Některé orgány ovlivňuje pouze jedna z částí jako například potní žlázy nebo většinu cév. Někteří autoři navíc vymezují samostatně tzv. enterický nervový systém, který dohlíží na trávicí orgány a je minimálně ovlivnitelný centrální nervovou soustavou (Čihák, 2004; Irmiš, 2007).

### *Sympatikus*

Čihák (2004) nazývá tento systém také jako thorakolumbální a podotýká, že je rozsáhlejší než parasympatický. Jeho vlákna jsou spojena s téměř všemi orgány a tkáněmi.

Sympatická nervová vlákna vycházejí z páteřní míchy v oblasti prvního hrudního až druhého (některé zdroje ale uvádějí 3. a 4.) bederního nervu. Systém zahrnuje dva paravertebrální sympatické řetězce ganglií umístěné po stranách páteře. Většina pregangliových neuronů končí na buněčných tělech postgangliových neuronů a poté pokračují z těchto ganglií k různým vnitřním orgánům a efektorům (Guyton & Halla, 2000).

Postgangliové nervy sympatiku, které se nacházejí v oblasti hlavy, vycházejí z horního a středního krčního sympatického ganglia a také z ganglion stellatum, který je pokračováním sympatického gangliového řetězce směrem k hlavě. Tyto nervy putují k cílovým orgánům podél krevních cév (Guyton & Halla, 2000).

Dle Rokyty et al. (2016) dochází k aktivaci sympatiku a s tím spojenou aktivací dřeně nadledvin v situacích, kdy se zvyšuje výdej energie. Zvyšuje se krevní tlak (stimulace činnosti srdce a zvýšení žilního návratu), probíhá redistribuce krevního oběhu do pracujících (kosterních) svalů na úkor ledvin a trávicího systému, zvyšuje se pocení, mentální aktivita, rozšiřují se zornice a také bronchioly. Dochází k metabolickým změnám, zvýšení lipolýzy a glykogenolýzy. Nejdůležitějším mediátorem sympatiku je noradrenalin.

### ***Parasympatikus***

Parasympatický nervový systém má menší rozsah než sympatický. Jeho činnost je spouštěna při odpočinku a po jídle, ale také v život ohrožujících situacích, kdy není možno využít systém útěk nebo útok, parasympatikus způsobí tzv. zamrznutí organismu. Parasympatický nervový systém je antagonistou sympatického nervového systému, to znamená, že funkce, které sympatikus stimuluje, parasympatikus naopak inhibuje. Nejdůležitějším mediátorem parasympatiku je acetylcholin (Rokyta et al., 2008; Trojan et al., 2003)

Vlákna parasympatického nervového systému vycházejí z mozkového kmene z hlavových nervů III., VII., IX. a X. (nervus vagus) a z míšních segmentů v kříži S2 až S4. Mezi projevy práce sympatiku patří snížení srdeční frekvence, zpomalení dechové frekvence, prohloubení dechu, zvýšená tvorba slin, zvýšená produkce moči, zvýšená práce trávicího systému a také přemístění krve z periferních částí k orgánům (Dylevský, 2007).

## 2.4 Kognitivní funkce

Kognitivní neboli poznávací funkce jsou psychické procesy a operace, které umožňují jedinci jednat, reagovat, zvládat úkoly, poznávat svět a sebe samotného. Tyto funkce zahrnují paměť, pozornost, schopnost plánování a organizaci činností, schopnost vykonávat více úkolů současně, schopnosti úsudku, řeči a vnímání skrze smysly. Rozvoj kognitivních schopností je blízce spojen s množstvím a kvalitou stimulů z okolí, stavem funkce smyslových receptorů a centrálního nervového systému. Zvláště v období dětství mohou nedostatek sociálních interakcí, nedostatek sensorických podnětů nebo jakékoli poškození mozku značně ovlivnit rozvoj kognitivních funkcí, především pak v oblasti vývoje jazykových schopností (Vařeková & Dad'ová, 2014).

### 2.4.1 Paměť

Paměť je schopnost ukládat, uchovávat a následně zpětně vybírat informace a umět je navzájem porovnávat. Rozlišujeme paměť vrozenou a paměť získanou. Vrozená paměť, je ta, se kterou se člověk narodí. Jsou to mechanismy, které jsou hluboce geneticky zakořeněné, příkladem může být instinkt nebo imprinting. Paměť získaná se vytváří v průběhu života učním. Dle toho, jak dlouho jsme schopni informaci v mozku uchovat, dělíme dále paměť na krátkodobou (informace je uchovávána několik sekund až minut) a dlouhodobou (informace přetrvává v mozku léta) (Mourek, 2012).

Rokyta et al. (2016) dále vyčleňuje ještě paměť okamžitou (informace uchovávána maximálně několik sekund) a střednědobou (informace uchovány dny až týdny).

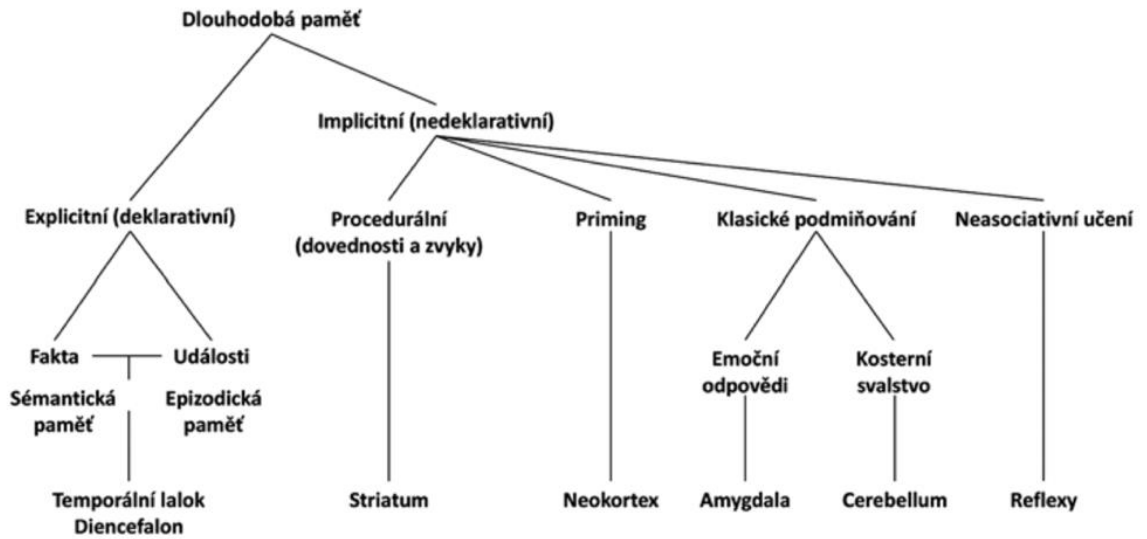
Dle aktuálnější klasifikace lze paměť dále dělit na paměť pracovní a referenční. Pracovní paměť můžeme přirovnat ke krátkodobé a střednědobé paměti. Informace jsou uchovávány jen určitou dobu, a pokud nejsou opakovány, jsou zapomenuty. Referenční paměť naopak odpovídá paměti dlouhodobé (Rokyta et al.,2016).

Dlouhodobou paměť můžeme rozdělit na explicitní – deklarativní (vědomé procesy, vybavení si informací z minulosti) a implicitní – procedurální (nevědomé procesy). Na základě deklarativní paměti si představíme událost díky slovnímu popisu nebo jako myšlenkovou představu. Deklarativní paměť dělíme na sémantickou (fakta, jména osob, věcí, čísla, ...), dějovou neboli epizodickou (události) a rozpoznávací (poznání známých míst, lidí, ...). Procedurální paměť zahrnuje různé projevy chování. Informace uložené v procedurální paměti si většinou neuvědomujeme. Rozlišujeme

tvorbu pohybových vzorců (motorickou paměť), tvorbu percepčních schémat a somatické a vegetativní podmíněné reflexy (Mourek, 2012; Rokyta et al., 2016).

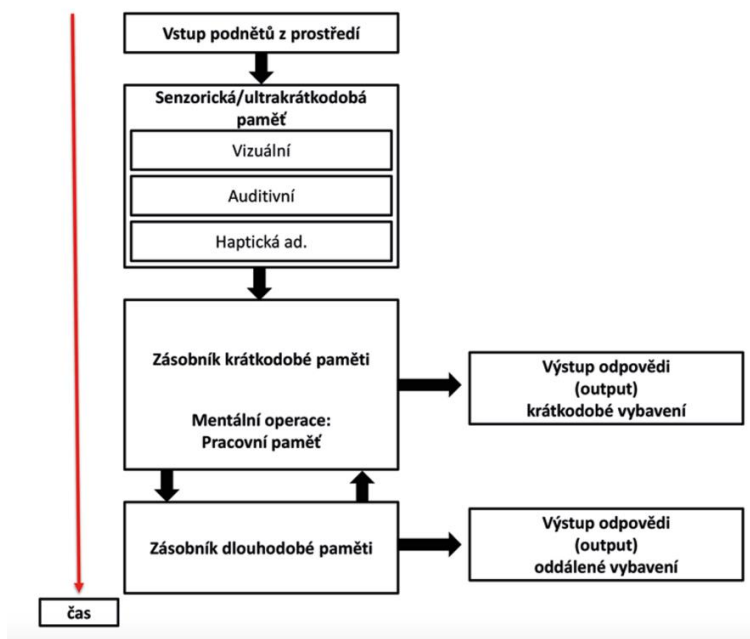
### Obrázek 1

*Základní dělení subsystémů paměti (Nikolai & Bezdiček, 2018, p. 406)*



### Obrázek 2

*Dělení paměti dle zpracování informací v čase (Nikolai & Bezdiček, 2018, p. 406)*



## **Mechanismy tvorby paměti**

Zapamatování si neboli jakýsi proces tvorby paměti má tři fáze:

- 1) vytvoření paměťové stopy (učení),
- 2) upevnění a zafixování paměťové stopy (uložení),
- 3) opětovně vybavení si paměťové stopy.

V mozku člověka existuje několik paměťových systémů, které se odlišují svým obsahem a anatomickým základem. Tyto systémy fungují do jisté míry nezávisle na sobě, za různé typy paměti zodpovídají různé struktury. Tvorba paměti je možná díky plasticitě nervového systému. Tyto plastické změny na synapsích má za následek současná aktivace presynaptických a postsynaptických částí neuronů (Fabiánová, 2006; Rusina 2004; Rokyta et al., 2016).

Za tvorbu deklarativní paměti je zodpovědný především hipokampus a také frontální a temporální mozková kůra. Za tvorbu procedurální paměti zodpovídá především striatum, mozeček a motorická kůra. Amygdala je důležitá pro vytvoření podmíněných reakcí souvisejících například se strachem (Rokyta et al., 2016).

### **2.4.2 Učení**

Učení je proces, který je velmi blízce spojen s pamětí. Na obou procesech v CNS se podílí mozková kůra, hipokampus a limbický systém. Základním pilířem učení jsou podmíněné reflexy, kterými organismus reaguje na podněty z vnitřního a vnějšího prostředí. Podmíněný reflex je spojením reflexu nepodmíněného (vrozený reflexní děj, hluboce zakořeněný již před narozením, např. silná bolest končetiny způsobí obrannou flexi končetiny) s novým podnětem, který převezme roli nepodmíněného podnětu. Podmíněný reflex je vytvářen opakovaným spojováním nepodmíněného reflexu s podnětem, čímž se také vytváří paměťová stopa. Na zapamatování si různých podnětů je potřeba různý čas. Biologicky významné nebo emočně zabarvené podněty se pamatují a učí snáze, mnohdy již po jednom spojení (Mourek, 2012; Rokyta et al., 2016).

Učení můžeme dle Rokyty et al. (2016) dělit na asociativní a neasociativní:

- 1) Asociativní učení dělíme na:**
  - a) klasické podmiňování
  - b) instrumentální učení



**2) Neasociativní učení dělíme na:** a) habituaci – organismus postupně zeslabuje reakci, přestává odpovídat na podněty, protože pro něj podnět ztrácí biologický význam  
b) senzitivizaci – na stejný podnět odpovídáme stupňující se odpovědí (bolest).

### **2.4.3 Pozornost**

Pozornost můžeme definovat jako soustředěnost naší duševní činnosti na určitý podnět (děj, objekt, ...). Pozornost je stejně jako učení úzce spjata s pamětí. Jevy, které upoutají naši pozornost se uloží do paměti ty, které pozornost neupoutají, jsou zapomenuty. Do jaké míry upoutá daný jev naši pozornost závisí na našem vnímání, zvyšuje ji originalita, novost, nápadnost jevu, a naopak oslabuje například naše únava (Niu et al., 2021; Valenta et al., 2012).

Pozornost můžeme rozdělit na bezděčnou (spontánní), kdy vnímáme určitý podnět bez našeho úmyslu, a záměrnou (úmyslnou), kdy podnět vnímáme s určitým cílem záměrně. Dále můžeme pozornost rozlišit na selektivní a difuzní. Když je naše pozornost zaměřena pouze na jeden podnět a ostatní podněty jsou potlačeny, označujeme ji jako selektivní, pokud tomu tak není, jedná se o pozornost difuzní neboli rozptýlenou (Malia & Brannagan, 2010; Valenta et al., 2012).

Vigilita je pojem, který označuje schopnost rychle reagovat a měnit cíl naší pozornosti, je důležitá v situacích, jako jsou jízda na kole, řízení auta atd. Udržení pozornosti na určitý podnět se nazývá tenacita, ta nám umožňuje například proces učení, kdy je důležité zacílit pozornost na určitý podnět a nenechat se rozptýlit (Valenta et al., 2012).

### **2.4.4 Myšlení**

Myšlení můžeme v širší rovině popsat jako proces zpracovávání, seskupování a využívání informací. Je nejnáročnějším způsobem poznávání. Můžeme říci, že je to jakási mentální činnost sloužící k řešení problémů (Plháková, 2004).

Existuje několik druhů myšlení. Dle Sternberga (2002) jsou to tři základní, a to analytické, kreativní a praktické. Analytické využívá zkušenost z minulosti. Je využíváno k řešení problémů, se kterými se člověk již někdy v nějaké podobě setkal. Kreativní je využíváno, pokud nastane problém, se kterým se člověk ještě nikdy nesetkal a musí

vytvořit originální nové řešení. Praktické je využíváno při komunikaci a ve vztazích (Sternberg, 2002).

V jiných publikacích se můžeme setkat s dělením myšlení na konkrétní, abstraktní a názorné. Konkrétní myšlení operuje s vjemy. Tento druh myšlení je využíván při praktických činnostech, jako jsou vaření, oprava strojů, praní atd. Při abstraktním myšlení pracujeme se znaky a symboly. Typickým příkladem je počítání se symboly v matematice. Názorné myšlení pracuje s představami, typicky se využívá při plánování (Plháková, 2004).

## **2.5 Motorické funkce**

Podle Měkoty (1989) je motorika v zásadě chápána jako komplex pohybových schopností a projevů, které představují celkový souhrn veškerých pohybů člověka. Motorika je dále dělena na hrubou a jemnou podle rozsahu vykonávaných pohybů a zapojení svalových skupin.

### **2.5.1 Hrubá motorika**

Tento termín označuje dvě hlavní úlohy pohybového systému, které slouží k udržení polohy a pohybu těla. Hrubou motoriku zajišťuje součinnost velkých svalových skupin, přičemž kvalita motorických funkcí není určena pouze schopností provést pohyb nebo činností vyžadující motorické dovednosti, ale také koordinací, rytmem a plynulostí pohybu těla, horních a dolních končetin a mírou jejich automatizace Hrubá motorika zajišťuje funkci lokomoční a posturální (Čadilová et al., 2012).

### **2.5.2 Jemná motorika**

Jemná motorika je definována jako schopnost precizně, kontrolovaně a obratně manipulovat s předměty, především malých rozměrů, v přesně definovaném prostoru. Jemnou motoriku zajišťují malé svalové skupiny převážně na ruce, ale také na nohou nebo na obličeji (Vyskotová & Macháčková, 2013).

Jemná motorika zahrnuje pohyby prstů, mimiku obličeje, pohyby jazyka a úst. Tyto dovednosti jsou klíčové a nezbytné pro každodenní život. Manipulace, tedy cílený pohyb sloužící tvůrčí činnosti, umožňuje člověku vytvářet, upravovat a komunikovat. Pohyby jemné motoriky vyžadují vysokou přesnost a nezávislost prstů (Měkota, 1989).

Jemná motorika se zaměřuje především na precizní pohyby ruky a prstů, které umožňují manipulaci a uchopování drobných předmětů. Pro dovednosti jemné motoriky je klíčová souhra malých svalových skupin, často ve spojení se zrakovou kontrolou, což znamená, že pohybová aktivita reaguje na vizuální vstupy. Jemná motorika je nezbytná pro provádění běžných úkonů a také podporuje motorické dovednosti související s psaním a kreslením (Čadilová et al., 2012).

Dle Měkoty (1989) se jemná motorika zaměřuje především na manipulaci rukou a prstů, zatímco hrubá motorika se týká pohybů velkých svalových skupin a umožňuje pohyb celého těla a končetin.

### **Vývoj jemné motoriky**

Od narození do pěti až šesti měsíců u novorozence vyniká uchopovací reflex, kdy pevně svírá předměty umístěné do jeho dlaně. Postupně se začíná učit ovládat svoje ruce a začíná je zkoumat ústy i očima. Mezi třetím a čtvrtým měsícem je jeho uchopování předmětů ještě nepřesné. V šestém měsíci dítě používá dlaň a čtyři prsty bez palce a v sedmém a osmém měsíci začíná k úchopu používat všechny prsty. Postupně se přechází k uchopování pouze ukazováčkem a palcem a okolo desátého měsíce se učí záměrně pouštět předměty (Čadilová et al., 2012).

Mezi prvním a třetím rokem už batole lépe manipuluje s předměty, staví na sebe kostky a procvičuje jemnou motoriku hraním s hračkami. Ve věku dvou let se již samo nají lžičkou a napije jednou rukou z otevřeného hrníčku. Postupným rozvojem a cvičením se pohyby dítěte stávají rychlejšími, plynulejšími a lépe koordinovanými, což mu umožňuje zvládat stále složitější úkoly. Ve věku pěti let dítě zvládá řadu činností, jako je stříhání, zapínání drobných knoflíků a kreslení, i když jeho pohyby ještě nejsou tak přesné. Ve věku šesti let je jeho vizuomotorická koordinace dostatečně rozvinutá na to, aby se mohlo začít učit psát. Ve věku osmi let se s vyzrálostí vizuomotoriky zmenšuje výskyt zrcadlového písma a postupně se automatizují některé dovednosti. Mezi osmým a dvanáctým rokem se jemná motorika přibližuje úrovni dospělého, což umožňuje dítěti hrát na hudební nástroj a zvládat těžší motorické dovednosti (Čadilová et al., 2012).

## **2.6 Vliv hypoxie na orgánové soustavy**

### **2.6.1 Dýchací systém**

Lidské dýchání je řízeno mechanismy, které udržují optimální hladinu kyslíku, oxidu uhličitého a vodíkových iontů v krvi i tkáních. Nervové buňky v mozku reagují na zvýšení koncentrace oxidu uhličitého a vodíkových iontů, zatímco karotická a aortální tělíska reagují na změny parciálního tlaku kyslíku, oxidu uhličitého a změnu pH (Čihák, 2004).

Zvýšená plicní ventilace je jedním z prvních reakcí těla na akutní nedostatek kyslíku. K hyperventilaci může dojít již po několika minutách, závisí na míře hypoxie. V klidovém stavu se zvýší ventilace až v situaci, kdy klesne parciální tlak kyslíku ve vzduchu, který dýcháme, pod 50–60 mmHg. Tato hodnota odpovídá nadmořské výšce 3000 m. Při fyzické námaze může docházet k hyperventilaci již mnohem dříve i v podmínkách odpovídajících nižším nadmořským výškám. Po několika dnech strávených v hypoxickém prostředí se může dýchání vrátit na hodnoty blízké hodnotám za normálních podmínek (West 2012).

Ve středních nadmořských výškách dochází také, jako součást aklimatizace, ke zvýšení koncentrace myoglobinu a hustoty mitochondrií. V extrémních nadmořských výškách se naopak objem mitochondrií v lidském kosterním svalu snižuje (West, 2012).

### **2.6.2 Kardiovaskulární systém**

Ve vysokých nadmořských výškách dochází ke změnám afinity hemoglobinu ke kyslíku, které mohou změnit disociační křivku kyslíku, a tím ovlivnit transport kyslíku krví. Je zajímavé, že horolezci v extrémní nadmořské výšce zvyšují afinitu kyslíku k hemoglobinu extrémní hyperventilací, která způsobuje výraznou respirační alkalózu. Účinek alkalózy překonává malý pokles afinity kyslíku k hemoglobinu způsobený zvýšenou koncentrací 2,3difosfoglycerátu v červených krvinkách. Zvýšená afinita kyslíku k hemoglobinu je ve vysokých nadmořských výškách výhodná, protože napomáhá při plnění plicních kapilár kyslíkem (West, 2012).

V případě, že se ocitneme v prostředí s nedostatkem kyslíku, oběhový systém se pokouší tento nedostatek kompenzovat zvýšením objemu krve, kterou rozvádí po těle. A

to díky zvýšenému systolickému srdečnímu objemu, zvýšením srdeční frekvence a minutového srdečního výdeje (Wilmore et al., 2007).

### **2.6.3 Mozek (kognitivní funkce)**

Při dlouhodobém vystavení hypoxii dochází v mozkových tkáních k adaptačním změnám, které kompenzují nedostatek kyslíku v krvi. Mezi tyto změny patří lokální cerebrální vaskulární hyperplazie a zvětšení tloušťky kortikální kůry. Při dlouhodobé hypoxické expozici má šedá hmota celého mozku tendenci k atrofii a také vykazuje charakteristiky nespecifického poškození. Studie také zjistila, že snížení objemu šedé hmoty v parahippokampu a frontálním gyru pozitivně korelovalo se změnou vitální kapacity plic a změnou reakční doby pracovní paměti. Tyto výsledky naznačují, že dlouhodobé vystavení vysoké nadmořské výšce vede ke strukturálním změnám v celém mozku a takové změny mohou být základem změn kognitivních funkcí (Zhang et al., 2013).

Dle Bahrkeho et al. (1993) jsou změny v náladě, chování a kognitivních funkcích spojené s nadmořskou výškou známy již mnoho let. Psychologické změny a změny chování vyplývající z účinků hypoxie často zahrnují zvýšení euforie, nebo naopak podrážděnost, nepřátelství a poškození neuropsychologických funkcí, jako je zrak a paměť.

Bahrke et al. (1993) dále ve své studii tvrdí, že některé změny spojené s vystavením vysoké nadmořské výšce mohou přetrvávat až rok nebo déle po návratu do nižší nadmořské výšky. Podotýká, že zobecnění účinků nadmořské výšky na náladu, chování a kognitivní funkce komplikují rozdíly mezi studiemi, metodami měření, stupni nadmořské výšky, trvání expozice a typy účastníků. Existují velké individuální rozdíly v reakci na pobyt ve vysoké nadmořské výšce napříč populací.

Z výsledků studie Lemose et al. (2012) vyplývá že, pobyt ve výšce 4500 m n. m. snížil celkovou dobu spánku a s ní také efektivitu spánku. V souvislosti se zhoršeným spánkem se v hypoxických podmínkách zvyšovala depresivní nálada, hněv a únava. Zhoršila se celková vitalita, pozornost, zraková a pracovní paměť, koncentrace a rychlost zpracovávání informací.

Dlouhodobý pobyt ve vysokých nadmořských výškách způsobuje výrazné narušení psychických a kognitivních funkcí. Hlavními ovlivňujícími faktory jsou rozsah mozkové hypoxie, kvalita spánku a biochemická dysfunkce. Lidé migrující častěji do vysokých

nadmořských výšek vykazovali známky zhoršení vizuální paměti, hůře rozlišovali barvy a měli také zhoršenou motoriku a stabilitu (Gao et al., 2015).

Ryn et al. (1971) prostřednictvím různých testů zjistil v hypoxickém prostředí pokles výkonnosti a zpomalení reakční doby ve výšce přibližně 5 300 m n. m. Neuropsychomotorické testy odhalily změny v chování, náladě a neurologických funkcích. Koncentrace, krátkodobá paměť a jemná motorika byly negativně ovlivněny.

Altmanová (2011) ve své práci uvádí, že hypoxie způsobuje pokles mentální výkonnosti, poruchy vědomí a také prodloužení reakční doby. Projevy hypoxie se nejprve ukazují na nervovém systému, proto dochází k poškození kognitivních funkcí.

I mírná hypoxie může vést ke zhoršení krátkodobé paměti, schopnosti vykonávat složité úkoly. Při dlouhodobé expozici v hypoxickém prostředí může docházet k potížím s koordinací pohybů, zpomalení reflexů a větší únavě. Případné narušení kognitivních funkcí snižuje a zpomaluje schopnost reagovat na podněty, což se negativně projeví při řešení složitějších úkolů. Mimo jiné při dlouhodobějším vystavení vysokým nadmořským výškám také nejsme schopni adekvátně reagovat na změny prostředí (Klucká & Volfová, 2009).

Komiyama et al. (2017) ve své studii uvádí, že škodlivé účinky hypoxie na kognitivní výkon jsou primárně závislé na závažnosti a délce expozice. Po deseti minutách pobytu v normobarické hypoxii (4500 m n. m.) a měření krátkodobé paměti pomocí testu zpomalené odezvy (DR) nebyly zjištěny žádné výrazné změny mezi normoxií a hypoxií.

Ze studie Seo et al. (2015) vyplývá zajímavý fakt, že cvičení nízké až střední intenzity (tj. 40–60 %  $VO_2max$ ) může zmírnit riziko zhoršení kognitivních funkcí, ke kterému dochází v hypoxických podmínkách.

## **3 CÍLE**

### **3.1 Hlavní cíl**

Hlavním cílem diplomové práce bylo zhodnotit vliv akutní třicetiminutové normobarické hypoxie odpovídající výšce 4000 m n. m. na paměť, jemnou motoriku a sílu stisku.

### **3.2 Dílčí cíle**

- 1) Vyhodnocení a porovnání změn krátkodobé paměti v normoxii a hypoxii.
- 2) Vyhodnocení a porovnání změn jemné motoriky v normoxii a hypoxii.
- 3) Vyhodnocení a porovnání změn síly stisku v normoxii a hypoxii.
- 4) Porovnání výsledků jiných studií, které se zabývají vlivem nadmořské výšky na kognitivní funkce, jemnou motoriku a sílu stisku, s výsledky této práce.

### **3.3 Výzkumné otázky**

- 1) Do jaké míry se liší hodnoty krátkodobé paměti naměřené v normoxii od hodnot naměřených v hypoxii?
- 2) Do jaké míry se liší hodnoty jemné motoriky naměřené v normoxii od hodnot naměřených v hypoxii?
- 3) Do jaké míry se liší hodnoty síly stisku naměřené v normoxii od hodnot naměřených v hypoxii?

## 4 METODIKA

### 4.1 Výzkumný soubor

Testovaný soubor tvořilo  $n = 16$  zdravých, pravidelně sportujících žen ve věku mladší dospělosti ( $M = 23,6$  let;  $SD \pm 1,03$ ). Jednalo se převážně o studentky Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci. Do výzkumného souboru byly zařazeny pouze nekuřačky. Z výzkumného souboru bylo 15 dívek pravorukých a 1 levoruká. Výsledky byly vyhodnocovány zvláště pro dominantní (pravou) a nedominantní (levou) ruku. U levoruké byly tedy výsledky levé a pravé ruky zaměněny.

Účastnice byly seznámeny s faktory, které by mohly ovlivnit průběh měření a kterých by se tedy, v den měření, měly vyvarovat (kofein, vysoká fyzická zátěž, alkohol, ...). Byly také požádány, aby se 24 hodin před začátkem měření vyvarovaly namáhavé pohybové aktivitě, která by mohla mít za následek zkreslení výsledků měření. Žádná z dívek neměla v průběhu výzkumu zdravotní problémy, které by ovlivnily získaná data. Testované osoby se účastnily studie dobrovolně, před zahájením studie byly seznámeny s celým průběhem výzkumu a podepsaly písemný souhlas. Výzkum byl schválen etickou komisí Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci.

### 4.2 Výzkumný protokol

#### 4.2.1 *Standardizace podmínek*

Výzkum probíhal ve fyziologické laboratoři Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci. Teplota vzduchu v laboratoři se pohybovala v rozmezí mezi 22–24 °C a relativní vzdušná vlhkost zde byla 40–60 %. Fyziologická laboratoř se nachází v nadmořské výšce přibližně 260 m. n. m. ( $FiO_2 = 20,9$  %).

Konkrétní měření probíhaly v hypoxické komoře, kde byla teplota vzduchu udržována v rozmezí 22–24 °C. Všechna měření se uskutečnila mezi 8:00–14:00. Všechny účastnice se obou měření zúčastnily v průběhu čtyř týdnů, vždy s minimálním odstupem 14 dní od prvního měření.

#### **Hypoxická komora**

Podmínky normobarické hypoxie byly vytvořeny pomocí hypoxické komory a generátoru hypoxického vzduchu HR-1470 od společnosti Hypoxie Group Praha, Česká



republika. V této studii byla použita úroveň normobarické hypoxie s obsahem kyslíku ve vzduchu 12,5 % ( $\text{FiO}_2$ ) odpovídající simulovaným nadmořským výškám přibližně 4000 m n. m. Komora má objem 45,5 m<sup>3</sup> (délka: 7,0 m; šířka: 2,5 m; výška: 2,6 m).

Generátor odděluje stlačený vzduch na dusíkovou a kyslíkovou frakci pomocí systému membrány z dutých vláken. Výstupní vzduch s nižším obsahem kyslíku je poté přiváděn do komory. Řídicí systém vstupních a výstupních ventilů a kalibrované senzory udržují požadovaný obsah kyslíku uvnitř komory. Koncentrace oxidu uhličitého je udržována pod 1500 ppm (0,15 %) pravidelným větráním komory po každém experimentálním testu. Relativní vlhkost v komoře byla udržována na úrovni přibližně 30 až 40 % pomocí běžného zvlhčovače vzduchu.

### Měření saturace krve kyslíkem

Arteriální saturace krve kyslíkem ( $\text{SpO}_2$ ) byla měřena pravidelně během celého měření pomocí pulzního oxymetru Nonin Avant 4000 (Nonin Medical, Minneapolis, MN, USA) se senzorem umístěným na pravém ukazováčku.

### Obrázek 3

*Pulzní oxymetr na měření saturaci krve kyslíkem*



### 4.3 Průběh měření

Samotné měření probíhalo v hypoxické komoře dvakrát, jednou v simulované normobarické hypoxii v nasimulované výšce 4000 m n. m. a jednou v normoxii. Probandům nebylo sděleno, zda se měření odehrává v normoxii či hypoxii. Před začátkem

každého prvního měření byla každá účastnice měření požádána o poskytnutí základních informací, konkrétně celého jména a data narození. Při měření v hypoxii následovala 30minutová preaklimatizace.

Následoval test na paměť, který byl vybrán z Vienna test systému, konkrétně Corsiho test barevných kostek (Corsi Block-Tapping Test). Tento test je používán k testování krátkodobé paměti. Základním principem testu je vybavení si informací z krátkodobé pracovní paměti.

Corsiho test má 6 různých forem, k našemu měření byla využita forma S1, ve které se kostky označují popředu. V jiných formách testu má za úkol testovaný označovat kostky odzadu, v opačném pořadí. Po spuštění testu viděli probandi na obrazovce 9 nepravidelně rozmístěných kostek, které se začaly postupně zbarvovat modře. Na začátku testu se postupně zbarví jen 4 kostky, po každé správně zvládnuté sekvenci se počet označovaných kostek zvýší, až na konečných 9 kostek. Úkolem probanda je po zaznění signálu označit ve stejném pořadí stejný počet kostek, který byl označen v ukázce. Před začátkem každého testu měl proband dvě sekvence na zkoušku, takzvaný zácvik. Pokud se proband spletl, je možné chybu opravit stisknutím tlačítka oprava. Test je ukončen, pokud testovaná osoba správně označí poslední sekvenci, nebo pokud třikrát po sobě označí špatně 3 po sobě jdoucí sekvence (Shellig, 2011).

Poté byl proveden test jemné motoriky, který byl také vybrán z Vienna test systému. Jednalo se konkrétně o motorickou výkonovou sérii (MLS). Tuto testovou baterii vytvořil Shoppe, a to na základě Fleishmanových faktorově analytických výzkumů jemné motoriky. V dnešní době se využívá převážně v oblastech neuropsychologie, klinické psychologie, psychologie sportu, pedagogické psychologie a psychologie zdraví. MLS obsahuje šest hlavních faktorů testujících jemnou motoriku:

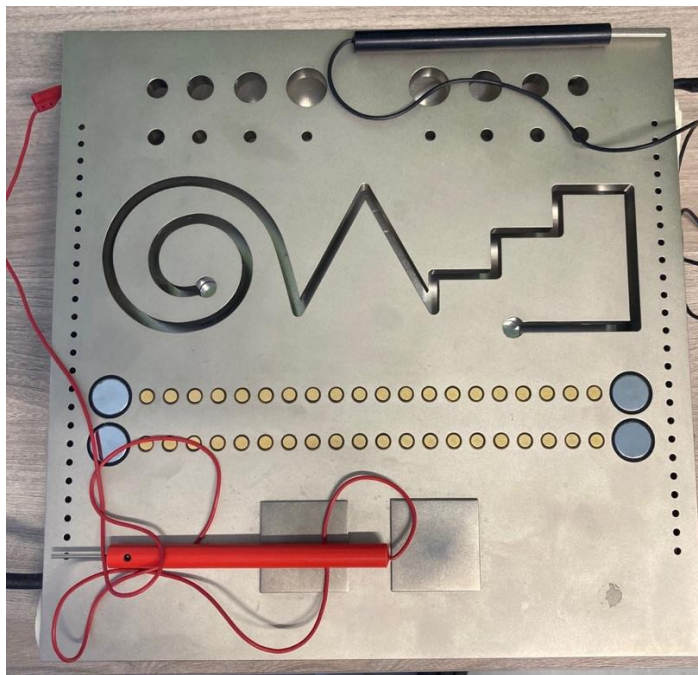
- 1) aiming (zaměření pohybu na cíl),
- 2) tremor (neklid ruky),
- 3) přesnost pohybů ruky a paže,
- 4) šikovnost ruky a prstů,
- 5) rychlost pohybů paží a rukou,
- 6) rychlost zápěstí a prstů.

MSL obsahuje tři typy testů: S1: Standardní forma podle Schoppeho & Hamstera  
S2: Krátká forma podle Sturma & Büssinga  
S3: Krátká forma podle Vassella

K našemu testování byla využita krátká forma S2 podle Sturma & Büssinga, která obsahuje 8 subtestů. K vyhodnocení testu MLS je potřeba počítač a speciální pracovní deska, která má rozměry 300x300x15 mm a jsou v ní otvory, vyfrézované dráhy a dotykové plochy. K desce jsou připojeny dva hroty, černý pro pravou ruku a červený pro levou ruku.

#### Obrázek 4

*Pracovní deska k vyhodnocení testu MLS*



Na pracovní desce se postupně plní několik úkolů. Prvním z nich je **steadiness**, úkolem je zasunout hrot do předem určeného otvoru a držet jej zde po dobu 32 sekund, co nejklidněji a přesně svise. Každý dotek s okrajem nebo dnem se zapíše jako chyba. Následuje úkol s názvem **sledování dráhy**. V tomto úkolu jde o to, provést hrot dráhou co nejrychleji, bez dotyků okrajů, popřípadě dna desky. Zároveň je měřena rychlost provedení a počet chyb. Důležitějším kritériem je počet chyb. Jakmile je hrot položen na startovací místo, začíná odpočítávání času, test se ukončí v momentu, kdy se hrot dotkne

cílové plošky. Dalším úkolem je **aiming**, na desce jsou stříbrné a zlaté kruhy, úkolem je se každého kruhu dotknout hrotem co nejrychleji a jen jednou ve směru zprava doleva, každý nepřesný dotek se započítává jako chyba, opět je měřen také čas. Posledním úkolem je **tapping**, na desce je umístěn čtvercový plíšek, úkolem je dotknout se ho co nejčastěji za dobu 32 sekund.

Testované osoby absolvovaly všechny testy nejprve pro pravou ruku a následně pro levou ruku. Pro levou ruku se u testu **steadiness** využívá otvorů v levé části desky. U testu **sledování dráhy** se pracovní deska otáčí o 180°, startovací ploška je tedy umístěna na levé straně. U testu aiming se pro levou ruku využívá spodní řada kruhů a postupuje se zleva doprava. U posledního testu **tapping** je využita ploška na levé straně, jinak se test provádí shodně pro pravou i levou ruku.

Posledním testem, který probandí absolvovali, byl handgrip test. Vzhledem k délce trvání předchozích testů a preaklimatizaci byli před provedením handgrip testu vystaveni hypoxii přibližně 60 minut.

Tento test se využívá pro změření maximální síly stisku. Je rychlý, snadno proveditelný, spolehlivý a poskytuje výsledek, který se snadno zaznamenává. Výsledky testování síly úchopu byly použity k určení základního měřítka výkonu, se kterým lze porovnávat změny. Test byl prováděn pomocí ručního dynamometru Digital Pinch/Grip Analyser (MIE Medical Research, Leeds, UK).

Testování probíhalo ve stoji s napnutým loktem, předloktí a zápěstí bylo v neutrální pozici. Loket ani jiná část paže se nesměla opírat o tělo. Po zaujmutí správné pozice provedl proband stisk s co největším úsilím po dobu 3 sekund. Účastníci prováděli test dvakrát po sobě každou rukou (nejprve pravou rukou a poté levou rukou). Mezi každým opakováním byla 30sekundová pauza a 1 minuta odpočinku před hodnocením druhé končetiny. Všem probandům se dostalo slovního povzbuzení během provádění testu (Ha et al., 2018; Ojeda et al., 2021)

## Obrázek 5

*Ruční dynamometr Digital Pinch/Grip Analyser (MIE Medical Research, Leeds, UK)*



Mezi jednotlivými měřeními uběhlo vždy alespoň 14 dní, aby bylo zamezeno zapamatování si a naučení se testu. Polovina souboru byla testována nejprve v normoxii a poté v hypoxii, druhá polovina naopak.

### 4.4 Statistické zpracování dat

Krátkodobá paměť i jemná motorika byly měřeny a vyhodnoceny pomocí testových baterií z Vienna test systému. Všichni probandi obdrželi stejné pokyny prostřednictvím Vienna test systému, které se zobrazovaly na obrazovce počítače v případě Corsiho testu pro krátkodobou paměť. V případě testu MLS pro testování jemné motoriky jim byly instrukce přečteny přímo z manuálu a případné nejasnosti dovysvětleny. Díky těmto okolnostem byly požadavky na každého probanda identické. Odpovědi probandů byly počítačem okamžitě automaticky zaznamenány a stejně tak automaticky probíhá i výpočet skóru a proměnných. Tím je eliminována možnost chyb způsobených ručním zápisem nebo výpočtem získaných dat. Dodržení všech doporučení zaručuje objektivitu testu, jak uvádí autor testu Prieler (1996).

Naměřená data byla zpracována v programu MS Excel 2021. Pro statistické zpracování dat byl využit program Statistica 13.4 (Tibco Software, 2018). Tento program byl využit pro výpočet základních statistických údajů (směrodatná odchylka, průměr), a také při komparaci prostřednictvím párového t-testu u parametrických hodnot. Pro výpočet korelací byl použit Pearsonův korelační koeficient. Statisticky významné rozdíly byly stanoveny na hladině  $p \leq 0,05$ .

## 5 VÝSLEDKY

### 5.1 Průměrná saturace krve kyslíkem v normoxii a hypoxii

Saturace krve kyslíkem činila v průměru u sledovaného souboru (n= 16) v normoxii 98,38 % a směrodatná odchylka byla  $\pm 0,62$  %. Průměrná saturace v hypoxickém prostředí s nasimulovanou výškou 4000 m n. m., po 30minutové preaklimatici byla 86,25 % se směrodatnou odchylkou  $\pm 3,24$  %. Čili průměrná saturace klesla z 98 % v normoxii ( $FiO_2 \sim 20,9$  %) o 12 % na 86 % v simulaci 4000 m n. m. ( $FiO_2 \sim 12,5$  %).

#### Tabulka 2

*Výsledky saturace krve kyslíkem v normoxii ( $FiO_2 \sim 20,9$  %) a normobarické hypoxii ( $FiO_2 \sim 12,5$  %).*

	<i>M</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>SD</i>
SATnormo [%]	98,38	97	99	0,62
SAThypo [%]	86,25	82	92	3,24

*Poznámka: M = aritmetický průměr; SD = směrodatná odchylka; min = minimum; max = maximum; SAT = saturace; normo = normoxie; hypo = hypoxie.*

## 5.2 Výsledky testů jemné motoriky

### 5.2.1 Steadiness

Ve výsledcích testu steadiness nebyly nalezeny žádné signifikantní rozdíly mezi pravou a levou rukou, ani mezi testováním v normoxii a hypoxii.

**Tabulka 3**

*Souhrnné výsledky testu steadiness*

Steadiness	<i>M</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>SD</i>
Počet chyb (Pnormo)	0,75	0	5	1,53
Počet chyb (Phypo)	1,38	0	6	3,65
Počet chyb (Lnormo)	0,63	0	5	1,36
Počet chyb (Lhypo)	0,75	0	2	0,93
Trvání chyby (Pnormo) [s]	0,07	0	0,71	0,18
Trvání chyby (Phypo) [s]	0,20	0	1,75	0,49
Trvání chyby (Lnormo) [s]	0,04	0	0,26	0,08
Trvání chyby (Lhypo) [s]	0,08	0	0,79	0,20

*Poznámka: M = aritmetický průměr; SD = směrodatná odchylka; min = minimum; max = maximum; normo = normoxie; hypo = hypoxie; P=pravá ruka; L = levá ruka.*

**Tabulka 4**

*Porovnání výsledků testu steadiness mezi pravou a levou rukou v normoxii a hypoxii*

	<i>t</i>	<i>p</i>
Počet chyb		
Pnormo vs Lnormo	0,23	0,82
Phypo vs Lhypo	0,63	0,54
Pnormo vs Phypo	-0,59	0,56
Lnormo vs Lhypo	-0,29	0,77
Trvání chyby		
Pnormo vs Lnormo [s]	0,61	0,55
Phypo vs Lhypo [s]	0,86	0,40
Pnormo vs Phypo [s]	-0,90	0,38
Lnormo vs Lhypo [s]	-0,69	0,50

*Poznámka. t = výsledek párového t- testu; p = hladina statistické významnosti; normo = normoxie; hypo = hypoxie; P = pravá ruka; L = levá ruka.*



### 5.2.2 Sledování dráhy

Ve výsledcích testu sledování dráhy (tabulka 5) nebyly nalezeny žádné signifikantní rozdíly mezi testováním v normoxii a hypoxii. Signifikantní rozdíly byly nalezeny pouze při porovnávání dominantní a nedominantní ruky. Dominantní ruka chybuje méně než nedominantní v podmínkách normoxie i hypoxie. Na to logicky navazuje i délka trvání chyby, více chyb znamená i signifikantně delší trvání chyby.

**Tabulka 5**

*Souhrnné výsledky testu sledování dráhy*

Sledování dráhy	<i>M</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>SD</i>
Počet chyb (Pnormo)	15	3	34	7,94
Počet chyb (Phypo)	15,50	5	41	9,44
Počet chyb (Lnormo)	27,31	15	42	7,25
Počet chyb (Lhypo)	24	10	38	7,28
Trvání chyby (Pnormo) [s]	1,26	0,13	2,27	0,63
Trvání chyby (Phypo) [s]	1,26	0,17	3,62	0,82
Trvání chyby (Lnormo) [s]	2,52	1,03	5,86	1,19
Trvání chyby (Lhypo) [s]	2,12	0,51	3,22	0,84
Celková doba (Pnormo) [s]	43,65	19,54	101,05	17,68
Celková doba (Phypo) [s]	35,02	12,33	72,59	14,28
Celková doba (Lnormo) [s]	40	17,07	66,84	11,79
Celková doba (Lhypo) [s]	38,21	17,81	65,69	14,53

*Poznámka: M = aritmetický průměr; SD = směrodatná odchylka; min = minimum; max = maximum; normo = normoxie; hypo = hypoxie; P=pravá ruka; L = levá ruka; celková doba = celková doba trvání testu; s = sekunda.*

**Tabulka 6***Porovnání výsledků testu sledování dráhy mezi pravou a levou rukou v normoxii a hypoxii*

	<i>t</i>	<i>p</i>
Počet chyb		
Pnormo vs Lnormo	-4,81	<0,001*
Phypo vs Lhypo	-3,04	0,008*
Pnormo vs Phypo	-0,30	0,77
Lnormo vs Lhypo	1,59	0,13
Trvání chyby		
Pnormo vs Lnormo [s]	-4,46	<0,001*
Phypo vs Lhypo [s]	-2,69	0,02*
Pnormo vs Phypo [s]	-0,003	0,10
Lnormo vs Lhypo [s]	1,52	0,15
Celková doba		
Pnormo vs Lnormo [s]	1,73	0,10
Phypo vs Lhypo [s]	-1,16	0,26
Pnormo vs Phypo [s]	1,60	0,13
Lnormo vs Lhypo [s]	0,28	0,78

*Poznámka: t = výsledek párového T – testu; p = hladina statistické významnosti; normo = normoxie; hypo = hypoxie; P = pravá ruka; L = levá ruka; celková doba = celková doba trvání testu.*

### 5.2.3 Aiming

Ve výsledcích testu aiming nebyly nalezeny žádné signifikantní rozdíly mezi testováním v normoxii a hypoxii. V hypoxii je možné všimnout si nepatrného zrychlení provádění testu pravou i levou rukou, ale nesignifikantně. Signifikantní rozdíly byly nalezeny pouze při porovnávání dominantní a nedominantní ruky. Dominantní ruka je signifikantně rychlejší, bez ohledu na normoxii/hypoxii.

#### Tabulka 7

*Souhrnné výsledky testu aiming*

Aiming	<i>M</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>SD</i>
Počet chyb (Pnormo)	0,75	0	3	1,13
Počet chyb (Phypo)	0,81	0	4	1,42
Počet chyb (Lnormo)	1,38	0	7	2,28
Počet chyb (Lhypo)	0,81	0	5	1,38
Celková doba (Pnormo) [s]	6,13	4,58	8,66	1,13
Celková doba (Phypo) [s]	5,89	4,08	7,32	0,90
Celková doba (Lnormo) [s]	6,85	5,32	9,83	1,28
Celková doba (Lhypo) [s]	6,58	4,92	8,12	0,93
Počet zásahů (Pnormo)	18,88	16	20	1,40
Počet zásahů (Phypo)	19	16	20	1,37
Počet zásahů (Lnormo)	19,1250	16	20	1,26
Počet zásahů (Lhypo)	19,25	18	21	0,93

*Poznámka: M = aritmetický průměr; SD = směrodatná odchylka; min = minimum; max = maximum; normo = normoxie; hypo = hypoxie; P=pravá ruka; L = levá ruka; celková doba = celková doba trvání testu.*

**Tabulka 8***Porovnání výsledků testu aiming mezi pravou a levou rukou v normoxii a hypoxii*

	<i>t</i>	<i>p</i>
Počet chyb		
Pnormo vs Lnormo	-1,03	0,32
Phypo vs Lhypo	0	1
Pnormo vs Phypo	-0,14	0,89
Lnormo vs Lhypo	0,83	0,42
Celková doba		
Pnormo vs Lnormo [s]	-4,10	<0,001*
Phypo vs Lhypo [s]	-3,28	0,005*
Pnormo vs Phypo [s]	1,17	0,26
Lnormo vs Lhypo [s]	1,11	0,29
Počet zásahů		
Pnormo vs Lnormo	-0,58	0,57
Phypo vs Lhypo	-0,75	0,47
Pnormo vs Phypo	-0,25	0,80
Lnormo vs Lhypo	-0,42	0,68

*Poznámka: t = výsledek párového T – testu; p = hladina statistické významnosti; normo = normoxie; hypo = hypoxie; P = pravá ruka; L = levá ruka; celková doba = celková doba trvání testu.*

### 5.2.4 Tapping

Ve výsledcích testu tapping byly nalezeny signifikantní rozdíly mezi testováním v normoxii a hypoxii i mezi porovnáváním výsledků pravé a levé ruky. Počet zásahů byl výrazně větší u pravé ruky než u levé. V hypoxii se počet zásahů jak u pravé, tak u levé ruky signifikantně zvýšil.

**Tabulka 9**

*Souhrnné výsledky testu tapping*

	<i>M</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>SD</i>
Počet zásahů (Pnormo)	209,19	182	229	13,40
Počet zásahů (Phypo)	217,63	182	240	12,88
Počet zásahů (Lnormo)	191,06	161	216	15,96
Počet zásahů (Lhypo)	196,50	166	223	16,88

*Poznámka: M = aritmetický průměr; SD = směrodatná odchylka; min = minimum; max = maximum; normo = normoxie; hypo = hypoxie; P=pravá ruka; L = levá ruka.*

**Tabulka 10**

*Porovnání výsledků testu tapping mezi pravou a levou rukou v normoxii a hypoxii*

	<i>t</i>	<i>p</i>
Počet zásahů		
Pnormo vs Lnormo	3,71	0,002*
Phypo vs Lhypo	4,40	<0,001*
Pnormo vs Phypo	-2,37	0,03*
Lnormo vs Lhypo	-2,20	0,04*

*Poznámka: t = výsledek párového T – testu; p = hladina statistické významnosti; normo = normoxie; hypo = hypoxie; P = pravá ruka; L = levá ruka.*

### 5.3 Výsledky Corsiho testu

V tabulce 11 jsou zobrazeny souhrnné výsledky Corsiho testu v normoxii a hypoxii. Průměrná hodnota bezprostředního zapamatování kostek (BZP) v normoxii byla 6 ( $\pm$  0,89) a v hypoxii 6,25 ( $\pm$  1,13). Počet správně zapamatovaných sekvencí byl v průměru lepší v hypoxii, a to 12 ( $\pm$  2,25) správně zapamatovaných sekvencí, oproti 11 ( $\pm$  2,54) z normoxie. Maximální počet správně zapamatovaných sekvencí byl 17 v normoxii

a 15 v hypoxii, minimální počet byl stejný v normoxii i hypoxii, a to 7 správných sekvencí. Chybných sekvencí bylo průměrně 4,25 ( $\pm 1$ ) v normoxii a 5,37 ( $\pm 1,36$ ) v hypoxii. Průměrný počet sekvenčních chyb byl 2,63 ( $\pm 1,31$ ) v normoxii a 3,13 ( $\pm 1,15$ ) v hypoxii. Maximální počet sekvenčních chyb byl 5.

### Tabulka 11

*Souhrnné výsledky Corsiho testu v normoxii a hypoxii.*

	<i>M</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>SD</i>
BZP (normo)	6	5	8	0,89
BZP (hypo)	6,25	4	8	1,13
Správné sekvence (normo)	11	7	17	2,54
Správné sekvence (hypo)	12	7	15	2,25
Chybné sekvence (normo)	4,25	3	6	1
Chybné sekvence (hypo)	5,37	3	7	1,36
Sekvenční chyba (normo)	2,63	1	5	1,31
Sekvenční chyba (hypo)	3,13	1	5	1,15

*Poznámka: M = aritmetický průměr; SD = směrodatná odchylka; min = minimum; max = maximum; normo = normoxie; hypo = hypoxie; BZP = bezprostřední zapamatování kostek.*

Jak lze vyčíst z tabulky 12 při porovnávání průměrných hodnot BZP a sekvenčních chyb nebyly nalezeny signifikantní rozdíly mezi normoxií a hypoxií. V hypoxii byl počet správně zapamatovaných sekvencí vyšší na hranici signifikace ( $p = 0,06$ ) než v normoxii. Počet chybně zaznamenaných sekvencí byl v hypoxii signifikantně vyšší ( $p = 0,01$ ). Z výsledků je tedy patrné, že se v hypoxickém prostředí zvýšila chybovost oproti normoxii.

### Tabulka 12

*Porovnání výsledků Corsiho testu v normoxii a hypoxii*

	<i>t</i>	<i>p</i>
BZP (normo vs hypo)	-1,17	0,26
Správné sekvence (normo vs hypo)	-2,04	0,06
Chybné sekvence (normo vs hypo)	-3	0,01*
Sekvenční chyba (normo vs hypo)	-1,26	0,23

*Poznámka: t = výsledek párového T – testu; p = hladina statistické významnosti; normo = normoxie; hypo = hypoxie; BZP = bezprostřední zapamatování kostek.*

## 5.4 Výsledky handgrip testu

Testované osoby absolvovaly handgrip test až jako poslední ze tří testů. Vzhledem k délce trvání předchozích testů a 30minutové preaklimatizaci byly před provedením handgrip testu vystaveny hypoxii přibližně 60 minut.

V tabulkách 13 a 14 jsou výsledky handgrip testu. Z výsledků jsou jasně patrné signifikantní statistické rozdíly v síle stisku mezi pravou a levou rukou jak v normoxii, tak i v hypoxii. U normoxie činí rozdíl cca 23,5 N, levá (nedominantní) ruka je o je 7,6 % ve stisku slabší než pravá (dominantní). U hypoxie tento rozdíl činí 32,2 N, (levá ruka je o 10,6 % slabší než pravá.

Zároveň byly zjištěny signifikantní rozdíly mezi silou pravé ruky v normoxii a hypoxii ( $p = 0,026$ ). Faktický pokles síly v hypoxii u pravé ruky se pohyboval průměrně o 9 N (o 2,9 %). Pokles síly stisku se projevil taktéž u levé ruky, konkrétně o 17,7 N (o 6,1 %).

### Tabulka 13

*Souhrnné výsledky handgrip testu*

	<i>M</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>SD</i>
handP(normo) [N]	312	198	424	57,00
handL(normo) [N]	289	159	413	61,02
handP(hypo) [N]	303	210	421	52,83
handL(hypo) [N]	271	143	380	55,95

*Poznámka: M = aritmetický průměr; SD = směrodatná odchylka; min = minimum; max = maximum; handP = pravá ruka; handL = levá ruka; normo = normoxie; hypo = hypoxie.*

### Tabulka 14

*Porovnání výsledků handgrip testu v normoxii a hypoxii pro pravou a levou ruku*

	<i>t</i>	<i>p</i>
normo P vs L	4,26	0,001*
hypo P vs L	5,18	<0,001*
P normo vs P hypo	2,47	0,026*
L normo vs L hypo	3,70	0,002*

*Poznámka: t = výsledek párového T-testu; p = hladina statistické významnosti; normo = normoxie; hypo = hypoxie; P = pravá ruka; L = levá ruka.*

V tabulce 15 jsou zobrazeny korelace mezi stiskem pravé a levé ruky v normoxii a hypoxii se pohybují mezi  $r = 0,89-0,97$  ( $p < 0,001$ ).

### Tabulka 15

*Vzájemné korelace (r) mezi stiskem pravé a levé ruky v hypoxii a normoxii*

	handP(normo)	handL(normo)	handP(hypo)
handL(normo)	0,93 (p <0,001*)		
handP(hypo)	0,96 (p <0,001*)	0,89 (p <0,001*)	
handL(hypo)	0,91 (p <0,001*)	0,95 (p <0,001*)	0,90 (p <0,001*)

*Poznámka: handP = pravá ruka; handL = levá ruka; normo = normoxie; hypo = hypoxie; r = Pearsonův korelační koeficient; p = hladina statistické významnosti.*



## 6 DISKUSE

Cílem diplomové práce bylo zhodnotit vliv normobarické hypoxie na krátkodobou paměť, sílu stisku a jemnou motoriku u souboru žen. Test jemné motoriky i krátkodobé paměti byl vybrán z Vienna test systému, konkrétně šlo o MLS a Corsiho test. Simulovaná výška byla 4000 m n. m. s obsahem kyslíku 12,5 % ( $F_{iO_2}$ ).

Během testování byla pravidelně všem testovaným měřena a sledována saturace krve kyslíkem, která se dle předpokladů při měření v normoxii pohybovala mezi 98–99 %. Při měření v hypoxii saturace průměrně klesala po 30 minutách preaklimatizace k 86 %, tato hodnota saturace je v nadmořské výšce 4000 m n.m. zcela běžná (Aebi et al., 2019; Crawford & Loprinzi, 2019).

### Tabulka 16

*Vliv hypoxie na saturaci krve kyslíkem v různých nadmořských výškách (Tannheimer, Thomas, & Gerngroß, 2002)*

Nadmořská výška [m]	1 200	2 300	3 600	4 100	4 850	5 750
n	13	13	13	9	13	12
Medián SpO <sub>2</sub>	96,50	93,50	90,50	86,50	86,00	78,50

Poznámka: SpO<sub>2</sub>= saturace krve kyslíkem.

Pro měření a vyhodnocení krátkodobé paměti byl použit Corsiho test z testové baterie Vienna test systému. Důležitým parametrem testu je počet bezprostředně zapamatovaných sekvencí, který byl v normoxickém prostředí u testovaného souboru průměrně  $6 \pm 0,89$ , což odpovídá 63.–84. percentilu v této věkové kategorii, jedná se tedy o průměrný výsledek pro tuto věkovou kategorii. Při porovnávání průměrných hodnot BZP a sekvenčních chyb nebyly nalezeny statisticky významné rozdíly mezi normoxií a hypoxií

Legg et al. (2004) ve své studii tvrdí, že mírná hypoxie obecně neovlivňuje dobře naučené kognitivní schopnosti a motorický výkon, nicméně učení nových a složitějších kognitivních úkolů, které zahrnují více požadavků, může být hypoxickým prostředím negativně ovlivněno. Ve výsledcích své studie uvádí, že i mírná hypoxie může mít za následek zhoršení pracovní paměti a může negativně ovlivnit komplexní logické

uvažování, což potvrzuje výsledek našeho měření. Studie Ghosh et al. (2020) naopak nezaznamenala ve výšce 4200 m n. m. u výzkumného souboru složeného z 28 mužů a 2 žen ve věku mladší dospělosti, žádné signifikantní rozdíly ve výsledcích Corsiho testu mezi normoxií a hypoxií. Aquino Lemos et al. (2012), poukazuje ve své studii s využitím Corsiho testu, která byla provedena u 10 mužů ve věku mladší dospělosti, na zhoršení krátkodobé paměti ve 4500 m n. m., ale až po 24h expozici hypoxickému prostředí. Zhoršení krátkodobé paměti při vystavení dlouhodobé hypoxii v nadmořské výšce 4500 m n. m. potvrzuje ve své práci i Gao et al. (2015). Testovaný soubor byl složen z 217 dospělých mužů. Tyto výsledky poukazují na to, že vliv hypoxie na krátkodobou paměť není dán pouze stupněm nadmořské výšky, ale také délkou expozice (Bahrke et al., 1993).

Účinky krátkodobé a dlouhodobé expozice vysokým nadmořským výškám na jemnou motoriku a manuální zručnost zkoumal u 16 mužů ve věku mladší dospělosti ve své studii Zhang et al. (2013). Z výsledků vyplynulo, že vysoká nadmořská negativně ovlivnila jemnou motoriku, u krátkodobé expozice byly změny výraznější než u expozice dlouhodobé, u které již docházelo k aklimatizaci. Bruguera et al. (2021) ve své studii s elitními piloty, ve které využívali testovou baterii MLS z Vienna test systému, uvádějí, že se přesnost pohybů při dlouhodobém vystavení hypoxickému prostředí snižuje. Z našich výsledků nevyplývaly u jemné motoriky signifikantní rozdíly mezi normoxií a hypoxií až na jediný test, konkrétně tapping, kde se paradoxně v hypoxii počet zásahů oproti normoxii zvýšil. Tyto výsledky opět poukazují na to, že vliv hypoxie na jemnou motoriku není ovlivněn pouze stupněm nadmořské výšky, ale také délkou expozice.

Účinkům hypoxie na vlastnosti kosterních svalů se zatím věnovalo velmi málo studií. Abdel-Aziem a Almaz (2019) testovali sílu stisku u stovky vysokoškolských studentů mužského pohlaví v simulované výšce 2500 m n. m., síla stisku byla testována pomocí standardního dynamometru s nastavitelnou rukojetí. Studie nezjistila signifikantní rozdíl v síle stisku ruky v normoxii a hypoxii. Z našich výsledků ve výšce 4000 m n. m. jsou naopak jasně patrné signifikantní statistické rozdíly v síle stisku mezi pravou a levou rukou jak v normoxii tak i v hypoxii. U normoxie činí rozdíl cca 23,5 N levá (nedominantní) ruka je o je 7,6 % ve stisku slabší než pravá (dominantní). U hypoxie tento rozdíl činí 32,2 N, levá ruka je o 10,6 % slabší než pravá. Ze studie Karayigitihio et al. (2022) vyplývá, že síla může být v prostředí akutní normobarické hypoxie s obsahem kyslíku 12 a 14 % ( $FiO_2$ ) negativně ovlivněna, a to z důvodu narušení homeostázy kosterních svalů a s tím spojenou únavou svalů. Vysoká dávka hypoxie zvyšuje laktát v krvi a z důvodu hyperventilace snižuje množství  $CO_2$  v krvi, dochází tedy ke snížení

pH krve (acidóze), která přispívá ke svalové únavě. Studie byla prováděna na 13 mužích a 13 ženách, signifikantní rozdíly mezi pohlavími nebyly nalezeny.

Nejpravděpodobnějším důvodem pro takto rozdílné výsledky je různá nadmořská výška, ve které se testy prováděly. Vzhledem k minimu publikací zabývajících se účinkům hypoxie na svalovou sílu stojí tato oblast za další zkoumání.

## **6.1 Limity studie**

Při posuzování výsledků je třeba brát ohled na jejich limity.

- Studie byla prováděna na malém vzorku populace.
- Testované byly zdravé, sportující dívky ve věku 20-25 let, nelze tedy výsledky zobecnit pro celou populaci.
- Na odezvu organismu na hypoxické prostředí má vliv délka expozice, s přibývajícím časem by se tedy mohly výsledky lišit.
- Na odezvu organismu na hypoxické prostředí má vliv také intenzita zatížení. Všechny testy v této diplomové práci byly prováděny v klidu, vsedě nebo ve stoji, s rostoucí intenzitou zatížení by tedy mohly výsledky nabývat jiných hodnot.

## 7 ZÁVĚRY

- V prostředí normobarické hypoxie 4000 m n. m. ( $FiO_2 \sim 12,5 \%$ ) činila saturace krve  $O_2$  u výzkumného souboru ( $n = 16$ ) 86 %. Průměrná hodnota v normoxii ( $FiO_2 = 20,9 \%$ ) byla 98 %.
- V Corsiho testu krátkodobé paměti byl v zjištěn signifikantní rozdíl v počtu chybně zaznamenaných sekvencí, což poukazuje na zvýšení chybovosti v hypoxii oproti normoxii.
- V testech pro jemnou motoriku nebyly u většiny proměnných zjištěny signifikantní rozdíly. Jediný parametr, který byl hypoxickým prostředím signifikantně ovlivněn, byl nalezen v testu tapping, konkrétně v počtu zásahů po dobu 32 sekund. V hypoxii se počet zásahů signifikantně zvýšil.
- Významné rozdíly mezi měřeními v normoxii a hypoxii byly zjištěny v síle stisku. Pokles síly v hypoxii se pohyboval průměrně o 9 N (o 2,9 %) u pravé ruky. Pokles síly se projevil taktéž u levé ruky, konkrétně o 17,7 N (o 6,1 %).

## 8 SOUHRN

Vysokohorské prostředí se v posledních letech stává stále oblíbenějším a navštěvovanějším, vzrostla popularita turistiky, lyžování i horolezectví. Lidé se často, bez předcházejí aklimatizace, mohou dostat velmi jednoduše a rychle do vysokých nadmořských výšek, což s sebou může přinášet zdravotní komplikace a rizika.

Hlavním cílem diplomové práce bylo zjistit, jaký vliv má simulovaná nadmořská výška na krátkodobou paměť, jemnou motoriku a sílu stisku. V přehledu poznatků jsou rozpracovány kapitoly o hypoxii a jejím vlivu na lidský organismus, akutní horské nemoci, nervovém systému, kognitivních funkcích a motorice.

Praktická část práce se zabývá změnami krátkodobé paměti, jemné motoriky a síly stisku při expozici organismu normobarické hypoxii, která odpovídala úrovni 4000 m n. m. K měření byly využity testy z Vienna test systému, konkrétně Corsiho test pro paměť a MLS test pro jemnou motoriku. Pro změření síly stisku byl využit handgrip test pomocí ručního dynamometru. Výzkumný soubor byl složen z 16 žen ve věku mladší dospělosti. Samotné testování probíhalo dvakrát. Jednou v normoxii a jednou v hypoxickém prostředí (podmínky normobarické hypoxie byly vytvořeny pomocí hypoxické komory a generátoru hypoxického vzduchu HR-1470). Měření předcházela 30minutová expozice hypoxickému prostředí a následně začalo testování pomocí testů z Vienna test systému. Mezi jednotlivými měření byl odstup alespoň 14 dní, aby bylo zamezeno zapamatování si a naučení se testu. Polovina souboru byla testována nejprve v normoxii a poté v hypoxii, druhá polovina naopak.

Z výsledků Corsiho testu pro krátkodobou paměť je patrné, že při porovnávání průměrných hodnot BZP a sekvenčních chyb nebyly nalezeny statisticky významné rozdíly mezi normoxií a hypoxií. V hypoxii byl počet správně zapamatovaných sekvencí vyšší na hranici signifikace ( $p = 0,06$ ) než v normoxii. Počet chybně zaznamenaných sekvencí byl v hypoxii signifikantně vyšší ( $p = 0,01$ ), což poukazuje na zvýšenou chybovost v hypoxickém prostředí.

Výsledky jemné motoriky neukázaly téměř u žádné proměnné signifikantní rozdíl mezi testováním v prostředí normoxie a hypoxie. Jediný parametr, který byl hypoxickým prostředím signifikantně ovlivněn, byl nalezen v testu tapping, konkrétně u počtu zásahů po dobu 32 sekund. V hypoxii se počet zásahů signifikantně zvýšil. Co se týče ostatních testů, zde byly, jak se předpokládalo, nalezeny signifikantní rozdíly pouze při porovnávání dominantní ruky s rukou nedominantní.

Nejvýraznější rozdíly byly nalezeny u handgrip testu. Z našich výsledků ve výšce 4000 m n. m. jsou jasně patrné signifikantní statistické rozdíly v síle stisku mezi pravou a levou rukou, jak v normoxii, tak i v hypoxii. U normoxie činí rozdíl cca 23,5 N, levá (nedominantní) ruka je o je 7,6 % ve stisku slabší než pravá (dominantní). U hypoxie tento rozdíl činí 32,2 N, levá ruka je o 10,6 % slabší než pravá. Zároveň byly zjištěny signifikantní rozdíly mezi silou pravé ruky v normoxii a hypoxii ( $p = 0,026$ ). Faktický pokles síly v hypoxii u pravé ruky se pohyboval průměrně o 9 N (o 2,9 %). Pokles síly stisku se projevil taktéž u levé ruky, konkrétně o 17,7 N (o 6,1 %).

Tato diplomová práce může být užitečná pro získání povědomí o reakcích organismu na hypoxické prostředí, především na jemnou motoriku, paměť a sílu stisku a může přispět k pochopení rizik, která s sebou přináší hypoxické prostředí. Může tedy posloužit turistům, lyžařům, horolezcům a obecně všem, kteří se pohybují ve vysokých nadmořských výškách. Díky poznatků z této práce je možné předejít mnohým nežádoucím účinkům a zraněním při výstupu do vysokých nadmořských výšek.

## 9 SUMMARY

In recent years, the high mountain environment has become more and more popular, with hiking, skiing and mountaineering becoming increasingly popular. Often, without previous acclimatisation, people can get to high altitudes very easily and quickly, which can bring with it health complications and risks.

The main aim of this thesis was to investigate the effects of simulated altitude on short-term memory, fine motor skills and grip strength. In the review of findings, chapters on hypoxia and its effect on the human body, acute mountain sickness, the nervous system, cognitive function and motor skills are presented.

The practical part of the thesis deals with changes in short-term memory, fine motor skills and grip strength during exposure of the organism to normobaric hypoxia corresponding to the level of 4000 m above sea level. Tests from the Vienna test system, namely the Corsi test for memory and the MLS test for fine motor skills, were used for the measurements. The handgrip test using a hand dynamometer was used to measure grip strength. The research population consisted of 16 young adult women. The actual testing was conducted twice. Once in normoxia and once in a hypoxic environment (normobaric hypoxia conditions were created using a hypoxic chamber and HR-1470 hypoxic air generator). Measurements were preceded by a 30-minute exposure to the hypoxic environment and then testing began using the Vienna test system. There was at least 14 days between each measurement to avoid memorization and learning of the test. Half of the group was tested first in normoxia and then in hypoxia, the other half vice the opposite.

The results of the Corsi test for short-term memory showed that no statistically significant differences were found between normoxia and hypoxia when comparing the mean BZP and sequential error rates. The number of correctly memorized sequences was nonsignificantly higher in hypoxia ( $p = 0.06$ ) than in normoxia. The number of incorrectly recorded sequences was significantly higher in hypoxia ( $p = 0.01$ ), indicating an increased error rate in a hypoxic environment.

Fine motor skills results showed almost no significant difference for any variable between testing in normoxia and hypoxia environments. The only parameter that was significantly affected by the hypoxic environment was found in the tapping test, specifically in the number of hits for 32 seconds. In hypoxia, the number of hits increased

significantly. As for the other tests, here, as expected, significant differences were found only when comparing the dominant hand with the non-dominant hand.

The most significant differences were found in the handgrip test. Our results at 4000 m altitude clearly show significant statistical differences in grip strength between the right and left hand in both normoxia and hypoxia. In normoxia the difference is about 23.5 N, the left (non-dominant) hand is 7.6% weaker in grip than the right (dominant) hand. In hypoxia the difference is 32.2 N the left hand is 10.6% weaker than the right. At the same time, significant differences were found between the right hand strength in normoxia and hypoxia ( $p = 0.026$ ). The actual decrease in strength in hypoxia in the right hand was on average 9 N (2.9%). The decrease in grip strength was also evident in the left hand, namely 17.7 N (6.1%).

This thesis may be useful in order to gain an understanding of the body's responses to hypoxic environments, especially fine motor skills, memory and grip strength may contribute to an understanding of the risks that hypoxic environments entail. It can therefore be useful to hikers, skiers, climbers and generally anyone who is at high altitude. With the knowledge gained from this work, many unwanted effects and injuries can be avoided when climbing to high altitudes.



## 10 REFERENČNÍ SEZNAM

- Abdel-Aziem, A. A., & Mohammad, W. S. (2012). Plantar-flexor static stretch training effect on eccentric and concentric peak torque – A comparative study of trained versus untrained subjects. *Journal of Human Kinetics*, 34, 49–58.
- Aebi, M. R., Bourdillon, N., Bron, D., & Millet, G. P. (2020). Minimal influence of hypobarica on heart rate variability in hypoxia and normoxia. *Frontiers in Physiology*, 11, 1072. doi: 10.3389/fphys.2020.01072
- Aquino Lemos, V., Antunes, H. K., dos Santos, R. V., 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>
- Bahrke, M. S., & Shukitt-Hale, B. (1993). Effects of altitude on mood, behaviour and cognitive functioning. A review. *Sports Medicine* 16(2), 97–125. <https://doi.org/10.2165/00007256-199316020-00003>
- Bhutta, B. S., Alghoula, F., & Berim, I. (2022). *Hypoxia*. StatPearls Publishing.
- Borowska, E., Harasim, E., & Ostapowicz, K. D. (2014). Acute mountain sickness. *Archives of Physiother and Global Researches*, 18(4), 19-22.
- Botek, M., Neuls, F., Klimešová, I., & Vyhnánek, J. (2017). *Fyziologie pro tělovýchovné obory (vybrané kapitoly, část 1.)*. Olomouc: Univerzita Palackého.
- Bruguera, M. B., Fink, A., Schröder, V., Bermúdez, S. L., Dessy, E., Berg, F., Lawson, G., Dangoisse, C., Possnig, C., Albertsen, N., Pattyn, N., & Ewald, R. (2021). Assessment of the effects of isolation, confinement and hypoxia on spaceflight piloting performance for future space missions – The SIMSKILL experiment in Antarctica, *Acta Astronautica*, 179, 471-483.
- Campbell, R. D., & Bargshaw, M. (2002). *Human performance and limitations in aviation*, Wiley-Blackwell.
- Crawford, L., & Loprinzi, P. (2019). Effects of intensity-specific acute exercise on paired-associative memory and memory interference. *Psych*, 1(1), 290-305.
- Čadilová, V., Thorová, K., Žampachová, Z., Baslerová, P., Čadová, E., Michalík, J., Potměšil, M., & Valenta, M. (2012). *Katalog posuzování míry speciálních vzdělávacích potřeb. Část II. (diagnostické domény pro žáky s poruchami autistického spektra)*. Olomouc: Univerzita Palackého.
- Čihák, R. (2004). *Anatomie 3*. Praha: Grada.

- Dovalil, J. et al. (2012). *Výkon a trénink ve sportu*. Praha: Olympia.
- Dylevský, I. (2007). *Základy funkční anatomie*. Praha: Grada
- Fabiánová, S. (2006). *Mechanismy učení a paměti*. Bakalářská práce, Univerzita Karlova, Farmaceutická fakulta v Hradci Králové, Praha.
- Ganong, W. F. (2005). *Přehled lékařské fyziologie*. Praha: Galén.
- Gao, Y. X., Li, P., Jiang, C. H., Liu, C., Chen, Y., Chen, L., Ruan, H. Z., & Gao, Y. Q. (2015). Psychological and cognitive impairment of long-term migrators to high altitudes and the relationship to physiological and biochemical changes. *European Journal of Neurology*, 22(10), 1363–1369.
- 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(2), 82-87. doi: 10.25259/IJASM\_28\_2020
- Guyton, A. C., & Hall, J. E. (2000). *Textbook of medical physiology*. Philadelphia: W. B. Saunders Company.
- Ha, Y. C., Yoo, J. I., Park, Y. J., Lee, C. H., & Park, K. S. (2018). Measurement of uncertainty using standardized protocol of hand grip strength measurement in patients with sarcopenia. *Journal of Bone Metabolism*, 25(4), 243–249.
- Chan, E. D., & Chan, M. M. (2013). Pulse oximetry: Understanding its basic principles facilitates appreciation of its limitations. *Respiratory Medicine*, 107(6), 789-799.
- Imray, Ch., Wright, A., Subudhi, A., & Roach, R. (2010). Acute mountain sickness: pathophysiology, prevention, and treatment. *Progress in Cardiovascular Diseases*. 52(6), 467-484.
- Irmiš, F. (2007). *Temperament a autonomní nervový systém*. Praha: Galén.
- Jandová, D. (2009). *Balneologie*. Praha: Grada.
- Jin, J. (2017). Acute mountain sickness. *JAMA*, 318(18), 1840. doi:10.1001/jama.2017.16077
- Karayigit, R., Eser, C. M., Sahin, N. F., Sari, C., Sanchez – Gomez, A., Dominguez, R., & Koz, M. (2022). The acute effect of normobaric hypoxia on strength, muscular endurance and cognitive function: Influence of dose and sex. *Biology*. 11, 309.
- Karinen, H. M., Peltonen, J. E., Kähönen, M., & Tikkanen, H. O. (2010). Prediction of acute mountain sickness by monitoring arterial oxygen saturation during ascent. *High Altitude Medicine & Biology*, 11, 325-332
- Klucká, J., & Volfová, P. (2009). *Kognitivní trénink v praxi*. Praha: Grada.

- Komiyama, T., Katayama, K., Sudo, M., Ishida, K., Higaki, Y., & Ando, S. (2017). Cognitive function during exercise under severe hypoxia. *Scientific Reports*, 7(1)
- Langmeier, M. et al. (2009). *Základy lékařské fyziologie*. Praha: Grada.
- Legg, S., Hill, S., Gilbey, A., Raman, A., Schlader, Z., & Mündel, T. (2014). Effect of mild hypoxia on working memory, complex logical reasoning, and risk judgement. *The International Journal of Aviation Psychology*, 24(2), 126–140.
- Máček, M., & Radvanský, J. (2011). *Fyziologie a klinické aspekty pohybové aktivity*. Praha: Galén.
- Malia, K., & Brannagan, A. (2010). *Jak provádět trénink kognitivních funkcí*. Praha: CEREBRUM.
- Měkota, K. (1989). *Kapitoly z antropomotoriky I*. Olomouc: Univerzita Palackého.
- Meier, D., Collet, T. H., Locatelli, I., Cornuz, J., Kayser, B., Simel, D. L., & Sartori, C. (2017). Does this patient have acute mountain sickness? The rational clinical examination systematic review. *JAMA*, 318(18), 1810-1819.
- Mourek, J. (2012). *Fyziologie: učebnice pro studenty zdravotnických oborů* (2nd ed.). Praha: Grada.
- Myslivoček, J., & Myslivečková, J. (1989). *Nervová soustava: funkce, struktura a poruchy činnosti*. Praha: Avicenum.
- Nikolaj, T., & Bezdíček, O. (2018). Poruchy paměti a neuropsychologické vyšetření v klinické praxi. *Neurologie pro praxi*, 19(6), 405–410.
- Niu, Z., Zhong, G., & Yu, H. (2021). A review on the attention mechanism of deep learning. *Neurocomputing*, 452(10), 48-62.
- Novotný, J., Sebera, M., Hrazdira, L., & Novotná, M., (2003). *Kapitoly sportovní medicíny*. Brno: Paido.
- Huerta Ojeda, Á., Fontecilla Díaz, B., Yeomans Cabrera, M. M., & Jerez-Mayorga, D. (2021). Grip power test: A new valid and reliable method for assessing muscle power in healthy adolescents. *PloS one*, 16(10), e0258720.
- Orel, M. (2019). *Anatomie a fyziologie lidského těla: pro humanitní obory*. Praha: Grada
- Plháková, A. (2004). *Učebnice obecné psychologie*. Praha: Academia.
- Rusina, R. (2004). Paměť a její poruchy. *Neurologie pro praxi*, 4, 205-207.
- Rokyta, R. (2016). *Fyziologie* (3rd ed.). Praha: Galén.
- Saper, C. B., & Lowell, B. B. (2014). The hypothalamus. *Current Biology*, 24(23), R1111-R1116.

- Savourey, G., Launay, J. C., Besnard, Y., Guinet, A., & Travers, S. (2003). Normo – and hypobaric hypoxia: are there any physiological differences? *European Journal of Applied Physiology*, 89(2), 122–126. <https://doi.org/10.1007/s00421-002-0789-8>
- Seo, Y., Burns, K., Fennell, C., Kim, J. H., Gunstad, J., Glickman, E., & McDaniel, J. (2015). The influence of exercise on cognitive performance in normobaric hypoxia. *High Altitude Medicine & Biology*, 16(4), 298-305.
- Schellig, D. (2011). *Manual Corsi block-tapping test*. Mödling: Schuhfried.
- 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>
- Suchý, J. (2012). *Využití hypoxie a hyperoxie ve sportovním tréninku*. Praha: Karolinum.
- Sternberk, R. J. (2002). *Kognitivní psychologie*. Praha: Portál.
- Seliger, V., & Choutka, M. (1982). *Fyziologie sportovní výkonnosti*. Praha: Olympia.
- Štěpánová, L. (2009). *Srovnání dvou testů hodnotících autonomní nervový systém*. (Diplomová práce). Univerzita Karlova v Praze.
- Šulc, J., Bartoš, D., Došel, P., Truska, O., & Vanko, J. (2001). *Letecká psychofyziologie*. Praha: Ústav leteckého zdravotnictví.
- Tannheimer, M. Thomas, A., & Gerngroß, H. (2002). Oxygen saturation course and altitude symptomatology during an expedition to broad peak (8 047 m.). *International Journal of Sports Medicine*, 23(5), 329-335. doi: 10.1055/s-2002-33144
- Tremper, K. K. (1989) Pulse oximetry. *Chest Journal*, 95(4), 713-715. <https://doi.org/10.1378/chest.95.4.713>
- Trojan, S. et al. (1996). *Lékařská fyziologie* (2nd ed.). Praha: Grada.
- Trojan, S., et al. (2003). *Lékařská fyziologie* (4th ed.). Praha: Grada.
- Valenta, M., Doležalová, B., Jarmanová, J., Kulíšková, O., Lečbych, M., Navrátilová, M., Petrášková, J., Petráš, P., Petrová, A., Procházka, M., Svoboda, P., Stupňánková, E., Baslerová, P., Čadová, E., Machalík, J., & Potměšil, M. (2012). *Katalog posuzování míry speciálních vzdělávacích potřeb. Část II. (diagnostické domény pro žáky s mentálním postižením)*. Olomouc: Univerzita Palackého.
- Vařeková, J., & Daňová, K. (2014). Pohybová aktivita a kognitivní funkce. *Medicina Sportiva Bohemica et Slovaca*, 23(4), 210-215.
- Vyskotová, J., & Macháčková, K. (2013). *Jemná motorika*. Praha: Grada.

- West, J. B. (2012). High-altitude medicine. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 186(12), 1229–1237.
- Wilmore, J., Costill, D., & Kenney W. (2007). *Physiology of sport and exercise*. Champaign: Human Kinetics.
- Zhang, G., Zhou, S., Yuan, Ch., Tian, H., Li, P., Gao, Y. (2013). The effect of short-term and long-term altitude hypoxic environment on neurobehavioral function. *High Altitude Medicine & Biology*, 14(4), 338-341.
- Zhang, J., Zhang H., Li, J., Chen, J., Han, Q., Lin, J., Yang, T., & Fan, M. (2013). Adaptive modulation of adult brain gray and white matter to high altitude: structural MRI studies. *PLoS one*, 8(7), e68621.
- Zhang, J.; Yan, X.; Shi, J.; Gong, Q.; Weng, X.; Liu, Y. (2010). Structural Modifications of the Brain in Acclimatization to High-Altitude. *PLoS one*, 5(8), e11449.

# 11 PŘÍLOHY

## Příloha 1

### Vzor informovaného souhlasu

#### Informovaný souhlas

**Název studie (projektu): ~~Vliv normobarické hypoxie na krátkodobou paměť, jemnou motoriku a sílu stisku u souboru žen~~**

Jméno:

Datum narození:

Účastník byl do studie zařazen pod číslem:

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

Podpis účastníka:

Datum: