

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE
Fakulta tělesné výchovy a sportu



HYPERKAPNIE A DIFUSE PLYNŮ VE SNĚHOVÉ LAVINĚ

(Změny funkčních parametrů jedinců v krizové situaci)

Autoreferát disertační práce

PRAHA 2013

PhDr. Michal MAŠEK

Bibliografická identifikace

Autor:

PhDr. Michal Mašek

Název práce:

Hyperkapnie a difuze plynů ve sněhové lavině
(Změny funkčních parametrů jedinců v krizové situaci)

Vědní obor:

Kinantropologie

Školitel:

doc. MUDr. Staša Bartůňková, CSc.

Konzultant specialista:

Ing. Ladislav Sieger, CSc.

Školící pracoviště:

Katedra fyziologie a biochemie FTVS UK v Praze

Doktorská práce představuje původní rukopis, s jehož kompletním textem se lze seznámit v Ústřední tělovýchovné knihovně UK FTVS Praha, José Martího 31, Praha 6.

Abstrakt

Název: Hyperkapnie a difuze plynů ve sněhové lavině - (Změny funkčních parametrů jedinců v krizové situaci)

Cíle práce: Cílem studie bylo kontinuální sledování kompenzačních mechanismů, zejména změn ventilačně-respiračních ukazatelů, v simulované sněhové lavině.

Metoda: K získání dat byl použit experiment a nestandardizovaný dotazník. Výběr souboru byl vzhledem ke sledované problematice přísně selektivní. Výzkumu se účastnilo 22 probandů, ale po analýze dat bylo pro nesplnění požadovaných kritérií 11 osob vyřazeno. Soubor tedy tvořilo 11 zdravých mužů průměrného věku 25,3 let. Před vlastním experimentem byla pomocí osobního spirometru testována senzitivita na hyperkapnii a hypoxii (výdrž v apnoii) a dechová zdatnost (vitální kapacita plic s usilovným výdechem). Experimentální situaci představovalo jak dýchání do uzavřeného objemu (8 l), tak do vytvořené vzduchové kapsy ve sněhu (400 ml). Kontinuální záznamy oběhových funkcí (srdeční frekvence, krevní tlak) a ventilačně-respiračních parametrů (dechová frekvence, dechový objem, minutová ventilace, obsah O₂ a CO₂ ve vdechovaném a vydechovaném vzduchu, odpor při výdechu a saturace krve kyslíkem) byly snímány patientským monitorem DATEX Ohmeda. Vzhledem k charakteru dat byla využita analýza rozptylu při opakovaném měření se dvěma faktory (dvoucestná ANOVA).

Výsledky: Disertační práce byla pojata jako pilotní studie, určená pro potřeby dalších výzkumů zabývajících se podobnou tematikou, tzn. přežitím člověka pod sněhovou lavinou. Byly vypracovány technické postupy jak simulovat dýchání ve sněhu při současné eliminaci rizikové hypotermie. Srovnáním výsledků dvou experimentálních situací - dýchání do uzavřeného objemu a do vzduchové kapsy ve sněhu - byly potvrzeny hypotézy o možnostech difusibility respiračních plynů ve sněhu s limitací přežití danou velikostí sněhové kapsy. Objevily se interindividuální rozdíly ve způsobech dýchání a v možnostech jejího „prodýchnutí“.

Získané výsledky mají svá omezení vycházející ze specificky různých experimentálních podmínek a z reakcí zdravých, fyzicky i psychicky zdatných jedinců.

Klíčová slova: sněhová lavina, asfyxie, hypoxie, hyperkapnie, přežití, difuze, konvekce, vzduchová kapsa

OBSAH

1	ÚVOD	5
2	METODOLOGICKÁ ČÁST	7
2.1	CÍLE, VÝZKUMNÉ OTÁZKY, HYPOTÉZY A ÚKOLY PRÁCE	7
2.1.1	<i>Cíl práce</i>	7
2.1.2	<i>Výzkumné otázky</i>	7
2.1.3	<i>Hypotézy</i>	7
2.1.4	<i>Úkoly práce</i>	7
2.2	METODOLOGIE VÝZKUMU.....	8
2.2.1	<i>Pilotní studie</i>	8
2.2.2	<i>Výběr výzkumné metody</i>	9
2.2.3	<i>Časová osa realizace výzkumu</i>	10
2.2.4	<i>Charakteristika výzkumného souboru</i>	11
2.2.5	<i>Zajištění bezpečnosti</i>	12
2.2.6	<i>Průběh testování.....</i>	13
2.2.7	<i>Měřená data a měřicí přístroje</i>	14
2.2.8	<i>Organizace sběru, získání a zpracování dat.....</i>	15
2.2.9	<i>Analýza a statistické zpracování dat</i>	16
2.2.10	<i>Řešení zvláštních situací.....</i>	16
3	VÝSLEDKOVÁ ČÁST	18
3.1	VÝSLEDKY MĚŘENÝCH DAT.....	18
3.1.1	<i>Základní měření</i>	18
3.1.2	<i>Funkční měření.....</i>	18
3.1.3	<i>Měření sněhových a klimatických podmínek</i>	19
3.1.4	<i>Dýchání do uzavřeného objemu a dýchání do vzduchové kapsy ve sněhu</i>	20
3.2	VYHODNOCENÍ DOTAZNÍKU.....	27
4	DISKUSE	29
4.1	ZHODNOCENÍ EXPERIMENTÁLNÍHO SOUBORU	29
4.2	ANALÝZA VÝSLEDKŮ.....	29
4.3	SROVNÁNÍ S JINÝMI VÝZKUMY	34
5	ZÁVĚR.....	38
6	SEZNAM VYBRANÉ LITERATURY	39

1 Úvod

Poslední dobou, zejména na přelomu dvacátého a jednadvacátého století, začalo docházet k prudkému rozvoji různých sportovních odvětví. Je tomu tak i v případě vysokohorské turistiky, horolezectví, skialpinismu a dalších outdoorových sportů. Tento stav je způsoben především zvýšenou industrializací od konce druhé světové války a neustálém zdokonalování materiálů využívaných ke sportovním aktivitám. Tyto aktivity nejsou již zdaleka výsadou úzké skupiny lidí, vrcholových sportovců, horolezců nebo místních horalů, kteří oblast dobře znají, nýbrž zaznamenaly ohromný rozmach i mezi běžnou populací. Tomuto trendu také výrazně napomáhá tzv. „zkracování vzdáleností“, lepší finanční dostupnost sportovního náčiní, masové využívání internetu a s tím spojená informovanost o nových sportovních aktivitách a jejich následném využití.

Za výraznou součást turistiky a pohybu v zimní krajině je považován skialpinismus. Při této sportovní aktivitě se člověk pohybuje v překrásné zimní přírodě, daleko od civilizace, nestíhán starostmi všedního života. Je to však také sport, při kterém hrozí určitá rizika. Člověk jenž se pohybuje ve vysokých nadmořských výškách musí prokázat nejen své schopnosti a dovednosti, ale v některých případech překonávat sám sebe, neboť při pohybu v horách si lze často sáhnout až na dno svých fyzických, i psychických sil. Vysokohorská turistika, ať na lyžích, sněžnicích, mačkách nebo jen pěšky je velmi atraktivní, právě pro intenzivní pocit svobody a nespoutanosti, který lze v zimní krajině daleko od vymožeností moderní civilizace prožít.

Ten kdo se chce věnovat těmto aktivitám by měl mít patřičné znalosti a dovednosti, neboť pohyb v horách sebou přináší spoustu rizik. Jeden z nejvážnějších problémů, který existuje v horách v zimním období, je lavinové nebezpečí. Je často podceňováno, ačkoli v lavině každoročně přijde o život několik desítek osob. Každý, kdo se pohybuje v místech, kde hrozí možnost pádu laviny, by měl velmi dobře znát postup po jejím stržení a především vědět jak nebezpečí rozpoznat, jak se mu vyhnout, kudy a jak volit cestu v oblasti lavinových svahů, či vědět, jak se zachovat v případě, že se do laviny dostane.

Šance nezraněného člověka na přežití pod lavinou jsou spojeny s problematikou hyperkapnie a hypotermie. Vzduchu je v prachovém sněhu dostatek, problémem je zvyšující se koncentrace CO₂ v okolí dýchacích cest. Ze statistik vyplývá, že více než 50 % lidí, kteří byli zasypáni lavinou nepřežije. Pro přežití v lavině je tedy kromě rizika hypotermie rozhodující existence vzduchové kapsy a možnosti difuze CO₂.

Dosavadní česká odborná literatura poskytuje pouze velice obecné informace o pobytu člověka pod sněhovou lavinou. Pro chování člověka v lavině jsou doporučované obecné postupy, které většinou vycházejí ze zpracovaných kasuistik. Výzkumným aktivitám v této oblasti nebyla zatím u nás, oproti alpským zemím, věnována dostatečná pozornost.

Problematika lavinového nebezpečí, správného chování se v horách a činnosti po stržení laviny nebo zasypání masou sněhu je vzhledem k uvedeným skutečnostem velice aktuální. Z důvodu aktuálnosti a atraktivnosti dané tematiky jsem si zvolil disertační práci, která se zabývá změnami ventilačně-respiračních parametrů, fyziologických procesů a kompenzačních mechanismů lidského organismu zasypaného v simulované sněhové lavině v závislosti na čase.

2 Metodologická část

2.1 Cíle, výzkumné otázky, hypotézy a úkoly práce

2.1.1 Cíl práce

Cílem výzkumu bylo kontinuální sledování kompenzačních mechanismů, zejména změn ventilačně-respiračních ukazatelů, v simulované sněhové lavině.

2.1.2 Výzkumné otázky

- Jaké fyziologické rozdíly nastávají v organismu při výměně plynů u dýchání do uzavřeného objemu a dýchání do vzduchové kapsy ve sněhu?
- Jaký je vztah mezi objemem vzduchové kapsy ve sněhu, rychlostí nárůstu koncentrace CO_2 a poklesu koncentrace O_2 ve vdechovaném vzduchu z této kapsy?

2.1.3 Hypotézy

H 1 Dýchání ze vzduchové kapsy ve sněhu, na rozdíl od dýchání z uzavřeného objemu, poskytuje kontinuální přísun O_2 a odvod CO_2 .

H 2 Zásadní význam pro výměnu plynů při ventilaci pod sněhovou lavinou má velikost vzduchové kapsy.

2.1.4 Úkoly práce

- Sběr a studium dokumentů a dat týkajících se tohoto tématu.
- Analýza a srovnání získaných informací.
- Výběr informací a vyvození důsledků pro samotné měření.
- Oslovení kompetentních osob a zajištění jejich účasti na experimentu (lékař, zdravotník, příslušníci horské služby, zástupci SHM (Společnost horské medicíny) a lékařské komise ČHS (Český horolezecký svaz).
- Výběr probandů.

- Vytvoření nestandardizovaného dotazníku.
- Měření před zahájením vlastního experimentu (základní antropometrické parametry, test apnoe a spirometrické měření (FVC a FEV₁).
- Měření fyziologických parametrů v laboratorních podmínkách - dýchání do uzavřeného objemu (nedifusibilní prostředí).
- Příprava experimentálního prostředí (vytvoření standardní vzduchové kapsy ve sněhu a její bezpečné utěsnění).
- Měření klimatických a sněhových podmínek.
- Měření fyziologických parametrů v terénních podmínkách - dýchání do vzduchové kapsy ve sněhu (simulace laviny).
- Převod videozáznamů od jednotlivců do tabulek.
- Číselné a grafické zpracování výsledků.
- Interpretace získaných dat.
- Zpracování předběžných výsledků pro prezentaci u doktorské zkoušky.
- Sepsání disertační práce.

2.2 Metodologie výzkumu

2.2.1 Pilotní studie

Celá tato výzkumná práce je pojata jako pilotní studie, která měla za úkol prověřit technickou stránku možností pro podobná měření, získat zkušenosti a zároveň první data.

Následující výzkum by se měl detailněji zabývat sledováním změn ventilačně-respiračních parametrů, fyziologických procesů a kompenzačních mechanismů lidského organismu zasypaného v simulované sněhové lavině v závislosti na čase a proměnlivosti sněhových podmínek.

Předpokládáme, že teprve navazující experimenty a další práce budou schopny obsáhnout další podrobnější informace a možnosti, které se v takto široké problematice vyskytují.

2.2.2 Výběr výzkumné metody

Projekt se skládá z několika částí, jednou z nejdůležitějších je experimentální část – samotné měření (simulace podmínek ve sněhové lavině). Ta má charakter empirického kvantitativního i kvalitativního výzkumu.

Pro získání dat tohoto charakteru můžeme použít mnoho způsobů.

Mezi základní rozdělení patří:

- a) pozorování
- b) dotazování
- c) experiment

Pozorování jsme jako možný způsob získání dat zavrhnuli. Tato možnost v podstatě nepřicházela v úvahu, neboť bylo potřeba získat konkrétní hodnoty z lékařských přístrojů při pobytu probandů v simulované sněhové lavině. Pozorování proběhlo pouze v rámci zajištění bezpečnosti experimentu. Jednalo se o sledování reakcí probanda.

Dotazování jsme vyhodnotili jako účelné, i když pouze doplňující řešení k získání potřebných dat a údajů. Dotazování má opět několik možných forem.

Formy dotazování:

- a) rozhovor
- b) anamnéza
- c) dotazník

Rozhovor a jeho formy jsme zamítli zejména z důvodu emotivních reakcí po ukončení měření, neuspořádanému sdělování subjektivních pocitů a také častému dotazování probandů jak dlouhou dobu byli schopni ze sněhové kapsy dýchat. Tím hrozila reálná možnost odklonění rozhovoru od témat výzkumu i samotného měření.

Anamnéza se pro výzkum tohoto typu nehodí vůbec, jelikož se zabývá výzkumem života respondentů.

Studium prací Hendla (1990, 2004) a zároveň rozbor daného problému s odborníky, nás přivedly k myšlence použít jako doplňující metodu sběru dat dotazování, konkrétně dotazování pomocí nestandardizovaného dotazníku. Dotazník je ideální doplňující způsob získání dat a údajů pro tento druh výzkumu. Jeho klady vidíme zejména v jednoduché dostupnosti informací od zkoumaného vzorku respondentů. Pro zjednodušení celého výzkumu jsme zvolili formu ústního dotazování ihned po ukončení měření.

Hlavním způsobem k získání dat bylo v tomto případě použito jediné možné řešení – experiment. Je to nejvhodnější způsob pro získání validních dat s takovým množstvím proměnných. S naměřenými hodnotami jsme mohli pracovat a následně je dále vyhodnocovat. I když celkové zpracování všech informací bylo vzhledem k naměřenému množství údajů a počtu probandů značně časově náročné.

Experiment měl charakter empirického kvantitativního i kvalitativního výzkumu. **Vstupní proměnnou** byla experimentální situace, konkrétně simulace sněhové laviny, **závislými proměnnými** byly hodnoty měřených ventilačně-respiračních parametrů ovlivňujících zpětně **výstupní proměnnou**. Prostřednictvím dýchání docházelo u obou experimentálních měření (uzavřený objem a vzduchová kapsa ve sněhu) k poklesu množství kyslíku a zároveň k nárůstu oxidu uhličitého.

2.2.3 Časová osa realizace výzkumu

V disertační práci jsme postupovali v níže uvedeném pořadí, ale je nutné podotknout, že mezi jednotlivými popsány částmi výzkumu jsme realizovali **odborné konzultace**, a to jak s odborníky v oblasti plicní ventilace, především s členy Katedry biomedicínské techniky z ČVUT-FBMT, tak s metodologem prof. RNDr. Janem Hendlem, CSc. z FTVS UK. Ti nám výrazně pomohli s odbornou i metodologickou částí výzkumné práce.

Experimentální měření vyžadovalo **souhlas etické komise a informovaný souhlas probanda**. Etická komise UK FTVS odsouhlasila záměr, realizaci projektu a stanovila bezpečnostní kritéria. „Žádost o vyjádření etické komise UK FTVS“ i „Informovaný souhlas probanda“ jsou součástí disertace.

Vlastnímu výzkumu předcházelo **oponentní řízení** na katedře fyziologie a biochemie FTVS UK v Praze o celkovém záměru a směru celé disertační práce. V této fázi jsme se také rozhodli pro konkrétní téma, postup měření a zpracování dat.

V souvislosti se zahájením příprav byli osloveni zástupci Společnosti horské medicíny a Lékařské komise České Horské společnosti.

Další fází disertační práce byla vlastní **tvorba anketního šetření**, tedy sestavení souboru otázek pokládaných po ukončení měření a jejich dodatečná formulace.

Experimentální část výzkumné práce byla realizována ve Špindlerově Mlýně v Krkonoších, v okolí chaty Zlatá vyhlídka. Přesně experimentální měření proběhlo na souřadnicích N 50°43.607' (severní šířky) a E 015°35.912' (východní délky) v nadmořské výšce 762 m. n. m. Příprava na experiment probíhala ve dnech 4. 3. a 5. 3. 2012. Samotné měření pak v termínu 6. 3. – 9. 3. 2012. Konkrétní naměřená data a hodnoty jsme v dalších

dnech analyzovali, zpracovali a předběžné výsledky přednesli na mezinárodní, studentské, vědecké konferenci „Scientia movens 2012“, kterou jsme využili zejména k seznámení účastníků konference s projektem a představení dílčích výsledků prováděného měření (Mašek, 2012).

V průběhu těchto jednotlivých kroků jsme po konzultaci s metodology RNDr. Jaromírem Běláčkem, CSc. a Mgr. Martinem Komarcem z Odd BioStat ři ÚBI 1.LF UK a VFN Praha a prof. RNDr. Janem Hendlem, CSc. z FTVS UK zvolili **konečné metody zpracování dat**.

Poslední fází výzkumu bylo závěrečné zpracování dat a jejich popis pro potřeby disertační práce.

2.2.4 Charakteristika výzkumného souboru

Cílem projektu **nebylo testování souboru**. Výběr souboru nemohl být vzhledem ke sledované problematice náhodný, naopak, výběr byl přísně selektivní.

Pro experimentální měření bylo potřeba využít **zdravé, fyzicky i psychicky zdatné jedince**. Proto se, po zralé úvaze, stali probandy studenti Vojenského oboru při FTVS UK Praha a příslušníci létajícího personálu 24.zDL Praha-Kbely, tedy vojáci z povolání, kteří každý rok u svého posádkového lékaře absolvují roční lékařskou prohlídku. Podmínkou byla zdravotní klasifikace A (v AČR nejvyšší možná zdravotní klasifikace).

Kromě zdravotní způsobilosti se jednalo o jedince s vysokou psychickou odolností (u studentů testováno v ÚVN Praha při vstupu do AČR, u létajícího personálu testováno v ÚLZ Praha během pravidelných ročních prohlídek). Navíc všichni museli být nekuřáci a z výročního přezkoušení tělesné výkonnosti být hodnoceni známkou 1 nebo 2 (podmínkou byla klasifikace známkou 1 nebo 2 minimálně tři roky zpět od data provádění experimentu). Experiment byl realizován v rámci přežití létajícího personálu v zimních podmínkách, kterého je povinen se tento personál na základě předpisu Let 3-10 jedenkrát ročně zúčastnit.

Celkem bylo odměřeno 22 probandů. Minimální doba výdrže u obou testů (dýchání do uzavřeného objemu a dýchání do vzduchové kapsy ve sněhu) byla stanovena na pět minut. Při zpracování dat jsme **jedenáct** probandů **vyřadili** a s jejich naměřenými hodnotami dále nepracovali. K tomuto kroku jsme museli přistoupit z důvodu jejich předčasného ukončení experimentu a následné nemožnosti vzájemné komparace obou měření.

2.2.5 Zajištění bezpečnosti

Experiment byl v reálných podmínkách prováděn ve spolupráci s lékaři Kliniky anesteziologie, resuscitace a intenzivní medicíny Ústřední vojenské nemocnice - Vojenské fakultní nemocnice Praha, zástupci SHM (Společnost horské medicíny) a zástupci lékařské komise ČHS (Český horolezecký svaz).

Pacientským monitorem DATEX Ohmeda byly snímány vybrané oběhové (EKG, srdeční frekvence, krevní tlak), ventilační (minutová ventilace, dechový objem, dechová frekvence a odpor při výdechu) a respirační parametry – inspirovaný a expirovaný oxid uhličitý (FiCO_2 a EtCO_2) a inspirovaný a expirovaný kyslík (FiO_2 , EtO_2). Pulzním oxymetrem, pracujícím na měnící se průsvitnosti tkání byla měřena saturace krve kyslíkem (SpO_2).

Orientačně byla snímána i tělesná teplota probanda, ale vzhledem k relativně krátké době trvání experimentu jsme podchlazení organismu nepředpokládali. Všechny uvedené údaje nás průběžně informovaly o aktuálním stavu sledovaného jedince. Dále jsme byli s probandou v neustálém kontaktu, tzn. museli aktivně reagovat zvednutím ruky, nohy či řešit jednoduché matematické úkoly např. ukázat správný počet prstů (pro kontrolu jejich mozkové činnosti). Měření bylo ukončeno v okamžiku, kdy o to sami požádali, pokud reagovali nesprávným způsobem nebo na základě hodnot z přístrojů, jenž by při dalším pokračování překročily bezpečné zdravotní limity lidského organismu.

Hodnocení prováděl lékař – anesteziolog, který se při rozhodování o ukončení měření nespolehal pouze na údaje z přístrojů, ale hodnotil i celkový stav a chování probandů. K bezpečnostním opatřením patřila rovněž přítomnost příslušníků Horské služby. K dispozici jsme měli vozidlo LRD 130 Z (sanitka) vybavené pro první pomoc a vyškoleného zdravotníka.

Důvody pro ukončení experimentu:

- dosažení kritické koncentrace FiCO_2 (8%) a SpO_2 (65 %)
- snížení schopnosti probanda správně odpovídat na zadávané matematické úkoly (kontrola mozkových funkcí) např. ukazováním výsledků počítání na prstech
- žádost probanda o ukončení (vynětí náustku)
- pokyn lékaře – anesteziologa, který kontinuálně sledoval stav a projevy probanda

2.2.6 Průběh testování

Experiment byl zahájen měřením základních antropometrických a vybraných spirometrických dat, které měly orientačně charakterizovat sledovaný soubor.

A. Základní antropometrická data

- **Kalendářní věk** byl stanoven podle tabulek pro převod kalendářních dnů a měsíců na desetiny roku (Kohlíková, 2012).
- **Hmotnost** byla měřena osobní elektronickou váhu s váživostí 130 kg a přesností 100 g.
- **Výška** byla stanovena setem pro měření výšky.

B. Funkční měření:

- Pro orientační hodnocení dechové zdatnosti jsme zvolili osobní spirometr MSP1 od výrobce Mesit Uherské Hradiště. Měřena byla usilovná **vitální kapacita plic** (FVC) a **usilovný expirační objem** za 1 sekundu FEV₁.
- Pro změření **statické apnoe** v **inspiriu** i **expiriu** byly použity digitální stopky.

C. Laboratorní měření – dýchání do uzavřeného objemu

Po absolvování předtestů se změřením hmotnosti, výšky, vitální kapacity plic, usilovného expiračního objemu a statické apnoe (pro posouzení senzitivity na hypoxii a hyperkapnii), se každý proband zúčastnil prvního měření. Dýchal, co nejdéle, do **uzavřeného objemu**, který představoval igelitový nedifusibilní vak, o objemu **8 l**. Měření probíhalo v sedě, v budově, za normální pokojové teploty. Při tomto měření byla eliminována difuze plynů.

D. Terénní měření – dýchání do vzduchové kapsy ve sněhu

Následující den, z důvodu úplného vysycení CO₂ z organismu a zabezpečení validity a reliability testu, proběhlo dýchání do vzduchové kapsy ve sněhu. Pro opakovatelnost měření byla vždy, pro každého jedince zvlášť, vytvořena polokulovitá vzduchová kapsa o objemu 400 ml. Svrchu byla překryta kovovou deskou, od které vedly hadice končící v náustku probanda. Deska byla překryta igelitem a sněhem, aby byl vyloučen únik a difuze plynů směrem nahoru. Tím byla ve vzduchové kapse zajištěna konvekce vzduchu ze sněhu do kapsy a difuze CO₂ z kapsy do sněhu.

V rámci experimentu nebyl nikdo zasypán sněhem, všichni probandi měli po celou dobu měření možnost volného pohybu. Leželi obličejem dolů na nosítkách s karimatkou (zabezpečení tepelné izolace) jenž byly umístěny na sněhu. Měřený jedinec měl v ústech náustek, který mu umožňoval dýchání do prostoru vzduchové kapsy pod ním.

Měření bylo realizováno pomocí jednosměrných ventilů tak, aby byl zabezpečen nádech ze sněhové kapsy a výdech opět zpět do prostoru sněhové kapsy. Tím jak narůstal čas, začalo se postupně zvyšovat množství oxidu uhličitého ve vzduchové kapse ve sněhu, a dýchání probandů bylo stále více obtížnější. Mimo uvedené skutečnosti nebyl při dýchání do uzavřeného objemu a dýchání do vzduchové kapsy ve sněhu naprosto žádný rozdíl.

Obě části experimentu (dýchání do uzavřeného objemu i dýchání do vzduchové kapsy ve sněhu) byly monitorovány patientským monitorem DATEX Ohmeda a kontrolním patientským monitorem LIFEPAK 15 monitor/defibrillator.

Pokládání otázky po ukončení měření:

- 1) Jak pohodlná – nepohodlná Vám připadala poloha na nosítkách (dotazování po dýchání do sněhové kapsy) (bolest za krkem, zima, apod.)?
- 2) Měl jste bolesti hlavy (kdy začala, jak výrazná byla)?
- 3) Měl jste rozostřené vidění (mžítka před očima, tunelové vidění, apod.)?
- 4) Měl jste pocity brnění v končetinách (nohy, ruce nebo prsty)?
- 5) Proč jste měření ukončil, čím jste byl limitován, co Vás omezovalo?
- 6) Myslíte si, že byste ještě nějakou chvíli vydržel a pokud ano tak jak dlouho?
- 7) Pociťoval jste nějaké rozdíly mezi dýcháním do uzavřeného objemu a dýcháním do vzduchové kapsy ve sněhu?
- 8) Sdělte nám, prosím, Vaše další subjektivní pocity.

2.2.7 Měřená data a měřící přístroje

- **Hustota sněhu** byla měřena kalibrovaným měřícím válcem o objemu 500 ml (zapůjčen od pracovníků KRNAP, kteří pravidelně provádějí měření hustoty sněhu) a elektronickou vahou OHAUS typ LS 5000, s váživostí 5 kg a přesností 2 g.
- **Teplota sněhu i vzduchu** byla měřena kontinuálně po celou dobu experimentů (6 dní) ústřednou miniCube (výrobce EMS Brno, www.emsbrno.cz) a teplotními čidly Pt 100.
- **Těsnost vzduchové kapsy** byla prováděna vždy před, i po ukončení měření. Pro kontrolu těsnosti vzduchové kapsy jsme použili tlakoměr Testo 512 s rozsahem 0 – 2 hPa. Jako zdroj tlakového vzduchu byl použit kompresor ORFI 190/24 W

bezolejový s technickými parametry – nasávané množství vzduchu $190 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$, max. přetlak 8 barů, tlaková nádoba 24 l s redukčním ventilem AS2*01F-01-04S o konstantním průtoku $60 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$, s regulátorem tlaku vzduchu IR1000-F01 od firmy SMC.

- **EKG záznam, srdeční frekvence a krevní tlak** byly snímány patientským monitorem DATEX Ohmeda.
- **Ventilační** (dechová frekvence, dechové objemy, minutová ventilace, odpor při výdechu) a **respirační parametry** (FiCO_2 , EtCO_2 , FiO_2 , EtO_2) byly rovněž snímány patientským monitorem DATEX Ohmeda.
- **Saturace krve kyslíkem** (SpO_2) byla snímána patientským monitorem DATEX Ohmeda, zahrnujícím pulzní oxymetr. Bylo však použito i nezávislé kontrolní snímání patientským monitorem LIFEPAK 15 monitor/defibrillator od firmy Physio Control.
- **Tělesná teplota** probanda byla sledována měřicí ústřednou teploty Minikin T, (výrobce EMS Brno, www.emsbrno.cz).
- **Velikost vzduchové kapsy** po ukončení měření byla měřena standardním ocelovým měřítkem. V našich podmínkách bylo možno měřit jen změnu hloubky této kapsy.

2.2.8 Organizace sběru, získání a zpracování dat

Vlastní experiment zahrnoval především měření ventilačních parametrů jako jsou minutová ventilace, dechová frekvence a dechové objemy s monitorováním teploty vydechovaného vzduchu a nárůstu koncentrace CO_2 ve vytvořené vzduchové kapse. Dále průběžné sledování srdeční činnosti pomocí 3 svodového EKG. Snímání FiCO_2 , EtCO_2 , FiO_2 a EtO_2 bylo prováděno patientským monitorem DATEX Ohmeda, nezávisle (zdvojeně) bylo snímáno SpO_2 . Experiment byl ukončen na vlastní žádost probanda (mohl sám vyndat náustek), nebo poklesem SpO_2 a nárůstem expirovaného CO_2 pod a nad kritické hodnoty, případně na příkaz lékaře – anesteziologa, který se při rozhodování o ukončení měření nespolehal pouze na údaje z přístrojů, ale hodnotil i celkový stav a chování probandů.

Simulace laviny proběhla v experimentálních podmínkách sněhové závěje po již ověřených předtestech. Proband ležel na nosítkách s karimatkou, přes něj byl přehozen spací pytel tak, aby byl zachován co nejlepší, možný tepelný komfort. Tělo i ruce mu zůstaly volné, dýchal prostřednictvím náustku. Kontakt s ním byl zajištěn opticky, akusticky i taktilně.

Naměřená data sledovaných parametrů byla zpracována do protokolů, snímána na dvě zcela nezávislé videokamery a následně předzpracována v tabulkovém kalkulátoru (Excel 2003 resp. open source pod licenci GNU z kancelářského balíku Open Office).

2.2.9 Analýza a statistické zpracování dat

Analýzu naměřených dat jsme provedli v programu Statistika. Normalitu sledovaných proměnných jsme hodnotili na základě odchylek šikmosti (skewness) a špičatosti (kurtosis) od nulové hodnoty (normálního rozdělení) a rovněž pomocí Kolmogorov-Smirnova testu normality. Na základě výsledků těchto testů jsme usoudili, že předpoklad normality je splněn u převážné většiny proměnných, a proto jsme se rozhodli pro analýzu průměrných hodnot.

Vzhledem k charakteru dat jsme využili analýzu rozptylu při opakovaném měření se dvěma faktory (2-way repeated analysis of variance), kdy jeden faktor představoval různé podmínky pozorování (2 opakování) a druhý faktor představoval časový průběh pozorování v rámci daných podmínek (11 opakování). Hodnoty $p < 0,05$ byly považovány za statisticky významné. V grafech jsou tyto body označeny hvězdičkou (*).

2.2.10 Řešení zvláštních situací

Mezi zvláštní situace jsme zahrnuli problémy technického a organizačního rázu, které bezprostředně ohrožovaly přesnost a reprodukovatelnost naměřených údajů. Na základě poznatků z předchozího pilotního měření jsme se zaměřili na následující body.

- **Měření hmotnosti sněhu.** Váha byla temperována na spodní hranici provozní teploty udávanou výrobcem (-10°C). Před zahájením vlastního měření jsme kalibrovali váhu na místě měření sněhu externím závažím o hmotnosti 200 g.
- **Měření teploty sněhu a vzduchu.** Ústředna miniCube se šesti teplotními čidly byla konstruována pro dlouhodobá outdoorová měření (rok a více) v teplotním rozsahu -40°C až $+60^{\circ}\text{C}$. Po celou dobu experimentu nedošlo k žádným technickým problémům.
- **Měření fyziologických parametrů.** Nejnáročnějším článkem celého terénního experimentu byla příprava adekvátních podmínek pro použití patientského monitoru DATEX Ohmeda.

Jednalo se zejména o:

- **Dodržení teplotního rozsahu stanoveného výrobcem.** Patientský monitor DATEX Ohmeda byl umístěn ve stanu, temperování přístroje jsme zabezpečili topnými fóliemi a dodatečnou tepelnou izolací.
- **Funkčnost hadic** pro odběry analyzovaných plynů (**nebezpečí zamrznutí**). Hadice jsme zdvojili, dodatečně izolovali, zajistili externí vytápění odporovým

drátem, navíc byl připraven kompresor s tlakovým vzduchem pro vyčištění (profouknutí) hadic.

- **Činnost odlučovače vlhkosti** (defendru) (**nebezpečí zamrznutí**). Záložní odlučovač byl připraven v pohotovosti.
- **Měřená data byla zobrazována paralelně 2x**. Jednou přímo ve stanu, v němž byl umístěn patientský monitor DATEX Ohmeda a podruhé na externím monitoru, mimo měřicí stanoviště.

Vybavení stanu – měřícího pracoviště

- Patientský monitor DATEX Ohmeda.
- Analogové nástěnné hodiny s velkým displejem.
- Závěsná svítidla na osvětlení stanu.
- Kamera se stativem pro kontinuální snímání:
 - displeje patientského monitoru DATEX Ohmeda,
 - hodin s aktuálním časem (důležitý byl jednotný čas měření)
 - zvukové stopy s online komentářem měření.

Vybavení měřícího stanoviště probanda

- Druhá kamera, určená pro online snímání stavu probanda.
- Nosítka, matrace, karimatka a spacák pro lepší izolaci probanda, ležícího na sněhu.
- Podmínkou byla přítomnost lékaře.

Vybavení stanoviště řídícího pokusu

- Třetí kamera, která byla určena pro celkový pohled na organizaci a průběh experimentu.
- Externí monitor připojený k patientskému monitoru DATEX Ohmeda.
- Záložní snímač SpO₂ – patientský monitor LIFEPAK 15 monitor/defibrillator.
- Vysílačka pro komunikaci s týmem.

3 Výsledková část

3.1 Výsledky měřených dat

3.1.1 Základní měření

Věková hranice probandů se pohybovala od 19 do 35 let, průměrný **věk** probandů byl **25,3 roku** se směrodatnou odchylkou 4,5.

Hmotnost probandů byla od 68 do 91 kg, průměrná hmotnost byla **79,2 kg** se směrodatnou odchylkou 7,5.

Průměrná **výška** probandů byla **180,6 cm**. Minimální naměřená výška byla 173 cm a maximální výška 192 cm. Směrodatná odchylka byla 5,4.

3.1.2 Funkční měření

Při měření usilovné vitální kapacity plic, **FVC**, byly naměřeny hodnoty 3,8 l (minimální) a 5,9 l (maximální). Průměrná vitální kapacita plic byla **4,9 l** se směrodatnou odchylkou 0,6.

Při měření usilovného expiračního objemu za 1 sekundu (FEV_1) jsme naměřili minimální hodnotu 3,8 l a maximální hodnotu 5,2 l. Průměrná hodnota **FEV_1** byla **4,4 l** a směrodatná odchylka 0,4.

U statické **apnoe v inspiriu** se naměřené hodnoty probandů pohybovaly v rozmezí od 37 s do 120 s. Průměrná hodnota byla **63 s** se směrodatnou odchylkou 25.

U statické **apnoe v expiriu** byla minimální naměřená hodnota 23 s, maximální hodnota 79 s a průměrná hodnota **42 s** se směrodatnou odchylkou 16.

Tabulka 1 Antropometrická a funkční charakteristika souboru

Ukazatele	$\bar{X} \pm sd$	min.	max.
Věk (r)	25,3 ± 4,5	19	35
Výška (cm)	180,6 ± 5,4	173	192
Hmotnost (kg)	79,2 ± 7,5	68	91
FVC (ml)	4915,5 ± 603,5	3770	5880
Náležitá VC (%)	99,1 ± 13	71,8	114,2
FEV_1 (ml)	4385,5 ± 448,8	3760	5150
FEV_1 (%)	89,7 ± 6,1	79,1	99,7
Inspirační apnoe (s)	63 ± 25	37	120
Expirační apnoe (s)	42 ± 16	23	79

3.1.3 Měření sněhových a klimatických podmínek

Měření hustoty sněhu jsme prováděli každý den, od 5. 3. 2012 do 8. 3. 2012, vždy ráno před zahájením testu s dýcháním do vzduchové kapsy ve sněhu. Hustotu sněhu jsme změřili pokaždé třikrát a hodnoty zprůměrovali. Konkrétní průměrné hodnoty pro uvedené dny byly $405 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, $310 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, $348 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a $378 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Celková průměrná **hodnota hustoty sněhu** byla **$360 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$** .

Teplota sněhu byla měřena kontinuálně po celou dobu experimentu, 20 cm pod povrchem sněhové pokrývky. Nejnížší naměřená hodnota byla **$-5,8^{\circ}\text{C}$** , nejvyšší hodnota **$-0,5^{\circ}\text{C}$** . Teplota se v době realizace experimentu (dýchání do vzduchové kapsy ve sněhu) pohybovala s 95-ti % pravděpodobností v tolerančním pásmu od $-3,1^{\circ}\text{C}$ do $-0,5^{\circ}\text{C}$.

Teplota vzduchu byla měřena kontinuálně po celou dobu experimentu, ve výšce 2 m nad povrchem terénu. Nejnížší naměřená hodnota byla **$-7,5^{\circ}\text{C}$** , nejvyšší hodnota **$+4,8^{\circ}\text{C}$** . V době realizace experimentu (dýchání do vzduchové kapsy ve sněhu) se teplota pohybovala s 95-ti % pravděpodobností v tolerančním pásmu od $-5,1^{\circ}\text{C}$ do $+4,8^{\circ}\text{C}$.

Maximální hodnota **těsnosti vzduchové kapsy před zahájením** dýchání do sněhu vyjádřená jako přetlak v dutině při konstantním přítoku vzduchu do dutiny průtokem $60 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ byla 13,4 Pa, minimální hodnota 6,0 Pa, průměrná hodnota **8,9 Pa** a směrodatná odchylka 1,9.

Maximální hodnota **těsnosti vzduchové kapsy po ukončení** dýchání do sněhu, vyjádřená jako přetlak v dutině při konstantním přítoku vzduchu do dutiny průtokem $60 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ byla 10,4 Pa, minimální hodnota 1,7 Pa, průměrná hodnota **5,7 Pa** a směrodatná odchylka 3,0.

Velikost vzduchové kapsy po ukončení měření byla vždy o něco větší než před zahájením dýchání do sněhu. Záleželo na době, po kterou proband do vzduchové kapsy dýchal a na denní době. V čase okolo poledne probandi zpravidla vydrželi dýchat do vzduchové kapsy po delší čas. Tento trend připisujeme vyšší teplotě sněhu, než byla v ranních a pozdně odpoledních hodinách, kdy byl sníh přemrzlý, což probandům znesnadňovalo teplým dechem zvětšit sněhovou kavernu a prodloužit si tak čas dýchání do vzduchové kapsy ve sněhu. Přesný rozměr nebylo možné v konkrétních podmínkách změřit.

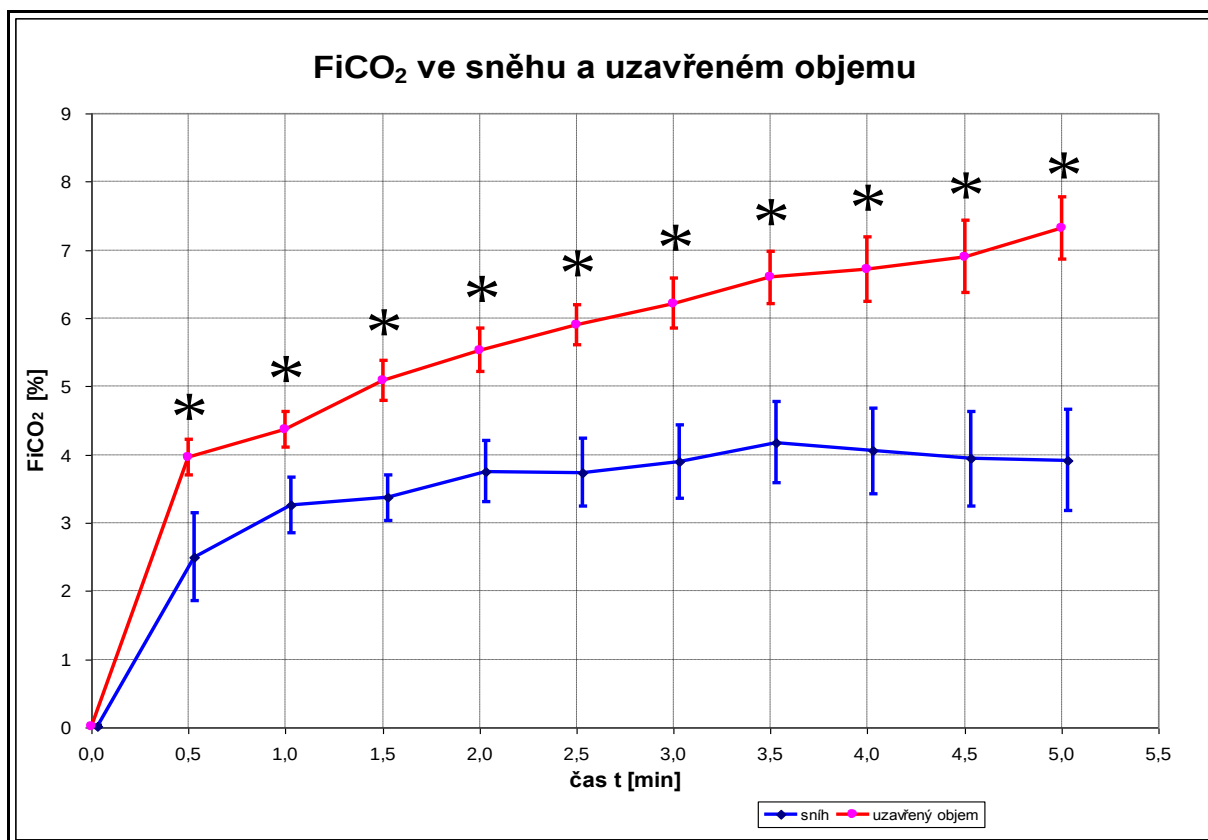
Sledované parametry (**FiCO_2 , EtCO_2 , FiO_2 , EtO_2 , MV, V_T , DF, a SpO_2**) byly stěžejní částí našeho výzkumu.

3.1.4 Dýchání do uzavřeného objemu a dýchání do vzduchové kapsy ve sněhu

Tabulka 2 Naměřené průměrné hodnoty sledovaných ventilačně – respiračních parametrů

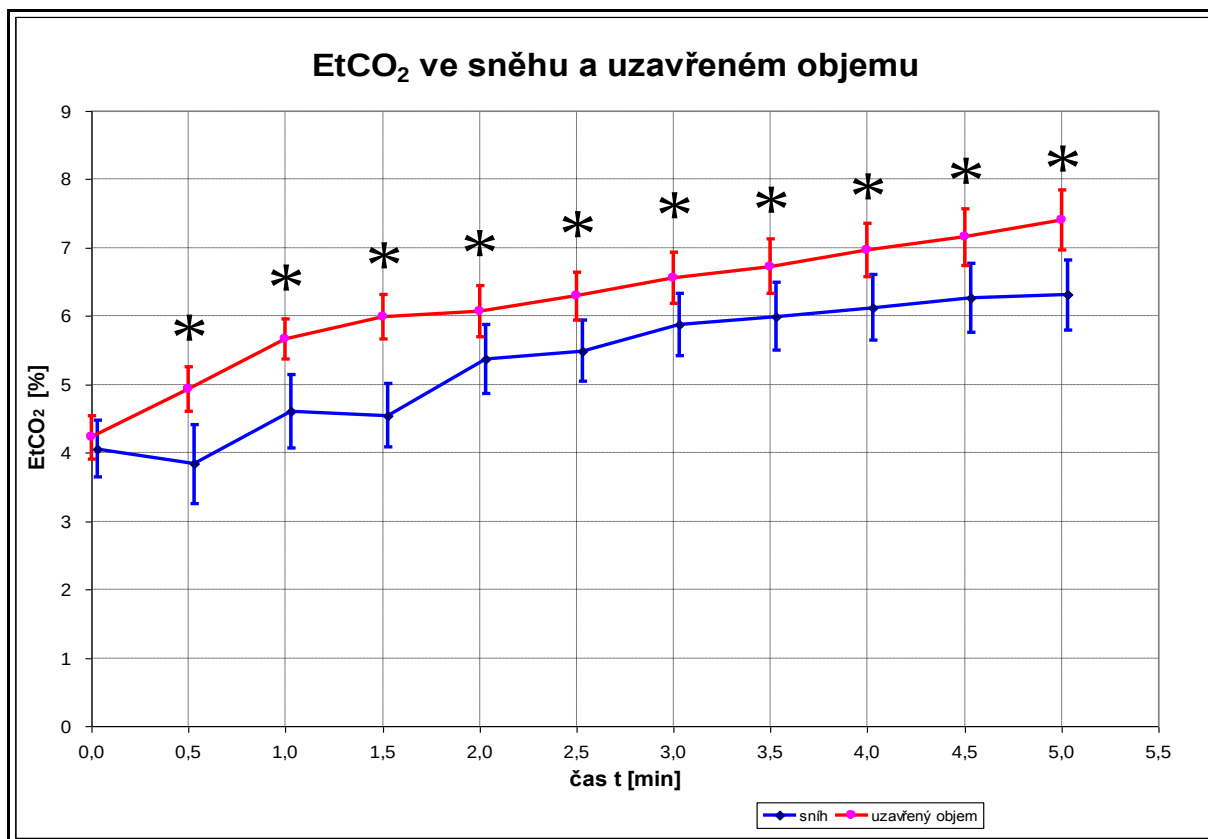
Ukazatele	Výchozí průměrné hodnoty vzduchové kapsy ve sněhu ± sd	Konečné průměrné hodnoty vzduchové kapsy ve sněhu ± sd	Výchozí průměrné hodnoty uzavřeného objemu ± sd	Konečné průměrné hodnoty uzavřeného objemu ± sd
FiCO₂ (%)	0 ± 0	3,9 ± 2,4	0 ± 0	7,3 ± 1,4
EtCO₂ (%)	4,1 ± 1,3	6,3 ± 1,6	4,2 ± 1	7,4 ± 1,4
FiO₂ (%)	21 ± 2,8	14,1 ± 3,9	21 ± 1,4	8,7 ± 2,8
EtO₂ (%)	16,9 ± 1,6	10,5 ± 3	17,4 ± 1,8	8,5 ± 2,8
MV (l·min⁻¹)	13,3 ± 4,5	49,5 ± 6,8	12,2 ± 4,2	45,4 ± 8,9
V_T (ml)	1122,7 ± 591,1	1660 ± 719,7	854,2 ± 405	1408,1 ± 484,7
DF (dech·min⁻¹)	13,7 ± 5,4	36,7 ± 16,6	16,2 ± 7,5	35,8 ± 13,1
SpO₂ (%)	98,9 ± 1,2	64 ± 17,2	98,7 ± 1,3	73,4 ± 15,7

Výsledky měření jsou přehledně zpracovány v grafech č. 1 až č. 12, které nejlépe charakterizují a porovnávají situaci při dýchání do uzavřeného objemu a dýchání do vzduchové kapsy ve sněhu. Měření byla zpracována taktéž statisticky.



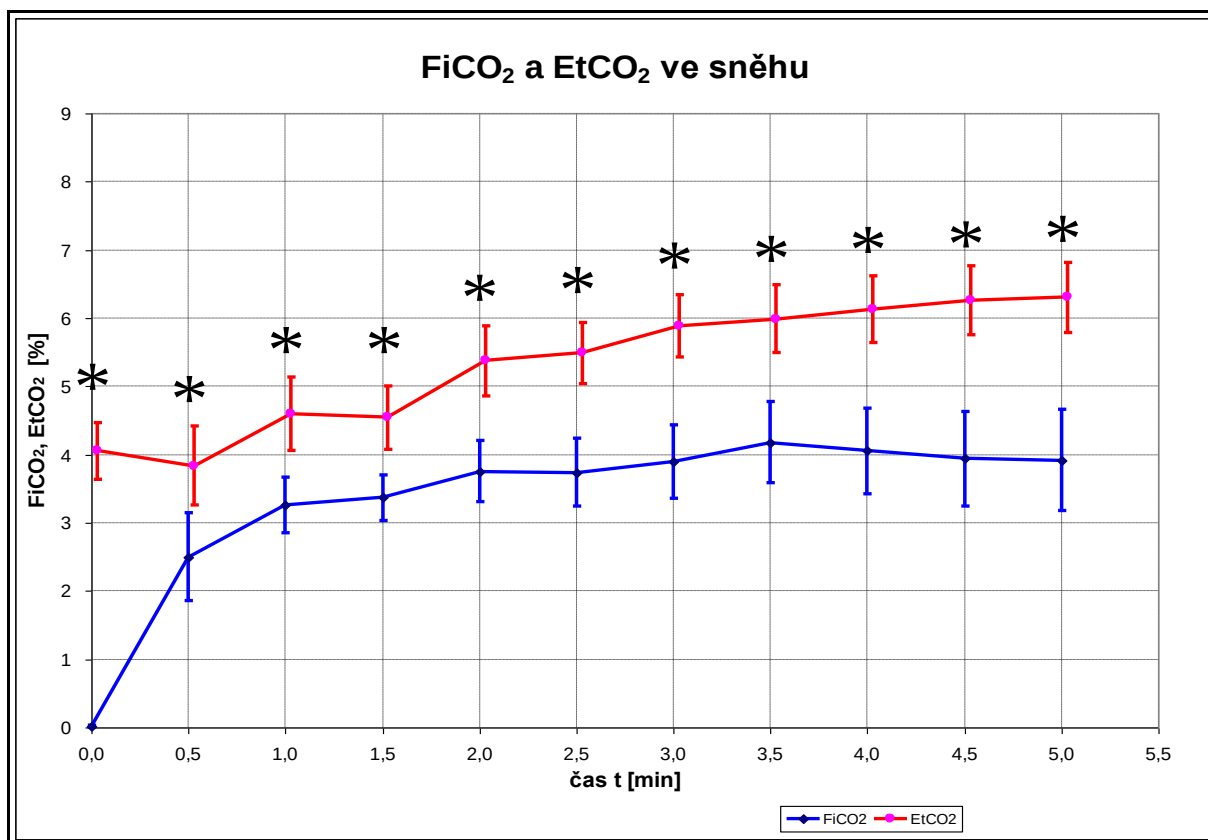
Graf 1 FiCO₂ ve sněhu a uzavřeném objemu

Legenda: * p < 0,05



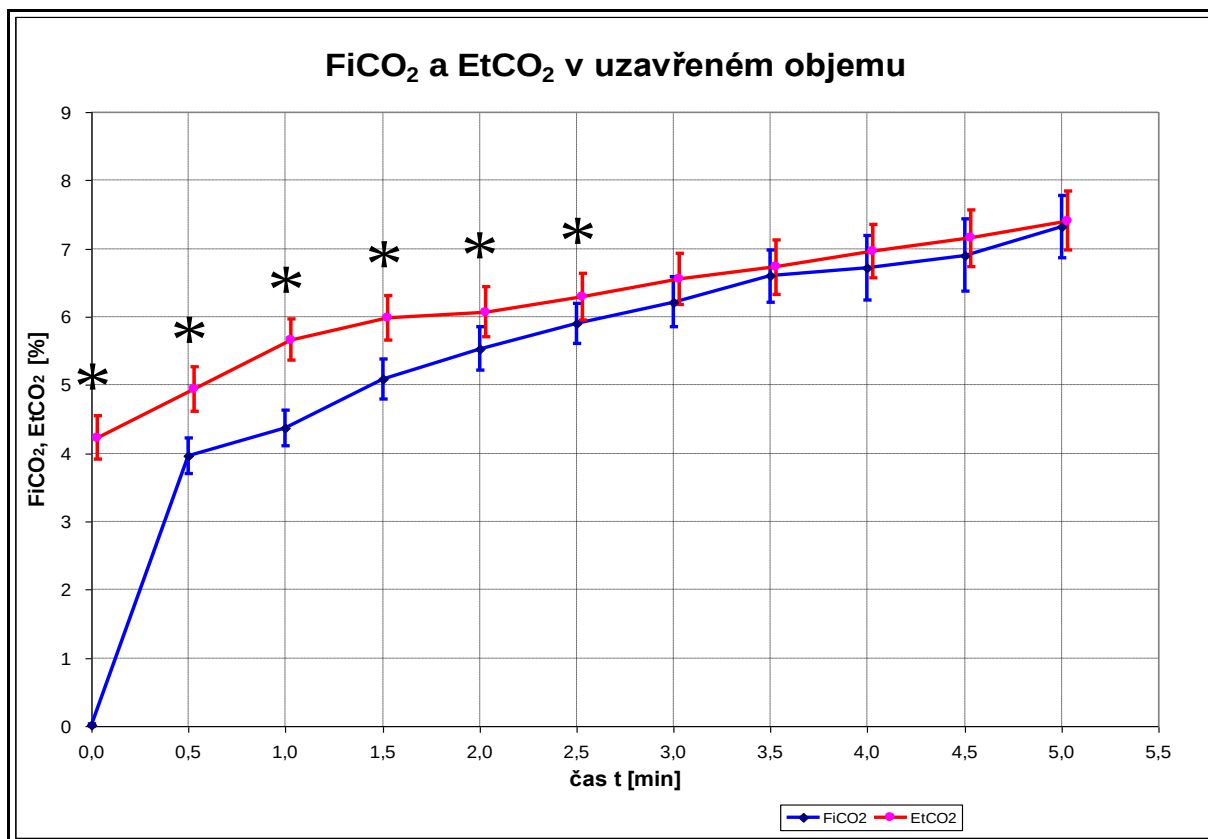
Graf 2 EtCO₂ ve sněhu a uzavřeném objemu

Legenda: * p < 0,05



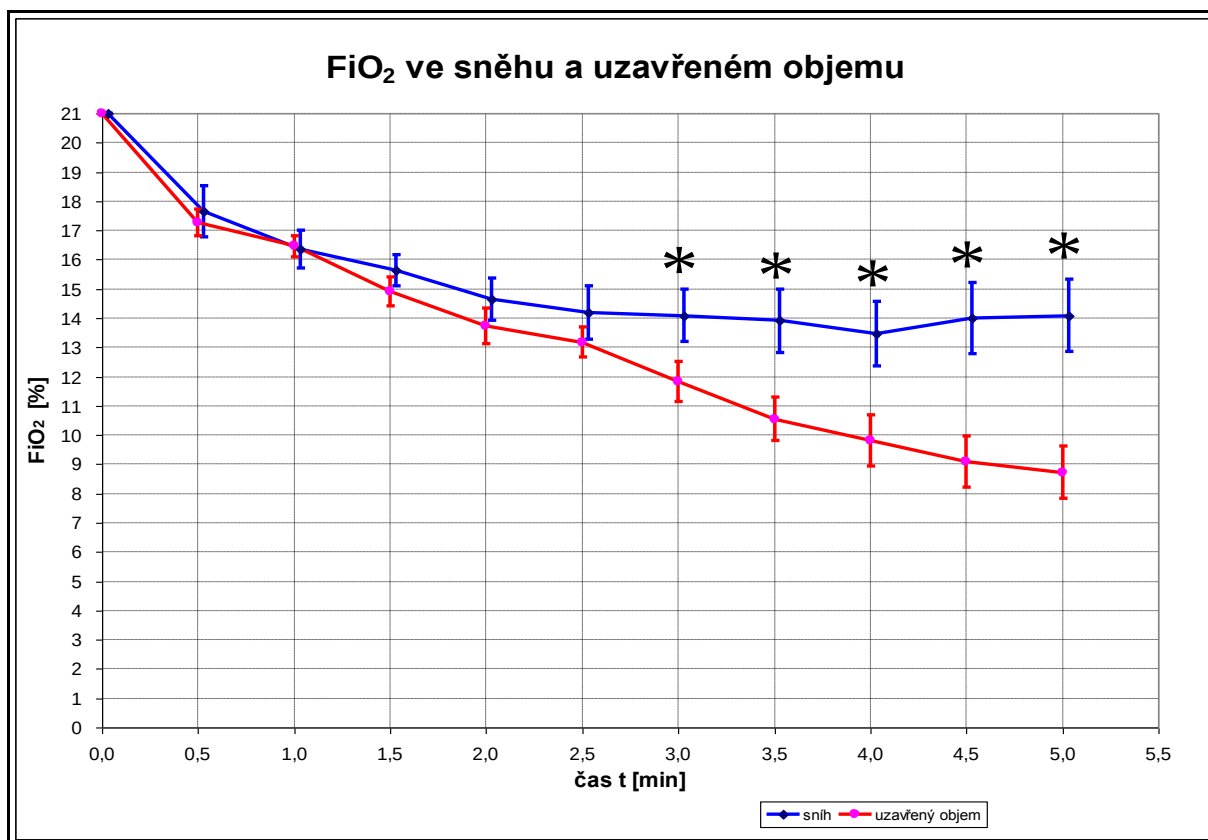
Graf 3 FiCO₂ a EtCO₂ ve sněhu

Legenda: * p < 0,05



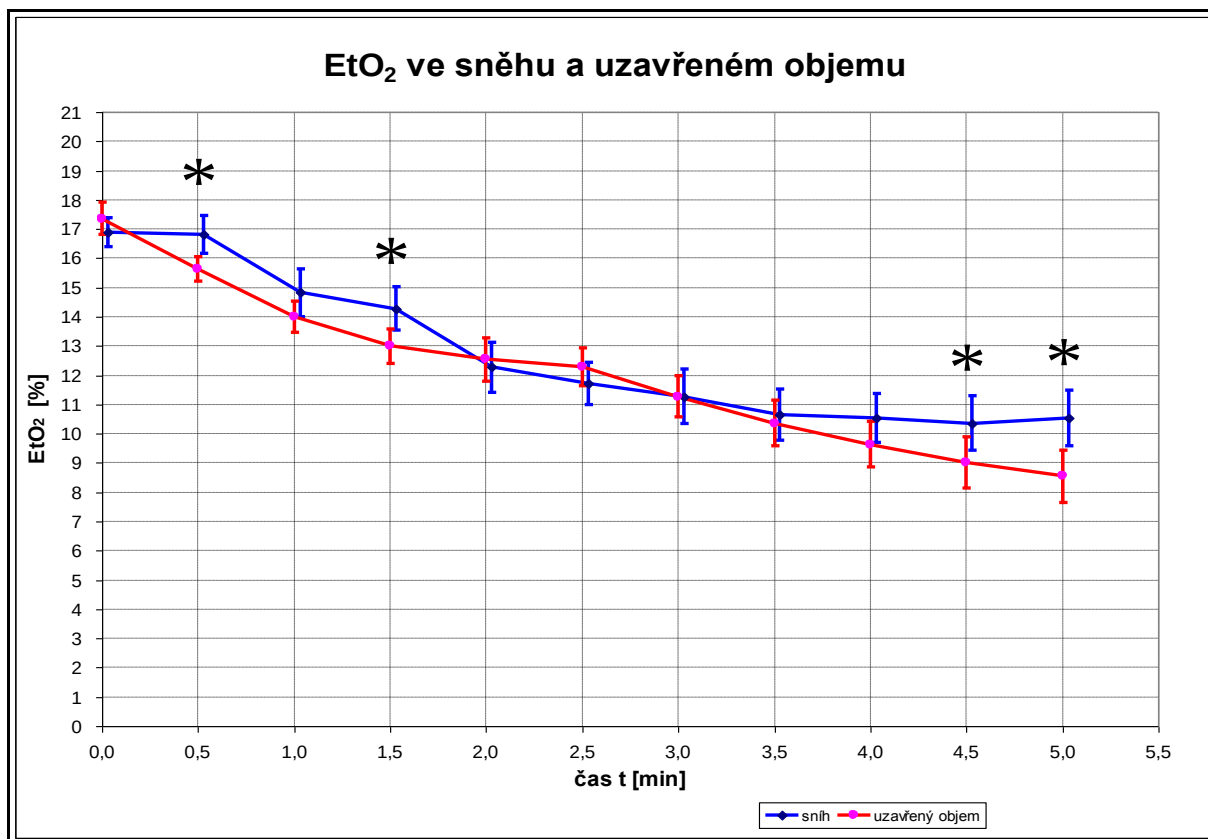
Graf 4 FiCO₂ a EtCO₂ v uzavřeném objemu

Legenda: * p < 0,05



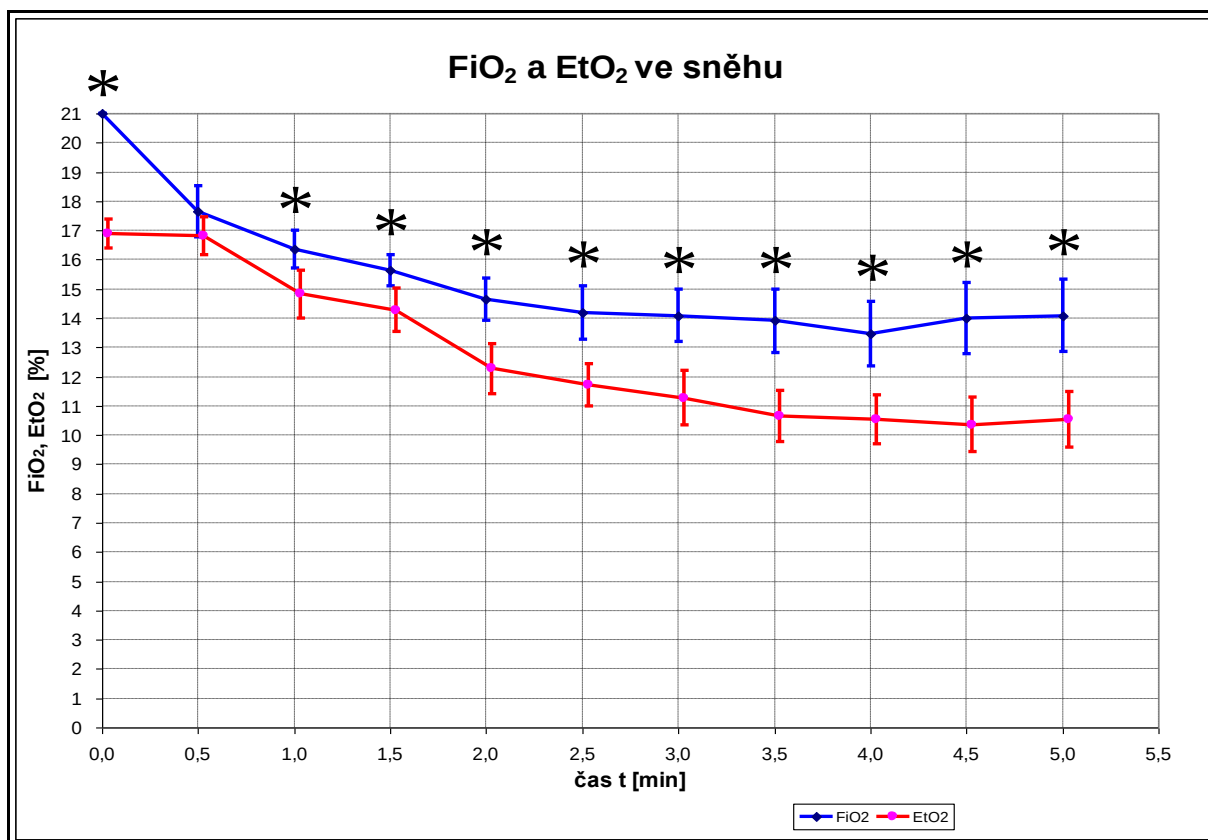
Graf 5 FiO₂ ve sněhu a uzavřeném objemu

Legenda: * $p < 0,05$



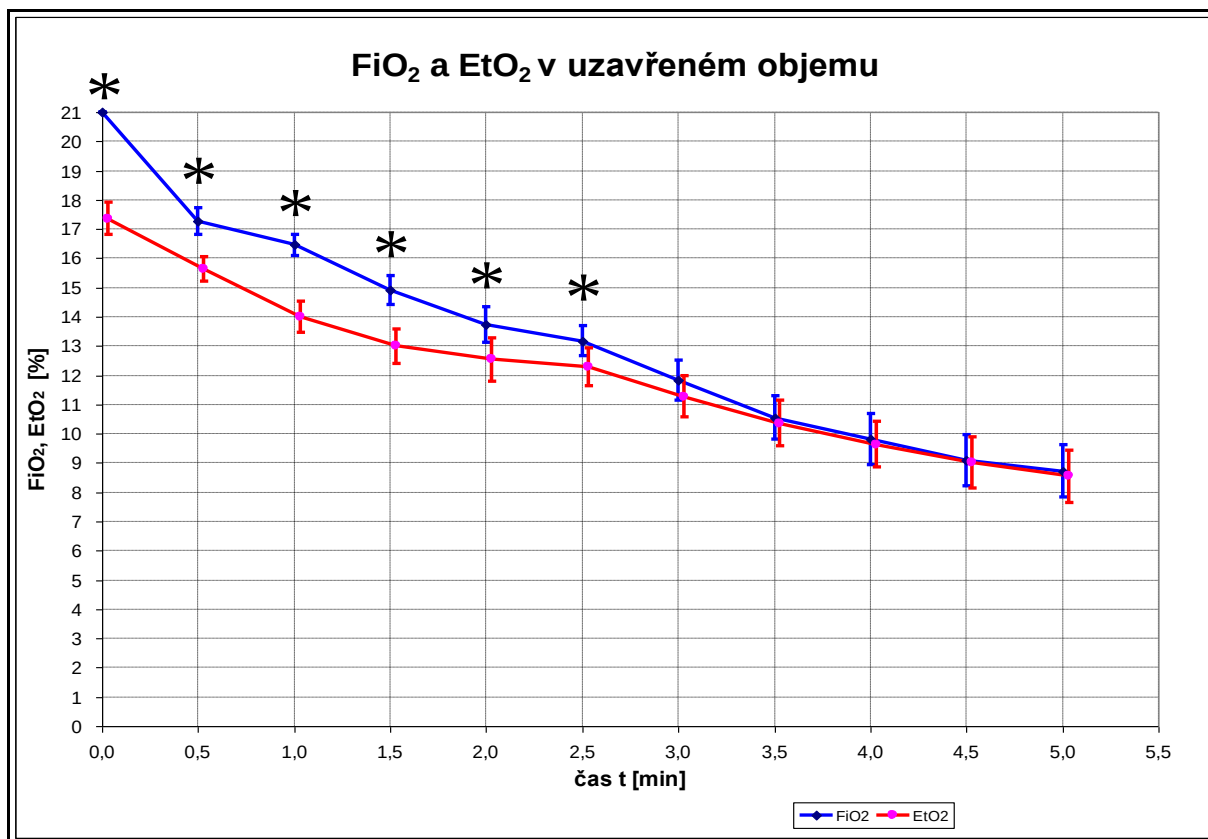
Graf 6 EtO₂ ve sněhu a uzavřeném objemu

Legenda: * $p < 0,05$



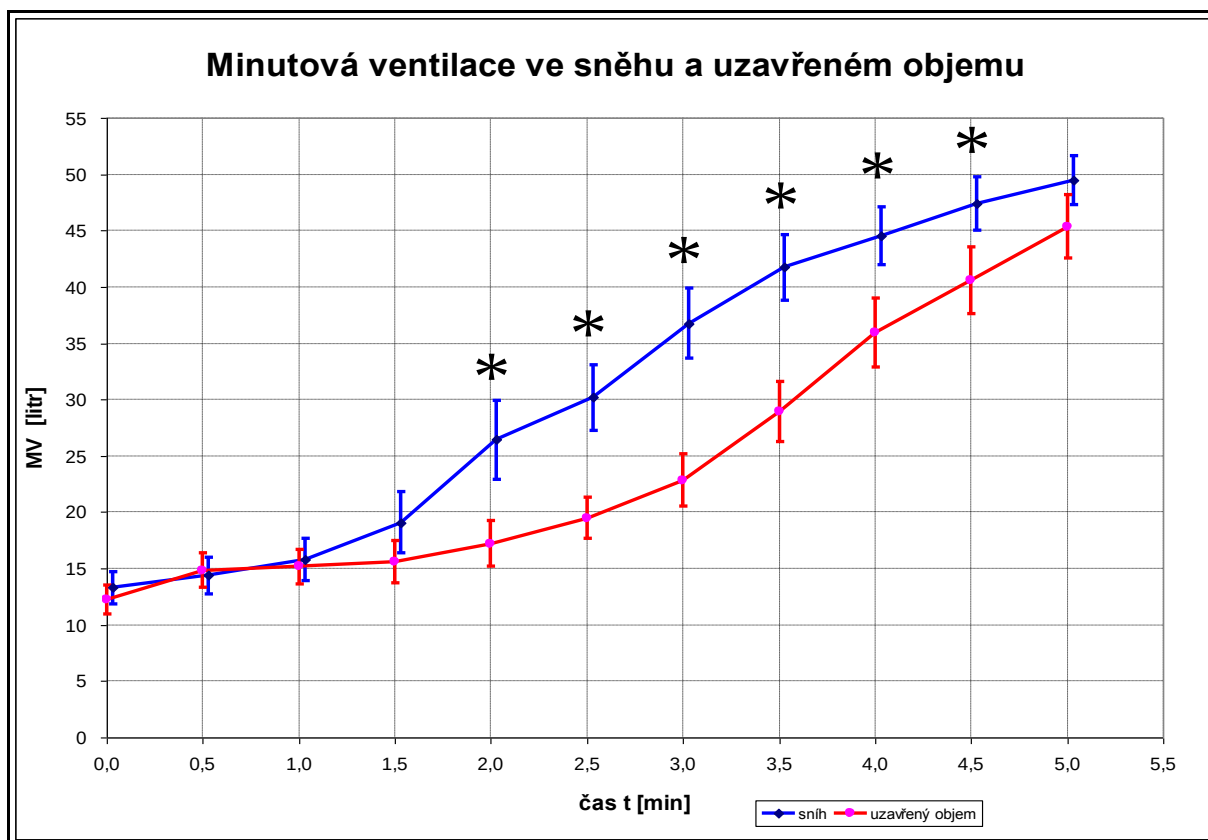
Graf 7 FiO₂ a EtO₂ ve sněhu

Legenda: * p < 0,05



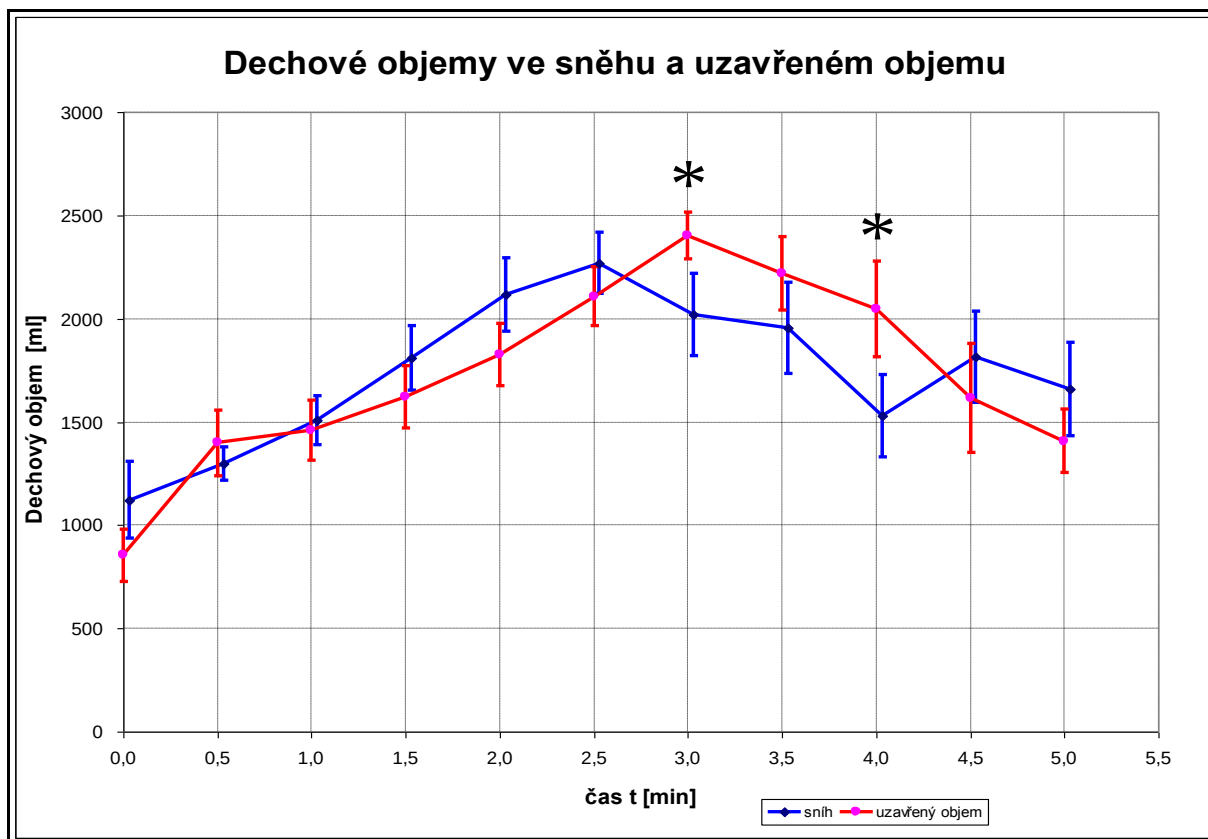
Graf 8 FiO₂ a EtO₂ v uzavřeném objemu

Legenda: * p < 0,05



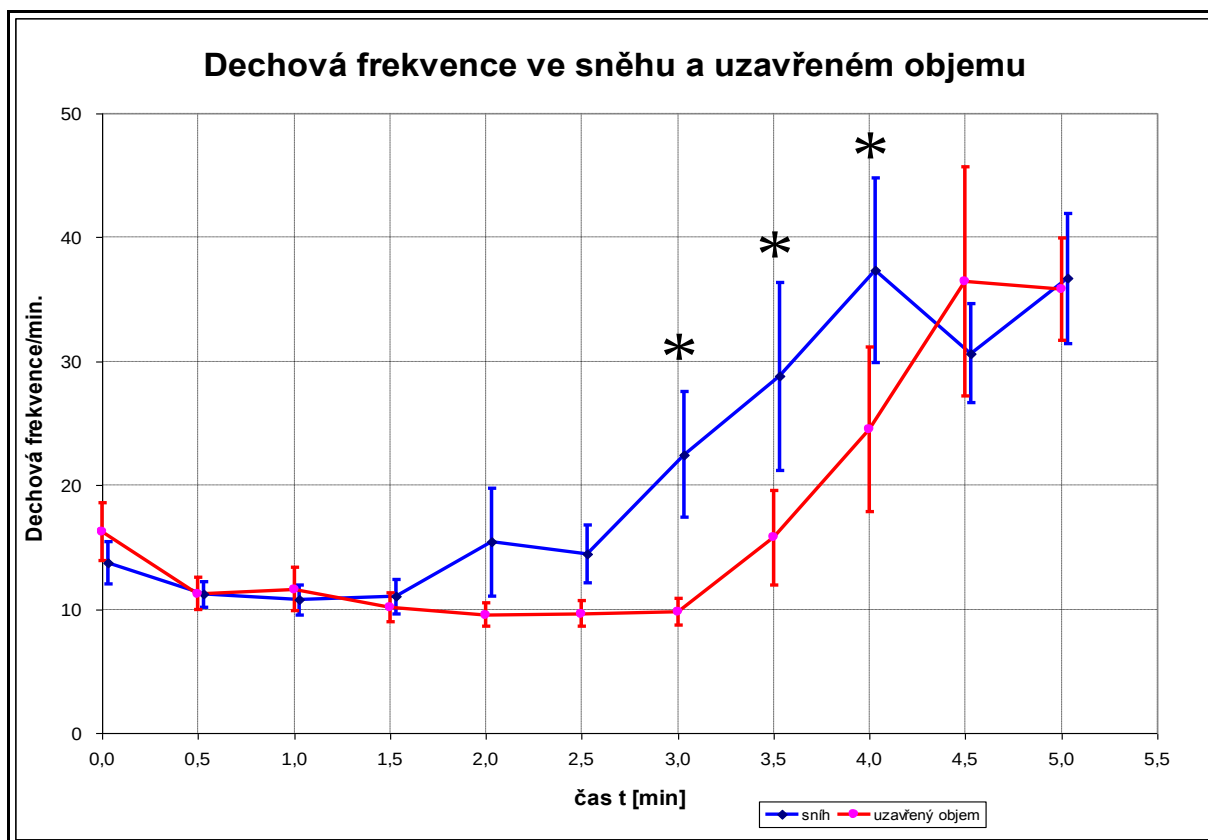
Graf 9 Minutová ventilace ve sněhu a uzavřeném objemu

Legenda: * $p < 0,05$



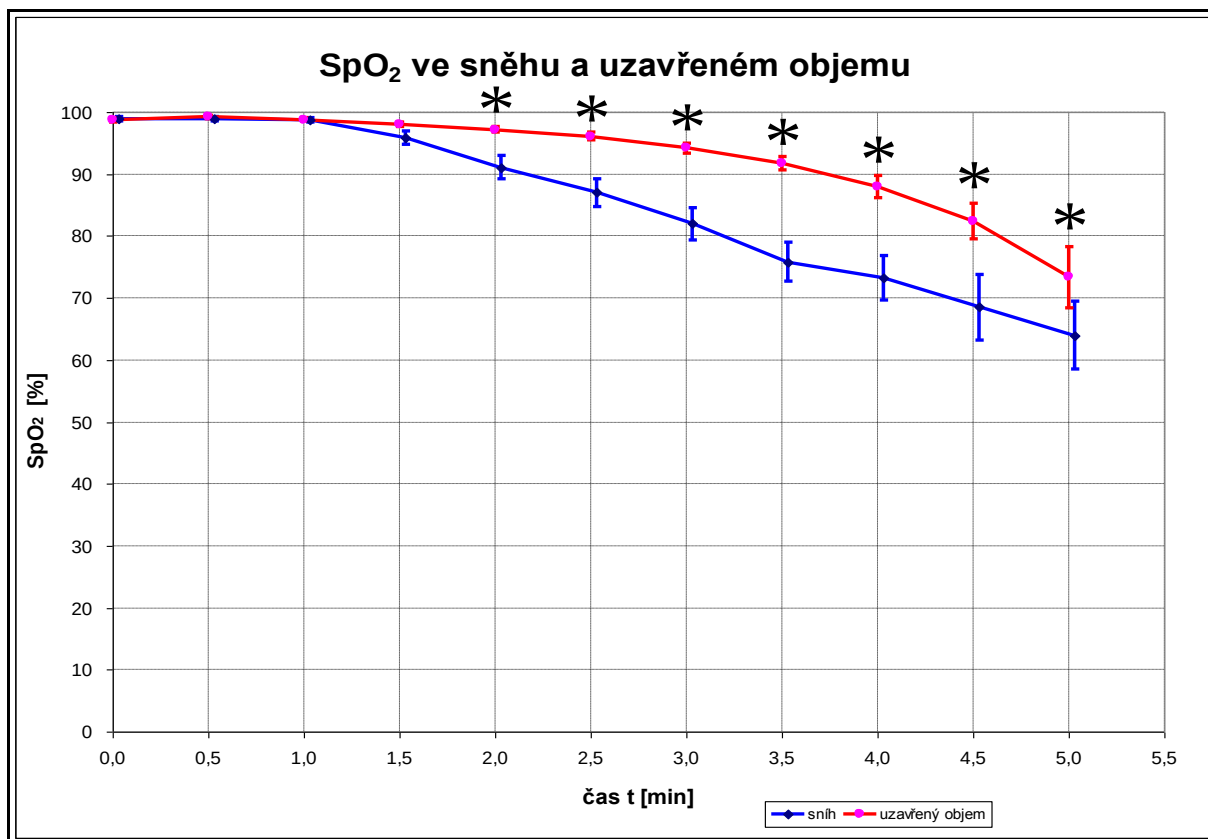
Graf 10 Dechové objemy ve sněhu a uzavřeném objemu

Legenda: * $p < 0,05$



Graf 11 Dechová frekvence ve sněhu a uzavřeném objemu

Legenda: * $p < 0,05$



Graf 12 SpO₂ ve sněhu a uzavřeném objemu

Legenda: * $p < 0,05$

3.2 Vyhodnocení dotazníku

- **Otázka č. 1 – Jak pohodlná - nepohodlná Vám připadala poloha na nosítkách (bolest za krkem, zima, apod.)?**

Tato otázka byla pouze orientační. Do dotazníku jsme ji zařadili z důvodu kontroly objektivity prováděného měření. Probandům jsme ji pokládali pouze po ukončení dýchání do vzduchové kapsy ve sněhu. Měla potvrdit naše hypotézy o tom, že jsme dokázali zajistit maximálně možně, pohodlnou polohu, která nemohla výrazně ovlivnit výsledky při dýchání do vzduchové kapsy ve sněhu.

Všech jedenáct probandů se shodlo na tom, že poloha byla bezproblémová a nijak je v samotném dýchání neomezovala. Taktéž žádný z probandů neuvedl, že by mu byla taková zima, aby musel měření předčasně ukončit.

- **Otázka č. 2 – Měl jste bolesti hlavy (kdy začala, jak výrazná byla)?**

Na tuto otázku nám šest probandů z jedenácti dotazovaných odpovědělo, že po ukončení měření pociťovali výraznou bolest hlavy a to jak při dýchání do sněhu, tak i při dýchání do uzavřeného objemu. Tři probandi odpověděli, že bolest hlavy nepociťovali ani u jednoho z obou měření a dva, že zatímco u dýchání do uzavřeného objemu bolest hlavy nezaznamenali, při dýchání do vzduchové kapsy byla bolest hlavy výrazná.

- **Otázka č. 3 – Měl jste rozostřené vidění (mžítka před očima, tunelové vidění, apod.)?**

Osm probandů odpovědělo, že s rozostřeným viděním, ani jinými změnami ve vidění nemělo žádný problém. Jeden z probandů měl po určitém čase potřebu zavírat oči a to jak u dýchání do vzduchové kapsy, tak i u dýchání do uzavřeného objemu. Jednomu se dělalo černo před očima a přestával vidět s tím, že při dýchání do uzavřeného objemu měly tyto změny výrazně intenzivnější průběh. Poslední z probandů měl při dýchání do uzavřeného objemu pocit tlaku na oči, oproti dýchání do vzduchové kapsy, kdy nezaznamenal žádné takové pocity.

- **Otázka č. 4 – Měl jste pocity brnění v končetinách (nohy, ruce nebo prsty)?**

U této otázky nám šest probandů odpovědělo, že pociťovali brnění v končetinách a to jak u dýchání do uzavřeného objemu, tak u dýchání do vzduchové kapsy ve sněhu. Tři probandi neměli žádné takovéto pocity u žádného z měření. Jeden z probandů pociťoval třes

v končetinách při dýchání do vzduchové kapsy a jeden zatínil svaly při dýchání do uzavřeného objemu, zatímco u dýchání do vzduchové kapsy tyto problémy neměl.

- **Otázka č. 5 – Proč jste měření ukončil, čím jste byl limitován, co Vás omezovalo?**

V této otázce se všichni probandi shodli na tom, že nejvíce limitující byl značný diskomfort, pocit dušení, nedostatek čerstvého vzduchu a intenzivní potřeba se nadechnout. Nikdo měření neukončil na základě nepohodlné polohy, pocitu zimy (při dýchání do vzduchové kapsy ve sněhu), nebo jiných nepříjemných pocitů, mimo intenzivního pocitu dušení.

- **Otázka č. 6 – Myslíte si, že byste ještě nějakou chvíli vydržel a pokud ano tak jak dlouho?**

Na otázku číslo šest nám všichni probandi u měření dýchání do uzavřeného objemu odpověděli, že by vydrželi maximálně čtyři až pět nádechů, pak by pravděpodobně omdleli. Ty samé odpovědi platily i pro dýchání do vzduchové kapsy ve sněhu, s výjimkou dvou probandů, u kterých jsme po 30 minutách experiment ukončili. Ti si vydýchali ve sněhu další prostor, který jim zabezpečoval dostačující přísun O_2 a odvod CO_2 .

- **Otázka č. 7 – Pociťoval jste nějaké rozdíly mezi dýcháním do uzavřeného objemu a dýcháním do vzduchové kapsy ve sněhu?**

V této otázce se všichni probandi shodli na tom, že dýchání do uzavřeného objemu bylo ze začátku daleko snazší než dýchání do vzduchové kapsy ve sněhu. Dýchání do uzavřeného objemu se v prvních chvílích prakticky nelišilo od normální ventilace. Tato skutečnost je pochopitelná, neboť uzavřený objem měl velikost 8 l, takže probandy v začátcích nijak nelimitoval oproti vzduchové kapse ve sněhu, která měla objem 400 ml. V průběhu času se pocity při dýchání začaly měnit, což bylo opět v souladu s našimi hypotézami, neboť v uzavřeném objemu nedocházelo k žádné výměně plynů, kdežto ve sněhu byl, i když v omezeném množství, zajištěn přísun O_2 a odvod CO_2 .

- **Otázka č. 8 – Sdělte nám, prosím, Vaše další subjektivní pocity:**

Čtyři z jedenácti probandů zaznamenali při experimentu pocity tepla a to jak při dýchání v místnosti do uzavřeného objemu tak při dýchání venku do vzduchové kapsy. Jeden z probandů uvedl, že při dýchání do vzduchové kapsy pociťoval intenzivní tlak a píchání na hrudníku. A dva probandi hovořili o pocitech štěstí, které zaznamenávali těsně před ukončením měření.

4 Diskuse

Tato disertační práce je pilotní studií a to nejen z hlediska experimentálního, ale i metodologického. Náročné bylo především zabezpečení technického vybavení a příprava samotného výzkumného měření v neméně náročných klimatických podmínkách. Celý experiment musel navíc proběhnout s minimalizací rizik. Předpokládáme, že použité postupy budou možným východiskem pro další výzkumy podobného typu.

4.1 Zhodnocení experimentálního souboru

Experimentální soubor byl tvořen selektivně vybranou skupinou, tvořenou zdravými jedinci, vojáky AČR (příslušníky 24.zDL Praha-Kbely a studenty Vojenského oboru FTVS UK Praha). Přesto výsledky předtestu nevykazovaly příliš vysoké známky trénovanosti a spíše odpovídaly průměrným populačním hodnotám. Spirometrická hodnota vitální kapacity plic (měřená usilovným výdechem) činila v průměru 4,9 l, což odpovídalo 99 % jejich náležité VC plic, tedy předpokládané plicní kapacitě, vztažené k výšce a hmotnosti probandů. Podle norem IBP činí populační hodnota vitální kapacity plic odpovídající věku 25 let dokonce 5,4 l (4,6-6,1) (Seliger a Bartůněk, 1976).

Rovněž apnoický test, a to jak v inspiriu, 63 s (37-120 s), tak v expiriu, 42 s (23-79 s), se významně nelišil od hodnot stanovených pro běžnou populaci. Populační normy pro netréňované muže jsou 50 – 60 s pro apnoi v inspiriu a 30 – 40 s pro apnoi v expiriu (Heller, 2011). Při těchto testech po apnoi v inspiriu poklesla saturace krve kyslíkem z 99 % na 95 % a po apnoii v expiriu z 99 na 88 % (Heller a Vodička, 2011).

Můžeme tedy konstatovat, že vyšetřovaná skupina nebyla z hlediska fyzické zdatnosti nijak výjimečná. Větší odolnost a připravenost, s prvky soutěživosti, se ale výrazně projevil v oblasti psychické.

4.2 Analýza výsledků

Jak je patrné z průběhu celého experimentu, ze získaných a prezentovaných dat zpracovaných do výsledkových grafů, a z odpovědí probandů na jednotlivé otázky nestandardizovaného dotazníku, jedná se o značně složitou problematiku, do které vstupuje celá řada faktorů a proměnných.

Pro důkaz difusibility dýchacích plynů ve sněhu bylo použito srovnání dvou experimentálních situací, dýchání do **uzavřeného objemu** a **vzduchové kapsy ve sněhu**. Oba dva tyto prostory se záměrně lišily svým objemem. Objem uzavřeného prostoru představoval

8 l, zatímco objem vzduchové kapsy ve sněhu byl 20x menší, činil pouhých 400 ml. Z křivek sledovaných parametrů jsou patrné podobné, i když v některých konkrétních případech i lehce odlišné průběhy.

Protože se objevovaly v obou experimentálních situacích velké rozdíly v délce výdrže (při dýchání do uzavřeného objemu od cca 2 min. až po cca 7,5 min. a při dýchání do vzduchové kapsy ve sněhu od cca 2 min. až po 30 min. kdy došlo k ustálení dýchání a experiment musel být ukončen), byla zvolena **jednotná doba pro vyhodnocení** vzájemných vztahů mezi dýcháním do difusibilního a nedifusibilního prostředí a to 5 minut. Probandi, kteří nedokázali vydržet dýchat (do uzavřeného objemu i do vzduchové kapsy ve sněhu) alespoň 5 minut, byli ze studie vyřazeni.

Graf č. 1 znázorňuje statisticky významný rozdíl mezi inspirovaným oxidem uhličitým ve sněhu a uzavřeném objemu. Zatímco se průměrné hodnoty CO_2 při dýchání probandů do sněhové kapsy dostaly po 5 minutách k hranici 4 % a tam se ustálily (dokonce začaly mírně klesat), při dýchání do uzavřeného objemu vystoupaly k hranici 7,5 % a měly tendenci dále růst.

Graf č. 2 vypovídá o nárůstu exspirovaného oxidu uhličitého, kdy se při dýchání do vzduchové kapsy ve sněhu dostávají průměrné hodnoty z fyziologických 4 % přes hranici 6 %, zatímco při dýchání do uzavřeného objemu hodnoty dosahují až 7,5 %. I v tomto případě je stejně jako u grafu č. 1 statisticky významný rozdíl sledovaných hodnot od 0,5 minuty až do konce měření (5. min.).

Graf č. 3 přehledně znázorňuje křivky jak inspirovaného, tak exspirovaného oxidu uhličitého při dýchání do vzduchové kapsy ve sněhu. Zde se křivky drží téměř v rovnoměrné vzdálenosti od sebe, neboť je vlivem difuze a konvekce exspirovaného a inspirovaného vzduchu zajištěna, i když v omezené míře, jeho výměna. V tomto případě je tedy podle očekávání rozdíl inspirovaného a exspirovaného oxidu uhličitého po celou dobu statisticky signifikantní.

Oproti tomu nám graf č. 4 znázorňuje křivky inspirovaného a exspirovaného oxidu uhličitého při dýchání do uzavřeného objemu. Zde se křivka inspirovaného oxidu uhličitého v čase postupně přibližuje ke křivce exspirovaného CO_2 . Již po 2 minutách se dostává na hodnotu 5,5 % CO_2 oproti 6 % inspirovaného CO_2 a od 3. minuty přestává být rozdíl mezi sledovanými hodnotami statisticky významný. V 5. minutě se křivky téměř spojí na hodnotě 7,5 %. Což je zapříčiněno tím, že exspirovaný oxid uhličitý nemá kam difundovat a jejich hodnoty se tudíž srovnávají.

Graf č. 5 nám udává rozdíly mezi inspirovaným kyslíkem ve vzduchové kapse ve sněhu a uzavřeném objemu. Zatímco křivka průměrných hodnot inspirovaného O_2 ve vzduchové kapse ve sněhu poklesla z původních 21 % na hodnotu 14 %, křivka inspirovaného O_2 v uzavřeném objemu poklesla až pod hodnotu 9 %. Opět je to zapříčiněno tím, že ve sněhu je dostatečné množství vzduchu, které člověk dokáže po určitou dobu „vysávat“ a tím si zabezpečit přísun čerstvého vzduchu (kyslíku), kdežto v uzavřeném objemu dojde po určitém čase ke spotřebování veškerých zásob. V tomto případě byl rozdíl mezi sledovanými hodnotami statisticky signifikantní od 3. minuty až do konce měření (5. min.).

Graf č. 6 vypovídá o exspirovaném kyslíku ve sněhu a uzavřeném objemu. Zde se nám křivky průměrných hodnot třikrát protnuly. Zajímavé je protnutí ve druhé a třetí minutě. Od 3,5. minuty dochází k mírnému rozevírání pomyslných nůžek. Hodnota exspirovaného O_2 ve vzduchové kapse ve sněhu klesla na hodnotu pod 11 % a exspirovaného O_2 v uzavřeném objemu na hodnotu pod 9 %. Rozdíl mezi sledovanými hodnotami byl statisticky významný v 0,5. a 1,5. minutě a na konci měření ve 4,5. a 5. minutě.

Graf č. 7, ve kterém jsou znázorněny křivky inspirovaného a exspirovaného kyslíku ve sněhu plně koresponduje s grafem č. 3. I zde jsou obě křivky přibližně rovnoměrně vzdáleny, což je patrné již od 2. minuty. To je zapříčiněno difusí a konvekcí vzduchu ve sněhu. V 5. minutě se inspirovaný O_2 dostává na hodnotu 14 % a exspirovaný O_2 pod hodnotu 11 %. V tomto případě byl rozdíl mezi sledovanými hodnotami (až na jeden čas měření – 0,5. min.) statisticky signifikantní po celou dobu měření.

Graf č. 8 znázorňuje křivky inspirovaného a exspirovaného kyslíku v uzavřeném objemu. Zde, tak jako v grafu č. 4, dochází ke spojení křivek, a to již ve 3,5. minutě, kdy se hodnoty pohybují okolo 10,5 %. V 5. minutě se dostávají na hodnotu 9 % inspirovaného i exspirovaného O_2 , což je způsobeno spotřebováním kyslíku s nemožností ho difusí nebo konvekcí dostat do uzavřeného neprostupného objemu. Rozdíl mezi sledovanými hodnotami byl statisticky významný od zahájení dýchání až do 2,5. minuty. Poté se křivky začaly postupně přibližovat a nakonec překrývat.

Graf č. 9 prezentuje křivky minutové ventilace při dýchání do vzduchové kapsy ve sněhu i uzavřeného objemu. Zde docházelo k rychlejšímu nárůstu při dýchání do sněhu, což bylo způsobeno relativně malou vzduchovou kapsou o objemu 400 ml, a tak i pocitem nedostatečné možnosti se nadechnout. Tím, jak se postupem času spotřebovával kyslík v uzavřeném objemu, bez možnosti jeho doplnění, se křivka začínala zvedat výrazněji, zatímco křivka znázorňující dýchání do vzduchové kapsy ve sněhu se vlivem „prodechnutí“ vzduchové kapsy a následnému zvětšení pracovního prostoru zhruba po 3,5 minutách začala

v nárůstu zmírňovat. V 5. minutě se hodnoty průtoku při dýchání do uzavřeného objemu dostaly na $45 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ a při dýchání do sněhu k $50 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$. Rozdíl mezi sledovanými hodnotami byl statisticky významný od 2. do 4,5. minuty.

Graf č. 10 ukazuje změny dechových objemů při dýchání do sněhu a do uzavřeného neprodyšného objemu v závislosti na čase. Křivky se několikrát protínají, přestože mají téměř shodný průběh. Rozdíl mezi sledovanými hodnotami byl statisticky signifikantní pouze ve 3. a 4. minutě. Křivka hodnot při dýchání do vzduchové kapsy ve sněhu začíná na 1200 ml, což je více než dvojnásobek fyziologické klidové hodnoty. Opět to připisujeme relativně malé vzduchové kapse (objem 400 ml) a pocitu nedostatečné možnosti se nadechnout. Poté průběh křivky rostl až na hodnotu 2300 ml. Ve 2,5. minutě nastal zlom, kdy křivka začíná zvolna klesat k hodnotě 1500 ml. Tento trend si vysvětlujeme, jednak kompenzačními mechanismy organismu, kdy došlo k určitému ustálení a vyrovnaní se s obtížností dýchání do sněhu, jednak „prodechnutím“ vzduchové kapsy, zvětšením dechového prostoru a následnému zklidnění a snížení dechových objemů. V 5. minutě se hodnota křivky pohybovala okolo 1700 ml. Křivka dýchání do uzavřeného objemu začala na hodnotě okolo 800 ml, postupně rostla k hodnotě 2400 ml, ve 3. min. začala zvolna klesat a v 5. minutě se dostala na hodnotu 1400 ml. Relativně velký uzavřený objem (8 l) zpočátku probandy nijak neomezoval, ale tím, jak se postupně spotřebovával kyslík, velké objemy nádechů již nedokázaly zajistit jeho dostatečný přísun a dýchání probandů se stávalo stále více rychlejší a povrchnější.

Graf č. 11 popisuje dechovou frekvenci při dýchání do vzduchové kapsy ve sněhu i uzavřeného objemu. Křivky se opět několikrát protínají a jejich průběh plně odpovídá předchozím grafům č. 9 a 10. Ze začátku mají obě křivky mírný pokles ze 14 dechů·min⁻¹ (křivka dýchání do vzduchové kapsy ve sněhu) a 16 dechů·min⁻¹ (křivka dýchání do uzavřeného objemu) na hodnotu 11 dechů·min⁻¹. To připisujeme určité počáteční nervozitě probandů a jejich následnému zklidnění. Ale již po minutě a půl, křivka znázorňující dýchání do vzduchové kapsy ve sněhu, začíná stoupat, zatímco relativně velký uzavřený objem umožní probandům klidné dýchání až do 3. min. Poté i zde křivka strmě stoupá a v 5. min. se obě setkají na hodnotě 36 dechů·min⁻¹. Rozdíl mezi sledovanými hodnotami byl statisticky signifikantní od 3. do 4. minuty.

Graf č. 12 znázorňuje křivky saturace krve kyslíkem při dýchání do vzduchové kapsy ve sněhu a dýchání do uzavřeného objemu. Zde je vidět, jak se saturace krve kyslíkem u obou křivek drží po dobu 1 minuty na hodnotě kolem 99 %. Je to z důvodu určitého zpoždění, které nastává při měření sytění krve O₂. Zatímco analyzátory plynů již signalizují nedostatečné množství O₂, saturace krve v plicích je ještě v normě, a opačně, při dodání potřebného

množství kyslíku saturace ještě nějakou dobu (30 sekund) klesá. Po 1. minutě začíná křivka saturace, znázorňující dýchání do vzduchové kapsy ve sněhu, klesat rychleji, neboť uzavřený objem měl velikost 8 l a kyslíku v něm bylo pro určitý čas dostatek.

Křivka SpO_2 při dýchání do uzavřeného objemu klesá plynule a pozvolna a v 5 minutě se dostává na 74 % oproti křivce SpO_2 při dýchání do vzduchové kapsy ve sněhu, která se dostává těsně pod hodnotu 65 % (ke křečím a bezvědomí dochází pod hranicí 60 %). Rozdíl mezi sledovanými hodnotami byl statisticky významný od 2 až do 5 minuty. Pokud si však promítneme tendence křivek, pokles u dýchání do uzavřeného objemu by byl postupem času stále více strmější.

Překvapujícím zjištěním u dýchání do vzduchové kapsy ve sněhu (difusibilní prostředí) ve srovnání s uzavřeným objemem (nedifusibilní prostředí) byla nižší SpO_2 po celou dobu měření (5. minut), přestože chování ostatních respiračních plynů vždy ukazovalo na lepší nález pro vzduchovou kapsu ve sněhu. Možná, že přes veškerou snahu o zajištění nejlepších možných podmínek při měření saturace krve (teplé palčáky a v nich pytlíky s chemickým teplem) docházelo ke zkreslení nálezu vlivem chladu. Průměrné konečné hodnoty SpO_2 při našem experimentu (dýchání do vzduchové kapsy ve sněhu) klesaly těsně pod 65 %.

Přestože byl náš hlavní zájem zaměřen na chování respiračních plynů, monitorovali jsme kontinuálně i oběhovou reakci probandů.

Srdeční frekvence probandů se pohybovala v rozmezí 56 až 127 $\text{tepů} \cdot \text{min}^{-1}$ při dýchání do uzavřeného objemu a 51 až 136 $\text{tepů} \cdot \text{min}^{-1}$ při dýchání do vzduchové kapsy ve sněhu.

Krevní tlak se zvýšil maximálně na 187/107 torrů při dýchání do uzavřeného objemu a 188/103 torrů při dýchání do sněhu.

Hypotéza 1 – *Dýchání ze vzduchové kapsy ve sněhu, na rozdíl od dýchání z uzavřeného objemu, poskytuje kontinuální přísun O_2 a odvod CO_2* – se nám na základě vyhodnocení grafu č. 1 - 8 a grafu č. 12 potvrdila v plném rozsahu.

Hypotéza 2 – *Zásadní význam pro výměnu plynů při ventilaci pod sněhovou lavinou má velikost vzduchové kapsy* – nebyla jednoznačně prokázána, ale ani vyvrácena. Zvolili jsme pouze jednu výchozí velikost vzduchové kapsy ve sněhu o objemu 400 ml. Konečný objem

„prodechnuté“ a „odtáté“ vzduchové kapsy jsme po ukončení měření v daných experimentálních podmínkách změřit nedokázali.

Nelze jednoznačně tvrdit, že čím menší objem vzduchová kapsa má, tím kratší dobu zasypaná osoba pod lavinou vydrží. I při relativně malém objemu vzduchové kapsy (400 ml) a hustotě sněhu do $405 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ totiž dochází vlivem difuze a konvekce k dostatečné výměně plynů pro dýchání. Na základě grafů č. 9, 10 a 11 lze, ale prokázat, že malá vzduchová kapsa klade zvýšené nároky na dechovou práci zasypané osoby. Nastává dřívější únava a vyčerpání, neboť organismus již není schopen plně pokrýt dechovou práci a po delším časovém úseku přestávají fungovat i kompenzační mechanismy. Hlavním (přímým) limitujícím faktorem tedy zřejmě není velikost vzduchové kapsy, ale zvýšené dechové úsilí, které organismus zatíží natolik, že se postupně začne projevovat hypoxie a narůstat hyperkapnie, což výrazně zkrátí čas přežití pod sněhovou lavinou.

Ze samotného experimentálního měření jsou patrné některé poznatky, které zatím není možné zobecnit. Jedním z nich je i zvolená strategie dýchání. Ta nebyla v průběhu měření jednoznačná ani u jednotlivých probandů, bez ohledu na standardní doporučení, udržet si co nejklidnější a nejpravidelnější dýchání. Následkem silné asfyxie docházelo ke zkoušení různých způsobů ventilace, tedy – ke střídání hlubokého pomalého dýchání s dýcháním rychlým a povrchním.

4.3 Srovnání s jinými výzkumy

Stále častěji se ukazuje, že při zasypání osob sněhovou lavinou bývá akumulace CO_2 hlavní příčinou asfyxie. Simulací sněhových podmínek a detailní analýzou difusibility CO_2 se v poslední době zabýval Pekař (2011). Člověka vnímal pouze jako zdroj CO_2 , a proto se nezajímal o žádné patofyziologické změny, vznikající pobytem v lavině. Ve své práci analyzoval především fyzikálně-chemické změny v jeho okolí. Problematiku difusibility respiračních plynů řešil na úrovni matematického modelu. Vycházel ze srovnatelné poréznosti sněhu (46 %) a burizonů (52 %). Z jeho studie ale vyplynuly některé zajímavé inspirace, jako např. využití plynové chromatografie pro přesnější měření koncentračních profilů ve sněhové vrstvě či měrném sloupci, využití průhledných trubek a pH indikátorů k vizualizaci prostupu CO_2 sněhem, měření tlaků vyvolaných dýcháním a měření toku vzduchu mezi kapsou a sněhem. Za finální krok považuje spojení difusního modelu s fyziologickým modelem člověka.

Nedořešenou otázkou zůstává, jak dlouho je člověk schopen ve sněhové lavině zůstat na živu. Jsou známy případy, kdy zasypaní byli vyhrabáni živí až po 2 hodinách, přestože

měli pouze malou vzduchovou kapsu. Výzkumů, zaměřených na reálné chování respiračních plynů ve sněhu, je ve světové literatuře málo. Jsou k tomu třeba technicky náročné, originálním způsobem vedené experimenty, často v nestandardních a měnících se terénních a klimatických podmínkách, vyžadující velice důkladné zabezpečení jak po stránce technické, tak i zdravotní. Etické problémy jsou spojovány nejen s experimenty prováděných na lidech, ale i na zvířatech, viz kontroverzní výzkumy na prasatech na Univerzitě v Innsbuku (<http://www.avalanche-center.org/News/2010/2010-01-07-Austria.p hp>).

Závěry dosud provedených studií mohou být ovlivněny řadou spolupůsobících faktorů, jako jsou velikost vytvořené vzduchové kapsy, teplota a hustota sněhu, velikost a stáří sněhových krystalů, klimatické podmínky, nadmořská výška, individuální snášenlivost hypoxie, respirační acidózy a další zatím neznámé faktory. Některé studie je však přece jen možné s naším výzkumem porovnat.

Brugger et al. (2003) se zajímali o vztahy vybraných respiračních parametrů k různým velikostem vzduchové kapsy. Nechali dobrovolníky dýchat do dvou vzduchových kapes, uměle vytvořených ve sněhu. Jejich objem činil 1 a 2 l. Průměrné hodnoty saturace kyslíku v krvi klesly po 4 minutách z 99 % na 88 % (s rozmezím 71 – 94 %), přičemž podle očekávání byla zaznamenána větší redukce v sycení kyslíkem u menší velikosti kapsy a korelovala s hustotou sněhu. U 17 osob (tj. u 61 %) klesla SpO₂ pod 75 %, což byla indikace k přerušení testu. Parciální tlak CO₂ ve vydechovaném vzduchu přitom vystoupal z 5,07 na 6,8 kPa. 21 % probandů ukončilo experiment ze subjektivních důvodů (pro výrazné potíže jako jsou dušení, mráкотné stavy, panika apod.). Nicméně 18 % dobrovolníků (5 osob) ukončilo experiment bez problémů, a to až po 30 minutách. Podobná zkušenost, tzn. značné interindividuální rozdíly, byly pozorovány i v našem experimentu. Zajímavý nálezn, vznik ustáleného stavu mezi hypoxií a hyperkapnií, trvající po dobu 20 minut, byl vysledován u 11 z 28 případů (Brugger et Falk, 2003). Vznik tohoto stavu byl vysvětlován spoluúčastí konvekce, specifické krusty a snížení produkce CO₂ (Pekař, 2011).

Velikost kapsy a denzita sněhu ovlivňovaly jak hodnoty saturace krve kyslíkem, tak i koncentraci CO₂ ve vdechovaném vzduchu, a tím i čas pro přerušení experimentu. Podle Bruggera je stupeň asfyxie závislý nejen na velikosti kapsy a denzitě sněhu, ale také na neznámých individuálních charakteristikách, kterým přiřítá až 22 % podílu ze všech spolupůsobících faktorů. Příčinou může být jak zvýšená psychická odolnost, různá senzitivita na hypoxii a hyperkapnii, tak i zatím neznámé faktory. Svoji roli může ale sehrát i „natátí“ a „prodechnutí“ vzduchové kapsy, s následným zvětšením objemu, který je obtížně

stanovitelný. Tyto uvedené výsledky jsou srovnatelné i s naším experimentem, i když zvolená vzduchová kapsa ve sněhu byla v naší studii podstatně menší.

K podobným výsledkům dospěli i Radwin et al. (2001). Společně sledovali ventilačně-respirační změny v simulovaných podmínkách sněhové laviny. Cílem jejich studie bylo prokázání přínosného efektu Avalungu, schopného odvádět CO₂. Při jeho použití vydrželi probandi dýchat ve sněhovém závalu až 90 min. (od 73 do 93 min.), s fyziologicky nevýznamnými odchylkami od normy.

Výsledky jejich měření u kontrolní skupiny, dýchající pouze do malého difuzibilního prostoru ve sněhu (s objemem 0,5 l), jsou srovnatelné s naším experimentem. V průběhu jejich měření, v době mezi 4. až 19. minutou, došlo ke kompenzační hyperventilaci. Průměrná DF probandů vystoupila na 36 dechů·min⁻¹ (s rozptylem hodnot od 13 do 61 dechů·min⁻¹), saturace krve kyslíkem klesala z 94,8 % na 83 % (s rozmezím 76 – 93 %), přičemž hodnota inspirovaného pCO₂ se zvyšovala z průměrných hodnot 3 na 44 mmHg (0,5 – 7,6 %) a exspirovaného CO₂ z 36 na 59 mmHg (6,2 – 10,2%). Probandi v naší studii se u dechové frekvence při dýchání do vzduchové kapsy ve sněhu dostali na velice podobné hodnoty cca 37 dechů·min⁻¹ se směrodatnou odchylkou 16,6. Průměrná minutová ventilace se zvýšila z výchozích 13 na 50 l. Saturace krve kyslíkem však u nich klesala rychleji. Po 5 minutách dýchání do vzduchové kapsy ve sněhu poklesla z 99 % až na hodnotu 64 % se směrodatnou odchylkou 17,2. Průměrná hodnota inspirovaného pCO₂ se přitom zvýšila na 3,9 % a exspirovaného CO₂ na 6,3 %. Je však potřeba zmínit, že pro všechny tyto výsledky byly typické relativně velké rozptyly naměřených hodnot.

Grissom et al. (2004) po 5 – 14 minutách dýchání do 0,5 l vzduchové kapsy ve sněhu zjistili koncentraci 7,7 – 8,7 % CO₂ v inspirovaném vzduchu. Autoři srovnávali dvě experimentální situace. Jednak osoby vybavené Avalungem (zařízení k odvodu exspirovaného vzduchu s vyšším obsahem CO₂) a dále osoby, které tímto zařízením vybaveny nebyly. Srovnáním tělesných teplot u testu s Avalungem (při zachování normokapnie) a testu bez něho (s vývojem hyperkapnie), prokázali skutečnost, že hyperkapnie je spolufaktorem přispívajícím ke vzniku či prohloubení hypotermie.

Hlavním a přímým limitujícím faktorem pro přežití člověka v lavině, dle našeho současného názoru, není jen velikost vzduchové kapsy ve sněhu, ale především zvýšené dechové úsilí, které je schopno organismus zatížit natolik, že se postupně začne projevovat hypoxie a hyperkapnie, což výrazně zkrátí čas jeho přežití.

Z naší studie a připojené literární rešerše vyplývá, že problematice hyperkapnie a difuze plynů ve sněhové lavině bude ještě potřeba věnovat značné množství času a úsilí.

V budoucnu by však tyto poznatky mohly přispět k jednoznačným doporučením a postupům pro chování člověka po pádu laviny a jeho následnému zasypání sněhovou masou.

5 Závěr

Cílem této disertační práce bylo především získání co největšího množství informací o problematice zasypaní člověka sněhovou lavinou. Experiment byl zaměřen na získání dat, týkajících se chování ventilačně – respiračních parametrů při dýchání do vzduchové kapsy ve sněhu. Difusibilita CO_2 ve sněhu byla prokázána srovnáním s dalším experimentálním měřením, dýcháním do neprodyšného uzavřeného objemu. Zjištěné výsledky byly následně konfrontovány s několika studiemi obdobného typu.

Celý projekt byl realizován a pojat jako pilotní studie, s předpokladem návaznosti na vyzkoušenou metodiku a zjištěná fakta. Další výzkum by se měl zabývat sledováním změn ventilačně-respiračních parametrů, fyziologických procesů i kompenzačních mechanismů lidského organismu zasypaného v simulované sněhové lavině s ohledem na různé velikosti vzduchových kapes ve sněhu (rozdílné množství využitelného vzduchu). V současné době se tímto projektem, v rámci svého doktorského studia, zabývá mj. Mgr. Karel Sýkora z VO FTVS UK.

Druhotným cílem bylo získání informací a nových poznatků, které se týkají této problematiky pro zpracování a použití v doposud chybějícím předpisu AČR „Přesuny na sněhu a ledu“, který je v současné době připravován příslušníky Vojenského oboru FTVS UK Praha. Ten by se měl danou tematikou zabývat a získané informace následně aplikovat v praxi při konkrétním výcviku (např. při simulaci zasypaní osob sněhovou lavinou, následné činnosti po ní, nebo nácviku vyproštění a záchrany postižených osob). Pevně věříme, že tento výzkum přispěje nejen ke zkvalitnění výcviku samotných přesunů na sněhu a ledu, ale také k vytvoření nového předpisu, v co možná nejkratším časovém horizontu.

Pro vlastní praxi jsou velmi přínosná veškerá naměřená data, získané poznatky a metodické zkušenosti, získané v průběhu experimentu. Význam této disertační práce spatřujeme především v šíři jejího záběru a v množství informací, které se nám podařilo shromáždit. Tyto znalosti mohou mít přínos a být vhodnými informacemi nejen pro lékaře, ale také pro osoby, které se pohybují ve vysokých horách, v oblastech s možným výskytem pádu lavin (horští vůdci, příslušníci horských služeb, členové záchranných týmů atd.), ale i ostatní, kteří se touto problematikou zabývají.

6 Seznam vybrané literatury

- 1) ATKINS, D. *Avalanche Statistics*. Colorado Avalanche Information Center, 2005. [online]. Available from www: <<http://www.geosurvey.state.co.us/avalanche/>>
- 2) BARTŮŇKOVÁ, S. *Fyziologie člověka a tělesných cvičení*. Praha: Karolinum, 2006. 285 s. ISBN80-246-1171-6.
- 3) BOLOGNESI, R. Understand and Reduce the Risks from Avalanches [With Nivo Test Observation Card], *Avalanche*, 2007. ISBN-13: 9781852844738
- 4) BRUGGER, H., DURRER, B., ADLER-KASTNER, L. et al. Field management of avalanche victims, *Resuscitation*, 2001, 51: 7-15.
- 5) BRUGGER, H., FALK, M. Analysis of avalanche safety equipment for backcountry skiers, (English translation from the Canadian Avalanche Association). In: *Jahrbuch 2002: Austrian Society for Mountain Medicine (Österreichische Gesellschaft für Alpinund Hohenmedizin)*, 2003.
- 6) BRUGGER, H., SUMANN, G., MEISTER, R. et al. Hypoxia and hypercapnia during respiration into an artificial air pocket in snow: implications for avalanche survival, *Resuscitation*, 2003, 58: 81-88.
- 7) BULIČKA, M. a kol. *Základy skialpinismu, Bezpečně v přírodě a horách. InfoHudy*, 2006.
- 8) CINGLOVÁ, L. *Vybrané kapitoly z tělovýchovného lékařství*. Praha: Karolinum, 2002. 199 s.
- 9) DINGMAN, S. L. *Physical Hydrology*. (Second edition.) Prentice Hall:, 2002. 646 p.
- 10) FALK, M., BRUGGER, H., ADLER-KASTNER, L. Avalanche survival chances, *Nature*, 1994. 368. (6466), 21.
- 11) FRANK, T., KUBLÁK, T. a kol. *Horolezecká abeceda*. Praha: Epocha s.r.o., 2009.
- 12) GANONG, W. *Review of Medical Physiology*. 22.th ed. USA: McGra-Hill Company, 2005. 823 p. ISBN 0-07-144040-2
- 13) GRISSOM, C. K., McALPINE, J. C., HARMSTON, C. H. et al. Hypothermia during simulated avalanche burial and after extrication (abstract). *Wilderness Environ Med*, 2004, 15: 59.
- 14) GRISSOM, C. K., RADWIN, M. I., HARMSTON, C. H. et al. Respiration during snow burial using an artificial air pocket. *JAMA*, 2000, 283: 2261-2271.
- 15) GRISSOM, C. K., RADWIN, M. I., SCHOLAND, M. B. et al. Hypercapnia increases core temperature cooling rate during snow burial. *J Appl Physiol*, 2004, 96: 1365-1370.

- 16) HARVEY, S., SIGNORELL, C. Avalanche accidents in back country terrain of the Swiss alps: New investigations of a 30 year database. *In International Snow Science Workshop*. Penticton, B.C., 2002.
- 17) HELLER, J. VODIČKA, P. *Praktická cvičení z fyziologie tělesné zátěže*. Praha: Karolinum, 2011. 115 s. ISBN 978-80-246-7
- 18) HENDL, J. *Přehled statistických metod zpracování dat*. Praha: Portal, s.r.o., 2004. ISBN 80-7178-820-1
- 19) HENDL, J. *Úvod do kvalitativního výzkumu*. Praha: Karolinum, 1990. ISBN 80-246-0030-7
- 20) HOUDEK, I., VRBA, M. *Zimní nebezpečí v horách*. Praha: 1953. ISBN 301 11 2-17326/4/53/S VI-1
- 21) KERN, M., TSCHIRKY, F., SSHWEITZER, J. Feldversuche zur Wirksamkeit einiger neuer Lawinen-Rettungsgeräte. pp.127-145 in: H. Brugger, G. Sumann, W. Schobersberger und G. Flora (Hrsg), *Jahrbuch 2001 der Österreichischen Gesellschaft für Alpin-und Hoehenmedizin, OeGAHM*, Innsbruck:, 2001.
- 22) KOHLÍKOVÁ, E. *Vybraná témata praktických cvičení z fyziologie člověka*. Praha: Karolinum, 2012. s.83 ISBN 80-246-0073-0
- 23) KOŘÍZEK, V. *Laviny – Prevence Díl I*. 2. vydání., 2006.
- 24) KUKAL, Z. *Průrodní katastrofy*. 1. vydání. Praha: Horizont, 1983. 252 s.
- 25) LARCHER, M. Stop or Go: Aktueller Stand und Aussicht. *Berg&Steigen*, 2001, 01/4, s. 42-45
- 26) LARCHER, M. Stop or Go: Entscheidungsstrategie für Tourengesher. *Berg&Steigen*, 1999, 99/4, s. 18-23
- 27) LARCHER, M. Stop or Go Vol. 2: Entscheiden und Handeln abseits gesicherten Pisten. *Berg&Steigen*, 2000, 00/4, s. 36-40
- 28) MAENO, N., NARUSE, R., NISHIMURA, K. Physical characteristics of snow-avalanche debris. *In Avalanche Formation, Movement and Effects*. Swiss, Davos: IAHS Publ., 1986. p. 421–427
- 29) MAŠEK, M. Hyperkapnie a difuze plynů pod sněhovou lavinou. *Scientia Movens, Sborník příspěvků z mezinárodní studentské vědecké konference* Praha, 27. března 2012. s. 394-401
- 30) MAŠEK, M. *Komparace způsobů provádění přesunů v zimních podmínkách ve vybraných armádách NATO a armádách s nimi spolupracujících*. Diplomová práce, vedoucí Mgr. Sýkora K., Praha: UK FTVS, 2006.

- 31) MAŠEK, M. *Komparace způsobů provádění přesunů v zimních podmínkách ve vybraných armádách NATO a armádách s nimi spolupracujících*. Rigorózní práce, Praha: UK FTVS, 2007.
- 32) MAŠEK, M., SIEGER, L. Přežití pod sněhovou lavinou. *Česká Kinantropologie*, 2011. Vol. 15, č. 2, s. 33-48
- 33) McARDLE, W. D., KATCH, F. I., KATCH, V. L. *Exercise Physiology. Energy, Nutrition, and Human Performance*. 6th Edition. Lippincott Williams & Wilkins, 2007. 1068 s. ISBN: 0781749905.
- 34) McLUNG, D., SHAERER, P. *The Avalanche Handbook*. The Mountaineers, 2006. ISBN 978-0-89886-809-8
- 35) MÜNTER, W. *Drei mal drei (3x3) Lawinen. Risikomanagement im Wintersport*. Bergverlag Rother, 2002. ISBN 3-7633-2060-1
- 36) MÜNTER, W. *Lawinen*. Bergverlag Rother, 2003. ISBN: 978-3-00-010520-3
- 37) PEKAŘ, M. *Model difuze CO₂ v lavině*. Diplomová práce, vedoucí Ing. Sieger L., CSc., Praha: ČVÚT, 2011.
- 38) POHL, W., SCHELLHAMMER, CH. *Základy skialpinismu*. Přel. R. Kujan. Vsetín: Altimax, 2005. 100 s. Přel. z anglického orig. Skialpinismus and Skitouring. ISBN 80-86743-09-8
- 39) QUERVAIN, M. R. On Avalanche Classification, a Further Contribution. IUGG, *Intern. Assoc. Sci. Hydrol.*, Publ., 1966. vol. 69, p. 410–417.
- 40) QUERVAIN, M. R. *Scientific Aspects of Snow and Ice Avalanches*. Problems of avalanche research, in Symposium at Davos, 1965. IAHS, 1 – 8.
- 41) RADWIN, M. et al. Aufrechterhaltung der Oxygenierung und Ventilation während einer experimentellen Schneeingrabung durch Ableitung des ausgeatmeten Kohlendioxid, *Wilderness Environ Med*, 2000.
- 42) RADWIN, M. I., GRISSOM, C. K. Technological advances in avalanche survival, *Wilderness Environ Med*, 2002, 13: 143-152.
- 43) RADWIN, M. I., GRISSOM, C. K., SCHOLAND, M. B. et al. Normal oxygenation and ventilation during snow burial by the exclusion of exhaled carbon dioxide, *Wilderness Environ Med*, 2001, 12: 256-262.
- 44) SELIGER, V., BARTŮNĚK, Z. *Mean values of various indices of physical fitness in the investigation of Czechoslovak population aged 12-55 years*. Czech Union for Physical Culture, Prague, 1976

- 45) SCHWEIZER, J. et al. *Caution - Avalanches!*. 5.th ed. Swiss, Davos, 2005. [online]. Available from http://www.preventionweb.net/files/2620_CautionAvalanches.pdf
- 46) SUMANN, G. Praeklinische Triage und Therapie von Lawinenverschütteten, *Intensivmed*, 2002. vol. 39, p. 315–320
- 47) TROJAN, S. a kol. *Lékařská fyziologie*. Praha: Grada, 2003. 772 s. ISBN 80-247-0512-5.
- 48) VOKURKA, M., HUGO, J. a kol. *Velký lékařský slovník.*, 8. vyd. Praha: Maxdorf s.r.o., 2008. ISBN 978-80-7345-166-0
- 49) WINTER, S. *Skialpinismus*. České Budějovice: Kopp, 2002. ISBN 80-7232-187 -0