

Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta tělesné kultury



Fakulta
tělesné kultury

VLIV NORMOBARICKÉ HYPOXIE NA REAKČNÍ DOBU: PILOTNÍ STUDIE S VYUŽITÍM VIENNA TESTŮ

Diplomová práce

Autor: Bc. Kristýna Danielová

Studijní program: Učitelství tělesné výchovy pro 2. stupeň ZŠ a SŠ a
Učitelství výchovy ke zdraví pro 2. stupeň základních škol

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

Olomouc 2023

Bibliografická identifikace

Jméno autora: Bc. Kristýna Danielová
Název práce: Vliv normobarické hypoxie na reakční dobu: Pilotní studie s využitím Vienna testů

Vedoucí práce: Mgr. Filip Neuls, Ph.D.
Pracoviště: Katedra přírodních věd v kinantropologii
Rok obhajoby: 2023

Abstrakt:

V dnešní době, kdy se zvyšuje obliba pohybových aktivit ve vyšších nadmořských výškách, je důležité zkoumat vliv hypoxického prostředí na organismus. Diplomová práce se zabývá vlivem hypoxie na reakční dobu. Práce zkoumá, do jaké míry se liší hodnoty reakční doby a motorické odezvy v normoxickém a hypoxickém prostředí u jednotlivých testů. Výzkumný soubor tvořilo 15 osob z řad studentů Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci a dalších dobrovolníků. Výsledky jsou prezentovány u výzkumného souboru 12 dobrovolníků, kteří podstoupili dvě měření reakční doby v normoxii a hypoxii. Hypoxie byla nasimulována v hypoxické komoře na Fakultě tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci. K praktickému sběru dat byly zvoleny testy reakční doby z testové baterie Vienna test systému. Testované osoby byly vystaveny hypoxii pomocí hypoxické komory nadmořské výšce 4 500 m a frakce kyslíku (FiO_2) 12 % po dobu 45 minut. Z výsledků práce vyplývá, že se mírně prodlužuje reakční doba v hypoxii od stavu normoxie u 3 testů ze 4, zatímco se motorická odezva zkracuje, avšak rozdíly nejsou statisticky významné. Pouze v testu S1 (reakce na vizuální podnět) byla signifikantně rychlejší motorická odpověď v hypoxii ($p = 0,01$) a nižší míra rozptylu reakční doby v normoxii ($p = 0,02$). Výsledky dále naznačují trend negativní korelace mezi saturací O_2 v krvi (SpO_2) a reakční dobou (test S1 $r = -0,42$; $p = 0,18$; test S2 $r = -0,61$; $p = 0,03$; test S4 $r = -0,67$; $p = 0,02$; test S7 $r = -0,53$; $p = 0,08$).

Klíčová slova:

Hypoxie, simulovaná nadmořská výška, reakční doba, zvukový podnět, vizuální podnět

Souhlasím s půjčováním práce v rámci knihovních služeb.

Bibliographical identification

Author: Bc. Kristýna Danielová
Title: Effect of normobaric hypoxia on reaction time: A pilot study using Vienna tests

Supervisor: Mgr. Filip Neuls, Ph.D.
Department: Department of Natural Sciences in Kinanthropology
Year: 2023

Abstract:

Recently, the popularity of physical activities at higher altitudes has been increasing. This is important to examine the influence of a mountain environment on the human organism. This thesis deals with the effect of hypoxia on cognitive processes. Reaction time has been chosen as the main agent of cognitive processes. The thesis researches how much the merits between the reaction time and the motor response differ with each test. The research file was built from 15 people - students of the Faculty of Physical Culture of Palacký University Olomouc and other volunteers. The results are presented in the research file of 12 people who underwent two measurements of reaction time in normoxia and hypoxia. Hypoxia was simulated in a hypoxic chamber at the Faculty of Physical Culture of Palacký University Olomouc. For practical data collection, the reaction time test was chosen from the Vienna battery test system. Tested persons were exposed to hypoxia in a hypoxic chamber at an altitude of 4 500 meters above sea level and 12 % fractions of oxygen (FiO_2) for 45 minutes. The results show that the reaction time in hypoxia is slightly prolonged from normoxia in 3 out of 4 tests, while the motor response is shortened, but the differences are not statistically significant. Only in test S1 (response to visual stimulus) was there a significantly faster motor response in hypoxia ($p = 0.01$) and a lower degree of variance in reaction time in normoxia ($p = 0.02$). The results further indicated a trend for a negative correlation between blood O₂ saturation (SpO₂) and reaction time (S1 test $r = -0.42$; $p = 0.18$; S2 test $r = -0.61$; $p = 0.03$; S4 test $r = -0.67$; $p = 0.02$; S7 test $r = -0.53$; $p = 0.08$).

Keywords:

Hypoxia, simulated altitude, reaction time, sound stimulus, visual stimulus

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 2023

.....

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce, Mgr. Filipu Neulsovi, Ph.D., za odborné vedení, rady a pomoc při zpracování této práce. Poděkování patří i Mgr. Ludvíku Valtrovi, Ph.D. za pomoc při práci s Vienna test systémem a všem testovaným dobrovolníkům.

OBSAH

| | |
|---|----|
| Obsah | 7 |
| 1 Úvod | 9 |
| 2 Přehled poznatků..... | 10 |
| 2.1 Hypoxie | 10 |
| 2.1.1 Druhy hypoxie..... | 11 |
| 2.1.2 Projevy hypoxie | 12 |
| 2.1.3 Změny v orgánových soustavách | 14 |
| 2.2 Kognitivní procesy..... | 16 |
| 2.2.1 Vnímání..... | 16 |
| 2.2.2 Paměť..... | 17 |
| 2.2.3 Učení..... | 18 |
| 2.2.4 Myšlení | 18 |
| 2.2.5 Pozornost..... | 18 |
| 2.2.6 Reakční doba..... | 19 |
| 2.3 Vliv hypoxie na kognitivní procesy | 20 |
| 2.3.1 Vliv hypoxie na reakční dobu | 23 |
| 3 Cíle | 26 |
| 3.1 Hlavní cíl..... | 26 |
| 3.2 Dílčí cíle | 26 |
| 3.3 Výzkumné otázky | 26 |
| 4 Metodika | 27 |
| 4.1 Výzkumný soubor..... | 27 |
| 4.2 Metody sběru dat | 27 |
| 4.3 Statistické zpracování dat | 34 |
| 5 Výsledky..... | 35 |
| 5.1 Výsledky testu S1 (reakce na žlutou barvu) | 35 |
| 5.2 Výsledky testu S2 (reakce na tón)..... | 37 |
| 5.3 Výsledky testu S4 (výběrová reakce na červenou a žlutou barvu)..... | 39 |
| 5.4 Výsledky testu S7 (pohotovostní pozornost na žlutou barvu) | 40 |

| | | |
|----|--------------------------------|----|
| 6 | Diskuse | 45 |
| 7 | Závěry | 50 |
| 8 | Souhrn..... | 51 |
| 9 | Summary | 53 |
| 10 | Referenční seznam..... | 55 |
| 11 | Přílohy | 60 |
| | 11.1 Informovaný souhlas | 60 |

1 ÚVOD

Hory odjakživa fascinovaly lidské bytosti, ale mají jedno z nejděsivějších a nejnáročnějších prostředí na Zemi (Gautam, Tabassum, & Katyal, 2018).

V současné době je rozšířen zájem o vysokohorské aktivity, jako je horolezectví, turistika a lyžování (Aquino Lemos et al., 2012). Botek, Neuls, Klimešová a Vyhnánek (2017) popisují hypoxii jako stav, kdy dochází k nízké dodávce kyslíku do tkání organismu. Roach et al. (2014) tvrdí, že s rostoucí nadmořskou výškou klesá parciální tlak exponenciálně. Výsledné hypoxické podmínky tohoto prostředí vedou ke sníženému příjmu kyslíku, což způsobuje změny v organismu na úrovni kognitivní a fyziologické.

Diplomová práce je zaměřena na zkoumání vlivu hypoxie na reakční dobu.

Téma diplomové práce jsem si zvolila dobrovolně se zájmem o danou problematiku. V dnešní době, kdy se rozrůstá zájem o rekreaci v horském prostředí, se domnívám, že je důležité prozkoumat vliv hypoxie na reakční dobu. Domnívám se, že zvýšený zájem o turistiku v horách a celkový pobyt v přírodě ovlivnila pandemie Covid-19. Lidé si vynahrazují strávenou dobu doma, kdy nebylo možné trávit společný čas v přírodě.

Práce je členěna na dvě části, a to část teoretickou a část praktickou.

V teoretické části se opírá o publikace týkající se hypoxie a jejího vlivu na reakční dobu. Díky této práci si mohou lidé lépe uvědomit negativa, která jsou spojena s hypoxií a včasně reagovat. Při studiu odborných publikací jsem došla k závěru, že včasná reakce na podnět ohrožující zdraví je v horském prostředí nejdůležitější.

Praktická část zjišťuje, zda došlo ke změně reakční doby během vystavení hypoxickému stavu v nadmořské výšce 4 500 m n. m. v hypoxické komoře, ta se nachází na Fakultě tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci.

Záměrem diplomové práce je zjistit, zda má hypoxie vliv na reakční dobu při použití Vienna test systému.

2 PŘEHLED POZNATKŮ

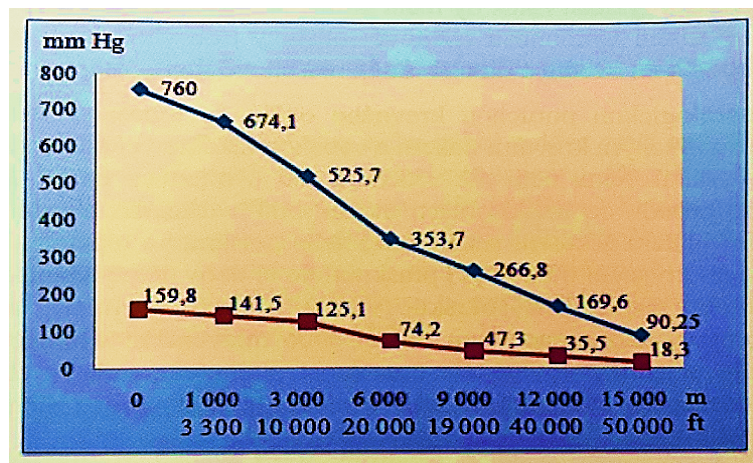
2.1 Hypoxie

Termínem hypoxie označujeme stav, kdy dochází k nedostatku kyslíku. Mezi příčiny nedostatku kyslíku řadíme nízký tlak vzduchu, který vzniká ve vysokohorském prostředí. Další příčinou může být malé procento kyslíku v ovzduší, jako například při požárech nebo nemoci, kdy dochází k poškození dodávky kyslíku z vnějšího okolí do organismu člověka (Nečas, 2018).

Šulc (2011) uvádí, že pojem hypoxie je stav, během něhož dochází k nedostatku přísunu kyslíku do organismu, a tedy k nedostatku okysličení v jednotlivých orgánech.

Hypoxii popisujeme jako stav, kdy je nedostatek kyslíku v celém těle, může být způsobena několika faktory a v jakékoli nadmořské výšce (Federal Aviation Administration, 2023).

Botek, Neuls, Klimešová a Vyhnánek (2017) uvádějí, že hypoxie a její vliv na lidský organismus byla zkoumána už kolem roku 400 př. n. l. Převážně se zkoumal vliv chladu při výstupu do vyšších nadmořských výšek. V této době nebylo možné zkoumat vliv řidšího vzduchu, jelikož vynález rtuťového barometru pro určování velikosti atmosférického tlaku je datován do 17. století, fyzikem a matematikem E. Torricellim. V 17. století Blaise Pascal uvedl, že ve vyšší nadmořské výšce klesá atmosférický tlak, tento vztah je znázorněn na obrázku 1.



Obrázek 1. Vztah mezi atmosférickým tlakem a tlakem kyslíku v různých výškách (Šulc, 2011, p. 26)

V dnešní době se vlivem hypoxie zabývají převážně sportovní lékaři, trenéři a fyziologové z hlediska sportovních výkonů. Začátek zájmu se datuje od dob po Olympijských hrách v Mexico City roku 1968. Tyto olympijské hry se konaly v nadmořské výšce okolo 2240 m n. m. Největší přínos hypoxie zaznamenali sportovci z odvětví atletiky a převážně se jednalo o sprintery, vrhače

a skokany. Vytrvalostní sportovci naopak vykazovali horší výkony (Botek, Neuls, Klimešová, & Vyhnánek, 2017).

Zkoumání hypoxie a jejího vlivu na organismus člověka začalo po zdolání Mount Everestu. Mount Everest je nejvyšší hora světa, která se tyčí 8 850 m n. m. V roce 1953 ji pokořil Edmund Hillary a Tenzing Norgay (Botek, Neuls, Klimešová, & Vyhnánek, 2017). West (1986) označuje Mount Everest za nejextrémnější horu. Je zde vysoká nadmořská výška, a tudíž i velké nebezpečí. Autor udává, že dochází v průměru ke dvěma úmrtím během jedné expedice.

2.1.1 Druhy hypoxie

Hypoxii členíme dle příčin vzniku na:

Anemická hypoxie

Šulc (2011) uvádí, že důsledkem anemické hypoxie je snížení kapacity pro přenos kyslíku v krvi. Dochází k tomu u chudokrevných a srpkovitě chudokrevných jedinců.

Cirkulační hypoxie

K cirkulační hypoxii dochází ve dvou případech. Při omezeném přítoku krve ke tkáním z důvodu zúžení nebo uzavření tepny a nahromaděním odkysličené krve, jako například v případě křečových žil (Šulc, 2011).

Botek, Neuls, Klimešová a Vyhnánek (2017) uvádějí pojem ischemická (též stagnační) hypoxie, což je následek nízkého proudění krve. Tento stav můžeme pozorovat u selhání srdce, velké krevní ztráty a trombózy.

Histotoxická hypoxie

Šulc (2011) uvádí za hlavní příčinu histotoxické hypoxie neschopnost využít kyslík tkáněmi, které jsou intoxikovány cizorodými látkami. Botek, Neuls, Klimešová a Vyhnánek (2017) označují tuto hypoxii za cytotoxickou.

Hypoxická hypoxie (výšková)

Vzniká vlivem snížení tlaku kyslíku v krvi tepen. Se stoupající výškou dochází ke snížení tlakového gradientu, který je důležitý pro uchování difuzního tlaku během výměny mezi stěnou plicních sklípků a kapilárami malého plicního oběhu (Šulc, 2011). Botek, Neuls, Klimešová a Vyhnánek (2017) označují hypoxickou hypoxii jako výsledek pobytu ve vyšší nadmořské výšce, nebo v prostředí, kde je snížený parciální tlak kyslíku. Šulc (1980) popisuje hypoxickou hypoxii jako stav, kdy se stoupající výškou dochází ke snížení parciálního tlaku kyslíku v arteriální krvi.

K tomuto stavu dochází vlivem snižujícího se tlaku kyslíku. Tato skutečnost se projevuje nízkým množstvím kyslíku ve tkáních.

Tabulka 1

Vliv rostoucí nadmořské výšky na změnu tlaku kyslíku (Botek, Neuls, Klimešová, & Vyhnánek, 2017, p. 129)

| Parametr | Příklad lokace | | | |
|---|----------------|-------------|------------|-------------|
| | hladina moře | Villa Mills | Pikes Peak | Mt. Everest |
| nadmořská výška (m) | 0 | 3 100 | 4 300 | 8 848 |
| barometrický tlak (mmHg) | 760 | 530 | 440 | 250 |
| parciální tlak kyslíku při nádechu (mmHg) | 150 | 101 | 82 | 42 |
| parciální tlak kyslíku v alveolech (mmHg) | 105 | 71 | 47 | 30 |
| parciální tlak kyslíku v arteriální krvi (mmHg) | 100 | 52 | 44 | 25 |
| saturace krve kyslíkem (%) | 96 | 90 | 82 | 48 |

2.1.2 Projevy hypoxie

Bouak, Vartanian, Hofer a Cheung (2018) poznamenávají, že mezi projevy hypoxie se řadí objektivní a subjektivní příznaky. S tímto tvrzením souhlasí i Šulc (2011), který popisuje příznaky hypoxie takto:

Subjektivní příznaky

Do subjektivních příznaků patří bolest hlavy, ospalost, malátnost, agresivita, nevolnost až omdlení, závratě, neostré, rozmazané a dvojité vidění.

Objektivní příznaky

Objektivní příznaky hypoxie zahrnují třes, pocení, rychlé a hluboké dýchání, nekoordinované pohyby, křeče, bezvědomí, zmodrání rtů a lůžek nehtů, zívání, změny srdeční frekvence a poruchy mínění.

Holt et al. (2019) uvádí několik příznaků, které jsou běžně hlášeny v letectví, jako je závrať, bolest hlavy, dušnost, cyanóza, tunelové vidění a zrychlené dýchání. Honigman et al. (1993) doplňuje mezi příznaky i sníženou chuť k jídlu.

Ne každý jedinec pociťuje stejné příznaky, když se setká s hypoxií (Holt et al., 2019). Pouze vzácně se mohou u jednoho člověka objevit všechny příznaky. Většinou se objeví 3-4 příznaky současně. Ovšem není jednoduché přiřadit k přesné nadmořské výšce příznak. Důvodem je značná individualizace a citlivost (Šulc, 2011).

Šulc (2011) dělí nadmořskou výšku na několik úrovní, ty zahrnují časté projevy hypoxické hypoxie.

První úroveň je již v nadmořské výšce 1 000 m. Dochází ke zvýšení srdeční a dechové frekvence. Za indiferentní úsek se považuje výška okolo 1 500–1 800 m. Člověk rychleji dýchá a cítí se, jako by mu silněji bušilo srdce. Může dojít k poruše nočního vidění (Šulc, 2011). Honigman (1993) ve své studii prokázal, že až 25 % dotazovaných ve výšce 2 000 m popisuje nevolnost, nechůť k jídlu, slabost, točení hlavy a horší kvalitu spánku. Šulc (2011) uvádí, že kolem 1 800–4 500 m je pásmo, které označujeme jako úsek fyziologických kompenzací. Dostavuje se točení hlavy, slabost, lapání po dechu důsledkem pocitu nedostatku vzduchu a pocit horka. U jedinců, kteří jsou oslabeni kouřením, únavou a alkoholem, se projevuje chybovost. Prahem hypoxických poruch označujeme úsek ve výšce 4 000–4 500 m. McFarland (1937) zařadil do příznaků změny nálad a malátnost. Šulc (1980) popisuje, že odolnost proti hypoxii může být nižší důsledkem okolních teplot, alkoholu, léčiv, kofeinu a oxidu uhelnatého. Kida a Imai (1993) poukazují na příznaky ve výšce 4 000 m. Jedná se o bolest hlavy, potíže s dýcháním, závratě, zblednutí obličeje a oslabené vidění. McFarland (1937) stanovuje, že je snižené smyslové vnímání, pozornost a úsudek. Šulc (2011) označuje další úroveň, kde je výška okolo 4 500–6 000 m. Nastávají zde poruchy smyslů a úsudku. Za kritický úsek se pak považuje výška kolem 6 000–7 000 m. V této výšce dochází k omezení psychických procesů. Pokud nedojde ke včasné dodávce kyslíku, tak následkem bude selhání krevního oběhu, bezvědomí a smrt.

Pro lepší znázornění jednotlivých úseků a výšky je vytvořena tabulka 2.

Tabulka 2

Vliv výšek na člověka, který dýchá atmosférický vzduch (Šulc, 2011, p. 27).

| Výška | | Charakteristika |
|-------------|---------------|-------------------------|
| m | ft | |
| 0–800 | 0–6 000 | indiferentní úsek |
| 1 800–4 500 | 6 000–15 000 | fyziologické kompenzace |
| 4 500–6 000 | 15 000–20 000 | poruchy smyslů a úsudku |
| 6 000–7 000 | 20 000–23 000 | kritický úsek |

Šulc (1980) uvádí, že až u 50 % osob vystavených hypoxii se jako první známky hypoxie objeví euforie, celková akčnost organismu, hovornost až žertování. Ovšem nejčastější poruchou okolo výšky 5 500 m je porucha kritického myšlení, porucha pozornosti, zhoršení logických

operací a paměti. Autor ověřil své tvrzení pomocí Lottigova testu. Probandi byli vyvezeni do výšky 7 500 m s nasazenou kyslíkovou maskou. Jakmile se dosáhlo požadované výšky, maska byla probandům sejmuta a následně psali písemný test. Test byl založen na odečítání jedničky od zadaného čísla. Bylo zjištěno, že kognice se nezhoršuje souvisle, nýbrž periodicky. Střídá se fáze zlepšení a útlumu kognitivních funkcí. Pokud se hypoxie prohlubuje zkracuje se úsek zlepšení, až nakonec vymizí. Za podmínek, že člověku podáme kyslík se funkce normalizují.

2.1.3 Změny v orgánových soustavách

Jednotlivé orgánové soustavy a změny v nich popisuje Šulc (1980):

Dýchací soustava

Snížení parciálního tlaku kyslíku v alveolárním vzduchu asi o 40 % vede ke zvýšené frekvenci vzruchů, které jsou posílány do centra respirace. Respirační centrum vysílá signály ke zvýšení činnosti dýchacích svalů. Jako první signál se zvýší amplituda dechu a objem. Pokud tyto signály nezajistí dostatek kyslíku, stoupne i dechová frekvence.

Hyperventilační odpověď je taková odpověď organismu, pomocí které se kompenzuje nedostatek kyslíku při nádechu. Tato odpověď je však neúčinná. Důvodem je, že maximální plicní ventilace není schopna udržet normální hladinu tlaku kyslíku v plicních sklípcích.

Během rychlých výstupů hor, kdy dochází k vyrovnání nebo k obrácení tlakového gradientu kyslíku, se rychleji spotřebovávají zásoby kyslíku v alveolách a v krvi. Hyperventilace totiž napomáhá k rychlému vymývání těchto zásob kyslíku.

Snížení parciálního tlaku kyslíku vyvolává dechovou reakci v dýchací soustavě, ale i reflexní odezvu v kardiovaskulárním systému.

Kardiovaskulární soustava

Jako první projev odezvy kardiovaskulárního systému zaznamenáváme zvýšení srdeční frekvence. U osob, které nejsou adaptované na hypoxii, vidíme zvýšení srdeční frekvence již od 1 200 m. Okolo 5 000 m se zvýší srdeční frekvence asi o 10–15 tepů. Srdeční frekvence dosahuje maxima ve výšce okolo 6 700–7 500 m. Průměrně je srdeční frekvence vyšší o 33–50 % než před výstupem. Pokud srdeční frekvence náhle klesne, hrozí selhání vagu.

Ovšem je důležité si pamatovat, že změny v srdeční frekvenci nemusí být způsobené pouze snížením kyslíku ve vzduchu. Na vině mohou být také emoce a individuální citlivost.

Arteriální a diastolický tlak se skoro nemění. Diastolický tlak klesá pouze u méně odolných jedinců, následně klesá i systolický tlak. Výsledkem často bývá ztráta vědomí. Objem cirkulující krve během hypoxie se zvyšuje. Zvyšuje se i systolický a minutový objem okolo 30–250 % a

proudění v cévách a kapilárách. Snižuje se oxidace tkání vlivem nízkého parciálního tlaku kyslíku obsaženého v krvi.

Průměrný pokles saturace v hypoxii odpovídající simulaci nadmořské výšky 3 000 m n. m. je téměř o 20 %, větší odchylky jsou mezi minimem a maximem – v normoxii je rozpětí 95–99 %. Udávané rozpětí je ve fyziologické normě. Melechovský (2023) uvádí následující hodnoty saturace krve kyslíkem:

- SpO₂ 98–95 % jsou normální fyziologické hodnoty
- SpO₂ 95–85 % jsou hodnoty, při kterých se zvyšuje tepová i dechová frekvence
- SpO₂ 85–75 % při které jedinec vykazuje pozitivní náladu, získává odvalu, komunikativnost a euforii
- SpO₂ 75–60 % dostavuje se slabost, problémy s dýcháním, nauzea, bolesti hlavy, mravenčení, zhoršená koncentrace, vidění a řeč
- SpO₂ 60 a méně % vede k bezvědomí

Uvedené hodnoty jsou pouze orientační, citlivost jedinců na hypoxii je rozdílná. Na výše uvedených projevech při saturaci krve má vliv chlad, životní styl, medikace, rychlost stoupaní, fyzická i psychická zátěž (Melechovský, 2023).

Smyslové orgány

Hypoxií jsou postiženy i smyslové orgány. Nedostatkem kyslíku je nejvíce zasažen zrak. První je postižen světlocit a poté i barvocit. Už při 1 500 m dochází ke změně skotopického vidění. Kolem 4 000–5 000 m se přidává i porucha fotonického vidění. Nejdříve se dostaví problémy odlišit od sebe zelenou a modrou barvu, následně i jiné barvy. Černá barva je zaměněna za šedou a bílá za šedožlutou.

Data o sluchovém aparátu a akutní hypoxii nejsou jednotná. Většina autorů popisuje, že práh čistých tónů se nemění nebo se mírně snižuje. Odolný proti kyslíkovému deficitu se ukázal vestibulární aparát.

U chuťového a čichového smyslu dochází okolo 4 500 m ke zhoršení.

Nervová soustava

Neurony mozkové kůry, hipokampu a Purkyňkovy buňky jsou nejvíce citlivé k odhalení nedostatku kyslíku. Nervové buňky a jejich odolnost závisí na specializaci jednotlivých buněk. Odezva nervové soustavy na hypoxii má dvě fáze. Během první fáze dochází k podráždění. Druhou fází je, že po vyčerpání metabolických rezerv buněk nastává útlum. Není plně známo, zda tato fáze je projevem excitability nebo oslabením útlumu.

2.2 Kognitivní procesy

Říčan (2005) označil kognici za psychologické jevy, které mají určité schopnosti a funkce. Do kognitivních procesů řadíme vnímání, paměť, představivost a myšlení. Kognice neboli poznávání nelze přesně definovat. Kognitivní procesy se zabývají předmětem, který je znám. Tyto procesy jsou studovány pomocí výzkumů nestranného poznávání a odborníci tedy zkoumají vlastnosti, vztahy, orientaci, symboliku, řešení problémů, řeč, myšlení a komunikaci.

Zrození kognitivní psychologie se datuje okolo 50.–60. let ve Spojených státech amerických. Kognitivní psychologie označila mysl za systém, který je schopen zpracovávat různá data (Plháková, 2006).

Sternberg (2002) definuje kognitivní psychologii jako proces, při němž zkoumá, jak lidé vnímají informace, jak se je učí a jak o nich přemýšlí.

2.2.1 Vnímání

Základním kognitivním procesem je vnímání neboli percepce. Jedná se o složitý proces, při kterém jsou přijímány informace, následuje filtrace těchto informací a následné zpracování. Vjem je obraz reálného předmětu, který působí na jedincovy smysly. Vjemy nám umožňují být v obraze se sebou, ale i s okolím. Lidé tedy mohou zažít zrakový vjem, čichový vjem, bolestivý vjem atd. Lidské tělo má pět druhů vjemů jako smyslů. Jedná se o zrakové, hmatové, sluchové, čichové a chuťové vjemy. Tuto skupinu vjemů doplňují i vjemy polohové, vjemy bolesti a vjemy nitrotělní. Nejdůležitější a zároveň nejvíce prozkoumány jsou zrakové vjemy (Říčan, 2005).

Vnímání souvisí i s myšlením, s city a představivostí jedince. Naše city zlepšují vnímání, pokud máme citový vztah k předmětu, lépe jej poznáme. Jsou-li naše city ovlivněny strachem, vnímání je zkresleno. Díky vnímání člověk vidí zpětnou vazbu svého jednání. Jednání člověka je vždy účelné, člověk jedná tak, aby dosáhl svých cílů. Hlavním předmětem vnímání je jednání, průběh, výsledek jednání a případné následky. Výsledky jednání jsou cenné pro poznání světa okolo nás (Říčan, 2005).

Podle Říčana (2005) má vnímání dvě fáze, první z nich je senzoričné stádium a druhou fází je syntetické stádium:

Stádium senzoričné

Stádium senzoričné, někdy zvané jako smyslové, je odpovědné za příjem podnětů z okolí nebo z vnitřního prostředí těla. Příjem podnětů zaštiťují smyslové orgány, ty jsou podrážděny různými podněty. Podněty mohou být chemické, tepelné, zvukové, tlakové, dotykové nebo světelné. Smyslové dráždění je vysíláno nervovými drahami do mozku, výsledkem vnímání jsou počitky.

Stádium syntetické

V tomto stádiu probíhá zpracování podnětů myslí. Stádium syntetické je proces, kdy jsou počítky zpracovány do větších celků. Vnímáme předměty, ale i jejich vzájemné vztahy, pohyby a změny. Především jde o členění, ztvárnění a uspořádání.

2.2.2 Paměť

Každý organismus, který se zvládne učit, měnit chování a přizpůsobit se, má paměť. O paměti mluvíme všude, kde je možné uložit a vybavit si vzpomínku. I primitivní živočichové hledají místa, kde dříve našli potravu, a naopak se vyhýbají místům, kde je něco ohrozilo (Říčan, 2005). Klucká a Volfová (2016) udávají, že díky paměti víme, kdo jsme a co jsme prožili. Paměť je složitá funkce, díky které se adaptujeme na neustále měnící se podmínky v životě.

Říčan (2005) rozeznává několik druhů pamětí:

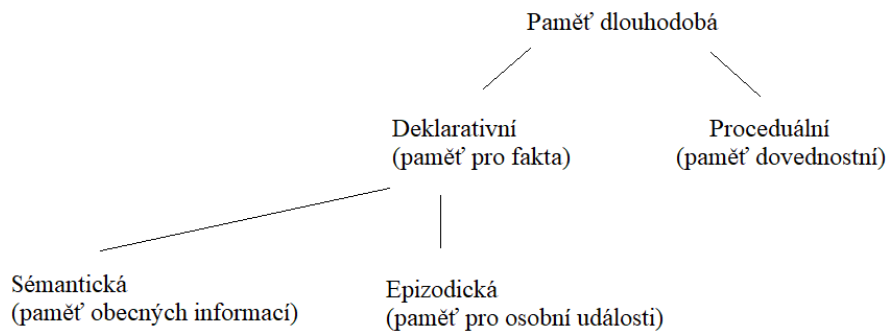
Paměť krátkodobá

Krátkodobá paměť si umí zapamatovat informace pouze pár vteřin, příkladem je telefonní číslo pro vytočení telefonního hovoru. Možností krátkodobé paměti je zapamatovat si 5-9 čísel, znaků nebo slov. Informace takto nabyté brzy zapomeneme, pokud si ovšem budeme informace opakovat, mohou se vrýt do dlouhodobé paměti.

Do paměti krátkodobé patří i mžiková paměť. Ta je založena na tom, že si v paměti držíme pro nás důležitou informaci, kterou jsme vybrali z více informací. Příkladem mžikové paměti je test tří řad, čtyř písmen. Respondentovi jsou na 20 vteřin ukázány tři řady písmen, po uplynutí 20 vteřin dáme respondentovi pokyn, aby nám řekl jednu z těchto řad. Respondent si z mžikového rezervoáru vybaví požadovanou řadu a řekne ji. Následně je tázán na zbylé dvě řady a už si je nevybavuje.

Paměť dlouhodobá

Dlouhodobá paměť nám umožňuje zapamatovat si informace a vybavit si je i poté, co jsme konali jinou činnost. Aby mohlo dojít k uložení a vybavení informace do dlouhodobé paměti, musí se vytvořit paměťová stopa v mozku. Paměť dlouhodobá se člení na paměť dovednostní a paměť faktu. Paměť pro fakta se dále dělí na paměť obecných informací a paměť osobních událostí. Rozdělení dlouhodobé paměti je znázorněno na obrázku 2.



Obrázek 2. Rozdělení dlouhodobé paměti (Řičan, 2005, p. 71)

2.2.3 Učení

Kern, Mehl, Nolz, Peter a Wintersperger (1999) uvádějí, že pojem učení je výsledkem vedoucím ke změně chování jedince, která se odehrává na různých úrovních. Jedná se o úroveň kognitivní, sociální, senzomotorickou, a emocionální.

2.2.4 Myšlení

Řičan (2005) popisuje myšlení jako psychické zacházení s různými symboly, vjemy a představami. Díky tomu je člověk schopen zaznamenat a předpovědět jevy, které mohou nastat. Myšlení je nejsložitější způsob poznávání. Myšlení také zahrnuje přemýšlení nad něčím a výsledkem je zpracování informací.

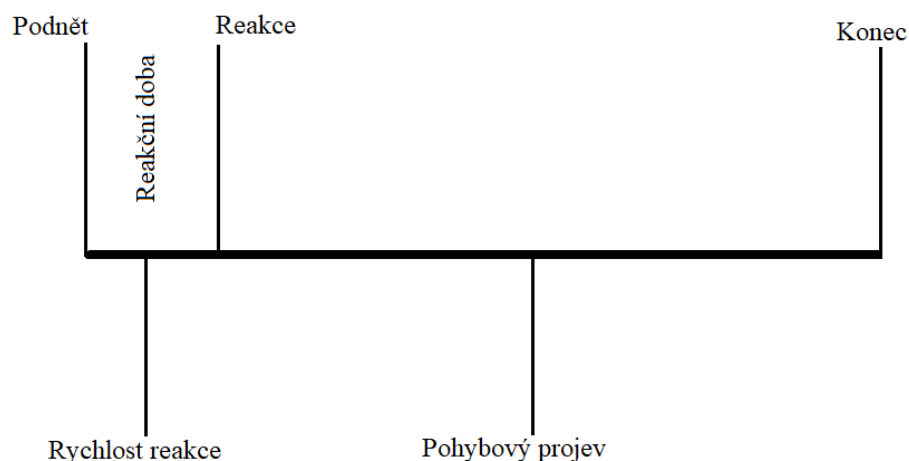
2.2.5 Pozornost

Pozornost je vědomá funkce. Jedná se o schopnost člověka zaměřit se na určitý cíl a ochránit jej tak před dalšími méně důležitými podněty. V průběhu dne není možné vnímat a reagovat na všechny podněty, které na nás působí. Díky selektivitě máme možnost si vybrat pouze podněty, které jsou pro nás nějakým smyslem důležité. Koncentrace neboli soustředění umožňuje zaměření pozornosti určitým směrem na určitou dobu. Pozornost se může rozdělit díky distribuci, v praxi to znamená, že vykonáváme nějakou činnost automaticky a nemusíme

vyvinout tolik pozornosti. Pozornost je nezastupitelná v kognitivních funkcích a ovlivňuje další funkce, například paměť (Klucká & Volfová, 2016).

2.2.6 Reakční doba

Pojem reakční doba lze vysvětlit jako čas, který uběhne od začátku vnímání podnětu do vykonání reakce na tento podnět. Reakční čas lze vypočítat jako součet doby vizuální percepce a dobu potřebnou na rozhodnutí. Nejrychleji lidský organismus reaguje na zvukový podnět. Alkohol zhoršuje reakční dobu, rozhodování a motoriku. Další ovlivňující faktory jsou drogy, stáří, únava, očekávání i trénink (Straus, 2010). Čelikovský et al. (1979) vysvětluje, že reakčně rychlostní schopnost je doba mezi podnětem a pohybovou odpovědí na daný podnět. Pohybová odpověď je zpožděna o reakční dobu. Reakční doba tedy informuje o době, která nastala při přenosu signálu z receptoru do svalů, tzv. efektoru. Tato doba má vliv na motorickou odezvu. Rychlost reakce je odpověď organismu v co nejkratším čase, schématické dráhy reakce a akce jsou znázorněny na obrázku 3.



Obrázek 3. Dráha reakce a akce (Čelikovský et al., 1979, p. 80)

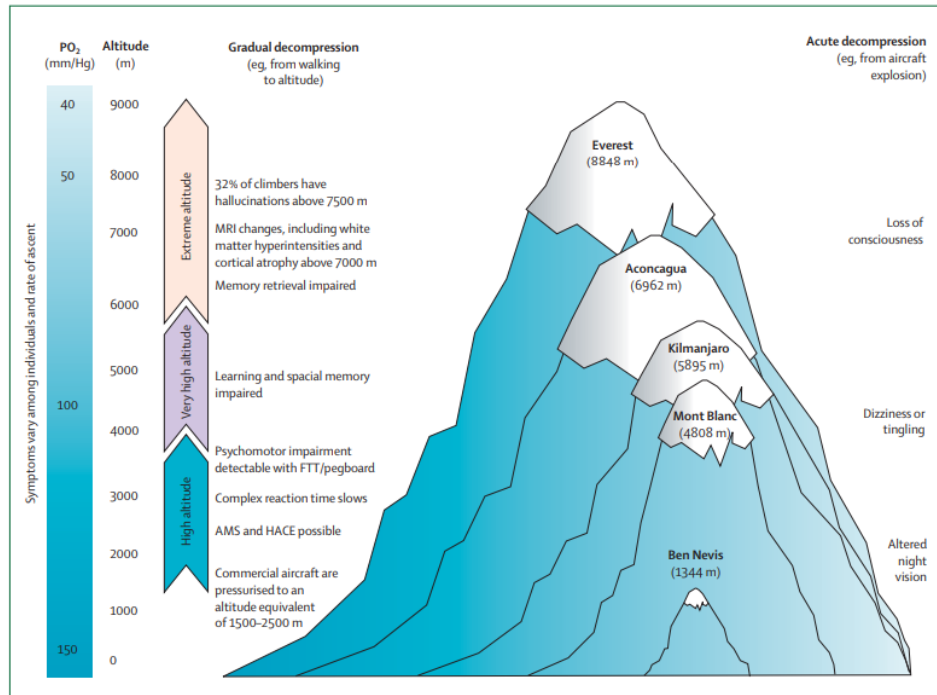
Kritérium reakční doby je čas, pořadí a norma. Velmi důležité jsou nervové procesy, závisí na kvalitě nervových drah, senzitivě, velikosti a druhu podnětu. Mezi časté podněty autor řadí audiální, vizuální a hmatové podněty. Autor popisuje, že různé podněty mají různé doby vedení reakce. Nejrychlejší vedení reakce je po taktilních podnětech, činí okolo 0,14–0,15 s. Následují audiální podněty s dobou vedení okolo 0,15–0,16 s a zrakové podněty s dobou asi 0,19–0,21 s (Čelikovský et al., 1979).

2.3 Vliv hypoxie na kognitivní procesy

Z historického hlediska jsou neoficiálně popsány kognitivní poruchy při výstupu na Mount Everest z 20. a 30. let 20. století. Tyto kognitivní poruchy jsou označovány jako duševní lenost (Greene, 1957). Kida a Imai (1993) ve své studii potvrdili, že hypoxie snižuje kognitivní výkon. Virués-Ortega, Buéla-Casal, Garrido a Alcázar (2004) ve své studii popisují, že s vyšší nadmořskou výškou přijdou vážnější dopady na kognitivní funkce, které mohou setrvat i po návratu z vysokohorského prostředí. Shukitt-Hale (1996), Bartholomew et al. (1999) a Udayabanu, Kumaran a Katyal (2012) uvádějí, že kognitivní dysfunkce je pozorovaná u lidí i zvířat vystavených hypobarické hypoxii. Při jejich studii bylo zjištěno, že hippocampus, část limbického systému zapojená do učení a paměti, je ovlivněn oxidativním stresem vyvolaným hypobarickou hypoxií, ten vede ke smrti neuronů a ztrátě kognitivních funkcí. Yan (2014) uvádí, že hypoxie má významný dopad na kognitivní výkon. Griva et al. (2017) jako výsledky své studie označují, že hypoxie u některých jedinců má za následek sníženou schopnost učit se. Tato skutečnost může souviset s časovou a místní dezorientací. Verbální schopnosti mohou být omezeny natolik, že dojde k neschopnosti se vyjádřit. Starší lidé vystaveni hypoxii jsou zmatení a opožděje se zotavení a návrat do běžných kognitivních funkcí. Nutno poznamenat, že během testování neměla hypoxie u každého stejný vliv na kognitivní procesy. Někteří jedinci byli více náchylní k neurokognitivnímu poklesu než jiní.

Limmer a Platen (2018) zmiňují, že hypoxický stav má negativní vliv na kognitivní funkce. Zejména na paměť, učení, reakční dobu a rozhodování.

Dysfunkce pozornosti během hypoxie a enviromentálního prostředí mají vliv na celou horolezeckou expedici. Jedinci se vlivem teplotních okolností a hypoxie špatně rozhodují, špatně vyhodnocují situace, což vede i k chybovosti enviromentálních událostí, podnětům z okolí a rozptýlení. Výsledkem mohou být pády, zranění až smrt (Finnoff, 2008). Studie Caldwell, Coombs, Tymko, Nowak-Flück a Ainslie (2018) informuje, že jejich studie prokázala prodloužení reakční doby při 5 000 m. Doporučují proto pečlivě zvážit úkoly při činnostech, jako je horolezectví, parašutismus a pilotování. Wilson, Newman a Imray (2009) připisují závažnost dysfunkce kognitivních funkcí s výškovým vzestupem. Ve středních nadmořských výškách (2 000–3 000 metrů) jsou hlášeny minimální dysfunkce. V 3 000–4 000 metrů se dostávají psychomotorické poruchy. Jedná se o zhoršené učení, zpomalení reakcí a zhoršení prostorovou orientaci. Při extrémní nadmořské výšce nad 6 000 metrů jsou hlášeny somestetické a vizuální iluze. Dysfunkce kognitivních funkcí v různých nadmořských výškách je znázorněn v obrázku 4.



Obrázek 4. Dysfunkce kognitivních funkcí v různých nadmořských výškách (Wilson et al., 2009, p. 176)

Gao (2014) při své studii odhalil, že osoby vystavené vysokohorské oblasti vykazovaly sníženou úroveň pozornosti a vizuální paměti. Autor poznamenává, že změny nálady mohou ovlivnit kognitivní funkce, jako je stabilita a senzomotorika. Ryn (1971) různými testy odhalil pokles výkonu a zpomalení reakční doby. Okolo 5 300 metrů neuropsychometrické testy odhalily změny chování, nálady a neurologické funkce. Postižena je koncentrace, krátkodobá paměť a kognitivní flexibilita.

Dopady hypoxie a její vliv na kognitivní procesy byly zkoumány pomocí několika způsobů navození hypoxie. První způsob spočívá v testování kognitivních procesů během horského výstupu. Testování probíhalo při výstupu na Mount Denali. Testování probíhalo ve výšce 923 metrů, 4 359 metrů a při pokusu zdolat vrchol ve výšce 6 190 metrů nad mořem. Výsledky ukázaly že účastníci experimentu měli horší výsledky než kontrolní skupina ve většině kognitivních testů (Kramer, Coyne, & Strayer, 1993). Druhý způsob testování byl za použití dýchací směsi k vyvolání hypoxie. Účastníky nechali dýchat směsí vedoucí k poklesu saturace kyslíku v krvi na 64–66 %. Testy kognitivních procesů byly dvacet minut hypoxického i normoxického stavu. K testování krátkodobé paměti byl použit Sternbergův test. Účastníci testování si měli zapamatovat dvě, čtyři nebo šest číslic. Následně dostali číslici a měli co

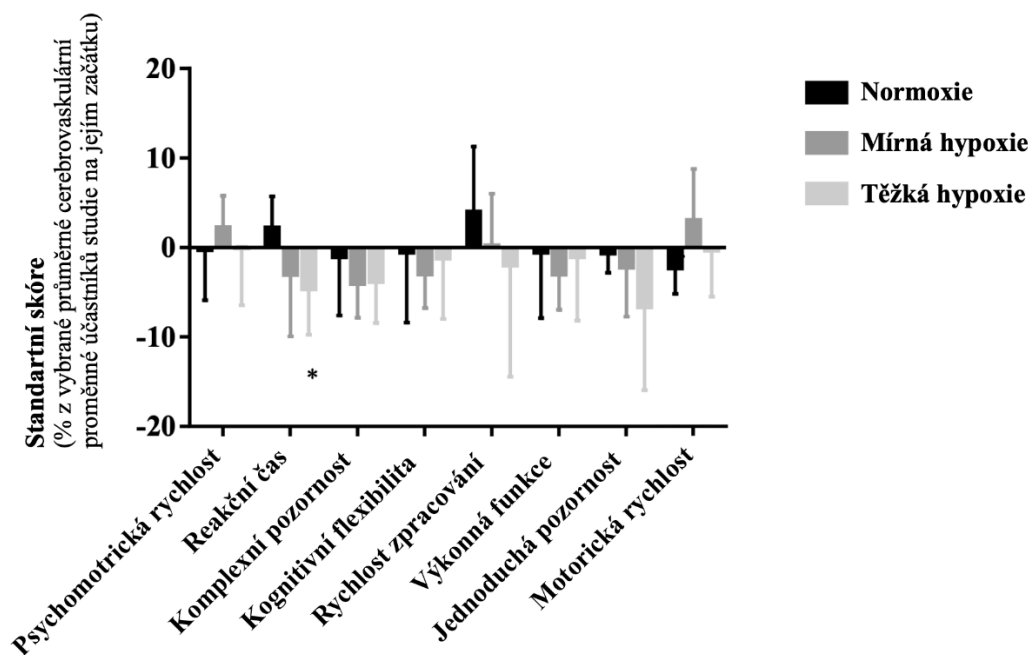
nejrychleji odpovědět, zda byla číslice členem paměťové sady. Výsledky testování poukázaly na to, že během hypoxického stavu byla rychlost krátkodobé paměti pomalejší (Fowler, Prlic, & Brabant, 1994).

Petrassi, Hodkinson, Walters, & Gaydos (2012) zjistili, že při nízké nadmořské výšce okolo 2 438 metrů a střední nadmořské výšce 4 572 metrů se snížily kognitivní procesy. Turner, Barker-Collo, Connell a Gant (2015) při studii použili směs plynů k simulaci hypoxie okolo 5 500 metrů. Saturace krve kyslíkem byla snížena o 20 %. Díky tomu autoři získali výsledky napříč několika neurokognitivních stupňů poškození. Snížení bylo ve vizuální paměti o 23 %, o 34 % verbální paměti, v psychomotorické rychlosti o 24 % a v reakční době o 10 %. Legg et al. (2014) uvádí, že během mírné hypoxie (2 438 metrů) pokleslo logické uvažování.

Beer, Shender, Chauvin, Dart, & Fischer (2017) uvádí, že může dojít i ke zhoršení matematických úkolů, reakční doby a sluchové přesnosti, pokles matematických výpočtů a sluchové přesnosti předchází celkovému kolapsu organismu. Tyto komplikace mohou přetrvávat i po návratu.

Při další studii bylo testováno 72 dobrovolných studentů a leteckých instruktorů. Z toho 82 % tvořili muži a 18 % tvořily ženy z centra pro letecké vědy z University Severní Dakota. Testování probíhalo pomocí Wachslersovy inteligenční škály pro dospělé, kde respondentům bylo přiřčeno 35 slovíček se vzrůstající obtížností a byli požádáni o poskytnutí ústní definice. Dále respondenti měli přečíst sérii číslic, které byly ve skupinách po dvou až devíti. Následně byl proveden test mentální rotace. Respondenti se podívali na jeden geometrický útvar, poté byli požádáni, aby ze čtyř možností vybrali pouze dvě, které se shodují s geometrickým tvarem, který jim byl ukázán na začátku, ale jinak otočený. Následně byl proveden subtest číslicového symbolu, kdy číslice 1 až 9 je spárována s určitým symbolem. Hlavním zjištěním této studie je vliv nadmořské výšky na zapamatování a zpětné vybavení (Bartholomew et al., 1999).

Vyšší nadmořská výška zpomaluje funkci mozku, nebo jej může i poškodit. U jedinců může dojít k poškození mozkových buněk a ztrátě vědomí. Hypoxie hraje významnou roli během fyzické výkonnosti v extrémních nadmořských výškách, výsledkem je omezení fyzické výkonnosti (Hornbein, 2001). Petros, Kerbel, Beckwith, Sacks a Sarafolean (1985) a Petros, Beckwith a Anderson (1990) tvrdí, že lidé mají omezený fond kognitivních zdrojů pro zpracování informací. Tyto kognitivní zdroje mohou ovlivnit faktory, jako je alkohol, únava, cirkadiální odchylky a velké množství kognitivních podnětů v jeden okamžik. Grafické znázornění souhrnu změn kognitivních funkcí během normoxie, střední a těžké hypoxie je zobrazeno na obrázku 5. Z tohoto grafu můžeme vyvozovat, že reakční doba se výrazně prodloužila po expozici těžké hypoxie.



Obrázek 5. Změny v kognitivních funkcích během normoxie, střední a těžké hypoxie (Caldwell et al., 2018, p. 267)

2.3.1 Vliv hypoxie na reakční dobu

Při testování kognitivních schopností a hypoxie autora Cahoon (1972) bylo zjištěno, že se prodloužila reakční doba u testovaných osob. Důvodem prodloužení reakční doby je, že testované osoby chtěly co nejpřesněji provést kognitivní úkol. Testované osoby tudíž obětovaly čas, aby přesně provedly úkon v podmínkách hypoxie. Limmer a Platen (2018) souhlasí s názorem Cahoon (1972), že se prodlužuje reakční doba a přidávají, že se snížila i pozornost. Teichner (1954) dodává, že muži mají rychlejší reakční dobu než ženy.

Vystavení hypoxickému prostředí ovlivňuje reakční dobu. Prodlužuje se doba reakce s kritickými úkoly. Může se tedy zvýšit riziko zranění. V letech 1926-2006 skončilo 1,3 % výstupů na Mount Everest smrtí. Celkem 113 úmrtí naznačuje, že důvodem byla únava a poruchy v oblasti kognice (Firth et al., 2008).

Experimenty Kida a Imai (1993) popisují, že 6 z celkového počtu 38 respondentů vykazovalo prodloužení reakční doby ve výšce 4 000 metrů. Ledwith (1970) souhlasí s názorem, že se prodlužuje doba reakce. Testovaným osobám byly exponovány jednoduché úlohy s prostorovými a kódovými vztahy. Studii doplňuje o tvrzení, že úkoly prováděné v 4 572–5 486 m jsou relativně neovlivnitelné. Vliv délky pobytu ovlivňuje rychlost reakce. Testované osoby, které jsou delší dobu a častěji vystavované hypoxii, mají rychlejší reakční dobu, ale ne spolehlivější. Podrobněji znázorněno v tabulce 3.

Tabulka 3

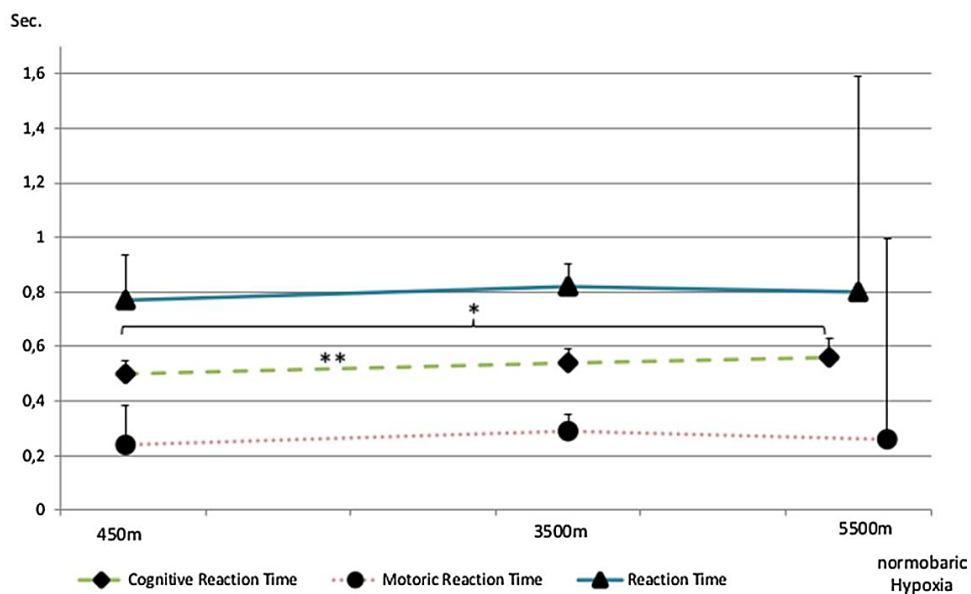
Průměrná reakční doba a motorická odezva ve 3 výškových úrovních (Ledwith, 1970, p. 476).

| Úkol | Reakční doba | | | |
|---------------------|--------------|---------|---------|---------------|
| | 1 | 2 | 3 | Všechny úkoly |
| Pozemní úroveň | 0,292 s | 0,537 s | 0,467 s | 0,432 s |
| 2 134 m (7 000 ft) | 0,336 s | 0,710 s | 0,676 s | 0,574 s |
| 4 267 m (14 000 ft) | 0,292 s | 0,516 s | 0,486 s | 0,431 s |

| Úkol | Motorická odezva | | | |
|---------------------|------------------|-----------|-----------|---------------|
| | 1 | 2 | 3 | Všechny úkoly |
| Pozemní úroveň | 0,329 s | 0,934 s | 0,00143 s | 0,897 s |
| 2 134 m (7 000 ft) | 0,316 s | 0,801 s | 0,00106 s | 0,726 s |
| 4 267 m (14 000 ft) | 0,346 s | 0,00106 s | 0,00154 s | 0,982 s |

Tabulka 3 popisuje, jak se mění reakční doba a motorická reakce ve třech výškových úrovních během tří úkolů. Z tabulky lze vyčíst prodloužení reakční doby z pozemní úrovně na 2 134 m. Naopak zkrácení reakční doby ve výškovém profilu 4 267 m. Motorická odezva se mění různě. Straus (2010) definuje motorickou odezvu jako nezbytný čas, který je nutný pro provedení pohybu. Zkoumání pouze reakčního času bez motorické odezvy by postrádalo význam.

Pramsohler et al. (2017) jako výsledky své studie uvádí zvýšení doby kognitivní reakce se zvýšením nadmořské výšky. S výškou 3 500 m se zvýšila doba reakce z 0,54 s \pm 0,05 s na 0,56 \pm 0,07 s ve výšce 5 500 m. Caldwell et al. (2018) prokázali prodloužení reakční doby při těžké hypoxii srovnatelné s 5 000 m. Kida a Imai (1993) odhalili, že ve výšce 5 000 metrů vykazovalo zpomalení reakční doby 20 respondentů a v nadmořské výšce 6 000 metrů zbylých 12 bylo bez snížení reakční doby. Porucha reakční doby může být způsobena poruchou smyslových nebo kognitivních procesů. Legg et al. (2014) zkoumali uvažování a reakční dobu během 90 minut vystavení hypoxickému stavu a odhalili, že již mírná hypoxie zmírňuje rychlost uvažování. Autoři se nebrání ani názoru, že prodloužení reakční doby může způsobit i to, že člověk potřebuje více času na rozhodování. Tudiž obětují čas za přesné a správné provedení. Ovšem podotýkají, že je nutné brát zřetel na takové tvrzení, jelikož jejich studie se nezabývala ověřením správnosti. Změny v reakční době, kognitivní a motorické reakční odezvě je graficky znázorněn na obrázku 6. Z hodnot v grafu můžeme vyčíst změnu času v kognitivní reakční době i motorické odezvě s rostoucí nadmořskou výškou.



Obrázek 6. Změny v reakční době, kognitivní a motorická odezva (Pramsohler et al., 2017, p. 4)

Binks, Cunningham, Adams a Banzett (2008) došli k závěru, že průtok krve mozem se během hypoxie zvyšuje, nicméně průtok není ve všech částech mozku stejný. Zvýšení průtoku krve nejvíce zaznamenali v bazálních gangliích, putamenu, thalamu, nucleu accumbens a pallidu. Hlavním cílem krve bylo udržet homeostázu za cenu kognitivních procesů. Výsledky Williams et al. (2019) naznačují, že za snížení kognitivních procesů při hypoxii může nižší periferní saturace kyslíkem a také mozková oxygenace. Vyvracejí, že by za snížení kognitivních procesů byla odpovědná zvýšená aktivita sympatoadrenálního systému a osa hypotalamu, hypofýzy a nadledvinek. Petrassi, Hodkinson, Walters a Gaydos (2012) udávají, že tyčinkové fotoreceptory jsou velmi náchylné k hypoxii. Degradace zraku byla potvrzena od 1200 metrů. Také upozorňují, že výsledkem hyperventilace, alkalózy a vazokonstrikce dochází k podráždění a zmatení kognitivních funkcí.

3 CÍLE

3.1 Hlavní cíl

V praktické části své diplomové práce se zabývám vlivem hypoxie na reakční dobu. Pomocí reakčních testů z testového souboru Vienna test systém zjišťuji vliv hypoxie na reakční dobu v normoxii i v hypoxii.

Cílem výzkumného projektu je zjistit, zda má hypoxie vliv na reakční dobu u dobrovolníků z řad populace a studentů Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci.

3.2 Dílčí cíle

- 1) Vyhodnocení změn reakční doby při normoxii a hypoxii.
- 2) Vyhodnocení změn motorické odezvy při normoxii a hypoxii.

3.3 Výzkumné otázky

- 1) Do jaké míry se liší hodnoty reakční doby měřené v normoxii od hodnot měřených v hypoxii u testu S1 (reakce na žlutou barvu)?
- 2) Do jaké míry se liší hodnoty reakční doby měřené v normoxii od hodnot měřených v hypoxii u testu S2 (reakce na tón)?
- 3) Do jaké míry se liší hodnoty reakční doby měřené v normoxii od hodnot měřených v hypoxii u testu S4 (reakce na žlutou a červenou barvu)?
- 4) Do jaké míry se liší hodnoty reakční doby měřené v normoxii od hodnot měřených v hypoxii u testu S7 (reakce na žlutou barvu s varovným signálem a bez něj)?
- 5) Liší se hodnoty motorické odezvy měřené v normoxii od hodnot měřených v hypoxii u testu S1, S2, S4 a S7?
- 6) Do jaké míry ovlivňuje krevní saturace O_2 sledované proměnné v podmínkách hypoxie?

4 METODIKA

4.1 Výzkumný soubor

Výzkumný soubor tvořili respondenti ze Zlínského kraje a studenti Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci. Testované osoby, které byly dobrovolně zapojeny do výzkumu, vyplňovaly v úvodní části Vienna test systému základní informace. Údaje zahrnovaly jméno, příjmení, datum narození, věk a stupeň vzdělání. Výzkumný soubor tvořilo celkem 7 žen a 8 mužů. Z celkového počtu 15 respondentů byla vyřazena jedna žena a dva muži, z důvodu nedokončeného měření v celém rozsahu. Šest mužů a šest žen tvořilo výsledný výzkumný soubor této práce. Věkové rozmezí testovaných osob bylo od 25 let do 51 let a průměrný věk testovaných osob byl 30 let. Nejvíce se zapojilo do výzkumu osob s dokončeným vysokoškolským vzděláním, tj. 7 osob. výsledný výzkumný soubor a základní vzdělání měla jedna osoba.

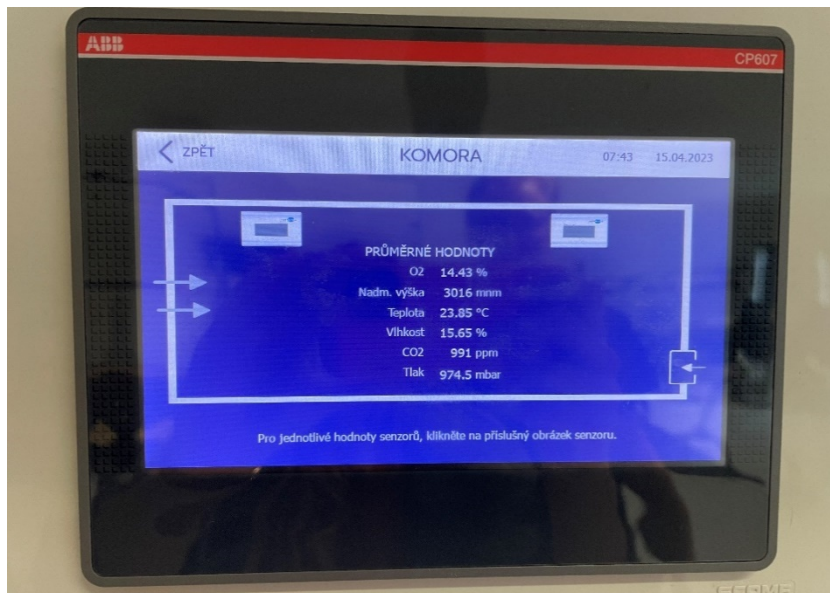
4.2 Metody sběru dat

Výzkum byl koncipován jako komparačně-korelační studie. Pro naplnění cíle bylo zvoleno testování dobrovolníků pomocí reakčních testů z testové baterie Vienna test systém. Výzkum odsouhlasila etická komise a probandi se výzkumu účastnili dobrovolně. Od každého z nich byl podepsán informovaný souhlas (příloha 1).

Testování bylo koncipováno do dvou částí, testování reakční doby prováděné v normoxii a hypoxii v hypoxické komoře. Probandům nebylo sděleno, zda jsou v normoxii nebo hypoxii. Obě testování probíhala ve fyziologické laboratoři v hypoxické komoře Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci.

Tato komora má objem 45,5 m³, šíře 2,5 m, délka je 7 m a výška 2,6 m. Pomocí hypoxické komory a hypoxického generátoru vzduchu HR-1470 od společnosti Hypoxie Group se sídlem v Praze bylo dosaženo normobarické hypoxie. Hypoxický generátor dokáže díky membráně z dutých vláken rozdělit frakci dusíku a kyslíku. Pomocí tohoto procesu se do komory dostane vzduch s menším obsahem kyslíku (Neuls, Krejčí, Jakubec, Botek & Valenta, 2020).

K praktickému výzkumu byla použita normobarická hypoxie s frakcí kyslíku (dále jen FiO₂) 12 %, což odpovídá nadmořské výšce 4 500 metrů nad mořem. Teplota vzduchu byla 23,8°C. Jednotlivé hodnoty senzorů normobarické hypoxické komory můžeme pozorovat na obrázku 7.



Obrázek 7. Vyobrazení řídicí jednotky hypoxické komory

Testování normoxie a hypoxie bylo od sebe odděleno časovým intervalem jednoho měsíce. Tento interval byl zvolen z důvodu zamezení procesu učení testu reakční doby.

Autorem reakčního testu je G. Schuhfried. Tento test dovoluje zjistit reakční dobu, dobu motorické odezvy a je možné ho používat u lidí bez postižení motoriky a bez rozsáhlého postižení zraku a sluchu. Některé testy reakční doby je možné zadávat od 6 let věku. Test reakční doby nabízí možnost jednoduché reakce, ale i možností volby. Podněty během testování jsou jednotlivé nebo v kombinaci. Pokud se jsou podněty v kombinaci, mohou být spuštěny současně nebo v úsecích. Jako oblast použití testu se uvádí dopravní psychologie, psychologie sportu, klinická psychologie a osobnostní psychologie (Prieler, 1996). Pramsohler et al. (2017) tvrdí, že reakční test autora Schuhfrieda měří odezvu po vizuálním a audiálním podnětu. Testovaná osoba má za úkol reagovat co nejrychleji na podnět. Prieler (1996) vysvětluje, že během testu proband reaguje na podněty, jako je audiální podnět nebo vizuální podnět. Frekvence audiálního tónu je okolo 2 000 Hz. Vizuální podnět je složen z červené, žluté nebo bílé barvy.

Prieler (1996) popisuje reakční dobu, motorickou odezvu, míru rozptylu a fázickou ostražitost následovně:

- Reakční doba je doba, která uplyne od začátku projevu podnětu a opuštěním relaxačního tlačítka, které má zlatou barvu. Jedná se o schopnost, která říká, jak rychle člověk dokáže vnímat podněty a vyvolat reakci.
- Motorická odezva vypovídá o rychlosti pohybu člověka. V případě testové baterie definuje čas, kdy jedinec opustí klidové tlačítko zlaté barvy a stiskne reakční černé tlačítko.
- Míra rozptylu reakční doby je měřítko rozptylu reakční doby u testů. Jedná se o standardní odchylku transformace reakční doby.
- Míra rozptylu motorické odezvy je měřítkem rozptylu motorické odezvy u jednotlivých testů. Je standardní odchylkou transformace.
- Fázická ostražitost (kognitivní podíl) vyjadřuje rozdíl mezi reakční dobou s varovným podnětem a bez něj, vyhodnocuje rozdíl těchto proměnných.
- Fázická ostražitost (motorický podíl) je rozdíl mezi motorickou odezvou s varovným podnětem a bez něj.

Do praktické části této diplomové práce byly vybrány z reakčního testu Vienna test systému čtyři varianty testu. U reakčního testu lze obecně říct, že výsledky v rozsahu 0-16 percentil jsou výrazně podprůměrné. Percentil 16–24 lze označit za mírně podprůměrný. Výsledky s percentilem 25–75 odpovídají většině testované populace. Percentil 76-84 odpovídá nadprůměrným výsledkům a percentil vyšší než 84 je hodnocen jako výrazný nadprůměr.

Rozdělení testů a jejich doporučení pro reakční dobu a motorickou odezvu popisuje Prieler (1996) následovně:

S1 – test jednoduché reakce – žlutá barva

Během formy testu S1 se prezentuje jeden podnět, kterým je žluté světlo. Nejprve si proband vyzkoušel cvičnou verzi s pěti podněty žluté barvy. Forma testu S1 má celkem 28 podnětů. Doba trvání testu jsou 4 minuty, poté byla zařazena pauza 2 minuty.

S2 – test jednoduché reakce – tón

Při formě testu S2 se probandovi prezentoval tón s frekvencí 2 000 Hz. Proband nejprve absolvoval cvičné kolo a následně mu bylo prezentováno 28 podnětů, na které musel co nejrychleji reagovat. Doba trvání testu byly rovněž 4 minuty a poté následovala dvouminutová pauza mezi další formou testu.

S4 – test s volitelnou reakcí na žlutou a červenou barvu

Ve formě testu S4 se objevovala červená, žlutá barva a tón, nebo byly tyto podněty v kombinaci. Proband reagoval pouze na vizuální podnět, tedy když se objevila žlutá a červená barva současně. Měření začalo zácvikem a poté se prezentovalo 48 podnětů, u kterých měl proband reagovat na 16 z nich. Délka testování byla 5 minut, pak následoval odpočinek 2 minuty a 30 vteřin.

S7 – test pohotovostní pozornosti na jednoduchou reakci – žlutá barva

Forma testu S7 obsahovala 56 podnětů, přičemž první půlka podnětů byla pouze na žlutou barvu. Zbylé podněty byly opět na žlutou barvu, ale než se barva objevila, tak zazněl akustický signál. Forma testu se skládala z cvičné a ostré fáze testování, která trvala 8 minut.

Doporučení pro reakční dobu u testu S1, S2 a S4

Vysoký percentil, tj. vyšší než 84 znamená, že testovaná osoba velmi rychle reaguje na podněty.

Doporučení pro motorickou reakci S1, S2 a S4

Motorická reakce by měla vykazovat nižší hodnoty než reakční doba u jedince. Pokud by tomu bylo obráceně, ukazovalo by to na poruchu psychomotorických funkcí. Motorická odezva nižší než 0,05 s ukazuje na to, že při testování bylo použito dvou prstů, a ne pouze jednoho, jak bylo zadáno.

Vysoký percentil by v tomto případě znamenal, že jedinec je schopný rychle naplánovat a realizovat reakci ve srovnání s populací.

Doporučení pro reakční dobu u testu S7 s varovným signálem a bez něj

Reakční doba bez varovného signálu by měla být vyšší než s varováním. Percentil nad 84 by znamenal, že je velká diference reakční doby mezi tonickou a fázickou pohotovostní pozorností.

Doporučení pro motorickou reakci u testu S7 s varovným signálem a bez něj

Doba motorické reakce bez varovného signálu se nepatrně liší od motorické odezvy s varovným podnětem.

Výzkumné šetření začalo v únoru 2023 a probíhalo v laboratoři zátěžové fyziologie na Fakultě tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci. V laboratoři proběhlo zaškolení s testovacím přístrojem, softwarem Vienna test systém a podmínkami testování v hypoxické komoře. Zaškolení proběhlo pod vedení vedoucího diplomové práce Mgr. Filipa Neulse, Ph.D. a pracovníka Katedry přírodních věd v kinantropologii Mgr. Ludvíka Valtra, Ph.D. Pracovník Fakulty tělesné kultury Mgr. Ludvík Valtr, Ph.D. poskytl pro tento výzkum flash disk se softwarem Vienna test systém. Poskytl cenné informace pro práci s ním. Po celou dobu testování byl přítomný Mgr. Filip Neuls, Ph.D., který je zaškolen pro zajištění bezpečnosti při používání hypoxické komory.

Před samotným vstupem do laboratoře byl respondenty podepsán informovaný souhlas. Každý z respondentů musel mít vhodnou obuv z důvodu dodržení hygienických zásad laboratoře. Testování dne 18. 3. 2023 proběhlo u 6 osob za stavu normoxie a u 6 osob za stavu hypoxie. Nadcházející termín testování normoxie proběhl 15. 4. 2023. Na tento termín testování za stavu normoxie se dostavilo 6 osob a za stavu hypoxie také 6 osob. Testované osoby vstupovaly do hypoxické komory jednotlivě. Při testování reakční doby za hypoxického stavu byla testovaná osoba přizvána do hypoxické komory o 15 minut dřív, než bylo zahájeno měření, kvůli aklimatizaci.

V hypoxické komoře byla umístěna židle a stůl, na kterém byl položen pracovní notebook a reakční klávesnice, viz obrázek 8.



Obrázek 8. Hypoxická komora na Fakultě tělesné kultury, Univerzity Palackého v Olomouci s pracovním notebookem a reakční klávesnicí

Probandovi byly vysvětleny instrukce. Po celou dobu měření byla v hypoxické komoře přítomna také autorka diplomové práce. Mimo hypoxickou komoru byl vedoucí práce, který byl připraven pomoci v případě komplikací. Pro případ zdravotních komplikací byla přichystána přenosná kyslíková láhev, která je znázorněna na obrázku 9.



Obrázek 9. Kyslíková láhev s maskou

Respondent měl po celou dobu testu umístěn ukazovák dominantní ruky na reakční klávesnici, přesně na „zlaté“ klávese. Loket byl položen volně na lavici. Při rozpoznání podnětu měl proband za úkol co nejrychleji reagovat stejným prstem položeným na zlaté klávese stisknutím černé klávesy. Pokud by testovaná osoba nereagovala stejným prstem, objevila se ikona, která upozorňovala, že osoba musí vždy používat stejný prst. Pokud by proband často chyboval, ukázalo by se na obrazovce okénko s výzvou, ať kontaktuje administrátora testu. Testovaná osoba měla na nedominantní ruce na špičce ukazováku umístěný pulsní oxymetr, který ukazoval saturaci krve kyslíkem a srdeční frekvenci. V této práci byl použit pulsní oxymetr od společnosti Nonin Medical se sídlem v Minneapolis v USA, značky Nonin Avant 4000. Přístroj je znázorněn na obrázku 10.



Obrázek 10 Pulsní oxymetr na měření saturaci krve kyslíkem a srdeční frekvenci

K testování byl použit software Vienna test systém, reakční panel a obrazovku monitoru. Notebook se připojí pomocí kabelu k reakční klávesnici. Ta obsahuje velké barevné klávesy šedé, bílé, červené, modré, zelené a žluté barvy. Dále jsou zde dva joysticky a klávesy s číselnou řadou, pomocí které se zvyšuje nebo snižuje hlasitost audiálního podnětu. Klávesnice obsahuje i zlaté tlačítko, tzv. relaxační, černé tlačítko, tzv. reakční. Testovací přístroj znázorněn na obrázku 11.



Obrázek 11 Testovací notebook s reakční klávesnicí

4.3 Statistické zpracování dat

Všechny testované osoby dostávají prostřednictvím Vienna test systému stejné instrukce na obrazovce počítače. Požadavky jsou tedy u každé testované osoby stejné. Odpovědi testovaných osob jsou ihned automaticky přepisovány a stejně automaticky probíhá i přepis výpočtů skóre a proměnných. Vylučujeme tedy chybu, která bývá způsobena ručním přepisem nebo výpočtem získaných dat. Pokud se dodrží všechna doporučení, autor testu zaručuje i jeho objektivitu (Prieler, 1996).

Data byla zpracována v programech MS Excel a Tibco Statistica 13.4. Byly vypočítány základní statistické veličiny a použit neparametrický Wilcoxonův párový test pro komparace výsledků testů v normoxii a hypoxii, resp. Spearmanův korelační koeficient pro výpočet korelací mezi mírou saturace a výsledky testů. Hladina statistické významnosti byla stanovena na $p < 0,05$.

5 VÝSLEDKY

Krevní saturace O₂ u sledovaného souboru v normoxii činila 98,25 % a směrodatná odchylka byla ± 1,22 %. Průměrná saturace při hypoxii byla 78,67 % se směrodatnou odchylkou ± 4,52 %. Mezi hodnotami saturace v normoxii a hypoxii byl zjištěn statisticky významný rozdíl (Z = 3,06; p = 0,002).

Saturace krve kyslíkem v normoxii (dále jen SpO₂ N) byla v rozmezí 95-99 %. Saturace krve kyslíkem v hypoxii (dále jen SpO₂ H) se pohybovala od 73 do 86 %.

5.1 Výsledky testu S1 (reakce na žlutou barvu)

Výsledky testu S1, který znázorňuje reakci na žlutou barvu, jsou podrobně znázorněny v tabulce 4. Doba trvání testu byla 136-137 sekund.

Tabulka 4

Souhrnné výsledky testu S1 u n = 12 osob (reakce na žlutou barvu)

| | M | SD |
|---------------------------------------|--------|-------|
| motorická odezva N (ms) | 179,58 | 71,22 |
| reakční doba N (ms) | 274,25 | 43,89 |
| míra rozptylu motorické odezvy N (ms) | 23,58 | 11,19 |
| míra rozptylu reakční doby N (ms) | 28,75 | 7,84 |
| motorická odezva H (ms) | 144,17 | 49,51 |
| reakční doba H (ms) | 278,75 | 59,33 |
| míra rozptylu motorické odezvy H (ms) | 15,67 | 5,25 |
| míra rozptylu reakční doby H (ms) | 31,17 | 16,09 |

Poznámka. N = normoxie, H = hypoxie, n = četnost, M = aritmetický průměr, SD = směrodatná odchylka, ms = milisekundy

Souhrnné znázornění výsledků testu S1 ukazuje, že průměrná doba reakce testu S1 motorické odezvy v normoxii je 179,58 milisekund, zatímco v hypoxii se zkrátila na 144,17 milisekund. Rozdíly reakční doby při normoxii a hypoxii jsou nevýznamné.

Výsledky komparace mezi normoxií a hypoxií jsou znázorněny v tabulce 5.

Tabulka 5.

Komparace výsledků testu S1 v normoxii a hypoxii pomocí Wilcoxonova párového testu

| | Z | p |
|--------------------------------|----------|----------|
| reakční doba | 0,35 | 0,72 |
| motorická odezva | 2,51 | 0,01* |
| míra rozptylu reakční doby | 0,59 | 0,56 |
| míra rozptylu motorické odezvy | 2,40 | 0,02* |

Poznámka. Z = výsledek Wilcoxonova párového testu, p = statistická významnost.

*označuje statisticky signifikantní rozdíly na hladině $p < 0,05$

Výsledky poukazují na statisticky významný rozdíl v motorické odezvě mezi normoxií a hypoxií, kdy odezva byla signifikantně rychlejší v hypoxii. Rozdíl činil průměrně 36 milisekund. Další statisticky významný rozdíl byl nalezen v míře rozptylu motorické odezvy, která byla v hypoxii nižší v porovnání s normoxií.

V následující tabulce jsou prezentovány výsledky korelací mezi saturací a jednotlivými sledovanými proměnnými.

Tabulka 6.

Korelace mezi procentem saturace O_2 a sledovanými proměnnými v testu S1 za podmínek hypoxie

| Proměnná | r_s | p |
|--------------------------------|-------------------------|----------|
| motorická odezva | -0,03 | 0,93 |
| reakční doba | -0,42 | 0,18 |
| míra rozptylu motorické odezvy | 0,08 | 0,81 |
| míra rozptylu reakční doby | -0,10 | 0,75 |

Poznámka. r_s = Spearmanův korelační koeficient, p = statistická významnost

Výsledky korelací naznačují určitý trend, kdy osoby s nižší saturací mají delší reakční dobu ($r_s = -0,42$).

5.2 Výsledky testu S2 (reakce na tón)

Výsledky doby zpracování a odezvy na audiální podnět u testu S2 jsou znázorněny v tabulce 7. Průměrná doba zpracování testu činila 136-137 sekund.

Tabulka 7

Souhrnné výsledky testu S2 u n = 12 osob (reakce na tón)

| | M | SD |
|---------------------------------------|----------|-----------|
| motorická odezva N (ms) | 161,92 | 58,39 |
| reakční doba N (ms) | 249,83 | 36,50 |
| míra rozptylu motorické odezvy N (ms) | 20,42 | 11,17 |
| míra rozptylu reakční doby N (ms) | 27,25 | 8,20 |
| motorická odezva H (ms) | 151,67 | 58,83 |
| reakční doba H (ms) | 267,33 | 55,07 |
| míra rozptylu motorické odezvy H (ms) | 16,42 | 7,56 |
| míra rozptylu reakční doby H (ms) | 30,25 | 10,96 |

Poznámka. N = normoxie, H = hypoxie, M = aritmetický průměr, SD = směrodatná odchylka, ms = milisekundy.

Motorická odezva v normoxii je delší než v hypoxii, naopak reakční doba v normoxii je delší než v hypoxii, avšak rozdíly nejsou statisticky významné.

Tabulka 8 popisuje výsledky neparametrického Wilcoxonového párového testu během normoxie a hypoxie u testu S2.

Tabulka 8

Komparace výsledků testu S2 v normoxii a hypoxii pomocí Wilcoxonova párového testu

| | Z | p |
|--------------------------------|----------|----------|
| reakční doba | 1,53 | 0,13 |
| motorická odezva | 1,18 | 0,24 |
| míra rozptylu reakční doba | 1,02 | 0,31 |
| míra rozptylu motorické odezva | 1,42 | 0,15 |

Poznámka. N = normoxie, H = hypoxie, Z = výsledek Wilcoxonova párového testu, p = statistická významnost.

*označuje statisticky signifikantní rozdíly na hladině $p < 0,05$

V následující tabulce jsou prezentovány výsledky korelací mezi saturací a jednotlivými sledovanými proměnnými.

Tabulka 9

Korelace mezi procentem saturace O_2 a sledovanými proměnnými v testu S2 za podmínek hypoxie

| Proměnná | r_s | p |
|--------------------------------|-------------------------|----------|
| motorické odezva | 0,02 | 0,94 |
| reakční doba | -0,61 | 0,03* |
| míra rozptylu motorické odezvy | 0,08 | 0,81 |
| míra rozptylu reakční doba | -0,37 | 0,24 |

Poznámka. r_s = Spearmanův korelační koeficient, p = statistická významnost

* označuje statisticky signifikantní rozdíl na hladině $p < 0,05$

Jako statisticky významné jsou výsledky vlivu saturace na reakční dobu při hypoxii. Hodnota statistické významnosti je 0,03 a Spearmanův korelační koeficient $r_s = -0,61$. Výsledky naznačují, že pokud klesne saturace krve kyslíkem při hypoxickém stavu, prodlouží se reakční doba jedince, mluvíme tedy o negativní korelaci.

5.3 Výsledky testu S4 (výběrová reakce na červenou a žlutou barvu)

Tabulka 10 popisuje výsledky reakční doby, motorické odezvy a míry rozptylu u testu S4, jedná se o test s volbou reakce na žlutou a červenou barvu. Doba trvání testu se pohybovala kolem 167 sekund.

Tabulka 10

Souhrnné výsledky testu S4 u n = 12 osob (výběrová reakce na červenou a žlutou barvu)

| | M | SD |
|---------------------------------------|----------|-----------|
| motorická odezva N (ms) | 157,08 | 57,41 |
| reakční doba N (ms) | 388,17 | 55,49 |
| míra rozptylu motorické odezvy N (ms) | 18,75 | 7,72 |
| míra rozptylu reakční doby N (ms) | 48,58 | 9,93 |
| motorická odezva H (ms) | 145,33 | 58,14 |
| reakční doba H (ms) | 376,50 | 61,79 |
| míra rozptylu motorické odezvy H (ms) | 15,92 | 9,20 |
| míra rozptylu reakční doby H (ms) | 58,17 | 25,41 |

Poznámka. N = normoxie, H = hypoxie, n = četnost, M = aritmetický průměr, SD = směrodatná odchylka, ms = milisekundy.

Motorická odezva při normoxii byla delší než při hypoxii. Hodnoty se jeví jako statisticky nevýznamné.

Tabulka 11 prezentuje výsledky neparametrického Wilcoxonova párového testu během normoxie a hypoxie u testu S4.

Tabulka 11

Komparace výsledků testu S4 v normoxii a hypoxii pomocí Wilcoxonova párového testu

| | Z | p |
|--------------------------------|----------|----------|
| reakční doba | 1,42 | 0,15 |
| motorická odezva | 1,29 | 0,20 |
| míra rozptylu reakční doba | 1,02 | 0,31 |
| míra rozptylu motorické odezvy | 0,94 | 0,35 |

Poznámka. N = normoxie, H = hypoxie, Z = výsledek Wilcoxonového párového testu, p = statistická významnost.

Výsledky nenaznačují žádný statisticky významný rozdíl mezi měřeními v normoxii a v hypoxii.

Tabulka 12 poukazuje na výsledky korelace mezi saturací a jednotlivými proměnnými v hypoxii.

Tabulka 12

Korelace mezi procentem saturace O_2 a sledovanými proměnnými v testu S4 za podmínek hypoxie

| Proměnná | r_s | p |
|--------------------------------|-------|-------|
| motorická odezva | -0,11 | 0,72 |
| reakční doba | -0,67 | 0,02* |
| míra rozptylu motorické odezvy | 0,11 | 0,73 |
| míra rozptylu reakční doby | -0,23 | 0,47 |

Poznámka. r_s = Spearmanův korelační koeficient, p = statistická významnost

* označuje statisticky významné rozdíly na hladině $p < 0,05$

V tabulce 12 vidíme, že statistická významnost byla zjištěna u korelace hypoxie a reakční doby. Stejně jako v předešlém testu S4 vidíme statisticky významný vztah mezi klesající saturací a narůstající reakční dobou ($r_s = -0,67$; $p = 0,02$)

5.4 Výsledky testu S7 (pohotovostní pozornost na žlutou barvu)

Tabulka 13 prezentuje výsledky průměrné reakční doby a směrodatnou odchylku u testu S7, jednalo se o test pohotovostní pozornosti na žlutou barvu. Průměrná doba testu S7 v normoxii byla 274–275 sekund.

Test S7 byl rozdělen na dvě části: v první části testované osoby reagovaly na podnět bez varovného signálu na žlutou barvu, ale zazněl i tón, na který nereagovaly. V druhé části testu zazněl tón, který sloužil jako předzvěst, že brzy se objeví žlutá barva. Respondenti měli pokyn reagovat pouze na žlutou barvu, nikoliv na tón. Výsledky jsou tedy rozdělené opět jako předešlé na testování v normoxii a hypoxii, ale navíc i s varovným signálem a bez něj.

Tabulka 13

Souhrnné výsledky testu S7 n = 12 osob (pohotovostní pozornost na žlutou barvu)

| | M | SD |
|---|----------|-----------|
| fázická ostražitost (kognitivní podíl) N (ms) | 17,58 | 42,50 |
| fázická ostražitost (motorický podíl) N (ms) | 4,00 | 16,99 |
| reakční doba BEZ N (ms) | 278,08 | 53,46 |
| reakční doba S N (ms) | 260,42 | 52,22 |
| motorická odezva BEZ N (ms) | 152,33 | 64,96 |
| motorická odezva S N (ms) | 148,42 | 65,24 |
| fázická ostražitost (kognitivní podíl) H (ms) | 15,50 | 31,83 |
| fázická ostražitost (motorický podíl) H (ms) | 1,33 | 16,06 |
| reakční doba BEZ H (ms) | 285,58 | 56,30 |
| reakční doba S H (ms) | 270,00 | 59,66 |
| motorická odezva BEZ H (ms) | 142,67 | 53,49 |
| motorická odezva S H (ms) | 141,25 | 50,93 |
| míra rozptylu motorické odezvy S N (ms) | 32,23 | 23,50 |
| míra rozptylu motorické odezvy BEZ N (ms) | 54,91 | 31,68 |
| míra rozptylu reakční doby S N (ms) | 37,47 | 10,35 |
| míra rozptylu reakční doba BEZ N (ms) | 38,46 | 19,48 |
| míra rozptylu motorické odezva S H (ms) | 33,84 | 33,84 |
| míra rozptylu motorické odezvy BEZ H (ms) | 44,25 | 29,54 |
| míra rozptylu reakční doba S H (ms) | 45,40 | 22,22 |
| míra rozptylu reakční doba BEZ H (ms) | 47,16 | 20,07 |

Poznámka. N = normoxie, H = hypoxie, n = četnost, M = aritmetický průměr, SD = směrodatná odchylka, BEZ = bez varovného signálu, S = s varovným signálem, ms = milisekundy

Reakční doba v normoxii bez varovného signálu měla průměrnou hodnotu 278,08 se směrodatnou odchylkou 53,46 milisekund. Reakční doba s varovným signálem v normoxii je 260,42 milisekund se směrodatnou odchylkou 52,22 milisekund. Reakční doba bez varovného signálu v hypoxii byla 285,58 milisekund se směrodatnou odchylkou 56,30 milisekund, zatímco reakční doba s varovným signálem v hypoxii byla 270,00 milisekund se směrodatnou odchylkou 59,66 milisekund. Motorická odezva bez varovného signálu v normoxii byla 152,33 milisekund se směrodatnou odchylkou 64,96 milisekund, s varovným signálem v normoxii byla 148,42 milisekund se směrodatnou odchylkou 65,24 milisekund. Motorická odezva s varovným signálem v hypoxii byla 141,25 se směrodatnou odchylkou 50,93 milisekund, bez varovného signálu 142,67 milisekund se směrodatnou odchylkou 53,49 milisekund. Nejvyšší míra rozptylu je u motorické odezvy bez varovného signálu při normoxii, zatímco nejmenší míru rozptylu můžeme pozorovat u motorické odezvy s varovným signálem v normoxii.

Výsledky vypovídají o tom, že v normoxii je reakční doba rychlejší s varovným signálem než bez něj, to samé platí u motorické odezvy, ale i za stavu hypoxie. Jako významné hodnotím, že reakční doba v hypoxii se prodloužila bez, ale i s varovným signálem oproti normoxii. Naopak motorická odezva se zkrátila v hypoxii oproti stavu normoxie u testu s varovným i bez varovného signálu. Jde však ve všech příkladech o statisticky nesignifikantní rozdíly.

Tabulka 14 prezentuje výsledky komparace testu S7 v normoxii a hypoxii a s varovným signálem a bez něj.

Tabulka 14

Komparace výsledků testu S7 v normoxii a hypoxii pomocí Wilcoxonova párového testu

| | Z | p |
|---|----------|----------|
| fázická ostražitost (kognitivní podíl) N & fázická ostražitost (kognitivní podíl) H | 0,08 | 0,94 |
| fázická ostražitost (motorický podíl) N & fázická ostražitost (motorický podíl) H | 0,40 | 0,69 |
| reakční doba BEZ N & reakční doba BEZ H | 0,63 | 0,53 |
| reakční doba S N & reakční doba S H | 0,94 | 0,35 |
| motorická odezva BEZ N & motorická odezva BEZ H | 1,10 | 0,27 |
| motorická odezva S N & motorická odezva S H | 0,80 | 0,42 |
| reakční doba BEZ N & reakční doba S N | 1,18 | 0,24 |
| motorická odezva BEZ N & motorická odezva S N | 0,63 | 0,53 |
| reakční doba BEZ H & reakční doba S H | 1,57 | 0,12 |
| motorická odezva BEZ H & motorická odezva S H | 0,00 | 1,00 |
| míra rozptylu motorické odezvy S N & míra rozptylu motorické odezvy S H | 0,16 | 0,88 |
| míra rozptylu motorické odezvy BEZ N & míra rozptylu motorické odezvy BEZ H | 0,78 | 0,43 |
| míra rozptylu reakční doby S N & míra rozptylu reakční doby S H | 1,02 | 0,31 |
| míra rozptylu reakční doby BEZ N & míra rozptylu reakční doby BEZ H | 1,33 | 0,18 |

Poznámka. N = normoxie, H = hypoxie, Z = výsledek Wilcoxonova párového testu, p = statistická významnost.

Rozdíly v tomto testu vykonaném v normoxických a hypoxických podmínkách se jeví jako statisticky nevýznamné.

Tabulka 15 prezentuje výsledky vztahu mezi proměnnými u testu S7.

Tabulka 15

Korelace mezi procentem saturace O₂ a sledovanými proměnnými v testu S7 za podmínek hypoxie

| | r_s | p |
|--|----------------------|----------|
| fázická ostražitost (kognitivní podíl) H | 0,18 | 0,58 |
| fázická ostražitost (motorický podíl) H | -0,72 | 0,01* |
| reakční doba BEZ H | -0,24 | 0,45 |
| reakční doba S H | -0,47 | 0,12 |
| motorická odezva BEZ H | -0,22 | 0,50 |
| motorická odezva S H | 0,18 | 0,58 |
| míra rozptylu motorické odezvy S H | 0,07 | 0,84 |
| míra rozptylu motorické odezvy BEZ H | 0,04 | 0,90 |
| míra rozptylu reakční doby S H | -0,53 | 0,08 |
| míra rozptylu reakční rychlost BEZ H | -0,39 | 0,21 |

Poznámka. H = hypoxie, r_s = Spearmanův korelační koeficient, p = statistická významnost, BEZ = bez varovného signálu, S = s varovným signálem.

*označuje statisticky signifikantní rozdíl na hladině p < 0,05

Výsledky ukazují statisticky významnou korelaci mezi saturací a motorickým podílem fázické ostražitosti (r_s = -0,72; p = 0,01). Z toho vyvozujeme, že pokud klesne saturace krve kyslíkem při hypoxii, zhorší se motorický podíl fázické ostražitosti. Nejvyšší korelace (i když nesignifikantní) byla zjištěna u míry rozptylu reakční rychlosti s varovným podnětem. Výsledky naznačují, že čím nižší bude saturace, tím větší bude míra rozptylu.

Jako výsledky prezentujeme i zmeškané reakce, neúplné reakce, chybovost v normoxii i hypoxii v tabulce 16.

Tabulka 16

Zmeškané reakce, neúplné reakce, chybovost v normoxii a hypoxii.

| | zmeškané | neúplné | chybovost | chybovost |
|--|----------|---------|-----------|-----------|
| | R | R | N | H |
| S1 reakce na žlutou barvu | 0 | 0 | 1 | 0 |
| S2 reakce na tón | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S4 volitelná reakce na žlutou a červenou barvu | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S7 pohotovostní pozornost na žlutou barvu | 0 | 2 | 0 | 5 |

Poznámka. H = hypoxie, N = normoxie, R = reakce.

Test reakční doby S1, který byl orientován na reakci na žlutou barvu, byl složen z 28 podnětů, měl pouze jednu chybu při normoxii. Test S7, který byl orientován na pozornost a reagovalo se pouze na žlutou barvu, vykazuje 2 neúplné reakce a chybovost při hypoxii, celkem 5 chyb u jednoho respondenta z celkových 46 podnětů.

6 DISKUSE

Diplomová práce se zabývá výzkumem vlivu hypoxie na reakční dobu. Celkem 12 testovaných osob, 6 žen a 6 mužů, bylo vystaveno hypoxickým podmínkám při $\text{FiO}_2 = 12\%$ pomocí hypoxické komory na Fakultě tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci. Test reakční doby byl vybrán z Vienna test systému, konkrétně šlo o testy S1 (reakce na žlutou barvu), S2 (reakce na tón), S4 (reakce na červenou a žlutou barvu) a S7 (reakce na žlutou barvu s varovným a bez varovného signálu). Průměrný věk testovaných osob byl 30 let. Každá testovaná osoba se zúčastnila dvou měření, jedno proběhlo v normoxii a druhé v hypoxii. Testování proběhlo na jaře roku 2023. Samotné testování v normoxii trvalo 30 minut a v hypoxii 45 minut, protože osoby vstupovaly o 15 minut dříve do komory, aby se krátce aklimatizovaly. Saturace v normoxii se pohybovala v hodnotách 95–99 % a v hypoxii 73–86 % SpO_2 . Do komory byla nasimulována nadmořská výška 4 500 m n. m.

K porovnání saturace a nadmořské výšky byly hledány základy stejných výzkumných prací k ověření minimální a maximální saturace, které byly naměřeny v diplomové práci. Ta se pohybovala v rozmezí 73–86 % SpO_2 .

Tannheimer, Thomas a Gerngroß (2002) popisují ve svém článku, že při jejich výstupu byla hladina parciálního a částečně i arteriální saturace krve kyslíkem 78,5 % odpovídající nadmořské výšce 5 750 m n. m. a hodnota 86 % odpovídala nadmořské výšce 4 850 m n. m. Vliv hypoxie na saturace parciální a arteriální v různých nadmořských výškách je znázorněn v tabulce 17.

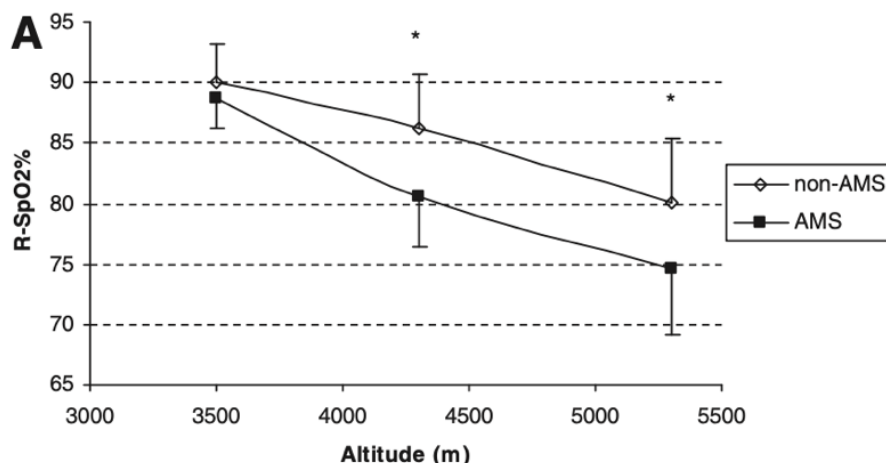
Tabulka 17

Vliv hypoxie na saturace parciální a arteriální v různých nadmořských výškách (Tannheimer, Thomas a Gerngroß, 2002, p. 331)

| Nadmořská výška | 1 200 m n. m. | 2 300 m n. m. | 3 600 m n. m. | 4 100 m n. m. | 4 850 m n. m. | 5 750 m n. m. |
|-----------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| n | 13 | 13 | 13 | 9 | 13 | 12 |
| medián SpO_2 | 96,50 | 93,50 | 90,50 | 86,50 | 86,00 | 78,50 |

Poznámka. m n. m. = metry nad mořem, n = četnost, SpO_2 = saturace krve kyslíkem

Karinen, Peltonen, Kähönen a Tikkanen (2010) uvádějí ve své studii obrázek, který znázorňuje vztah saturace krve kyslíkem a nadmořskou výšku. Obrázek 12 demonstruje výsledky jejich studie, která zkoumala predikci akutní horské nemoci na základě monitorování nasycení krve kyslíkem během výstupu horách.



Obrázek 12. Vztah saturace a nadmořské výšky s ohledem na akutní horskou nemoc (Karinen et al., 2010, p. 328)

Poznámka. Altitude = nadmořská výška v metrech, non-AMS = bez příznaků akutní horské nemoci, AMS = s příznaky akutní horské nemoci, R-SpO₂ = saturace krve kyslíkem v klidu.

Z následujícího obrázku lze pozorovat, že hodnoty saturace v diplomové práci odpovídají u 73 % SpO₂ 5 300 m n. m. a 86 % SpO₂ 4 300 m n. m.

Hodnota, kterou udávají Oliver et al. (2012), je velmi podobná hodnotě Karinen et al. (2010). Oliver et al. (2012) ve své studii potvrdil, že SpO₂ 86 % je prokazatelná v nadmořské výšce 4 000 m n. m., ovšem hodnotu 73 % SpO₂ uvádí jako minimální hodnotu pouze u jednoho člověka. Tato hodnota saturace odpovídá v jeho výzkumu výšce 4 670 m n. m.

Test S1, který je orientován na žlutou barvu, měl délku trvání průměrně 136-137 sekund. Reakční doba se průměrně v hypoxii prodloužila o 4,50 milisekund, zatímco motorická odezva se zkrátila o 35,41 milisekund. Výsledky vypovídají o statisticky významném rozdílu ($p = 0,01$) u motorické odezvy v normoxii a hypoxii. Můžeme konstatovat, že motorická odezva byla signifikantně rychlejší v hypoxii, rozdíl činil 36 milisekund. Další hodnota statisticky významná je míra rozptylu motorické odezvy v normoxii a hypoxii s hodnotou ($p = 0,02$). V hypoxii byla míra rozptylu motorické odezvy nižší v hypoxii než v normoxii. U korelace mezi saturací a jednotlivými proměnnými nebyla nalezena signifikantně významná hodnota, pouze byl naznačen trend, kdy osoby s nižší saturací mají v daném testu delší reakční dobu.

Průměrný čas reakční doby u testu S2, který je orientovaný na tón, byl prodloužen v hypoxii o 17,50 milisekund, zatímco motorická odezva se zkrátila o 10,25 milisekund. Test průměrně trvalo zpracovat 136 až 137 sekund. Jako statisticky významný je výsledek vlivu

snižující se saturace na reakční dobu při hypoxii, tudíž při poklesu saturace se prodlužovala doba reakce.

Reakční doba u testu S4, kde testované osoby reagovaly, pokud současně viděly červenou a žlutou barvu, se zkrátila v hypoxickém stavu o 11,67 milisekund. Motorická odezva se zkrátila o 11,75 milisekund. Snižující se saturace má vliv na prodloužení reakční doby při hypoxii, potvrdila to korelace mezi SpO_2 a sledovanými parametry. Statistická významnost byla potvrzena hodnotou $p = 0,02$. Opět vidíme, že čím nižší je procento saturace, tím se prodlužuje reakční doba v hypoxickém stavu.

Test S7 byl rozdělen na dvě části, první část byla bez varovného podnětu a druhá s varovným podnětem. Průměrně test zabral respondentům okolo 274 sekund. Reakční doba v normoxii bez podnětu byla delší o 17,66 milisekund než reakční doba v normoxii s varovným podnětem. Reakční doba s varovným signálem byla rychlejší v hypoxii než reakční doba bez varovného signálu v hypoxii o 15,58 milisekund. Motorická odezva s varovným signálem v normoxii byla rychlejší než motorická odezva bez signálu v normoxii. Motorická odezva s varovným signálem za stavu hypoxie byla rychlejší než motorická odezva bez varovného signálu za stavu hypoxie. Pokud bychom porovnávali reakční dobu s varovným signálem v normoxii s hypoxií, tak se prodloužila reakční doba za stavu hypoxie. Motorická odezva s varovným signálem za stavu hypoxie byla kratší o 7,17 milisekund oproti normoxii. Statisticky významný je vztah nízké saturace na fázickou ostražitost, to má za následek snížení motorického podílu v hypoxii. Neparametrický Wilcoxonův párový test nepotvrdil signifikantně významnou hodnotu. Ovšem statisticky významná hodnota byla nalezena mezi korelací saturace O_2 a fázickou ostražitostí s motorickým podílem. Hodnota statistické významnosti 0,01 potvrzuje, že pokud klesne saturace krve kyslíkem při hypoxii, zhorší se motorický podíl fázické ostražitosti. Míra rozptylu neprokázala statistickou významnost. Pouze hodnota 0,08 naznačuje, že pokud by klesla saturace, zvýší se tím i míra rozptylu reakční doby s varovným signálem, což můžeme označit za určitou tendenci.

Z následujících výsledků vidíme, že reakční doba se v 3 ze 4 testu prodloužila v hypoxickém stavu, zatímco motorická odezva se za stavu hypoxie zkrátila. K lepšímu pochopení znázorněno v tabulce 18.

Tabulka 18

Prodlužující se reakční doba a zkracující se motorická odezva v testu reakční doby Vienna test systému

| | S1 | S2 | S4 | S7 |
|---------------------------|----|----|----|----|
| reakční doba H | ↑ | ↑ | ↓ | ↑ |
| motorická odezva H | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |

Poznámka. S1, S2, S4 a S7 = jednotlivé testy, H = hypoxie, ↑ = prodlužující se doba, ↓ = zkracující se doba.

Výzkumy Kida a Imai (1993), Cahoon (1972), Limmer a Platen (2018) potvrzují, že se prodlužuje reakční doba za stavu hypoxie, ke které dochází ve vysokohorském prostředí. Vysvětlujícím důvodem může být dle Legg et al. (2014), že osoby potřebují více času na odpověď. Dalším vysvětlujícím důvodem může být, že jsou zasaženy smyslové orgány, pomocí kterých vnímáme podněty. Toto tvrdí více autorů, například Petrassi, Hodkinson, Walters a Gaydos (2012), Beer, Shender, Chauvin, Dart a Fischer (2017), Čelikovský et al., 1979, Šulc (1980) a McFarland (1937).

Testy v naší studii byly vybrány tak, aby se měřila reakční doba a motorická odezva na zrakové a sluchové podněty.

Na prodloužení reakční doby má velký vliv částečné narušení smyslů, které vzniká při hypoxického stavu (Kida & Imai, 1993). Šulc (1980) uvádí, že hypoxie nejvíce ze smyslových orgánů zasahuje zrak. Snižuje se světlocit, barvocit, ale dochází i ke změně skotopického a ftopického vidění. Petrassi, Hodkinson, Walters a Gaydos (2012) uvádějí jako výsledek své studie degradaci zraku již od 1 200 metrů. Beer, Shender, Chauvin, Dart a Fischer (2017) popisují, že v hypoxii dochází k zhoršení sluchové přesnosti. Šulc (1980) tvrdí, že se mírně zhoršuje čistota tónu, ale vestibulární aparát, který zajišťuje rovnováhu, je odolný proti účinkům hypoxie. Teichner (1954) ve své studii zjistil, že pokud budeme stimulovat více smyslů během hypoxie, zrychlí se reakční doba, než kdybychom stimulovali pouze jeden ze smyslů. Ovšem pokud budeme postupně stimulovat smysly, reakční doba se prodlouží. Hornbein (2001) tvrdí že za prodloužení reakční doby může i snížená funkce mozku, vlivem které dochází k poškození neuronů. Legg et al. (2014) přidává, že se prodlužuje doba uvažování nad úkoly. Davranche et al. (2016) uvádí, že prodloužení reakční doby úzce souvisí se zpomalením biologických hodin.

Tune (1964) doporučuje zkoumat zvláště reakční dobu a motorickou odezvu. Ledwith (1970) ve svém výzkumu potvrdil, že se zkracuje doba motorické odezvy ve výšce 2 100 m n. m., zkrácení doby vykazují více osoby s věkem 21–45 let. Ve svém výzkumu také popisuje, že doba

pohybu je 1 000–5 000 milisekund, hledání a identifikace správné klávesnice je stejně rychlá jako na hladině moře. Také poznamenává, že každá osoba vykazuje velmi individuální výsledky a záleží na věku a složitosti úkolu. Van Liere a Stickney (1963) vysvětlují, že za snížení doby motorické odezvy může zvýšená aktivita autonomního nervového systému. Tento systém se zvýší díky prohloubení a zrychlení dýchání a srdeční frekvence.

Dle dostupných zdrojů informací vyvozujeme, že motorická odezva se zrychluje v hypoxickém stavu. Nepodařilo se najít zdroj, který by vysvětloval zrychlení motorické odezvy v hypoxii. Devita et al. (2017) říká, že čím je člověk starší, tím se prodlužuje motorická odezva. Dále udávají, že hypoxie urychluje proces stárnutí.

Chybovost v testu S7 byla pouze u jedné testované osoby za stavu hypoxie. Chybu provedla v jednom testu při 5 z 46 podnětů, chybovost teda byla 10,87 %. Jako vysvětlení udáváme informaci Melechovského (2023), který říká, že citlivost na hypoxii je individuální. Legg et al. (2014) podotýkají, že reakční doba se může prodloužit, protože lidé potřebují více času na odpověď. Delší čas je zvolen, aby byla zachována malá chybovost při podnětech. Kida a Imai (1993) jako výsledek své studie uvádí, že pobyt ve vysokých nadmořských výškách má velký vliv na reakční dobu. Pokud budou lidé vystaveni často a delší dobu hypoxii v horském prostředí, zrychlí se reakční doba, ale zvýší se chybovost. Davranche et al. (2016) při své studii zjistil, že chybovost zůstává i po více dnech vystavení hypoxii, zatímco reakční doba se po dnech vrací na úroveň moře.

7 ZÁVĚRY

- V daných podmínkách normobarické hypoxie ($FiO_2 = 12\%$) činila saturace O_2 u výzkumného souboru 12 dobrovolníků průměrně 79 % v porovnání s běžnou hodnotou 98 % v normoxických podmínkách.
- V testu S1 byly zjištěny signifikantní rozdíly mezi normoxickými a hypoxickými podmínkami v motorické odezvě, která byla rychlejší v hypoxii ($p = 0,01$), a v míře rozptylu motorické odezvy, která byla nižší v normoxii ($p = 0,02$).
- V testech S2, S4 a S7 nebyly zjištěny ve sledovaných proměnných (reakční doba, motorická odezva, míry rozptylu) žádné statisticky významné rozdíly mezi normoxickými a hypoxickými podmínkami.
- Jako nejdůležitější působící fyziologický faktor se jeví míra saturace SpO_2 , která pravděpodobně ovlivňuje reakční dobu v hypoxii. Výsledky naznačují trend negativní korelace mezi SpO_2 a reakční dobou (test S1 $r = -0,42$; $p = 0,18$; test S2 $r = -0,61$; $p = 0,03$; test S4 $r = -0,67$; $p = 0,02$; test S7 $r = -0,53$; $p = 0,08$).
- V této souvislosti se jeví jako důležité v praxi rozlišovat mezi osobami na hypoxii senzitivními a rezistentními.

8 SOUHRN

Turistika ve vysokohorském prostředí získává v posledním pár letech velký rozmach, velký vliv na tomto rozvoji mělo setkání s onemocněním Covid-19. Lidé museli být dlouhou dobu v domácím prostředí, aby se nešířilo toto onemocnění, a proto dneska zažívá takovou oblibu právě turismus. Lidé jsou vděční, za každou chvíli strávenou v přírodě a velmi často k tomu využívají právě horské prostředí. Ačkoliv došlo k rozmachu turismu a aktivit v horském prostředí, lidé si často neuvědomují možná rizika vlivu hypoxie. Osoby, které se setkají s příznaky hypoxie si často neuvědomují nebo nepřipouští její vliv, právě díky sníženým kognitivním procesům. Důležité je, aby lidé včasně rozpoznali rizika hypoxie a dokázali rychle reagovat a zamezit tak poškození organismu, zranění nebo dokonce smrti.

Hlavním cílem diplomové práce je zjistit, zda má hypoxie vliv na kognitivní procesy, především reakční dobu a motorickou reakci.

Teoretická část se zabývá definicí hypoxie, jejími druhy, projevy a změnami v orgánových soustavách. Na to navazuje kapitola s názvem kognitivní procesy a vliv hypoxie na kognitivní procesy. Kapitola s názvem vliv hypoxie na kognitivní procesy popisuje vliv hypoxie na paměť, učení, rozhodování, pozornost, myšlení, ale především reakční dobu.

V praktické části jsem zkoumala vliv hypoxie na kognitivní procesy, především na reakční dobu a motorickou reakci. K testování jsem použila reakční test z Vienna test systému. Byli použity testy S1 (reakce na žlutou barvu), S2 (reakce na tón), S4 (volitelná reakce na žlutou a červenou barvu) a S7 (pohotovostní pozornost na žlutou barvu). Samotné testování proběhlo ve dvou povinných termínech 18. 3. 2023 a 15. 4. 2023 za stavu normoxie i hypoxie. Testování probíhalo ve fyziologické laboratoři na Univerzitě Palackého v Olomouci, pod Fakultou tělesné kultury v hypoxické komoře, kde byla nastavena nadmořská výška 4 500 m. Testování se celkem zúčastnilo 15 lidí, ale tři respondenti museli být vyloučeni, protože neabsolvovali měření v hypoxickém stavu. Vyloučena byla jedna žena a dva muži. Celkem jsou výsledky prezentovány z výzkumného souboru 12 osob, kdy 6 bylo ženského pohlaví a 6 mužského. Tento poměr byl vybrán schválně, aby výzkumný vzorek nebyl zkreslen vlivem rozdílnosti reakce u pohlaví.

Výsledky hovoří o tom, že v hypoxii se mírně prodlužuje reakční doba u testu reakční doby S1 (žlutá barva), S2 (tón) a S7 (s varovným a bez varovného signálu). U jediného testu S4 (červená a žlutá barva) se reakční doba naopak zkracuje. Doba motorické odezvy se zkracuje ve všech testech, a to s vysokou hodnotou. Testované osoby ($n = 12$) vystaveny normobarické hypoxii ($FiO_2 = 12\%$) měly průměrně hodnotu SpO_2 79 %. Test S1 vykazuje signifikantní rozdíly mezi normoxií a hypoxií v motorické odezvě. Motorická odezva byla rychlejší v hypoxii ($p = 0,01$) a míra rozptylu motorické odezvy byla nižší ve stavu normoxie ($p = 0,02$). Žádné statisticky

signifikantní rozdíly mezi normoxickými a hypoxickými podmínkami u testu S2, S4 a S7 ve sledovaných proměnných nebyly nalezeny. Pravděpodobně největší vliv na prodloužení reakční doby v hypoxii má míra SpO₂. Výsledky ukazují na negativní trend u testu S1 ($r = -0,42$; $p = 0,18$); test S2 ($r = -0,61$; $p = 0,03$); test S4 ($r = -0,67$; $p = 0,02$); test S7 ($r = -0,53$; $p = 0,08$). Pro budoucí studie je velmi důležité rozlišovat mezi osobami rezistentními a senzitivními na hypoxii.

Diplomová práce může sloužit každému, kdo by chtěl znát příznaky a následky hypoxie na reakční dobu. Jako doporučení by mohla sloužit všem turistům, lyžařům ale i neaktivním lidem, kteří navštěvují nebo se chystají navštívit horské prostředí. Lidé mohou díky poznatkům této práce zabránit vzniku zranění nebo dokonce úmrtí.

9 SUMMARY

Alpine hiking gained huge popularity during the last few years. The covid-19 pandemic had a great influence on that because people had to be in lockdowns, and therefore hiking is so popular today. People are thankful for every opportunity to spend time outside, and very often, they spend time in the mountains. People don't realize the possible risks of hypoxia. When people feel symptoms of hypoxia, they often don't realize or underestimate its influence due to decreased cognitive processes. It is crucial to distinguish the risks of hypoxia and to react fast and prevent damage to human organisms, injury, or even death.

The main goal of this thesis is to determine if hypoxia has an influence on cognitive processes, mainly reaction time and motor response.

The theoretical part deals with the definition of hypoxia, its types, and changes in organ systems. The following chapter, named cognitive processes and the influence of hypoxia on cognitive processes, describes the influence of hypoxia on memory, learning, decision-making, attention, and mainly reaction time.

In the practical part of the thesis, I researched the influence of hypoxia on cognitive processes, mainly on reaction time and motor response. For the testing, I used the reaction test from the Vienna test system. S1 (reaction to yellow color), S2 (reaction to tone), S4 (optional reaction to yellow and red color), and S7 (standby attention to yellow color) tests were used. Testing itself took place in a hypoxic chamber in a physiological lab at Palacký University Olomouc at an altitude of 4 500 meters above sea level. Fifteen people in total participated, but three respondents had to be excluded because they didn't complete testing in hypoxic conditions. The results presented are from a research file of twelve people - six men and six women. This ratio was chosen on purpose so the research file is not distorted by the different gender reaction times.

The results show that the reaction time slightly extends with S1 (yellow color), S2 (tone), and S7 (both with and without warning signal) tests. Only with the S4 test (red and yellow color), the reaction time shortens. The time of motor response shortens with all the tests with high values. Subjects ($n = 12$) exposed to normobaric hypoxia ($FiO_2 = 12\%$) had a mean SpO_2 value of 79 %. The S1 test showed significant differences between normoxia and hypoxia in motor response. The motor response was faster in hypoxia ($p = 0.01$) and the rate of motor response variance was lower in the normoxia condition ($p = 0.02$). No statistically significant differences between normoxic and hypoxic conditions in the variables studied. were not found for test S2, S4 and S7. Probably the greatest influence on the prolongation of reaction time in hypoxia is the SpO_2 measure. The results show a negative trend for test S1 ($r = -0.42$; $p = 0.18$); test S2 ($r = -$

0.61; $p = 0.03$); test S4 ($r = -0.67$; $p = 0.02$); test S7 ($r = -0.53$; $p = 0.08$). For future studies, it is very important to distinguish between hypoxia resistant and hypoxia sensitive subjects.

The thesis may acquaint everyone with the symptoms and aftermaths of hypoxia on reaction time. It should be used as a recommendation to tourists, skiers, and even inactive people who regularly visit or planning to visit an alpine environment. Thanks to the knowledge gained from this thesis, people may prevent injuries or even deaths.

10 REFERENČNÍ SEZNAM

Aquino Lemos, V. et al. (2012). High altitude exposure impairs sleep patterns, mood, and cognitive function. *Psychophysiology*, 49(9). doi: 10.1111/j.1469-8986.2012.01411.x

Bartholomew, C. J. et al. (1999). The Effect of moderate levels of simulated altitude on sustained cognitive performance. *The International Journal of Aviation Psychology*, 9(4), 351-359. doi: 10.1207/s15327108ijap0904_3

Beer, J. M., A., Shender, B. S., Chauvin, D., Dart, T. D., & Fischer, J. (2017). Cognitive deterioration in moderate and severe hypobaric hypoxia conditions. *Aerospace Medicine and Human Performance*, 88(7), 617-626. doi: 10.3357/AMHP.4709.2017

Binks, A. P., Cunningham, V. J., Adams, L., & Banzett, R. B. (2008). Gray matter blood flow change is unevenly distributed during moderate isocapnic hypoxia in humans. *Journal of Applied Physiology*, 104(1), 212-217. doi: 10.1152/jappphysiol.00069.2007.

Botek, M., Neuls, F., Klimešová I., & Vyhnánek, J. (2017). *Fyziologie pro tělovýchovné obory (vybrané kapitoly, část I.)* [Vysokoškolská skripta]. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, Fakulta tělesné kultury.

Bouak, F., Vartanian, O., Hofer, K., & Cheung, B. (2018). Acute mild hypoxic hypoxia effects on cognitive and simulated aircraft pilot performance. *Aerospace Medicine and Human Performance*, 89(6), 526-536. doi: 10.3357/AMHP.5022.2018

Cahoon, R. L. (1972). Simple decision making at high altitude. *Ergonomics*, 15(2), 157-163. doi: 10.1080/00140137208924420

Caldwell, H. G. et al. (2018). Severity-dependent influence of isocapnic hypoxia on reaction time is independent of neurovascular coupling. *Physiology & Behavior*, 188. doi: 10.1016/j.physbeh.2018.02.035

Čelikovský, S. et al. (1979). *Antropomotorika pro studující tělesnou výchovu*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství.

Davranche, K. et al. (2016). Cognitive functions and cerebral oxygenation changes during acute and prolonged hypoxic exposure. *Physiology & Behavior*, 164, 189-197. doi: 10.1016/j.physbeh.2016.06.001

Devita, M. et al. (2017). Cognitive and motor reaction times in obstructive sleep apnea syndrome: A study based on computerized measures. *Brain and Cognition*, 117, 26-32. doi: 10.1016/j.bandc.2017.07.002

Finnoff, J. T. (2008). Environmental effects on brain function. *Current Sports Medicine Reports*, 7(1), 28-32. doi: 10.1097/01.csmr.0000308669.99816.71

Firth, P. G. et al. (2008). Mortality on Mount Everest, 1921-2006: descriptive study. *British Medical Journal*, 337. doi: 10.1136/bmj.a2654

Federal Aviation Administration (2023). U.S. Civil Airmen Statistics. *Federal Aviation Administration*. Retrieved 17. 2. 2023 from the Word Wide Web: https://www.faa.gov/data_research/aviation_data_statistics/civil_airmen_statistics

Fowler, B., Prlc, H., & Brabant, M. (1994). Acute hypoxia fails to influence two aspects of short-term memory: Impactions for the source of cognitive deficits. *Aviation, Space, and Enviromental Medicine*, 65(7), 641-645.

Gao, Y. -X. et al. (2014). Psychological and cognitive impairment of long-term migrators to high altitudes and the relationship to psychological and biochemical changes. *European Journal of Neurology*, 22(10), 1363-1369. doi: 10.1111/ene.12507

Gautam, A., Tabassum R., & Katyal, A. (2018). Hypericum perforatum (ethanolic extract) ameliorates simulated hypobaric hypoxia induced oxidative stress and neuronal damage in brains of Balb/c mice. *Asian Journal of Medical Sciences*, 9(2), 1-8. doi: 10.3126/ajms.v9i2.18929

Greene, R. (1957). Mental performance in chronic anoxia. *British Medical Journal*, 22(10) 1028-1031. doi: 10.1136/bmj.1.5026.1028

Griva, K. et al. (2017). Caudwell Xtreme Everest: A prospective study of the effects of enviromental hypoxia on cognitive functioning. *PloS One*, 12(3), 1-15. doi: 10.1371/journal.pone.0174277

Holt, T. et al. (2019). General aviation hypoxia and reporting statistics. *Journal of Aviation Technology and Engineering*, 8(2), 2-7. doi: 10.7771/2159-6670.1176

Honigman, B. et al. (1993). Acute mountain sickness in a general tourist population at moderate altitudes. *Annals of internal medicine*, 118(8), 587-592. doi: 10.7326/003-4819-118-8-199304150-00003

Hornbein, T. F. (2001). The high-altitude brain. *The Journal of Experimental Biology*, 204, 3129-3132.

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(4), 325-332. doi: 10.1089/ham.2009.1060

Kern, H., Mehl, Ch., Nolz, H., Peter, M., & Wintersperger, R. (1999). *Přehled psychologie*. Praha: Portál.

Kida, M., & Imai, A. (1993). Cognitive performance and event-related brain potentials under simulated high altitudes. *Journal of Applied Physiology*, 74(4), 1735-1741. doi: 10.1152/jappl.1993.74.4.1735

Klucká, J., & Volfová, P. (2016). *Kognitivní trénink v praxi* (2nd ed.). Praha: Grada.

- Kramer, A. F., Coyne, J. T., & Strayer, D. L. (1993). Cognitive function at high altitude. *Human factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 35(2), 329-344. doi: 10.1177/001872089303500208
- Ledwith, F. (1970). The effects of hypoxia on choice reaction time and movement time. *Ergonomics*, 13(4), 465-482. doi: 10.1080/00140137008931161
- Legg, S. et al. (2014). Effect of Mild hypoxia on working memory, complex logical reasoning, and risk judgment. *The International Journal of Aviation Psychology*, 24(2), 126-140. doi: 10.1080/10508414.2014.892751
- Limmer, M., & Platen, P. (2018). The influence of hypoxia and prolonged exercise on attentional performance at high and extreme altitudes: A pilot study. *PloS One*, 13(10), 1-18. doi: 10.1371/journal.pone.0205285
- Melechovský, D. (2023). Pulzní oxymetr. *Letecký lékař*. Retrieved 19. 5. 2023 from World Wide Web: <https://www.leteckylekar.cz/kapitoly-z-letecke-mediciny/72-pulzni-oxymetr.html>
- McFarland, R. A. (1937). Psycho-physiological studies at high altitude in the Andes. III. Mental and psycho-somatic responses during gradual adaptation. *Journal of Comparative Psychology*, 24(1), 147-188. doi: 10.1037/h0063019
- Nečas, E. (2018). Hypoxie. In M. Vokurka et al., *Patofyziologie pro nelékařské směry* (pp. 83-86). Praha: Univerzita Karlova.
- Neuls, F., Krejčí, J., Jakubec, A., Botek, M., & Valenta, M. (2020). Vagal threshold determination during incremental stepwise exercise in normoxia and normobaric hypoxia, 17(20), 7579. doi: 10.3390/ijerph17207579
- Oliver, S. J. et al. (2012). Physiological and psychological illness symptoms at high altitude and their relationship with acute mountain sickness: A prospective cohort study. *Journal of Travel Medicine*, 19(4), 210-219. doi: 10.1111/j.1708-8305.2012.00609.x
- Udayabanu, M., Kumaran, D., & Katyal, A. (2012). Free chelatable zinc modulates the cholinergic function during hypobaric hypoxia-induced neuronal damage: an in vivo study. *Neuroscience*, 202, 434-445. doi: 10.1016/j.neuroscience.2011.11.022
- Petrassi, F. A., Hodkinson, P. D., Walters, P. L., & Gaydos, S. J. (2012). Hypoxic hypoxia at moderate altitudes: review of state of the science. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 83(10), 975-984. doi: 10.3357/ase.3315.2012
- Petros, T. V., Beckwith, B. E., & Anderson, M. (1990). Individual differences in the effects of time of day and passage difficulty on prose memory in adults. *British Journal of Psychology*, 81(1), 63-72. doi: 10.1111/j.2044-8295.1990.tb02346.x

- Petros, T. V., Karbel, N., Beckwith, B. E., Sacks, G., & Sarafolean, M. (1985). The effects of alcohol on prose memory. *Physiology & Behaviour*, 35(1), 43-46. doi: 10.1016/0031-9384(85)90169-6
- Plháková, A. (2006). *Dějiny psychologie*. Praha: Grada.
- Pramsohler, S. et al. (2017). Normobaric hypoxia overnight impairs cognitive reaction time. *BMC Neuroscience*, 18(1). doi: 10.1186/s12868-017-0362-3
- Roach, E. B. et al. (2014). AltitudeOmics: Decreased reaction time after high altitude cognitive testing is a sensitive metric of hypoxic impairment. *Neuroreport*, 25(11), 814-818. doi: 10.1097/wnr.000000000000169
- Ryn, Z. (1971). Psychopathology in alpinism. *Acta Medica Polona*, 12(3), 453-467.
- Říčan, P. (2005). *Psychologie* [Příručka pro studenty]. Praha: Portál.
- Prieler, J. (1996). *Vienna test systém. Manuál Reakční test*. Austria: Mödling
- Shukitt-Hale, B. et al. (1996). Morphological alteration in the hippocampus following hypobaric hypoxia. *Human & Experimental Toxicology*, 15(4), 312-319. doi: 10.1177/096032719601500407
- Sternberg, R. J. (2002). *Kognitivní psychologie*. Praha: Portál.
- Straus, J. (2010). Prodloužení reakční doby v závislosti na hladině alkoholu. *Ministerstvo vnitra České republiky*. Retrieved 18. 2. 2023 from the World Wide Web: <https://www.mvcr.cz/clanek/prodlouzeni-reakcni-doby-v-zavislosti-na-hladine-alkoholu.aspx>
- Šulc, J. (1980). *Letecká fyziologie*. Praha: Naše vojsko.
- Šulc, J. (2011). *Lidská výkonnost (040 00)* [Učební texty pro teoretickou přípravu dopravních pilotů dle předpisu JAR-FCL 1]. Brno: Akademické nakladatelství CERM.
- Teichner, W. H. (1954). Recent studies of simple reaction time. *Psychological Bulletin*, 51(2), 128-149. doi: 10.1037/h0060900
- 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
- Tune, G. S. (1964). Psychological Effects of hypoxia: review of certain literature from the period 1950 to 1963. *Perceptual and Motor Skills*, 19(2), 551-562. doi: 10.2466/pms.1964.19.2.551
- Turner, C. E., Barker-Collo, S. L., Connell, C. J. W., & Gant, N. (2015). Acute hypoxic gas breathing severely impairs cognition and task Learning in humans. *Physiology & Behavior*, 142, 104-110. doi: 10.1016/j.physbeh.2015.02.006
- Van Liere, E. J., & Stickney, J. C. (1963). *Hypoxia*. Chicago: University of Chicago Press.

Virués-Ortega, J., Buéla-Casal, G., Garrido, E., & Alcázar, B. (2004). Neuropsychological functioning associated with high-altitude exposure. *Neuropsychology Review*, *14*(4), 197-224. doi: 10.1007/s11065-004-8159-4

West, J. B. (1986). Do climbs to extreme altitude cause brain damage? *The Lancet*, *2*(8503), 387-388. doi: 10.1016/s0140-6736(86)90066-8

Williams, T. B. et al. (2019). Cognitive performance is associated with cerebral oxygenation and peripheral oxygen saturation, but not plasma catecholamines, during graded normobaric hypoxia. *Experimental Physiology*, *104* (9), 1384-1397. doi: 10.1113/EP087647

Wilson, M. H., Newman, S., & Imray, C. H. (2009). The cerebral effect of ascent to high altitudes. *The Lancet Neurology*, *8*(2), 175-191. doi: 10.1016/s1474-4422(09)70014-6

Yan, X. (2014). Cognitive impairments at high altitudes and adaptation. *High Altitude Medicine & Biology*, *15*(2), 141-145. doi: 10.1089/ham.2014.1009

11 PŘÍLOHY

11.1 Informovaný souhlas

Informovaný souhlas

Název studie (projektu): Vliv normobarické hypoxie na reakční dobu: Pilotní studie s využitím Vienna Testů

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.
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: