



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní
Ústav letecké dopravy

Rozpoznání hypoxie na základě subjektivního hodnocení
Hypoxia Recognition Based on Subjective Evaluation

Bakalářská práce

Studijní program: Profesionální pilot

Vedoucí práce: Ing. Lenka Hanáková
MUDr. Boris Oniščenko

Daniel Hodík

Praha 2022



K621 **Ústav letecké dopravy**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Daniel Hošík

Studijní program (obor/specializace) studenta:

bakalářský – PIL – Profesionální pilot

Název tématu (česky): **Rozpoznání hypoxie na základě subjektivního hodnocení**

Název tématu (anglicky): Hypoxia Recognition Based on Subjective Evaluation

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cílem práce je vyhodnotit subjektivní vnímání hypoxie u skupiny probandů s využitím vhodných subjektivních metod.
- Vypracujte analýzu současného stavu v řešení dané problematiky s primárním zaměřením na subjektivní identifikace hypoxického stavu.
- Navrhněte metodiku hodnocení (dotazníkové šetření, případně jiné metody) pro identifikaci nástupu hypoxie se současným návrhem experimentu.
- Vykonejte experimentální měření na reprezentativním vzorku subjektů.
- Výsledky vyhodnoťte vhodnými statistickými metodami a diskutujte je v kontextu cíle práce.
- Stanovte závěry práce.



- Rozsah grafických prací: Dle pokynů vedoucích bakalářské práce.
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Cable, G. G., & Westerman, R. (2010). Hypoxia recognition training in civilian aviation: A neglected area of safety.
Smith, A. M. (2008). Hypoxia symptoms in military aircrew: long-term recall vs. acute experience in training.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Lenka Hanáková
MUDr. Boris Oniščenko

Datum zadání bakalářské práce:

9. října 2020

(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce:

8. srpna 2022

- a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

doc. Ing. Jakub Kraus, Ph.D.
vedoucí
Ústavu letecké dopravy



doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Daniel Hodík
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 2. prosince 2021



Abstrakt

Současný stav oblasti rozpoznání hypoxie není dostatečně rozsáhlý ve sféře civilního letectví, a proto tato práce zkoumá efekty hypoxie na subjektivní hodnocení, subjektivní vnímání a identifikaci hypoxického stavu a symptomů. Hypoxie byla navozena u 23 subjektů, které byly podrobeny kognitivní námaze, podávaly průběžné sebehodnocení a na konec vyplnily dotazník symptomů. Správně identifikovat hypoxii bylo schopno 13 (56,5 %) účastníků. Nejvýznamnějšími symptomy účastníků byly lehkost hlavy, závrať a dušnost. Samotný výskyt symptomů nebyl nutně ukazatelem hypoxického stavu, avšak intenzity 7 nejčastějších ano. Průběžné hodnocení neslo vliv hypoxie pouze v hodnocení celkového stavu a dýchání, nikoliv v hodnocení soustředění.

Klíčová slova:

cvičení hypoxie, měření výkonnosti, rozpoznání hypoxie, subjektivní hodnocení, symptomy



Abstract

The current state of the hypoxia recognition field has not been studied extensively enough in the context of civil aviation. Therefore, this thesis investigates signs and symptoms, subjective cognition, and recognition of hypoxia and its effects on subjective evaluation. Hypoxia was induced in 23 subjects who were subjected to a cognitive exercise, administered continuous self-assessment, and finished by answering a signs and symptoms questionnaire. Thirteen (56.5 %) participants were able to identify the hypoxic state. The most significant symptoms registered were light-headedness, dizziness, and air hunger. The appearance of symptoms alone was not deemed an indicator of a hypoxic state, the intensity of the 7 most frequent ones was. The continuous self-assessment was influenced by hypoxia only in the categories of general state and respiration, not in the concentration evaluation.

Key words:

hypoxia recognition, hypoxia training, performance assessment, signs and symptoms, subjective evaluation



Poděkování

Tímto bych rád poděkoval Ing. Lence Hanákové za skvělé vedení a odborný vhled do problematiky této práce, taktéž doc. Ing. Bc. Vladimíru Sochovi Ph.D. za poskytnutí tématu práce a prvotnímu vedení směru jeho zpracování, dále MUDr. Borisi Oniščenkovi a Ústavu leteckého zdravotnictví za poskytnutí pomoci, prostor a prostředků pro vykonání praktické části.

V neposlední řadě děkuji rodině a přátelům za podporu a všem účastníkům experimentu.



Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem Rozpoznání hypoxie na základě subjektivního hodnocení vypracoval samostatně a použil k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k bakalářské práci.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 8. srpna 2022

Daniel Hodík



Obsah

Úvod.....	11
1 Současný stav.....	12
1.1 Systematická rešerše v oblasti rozpoznání hypoxie za využití subjektivních metod.....	13
1.2 Možnosti navození hypoxického stavu.....	17
1.3 Limitace v souvislostech s civilním letectvím.....	18
1.4 Interindividuální vliv.....	18
2 Metody.....	20
2.1 Metodika měření.....	21
2.1.1 Metody kognitivní námahy.....	22
2.2 Získání a zpracování dat.....	25
2.2.1 Průběžné a celkové subjektivní hodnocení.....	25
2.2.2 Prezentace subjektu.....	27
2.2.3 Statistická analýza.....	27
3 Výsledky.....	29
3.1 Intenzity symptomů a jejich změny.....	30
3.2 Průběžná ohlášení stavů.....	34
3.3 Ohlášení detekce hypoxického stavu.....	35
3.4 Objektivní doplňková data.....	36
4 Diskuse.....	40
Závěr.....	45
Seznam použité literatury.....	47



Seznam grafů a obrázků

Obrázek 1: Diagram PRISMA.....	13
Obrázek 2: Zařízení Hypoxico HYP123.....	21
Obrázek 3: Stroopův test v testovacím programu.....	23
Obrázek 4: Mentální rotace v testovacím programu.....	24
Obrázek 5: Dotazník 15 nejčastějších symptomů.....	26
Graf 1: Průběh testování v obou kolech.....	22
Graf 2: Sloupcový graf výskytu symptomů.....	29
Graf 3: Četnost ohlášených intenzit v kontrolním kole.....	31
Graf 4: Četnost ohlášených intenzit v hypoxickém kole.....	31
Graf 5: Suma změn při navození hypoxie.....	33
Graf 6: Četnosti vzniku a zániku symptomů při navození hypoxie.....	33
Graf 7: Průběh sebehodnocení v kategoriích.....	34
Graf 8: Krabicové grafy časů detekce hypoxie.....	36
Graf 9: Chybovost ve Stroopově testu.....	36
Graf 10: Čas řešení Stroopova testu.....	37
Graf 11: Chybovost v testu mentální rotace.....	37
Graf 12: Čas řešení v testu mentální rotace.....	37
Graf 13: Průběh srdeční frekvence v hypoxii.....	38
Graf 14: Průběh nasycení krve kyslíkem v hypoxii.....	38
Graf 15: Průběh nasycení krve kyslíkem v kontrolním kole.....	39



Seznam tabulek

Tabulka 1: Četnost výskytu a testování symptomů	30
Tabulka 2: Wilcoxon signed rank test intenzit	32
Tabulka 3: Výsledky Wilcoxon signed rank testu sebehodnocení	35



Seznam symbolů a zkratek

H_0	Nulová hypotéza
\tilde{x}	Medián
χ^2	Chí kvadrát
ANOVA	Analýza rozptylu (Analysis of Variance)
HR	Tepová frekvence (Heart Rate)
LPC	Hypobarická komora (Low Pressure Chamber)
MR	Mentální rotace (Mental Rotation)
ROBD	Zařízení pro dýchání vzduchu s redukováným obsahem kyslíku
RPE	Míra vynaloženého úsilí (Rated Perceived Exertion)
SpO2	Periferní kapilární okysličení
SR	Wilcoxonův párový test (Wilcoxon Signed Rank test)
ST	Stroopův test (Stroop Task)
STD	Směrodatná odchylka (Standard Deviation)
TUC	Doba užitečného vědomí (Time of Useful Consciousness)
ÚLZ	Ústav leteckého zdravotnictví
VAS	Vizuální analogová škála (Visual Analog Scale)



Úvod

Zemská atmosféra je pro leteckou aktivitu nezanedbatelnou částí a doručuje posádkám vysoké počty proměnných, které ovlivňují průběh letu. Jednou z nejdůležitějších je atmosférický tlak, který se výrazně mění s rostoucí nadmořskou výškou. Z Daltonova zákona, který stanovuje: „tlak směsi plynů je roven součtu jejich parciálních tlaků,“ vyplývá, že s rostoucími výškami se letadla a jejich posádky setkávají s menším dostupným množstvím kyslíku – látky, s jejíž nedostatkem není lidský organismus schopen fungovat. Existuje nespočet případů leteckých nehod, ve kterých hrála klíčovou roli ať už mírná, nebo silná hypoxie. Tyto nehody se původem rozprostírají z obchodní a linkové dopravy, přes armádní až do všeobecného letectví, přičemž ve více než 85 % případech se jednalo o situaci, kdy posádka rutinně používá zařízení dodávající kyslík.

Obecně je známo, že vážné nebezpečí hypoxie, spočívá v rozmanitosti a interindividuální odlišnosti příznaků, jakožto i v měnící se rychlosti a posloupnosti nástupu v souvislosti s individuální tolerancí nízké koncentrace kyslíku v krvi. Mezi nejčastěji zaznamenané příznaky hypoxie patří: degradace psychomotorických a kognitivních funkcí (jako snížená schopnost soustředění, dezorientace, zmatek, krátkodobá ztráta paměti, chvění a inkoordinace), částečná nebo úplná ztráta vizuálního vjemu, psychologické stavy (euforie, úzkost), dušnost, závratě, nevolnost, točení a bolest hlavy.

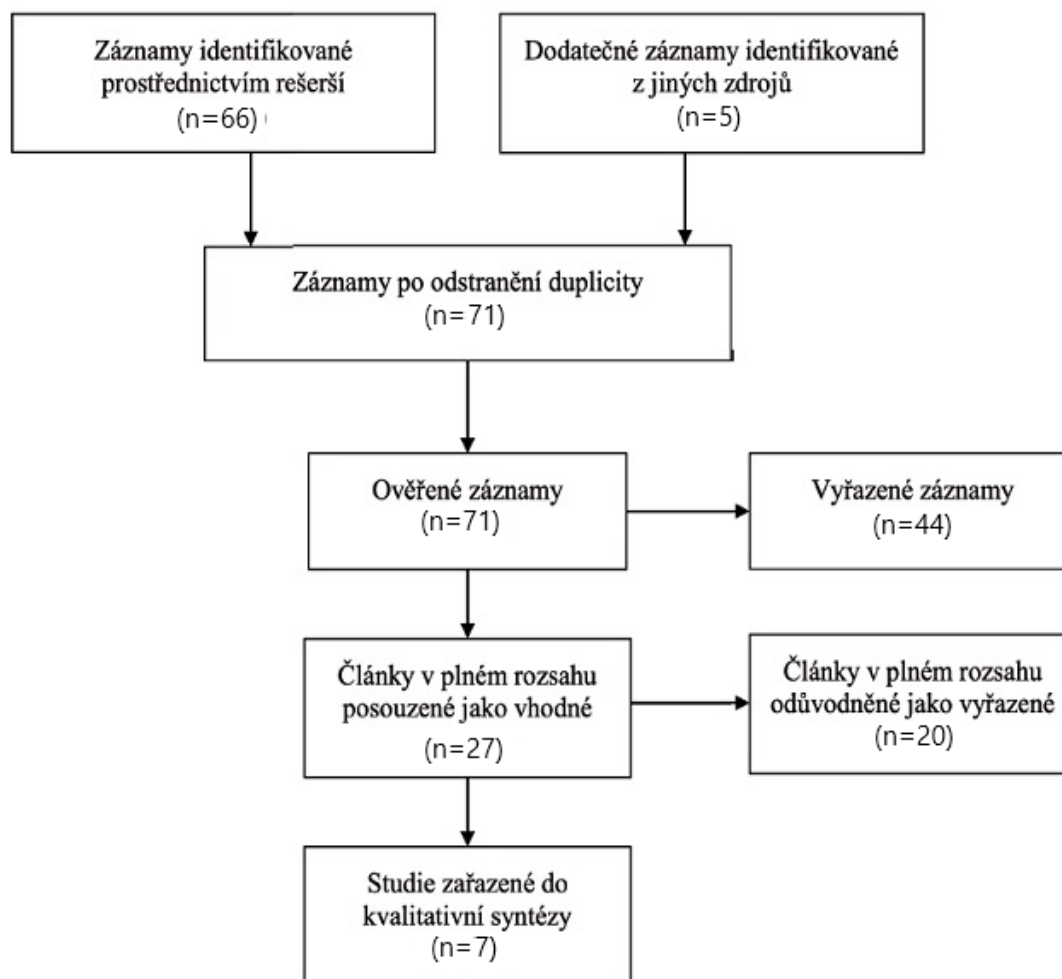
A základním kamenem snižování pravděpodobnosti leteckých nehod vlivem hypoxie jsou cvičení rozpoznání hypoxie, která zakládají na uvedení pilota do stavu hypoxie a následné pozorování a rozeznání svého osobního vzoru těchto symptomů. Tato problematika byla nejčastěji zkoumána z hlediska armádního letectví. Proto si tato práce klade za cíl zkoumat subjektivní vnímání a identifikaci hypoxického stavu, stanovit nejčastější symptomy a jejich variabilitu mezi civilním personálem a stanovit vliv hypoxického stavu na subjektivní hodnocení.



1 Současný stav

Aspekty obklopující subjektivní hodnocení a identifikaci hypoxického stavu byly zkoumány pouze částečně a skoro vždy byly subjektivní metody využívány jako sekundární. Následný přehled založený na principech systematické analýzy je určený ke vnesení kontextu do tématu této práce a stanovení zběžného stavu akademických poznatků týkajících se problematiky rozpoznání stavu hypoxie. Při selekci článků a studií byla brána v potaz míra jejich dostupnosti a akademické validity. Mimo tato kritéria bylo nutné, aby se primárně zabývaly tématem rozpoznání a vnímání vlivu hypoxie na lidský organismus a kognitivní funkce. To se ukázalo jako nelehký úkol a byly nakonec posuzovány i práce, zaměřující se na dané téma marginálně. Databáze použity pro akvizici dat a článků jsou SCOPUS a Google Scholar, do kterých byl pro vyhledávání zadán filtr s frází „hypoxia recognition“, který musel být později doplněn o „aviation“ kvůli nespočtu, pro tuto práci, irelevantních výsledků z jiných odvětví.

Původní výsledek vyhledávání obsahoval 71 výsledků. Ve fázi posouzení primárně podle abstraktu z nich bylo 39 vyloučeno, kvůli zaměření na jinou sféru a zabývání se jiným tématem, nežli udávají kritéria (početné množství se vztahovalo k dekompresní nemoci, pouze kvůli přirovnání příznaků k těm hypoxického stavu). Dalších 20 se tématem rozpoznání hypoxie zabývaly výhradně okrajově, nebo v kontextu irelevantně vztaženém k této práci (nejčastěji vlivy dlouhodobého pobytu a aklimatizace na vysokou nadmořskou výšku, obstrukční spánkové apnoe a jiných odborných, převážně medicínských zaměření). Nadále došlo k vyloučení 5 výsledků, jelikož se jednalo pouze o jednoduché články nebo se nepodařilo dohledat plný dokument. V této práci je prezentováno 7 výsledků, viz obrázek 1. Článků přesně vyhovujících zadanému tématu nebylo nalezeno mnoho, proto jsou do rozboru zahrnuty ty, které se co nejvíce tematikou přibližují, či ji jinak pozitivně obohacují.



Obrázek 1: Diagram PRISMA

1.1 Systematická rešerše v oblasti rozpoznání hypoxie za využití subjektivních metod

Studie z roku 2018 [1] zkoumala fyziologické efekty, vnímání symptomů a výkonnost 16 vojenských pilotů (členů Kanadského královského letectva) za vlivu mírného hypoxického stavu v kombinaci s fyzickou aktivitou. Účastníci byli vystaveni simulovaným nadmořským výškám od 8 000 do 14 000 stop (2438–4267 m) a třem různým stupňům fyzického vyčerpání v hypobarické komoře. Byla testována jejich prostorová orientace, pozornost, krátkodobá paměť a měřeny jejich fyziologické hodnoty (oxymetrie, tepová a dechová frekvence). Během experimentu uváděli subjektivní hodnocení výskytu symptomů a jejich vážnosti (dotazník obsahující 5 kategorií symptomů a vážnost 0–3), nálady (Positive and Negative Affect Schedule) [2] a MFI (Multidimensional Fatigue Inventory) – dotazník určující 5 typových faktorů únavy [3]. Výsledky udávají nejvíce sníženou výkonnost a přesnost při porovnání výsledků



mezi simulovanými nadmořskými výškami 0–8 tis stop oproti stupňovanému porovnáním mezi 8 tis, 10 tis, 12 tis a 14 tis stop. Četnost vnímaných symptomů, degradace nálady a míra únavy rostou s rostoucí simulovanou výškou. Symptomy byly častěji vnímány po skončení fyzické aktivity nežli před ní. Pro četnost oznámených symptomů byla nalezena negativní korelace s úspěšností identifikace cílů ($p = 0,009$) a pozitivní korelace s mírou únavy ($p = 0,015$). Pozitivní nálada byla korelována s úspěšností identifikace ($p = 0,046$) a se snižující se únavou ($p < 0,001$). Korelační koeficienty v této práci nebyly uvedeny a jedná se tak o jednu z jejích limitací. Dále ji limituje absence kontrolních subjektivních hodnot ve výšce 0 stop a nízká velikost výzkumného vzorku.

Bouak et al. si kladli za cíl zhodnotit efektivitu cvičení pro rozpoznání hypoxického stavu na armádním trenažéru při simulované taktické misi. Studie se účastnily 2 letky Finského letectva, celkem 88 pilotů, kteří podstoupili trénink rozpoznání hypoxie minimálně dvakrát. Pro výzkum bylo využito ROBD (Reduced Oxygen Breathing Device) se 3 směsmi 8 %, 7 % a 6 % (cca odpovídající podmínkám v rozsahu nadmořských výšek 20–26 tis stop). Měřenými parametry byly saturace krve O_2 a čas potřebný k rozpoznání hypoxického stavu. Trénink probíhal během simulované mise a rozpoznávání cílů ve dvou kolech, kdy při prvním rozpoznání symptomů byly piloty provedeny nouzové úkony. V porovnání s prvním kolem, při druhém byl čas rozpoznání hypoxického stavu zkrácen v průměru o 18 s ($p = 0,002$) při dýchání 8 % O_2 , o 20 s ($p = 0,014$) při dýchání 7 % O_2 a o 10 s ($p = 0,002$) při 6 % O_2 přičemž byla zpozorována mezi subjekty výrazná variace času rozpoznání (rozsah 52–96 s). Jako největšími limitacemi této studie jsou zejména vědomost účastníků o podstatě měření a nízká míra stresu a zatížení pilotů [4].

Následující studie [5] se inspirovala cvičení z oblasti letectví a zkoumá vliv předchozích hypoxických zkušeností na schopnost rozeznat hypoxický stav a vztahuje je k oblasti potápěčů využívající přístroje s uzavřeným okruhem. Zkoumáno bylo 25 subjektů z potápěčské komunity ve dvou kolech, která byla časově oddělena pěti týdny, a byly porovnávány jejich výsledky v odolnosti vůči nástupu hypoxie (5,5 % O_2). Subjekty po dobu měření prováděly test rozpoznávání a následného verbalizování hracích karet. Měřen byl čas TUC (Time of Useful Consciousness – v této práci definován od podání hypoxické směsi po 3 následné chyby



v testu), fyziologické parametry účastníků, celkový počet chyb a následně vybavené chyby se symptomy v dotazníku po skončení experimentu. Výsledky ukazují na průměrný TUC. Vyhodnocení nenalezlo žádné statisticky významné rozdíly jak v časech TUC, tak v symptomech a vybavených si chyb ($p > 0,05$). Nízká míra uvědomělých chyb naznačuje neschopnost adekvátně určit míru závažnosti zhoršení schopnosti rozeznat hypoxický stav, autoři tak vnímají benefity tréninku pouze ve zlepšené schopnosti rozeznání symptomů. Limitující pro tuto práci je zejména pouze jedna předchozí zkušenost účastníků s hypoxickým stavem a striktní zaměření na potápěčskou komunitu.

Naopak ve studii z roku 2018 [6] bylo analyzováno 22 pilotů s cílem sledovat výkonnost a psychofyziologickou odezvu na hypoxický stav různých posádek (stíhací piloti, dopravní piloti, piloti vrtulníků a ostatní letové posádky) Španělské armády. Měření probíhalo v simulovaných výškách 0 m, 5 000 m, a 7 500 m, parametry měření mimo jiné obsahovaly: subjektivně vnímaný stress (měřený na škále 0–100), míru vynaloženého úsilí (RPE – Borgova škála) [7], kortikální vzruchy, sílu úchopu. Výsledky poukazují jak na předpokládané závěry (zvýšený stres, námaha a tep), tak i na kupříkladu vyšší vnímaný stres u ostatní transportní letové posádky mimo pilotů. Mezi různými posádkami se dále výrazně lišily výsledky testů kognitivní výkonnosti. Míra kortikálních vzruchů a síla úchopu zůstaly neovlivněny hypoxickým stavem. Limitacemi jsou zejména malé vzorky jednotlivých posádek a obtížnost posuzování výsledků kvůli skutečnosti, že se jedná o elitní jednotky v armádní demografii.

Woodrow et al. dále zkoumali souvislosti mezi symptomy, které si armádní piloti identifikují při experimentu s těmi, které zažili při posledním hypoxickém cvičení před 5 lety. Data byla shromážděna od 1123 příslušníků Letectva spojených států při opakovacím hypoxickém tréninku pomocí dotazníků obsahujících 18 symptomů a míru závažnosti (0–4). Trénink spočíval ve 4h teoretické části a následném cvičení v hypobarické komoře simulující nadmořskou výšku 25 000 stop (7 620 m) trvajícím 5–10 min. Prvně subjekty uvedly symptomy, které si pamatovali z posledního cvičení a poté symptomy, které se vyskytly při aktuálním sezení. Nejčastější symptomy obsahovaly točení hlavy, závrať, které byly pozorovány častěji než při minulém cvičení. Naopak počet zmatenosti, mravenčení a zrakových symptomů ohlášených se od bývalého cvičení snížil. Výsledky poukazují na zdánlivou nespolehlivost



lidské paměti na prodělané symptomy ($p = 0,000$; hodnota χ^2 neuvedena), avšak limitující může být kladení vyššího důrazu teoretické části na některé typy symptomů, nebo frazeologie/definice některých symptomů. Autoři vnímají výsledky práce spíše pro její heuristickou hodnotu. [8]

Následující práce z Leiden University Medical Center [9] zkoumala citlivost lidské výkonnosti (použitím neurofyziologických a kognitivních testů) na různé úrovně saturace krve kyslíkem (97, 90 a 80 % SpO_2 při použití ROBD) hypoxie v kontextu modelů dysfunkcí mozku. Výzkum dokončilo 12 dobrovolníků, kteří byli podrobena variaci testů pro centrální nervovou soustavu (testována paměť, kognitivní výkonnost, reakční doba) a neurofyziologické testy (oční pohyby a mozková aktivita). Subjektivní pojetí situace bylo shromážděno v podobě VAS (Visual Analog Scale) pro pozornost, náladu a pocit klidu. Hlavní vyzorované, nepříznivé účinky byly mírná ospalost a bolest hlavy. Také byla vyzorována jak zhoršení, tak zlepšení některých objektivně měřených parametrů pro různé simulované úrovně hypoxie v porovnání s kontrolním měřením, zatímco subjektivně ohlášené parametry nezaznamenaly žádné výrazné změny. Některá zlepšení výkonnosti při $SpO_2 = 90$ % mohou být důsledkem adaptace na mírný hypoxický stav, či nadměrné kompenzace na vnímaný úpadek výkonu. Limitace této práce jsou malý výzkumný vzorek ($n = 12$) a relativně slabá intenzita hypoxického stavu pro získání jasnějších výsledků.

Poslední studie [10] byla zahrnuta pro znázornění individuality vlivu hypoxického stavu a aklimatizace mezi etnickými rozdíly. Nezahrnuje nijak zkoumané subjektivně shromážděná data od účastníků, ale její autoři zkoumali vliv dlouhodobého pobytu příslušníků indické a kyrgyzské armády ve vysoké nadmořské výšce. Výzkumu se účastnilo 20 vojáků z každé ozbrojené složky, kteří pobývali ve výšce 4 111 m. n. m. po dobu 21 dnů. Testována u nich byly párové přidružené učení, paměť rozpoznávání vzorů, prostorové vnímání, prostorová pracovní paměť a reakční časy. Výsledky ukazují výrazný rozdíl ve způsobu aklimatizace u kognitivních výkonností mezi kyrgyzskými a indickými vojáky, nejspíše způsobené etnogenetickými rozdíly mezi příslušníky. Vzorek indických vojáků prokázal prvotní pokles následovaný postupným zlepšením s aklimatizací na chronickou hypobarickou hypoxii. Kdežto paměť, reakční čas a koncentrace kyrgyzských vojáků byly dlouhodobě negativně ovlivněny



i po navrácení do normobarických podmínek. Limitace této práce představují výrazně specifický vzorek příslušníků armád a absence subjektivního hodnocení pro vnesení kontextu do vlivu dlouhodobého vystavení hypoxii na psychologii účastníků.

Několik dalších studií nezaměřujících se na subjektivní hodnocení stanovují negativní efekty na různé druhy paměti společně se schopností vybavit si například chyby provedené v hypoxickém stavu a těsně před ním či plné uvědomění závažnosti situace [9,11,12]. Dále se značná část soustředí na efekty dlouhodobého pobytu ve vysokých oblastech způsobující chronickou hypoxii a aklimatizaci na tyto podmínky. Míra a rychlost aklimatizace byla shledána také jako variabilní v závislosti na předchozích zkušenostech [10,13]. Zajímavým poznatkem je, že při mírnější hypoxii byl vliv vystavení hypoxie minimalizován při středně náročné fyzické námaze [1].

1.2 Možnosti navození hypoxického stavu

Většina prací v tomto odvětví přímo či nepřímo navazuje na cvičení rozpoznání hypoxického stavu. Pro ty je aktuálně využíváno dvou technických metod navození tohoto stavu: hypobarické komory (LPC) a zařízení pro dýchání vzduchu s redukováným obsahem kyslíku (ROBD). Zatímco princip hypobarické komory spočívá v uzavřeném prostředí, ve kterém je snížen tlak, aby odpovídal tomu v kýžené tlakové výšce, ROBD využívá buď principu redukování množství molekul O_2 nebo předem připravenou směs plynů s nízkým obsahem kyslíku, obě podávány za atmosférického tlaku místa aplikace. Obsahy kyslíku se pro bezpečné experimenty pohybují od cca 6 % výše v závislosti na maximální požadované době vystavení a potřebné simulované výšce. ROBD tak s sebou nemusí nést všechny aspekty pobytu lidského organismu ve vysoké nadmořské výšce a jedná se tak o méně přesnou simulaci, ale vyniká oproti tomu v dostupnosti, nenákladné údržbě, rozměrech a přenosnosti přístroje a také bezpečnosti [13]. Lze tak například posadit pilota do leteckého simulátoru nesituovaném ve speciální komoře a simulovat nízké množství vdechovaného kyslíku za provádění letových činností. I přesto však bylo potvrzeno, že výstupní koncentrace směsí ROBD odpovídají těm v simulovaných letových výškách s přesností 2 % [14]. Jedinou závažnou proměnou zůstává variace objemového průtoku přístrojů, jelikož s jeho nižšími hodnotami je spojován vyšší výskyt symptomu dušnosti ($Pearson \chi^2(1) = 5.45, p < 0.05$)



[15]. Využití ROBD navíc neneso riziko dekompresní nemoci, které je při použití LPC v rozmezích cca 0,089 % až 1,38 % [16,17].

1.3 Limitace v souvislostech s civilním letectvím

Oba typy navození hypoxického stavu a problematika rozpoznání vlivu hypoxie byla nejčastěji zkoumána z hlediska armádního letectví, kde se nachází i většina implementovaných výsledků jiných prací (jako nové metody včasného rozpoznání a varování proti hypoxii založené na různých fyziologických, či psychologických parametrech měřených v reálném čase). Účinnost těchto cvičení byla vnímána pozitivně a byly zaznamenány zlepšení v pilotních reakcích na rozpoznání hypoxického stavu [4], kdy se jednalo o relativně kratší interval mezi cvičeními (průměrně 2,4 let) a efekt byl shledán sníženým při delších intervalech [8].

V důsledku cvičení se množství pilotů, kteří dokázali rozpoznat symptomy hypoxie bez předchozího absolvovaného tréninku pohybuje okolo 40 %. Kdežto při absolvování výcviku toho byla schopna valná většina (až 94 %), když byl nástup hypoxie očekáván [4,18]. Armádní letecké složky mají většinou předepsaný časový interval cvičení rozpoznání hypoxie, kupříkladu NATO standardizovalo maximální interval 5 let pro opakování těchto tréninků, kvůli s časem upadající schopnosti pilotů efektivně a včas rozeznat svůj hypoxický stav [4,8,13,18]. Mimo armádní letectví neexistuje žádný požadavek o cvičení rozpoznání hypoxie. O civilních cvičeních pro piloty existuje minimální množství dat, jelikož aktuálně v osnovách není zařazen praktický hypoxický výcvik. Některé zkoumané práce se domnívají, že existuje vysoký možný přínos implementace tréninku rozpoznání hypoxického stavu pro civilní posádky letadel [19].

1.4 Interindividuální vliv

Jelikož tréninky spočívají v opakovaném vystavení hypoxii a familiarizaci pilotů s příznaky, oběma těmito tématy se zabývalo značné množství prací. Výsledky se skoro jednoznačně shodují na zvýšené míře stresu, zvýšené závažnosti a výskytu symptomů a negativním dopadu na výkonnost při nástupu hypoxie [1,5,8,9,10,13,15]. Avšak magnituda těchto změn je variabilní mezi studii. Individualita nástupu a projevu příznaků hypoxie je obecně známa a projevila se u studií zkoumající příznaky a symptomy, které se výrazně liší mezi pracemi i mezi jednotlivci [1,5,8,10,18]. I míra efektu cvičení či bývalé zkušenosti s hypoxickým stavem se ukázaly být závislé na etnicko-genetické rozmanitosti subjektů a různorodosti



podstoupených tréninků či kariérních zaměření [5,6,10] – ať už se jedná o rozdílné role posádek [5], studie zaměřená na komunitu jinou, než leteckou [6] nebo 2 etnicky rozdílné armády [10].

Závěrem tohoto shrnutí tedy vyplývá, že hypoxický stav a jeho důsledky mají nežádoucí vliv na primární hybatele bezpečnosti leteckého provozu: výkonnost a další negativní stavy ovlivňující fungování lidského činitele. Kroky podstupované k eliminaci těchto rizik a implementace jsou výrazně omezené ve sféře civilního letectví a většina výzkumů se také soustředí mimo. Dále je třeba hledět na skutečnost, že hlubší porozumění subjektivnímu vnímání hypoxického stavu může přinést vzhled do jeho včasné identifikace ať už křížovou kontrolou provedenou posádkou anebo zvýšenou znalostí sebe sama, popřípadě implementací praktického hypoxického tréninku v civilní sféře. Porozumění všem subjektivním aspektům není aktuálně plně probádané a žádá si tak soustředění více pozornosti této sféře lidských limitací. A některým z těchto ukazatelů se věnuje tato práce pro prohloubení aktuálních informací o subjektivním vnímání hypoxického stavu.



2 Metody

Experimentální skupina se skládala z 24 účastníků, z nichž jeden nedokončil měření a není tak zahrnut ve výsledné analýze. Experiment dokončil výsledný vzorek participantů $n = 23$, věku: $22,83 \pm 2,57$ let, váhy: $78,52 \pm 15,70$ kg, výšky: $180,7 \pm 12,2$ cm a BMI: $23,84 \pm 2,97$. Všichni byli seznámeni s průběhem a riziky experimentu, přičemž potvrdili svůj zdravotní stav a skutečnost, že se měření účastní dobrovolně a z průběhu experimentu měli možnost kdykoliv odstoupit. Dodatečně, 17 participantů (73,9 %) je držitelem potvrzení o zdravotní způsobilosti 1. třídy a v době výzkumu zapojeno alespoň minimálně (letová praxe v posledních 12 měsících) v leteckém provozu. Dále všichni prohlásili, že dosud neabsolvovali žádná praktická cvičení zabývající se rozpoznáním hypoxie a 20 ze skupiny výsledného vzorku (87,0 %) má s vědomým vystavením organismu efektům hypoxie minimální nebo žádnou zkušenost.

Jako použité vybavení pro simulaci hypoxie byl zvolen hypoxikátor ROBD Hypoxico HYP123 (Hypoxico, Inc., New York, US) kvůli požadavkům na dostupnost z možností aktuálního vybavení a časovému rozvrhu Ústavu leteckého zdravotnictví (ÚLZ), viz obrázek 2. Simulovaná letová výška pomocí ROBD byla dosáhnuta ochuzováním dýchaného plynu na koncentraci 9 % O₂ za normobarických podmínek – cca odpovídající situaci v letové hladině 200, kde se čas upadnutí do bezvědomí pohybuje převážně mezi 7–10 min při náhlé dekompresi, kdežto při pozvolném přechodu je tento limit posunut nad hranici 20 minut a přibližuje se spíše možnostem poskytnutého ROBD od ÚLZ. Z důvodu bezpečnosti byl experiment prováděn pod lékařským dozorem v prostorách Ústřední Vojenské nemocnice Praha na ÚLZ. Měřeno bylo nasycení hemoglobinu kyslíkem (SpO₂) a srdeční tep pomocí oxymetru SPO 55 (SilverCrest, Neckarsulm, Německo). Bylo také stanoveno omezení maximálního času kontinuálního vystavení organismu hypoxickému stavu na 15 min, aby byly minimalizovány možnosti výrazného úpadku schopností rozeznat příznaky, ztráty vědomí, a bylo předejito dalším vážným následkům na zdraví.



Obrázek 2: Zařízení Hypoxico HYP123

2.1 Metodika měření

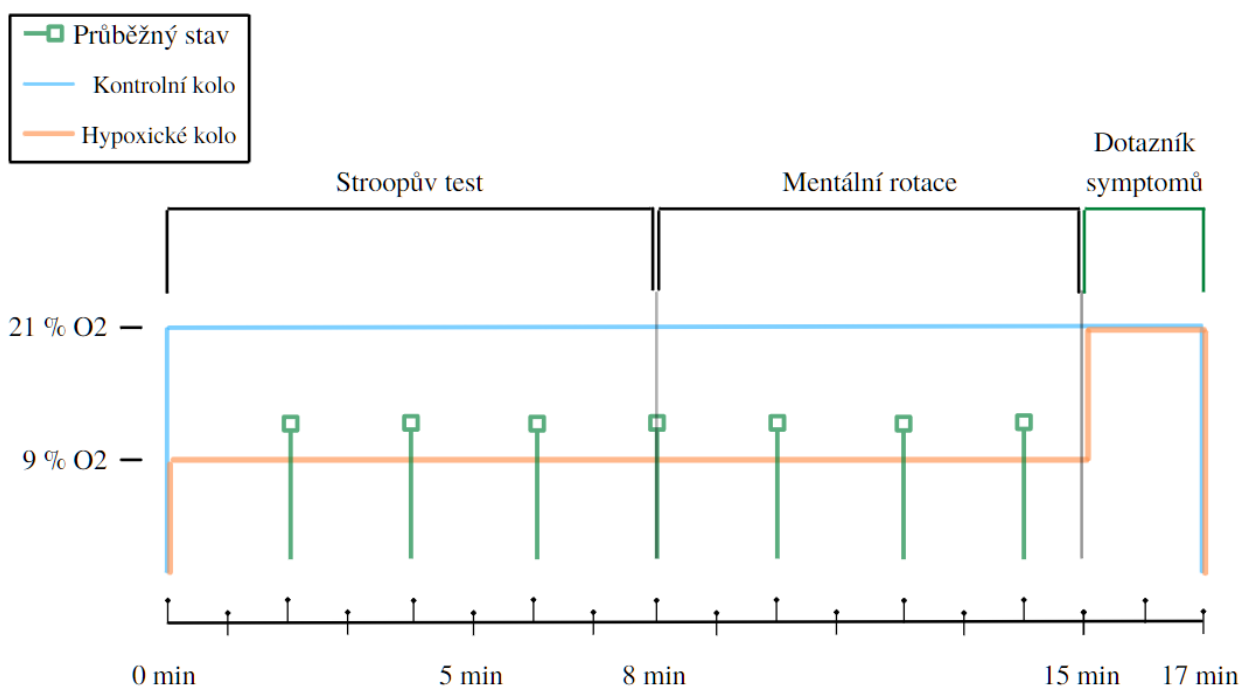
Každý účastník je vystaven 2 instancím měření, z nichž právě jedna probíhá jako kontrolní, kdy subjekt dýchá vzduch odpovídající standardnímu množství O_2 v nadmořské výšce experimentu (230 m n.m.). Kontrolní měření probíhá z důvodu vědomosti subjektů o povaze a zaměření experimentu, a slouží tak jako identifikace možného placebo efektu a zároveň jako kontrolní měření pro porovnání dat. Pořadí této instance bylo zvoleno, aby probíhalo jako první a po něm následovalo měření hypoxické. Obě měření se odehrávají ten samý den, jelikož obeznámenost s hypoxickým stavem, byť i sebemenší a nedávná, hraje roli ve schopnosti subjektu rozeznat hypoxický stav a časem upadá [6,8]. Tento postup má sloužit k potenciální detekci vlivu obeznámenosti účastníka experimentu s průběhem experimentu na subjektivní vnímání identifikace hypoxického stavu. Mezi jednotlivými koly je pro daný subjekt stanovena



minimální perioda odpočinku 15 min, aby si nesl co nejnižší fyziologický vliv nedávného vystavení do dalšího kola měření.

Každá hypoxická instance měření probíhá následně: Subjektu je vysvětlena povaha úkolů a průběhu experimentu společně s bezpečnostním brífinkem. Na počátku je nasazeno ROBD a podáván vzduch s redukováným množstvím O_2 na 9 % po dobu 15 min. Po uplynutí této doby je subjektu sundáno zařízení a je po dobu 2 min monitorován pro kontrolované navrácení normálních funkcí organismu z kompenzační fáze.

Každé kontrolní měření probíhá stejně, pouze je subjektu pomocí ROBD podáván neupravený vzduch, tedy odpovídající atmosférickému složení na místě experimentu. V obou případech je účastník podložen stejnému testování kognitivními testy a v daných intervalech ohlašuje subjektivně vnímaný stav, viz graf 1.



Graf 1: Průběh testování v obou kolech

2.1.1 Metody kognitivní námahy

V průběhu měření je důležité, aby subjektu byl vystaven kognitivní námaze ve formě činnosti, při které si bude schopen všimnout poklesu své výkonnosti. Pro tento experiment byla zvolena následující sekvence úkonů. V grafu 1 je znázorněno, že na začátku měření, v čase 0 začíná



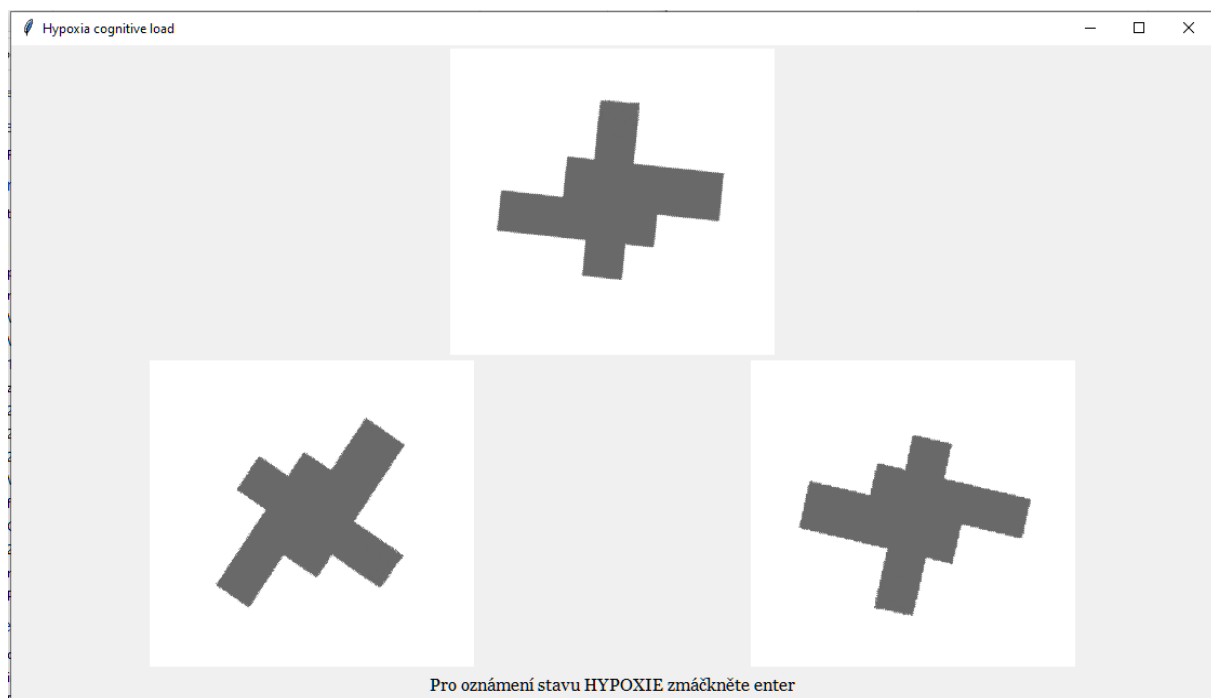
aktivita č. 1: Stroopův test (ST – Stroop task) [20] trvající 480 s. A jako druhý, po dobu 420 s následuje úkon mentální rotace (MR). U obou úkonů zaznamenává testovací program správnost odpovědi a čas potřebný k vyřešení. Výsledky těchto aktivit neslouží jako primární ukazatele práce a měření, pouze jako měřítko subjektivních vjemů výkonu a námahy pro účastníky a potenciální kontrolu vlivu hypoxie. V průběhu jednotlivých aktivit byl vyhrazen čas pro zodpovězení krátkých dotazníků.

Vysoce rozšířený a populární ST barevných slov testuje míru pozornosti a výkonných funkcí. Varianta zvolená pro toto měření předloží účastníkovi slovo vyjadřující barvu, jehož grafické vyobrazení neodpovídá významu onoho slova. Úkolem participanta je zmáčknout tlačítko na klávesnici s prvním písmenem názvu barvy, kterou je slovo napsáno (např. obr. 3: slovo „ZELENÁ“ se zobrazí modře vybarvené a úkol subjektu je zmáčknout tlačítko „M“). Zobrazované kombinace obsahují celkem 5 následujících barev: červená, zelená, modrá, žlutá a růžová. Tato aktivita testuje účastníkovu schopnost odolat zažitému reflexu číst význam slova a místo toho se soustředit na úkol – vizuální vjem.



Obrázek 3: Stroopův test v testovacím programu

Zatímco první úkol testuje primárně pozornost, tento se zaměřuje na aktivnější zapojení zpracování vizuálních vjemů a prostorovou představivost. Testovací model byl inspirován experimentem profesora Gijsbert Stoet, ze sady PsyToolkit s názvem použitým i v této práci, tj: Mental rotation [21], a byl v několika ohledech modifikován. Obrázek 4 znázorňuje testovací monitor. Zkouška spočívá v jednom hlavním obrázku, předlohou zobrazující nějaký tvar, zároveň jsou testovanému zobrazeny dva další obrázky. Jeden z nich odpovídá tvaru v předloze, avšak pootočenému kolem středu v rovině obrazu, druhý tvar je podobný předloze, avšak se nějak liší (v tomto programu je použit princip zrcadlení předlohového tvaru). Účastníkův úkol je zvolit obrázek obsahující pouze pootočený tvar odpovídající předloze pomocí dvou tlačítek (pravá/levá). Např. na obrázku 4 je správná odpověď „pravá“. Pro databázi tvarů bylo použito několik obrázků z citovaného experimentu a ty byly doplněny cca 70 dalšími a upraveny, aby nebyly osově či středově souměrné kvůli principu generování nesprávných odpovědí. Také rozsah rotace odpovědi od předlohy byl omezen na rozmezí 60–300 °, protože test má výrazně sníženou obtížnost při rotaci mimo tento rozsah [22].



Obrázek 4: Mentální rotace v testovacím programu



2.2 Získání a zpracování dat

Před zahájením každého měření je subjekt instruován, aby oznámil moment, u kterého bude zaznamenán čas oznámení. Ten bude vyhodnocován pro určení míry individuality rozeznání vlivu stavu hypoxie. Oznámení je popsáno následně: „Prvně jsem si uvědomil svůj hypoxický stav, podle jeho příznaků nebo poklesu své výkonnosti.“ Údaj času oznámení bude použit k vyhodnocení, zda a kdy si participant všiml prvních příznaků vlivu na svůj organismus a zároveň k možné identifikaci placebo efektu.

Pulzní oxymetr na prstu účastníka snímá aktuální SpO₂ a tepovou frekvenci (HR). Pro účely zjednodušení zaznamenávání dat a dostupnosti vybavení jsou tyto ukazatele zaznamenávány každou minutu. Tato vzorkovací frekvence je sice nízká, ale je považována za dostatečnou s ohledem na skutečnost, že tyto data (spolu s objektivními výsledky testů) jsou pro tuto práci pouze doplňková.

Po uplynutí každých dvou minut je účastníkům předložena krátká série dotazníků pro sebehodnocení právě absolvovaného časového úseku. Otázky jsou voleny tak, aby znázornily subjektivní vnímání výkonnosti v daném testu, obecný stav a fyziologickou funkci, konkrétně dýchání. Výběr dotazníkových metod byl ovlivněn požadavky na dostatečnou jednoduchost pro participanty, aby byli schopni pochopit význam dotazovaných parametrů a zároveň se co nejlépe předešlo nedorozuměním. Vzhledem k časové limitaci organismu v hypoxickém stavu hraje důležitou roli časová nenáročnost dotazníků. V neposlední řadě se požaduje, aby zvolené metody dostály vědecké úrovni, jejich výsledky byly kvantifikovatelné a bylo možno je porovnat s dalšími studiemi podobného charakteru.

2.2.1 Průběžné a celkové subjektivní hodnocení

Pro průběžné hodnocení ohlášeného stavu byly jako zadání zvoleny tři jednoduché otázky s výstupem čísla na stupnici 1-10 indikující subjektivně posouzenou míru přehledu participanta o svém stavu. Ve výstupu číslo 10 značí nejlepší možnou odpověď, odpovídající plně bdělému, aktivnímu a čilému stavu účastníka, a číslo 1 pravý opak, tedy nejhorší možnou. První položená otázka „Jak se cítíte?“ byla vybrána pro svoji jednoduchost a zároveň obecnou povahu nechajíc tak tázanému dostatečnou svobodu v interpretaci a poskytující tak obecný přehled o vnímaném celkovém stavu účastníka. Druhá otázka, záměrně ve znění: „Jak



hodnotíte své soustředění?“, zjišťuje účastníkově vnímání podávaného výkonu a zároveň potenciální stupeň únavy či vyčerpání, který se může projevit na vjemu intenzity a kvality soustředění. Poslední otázka sady průběžného sebehodnocení byla obtížná na zformování z několika důvodů. Významově má kvantifikovat vnímaný fyziologický stav subjektu, avšak tato formulace by byla časově a znakově náročná a nevyhovovala by ani podmínce rychlého pochopení a omezení zmatení dotazovaného. Kvůli tomu bylo rozhodnuto, že se tato část dotazníku zaměří pouze na jeden aspekt, a to právě respiraci. Konečná formulace tedy zní: „Jak se Vám dýchá?“

Dotazník na vnímané symptomy (obr. 5) je založen na dotazníku 18 nejčastějších symptomů použitým v práci [8]. Jeho modifikace spočívala ve zjednodušení a sloučení několika nejméně

Jaké symptomy jste zaregistrovali?

Prosím udejte intenzitu 0-4: vůbec, lehká, střední, vysoká

Lehkost hlavy / závrať	<input type="radio"/> 0	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3
Zmatenost / rozpačitost	<input type="radio"/> 0	<input type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3
Mravenčení prstů	<input checked="" type="radio"/> 0	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3
Zhoršený zrak	<input type="radio"/> 0	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3
Dušnost, lapání po dechu	<input type="radio"/> 0	<input type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3
Pocit úzkosti	<input checked="" type="radio"/> 0	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3
Cyanóza	<input checked="" type="radio"/> 0	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3
Euforie	<input checked="" type="radio"/> 0	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3
Únava	<input type="radio"/> 0	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3
Bolest hlavy	<input type="radio"/> 0	<input type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3
Bušení srdce	<input type="radio"/> 0	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input checked="" type="radio"/> 3
Zrychlené / neobvyklé dýchání	<input type="radio"/> 0	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3
Návaly horka a chladu	<input checked="" type="radio"/> 0	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3
Svalová slabost / nekoordinace	<input checked="" type="radio"/> 0	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3
Nevolnost	<input checked="" type="radio"/> 0	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3

Obrázek 5: Dotazník 15 nejčastějších symptomů



častých symptomů na základě vysoké podobnosti definice a kategorie vlivu zhoršení kategorických funkcí (behaviorální, kognitivní, fyzické, psychologické či psychomotorické a vizuální) – odpovídal-li symptom těmto kritériím, byl přidán či zahrnut v jiném popisu symptomu jako souhrnný záznam v dotazníku, jehož obsáhlost tak byla snížena na 15 symptomů. Subjekt uvedl u každého záznamu míru vnímané vážnosti na škále 0–3 (0 žádná – symptom se nevyskytl, 1 lehká, 2 střední, 3 vysoká). Tento dotazník zajistí obecný přehled o vnímaných symptomech účastníků ve vstřebatelném formátu pro zodpovězení v časové tísní. Na konci měření má účastník dobu 2 min na zodpovězení tohoto dotazníku, je tak stále v procesu návratu do normálního stavu, což může nést vliv na ohlášené symptomy v kontextu vlivu hypoxie na paměť [9,10], a bude nutné tuto skutečnost zohlednit v analýze výsledků.

2.2.2 Prezentace subjektu

Předchozí formy kognitivní námahy i veškerý sběr dat (s výjimkou SpO₂ a HR pro časovou náročnost implementace zaznamenávání dat z přístroje 3. strany v reálném čase) byl proveden pomocí softwarové implementace vytvořené pro tuto práci. Ta se ukázala jako skvělé zjednodušení procesu experimentu pro jeho účastníky, kteří k ovládání používali jen několik kláves. Testovací program zajistil generování a prezentaci testovacích oken a jejich časový odstup. Dále kontinuálně zaznamenával data výkonnosti v testech a transformoval je do stavu vhodného pro následnou statistickou analýzu spolu s identifikací kontrolního kola od hypoxického. Software obsahoval i časování a prezentaci otázek pro subjektivní hodnocení včetně dotazníku symptomů, jejichž data byla také elektronicky uložena, spolu se systémem ohlášení vědomosti o hypoxickém stavu.

2.2.3 Statistická analýza

Pro zpracování dat byla použita deskriptivní statistika prvně pro charakterizaci rozdělení naměřených dat. Jelikož data popisující symptomy jsou ze své podstaty kategorická, byl k posouzení nezávislosti výskytu na typu kola pro zhodnocení placebo efektu použit χ^2 test nezávislosti. Kategorie intenzit symptomů v kontrolním a hypoxickém kole byly párově posouzeny použitím Wilcoxon signed rank testu (Wilcoxon SR). Pro zhodnocení průběžných subjektivních stavů byl zvolen testy Friedmanův χ^2 a Wilcoxon SR, a pro možnou korelaci se skupinou objektivních dat Spearmanův test. Časy a četnosti ohlášení vnímání hypoxie byly vyhodnocovány pomocí χ^2 testu nezávislosti pro četnosti detekcí. Všechna data, jejich

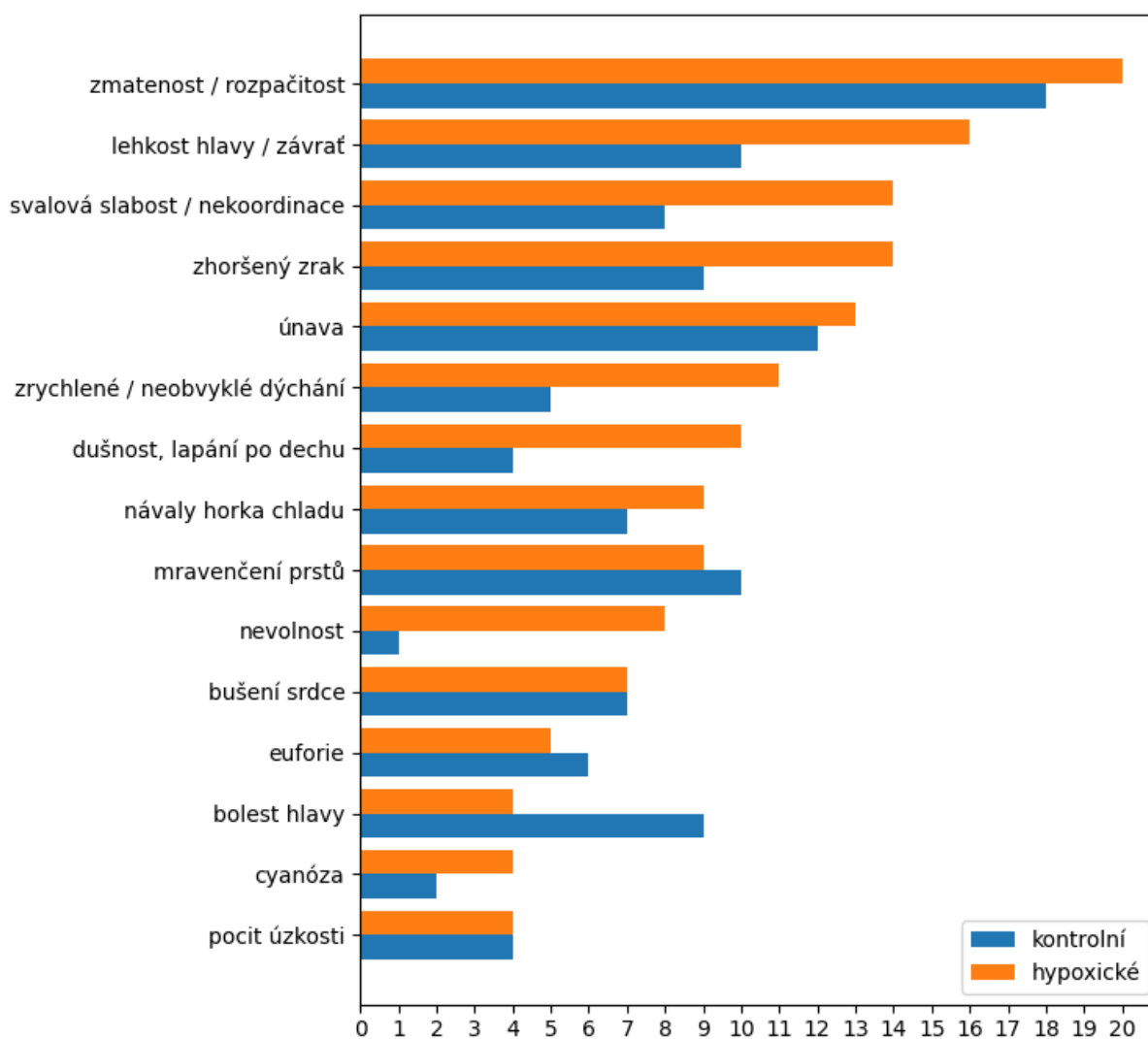


vyhodnocení a vizualizace byly předběžně zpracovány ve dříve zmíněném softwaru pro testování a dále upraveny a vyhodnoceny ve vlastním programu v programovacím jazyce Python za použití knihovny: „SciPy.stats“. Všechna data byla testována na hladině významnosti $p = 0,05$.



3 Výsledky

Výsledný vzorek účastníků $n = 23$ vykázal následující četnosti výskytu symptomů. Tabulka 1 znázorňuje četnost, tedy ohlášení příznaku bez ohledu na to, jakou měl oznámenou intenzitu. Pro lepší vizuální porovnání mezi jednotlivými koly je přiložen sloupcový graf 2 znázorňující četnosti intenzit v jednotlivých kolech. Z výsledků vyplývá, že mezi nejčastější oznámené symptomy v kontrolním kole patří „zmatenost / rozpačitost“, „únavu“, „lehkost hlavy / závrať“ a „mravenčení prstů“. Kdežto nejčastějšími pěti v hypoxickém kole jsou: „zmatenost / rozpačitost“, „lehkost hlavy / závrať“, „zhoršený zrak“, „svalová slabost / nekoordinace“ a „únavu“. Výskyty jednotlivých symptomů byly zvláště vystaveny χ^2 testu nezávislosti hypoxického vůči kontrolního kola a pouze jeden (nevolnost) vykazoval p hodnotu nižší než 0,05 ($p = 0,014$) kvůli nulové četnosti ohlášení v kontrolním kole. U všech symptomů až



Graf 2: Sloupcový graf výskytu symptomů



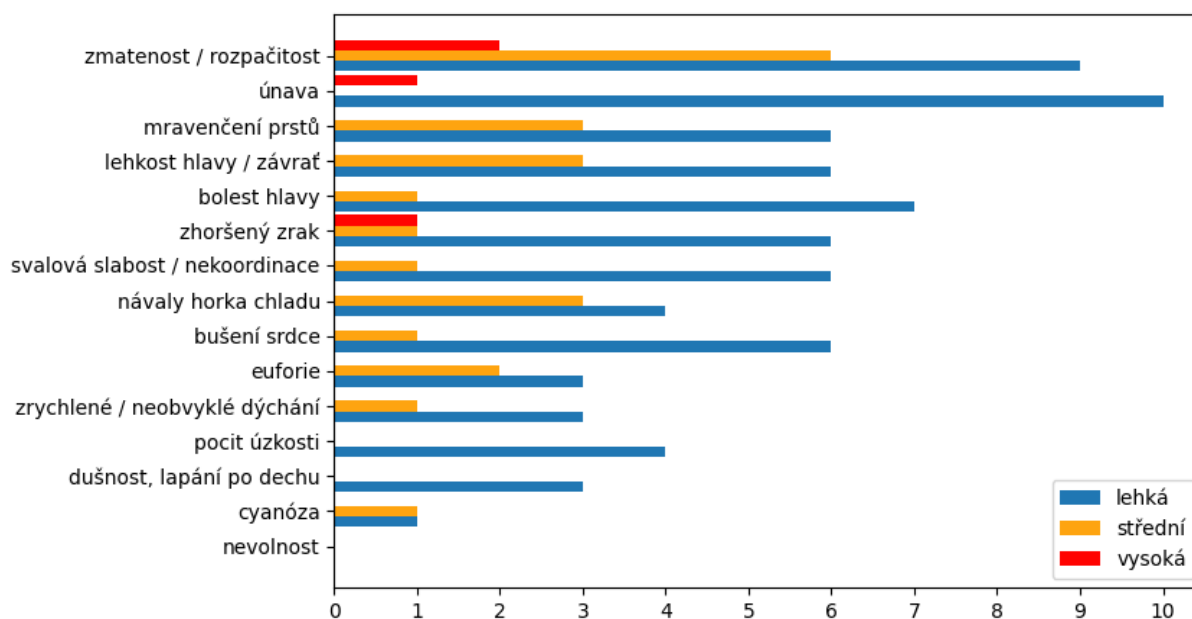
na nevolnost tedy byly přijaty nulové hypotézy, že jejich ohlášení či neohlášení je nezávislé na tom, zda byl subjekt podroben hypoxickému nebo kontrolnímu měření.

Tabulka 1: Četnost výskytu a testování symptomů

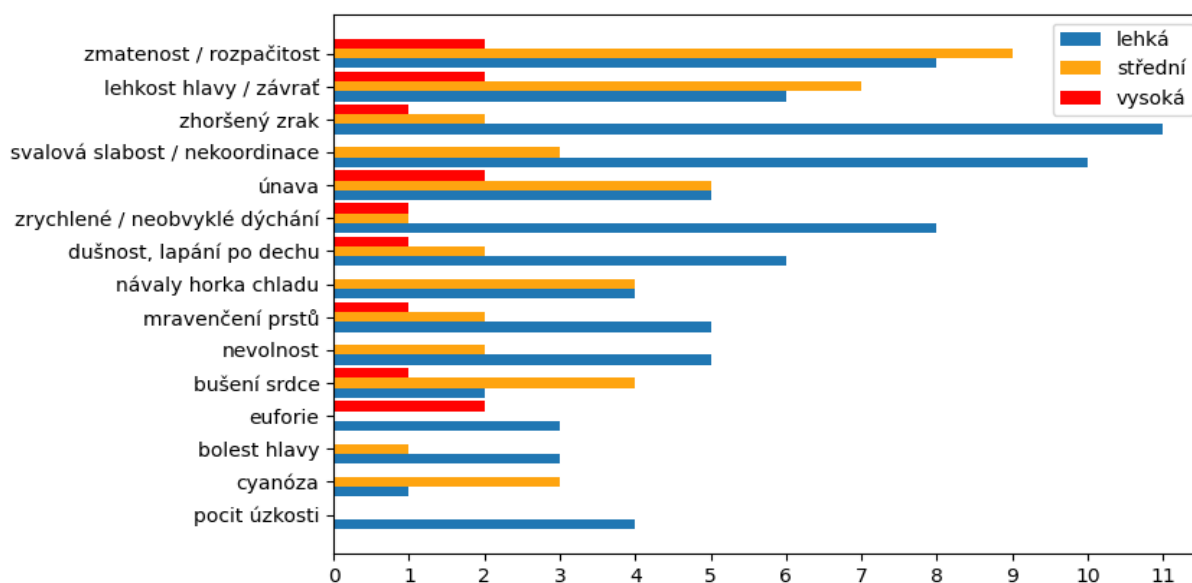
Název symptomu	Výskyt v kolech				χ^2 nezávislosti	
	Kontrolní		Hypoxické		χ^2	p-hodnota
Zmatenost / rozpačitost	17	73,9 %	19	82,6 %	0,128	0,721
Lehkost hlavy / závrať	9	39,1 %	15	65,2 %	2,178	0,140
Zhoršený zrak	8	34,8 %	14	60,9 %	2,178	0,140
Svalová slabost / nekoordinace	7	30,4 %	13	56,5 %	2,212	0,137
Únava	11	47,8 %	12	52,2 %	0	1,000
Zrychlené / Neobvyklé dýchání	4	17,4 %	10	43,5 %	2,567	0,109
Dušnost, lapání po dechu	3	13,0 %	9	39,1 %	2,819	0,093
Mravenčení prstů	9	39,1 %	8	34,8 %	0	1,000
Návaly horka a chladu	7	30,4 %	8	34,8 %	0	1,000
Bušení srdce	7	30,4 %	7	30,4 %	0	1,000
Nevolnost	0	0,0 %	7	30,4 %	6,066	0,014
Euforie	5	21,7 %	5	21,7 %	0	1,000
Pocit úzkosti	4	17,4 %	4	17,4 %	0	1,000
Cyanóza	2	8,7 %	4	17,4 %	0,192	0,662

3.1 Intenzity symptomů a jejich změny

Dále ohlášené intenzity symptomů poskytly hlubší vhled do dané problematiky, jelikož s sebou přinášejí širší rozměr zkoumaných symptomů. Graf 3 znázorňuje četnosti ohlášení jednotlivých intenzit v kontrolním kole, symptomy v něm jsou seřazené podle celkové nejvyšší četnosti – tedy zmatenost / rozpačitost byla nejčastěji ohlašována v kontrolním kole, a naopak nevolnost byla ohlašovaná nejméně. Hypoxické kolo měření vidá souhrnně častější četnost ohlášení vyšších stupňů intenzit, tedy středních a zejména vysokých (viz graf 4). Sloupcový graf je také seřazen podle celkové četnosti ohlášených v daném kole.



Graf 3: Četnost ohlášených intenzit v kontrolním kole



Graf 4: Četnost ohlášených intenzit v hypoxickém kole

Pro vyhodnocení párových dat intenzit mezi kontrolním a hypoxickým kolem byl využit Wilcoxon SR test, jehož výsledky se nachází v tabulce 2. Nulová hypotéza, že populace dat intenzit jednotlivých symptomů si odpovídají mezi koly, byla odmítnuta u 7 symptomů, všechny s hodnotami $p < 0,034$. Mezi ně patří 6 ze 7 nejčastěji ohlašovaných v hypoxickém kole (1. nejčastější symptom, „zmatenost / rozpačitost“, naopak přijal H_0 s $p = 0,19$). Sedmým

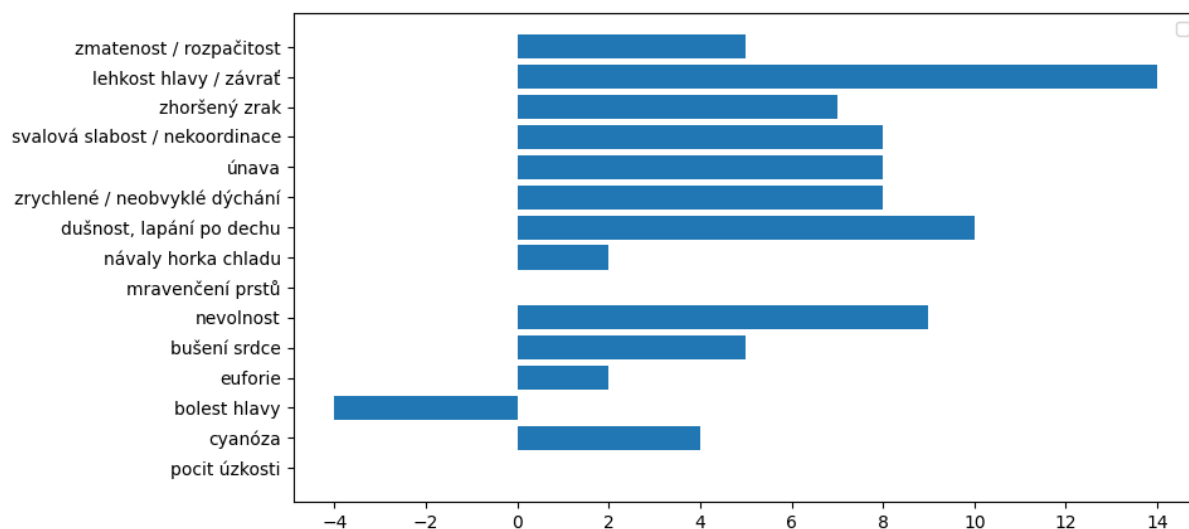


symptomem odmítajíc H_0 je nevolnost, která zaznamenala největší pokles jak frekvence ohlašování, tak poklesu intenzit mezi koly.

Tabulka 2: Wilcoxon signed rank test intenzit

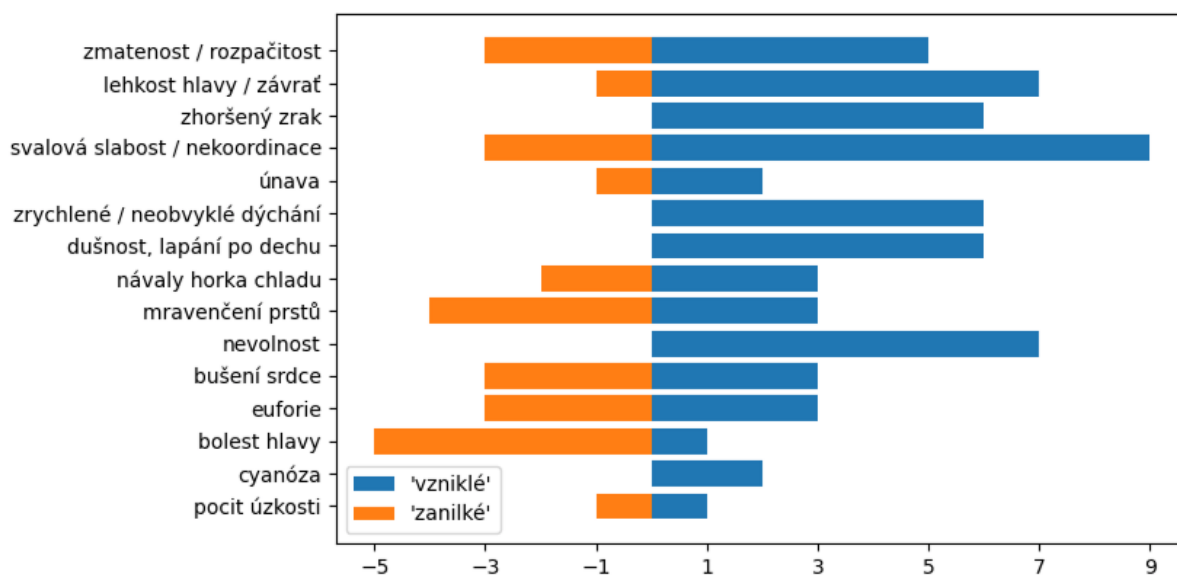
Název symptomu	p
Zmatenost / rozpačitost	0,190
Lehkost hlavy / závrať	0,007
Zhoršený zrak	0,008
Svalová slabost / nekoordinace	0,046
Únava	0,021
Zrychlené / Neobvyklé dýchání	0,033
Dušnost, lapání po dechu	0,014
Mravenčení prstů	1,000
Návaly horka a chladu	0,729
Bušení srdce	0,166
Nevolnost	0,014
Euforie	0,608
Pocit úzkosti	1,000
Cyanóza	0,102
Bolest hlavy	0,102

Sledovány také byly změny intenzit symptomů při přechodu z kontrolního kola do hypoxického, jejich celkovou kumulativní magnitudu (suma změn symptomů, kdy přechod o stupeň výše u stejného subjektu má hodnotu 1 a níže -1) znázorňuje graf 5. Nejvíce intenzifikovanými symptomy při přechodu do hypoxie tedy jsou „lehkost hlavy / závrať“, „dušnost / lapání po dechu“ a „nevolnost“. Byla zjištěna jediná záporná hodnota, kdy se symptom s přechodem do hypoxie u subjektů převážně mírnil, či zanikal a to právě „bolest hlavy“. Symptomy „mravenčení prstů“ a „pocit úzkosti“ zaznamenaly nulovou sumu změn, ačkoliv oba v individuálních případech měnili svoji intenzitu či vznikaly a zanikaly.



Graf 5: Suma změn při navození hypoxie

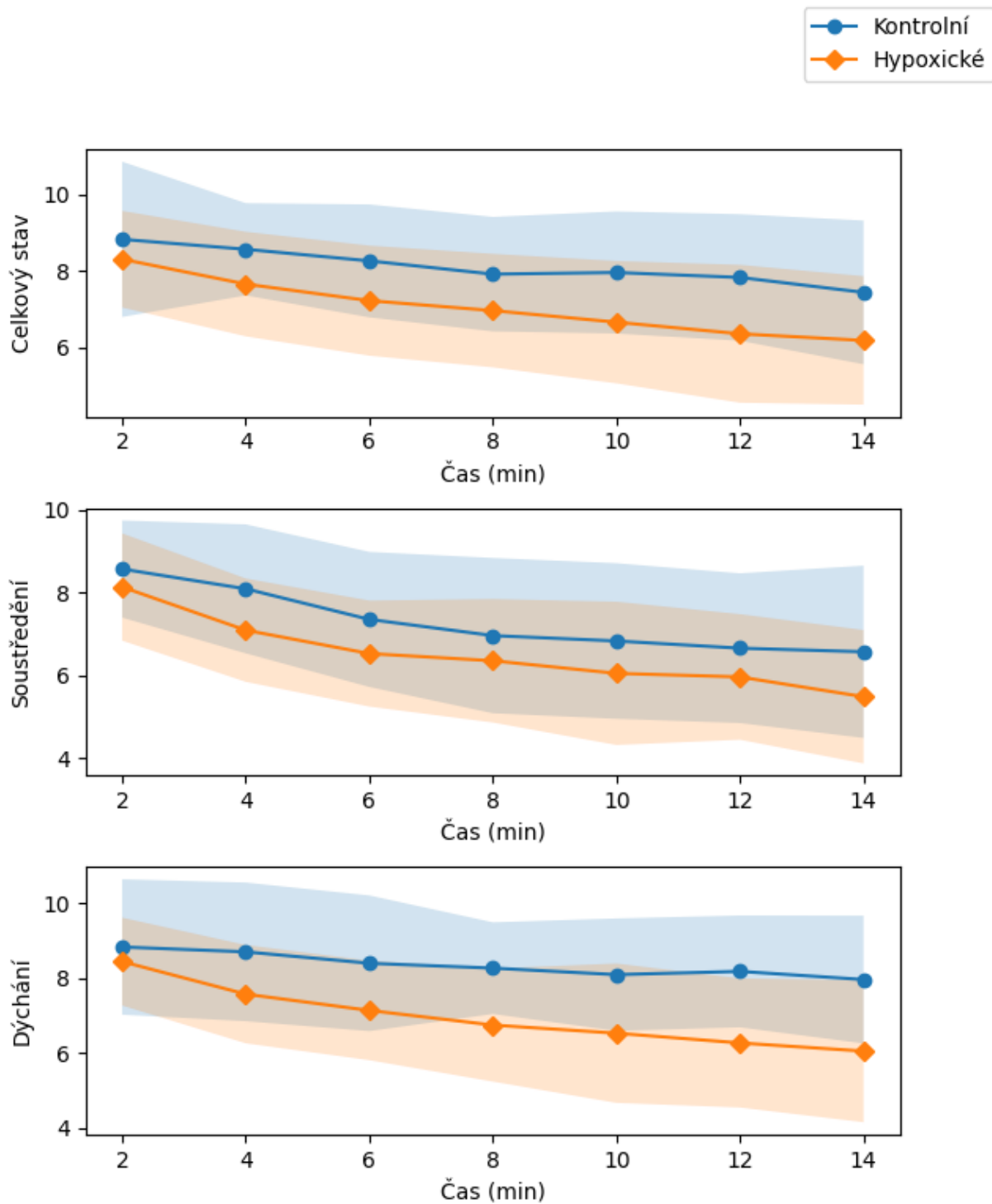
Více informací o vzniku a zániku symptomů při přechodu do hypoxického stavu subjektů poskytuje graf 6 udávající počet jednotlivých výskytů, kdy účastník buď symptom nenahlásil v kontrolním kole a v hypoxickém se u něho objevil, nebo opačná logika v opačném směru vodorovné osy. Symptomy, které se nejčastěji objevily bez předchozího ohlášení, obsahují následující: „svalová slabost / nekoordinace“, „lehkost hlavy / závrať“ a „nevolnost“. Naopak dva nejčastější symptomy, které byly ohlášeny v kontrolním kole a následně zanikly jsou „bolest hlavy“ a „mravenčení prstů“.



Graf 6: Četnosti vzniku a zániku symptomů při navození hypoxie

3.2 Průběžná ohlášení stavů

Subjektivní data hodnocení účastníků indikuje graf 7, data jsou ve formátu se zobrazením pásu indikující $\text{průměr} \pm \text{STD}$ v čase. Ohlašované hodnoty byly vyhodnoceny pomocí Friedmanova χ^2 testu přes jednotlivé kategorie a všechny odmítly nulovou hypotézu, že mají přes kategorie



Graf 7: Průběh sebehodnocení v kategoriích



v čase stejné rozdělení ($p < 0,001$). Lze tak uvažovat, že kategorie byly vybrány vhodně a nejsou si příliš podobné. Dále pomocí Wilcoxon SR testu byla hodnocena data mezi hypoxickým a kontrolním kolem, kde významné výsledky vykazovala pouze kategorie „soustředění“, viz tabulku 3. Hodnoty $p > 0,05$ vykazoval test v minutách: 2, 8 a 12, pro které byla potvrzena nulová hypotéza, že odpovědi nebyly ovlivněny hypoxickým stavem v těchto časech. Pro zbývající celkový stav a fyziologickou funkci dýchání platí alternativní hypotéza, tedy že existují rozdíly ve vnímaných stavech v hypoxii a kontrolním kole.

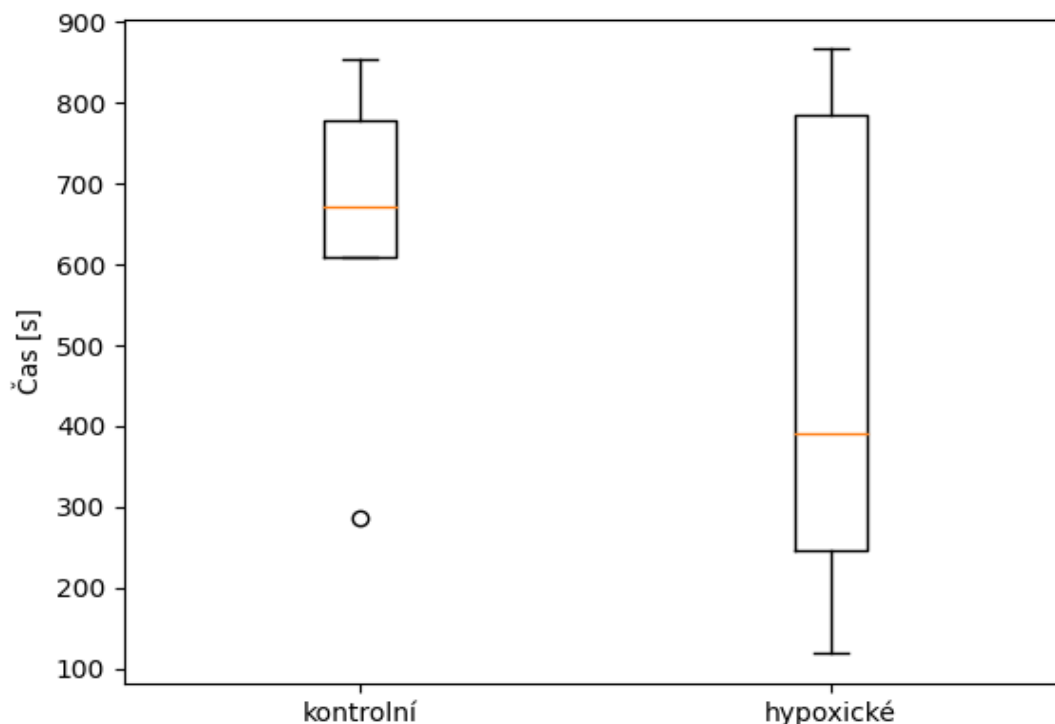
Tabulka 3: Výsledky Wilcoxon signed rank testu sebehodnocení

Čas (m)	p-hodnoty		
	Celkový stav	Soustředění	Fyziologická funkce
2	0,024	0,178	0,037
4	0,005	0,011	0,003
6	0,006	0,032	0,004
8	0,006	0,095	0,000
10	0,001	0,032	0,000
12	0,001	0,113	0,000
14	0,002	0,005	0,000

Pro zajímavost byla na pozdější časy (kdy se data normalizovala) využita jednofaktorová ANOVA (Analysis of Variance – analýza rozptylu) vracející podobné závěry jako předchozí testování v kategoriích, pouze soustředění opět vykazovalo neovlivnění, tentokrát pouze pro čas 6 min ($p = 0,15$).

3.3 Ohlášení detekce hypoxického stavu

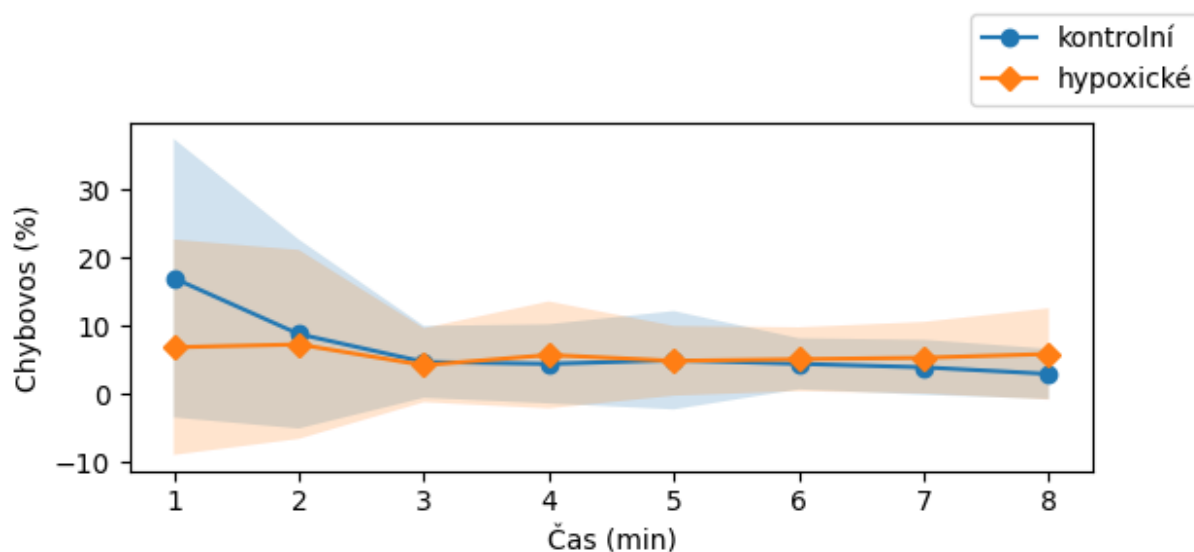
V kontrolním kole byla četnost ohlášení hypoxie „Vnímám hypoxický stav...“ 5 (21.7 %), kdežto v hypoxickém ohlásilo vnímání stavu hypoxie celkem 13 účastníků (56,5 %). Testování χ^2 testem nezávislosti schopnosti detekovat hypoxický stav vůči výskytu hypoxie vrátilo hodnotu $p = 0,034$ ($\chi^2 = 4,472$) odmítajíc hypotézu, že výskyt a detekce jsou vůči sobě nezávislé. Graf 8 zobrazuje krabicové grafy času detekce (pokud proběhla) v obou kolech, ($\bar{x}_k = 672$ s, $\bar{x}_h = 391$ s) nutno však poznamenat, že pro kontrolní kolo je $n_k = 5$ a pro hypoxické $n_h = 13$. Mezikvartilové rozpětí časů této detekce se rozpíná cca od 4 do 14 minut a nasvědčuje vysokému rozptylu schopnosti detekce mezi individuálními účastníky.



Graf 8: Krabicové grafy časů detekce hypoxie

3.4 Objektivní doplňková data

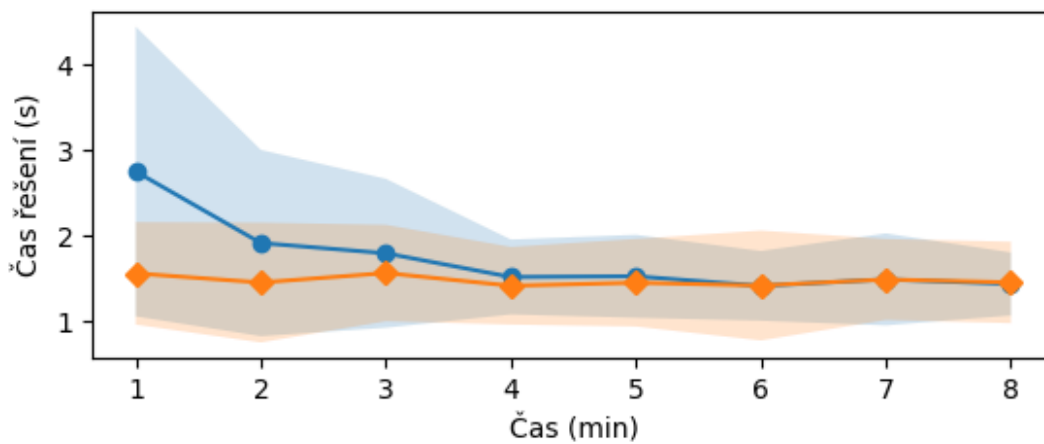
Data výkonu účastníků byla rozdělena mezi testy kvůli rozdílné podstatě a typu požadované námahy obou testů. Grafy 9–12 tak obsahují vykreslená data porovnávající parametry mezi měřeními koly, kde graf 9 zobrazuje výkonnostní data ve Stroopově testu a graf 10 zobrazuje čas potřebný k řešení v tom samém testu. Grafy 11 a 12 zobrazují data chybovosti a času



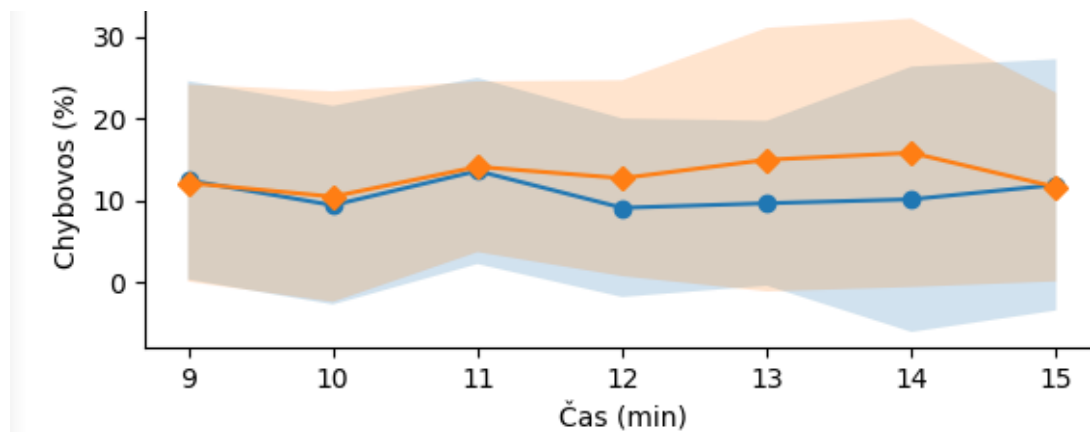
Graf 9: Chybovosť ve Stroopově testu



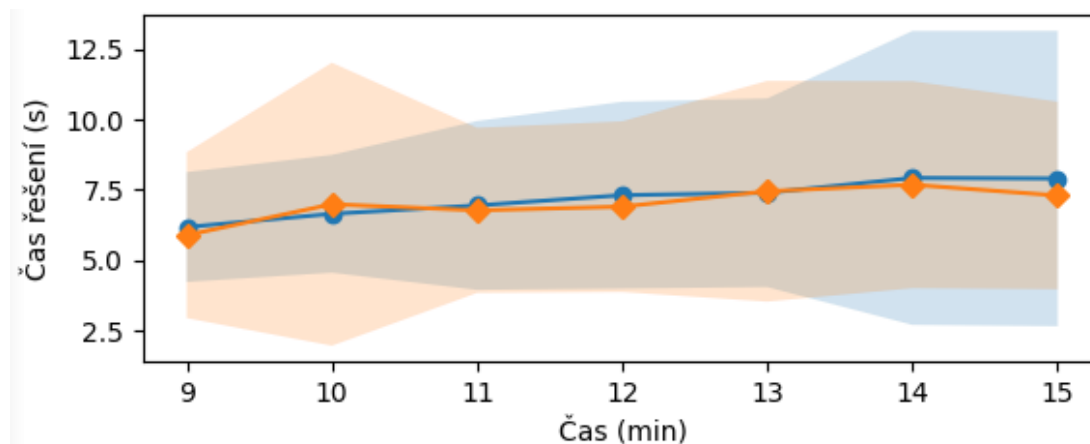
řešení pro test mentální rotace. Samostatné grafy zobrazují data na stejném principu jako graf 7, tedy průměr všech účastníků v dané minutě s pásmy směrodatných odchylek.



Graf 10: Čas řešení Stroopova testu



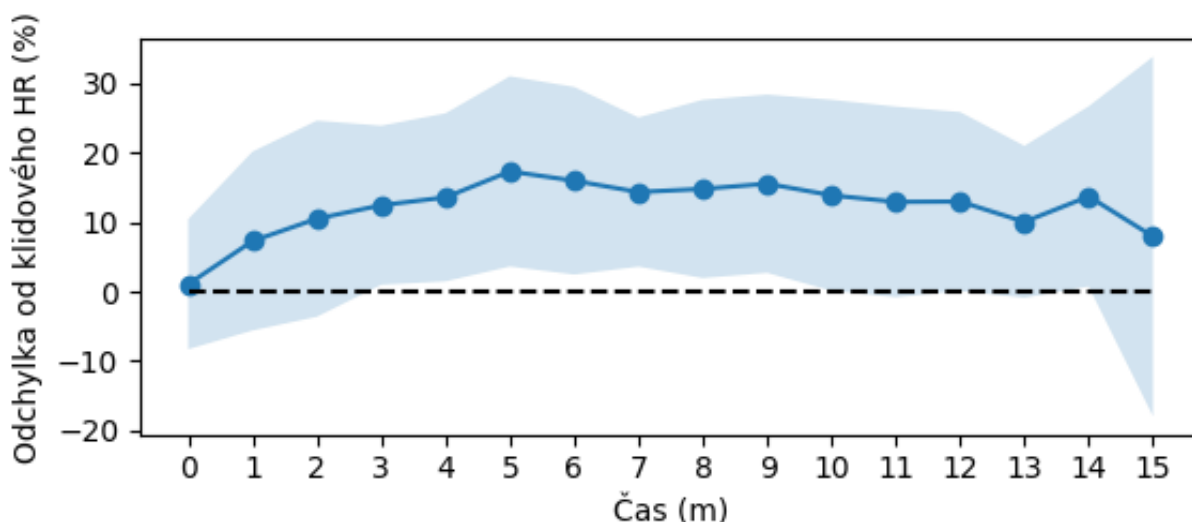
Graf 12: Chybovosť v testu mentální rotace



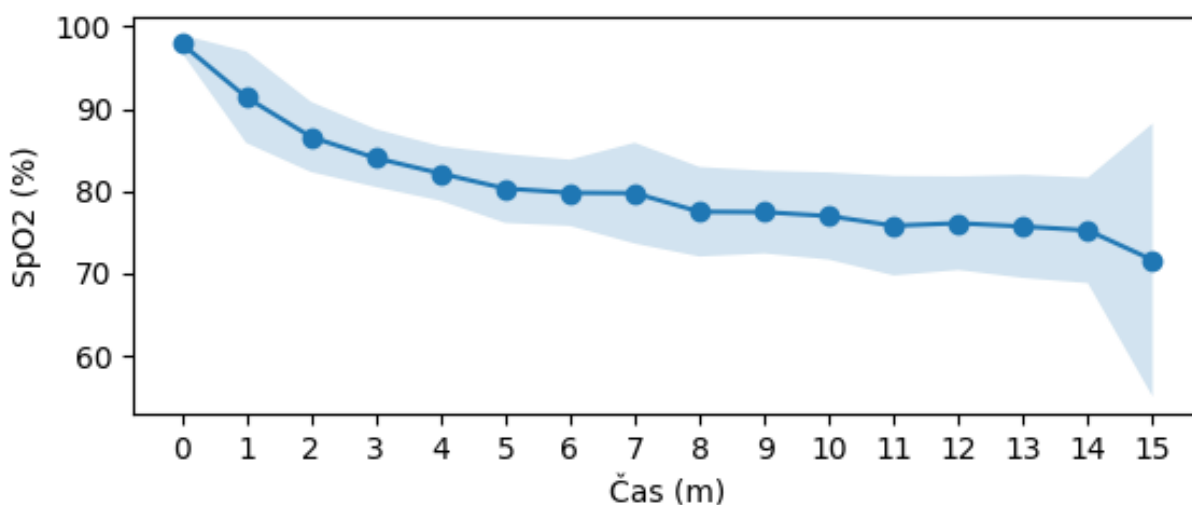
Graf 11: Čas řešení v testu mentální rotace



Navazující objektivní informaci o srdečním tepu poskytuje graf č. 13, který vykresluje snímanou relativní odchylku od klidového stavu účastníka (průměr v kontrolním kole) a meze směrodatných odchylek. Je vidno, že nárůst tepové frekvence trvá cca prvních 5 minut, než se relativně ustálí. Zároveň graf 14 obsahuje vyobrazení průběhu průměrné saturace krve v hypoxickém kole se směrodatnou odchylkou v podobném formátu. Saturace zdánlivě klesá logaritmicky. Závěrem kontrolní graf 15 zobrazuje průměrné SpO₂ v kontrolním kole ve stejném formátu, jako graf 14. Dokazuje tak tedy, že subjekty se objektivně nenacházely v hypoxii. Zajímavostí v obou grafech fyziologických dat jsou náhlé poklesy, v hypoxickém kole o rychlejší pokles na konci patnácté minuty a v kontrolní paradoxně zaregistrovaný pokles



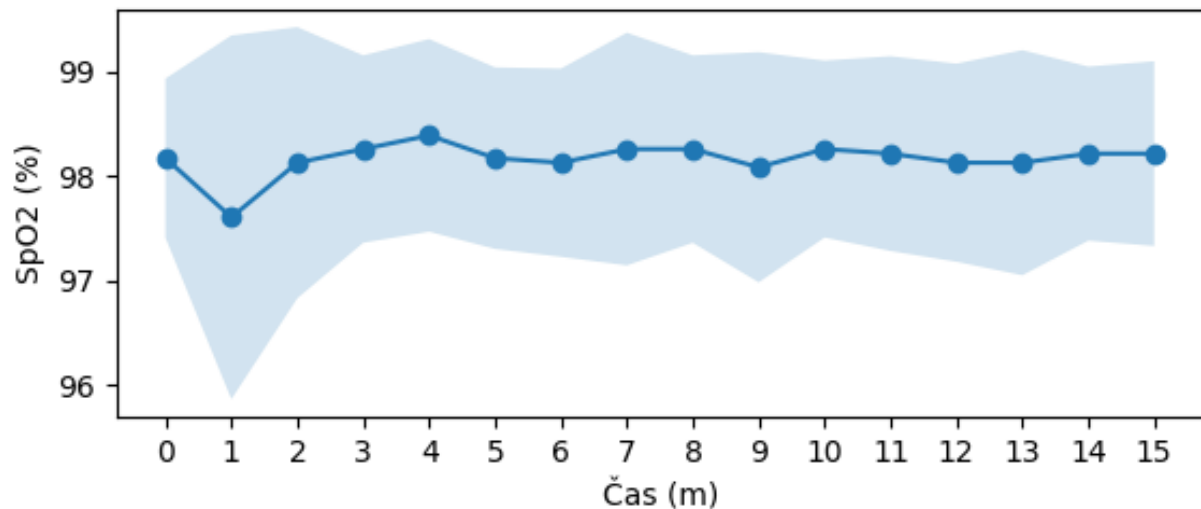
Graf 13: Průběh srdeční frekvence v hypoxii



Graf 14: Průběh nasycení krve kyslíkem v hypoxii



průměrného nasycení krve kyslíkem (a zvýšení směrodatné odchylky) již na konci první minuty.



Graf 15: Průběh nasycení krve kyslíkem v kontrolním kole

Jako doplňková data byla v poslední řadě testována korelace pomocí Spearmanova testu mezi průběžným hlášením celkového stavu a chybovostí a časů řešení, mezi sebehodnocením celkového stavu a tepovou frekvencí, sebehodnocením celkového stavu a okysličením, mezi vnímaným soustředěním a chybovostí s časy řešení, a nakonec mezi sebehodnocením dýchání a okysličením. Všechny výsledky vykazaly nízké koeficienty ρ , hodnoty $p > 0,05$ a nevyvrátily tak nulovou hypotézu, že mezi sebou tyto veličiny nekorelují.



4 Diskuse

Využití kontrolního kola pro identifikaci možného placebo efektu se zdá být efektivním se závěrem, že výsledný výskyt jednotlivých symptomů nebyl shledán závislým na skutečnosti, zda se subjekt nacházel v hypoxickém stavu, či ne. Jedná se tak o negativní výsledek s ohledem na cíle práce. To platí pro všechny četnosti s výjimkou symptomu „nevolnost“. Stalo se tak s největší pravděpodobností z důvodu masivního nárůstu jeho četnosti v hypoxickém kole v kombinaci se skutečností, že četnost ohlášení v kontrolním byla rovna 0. Díky nezaznamenání v kontrolním kole také jeho intenzita byla shledána závislá na hypoxickém stavu, avšak zcela očekávaně (Wilcoxon SR, $p = 0,014$). Tento výsledek je však nutno brát v potaz s ohledem na jeho malý vzorek výskytu $n = 7$, avšak na validitě testu intenzit to nic nemění.

Je tedy evidentní, že účastníci mohli v kontrolním kole podlehnout placebo efektu nebo je možné, že symptom navodilo svojí podstatou používané vybavení. Jednalo se například o skutečnost, že někteří účastníci měření dlouho nepohybovali pravou rukou a jejími prsty, kde byl umístěn oxymetrický senzor, což vedlo k situaci, kdy subjekt mohl zaznamenat brnění v prstech ze zcela jiného důvodu, než byl hypoxický stav. Tento efekt se výrazněji prokázal při diskusi o změnách intenzit symptomů, avšak byl ohlášen i ústně po skončení měření několika účastníky.

U hodnocení změn intenzit symptomů je nutno brát v potaz celkový počet ohlášení daného příznaku, a proto byly symptomy na grafech 2–6 a v tabulkách 1 a 2 řazeny od nejvyššího počtu výskytu v daném kole (u grafů změn je bráno v potaz hypoxické kolo). S touto filosofií jsou v pozdější fázi diskuse intenzity symptomů, které se nacházejí výše v tabulkách, brány za významnější výsledky z důvodu vyššího vzorku výskytu.

Nejčastější oznámené hypoxické symptomy (viz graf 2) se vesměs shodují se studii z daného oboru s výjimkou symptomu „svalová slabost / nekoordinace“. Tato nesrovnalost může být ze strany této práce způsobena samotnou podstatou měření, vzorkem subjektů, nebo i celkovou ergonomií experimentu. Avšak nutno zdůraznit, že intenzita tohoto symptomu byla shledána, jako proměnlivá ve vztahu k hypoxii (Wilcoxon SR, $p = 0,046$). Lze tak změnu



intenzity tohoto příznaku považovat za výrazný výsledek a ukazatel hypoxického stavu, avšak nelze za něj považovat pouze výskyt onoho symptomu.

Naopak symptom s absolutně nejvyšší četností oznámení, jehož výskyt ani intenzita nebyla ovlivněna hypoxickým stavem účastníků (Wilcox SR, $p = 0,190$), byl „zmatenost / rozpačitost“. Symptom se vyskytoval u 73 % participantů v kontrolním kole a přes 83 % v kole hypoxickém, jedná se tak o výrazné ukazatele nasvědčující navození příznaku z jiných důvodů. Nejpravděpodobnějšími z nich bude placebo efekt, rozpačitost z neznámého prostředí, psychologický efekt ukázat se při testování v co nejlepším světle anebo nedostatečná sebedůvěra účastníků ve své schopnosti.

Data symptomů „lehkost hlavy / závrat“, „zhoršený zrak“, „svalová slabost / nekoordinace“, „únav“, „zrychlené / neobvyklé dýchání“ a „dušnost, lapání po dechu“ vykazují kvalitní analytické hypotézy, že jejich intenzita se opravdu mění s příchodem hypoxického stavu a jsou tak považovány za jedny z úspěšných výsledků této práce, viz tabulku 2. Tyto výsledky jsou také v souladu s několika studiemi, které prokázaly vysokou míru ovlivnění těmito symptomy a jejich častý výskyt [8,18].

Doplňující, méně statisticky vypovídající, avšak poskytující jiný úhel pohledu, jsou data sum změn intenzit. Ačkoliv mohou být vnímána pouze jako absolutní hodnoty a nelze s nimi jinak pracovat, jejich vizualizace z grafu 5 poskytuje dostatečný přehled o tom, které symptomy se „v průměru“ nejvíce měnily v intenzitě a kterým směrem. Tyto poznatky však nutno vztáhnout k těm statisticky významným a brát v potaz jejich četnosti výskytu, aby byla míra validity závěrů dostatečná. Nejvíce, celkově o 14 stupňů intenzity, se zvýšil symptom „lehkost hlavy / závrat“. Lze tak generalizovat, že spolu s výsledky z tabulky 2 a díky většímu vzorku, se tak jedná o biologický aspekt nejčastěji postihnutý hypoxickým stavem. Stejným způsobem tak lze označit například symptom „dušnost, lapání po dechu“ za druhý z těžkých fyzických postihů vlivem hypoxie.

Zajímavostí se zdá být příznak „mravenčení prstů“, který vykázal kumulativní změnu intenzity rovnou nule. Nasvědčuje tedy dříve zmíněné hypotéze, že tento symptom byl způsoben spíše kombinací ergonomie testu a dlouhého časového úseku, kdy měl subjekt na prstu připevněn snímač oxymetru způsobující brnění prstu nezávisle na hypoxickém stavu. Další nulovou



kumulativní změnu zaznamenal psychologický symptom „pocit úzkosti“, avšak s četností pouze $n = 1$ v obou kolech. Bylo by tak zbrklé dělat o něm jakékoliv závěry.

Symptom „bolest hlavy“ se v rozporu s ostatními konvencemi zdál mírnit či dokonce zanikat s nástupem hypoxie, viz grafy 5,6. Toto pozorování není kompromitováno ani příliš malým vzorkem, pouze výsledkem Wilcoxon SR testu, dle kterého se nemění intenzita tohoto symptomu dostatečně výrazně, aby její změny byly považovány za statisticky významné.

Z grafu 6 lze tak vytknout ještě symptom „bušení srdce“, jehož četnost zániků u účastníků se rovná četnosti vzniků. V porovnání s touto skutečností evidoval daný symptom výrazný nárůst kumulativní intenzity u všech účastníků. Lze tak spekulovat, že palpitace u části lidí, kterým se při hypoxii vyskytnou, nastupují již s vysokou intenzitou. Je-li tento efekt způsoben zdravotní predispozicí, nebo pouze variabilitou individuality symptomů zůstává ke zkoumání dalších prací. Výskyt a intenzita symptomů se ukázaly být vcelku jednotné, avšak našly se ojedinělé případy obou extrémů spektra: 1 účastník, který zaznamenal nadměrnou vnímanou intenzitu mnoha symptomů a rozhodl se měření přerušit (tato data nebyla nezahrnuta do statistické analýzy) a další účastník, který nevedl žádný zaregistrovaný symptom a průběžně u něj nenastala výrazná změna subjektivního hodnocení.

Další rozptýlenou proměnnou byla detekce hypoxického stavu a její časy. Hypoxický stav bylo schopno úspěšně rozeznat 13 účastníků (56,5 %), jedná se o lehce vyšší poměr než armádní piloti bez zkušeností s hypoxií [4]. Nutné je brát zřetel na skutečnost, že se ve vzorku nachází 3 subjekty s předchozí zkušeností s hypoxickým stavem a poměry těchto prací jsou tak dostatečně podobné. Zejména v detekci se projevil již dříve zmíněný placebo efekt pro 5 subjektů, které ohlásily hypoxický stav, ačkoliv se v něm jejich organismy nenacházely, jak vypovídají data SpO_2 kontrolního kola, viz graf 15. Hrozí tak (sice malé, ale stále přítomné) riziko falešné identifikace hypoxie při letu a zbytečně způsobené paniky.

Placebo efekt se však zdá být zanedbatelným v tomto případě, jak již prokázal χ^2 test nezávislosti a detekce hypoxického stavu byla prokázána za závislou na tom, jestli se v hypoxickém stavu skutečně nachází. Jedná se tak o pozitivní výsledek v kontextu cíle práce a naznačuje schopnosti člověka rozpoznat svůj hypoxický stav za pomoci průběžného subjektivního hodnocení aktuální situace. Avšak to, jakou rychlostí je toho schopen se výrazně



lišilo. Mezikvartilové rozpětí časů této detekce (od 4 do 14 minut) indikuje evidentní vysoké rozdíly mezi jednotlivci v rychlosti rozeznání hypoxie a jejího vlivu na svůj organismus. S mediánem časů rozpoznání hypoxie $\bar{x} = 391$ s (viz graf 8) a průměrným SpO_2 v tento čas pohybujícím se okolo 80 %, je již lidská výkonnost do jisté míry omezená a zůstává tak otázkou do jaké míry je člověk schopen pokračovat v činnosti a jak vysoce je jeho schopnost rozeznat hypoxii v tento čas kompromitována.

Subjektivní hodnocení různých stavů, zejména kategorie celkového stavu a dýchání, byla shledána ovlivněnými při přechodu subjektu do hypoxie, zato kategorie soustředění nebyla v některých časových úsecích ovlivněna. Pro data byl využit Wilcoxon SR test, viz tabulku 3, kvůli nutnosti využít parametrického testu, protože data subjektivního hodnocení nebyla prvních 3–5 minut normálního rozložení, avšak časem se normalizovala. Mimo to se však jedná o další převážně pozitivní závěry v kontextu cíle práce. Lze tedy uvažovat, že subjektivní vnímání celkového stavu a vnímání fyziologické funkce dýchání je potenciálně možné použít i inverzně v kombinaci s normálovými daty vnímaných stavů pro získání informace, zda se subjekt nachází v hypoxickém stavu, avšak pouze v krátkodobém horizontu z důvodu rozsahu experimentu a delšímu vlivu především únavy na účastníka. Sebehodnocení v kategorii soustředění naopak nese smíšené ukazatele, takže je aktuálně nemožné formulovat definitivní závěr, mimo to, že tato kategorie není spolehlivým ukazatelem a je nutno využít jiných subjektivních metod posuzujících vnímaný výkon. Účastníci také mohli chvilkově vnímat svůj vlastní výkon jako nedostatečný v reakci na variabilní obtížnost zejména úkolu MR, kdy některé tvary jsou obtížnější k vyhodnocení nežli jiné. Tomu přispívají data chybovosti u stejného úkolu, která je průměrně vyšší v pozdějších minutách testu.

Objektivní data (grafy 9–12) jako celek nebyla této práci vysokým přínosem. Primárně to nebyl jejich účel, ale také doplňkové informace z jejich testování nespĺnila očekávání v kontextu práce. Data chybovosti a času řešení jsou v prvních minutách vysoce rozptýlená, zejména v kontrolním kole, zatímco v pozdějších fázích experimentu se mezi koly výrazně neliší. Vysoký rozptyl na začátku kontrolního měření je s nejvyšší pravděpodobností způsoben absencí časového úseku, kdy by si subjekty mohly vyzkoušet testy nanečisto a tušily by tak, co je v nich čeká. Takto se v datech podepsala prvotní zmatenost a neznalost daného typu



testu. Zajímavé jsou minimální rozdíly na samotném konci měření, kde v hypoxii čas řešení klesá oproti kontrolnímu kolu, což může poukazovat na zvýšenou zbrkllost účastníků vlivem hypoxického stavu.

Dalším důvodem, proč objektivní data nespĺnila očekávané výsledky práce, byly negativní výsledky testování korelace mezi vnímanými stavu v kategoriích a těchto objektivních dat. Tento výsledek je v rozporu s pracemi z oboru [1,10]. Naopak mu nasvědčuje jediná studie, která taktéž nezaznamenala výrazné výsledky v subjektivních stavech vůči testovaným objektivním datům [9]. Dalším možným důvodem se zdá být nedostatečná intenzita zátěžových testů, která nebyla schopna generovat vyšší rozdíly v chybovosti v důsledku vlivů hypoxického stavu na výkonnost subjektů.



Závěr

Současný stav výzkumu hypoxie stále neobsahuje dostatečné množství dat o subjektivním vnímání vlivů hypoxie v civilní sféře, které mohou být přínosem pro bezpečnost leteckého provozu. Tato práce si kladla za cíl zkoumat subjektivní vnímání a identifikaci hypoxického stavu, stanovit nejvýznamnější symptomy a jejich variabilitu v kontextu civilního personálu a stanovit vliv hypoxie na subjektivní hodnocení. K této problematice bylo přistoupeno vystavením účastníků experimentu hypoxii za použití ROBD, vystavení kognitivní námaze a následnému šetření subjektivního vnímání různých aspektů průběžné situace dotazníkovými metodami ve dvou kolech, kontrolním a hypoxickým.

I přes určité limitace bylo dosaženo závěru, že samotný výskyt jakéhokoliv rozeznatého symptomu nebyl nutně spojen s hypoxickým stavem účastníka. Naopak intenzita příznaků v porovnání s kontrolním kolem byla shledána významným ukazatelem pro hypoxii u následujících symptomů: „lehkost hlavy / závrat“, „zhoršený zrak“, „svalová slabost / nekoordinace“, „únava“, „zrychlené / neobvyklé dýchání“ a „dušnost, lapání po dechu“. Ve spojení ukazatelů intenzity a výskytu / vzniku byly za nejvýznamnější symptomy označeny „lehkost hlavy / závrat“ a „dušnost, lapání po dechu“ poskytující tak možnost spolehlivě rozpoznat hypoxický stav na základě subjektivní evaluace a dosahující pozitivního výsledku v kontextu cíle práce. Na opačném konci spektra je příznak bolest hlavy, který byl v této práci shledán upadající v intenzitě s nástupem hypoxie, nebo nejčastějším falešným symptomem placebo efektu, avšak bez definitivního, statisticky významného rozdílu při nástupu hypoxického stavu.

V samotném rozpoznání vlivu hypoxie na organismus bylo úspěšných celkem 13 účastníků (56,5 %), avšak ve vzorku této práce se nacházeli i lidé s předešlou zkušeností. Ovšem pokud člověk očekává hypoxický stav, je u něho možnost propadnutí placebo efektu a následně falešné identifikace. Samostatný čas identifikace se výrazně liší mezi individuálními subjekty kvůli různorodé odezvě organismů na nedostatek kyslíku. Dalšími dvěma subjektivními ukazateli odpovídající požadavkům rozlišit hypoxický stav bylo průběžné hodnocení celkového stavu a dýchání. Třetí kategorie subjektivního hodnocení, a to soustředění, se ukázala být nepřesná, či přinejmenším v této práci nevhodně využitá.



Nevhodně využítá byla také objektivní data kognitivního testování, která nespĺnila očekávání v kontextu cíle práce, nebyla shledána závislá na hypoxickém stavu do dostatečné míry pro statistický závěr a jejich korelace se subjektivním hodnocením nebyla nalezena.

Limitace této práce, odpovědné za některé nespĺněné cíle, obsahují nízkou velikost výzkumného vzorku, která nese odpovědnost za nižší přesnost určování významnosti symptomů a generalizaci výsledků. Z organizačního hlediska nebylo možno testovat více lidí kvůli časové tísní. Výsledky identifikace hypoxického stavu také může lehce zkreslovat nehomogenita výsledného vzorku v předchozí zkušenosti s vystavením organismu hypoxii a v praktickém zapojení do letectví. Celkem se jedná o 3 účastníky, kteří mají předchozí zkušenost s hypoxickým stavem a o 6 účastníků, kteří nemají čerstvé, praktické zkušenosti z letectví. Dalšími limitacemi jsou limitace praktické části experimentu, zejména těsný snímač oxymetru, který některým způsoboval brnění prstů a absence seznamovacího kola pro jednotlivé testy kognitivní námahy. Testy dále limituje selekce barev, kdy žlutá ve Stroopově testu je jednodušší na identifikaci, jelikož nejde tak dobře přečíst vůči bílému pozadí, a české názvy barev. Ty vyústily v situaci, kdy na klávesnici byla dvě podobná písmena „Z“ a „Ž“ (pro barvy zelená a žlutá), každé značící jinou odpověď. V neposlední řadě je limitujícím nehomogenní obtížnost testu mentální rotace pro různé vyobrazené tvary.

Proto bylo dosaženo závěrů, že v oblasti testování kognitivních funkcí je doporučené využívat anglický jazyk pro Stroopův test a vyšší kontrast mezi barvami pozadí a slova. Subjektivní vnímání vlivů hypoxie je doporučeno zkoumat více v kontextu civilního letectví a pro průběžné sebehodnocení výkonu je třeba využívat explicitnější metody. K implementaci subjektivního hodnocení jako praktických ukazatelů rozpoznání hypoxie je třeba další výzkum, pro který lze použít tuto práci jako základ a je doporučeno hlouběji zkoumat význam hypoxického tréninku v civilním letectví.



Seznam použité literatury

1. BOUAK, Fethi, Oshin VARTANIAN, Kevin HOFER a Bob CHEUNG. Acute Mild Hypoxic Hypoxia Effects on Cognitive and Simulated Aircraft Pilot Performance. *Aerospace Medicine and Human Performance* [online]. 2018, 89(6), 526-535 [cit. 2022-07]. ISSN 2375-6314. Dostupné z: doi:10.3357/AMHP.5022.2018
2. WATSON, David, Lee A. CLARK a Auke TELLEGEN. Development and validation of brief measures of positive and negative affect: The PANAS scales. *Journal of Personality and Social Psychology* [online]. 1988, 54(6), 1063-1070 [cit. 2022-07]. ISSN 0022-3514. Dostupné z: doi:10.1037//0022-3514.54.6.1063
3. SMETS, E.M.A., B. GARSSSEN, B. BONKE a J.C.J.M. DE HAES. The multidimensional Fatigue Inventory (MFI) psychometric qualities of an instrument to assess fatigue. *Journal of Psychosomatic Research* [online]. 1995, 39(3), 315-325 [cit. 2022-07]. ISSN 00223999. Dostupné z: doi:10.1016/0022-3999(94)00125-O
4. LEINONEN, Antti, Nikke VARIS, Hannu KOKKI a Tuomo K. LEINO. Normobaric hypoxia training in military aviation and subsequent hypoxia symptom recognition. *Ergonomics* [online]. 2021, 64(4), 545-552 [cit. 2022-07]. ISSN 0014-0139. Dostupné z: doi:10.1080/00140139.2020.1842514
5. MITCHELL, Simon J, Hayden M GREEN, Stacey A READING a Nicholas GANT. The utility and safety of hypoxia experiences for rebreather divers. *Diving and Hyperbaric Medicine Journal* [online]. 2019, 49(2), 112-118 [cit. 2022-07]. ISSN 22091491. Dostupné z: doi:10.28920/dhm49.2.112-118
6. BUSTAMANTE-SÁNCHEZ, Álvaro, Miguel DELGADO-TERÁN a Vicente Javier CLEMENTE-SUÁREZ. Psychophysiological response of different aircrew in normobaric hypoxia training. *Ergonomics* [online]. 2017, 62(2), 277-285 [cit. 2022-07]. ISSN 0014-0139. Dostupné z: doi:10.1080/00140139.2018.1510541
7. RUSSELL, William D. On the Current Status of Rated Perceived Exertion. *Perceptual and Motor Skills* [online]. 1997, 84(3), 799-808 [cit. 2022-07]. ISSN 0031-5125. Dostupné z: doi:10.2466/pms.1997.84.3.799



8. WOODROW, Andrew D., James T. WEBB a Grady S. WIER. Recollection of Hypoxia Symptoms Between Training Events. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* [online]. 2011, 82(12), 1143-1147 [cit. 2022-07]. ISSN 00956562. Dostupné z: doi:10.3357/ASEM.2987.2011
9. VAN DER POST, J., L. A. W. NOORDZIJ, M. L. DE KAM, G. J. BLAUW, A. F. COHEN a J. M. A. VAN GERVEN. Evaluation of tests of central nervous system performance after hypoxemia for a model for cognitive impairment. *Journal of Psychopharmacology* [online]. 2002, 16(4), 337-343 [cit. 2022-07]. ISSN 0269-8811. Dostupné z: doi:10.1177/026988110201600408
10. RAY, Koushik, Krishna KISHORE, Praveen VATS, et al. A Temporal Study on Learning and Memory at High Altitude in Two Ethnic Groups. *High Altitude Medicine & Biology* [online]. 2019, 20(3), 236-244 [cit. 2022-07]. ISSN 1557-8682. Dostupné z: doi:10.1089/ham.2018.0139
11. NATION, Daniel A., Mark W. BONDI, Ellis GAYLES a Dean C. DELIS. Mechanisms of Memory Dysfunction during High Altitude Hypoxia Training in Military Aircrew. *Journal of the International Neuropsychological Society* [online]. 2017, 23(1), 1-10 [cit. 2022-07]. ISSN 1355-6177. Dostupné z: doi:10.1017/S1355617716000965
12. PELAMATTI, Giovanna, Milena PASCOTTO a Carlo SEMENZA. Verbal Free Recall in High Altitude: Proper Names vs Common Names. *Cortex* [online]. 2003, 39(1), 97-103 [cit. 2022-07]. ISSN 00109452. Dostupné z: doi:10.1016/S0010-9452(08)70077-7
13. ARTINO, A. R. Jr., R.V. FOLGA, B.D. SWAN. Mask-On Hypoxia Training for Tactical Jet Aviators: Evaluation of an Alternate Instructional Paradigm. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* [online], 2006, 77(8), 857-63 [cit. 2022-07]. Dostupné z: PMID: 16909882
14. STILL, David L. a Leonard A. TEMME. An Independent, Objective Calibration Check for the Reduced Oxygen Breathing Device. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* [online]. 2012, 83(9), 902-908 [cit. 2022-07]. ISSN 00956562. Dostupné z: doi:10.3357/ASEM.3046.2012



15. ARTINO, Anthony R., Richard V. FOLGA a Charles VACCHIANO. Normobaric Hypoxia Training: The Effects of Breathing-Gas Flow Rate on Symptoms. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* [online]. 2009, 80(6), 547-552 [cit. 2022-07]. ISSN 00956562. Dostupné z: doi:10.3357/ASEM.2464.2009
16. SAUSEN, KP, MT WALLICK, B SLOBODNIK, JM CHIMIACK, EA BOWER, et al. The reduced oxygen breathing paradigm for hypoxia training: physiological, cognitive, and subjective effects. *Aviat Space Environ Med* [online]. 2001, 72, 539 – 45 [cit. 2022-07]. Dostupné z: PMID:11396560
17. RICE, G Merrill, CA VACCHIANO, JL Jr MOORE, DW ANDERSON. Incidence of decompression sickness in hypoxia training with and without 30-min O2 prebreathe. *Aviat Space Environ Med* [online]. 2003, 74, 56 – 61 [cit. 2022-07]. Dostupné z: PMID:12546299
18. CHIANG, Kwo-Tsao, Min-Yu TU, Chao-Chien CHENG, Hsin-Hui CHEN, Wun-Wei HUANG, Yu-Lung CHIU, Yun-Yi WANG a Chung-Yu LAI. Contributions of Hypoxia-Awareness Training to the Familiarization of Personal Symptoms for Occupational Safety in the Flight Environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health* [online]. 2021, 18(6) [cit. 2022-07]. ISSN 1660-4601. Dostupné z: doi:10.3390/ijerph18062904
19. CABLE, G. Gordon, Roderick WESTERMAN. Hypoxia recognition Training In Civilian Aviation: A Neglected Area Of Safety? *Aerospace Medical Services, JASAM* [online], 2010. 5(1), 169-72 [cit. 2022-07]. Dostupné z: <https://www.semanticscholar.org/paper/HYPOXIA-RECOGNITION-TRAINING-IN-CIVILIAN-AVIATION%3A-Cable-Westerman/5c2c757b223ccf84183352dab3796eef26adce89>
20. STROOP, J. R. Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology* [online]. 1935, 18(6), 643-662 [cit. 2022-07]. ISSN 0022-1015. Dostupné z: doi:10.1037/h0054651



21. COLLINS, David W. a Doreen KIMURA. A large sex difference on a two-dimensional mental rotation task. Behavioral Neuroscience [online]. 1997, 111(4), 845-849 [cit. 2022-07]. ISSN 1939-0084. Dostupné z: doi:10.1037/0735-7044.111.4.845
22. LI, Zefeng, Xiaojuan XUE, Xiaoyan LI, et al. Neuropsychological effect of working memory capacity on mental rotation under hypoxia environment. International Journal of Psychophysiology [online]. 2021, 165, 18-28 [cit. 2022-07]. ISSN 01678760. Dostupné z: doi:10.1016/j.ijpsycho.2021.03.012