UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Fakulta tělesné výchovy a sportu

Katedra fyziologie a biochemie

VENTILAČNĚ-RESPIRAČNÍ ZMĚNY A DIFUZE PLYNŮ V SIMULOVANÉ SNĚHOVÉ LAVINĚ

DISERTAČNÍ PRÁCE

Školitel:

doc. MUDr. Staša Bartůňková, CSc.

Zpracoval:

Mgr. Karel Sýkora

Konzultant:

Ing. Ladislav Sieger, CSc.

2016

Abstrakt:

Název:

Ventilačně-respirační změny a difuze plynů v simulované sněhové lavině.

Cíle práce:

Cílem této práce bylo sledování různých ventilačně-respiračních parametrů při dýchání v simulované sněhové lavině se vzduchovou kapsou a bez ní.

Metoda:

Intervenční, dvojitě zaslepená randomizovaná studie se zkříženým designem byla provedena u 12 mužů, studentů Vojenského oboru při Fakultě tělesné výchovy a sportu University Karlovy. Měření probíhala v Krkonoších od 14. do 18. 1. 2013, v nadmořské výšce 762 m.n.m. Každý z dobrovolníků, který se zúčastnil studie, byl v náhodném pořadí podroben dvěma fázím experimentu: 1. fáze „AP“ - dýchání do vzduchové kapsy s objemem 1 L a 2. fáze „NP“ - dýchání do sněhu bez vzduchové kapsy. V průběhu experimentu byly zaznamenávány různé fyziologické parametry, zejména frakce vdechovaného a vydechovaného O_2 a CO_2, periferní saturace krve kyslíkem a dechová práce (*WoB*), vyjádřená pomocí Pressure-Time Product (*PTP*).

Výsledky:

Přítomnost vzduchové kapsy a její velikost hrají v přežití obětí zasypaných sněhovou lavinou důležitou roli. Výsledky prokázaly možnost krátkodobého dýchání v lavinovém sněhu i bez vzduchové kapsy (0 L). Limitujícím faktorem byl nadměrný nárůst dechové práce, spojený se zvýšeným metabolismem, vyšší spotřebou kyslíku a vyšší produkcí oxidu uhličitého. Jak u frakcí exspirovaných dýchacích plynů (EtO_2 a $EtCO_2$), tak i u saturace krve kyslíkem (SpO_2) byly mezi fázemi AP a NP zjištěny významné rozdíly, zatímco u frakcí inspiračních (F_IO_2) se významné rozdíly objevily mnohem později nebo se neprokázaly vůbec (F_ICO_2). I malá kapsa snižuje náročnost dechové práce.

Klíčová slova:

sněhová lavina, dechová práce, dechové úsilí, přežití, hypoxie, hyperkapnie

Abstract:

Title:

Ventilation - respiratory changes and diffusion of gases in the simulated snow avalanche.

Goals:

The aim of this study was to investigate different ventilation-respiratory parameters with breathing into the simulated snow avalanche with and without any air pockets.

Method:

An intervention randomized double blind crossover study was conducted on 12 male students of Military Department at the Faculty of Physical Education and Sports of Charles University. The study was realized in the Krkonoše Mountains in the period January 14 – 18th, 2013 at an altitude of 762 m above sea level. Each volunteer underwent two phases of the experiment in a random order: 1st phase "AP"- breathing into the snow with a 1 L air pocket, and 2nd phase "NP"- breathing into the snow with no air pocket. Physiological parameters, especially fractions of O_2 and CO_2 in the airways and work of breathing (*WoB*) expressed as Pressure-Time Product (*PTP*) were recorded continuously.

Results:

The presence of the air pockets and size has an important role in the survival of buried avalanche victims. The finding of this study is that it is possible to breath in the avalanche snow even with no air pocket (0 L), but breathing under this condition is associated with significantly increased work of breathing. The limiting factor in no air pocket conditions was excessive increase in work of breathing that induces increase in metabolism accompanied by higher O_2 consumption and CO_2 production. The significant differences were initially observed for end-tidal values of the respiratory gases (EtO_2 and $EtCO_2$) and peripheral oxygen saturation (SpO_2) between AP and NP phases, whereas significant differences in inspiratory fractions occurred much later (F_IO_2), or never (F_ICO_2).The presence of even small air pocket reduces significantly the work of breathing.

Key words:

snow avalanche, work of breathing, breath effort, survival, hypoxia, hypercapnia

Touto cestou bych chtěl poděkovat doc. MUDr. Staše Bartůňkové, CSc., prof. Ing. Karlovi Roubíkovi, Ph.D., a Ing. Ladislavu Siegerovi, CSc., za odborné vedení práce, za praktické rady a zkušenosti. Také bych rád poděkoval PhDr. Michalovi Maškovi, Ph.D., za pomoc při měření a celé praktické realizaci tohoto výzkumu a dále pak MUDr. Aleně Revinové a Ondřejovi Hejdánkovi za zdravotní zabezpečení výzkumu. Také bych rád poděkoval studentům prezenčního studia Vojenského oboru při Fakultě tělesné výchovy a sportu Univerzity Karlovy za jejich ochotu a úsilí při účasti na měření ventilačně-respiračních parametrů v simulované sněhové lavině. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své manželce Bc. Pavle Sýkorové za podporu během studia a za jazykovou korekturu celé disertační práce.

Prohlašuji, že jsem disertační práci zpracoval samostatně a použil jsem pouze literaturu uvedenou v seznamu bibliografické citace.

Mgr. Karel Sýkora

Svoluji k zapůjčení své disertační práce ke studijním účelům. Prosím, aby byla vedena přesná evidence vypůjčovatelů, kteří musejí pramen převzaté literatury řádně citovat.

Jméno a příjmení:	**Číslo OP:**	**Datum vypůjčení:**	**Poznámka:**

OBSAH

OBSAH **7**

1 ÚVOD **15**

2 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY **17**

2.1 PATOFYZIOLOGIE LAVINOVÝCH ÚMRTÍ 18

2.1.1 Doba zasypání *18*

2.1.2 Míra zasypání *20*

2.1.3 Hloubka zasypání *20*

2.1.4 Existence vzduchové kapsy *21*

TEORETICKÁ ČÁST **24**

3 FYZIOLOGICKÉ UKAZATELE ZATÍŽENÍ **24**

3.1 OBĚHOVÉ PARAMETRY 24

3.2 DECHOVÉ PARAMETRY 26

3.2.1 Ventilační parametry *26*

3.2.2 Respirační parametry *30*

3.2.3 Hypoxie *34*

3.2.4 Hyperkapnie *36*

3.2.5 Řízení dechových funkcí *37*

3.2.6 Dechová práce WoB *38*

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST **40**

4 VÝZKUMNÉ OTÁZKY, CÍLE, ÚKOLY, HYPOTÉZY **40**

5 METODIKA VÝZKUMU **42**

5.1 ZAJIŠTĚNÍ BEZPEČNOSTI 43

5.1.1 Zdravotní zabezpečení *43*

5.1.2 Důvody ukončení experimentu *44*

5.2 VÝZKUMNÝ SOUBOR 44

5.3 MĚŘÍCÍ TECHNIKA 46

5.3.1 Datex – Ohmeda S/5 ..... *46*

5.3.2 Edan M3 ..... *48*

5.3.3 Spirometr MSP1 MESIT *49*

5.3.4 Měření hustoty sněhu *49*

5.3.5 Měření teploty sněhu a tlaku vzduchu *50*

5.3.6 Záznamová technika *51*

5.3.7 Komunikační technika *51*
5.4 DESIGN VÝZKUMU 52
5.4.1 Příprava dýchacího okruhu *54*
5.5 ANALÝZA DAT 58
5.5.1 Výpočty *58*
6 VÝSLEDKY 60
6.1 ČAS DÝCHÁNÍ DO SNĚHU 60
6.2 PERIFERNÍ SATURACE KRVE KYSLÍKEM (SpO_2) 61
6.3 HODNOTY FRAKCE KYSLÍKU (O_2) 61
6.4 HODNOTY FRAKCE OXIDU UHLIČITÉHO (CO_2) 62
6.5 HODNOCENÍ DECHOVÉHO ÚSILÍ *IPTP* 63
6.6 MĚŘENÍ ODPORU SNĚHU 64
7 DISKUZE 65
8 ZÁVĚR 72
9 LITERATURA 73
10 INTERNETOVÉ ZDROJE 80
11 PŘÍLOHY 81
11.1 SEZNAM OBRÁZKŮ 81
11.2 SEZNAM TABULEK 82
11.3 SEZNAM GRAFŮ 82
11.4 SEZNAM DOKUMENTACE K EXPERIMENTU 83

Symbol	Jednotka	Význam
ρ	kg/m^3	hustota (měrná hmotnost)
ΔP	Pa	rozdíl tlaků
ΔV	L	rozdíl objemů
BF	min^{-1}	dechová frekvence
BMI	kg/m^2	body mass index (ukazatel tělesného složení)
C_{CO_2}	%	koncentrace oxidu uhličitého
C_{N_2O}	%	koncentrace oxidu dusného v dýchacím okruhu
EEO_2	kJ/L	energetický ekvivalent kyslíku
ERV	L	exspirační rezervní objem
$EtCO_2$	%	exspirovaná frakce oxidu uhličitého na konci výdechu
EtO_2	%	exspirovaná frakce kyslíku na konci výdechu
f	min^{-1}	frekvence
$FEV1$	L	maximální objem vzduchu po usilovném výdechu po dobu 1 sekundy
F_ICO_2	%	inspirovaná frakce oxidu uhličitého
F_IO_2	%	inspirovaná frakce kyslíku
FRC	L	funkční reziduální kapacita
FVC	L	usilovná vitální kapacita plic
HR	min^{-1}	srdeční frekvence (heart rate)
IC	L	inspirační kapacita
$iPTP$	Pa·s/min	dechová práce vyjádřená jako pressure-time product způsobená limitací průtoku mimo dýchací cesty

Symbol	Jednotka	Význam
IRV	L	inspirační rezervní objem
MET	$mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$	jednotka energetického výdeje (metabolic multiple)
n	-	velikost souboru
P	cm H_2O	tlakový gradient mezi atmosférou a alveoly
p	-	hladina statistické významnosti
$PaCO_2$	mm Hg	parciální tlak oxidu uhličitého
PaH_2O	mm Hg	parciální tlak vodní páry
PaN_2	mm Hg	parciální tlak dusíku
PaO_2	mm Hg	parciální tlak kyslíku
Paw	cm H_2O	tlak v dýchacích cestách
$P_{Et}CO_2$	mm Hg	parciální tlak oxidu uhličitého na konci výdechu
pH	-	vodíkový exponent (potential of hydrogen)
PTP	Pa·s/min	pressure-time product
Qaw	L/min	průtok vzduchu v dýchacích cestách
R	Pa·s/L	odpor plic
r	-	korelační koeficient
RER	-	poměr respirační výměny (respiratory exchange ratio)
RQ	-	respirační kvocient
RV	L	reziduální objem
SD		směrodatná odchylka (standard deviation)
SpO_2	%	saturace periferní krve kyslíkem
T	°C	teplota

Symbol	Jednotka	Význam
t	s	čas
TK	mm Hg	tlak krve (systolický/diastolický)
TLC	L	celková plicní kapacita
v	m/s	rychlost
$\dot{W}_B$	J/min	minutová dechová práce (dechový výkon)
VC	L	vitální kapacita plic
$\dot{V}_{CO_2}$	$mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$	minutový výdej oxidu uhličitého
$\dot{V}e$	L/min	minutová ventilace
$\dot{V}_{O_2}$	$mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$	minutová spotřeba kyslíku
$\dot{V}O_{2max}$	$mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$	maximální minutová spotřeba kyslíku
WoB	J	dechová práce (Work of Breathing)
V_T	L	dechový objem

Pro označení litrů je záměrně zvolen symbol „L“ používaný v anglosaské literatuře a preferovaný v zahraniční literatuře z oblasti ventilačně-respirační problematiky, protože symbol „l“ (malé písmeno L) lze snadno zaměnit za 1 (číslici jedna), což snižuje čitelnost textu a hrozí i nebezpečí nechtěné záměny.

Pro hodnotu $P_{Et}CO_2$ a měření TK jsou použity jednotky mm Hg místo Pa. Je tomu tak z důvodu využívání těchto jednotek v praxi zdravotnických oborů.

Pro hodnoty tlaku v dýchacích cestách byly použity jednotky cm H_2O místo Pa. Je tomu tak z důvodu využívání těchto jednotek v praxi zdravotnických oborů.

Seznam zkratek

Zkratka	Význam
%	procento
AČR	Armáda České republiky
AP	vzduchová kapsa o objemu 1 L (air pocket)
ANP	anaerobní práh
apod.	a podobně
ASA	American Society of Anesthesiologists
atd.	a tak dále
BTPS	stav plynu (tělesná teplota, okolní tlak, saturace vodní páry)
ºC	stupeň Celsia
cca.	přibližně
cm	centimetr
CO	oxid uhelnatý
CO_2	oxid uhličitý
CZ	Česká republika (Czech republic)
ČVUT	České vysoké učení technické
EKG	elektrokardiogram
FBMI	Fakulta biomedicínckého inženýrství
FEL	Fakulta elektrotechnická
FTVS	Fakulta tělesné výchovy a sportu
h	hodina
HD	hard disk
Hg	rtuť
HS	Horská služba

Zkratka	Význam
HZS	Hasičský záchranný sbor
ICAR-CISA	Mezinárodní komise pro horskou záchranu (International Commission for Mountain Rescue)
J	joul
JIP	Jednotka intenzivní péče
kg	kilogram
kJ	kilojoul
kPa	kilopascal
KRNAP	Krkonošský národní park
L	litr
m	metr
m n.m.	metr nad hladinou moře
m^3	metr krychlový
min	minuta
mL	mililitr
mm	milimetr
N_2	dusík
N_2O	oxid dusný (rajský plyn)
např.	například
NP	vzduchová kapsa o objemu 0 L (no pocket)
O_2	kyslík
Pa	pascal
PC	personal computer
PČR	Policie České republiky
příp.	případně
s	sekunda

Zkratka	Význam
STP	Speciální tělesná příprava
STPD	standardní stav plynu (standardní tělesná teplota, standardní okolní tlak, suchý vzduch)
tzn.	to znamená
tzv.	takzvaný
UK	Univerzita Karlova
USA	Spojené státy americké (United States of America)
ÚVN	Ústřední vojenská nemocnice
VO	Vojenský obor
W	watt

1 ÚVOD

Tématem disertační práce je problematika přežití při zasypání sněhovou lavinou. Zaměřuje se především na ventilačně-respirační parametry a difuzi plynů v simulované sněhové lavině.

V dnešní době stále více narůstá popularita outdoorových sportů. Jednou z takových oblastí jsou i aktivity spojené s horským prostředím, a to jak v létě, tak i v zimě. Pohyb v horském prostředí s sebou přináší i určitou míru rizika, kterou je možné minimalizovat na základě dostatečných znalostí, dovedností a zkušeností. V zimním období jsou stále více populárnější aktivity okolo freeridového lyžování. Jedná se i o aktivity s ním spojené, jako je doprava pomocí lanovek, vrtulníků nebo vyvezení rolbou. Je to i záležitost dalších činností, jakými jsou skialpinismus, skitouring nebo horolezectví. Při všech těchto aktivitách se využívá sněhové pokrývky a tím pádem je zde riziko lavinového nebezpečí.

V současnosti se tomuto problému věnuje hodně pozornosti, a to především formou odborných lavinových kurzů a školení a samozřejmě také vývojem ochranných pomůcek. Tyto pomůcky procházejí v poslední době velkou evolucí a díky digitalizaci a elektronice je jejich užívání neustále snadnější a méně náročné na obsluhu. Ochranné pomůcky jsou však převážně pouze pomůckami pasivními a jejich používání nebrání samotnému zasypání lavinou. Jedinou aktivní ochranou je v současnosti airbagový batoh a ani jeho použití nezajišťuje uživateli stoprocentní bezpečnost před zasypáním nebo dalšími následky laviny.

Téma disertační práce jsem si vybral na základě mnohaletých zkušeností v této oblasti. Jako odborný garant přesunů na sněhu a ledu v Armádě České republiky (AČR) vedu v průběhu roku mnoho lavinových, instruktorských a dalších odborných kurzů nejen pro příslušníky AČR, ale také pro Policii České republiky (PČR), Hasičský záchranný sbor (HZS) a v neposlední řadě i civilní kurzy. Dále jsem strážcem Krkonošského národního parku (KRNAP), spolupracuji s příslušníky Horské služby (HS) a aktivně se účastním konferencí Společnosti horské medicíny a konferencí urgentní medicíny.

Předložená práce navazuje na výzkum kolegy PhDr. Michala Maška, Ph.D., z r. 2012, který se zabýval problematikou difusibility plynů při dýchání do sněhové kapsy s následnými projevy asfyxie. Jednalo se o unikátní pilotní projekt zaměřený mimo jiné na řešení nových metodických postupů i na možnosti minimalizace rizik. Zmíněného

výzkumu jsem se osobně účastnil. Problematika tohoto charakteru je natolik zajímavá, že jsem se rozhodl v dalším výzkumu pokračovat.

Touto prací jsem chtěl zkoumat fyziologické a fyzikální procesy, které probíhají v případě zasypání lavinou. Byl bych rád, kdyby zjištěné poznatky vedly k vývoji nových ochranných pomůcek, které by zvyšovaly šanci na přežití obětí zasypaných sněhovou lavinou.

2 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Ve světě je v posledních letech věnována lavinám velká pozornost. Je to především z důvodu prevence, ale samozřejmě zde hraje nezastupitelnou roli i záchrana zasypaných. Nejčastějšími oběťmi lavin jsou skialpinisté, lyžaři a snowboardisté lyžující mimo sjezdovky, horolezci a v USA a Kanadě jsou to i jezdci na sněžných skútrech (http://avalanche.state.co.us). Tyto aktivity znamenají, že většina lavinových neštěstí se odehrává v oblastech, které jsou vzdáleny od lyžařských středisek a nejsou tedy dostatečně kontrolovány [1, 2]. V Evropě a Severní Americe byl v letech 1994 – 2003 medián každoroční úmrtnosti lavinových neštěstí 141 obětí [3].

V rámci ICAR-CISA (International Commission for Alpine Rescue) jsou v Evropě sledovány statistiky lavinových nehod. Údaje jsou dostupné na internetu (www.ikar-cisa.org). Většina doporučení vychází ze statistických údajů. Jedná se o souhrnné údaje ze zpracovaných kazuistik. V evropském regionu tyto statistiky zpracovává právě ICAR-CISA (www.ikar-cisa.org), který je odbornou autoritou pro problematiku vysokohorské medicíny. V Čechách tyto statistiky zpracovává bezpečnostní komise Českého horolezeckého svazu ve spolupráci s lékařskou komisí (www.horosvaz.cz) a se Společností horské medicíny (www.horska-medicina.cz).

Podle Falka et al. a Bruggera et al. [4, 5] a i dalších autorů [6] je šance na přežití v lavině závislá na několika faktorech:

- závažnost traumatického poranění
- doba zasypání
- míra zasypání
- hloubka zasypání
- existence vzduchové kapsy

Podle evropských i amerických analýz příčin úmrtí v lavině je dominantní příčinou udušení, a to až v 90 % případů [3, 4, 7, 8]. Hypotermie a traumatická poranění jsou méně statisticky významná. Analýzy některých autorů [2] však naznačují vyšší počet traumatických poranění, a to až téměř ve 25 % případů (Tabulka č. 1). Tyto rozdíly vytvářejí především geografické odlišnosti. V zalesněných oblastech nebo v místech se skalnatým podložím lze očekávat vyšší pravděpodobnost traumatického poranění než na otevřených a nezalesněných svazích s minimálním skalnatým povrchem. V současné době také díky novým technologiím, jako je např. airbag systém – aktivní lavinová ochrana, dochází zároveň ke zvýšení procentuálního zastoupení traumatických poranění. Tato aktivní lavinová ochrana zabraňuje zasypání oběti sněhem a snižuje tak možnost udušení ve sněhu.

Mezi typicky se vyskytující traumatická poranění patří fraktury obličeje, lebky a žeber související s pneumotoraxem nebo plicním pohmožděním, dále pak vnitřní krvácení a otevřené fraktury dlouhých kostí.

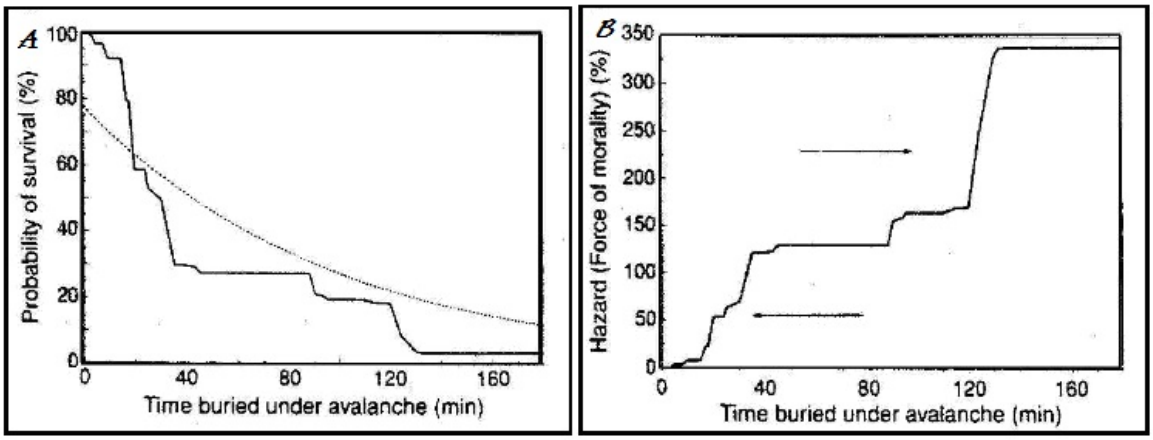
Tabulka 1 Příčiny úmrtí v lavině

	Zadušení [%]	Trauma [%]	Hypotermie [%]	Celkem [%]	Počet nehod
Hohlrieder et al. [3]	92	6	2	100	39
McIntosh et al. [9]	95	5	-	100	56
Boyd et al. [2]	75	24	1	100	204

2.1.1 DOBA ZASYPÁNÍ

Pravděpodobnost přežití úplně zasypaných obětí ve volném terénu na základě dat alpských zemí z let 1981–1998 (n = 735) ukazují rychlý pokles pravděpodobnosti přežití, a to z 92% v 15. minutě na 30% pravděpodobnost přežití úplně zasypané oběti ve 35. minutě [1, 4]. Haegeli et al. [10] popisují, že v Kanadě a v oblastech přímořského charakteru se jedná pouze o prvních 10 minut vlivem jiných klimatických a sněhových podmínek. V této fázi dochází k akutnímu udušení oběti sněhové laviny. Akutní udušení je nejčastější příčinou lavinových úmrtí [2, 3, 9]. K udušení dochází v důsledku blokování dýchacích cest, nebo v důsledku silné hypoxie a hyperkapnie vyplývající z opakovaného nadechování

vydechnutého plynu, což má za následek neustále se snižující koncentraci kyslíku (Co_2), zatímco koncentrace oxidu uhličitého (Cco_2) naopak narůstá. V případě, kdy má postižený možnost vydechovat vzduch do jiného prostoru, než odkud je vzduch nadechován (např. pomocí zařízení AvaLung), je schopen přežít bez větších problémů dobu delší jak 60 minut [11, 12, 13] a nebo dokonce 90 minut [14]. Další pokles mezi 35. a 90. minutou není už tak strmý. Oběť má průchodné dýchací cesty, vytvořenou vzduchovou kapsu, u které však dochází k jejímu uzavírání. Vlivem tepelného rozdílu mezi okolním prostředím a vydechovaným vlhkým vzduchem oběti dochází ke srážení této vlhkosti na stěnách vzduchové kapsy a jejímu postupnému namrzání. Právě srážení vlhkosti je příčinou vytvoření ledové krusty, která neumožňuje jakýkoli proces difuze plynů (O_2 a CO_2). Tuto fázi nazýváme jako fázi uzavírání vzduchové kapsy. Důsledkem uzavření vzduchové kapsy je hypoxie a hyperkapnie. Následný pokles pravděpodobnosti přežití (přibližně na 7 % ve 130. minutě) je důsledkem další hyperkapnie ve vytvořené vzduchové kapse současně s hypotermií [4] - viz obr. č 1.



Obrázek 1 Křivka pravděpodobnosti přežití (A) a zvyšování rizika úmrtí (B) úplně zasypaných lavinových obětí ve vztahu k době zasypání v alpských zemích

Na obr. „*A*" plná čára ukazuje na kasuistické vyjádření lavinových nehod z let 1981 – 1998, (n = 735) přerušovaná čára vyjadřuje vypočítanou matematickou funkci pravděpodobnosti přežití. Obr. „*B*" ukazuje na celkové zvyšování rizika úmrtí ve vztahu k době zasypání [*log* (pravděpodobnost přežití)]. Dvě skokové fáze grafu zvýšení rizika indikované šipkami representují prognózu pro skupinu bez (spodní šipka) a se (horní šipka) vzduchovou kapsou [1].

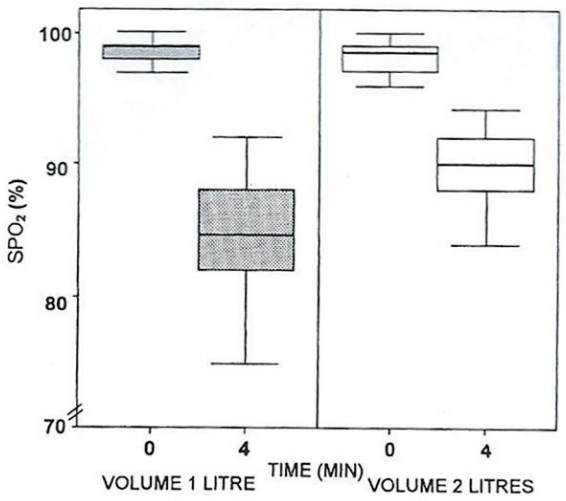
2.1.2 MÍRA ZASYPÁNÍ

Míra zasypání je jedním z důležitých faktorů, které ovlivňují pravděpodobnost přežití pod sněhovou lavinou. Definice úplného zasypání uvádí, že úplné zasypání je takové, kdy sníh zakrývá tělo i hlavu postiženého. Ve všech ostatních případech se jedná o zasypání částečné [1]. Analýza lavinových nehod v alpských zemích v letech 1981 až 1998 (přibližně 2000 lavinových neštěstí) ukazuje, že celková úmrtnost při zasažení dosahuje 23 %. Tato hodnota dále pak narůstá až k 52 % pro oběti, u kterých došlo k úplnému zasypání [4]. Na druhou stranu v případech částečného zasypání dosahuje pouze 4 % [1]. U těchto případů částečného zasypání můžeme však předpokládat, že většina částečných zasypání nebyla reportována. Odhaduje se, že počet neprotokolovaných případů může být až dvakrát tak velký jako počet případů zaznamenaných. Tento efekt tedy redukuje pravděpodobnost úmrtí při částečném zasypání pod již zmíněná 4 % [1]. V současné době právě díky používání airbagových batohů se tato skupina neustále navyšuje, což má za následek nižší úmrtnost obětí zasažených lavinou [15–18]. Většina lavinových úmrtí je však spojena s úplným zasypáním. Právě z tohoto důvodu je dnes při lyžování a pohybu ve volném terénu doporučováno používání aktivní ochrany před zasypáním v podobě lavinových airbagů. Tyto ochranné prvky, které jsou zabudovány v neseném batohu a jsou aktivovány vlastním uživatelem, zvyšují šanci na přežití tím, že ochraňují uživatele od úplného zasypání. Pravděpodobnost toho, že postižený při použití airbagového batohu nebude zasypán, nebo bude zasypán pouze částečně, je 50 % a vyšší [15–18]. Výrobce lavinových batohů ABS dokonce uvádí, že z 250 lavinových neštěstí při použití lavinového batohu s airbagy od firmy ABS přežilo 97 % obětí těchto lavin (http://abs-airbag.de). Dalšími výrobci airbagových systémů jsou firmy Mammut, Scott, Pieps a BCA, jejichž systémy využívají i firmy jako např. Deuter, Ortovox, Black Diamond a další [19].

2.1.3 HLOUBKA ZASYPÁNÍ

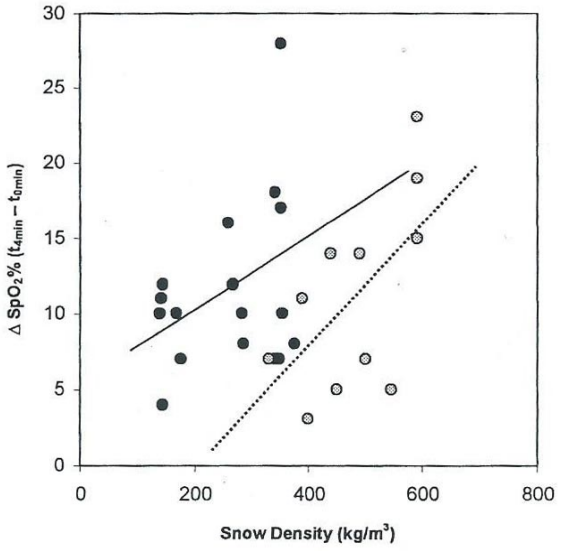
S mírou zasypání úzce souvisí i hloubka zasypání [20]. V průměru je hlava zasypána 70 cm pod povrchem. Závislost mezi hloubkou zasypání a pravděpodobností přežití při zvážení doby zasypání však nebylo možné statisticky dokázat. Jak lze předpokládat, tak závislost pravděpodobnosti přežití na čase souvisí i s delší dobou vyproštění, avšak není jasné, zda-li tlak sněhu nad zasypaným člověkem, ovlivňuje šanci na přežití.

Značná část prací a autorů řeší jednotlivé postupy a metodiky při záchraně zasypaných. Zabývají se způsoby vyhrabávání, aby nedošlo k borcení vzduchové kapsy před obličejem, organizací záchrany a časovými plány jednotlivých činností. Některé práce se ale zaměřují cíleně i na měření, která se zabývají asfyxií či hyperkapnií pod sněhem [12–14, 21–23]. Důležitou prací bylo měření hyperkapnie při dýchání do vzduchové kapsy o objemu 1 a 2 litry [22]. Toto měření probíhalo v nadmořské výšce 1 640 m n. m. (n = 12, průměrný věk byl 25 let, z tohoto souboru byly 4 ženy). Realizace samotného měření probíhala ve čtyřech dnech. První měření probíhalo za teploty vzduchu 4,8 °C, tlaku vzduchu 84,3 kPa, teploty sněhu 0 °C a jeho hustoty ρ = 470 kg/m³. Druhé měření probíhalo za teploty vzduchu -1 °C, tlaku vzduchu 82,5 kPa, teploty sněhu -1,4 °C a hustoty sněhu ρ = 275 kg/m³. Práce byla zaměřena především na měření rozdílu SpO_2 (%) a rozdílu nárůstu $EtCO_2$ (kPa). Dále je zde měřen čas do přerušení experimentu (min) v obou objemech vzduchové kapsy. Také je vyčíslen procentuální rozdíl SpO_2 při dýchání do vzduchové kapsy o objemu 2 litry a o objemu 1 litr. Následně byl pomocí krabicového grafu vyhodnocen vztah velikosti vzduchové kapsy na snížení periferního O_2 pomocí saturace SpO_2. Ve studii se rovněž uvádí korelace měrné hustoty sněhu (kg/m³) a snížení periferního O_2 pomocí periferní saturace krve kyslíkem (SpO_2) v prvních čtyřech minutách (r = 0,50 a p = 0,021).



Obrázek 2 Krabicový graf vztahu SpO_2 a velikosti vzduchové kapsy (n = 28)

Boxy vyznačují interkvartilové rozpětí. Linka uvnitř značí medián a chybové úsečky nahoře a dole ukazují na nejvyšší a nejnižší hodnoty. Medián SpO_2 (%) se snižuje v prvních 4 minutách z 99 % (od 96 do 100 %) na 84 % (od 71 do 92 %) při dýchání do vzduchové kapsy o objemu 1 litru. U vzduchové kapsy o objemu 2 litry dochází ke snížení SpO_2 z 98 % (od 93 do 100 %) na 90 % (od 82 do 94 %). Mann-Whitney U-test, p = 0,003 [22].



Obrázek 3 Korelace mezi snižováním SpO_2 a hustotou sněhu (kg/m³)

Šedé body jsou výsledkem prvního měření v dubnu 2000 (*n* = 12), černé body jsou výsledkem druhého měření v únoru 2001 (*n* = 16) [22].

Dalším zdrojem zajímavých informací byl výzkum na selatech v rakouském Ventu [23]. Tato studie se zabývala porovnáváním dýchání do sněhové kapsy o objemech 1litr, 2 litry a do otevřeného, neomezeného prostoru při úplném zasypání. Měřil se především vliv třetího faktoru, z tzv. "Triple H Syndroms" (hypoxie, hyperkapnie, hypotermie), tedy i vliv podchlazení. Protože Helsinská deklarace nepovoluje pokusy s podchlazením na lidech, byla k tomuto účelu použita selata. I přestože byl výzkum schválen ministerstvem pro vědu a výzkum a byl prováděn Lékařskou univerzitou v Insbrucku společně s Ústavem urgentní medicíny Evropské univerzity v Bolzanu, vzedmula se proti tomuto výzkumu obrovská nevole především ze strany ochránců zvířat a výzkum byl vzhledem k těmto okolnostem předčasně ukončen. Podařilo se změřit osm zvířat při úplném zasypání. Zvířata byla při pokusu vždy uspána a byly jim aplikovány anestetické prostředky. Ukázalo se, že teplota jádra se v prvních deseti minutách snižovala velmi rychle, a to průměrně o 15 ºC/h u všech skupin, tedy jak u skupiny dýchající do vzduchové kapsy o neomezeném objemu, tak i u skupin dýchajících do sněhových kapes o objemu 1 litr, popřípadě 2 litry. Díky takto rychlému snižování teploty dochází i ke snížení metabolismu. Další studie by se podle autorů měly zaměřit především na vzájemné působení velikosti vzduchové kapsy, měrné hustoty sněhu, rychlosti hypothermie, hypoxie a hyperkapnie během zasypání lavinou. Vztah mezi hyperkapnií a hypotermií potvrzuje i studie z Kanady při používání ochranných prostředků při zasypání v lavině [11].

Problémy narůstající hyperkapnie vzhledem k uzavírání sněhové kapsy se zabývají další práce [12–14]. Tyto práce jsou zaměřeny na zvýšení šance na přežití při použití speciálních prostředků pro dýchání. Společným znakem těchto prostředků je využívání difuzivity sněhu a získávání O_2 pro nádech. Vydechovaný vzduch je odváděn trubicemi za tělo postiženého, čímž nedochází k hyperkapnii a doba přežití se tím výrazně prodlužuje. Velkou nevýhodou těchto prostředků je, že si je postižený při stržení lavinou musí stihnout vložit do úst a tam je i udržet. Z těchto důvodů nejsou tyto ochranné prostředky v Evropě příliš využívány a využívají je převážně lyžaři a snowboardisté v oblastech Severní Ameriky, kde roční srážkový úhrn činí 12 – 18 m sněhu za rok. V těchto podmínkách poté hrozí další nebezpečí, které je nazýváno tzv. „tree well“ (stromová studna). Postižený se při pádu poblíž stromu propadá podél něj do sněhové závěje (nejčastěji hlavou napřed) a není schopen se zachránit bez cizí pomoci. V takovém případě má ale možnost použít výše zmiňované ochranné prostředky pro prodloužení doby přežití a záchrany.

Měřením difuze různých druhů plynů ve sněhu se zabývala skupina vědců v Coloradu, avšak jednalo se pouze o prostou difuzi jednotlivých plynů ve sněhu, který volně nasněžil na zařízení sestrojené k měření [24]. Toto měření probíhalo průběžně během celé zimní sezóny a jeho výsledky se zaměřily především na ovlivňování životního prostředí.

Cílem naší studie bylo hledat především závislost doby přežití na velikosti malých vzduchových kapes. Z fyzikálního pohledu se totiž rozdíl objemů 1 L a 0 L u člověka při vitální kapacitě plic 5 L nejeví jako příliš důležitý a zásadní.

V současné době se při záchraně obětí lavinových nehod definuje jako vzduchová kapsa jakýkoli prostor kolem dýchacích cest [1, 25]. Není publikována ani známa žádná studie, která by se zabývala zjišťováním efektu dýchání bez vzduchové kapsy.

Detailní specifikace cílů a výzkumných otázek této disertační práce je uvedena v kap. 4 na str. 35.

TEORETICKÁ ČÁST

3 FYZIOLOGICKÉ UKAZATELE ZATÍŽENÍ

Při jakékoli aktivitě člověka dochází ke změnám stálosti vnitřního prostředí (homeostázy). Narušená homeostáza je tělem vnímána jako spouštěč mechanismů, které mají za úkol tyto změny kompenzovat. Akutní zatížení se mimo jiné projevuje změnami v řízení a funkci kardiorespiračního systému. Vzhledem k tomu, že lze tyto změny přesně změřit a hodnotit, považují se za standardní ukazatele intenzity zátěže. Sledování těchto parametrů v průběhu různých experimentů má však i velký význam bezpečnostně kontrolní.

3.1 OBĚHOVÉ PARAMETRY

Nejčastěji měřené parametry kardiovaskulárního systému v terénní praxi jsou srdeční frekvence (*HR*) a krevní tlak (*TK*).

Srdeční frekvence je výrazem rytmické práce srdečního svalu. K objektivizaci funkce slouží přenos akčních potenciálů cestou kompletního elektrokardiografického záznamu. Výhodou EKG je možnost bezdrátového (telemetrického) přenosu. V tělovýchovné praxi se používá zjednodušená (modifikovaná) forma, tzv. Sport Tester. Přestože tento snímač kdysi registroval pouze srdeční frekvenci, příp. tréninková pásma pomocí pozitivní vlny komorového komplexu (vlny R), moderní typy jsou schopny vyhodnocovat i dosažený energetický výdej, testovat reaktivitu autonomního nervového systému, rychlost pohybu (v nabídce je i kompas, navigace, výškoměr i teploměr aj.). [http://www.polar-eshop.cz].

Ve výšce 2 385 m n.m. při barometrickém tlaku 573 mm Hg byly naměřeny klidové hodnoty *HR* 71 – 97 úderů/min. [11]. Srdeční frekvence se ve vysokohorském prostředí může zvýšit nejen v souvislostí s hypoxií, ale i námahou na extrémní hodnoty 170 – 220 úderů/min [26].

Pro zajištění bezpečné kontroly srdeční činnosti je však nezbytné sledovat kontinuálně celý EKG záznam. Jen tak je možné včas rozpoznat různé typy nepravidelné srdeční činnosti (arytmie) či známky nedostatečného prokrvení myokardu (ischémie). Srdeční aktivita je ovlivněna nejen intenzitou zátěže, ale reaguje citlivě i na řadu dalších vlivů, jako jsou klimatické podmínky, psychický stav, tělesná teplota, poloha těla, únava atd. Udává se, že rizikem pro vznik chladových arytmií je pokles tělesné teploty pod 32 ºC. Ve vysokohorském prostředí se uplatňuje kombinace tří dalších faktorů: hypoxie, zvýšená sympatická aktivita a respirační alkalóza. Při vysokohorských sportovních aktivitách představuje náhlá srdeční smrt až 30 % úmrtí [27]. Riziko arytmie ve vysokohorském prostředí se zvyšuje ještě také s věkem [28].

Nezbytným parametrem bezpečné kontroly jedince je i krevní tlak, *TK*. I ten se může v současné době měřit kontinuálním způsobem, v časově definovaných periodách [29]. Je tak možné průběžně sledovat výkyvy *TK* nejen v běžných, ale i v různých stresových situacích. V extrémních podmínkách vysokohorského prostředí dochází ke zvýšení krevního tlaku nejen u rizikových jedinců s oběhovými a dechovými problémy, ale i u zdravých osob. V chladu dochází k periferní vazokonstrikci, centralizaci krevního oběhu s „obětováním“ akrálních částí a ke zvýšení systémového *TK*. Při záchraně podchlazeného jedince má zásadní význam co nejdelší udržování hodnot krevního tlaku [30]. Rychlé oteplování s následnou vazodilatací periferie může vést k nežádoucímu rychlému poklesu krevního tlaku a k šokovému stavu. V současné době se k zajištění pomalého zahřívání používá tzv. Hiblerův zábal (prolévání několika vrstev zábalů horkou vodou – využití tepla horké vody k ohřátí jádra podchlazeného) [31].

I hypoxie vede ke zvýšení krevního tlaku, ne však v systémovém (velkém) oběhu, ale v plicním řečišti. Ve vysokohorském prostředí se tak může objevit jak akutní, tak chronická forma plicní hypertenze [32].

Poznámka. Podle norem SI soustavy se má veličina tlak vyjadřovat v kPa, nicméně v klinické praxi i v odborné literatuře přetrvává používání jednotek v milimetrech rtuťovitého sloupce (mm Hg). (Je to zavedený zvyk, paradoxní s ohledem na platnou směrnici Evropského parlamentu a rady. Od 2009 totiž platí zákaz prodeje a distribuce skleněných lékařských teploměrů i dalších měřících zařízení včetně tlakoměrů s obsahem rťuti.) [(http://www.krevni-tlak-omron.cz/aktualni-letaky/pro-lekare-zdravotni-sestry/zakaz-prodeje-mericich-zarizeni-teplomeru-tlakomeru-obsahujicich-rtut)]

3.2 DECHOVÉ PARAMETRY

Dýchací systém spolu s oběhovým systémem zajišťují transport dýchacích plynů, i když v řadě publikací jsou tyto pojmy zaměnitelné, je užitečné rozlišovat ventilaci a respiraci. Ventilace zajišťuje výměnu vzduchu mezi vnějším prostředím a plícemi. Je možné ji objektivizovat nejen dynamickými a statickými ventilačními parametry (nejčastěji objemy), ale i měřitelnými tlakovými a průtokovými hodnotami. Vnější a vnitřní respirace je výměnou plynů mezi alveolami, krví a tkáněmi. Významnou roli hraje jak alveolokapilární difuze, tak vazba kyslíku na hemoglobin a jeho uvolňování ve tkáních. Uplatňuje se řada faktorů jako jsou parciální tlaky plynů, *pH* a místní teplota. Za buněčnou respiraci a buněčné dýchání jsou považovány oxidativní fosforylace odehrávající se v mitochondriích [33].

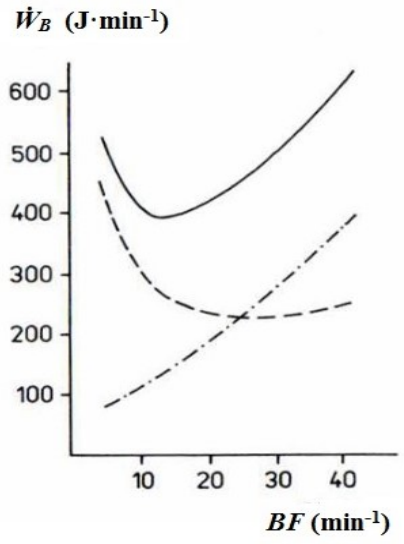
3.2.1 VENTILAČNÍ PARAMETRY

Mezi ventilační dynamické parametry patří dechová frekvence, minutová ventilace, rozepsaný výdech vitální kapacity a průtokové rychlosti, zatímco statickými parametry jsou rezervní inspirační a exspirační objemy, dechový objem a odvozené kapacity (vitální kapacita, reziduální objem, funkční reziduální kapacita nebo inspirační kapacita) [34].

Dechová frekvence (BF) a dechový objem (V_T)

Frekvence dýchání je kromě naší vůle ovlivněna řadou vnitřních a zevních faktorů. Ke zvýšení dechové frekvence dochází nejen při fyzické, příp. emoční zátěži, ale i při hypoxii a hyperkapnii. Rychlost střídání inspiria a exspiria může z klidové hodnoty 14 – 16 dechů/min narůst až na extrémní hodnoty 60 – 70 dechů/min. Tato frekvence je pro organismus značně neekonomická, a to jak pro redukující se dechový objem se sníženým přívodem kyslíku, tak i pro rychle nastupující únavu dýchacích svalů. Dechová frekvence je ovlivněna i specifiky různých sportovních aktivit, jakými jsou např. potápění, plavání, vzpírání, gymnastika, běh, které jsou provázeny zadržováním dechu či využíváním různých dechových vzorů [35].

Z hlediska dechové práce, resp. kontrakční síly dýchacích svalů, existuje optimální dechová frekvence, tj. taková, při které se dané úrovně alveolární ventilace dosáhne s nejmenší prací. Významnou roli při dechové práci má uvedený dechový vzor a změny mrtvého prostoru. Již původní autorské práce Otise at al. [36, 37] prokázaly, že v případě, kdy dochází k dýchání s nižší frekvencí a vyššími dechovými objemy, nastává snížení negativního efektu mrtvého prostoru a proudové práce. Děje se tak ale na úkor zvýšení práce elastické. U dýchání s vyšší frekvencí je tomu zase naopak.



Obrázek 4 Optimální dechová frekvence

Závislost minutové dechové práce (dechového výkonu $\dot{W}_B$) na dechové frekvenci (BF). Plná čára znázorňuje celkovou $\dot{W}_B$, čárkovaná čára – elastická $\dot{W}_B$ a čerchovaná čára – proudová $\dot{W}_B$. Upraveno podle [38].

Dechový objem, množství vzduchu vydechnutého jedním výdechem, se v klidu pohybuje okolo 0,5 L. Vztah dechového objemu k dechové frekvenci je nepřímo úměrný, což je patrné zejména u sportovců, jejichž systémy pracují ekonomicky (tzn. větší dechový objemem je kompenzován nižší frekvencí). Z pohledu dechové frekvence a amplitudy dechového objemu, hodnoceného např. pneumografickým záznamem, se rozlišuje několik typů dýchání: eupnoe (dýchání v klidu), tachypnoe či polypnoe (zrychlené dýchání s nízkou dechovou amplitudou, např. při emocích), hyperpnoe (zrychlené ale prohloubené dýchání, např. při fyzické zátěži), dyspnoe (dušnost s pocitem nedostatku kyslíku), ortopnoe (dušnost vleže nutící změnit polohu), apnoe (vědomé či nevědomé zadržení dechu v inspirační či exspirační fázi) [39].

Minutová ventilace ($\dot{V}e$)

Minutová ventilace patří mezi často sledované funkce. Je však jen jedním z ukazatelů ventilační zdatnosti. Pohybuje se od klidových hodnot 6 – 10 L/min až po maximální hodnoty 80 – 150 L/min, výjimečně dokonce až 200 či 220 L/min.

Hypoventilace vyvolává nedostatečnou výměnu plynů v plicních alveolech. Nastává hypoxie a hyperkapnie s acidózou. Příčinou může být útlum dechového centra (otravy, úrazy), nervosvalová onemocnění či plicní obstrukční onemocnění. Hypoventilace může vzniknout u některých osob jako paradoxní situace ve vysokých výškách po předchozí hyperventilaci. Hypokapnie z vydýchání většího množství CO_2 může tlumit aktivitu dechového centra. Vzniká tak začarovaný kruh, který může, spolu s dalšími faktory, hypoxii ještě prohlubovat [40]. Byly dokonce zaznamenány výskyty apnoe vyvolané předchozí hypokapnií [34].

Hyperventilace nastává při zvýšených nárocích organismu na zásobení kyslíkem. Objevuje se především při různých formách hypoxie či hyperkapnie. Může se ale objevit i při stresových situacích nebo záměrně, při volním úsilí (např. při testu maximální minutové ventilace nebo nedoporučovaně u plavců či potápěčů před výkonem). Hyperventilace je spojena s vydýcháním většího množství oxidu uhličitého a vyvolává respirační alkalózu, typickou reaktivní odpověď ve vyšších nadmořských výškách. Hyperventilace může být krátkodobou reakcí na asfyxii po zasypání sněhovou lavinou.

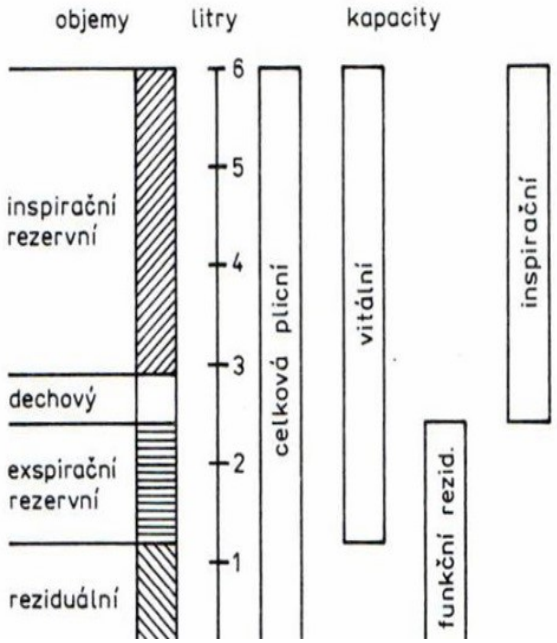
Vitální kapacita (*VC*) a Celková plicní kapacita (*TLC*)

Vitální kapacita (u mužů 4 – 5 L a u žen 3 – 4 L) je považována za nejvhodnější ukazatel dechových funkcí a je součástí každého spirometrického vyšetření. Nadprůměrné hodnoty 120 – 140 % náležitých hodnot, vypočítané podle věku, pohlaví a povrchu těla, mohou být ovlivněny trénovaností, zatímco hodnoty podprůměrné (< 80 % náležité hodnoty) svědčí o dechové nedostatečnosti, většinou plicního původu.

V terénní praxi se používají lehké přenosné spirometry, které hodnotí rychlost výdechu, tzv. usilovný výdech ovlivněný silou výdechového svalstva (*FVC* – forced vital capacity). Vyhodnocují i časový průběh za 1 či 3 s (*FEV1* či *FEV3*) a různé průtokové rychlosti.

Tiffeneau index je vztah *FEV1/FVC* vyjádřený v %. Používá se k hodnocení normálního spirometrického záznamu. Jsou-li spirometrické hodnoty v normě, je Tiffeneau index > 70 [38].

Mezi další spirometrické parametry patří inspirační rezervní objem (*IRV*), což je objem vzduchu, který můžeme usilovně nadechnout po dokončení normálního, klidného vdechu, zatímco exspirační rezervní objem (*ERV*) je množství vzduchu, které můžeme ještě po dokončení normálního, klidného výdechu vydechnout. Inspirační rezervní objem bývá vyšší než rezervní objem exspirační. Objem vzduchu, který v plicích zůstává i po usilovném výdechu, se nazývá reziduální objem a činí asi 1 000 mL (viz obr. č. 5). Tvoří jej vzduch kolapsový a minimální (100 mL), který zůstává v plicích i po splasknutí plíce.



Obrázek 5 Schematické znázornění plicních objemů a kapacit [34]

Reziduální objem (*RV*) se dá změřit heliovou diluční metodou. Součtem všech výše jmenovaných objemů je celková plicní kapacita (*TLC*) charakterizovaná maximálním množstvím vzduchu, které plíce pojmou. Vypočítává se také funkční reziduální kapacita (*FRC*) jako množství vzduchu, které v plicích zůstává po ukončení klidového výdechu (součet reziduálního a exspiračního rezervního objemu) a inspirační kapacita (*IC*), která je charakterizována jako součet dechového objemu spolu s inspiračním rezervním objemem.

3.2.2 RESPIRAČNÍ PARAMETRY

Mezi respirační parametry řadíme všechny ukazatele související s výměnou dýchacích plynů O_2 a CO_2, a to od difuze na alveolokapilární membráně až po přenos do tkání buněk. Hlavní plyn naší atmosféry dusík (N_2), se s výjimkou nadměrného uvolňování (např. při rychlém návratu potápěče na hladinu) chová v organismu inertně. Významné jsou však jeho chemické vazby v různých sloučeninách od aminokyselin až po dusíkaté zplodiny proteinového metabolismu. V posledních letech byla velká pozornost věnována oxidu dusnatému (NO). Udává se, že je pro člověka toxický, nicméně má významnou biologickou funkci (vazodilatační účinek v plicích a nervovém systému – snižuje tlak v plicním řečišti a zlepšuje prokrvení mozku). Na fagocytující buňky však působí toxicky [41].

Inspirační a exspirační frakce O_2, inspirační a exspirační frakce CO_2

Inspirační a exspirační frakce obou hlavních dýchacích plynů jsou vyjádřením jejich procentuálního zastoupení ve vdechovaném a vydechovaném vzduchu. Podle Henryho zákona se totiž plyn rozpouští proporcionálně k jeho parciálnímu tlaku. Protože normální atmosférický tlak (zavedený jako průměrná hodnota tlaku vzduchu při mořské hladině na 45º severní šířky při teplotě 15 ºC) je 760 mm Hg neboli 101,3 kPa, odpovídá parciální tlak jejich jednotlivých plynných složek velice podobným hodnotám jejich procentuálních frakcí (tabulka č. 2).

Zatímco složení vzduchu se nemění (ještě v 10 000 m n. m. činí 21 % kyslíku), s narůstající nadmořskou výškou atmosférický tlak klesá a klesá tedy i parciální tlak kyslíku (tabulka č. 3).

Tabulka 2 Parciální tlaky jednotlivých složek vzduchu v různém prostředí (v kPa) [42]

Prostředí	PaO_2 [kPa]	$PaCO_2$ [kPa]	PaN_2 [kPa]	PaH_2O [kPa]	Celkem [kPa]
Vdechovaný vzduch	21,1	0,04	79,4	0,76	101,3
Vydechovaný vzduch	15,5	3,9	75,6	6,3	101,3
Sklípkový vzduch	14,7	5,1	75,2	6,3	101,3
Tepenná krev	13,3	5,3	76,4	6,3	101,3
Žilní krev	5,3	6,1	76,4	6,3	94,1
Tkáně	4,0	6,7	76,3	6,3	93,3

Tabulka 3 Hodnoty atmosférického tlaku a PaO_2 v různých výškách [43]

nadmořská výška [m n.m.]	atmosférický tlak [mm Hg]	atmosférický tlak [kPa]	PaO_2 [mm Hg]	PaO_2 [kPa]
0	760	101,3	159	21,2
1 000	674	89.9	141	18,8
3 000	526	70,1	110	14,7

Minutová spotřeba kyslíku ($\dot{V}O_2$) a odvozené parametry

Minutová spotřeba kyslíku představuje množství kyslíku, které je dopraveno a spotřebováno ve tkáních. Její hodnota bývá stanovena pomocí speciálních analyzátorů. Je možné ji vyjádřit dvěma způsoby. Zatímco absolutní hodnota udává celkové množství spotřebovaného kyslíku, nezohledňuje somatické rozdíly a udává se v jednotkách L/min, relativní hodnota je spotřeba kyslíku přepočtená na kilogram hmotnosti a je považována za nejpřesnější ukazatel zatížení ($mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) [42]. Klidová hodnota v sedě 1 MET (metabolic multiple) se rovná 3,5 $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ (75 $J \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$). Tato hodnota je v současnosti považována za základní jednotku energetického výdeje. Naměřená hodnota $\dot{V}O_2$ se po přepočtu (tzn. po vynásobení korekčním faktorem STPD a energetickým ekvivalentem kyslíku EEO_2) používá pro stanovení hodnot energetického výdeje v Joulech. Je to metoda tzv. nepřímé energometrie [35]. Energetický ekvivalent kyslíku EEO_2 je

množství energie vzniklé spálením 1 L kyslíku. Minutová ventilace ve vztahu ke spotřebě kyslíku ($\dot{V}O_2$) představuje ventilační ekvivalent kyslíku ($\dot{V}_E/\dot{V}O_2$), který je výrazem ekonomie dýchání. Trénovaní jedinci dosahují nižších hodnot než netrénovaní.

Maximální spotřeba kyslíku ($\dot{V}O_{2max}$) je maximální množství kyslíku, kterého je organismus schopen využít při zátěži, a je považována za nejpřesnější ukazatel aerobního výkonu a úrovně trénovanosti [39]. I hodnota anaerobního prahu (ANP) je vyjadřována procentuálním vztahem k $\dot{V}O_{2max}$.

Saturace periferní krve kyslíkem (SpO_2)

Monitorování kyslíkové saturace poskytuje informaci o transportu kyslíku do tkání. Je to důležitý parametr, pomocí kterého je možné zhodnotit aktuální stav vyšetřovaného. Tento parametr je využívaný po celém světě, např. na jednotkách intenzivní péče (JIP), ambulantních pracovištích, operačních sálech, ale třeba i v letectví, kde v pilotních kabinách bez kyslíku a přetlaku může signalizovat riziko poruchy vědomí.

Hodnoty periferní saturace O_2 a příznaky:

95 – 98 % normální hodnoty

85 – 95 % zvýšení srdeční a dechové frekvence

75 – 85 % zlepšení nálady, pocity euforie, pocit lehké opilosti

60 – 75 % obtížné dýchání, bolest hlavy, nausea, zhoršené vidění a opožděné reakce

< 60 % hypoxické křeče a ztráta vědomí

V praxi se saturace krve kyslíkem měří pulzním oxymetrem na akrálních částech těla, prstu či ušním lalůčku. Pulzní oxymetr funguje na základě změny spektrálních vlastností oxyhemoglobinu a deoxyhemoglobinu. Vzájemným porovnáním propustnosti světla na několika vlnových délkách se usuzuje na koncentraci SpO_2. Příčinou zkreslených výsledků (falešně nízkých hodnot) může být chladová vazokonstrikce [44].
[http://www.leteckylekar.cz/kapitoly-z-letecke-mediciny.html].

Obrázek 6 Pulzní oxymetr s hodnotou SpO_2 a SF (foto výrobce)

Minutový výdej oxidu uhličitého ($\dot{V}CO_2$)

Minutový výdej oxidu uhličitého je takové množství CO_2, které je rozdílem obsahu tohoto plynu ve vydechovaném vzduchu oproti vzduchu nadechovanému. Je také ukazatelem metabolických procesů a lze díky jeho hodnotám přesně určit, z jakých energetických zdrojů byl výkon hrazen, tzn. stanovit hodnotu respiračního kvocientu *RQ* (CO_2/O_2) nebo respirační výměny. Různé energetické zdroje vyžadují na svou oxidaci různé množství kyslíku. Z tohoto důvodu vzniká z jejich spalování také odlišné množství CO_2 a dá se s pomocí *RQ* určit momentální podíl bílkovin, cukrů a tuků na celkové produkci energie. *RQ* začíná stoupat až při intenzivnější zátěži. Zvýšená hodnota je i výrazem angažovanosti pufrovacích bikarbonátových systémů při likvidaci acidózy [35]. Křivka $\dot{V}CO_2$ se v zátěžovém testu používá jako doplňková hodnota k výpočtu ANP. V klidu závisí hodnota *RQ* na složení stravy, zejména na trojpoměru živin. Pokud se strava skládá výhradně ze sacharidů, hodnota *RQ* je cca 1, pokud pouze z tuků, hodnota *RQ* je cca 0,7 a pokud by strava byla složena pouze z bílkovin, hodnota *RQ* bude cca 0,8. Hodnoty naměřené při zátěži tedy popisují, jaký energetický substrát byl pro hrazení energie dominantní a o jak velké zatížení se jednalo [45].

V současné době se při měření respiračních parametrů využívá spíše poměr respirační výměny (*RER* – respiratory exchange ratio). Jedná se o poměr mezi vydechovaným CO_2 a spotřebovaným O_2 (CO_2/O_2). I když oba vyjadřují poměr mezi oxidem uhličitým a kyslíkem, u respiračního kvocientu *RQ* je zjišťovaný poměr výměny mezi CO_2 a O_2 na buněčné úrovni. Poměr respirační výměny *RER* je podíl mezi vydechovaným oxidem uhličitým a vdechovaným kyslíkem (CO_2/O_2) zjišťovaný v dýchacích cestách. Různé

energetické zdroje vyžadují na svou oxidaci jiné množství kyslíku. Proto z jejich spalování vzniká odlišné množství CO_2 a dá se s pomocí *RER* určit momentální podíl makroergních substrátů na celkové produkci energie. *RER* začíná stoupat až při intenzivnější zátěži a může dosáhnout i hodnot nad 1,00. Tvrzení, že $RER = RQ$ je pouze v rovnovážném stavu [35]. Hodnoty naměřené při zátěži tedy popisují jaký energetický substrát byl pro hrazení energie dominantní a o jak velké zatížení se jednalo [45].

Korekční ventilační a respirační faktory

Při měření ventilačních a respiračních parametrů je třeba respektovat termodynamické zákony o chování plynů. Podle Boyleova zákona se stlačením objemu zvyšuje tlak plynu a podle Gay-Lussacova zákona se při zvyšování teploty zvyšuje jeho objem. Pro přesná vyjádření se používají korekční faktory, které vycházejí z tabulek pro převod naměřených hodnot podle teploty a tlaku daného experimentálního prostředí. Faktor BTPS (body temperature: 37 ºC, pressure: aktuální atmosférický tlak, saturated: nasycený vodními parami) se používá pro korekci ventilačních parametrů (V_E, VC, V_T, IRV, ERV atd.), zatímco faktor STPD (standard temperature: 0ºC, pressure: atmosférický tlak 101,3 kPa, dry: suchý plyn, 0 % relativní vlhkosti) se používá pro korekci respiračních parametrů ($\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$) [35].

3.2.3 HYPOXIE

Normální parciální tlak v arteriální krvi pro O_2 je 75 – 100 mm Hg (10 – 13,3 kPa). Pokles PaO_2 pod 50 mm Hg (6,5 kPa) je označován jako hypoxémie (snížené množství kyslíku v krvi) [46].

Hypoxie je stavem organismu, u kterého je omezena dostupnost kyslíku pro terminální oxidace. Příčina hypoxie může být podle tzv. Barcroftova schématu: hypoxická nebo hypobarická (při nedostatku kyslíku v okolí či při obstrukci dýchacích cest), anemická (při anémii či při jiné poruše přenosu kyslíku, např. při otravách CO), stagnační nebo také transportní, cirkulační (z nedostatečného zásobení tkání kyslíkem) či histotoxická (při otravě tkáňovými jedy, např. kyanidem) [34].

Akutní hypoxie má 3 fáze. V první fázi převažuje vliv sympatiku s projevy hyperventilace, tachykardie, arytmie, neklidu, pocení a poruch mozkové činnosti. Ve druhé fázi se již objeví hyperkapnie s cyanózou, převažuje parasympatický vliv s hypotenzí a

bradykardií. Ve třetí fázi nastupuje ztráta vědomí, extrémní bradykardie a srdeční zástava [47].

Akutní hypoxie se může objevit i u zdravých jedinců ve vysokohorském prostředí. Rotman [48] uvádí rozdělení podle nadmořské výšky na 3 zóny:

1. střední výška 1 500 – 2 500 m n.m.
2. velká výška 2 500 – 5 300 m n.m.
3. extrémní výška nad 5 300 m n.m.

Člověk bez aklimatizace je schopen snášet nadmořskou výšku do 4 000 m n. m. V těchto výškách dochází k poklesu PaO_2 na 35 – 40 mm Hg (4,6 – 5,3 kPa). U citlivých neaklimatizovaných osob se však již ve výšce 2 500 – 3 000 m n.m. může objevit výšková nemoc s projevy jako jsou bolest hlavy, slabost, nechutenství, nauzea, příp. zvracení.

Od výšek 4 000 m n.m. byl pozorován výskyt plicního edému s kašlem, namáhavou a později klidovou dušností. Ve výšce nad 4 500 m n.m. může vzniknout mozkový edém s halucinacemi, dezorientací a bezvědomím [49]. Ukazuje se, že výskyt výškových komplikací neovlivňuje ani tak aerobní zdatnost (VO_{2max}), ale spíše věk a zdravotní stav jedince. Předpokládal se i vliv geneticky ovlivněné tolerance.

Rozvoj letectví a cestování velkého počtu osob přinesl do letecké dopravy nárůst zdravotních problémů. V kabinách dopravních letadel bývá udržován tlak odpovídající nadmořské výšce 2 000-2 500 m n.m. [50].

Při vzletu letadla klesá PaO_2 z 90 mm Hg (12 kPa) na 55 mm Hg (7,5 kPa). Rizika se mohou projevit zejména u pacientů trpících chronickými oběhovými nebo respiračními chorobami. Další rizikový faktor, vynucená imobilizace u pacientů s žilními problémy, přispívá k vyššímu výskytu embolií [51].

Po déletrvajícím pobytu ve vysokohorském prostředí dochází k aklimatizaci. Tréninkové pobyty sportovců ve výškách 2 000-2 500 m n.m. trvají alespoň 2-3 týdny a jsou provázeny řadou adaptačních změn. Mezi nejvýznamnější patří zvýšení počtu erytrocytů (transportní kapacity krve pro kyslík), příp. i zlepšené využití kyslíku ve svalech, a to zvýšenou vaskularizací a vyšším množstvím myoglobinu [52]. Udává se zvýšení i anaerobní kapacity, včetně kapacity nárazníkových systémů [53]. Jsou ale známy negativní efekty (zmenšení všech typů svalových vláken, plicní hypertenze, dehydratace a ztráta hmotnosti).

Chronická hypoxie se vyskytuje i u adaptovaných domorodců žijících ve výškách nad 4 000 m n.m. Kromě vysokého hematokritu (přes 60 %) u nich byly často pozorovány příznaky plicní hypertenze. Ta je vyvolána hypoxickou vazokonstrikcí plicních cév. Významnou roli v etiopatogenezi má redukce vazodilatačně působící endogenní látky, oxidu dusnatého (NO). Akutní i chronická hypoxie poškozuje cévní endotel. Negativní roli mají i volné kyslíkové radikály [54, 55]. Výzkumy Bergera et al. [56] navíc prokázaly, že hypoxie poškozuje endoteliální funkci nejen v plicních, ale také v systémových cévách.

Zajímavým poznatkem jsou rozdíly zjištěné u domorodců žijících ve stejných výškách (nad 4 000 m n.m), ale v různých geografických oblastech. Na rozdíl od ostatních horalů se u Tibeťanů neobjevuje ani výrazně vyšší hematokrit, ani častější výskyt plicní hypertenze. Toto pozorování je snad možné vysvětlit epigeneticky. Etnikum této oblasti (evolučně starší) vykazuje nižší odpověď na hypoxií indukovanou krvetvorbu i na reakce plicního řečiště [57].

Na hypoxii je možné se do určité míry tréninkem adaptovat (viz nádechoví potápěči, aklimatizovaní horolezci). Dlouhodobé působení opakovaných hypoxií [42] se ale může negativně projevit v centrálním nervovém systému. U některých nádechových potápěčů (freediverů) bylo prostřednictvím magnetické rezonance prokázáno prořídnutí mozkové tkáně, u některých se objevily příznaky drobného parkinsonského třesu [58]. Sleduje se u nich i marker mozkového postižení, sérového proteinu S100B.

3.2.4 HYPERKAPNIE

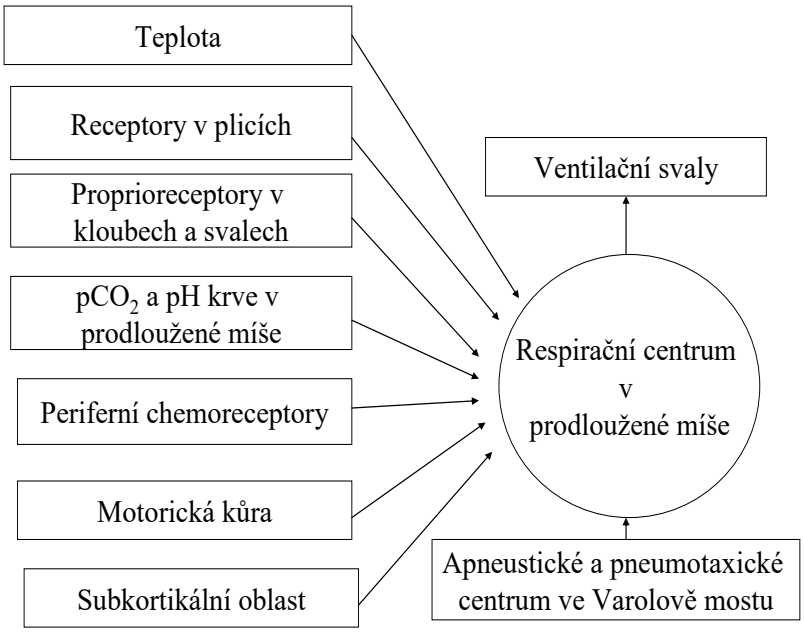
Normální hodnota $PaCO_2$ v krvi se pohybuje mezi 36 – 45 mm Hg (4,8 – 6,0 kPa). Hyperkapnie představuje zvýšení arteriálního $PaCO_2$ nad 50 mm Hg (6,5 kPa) [47]. Bývá spojena s respirační acidózou, hypoxémií a acidózou. Příčinou může být snížená ventilace u různých patologických stavů, zvýšená tvorba CO_2 nebo zvýšený mrtvý prostor (tj. prostor, který nedýchá – nedochází v něm k výměně plynů).

Hyperkapnie zprvu stimuluje dýchací centrum, ale od hodnoty $PaCO_2$ 50 – 70 mm Hg (6,5 – 9,3 kPa) jej naopak tlumí [47]. Nejdříve dochází ke zvýšení ventilace a zvýšení krevního tlaku, později nastává letargie, objevují se bolesti hlavy, neschopnost se soustředit a přemýšlet, někdy nevolnost až zvracení, později křeče. Zvýší-li se hodnota arteriálního $PaCO_2$ nad 80 mm Hg (10,6 kPa), přestane postižený dýchat [34].

Kombinací hypoventilační hypoxie a hyperkapnie je dušení, asfyxie [34]. Může se vyskytnout např. u tonoucích či u obětí lavin.

3.2.5 ŘÍZENÍ DECHOVÝCH FUNKCÍ

Na dechová řídící centra v prodloužené míše a ve Varolově mostu působí různé podněty z periferie, a to nejen z cévních chemoreceptorů a plicních mechanoreceptorů (Hering-Breuerův reflex), ale i ze svalových a kloubních proprioreceptorů (viz obr. č. 7). Uplatňuje se přitom nejen vliv mozkové kůry a limbického systému, ale i vlivy teplotní. Nejvýznamnější roli mají centrální chemoreceptory v dechovém centru reagující jak na hyperkapnii, zvýšení $PaCO_2$ > 6 kPa (45 mm Hg), tak na acidózu, snížení pH (< 7,37). Naopak periferní karotické (příp. aortální) chemoreceptory reagují výrazněji na hypoxii a jsou drážděny při poklesu PaO_2 na 6,7 kPa (50 mm Hg) [59].



Obrázek 7 Přehled faktorů ovlivňujících ventilaci [60]

3.2.6 DECHOVÁ PRÁCE *WoB*

Vlastnostmi plic jsou pružnost (elastance), poddajnost (compliance) a viskozita (resistance). Součástí dechové práce je práce elastická (práce pružných struktur hrudníku a plic), viskózní práce (pohyb nepoddajných struktur) a práce dýchacích svalů. Elasticita určuje hodnotu plicní poddajnosti (compliance, C). Ta vyjadřuje velikost objemové změny v závislosti na tlaku $C = \Delta V/\Delta P$ [34].

Při klidovém dýchání je nádech aktivní (realizuje se stahem bránice a zevních mezižeberních svalů), ale výdech je pasivní. Je umožněný relaxací bránice a jejím vytlačením břišními orgány. Při výdechu se uplatňují tzv. retrakční síly, které směřují k plicnímu hilu. Při vdechu překonávají inspirační svaly elastické síly, při výdechu jsou hnací silou elastické (retrakční) síly plic.

Při namáhavějším dýchání se i výdech stává aktivním. Při namáhavé inspiraci se zapojí kromě bránice a mezižeberních zevních svalů i pomocné svaly krční a prsní, při výdechu mezižeberní svaly vnitřní a především svaly břišní.

Složkami dechové práce je práce neelastická (viskózní odpor činí 7 %, odpor dýchacích cest 28 %) a práce elastická. Ta tvoří největší podíl, 65 %. Při dýchání je třeba vyvinout práci k překonání elasticity (k roztažení plic), dále práci potřebnou k překonání viskozní síly plicní tkáně a nakonec práci potřebnou k překonání odporu dýchacích cest. Při klidném dýchání představuje odpor dýchacích cest 0,5 až 2 cm H_2O. Během namáhavého dýchání, kdy vzduch proudí dýchacími cestami velkou rychlostí, je k překonání tohoto odporu použitý větší podíl celkové práce.

Rychlost proudění vzduchu (v) je přímo úměrná velikosti tlakového gradientu mezi atmosférou a alveoly (P) a nepřímo úměrná odporu plic (R), tvořeného převážně odporem dýchacích cest $v = P/R$ [34].

Dechová práce je násobkem změny objemu a tlaku ($WoB = \Delta P \cdot \Delta V$) a lze ji vypočítat z relaxační tlakové křivky.

Za klidného dýchání se dechová práce rovná přibližně 0,3 − 0,8 kg·m/min a je ovlivněna různými faktory (např. zdravotním stavem či fyzickou námahou). Udává se, že při fyzické zátěži je odebíráno na dechovou práci méně než 3 % z celkové spotřeby energie [61].

K hodnocení dechové práce může být využito i dechové úsilí (Pressure-Time Product, *PTP*). Bellani uvádí, že má vyšší korelaci s $\dot{V}O_2$ než dechová práce [62].

Pacientské mechanické respirační monitory mohou vyhodnocovat *PTP* buď dech od dechu nebo v minutových intervalech. Jsou nejlepším nástrojem k měření respiračního úsilí pacienta s respiračním selháním.

Mohou být vhodně využity i v jiných podmínkách, tedy i ve výzkumu ventilačně – respiračních změn u probandů v simulované sněhové lavině.

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

4 VÝZKUMNÉ OTÁZKY, CÍLE, ÚKOLY, HYPOTÉZY

CÍL:

Cílem této práce bylo sledování různých ventilačně-respiračních parametrů při dýchání v simulované sněhové lavině se vzduchovou kapsou a bez ní.

VÝZKUMNÉ OTÁZKY:

Jaký je vztah objemu vzduchových kapes 0 L a 1 L k rychlosti nárůstu koncentrace $P_{Et}CO_2$ ve vydechovaném vzduchu?

Jaký je vztah objemu vzduchových kapes 0 L a 1 L k rychlosti poklesu SpO_2 v krvi?

Jaký je vztah difuze CO_2 ve sněhu v závislosti na velikosti sněhové kapsy?

Je možné dýchat i bez vzduchové kapsy?

ÚKOLY:

- Studium odborné literatury
- Rešerše dosavadních výzkumů v oblasti lavin, patofyziologie úmrtí v lavinách, hypotermie, fyziologie a patofyziologie dýchání – hypoxie, hyperkapnie, acidóza
- Plánování měření na základě rešerše, dostupných podmínek a technologických možností
- Podání žádosti ke schválení výzkumu Etickou komisí FTVS UK
- Výběr probandů
- Pilotní měření
- Vlastní měření
- Zpracování a vyhodnocení dat
- Sepsání výsledků a závěrů

- Publikování studie v odborném časopise
- Účast na konferencích zaměřených na podobnou problematiku
- Obhajoba disertační práce

HYPOTÉZY:

H1 hypotéza – Dýchání přímo do sněhu s postupným vytvořením malé vzduchové kapsy prodýcháním je po krátkou dobu možné.

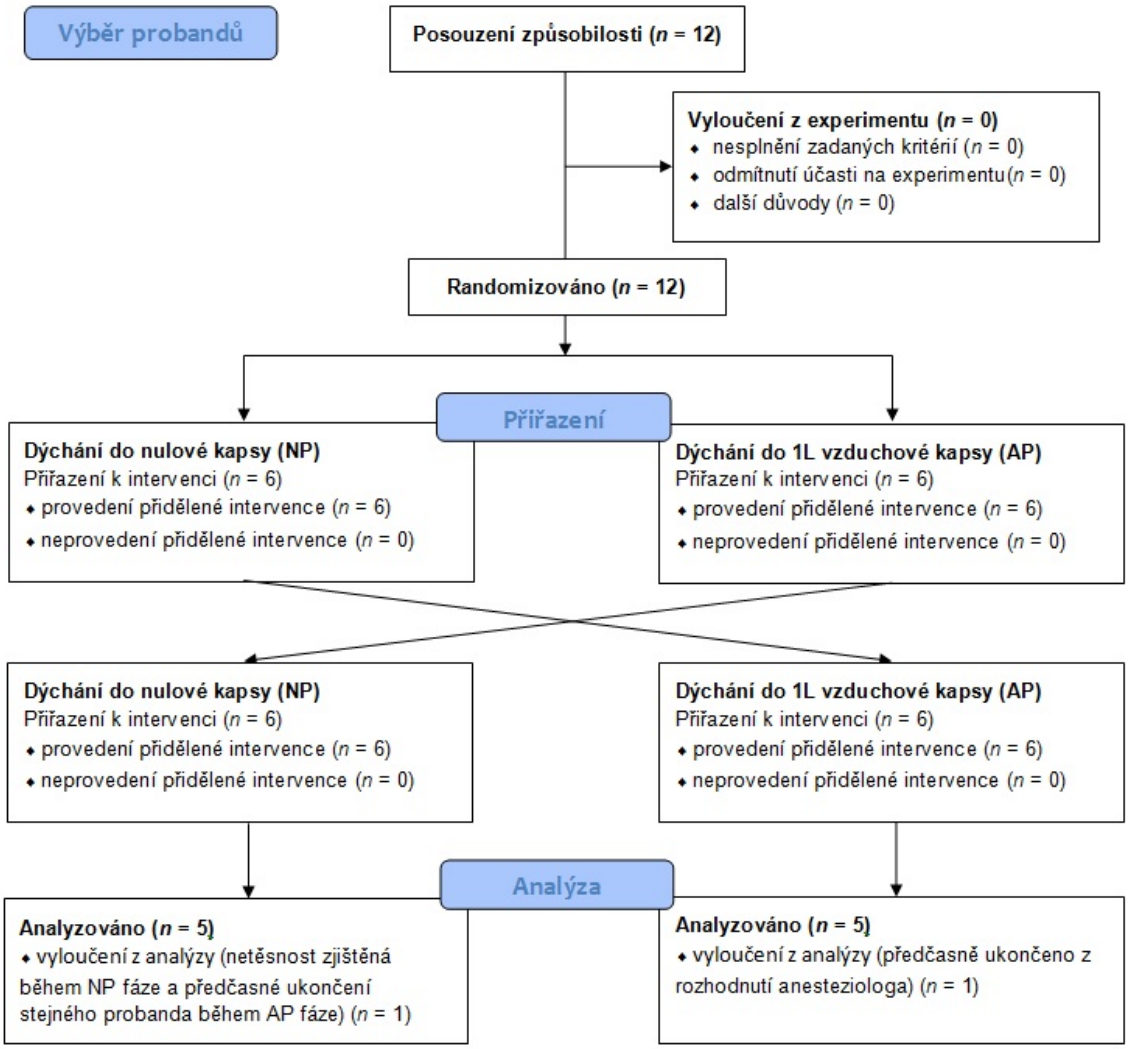
H2 hypotéza – Velikost i malé vzduchové kapsy významně ovlivní dechovou práci a dechové úsilí a tím i závažnost vzniklé hypoxie a hyperkapnie.

5 METODIKA VÝZKUMU

Protokol studie byl schválen Etickou komisí Fakulty tělesné výchovy a sportu Univerzity Karlovy v Praze č. 001/2013, vydané dne 3. ledna 2013 (příloha č. 2). Součástí schváleného výzkumu Etické komise byl i sylabus výzkumného projektu (příloha č. 1) a dále pak informovaný souhlas (příloha č. 3), se kterým byli dobrovolníci seznámeni před samotným měřením a který byl jimi podepsán. Z důvodu publikování studie v IF časopisu bylo nutné tuto studii ještě zaregistrovat v rejstříku ClinicalTrials.gov. Tato studie je zde uložena pod registračním číslem NCT02521272 (příloha č. 4).

Intervenční randomizovaná studie byla provedena jako dvojitě zaslepená se zkříženým designem. Schéma experimentu je uvedeno na obr. č. 6 ve formátu standardu CONSORT 2010. Nábor probandů byl proveden v Praze na katedře vojenské tělovýchovy FTVS UK na základě dobrovolnosti a dle výsledků přezkoušení z tělesné výkonnosti, které se provádí u AČR jednou ročně.

Měření proběhlo ve Špindlerově Mlýně v Krkonoších, v nadmořské výšce 762 metrů nad mořem, v termínu 14. – 19. ledna 2013. K zajištění celého experimentu bylo využito ubytovacího zařízení AČR, které je provozováno Vojenským útvarem 8407 Praha – Kbely. Konkrétně se jednalo o horskou chatu Zlatá Vyhlídka. V této chatě byl vyčleněn prostor pro techniku, dále pak přípravná a vyšetřovací místnost a také zde bylo zajištěno ubytování probandů a členů realizačního týmu.



Obrázek 8 Diagram výzkumu podle standardu CONSORT 2010

5.1 ZAJIŠTĚNÍ BEZPEČNOSTI

Pro ochranu zdraví a zajištění bezpečnosti probandů, kteří se zúčastnili experimentu, bylo nezbytné především zdravotnické zabezpečení v celém průběhu samotného experimentu.

5.1.1 ZDRAVOTNÍ ZABEZPEČENÍ

Bezpečnost dobrovolníků v průběhu experimentu byla garantována moderními systémy sledování a průběžného vyhodnocování fyziologických parametrů. Tyto parametry

byly neustále sledovány a vyhodnocovány anesteziologem z Ústřední vojenské nemocnice (ÚVN) v Praze a vyškoleným armádním zdravotníkem s šestiletou praxí ve zdravotnické záchranné službě. V průběhu celého experimentu bylo na místě k dispozici sanitní vozidlo LRD 130 Z. Na základě měření a vyhodnocení fyziologických parametrů měli možnost experiment kdykoli ukončit. Za účelem testování vědomí probandů v průběhu experimentu anesteziolog neustále požadoval po probandovi výpočet jednoduchých matematických výpočtů, jejichž výsledky probandi sdělovali pomocí prstů na ruce.

5.1.2 DŮVODY UKONČENÍ EXPERIMENTU

Experiment dýchání do simulované sněhové laviny mohl být ukončen kdykoli v důsledku jednoho nebo více následujících důvodů:

- žádost dobrovolníka;
- rozhodnutí ze strany anesteziologa nebo zdravotníka;
- parciální tlak ve vydechovaném plynu $P_{Et}CO_2$ vyšší nebo roven 60 mm Hg [63];
- přítomnost N_2O v dýchacím okruhu;
- dýchání do sněhu delší jak 30 minut.

5.2 VÝZKUMNÝ SOUBOR

Pro výzkum bylo využito dvanáct neplacených dobrovolníků mužského pohlaví, z nichž deset měření kompletně dokončilo, a byli tak zahrnuti do hodnocení. Parametry výzkumného souboru jsou uvedeny v Tab. 4. Počet dobrovolníků zařazených do studie byl vybrán jako maximální počet probandů zahrnutých do již publikovaných studií podobného výzkumu. Jednalo se o příslušníky Armády České republiky (AČR), kteří byli současně i studenty Vojenského oboru při Fakultě tělesné výchovy a sportu Univerzity Karlovy (VO FTVS UK). Všichni probandi byli zdrávi podle klasifikace American Society of Anestesiologists (ASA) a byli hodnoceni stupněm ASA I [64]. Všichni zúčastnění dobrovolníci, nekuřáci, byli vysoce motivováni k účasti na experimentu. Před každým měřením (s výjimkou dříve zaznamenaných anamnestických dat a spirometrického

vyšetření) absolvovali vstupní vyšetření, které prováděl přítomný anesteziolog a jednalo se o následující data:

- posouzení aktuálního zdravotního stavu
- záznam klidového EKG
- měření *TK*

Tato data se zaznamenávala do karet účastníků (příloha č. 5).

Vylučovacím kritériem byly jakékoli kardiovaskulární nebo respirační obtíže a Tiffeneau Index menší než 0,70.

Po úspěšné vstupní prohlídce byly elektrody pro EKG a manžeta pro měření *TK* ponechány na těle probanda a při zahájení experimentu byly připojeny k přístroji DATEX - Ohmeda S/5.

Experimentu se zúčastnili v období 14 – 19. ledna 2013.

Obrázek 9 Příprava měření a vstupní vyšetření před experimentem

Tabulka 4 Charakteristika výzkumného souboru

Parametry	Všichni probandi (n=12)	Probandi absolvující kompletní měření (n=10)
Věk (roky)	24,8 ± 3,4 (20 – 30)	24,6 ± 3,5 (20 – 30)
Hmotnost (kg)	77,7 ± 7,1 (64 – 90)	76,1 ± 6,4 (64 – 85)
Výška (cm)	180,0 ± 5,5 (173 – 192)	179,3 ± 5,8 (173 – 192)
BMI (kg m^{-2})	24,0 ± 1,7 (20 – 27)	23,7 ± 1,6 (20 – 25)
*FEV*1 (L)	4,5 ± 0,4 (4,0 – 5,1)	4,4 ± 0,4 (4,0 – 4,9)
FVC (L)	5,2 ± 0,5 (4,5 – 6,1)	5,2 ± 0,5 (4,5 – 6,1)

Výsledky jsou uvedeny jako průměr, hodnoty ± vyjadřují směrodatnou odchylku a hodnoty v závorce vyjadřují rozsah (minimální – maximální). Zkratky: *BMI* – Body Mass Index, *FEV1* – objem maximálního usilovného výdechu po dobu 1 sekundy, *FVC* – usilovná vitální kapacita plic

5.3 MĚŘÍCÍ TECHNIKA

K měření experimentu dýchání v simulované sněhové lavině byla použita měřící technika, která je využívána v nemocnicích na odděleních JIP. Z tohoto důvodu bylo nutné tuto měřící techniku zabezpečit tak, aby byla plně funkční při klimatických podmínkách, ve kterých se experiment prováděl. Hlavní poděkování za vyřešení všech problémů s tímto spojených patří především prof. Roubíkovi z FBMI ČVUT v Praze a Ing. Siegerovi z FEL ČVUT v Praze.

5.3.1 DATEX – OHMEDA S/5

Jedná se o pacientský anesteziologický přístroj, který je využívaný na jednotkách intenzivní péče (JIP). Tento přístroj je vybaven monitorem životních funkcí včetně analýzy plynů. Přístroj byl využíván ke kontinuálnímu měření těchto parametrů:

- EKG - elektrokardiogram
- *HR* - srdeční frekvence
- SpO_2 - periferní saturace krve kyslíkem
- F_IO_2 - inspirační frakce kyslíku
- EtO_2 - frakce kyslíku na konci výdechu
- F_ICO_2 - inspirační frakce oxidu uhličitého

- $EtCO_2$ - frakce oxidu uhličitého na konci výdechu

- V_T - dechový objem

- *BF* - frekvence dýchání

- *Paw* - průběh tlaku v dýchacích cestách

- *Qaw* - průběh průtoku vzduchu v dýchacích cestách

- C_{N_2O} - koncentrace oxidu dusného v dýchacím okruhu

- C_{CO_2} - koncentrace oxidu uhličitého

- *TK* - měření krevního tlaku v minutových intervalech

Sledované respirační parametry, jako jsou *Qaw*, *BF*, *Paw* a V_T, byly měřeny za použití respiračního senzoru D-Lite (DATEX-Ohmeda, Madison, WI, USA) zapojeným mezi náustkem a pacientskou Y-spojkou. Spirometrický snímač D-Lite měl také port pro vzorkovací plyn pro DATEX-Ohmeda S/5. Pomocí tohoto portu a anesteziologicko-respiračního modulu E-CAiOVX (DATEX-Ohmeda, Madison, WI, USA) byly sledovány koncentrace jednotlivých plynů F_IO_2, EtO_2, F_ICO_2, $EtCO_2$ a C_{N_2O}.

Datex byl umístěn ve stanu, jenž byl opatřen elektrickým vyhříváním. Teplota ve stanu byla udržována mezi 5 – 10 ºC. Taková teplota byla nutná pro zajištění správné funkce monitoru životních funkcí a přenosného PC. Tyto přístroje byly dále udržovány na předepsané teplotě elektrickými topnými fóliemi s příkonem 25 W a dodatečnou tepelnou izolací z polyuretanové pěny. Pro snímání koncentrace a tlaků jednotlivých plynů bylo nutné hadičky, vedoucí od náustku k monitoru, chránit proti kondenzaci s následným zamrzáním. Tento problém byl vyřešen pomocí topného drátu a polyuretanovou izolací. V průhledném boxu před stanem byl umístěn externí plazmový monitor, který byl napojen na monitor životních funkcí Datex, aby anesteziolog, popř. zdravotník, mohli mít okamžitou kontrolu životních funkcí dobrovolníka.

Přesnost analýzy plynů přístroje Datex-Ohmeda S/5 byla kontrolována přímo na místě každý den před zahájením prvního experimentu, a to pomocí kalibračního plynu (5% CO_2, 15% O_2, dorovnaným N_2) z vysokotlaké lahve.

Obrázek 10 Pacientský anesteziologický přístroj Datex-Ohmeda S/5 (foto výrobce)

5.3.2 EDAN M3

Pro zajištění bezpečnosti probandů byl dále používán monitor životních funkcí Edan M3 (Edan Instruments, Nanshan Shenzhen, China), který kontinuálně měřil SpO_2 a *HR* pro případ, že přístroj Datex-Ohmeda S/5 by údaje o SpO_2 nebo *HR* nevyhodnocoval.

Tento monitor byl umístěn před stanem v malém plastovém boxu, který byl vybaven elektrickou topnou fólií.

Obrázek 11 Monitor životních funkcí (foto výrobce)

Oba sensory SpO_2 (Datex-Ohmeda S/5 a Edan M3) byly pomocí skřipce na prst umístěny na prostředníček a prsteníček pravé ruky. Tyto sensory byly společně s celou rukou tepelně izolovány od vnějšího prostředí pomocí rukavic. Manžeta pro měření *TK* byla umístěna na levou paži probanda, aby nemohla ovlivňovat výsledky měření SpO_2.

5.3.3 SPIROMETR MSP1 MESIT

Spirometrický měřící přístroj MSP1 MESIT, Uherské Hradiště, CZ, byl využíván k měření spirometrických údajů: *FEV1* – maximální usilovný výdech za 1 sekundu a *FVC* – vitální kapacita plic. Tyto spirometrické údaje byly měřeny vždy před každým měřením probanda v rámci vstupní prohlídky.

Obrázek 12 Spirometrický měřící přístroj MSP1 (foto L. Sieger)

5.3.4 MĚŘENÍ HUSTOTY SNĚHU

Hustota sněhu byla měřena pomocí ¼L dutého válce, který se zařízl do sněhové vrstvy s následným odebráním a zvážením tohoto vzorku sněhu. Sníh byl vždy odebírán přibližně 20 cm od vzduchové kapsy, takže jeho hustota nemohla být ovlivněna předchozím dýcháním. Hustota (ρ) sněhu byla 380 kg/m^3 ± 14 kg/m^3. Tato hustota odpovídá střední prachové lavině [65]. Sníh byl tvořen z vloček o střední velikosti zrna 2 mm (od 1,5 do 2,5 mm).

Obrázek 13 Měření měrné hmotnosti sněhu (foto L. Sieger)

5.3.5 MĚŘENÍ TEPLOTY SNĚHU A TLAKU VZDUCHU

Teplota sněhu byla měřena na výšku celé stěny po 10 cm a teplota vzduchu se měřila ve výšce 30 cm nad sněhovou pokrývkou. Průměrná teplota okolí při prováděném experimentu byla - 4,4 ºC ± 1,3 ºC (od -7,6 do -1,6 ºC) a atmosférický tlak vzduchu byl 91,6 kPa ± 0,4 kPa (od 90,2 do 92,2 kPa). Průměrná teplota sněhu byla -5,1 ºC ± 0,7 ºC (od -6,1 do -4,2 ºC).

Obrázek 14 Měření teploty sněhu (foto: L. Sieger)

5.3.6 ZÁZNAMOVÁ TECHNIKA

Průběh měření byl zaznamenáván na tři nezávislé kamery. První kamera kontinuálně zaznamenávala obrazovku přístroje Datex-Ohmeda S/5, druhá zaznamenávala dýchání probanda a třetí celkovou situaci a dění při experimentu. Video a audio záznam byly vytvářeny především jako záloha dat zaznamenaných do PC a písemných protokolů. To umožnilo konzultovat situaci, která se odehrávala při experimentu s pozdějším zpracováváním a vyhodnocováním dat. Data byla v průběhu experimentu nahrávána na HD notebooku z monitoru Datex-Ohmeda pomocí firemního softwaru Datex-Ohmeda S/5™ Collect po 1 sekundě a obrazové záznamy z kamer byly ukládány do PC výzkumníků provádějících experiment.

Současně byl pro fotodokumentaci používán digitální fotoaparát a pro zaznamenávání odpovědí probandů bezprostředně po měření byl využíván diktafon.

5.3.7 KOMUNIKAČNÍ TECHNIKA

Ke zjednodušení a usnadnění celého průběhu experimentu se používaly ke komunikaci vysílačky Motorola a mobilní telefony účastníků experimentu. Celý výzkumný tým komunikoval mezi sebou především pomocí vysílaček Motorola GP 388 UHF, přičemž bylo nezbytné striktně dodržovat design dvojitě zaslepené studie. To bylo zajištěno předem dohodnutými kódovanými znaky pro přípravu jednotlivých měření.

Obrázek 15 Osobní profesionální radiostanice Motorola GP 388 UHF (foto výrobce)

Každý dobrovolník byl podroben dvěma fázím experimentu (viz obr. 13). Fáze „AP“ – dýchání do sněhu se vzduchovou kapsou o objemu 1 litr (1 L), viz obr. č. 14 a fáze „NP“ – dýchání do sněhu se vzduchovou kapsou o objemu 0 litrů (0 L), viz obr. č. 15. Probandi byli zařazeni do fází AP a NP v náhodném pořadí, které bylo randomizované pomocí losovacího bubnu, z něhož losoval pořadí a výběr fází nezávislý asistent. Jelikož se jednalo o dvojitě zaslepenou studii, tak ani dobrovolníci a ani výzkumníci nevěděli, o jakou fázi se v průběhu experimentu jedná. Pouze hlavní řešitel a dva asistenti, kteří připravovali jednotlivé fáze ve sněhu, znali tyto informace.

Všichni probandi pobývali v nadmořské výšce, ve které byl experiment prováděn alespoň 48 hodin před vlastním měřením, a zůstávali ve stejném místě i po celý průběh samotného měření. Doba odpočinku mezi jednotlivými fázemi byla minimálně 20 hodin u každého z dobrovolníků.

Před zahájením měření byly na těla probandů připevněny senzory snímající životní funkce. Jednotlivé parametry byly kontinuálně monitorovány a zaznamenávány přístrojem životních funkcí DATEX – Ohmeda S/5.

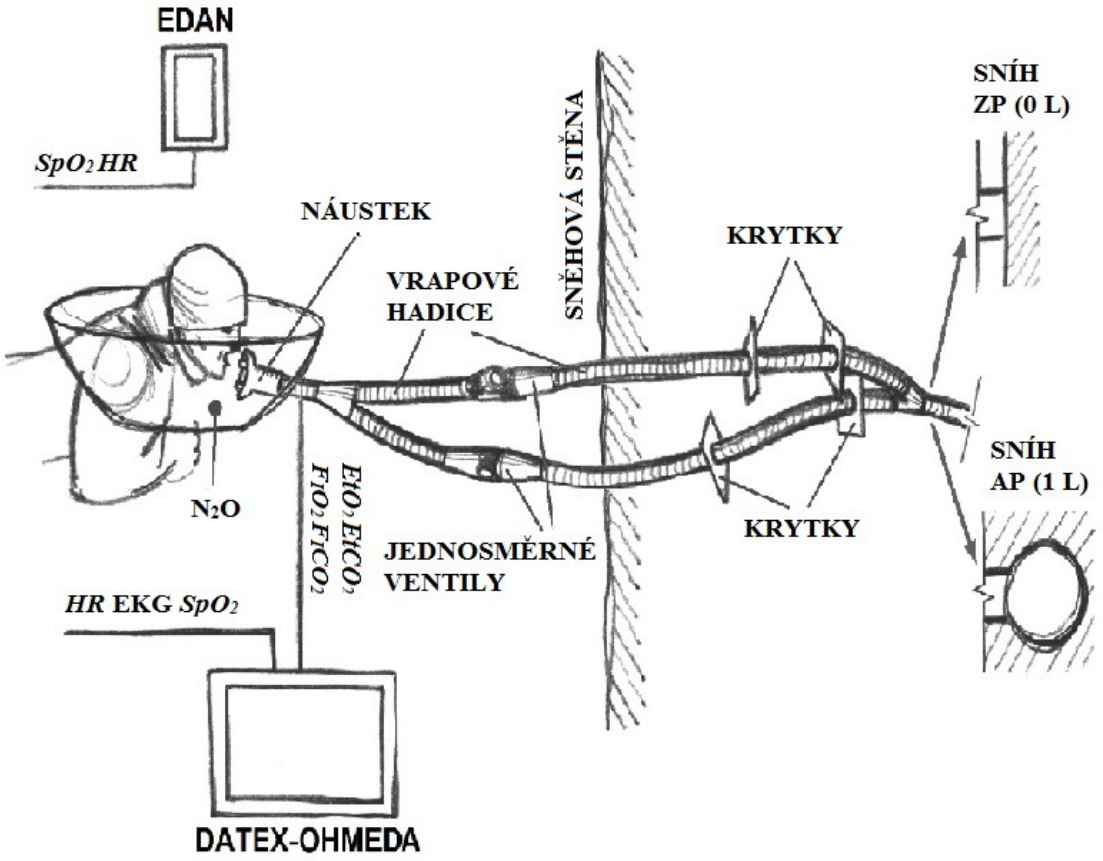
Sensory SpO_2 (Datex-Ohmeda S/5 a Edan M3) byly pomocí prstového skřipce umístěny na prostředníček a prsteníček pravé ruky. Tyto sensory byly společně s celou rukou tepelně izolovány od vnějšího prostředí pomocí rukavic. Manžeta pro měření *TK* byla umístěna na levou paži probandů, aby nemohla ovlivňovat výsledky měření SpO_2.

Dobrovolníci v průběhu měření leželi v poloze na břiše na izolovaném lůžku proti sněhové stěně, ve které byl již připraven dýchací okruh s konfigurací AP nebo NP. Před zahájením dýchání do vzduchových kapes byl každý proband připojen pomocí náustku v ústech k přístroji Datex-Ohmeda S/5, který umožňuje měření dýchacích plynů a měření ventilačních parametrů. Dále byli probandi připojeni konektory pro snímání EKG a *TK*. Po dosažení stabilních ventilačních parametrů, zejména ustáleného dechového objemu a dechové frekvence (přibližně po 5 minutách), byl náustek vložený do úst probanda připojen k dýchacímu okruhu ve sněhu, který byl zakončen AP nebo NP. Tím byl experiment dýchání do simulované sněhové laviny zahájen.

Ve stejné době byl dodáván do okolí prostoru hlavy a dýchacího okruhu oxid dusný (N_2O), viz obr. č. 13. Tento plyn byl použit pro detekci jakékoli netěsnosti dýchacího okruhu nebo v případě úmyslného či neúmyslného přisávání okolního vzduchu mimo

náustek, a to buď kolem náustku v ústech, nebo při netěsnosti nosního klipu. V případě výskytu jakékoli koncentrace N_2O v dýchacím okruhu by byl tento plyn detekován pacientským přístrojem Datex-Ohmeda S/5 a měření by bylo ukončeno pro netěsnost soustavy.

Po odpojení od okruhu z některého z důvodů uvedených v kapitole 5.1.2 zůstával proband ve stejné pozici jako před připojením. Tato doba ustálení trvala do stavu stabilizace parametrů na hodnoty podobné těm, které byly zaznamenány v úvodní fázi před zahájením samotného dýchání do vzduchových kapes. Trvala opět přibližně 5 minut. Po tuto dobu měli dobrovolníci v ústech stále náustek, který umožňoval neustálé měření ventilačně-respiračních parametrů.



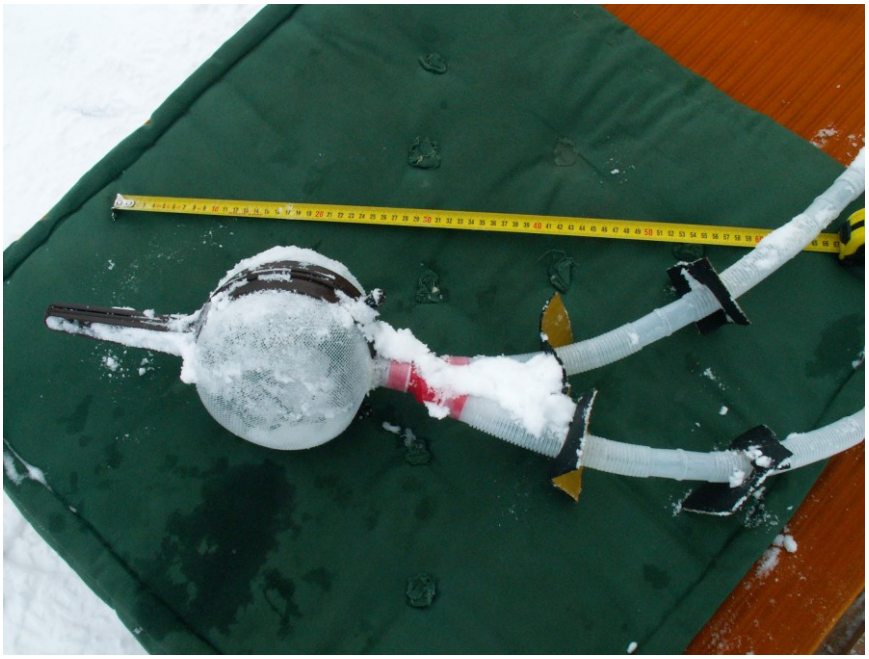
Obrázek 16 Nákres dýchacího okruhu a jeho instalace do sněhové stěny (ilustrace B. Kračmar)

5.4.1 PŘÍPRAVA DÝCHACÍHO OKRUHU

Probandi byli náustkem připojeni k dýchacímu okruhu, který končil ve sněhové stěně. Na jeho konci se nacházela dutina o objemu 1 L (fáze AP) nebo dýchací soustava končila přímo ve sněhu bez dutiny (fáze NP) - viz obrázky č. 15 a 16.

Soustava byla navržena tak, aby se minimalizoval její mrtvý prostor. Z tohoto důvodu soustavu tvořily dvě samostatné větve (inspirační a exspirační), které byly vybaveny jednosměrnými ventily s velmi nízkým odporem průtoku při otevřeném stavu, aby bylo co nejvíce zabráněno nárůstu dechové práce (Paedi, Ambu, Ballerup, Dánsko). Tyto ventily zajišťovaly jednosměrný tok plynu v průběhu nádechu či výdechu. Trubice, ze kterých se dýchací soustava sestávala, byly standardní lékařské, vrapové o průměru 22 mm. Na nich byly umístěny disky, které zabraňovaly případnému úniku plynů podél stěn těchto trubic.

Mrtvý objem prostoru celého dýchacího okruhu, to je částí, ve kterých docházelo k obousměrnému proudění plynů, činil 49 mL.



Obrázek 17 Dýchací soustava s vytvořenou vzduchovou kapsou 1 L (fáze AP)

Obrázek 18 Dýchací soustava bez vzduchové kapsy 0 L (fáze NP)

Dýchací okruh byl umístěn do sněhové stěny vysoké minimálně 1,5 m. Tato stěna byla vytvořena pomocí sněhové frézy (Proma PSF-6,5/620). Sněhová pokrývka byla dobře sesedlá a její hustota 380 kg/m^3 ± 14 kg/m^3 odpovídala lavinovému sněhu [65]. Do této stěny byl vždy vytvořen zářez hluboký 1 m, 60 cm široký a dlouhý. Dýchací okruh byl poté do tohoto zářezu umístěn tak, aby distální konec okruhu, tj. distální pacientská Y-spojka, byla alespoň 40 cm od předního okraje sněhové stěny.

NP byla vytvořena odstraněním lepicí pásky od konce pacientské Y-spojky poté, co byl pokryt přibližně 5 cm silnou vrstvou sněhu a bylo tak zabráněno vniknutí sněhu do dýchacího okruhu.

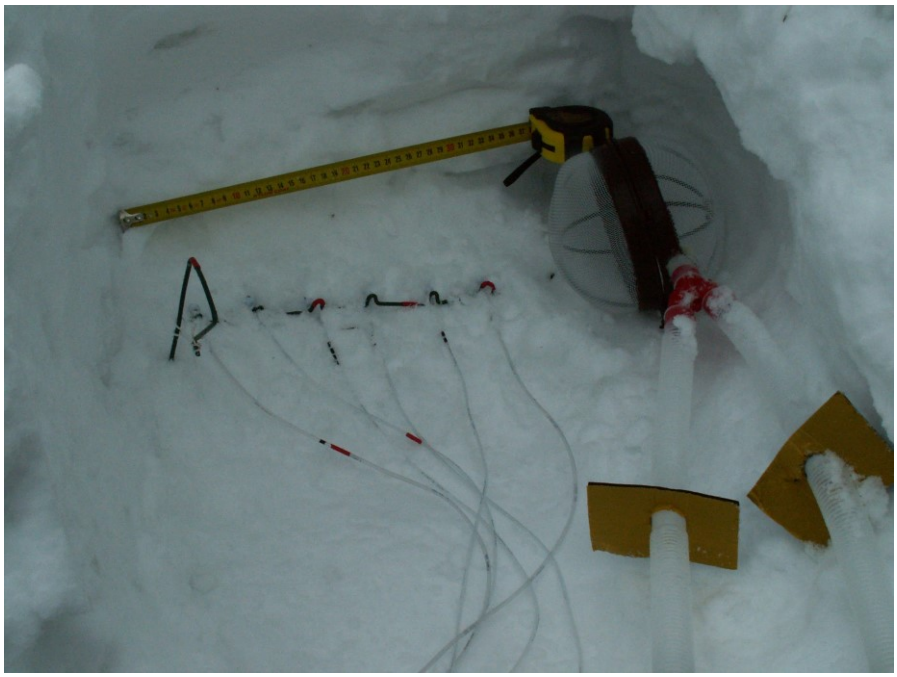
AP byla vytvořena pomocí dvou půlkulových plastových cedníků, jejichž zborcení při zasypávání bránila uvnitř umístěná tuhá, plastová kostra. Takto zhotovená kulovitá kapsa byla následně připojena na pacientskou Y-spojku, kterou končila fáze NP.

Pro měření difuzivity sněhu jsme měřili koncentraci oxidu uhličitého (C_{CO_2}), k čemuž byly využity senzory napojené na přístroj Datex-Ohmeda S/5. Napojení bylo řešeno kapno hadičkami, které byly umístěny vždy po pěti centimetrech od hrany vzduchové kapsy, popř. pacientské Y-spojky (fáze NP), a to na vzdálenost 30 cm (viz obr. č. 17 a 18). Tyto senzory byly vkládány do sněhu vždy při zhotovování každé fáze jednotlivých měření a koncentrace oxidu uhličitého byla vyhodnocována vždy po ukončení každého jednotlivého experimentu.

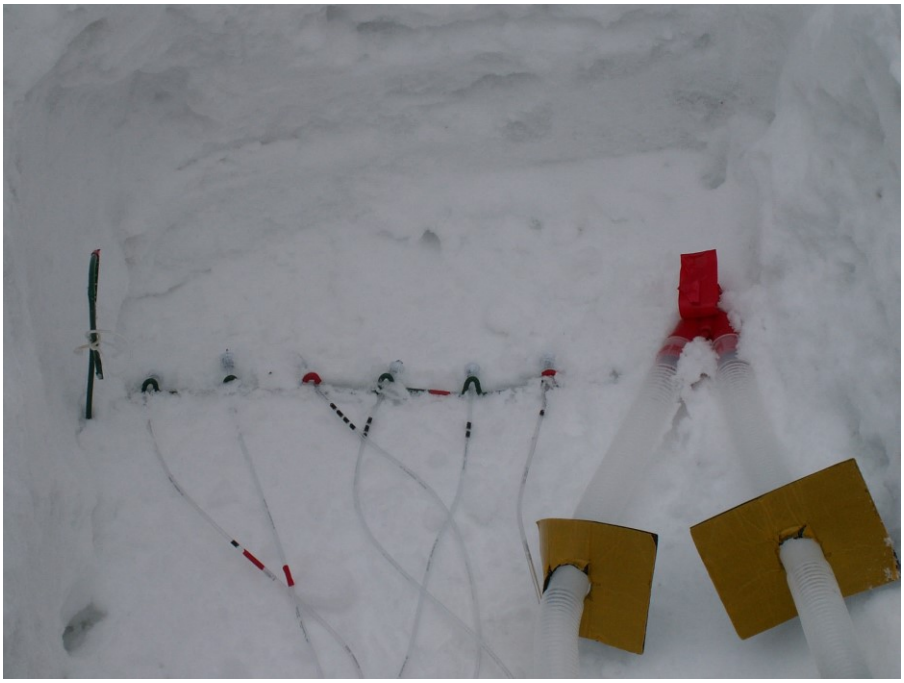
Za účelem kvantifikace charakteristiky odporu sněhu při dýchání byl použit standardní postup, který se používá u anesteziologických a respiračních okruhů, jejich

částí, bakteriálních nebo chemických filtrů, pojistných ventilů apod. Toto vyhodnocení se provádí měřením poklesu tlaku při ustáleném konstantním průtoku vzduchu (60 L/min) [66]. Odpor sněhu jsme měřili vždy před začátkem každého experimentu a stejně tak i po jeho ukončení. Konstantní průtok vzduchu 60 L/min byl generován za použití bezolejového kompresoru (Orfi 201/24, Orlík, Praha, CZ), redukčního ventilu (IR1000, SMC, Tokyo, Japonsko) a nastavitelného pneumatického odporu (ASD230F, SMC, Tokyo, Japonsko). Systém byl před měřením udržován ve venkovním prostředí, aby měl použitý plyn pro měření okolní teplotu a zabránilo se tak tání sněhu a změnám vlastností vzduchových kapes.

Tlakový spád byl měřen pomocí přístroje měřícího diferenční tlak Testo 512 (Testo, Alton, Velká Británie).



Obrázek 19 Příprava senzorů pro měření koncentrace CO2 po ukončení experimentu fáze AP



Obrázek 20 Příprava senzorů pro měření koncentrace CO2 po ukončení experimentu fáze NP

Obrázek 21 Zateplení stanu a přístroje Datex-Ohmeda S/5 v průběhu měření

Obrázek 22 Proband při ustalovací fázi před začátkem experimentu

5.5 ANALÝZA DAT

Naměřená data byla zpracována a analyzována pomocí počítačového softwaru Microsoft Excel 2010 a Statistica 7 (StatSoft, Tulsa, OK, USA). Pro testování normality dat byl využit test Shapiro-Wilk a hladina statistické významnosti byla zvolena $p \leq 0{,}05$. Pro výpočet statistické významnosti u měření odporu sněhu byl využit Studentův párový *t*-test.

5.5.1 VÝPOČTY

Z celkového počtu dvanácti probandů jich bylo do výpočtů zařazeno deset. Tito dobrovolníci, jejichž data byla použita ke konečné analýze dat, museli vydržet dýchat v obou fázích (AP i NP) minimálně 315 sekund. Z naměřených fyziologických parametrů (SpO_2, F_IO_2, EtO_2, F_ICO_2 *a* $EtCO_2$) v průběhu fází AP a NP jsou hodnoty vyjádřeny jako průměr a jsou prezentovány ve formě grafů. Symbol ± vyjadřuje SD (směrodatná odchylka). Statistická významnost byla testována pomocí testu ANOVA pro opakovaná měření s Bonferroniho post-hoc testy. Pro hodnocení normality dat byl využit Shapiro-Wilk test [67]. Hladina statistické významnosti byla zvolena $p \leq 0{,}05$.

K porovnání rozdílů dechového úsilí mezi dýcháním do AP a NP byla vypočítána hodnota *iPTP* (imposed pressure-time product). V takovém případě termín "imposed" vyjadřuje část celkové *PTP*, která je způsobena rychlou změnou a zvýšenými tlakovými spády způsobenými odporem sněhu. Celková *iPTP* byla vypočítána jako součet $iPTP_{insp}$ (inspirační) a $iPTP_{exsp}$ (exspirační) a je vyjádřena v Pa·s/min. Statistická významnost byla testována stejným způsobem jako předchozí fyziologické parametry.

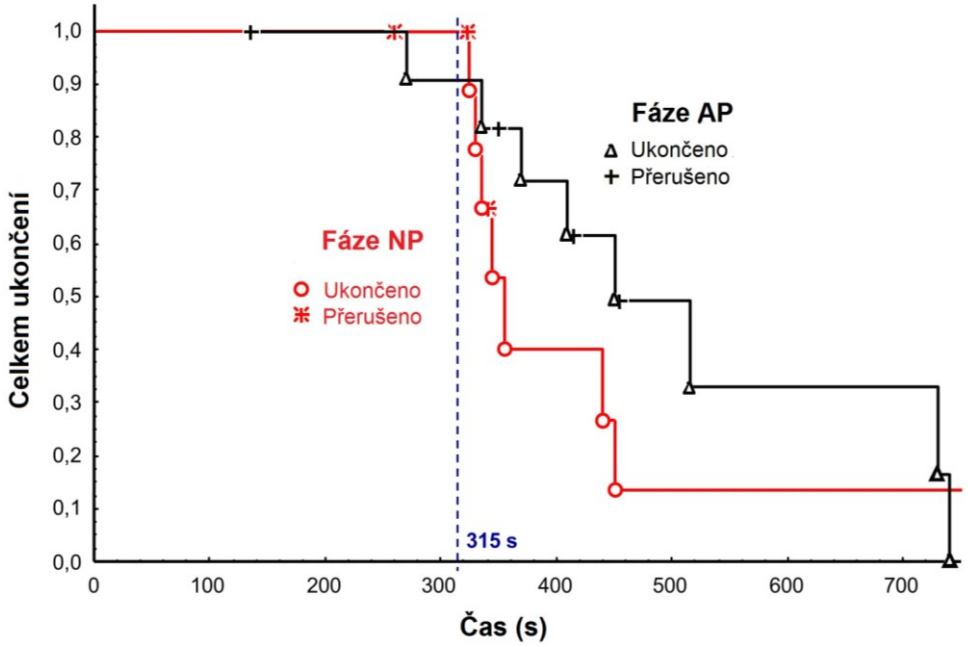
6 VÝSLEDKY

6.1 ČAS DÝCHÁNÍ DO SNĚHU

Pro vyhodnocení měření byly využity z celkového počtu 12 dobrovolníků výsledky 10 z nich. Dva probandi byli vyřazeni z následujících důvodů:

- dýchání prvního probanda bylo ukončeno už po 135 s trvání experimentu. Ukončení bylo na rozhodnutí anesteziologa z důvodu ventrikulárních extrasystol měřeného probanda;
- druhý proband byl vyřazen z důvodu netěsnosti dýchacího okruhu zjištěného v průběhu fáze NP (detekce nenulové C_{N_2O} v okruhu);
- ukončení stejného probanda na jeho žádost již po 270 s, tj. dříve než 315 s, které byly určeny jako minimální doba trvání pro vyhodnocení experimentu.

Doba trvání a ukončení experimentu dýchání do sněhu je znázorněna na grafu č. 1. Doba 315 s, která byla stanovena k jednotlivým výpočtům, je vyznačena modrou přerušovanou čarou.

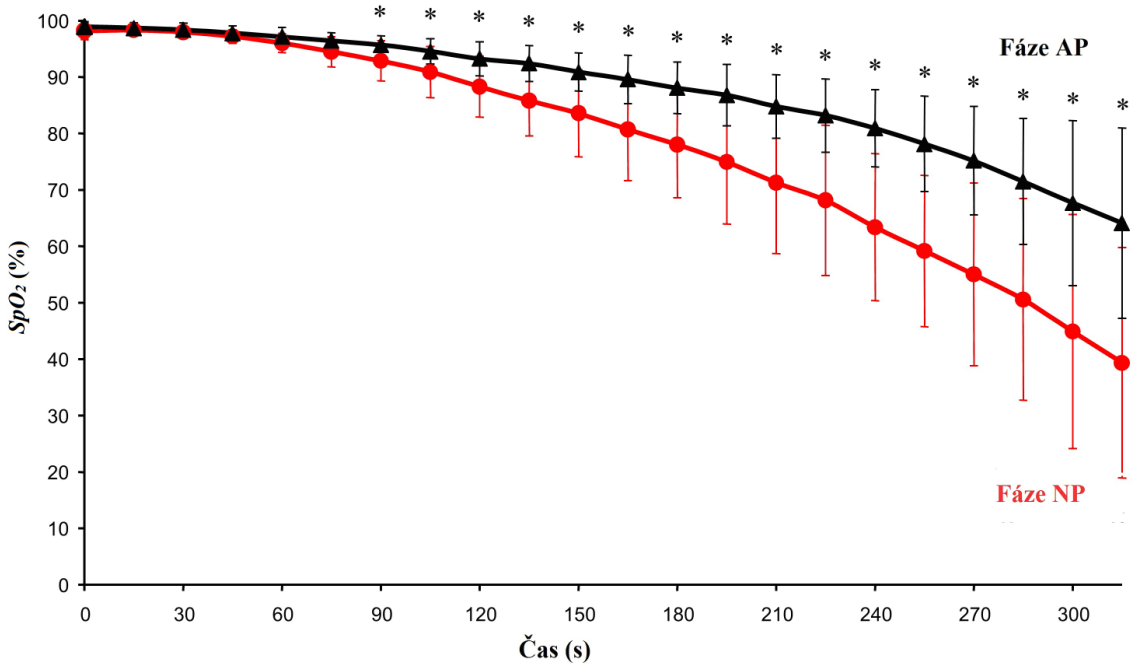


Graf 1 Doba dýchání jednotlivých probandů v obou fázích experimentu

Termín „ukončeno“ značí přerušení experimentu na žádost probanda a termín „přerušeno“ vyjadřuje ukončení experimentu pro jiné důvody – rozhodnutí anesteziologa, kritické fyziologické hodnoty nebo jiné technické problémy.

6.2 PERIFERNÍ SATURACE KRVE KYSLÍKEM (SpO_2)

Nedostatek vzduchu měl významný vliv na časový průběh SpO_2, což je názorně ukázáno na grafu č. 2. V úvodu se průběh jednotlivých fází nijak významně neprojevoval, avšak po 90 s experimentu se křivky začaly lišit na hladině statistické významnosti $p \leq 0.05$. Rozdíl mezi fází AP a NP v průběhu experimentu neustále narůstal.

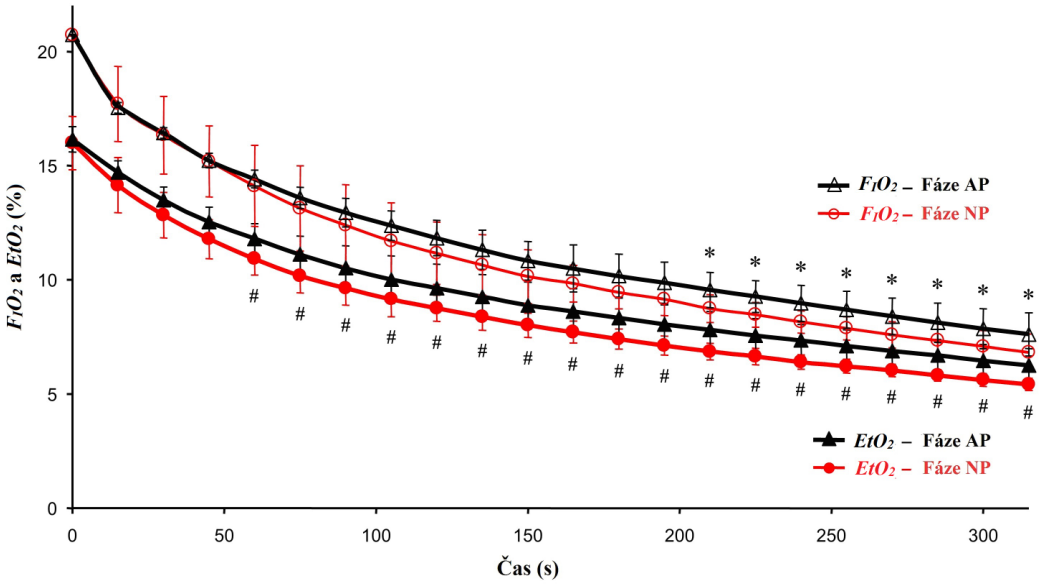


Graf 2 Rozdíl mezi hodnotami SpO_2 v průběhu fází AP a NP

Hodnoty v grafu jsou průměry, ± značí směrodatnou odchylku. Symbol * vyjadřuje statistickou významnost rozdílů SpO_2 mezi fázemi AP a NP, $p \leq 0{,}05$.

6.3 HODNOTY FRAKCE KYSLÍKU (O_2)

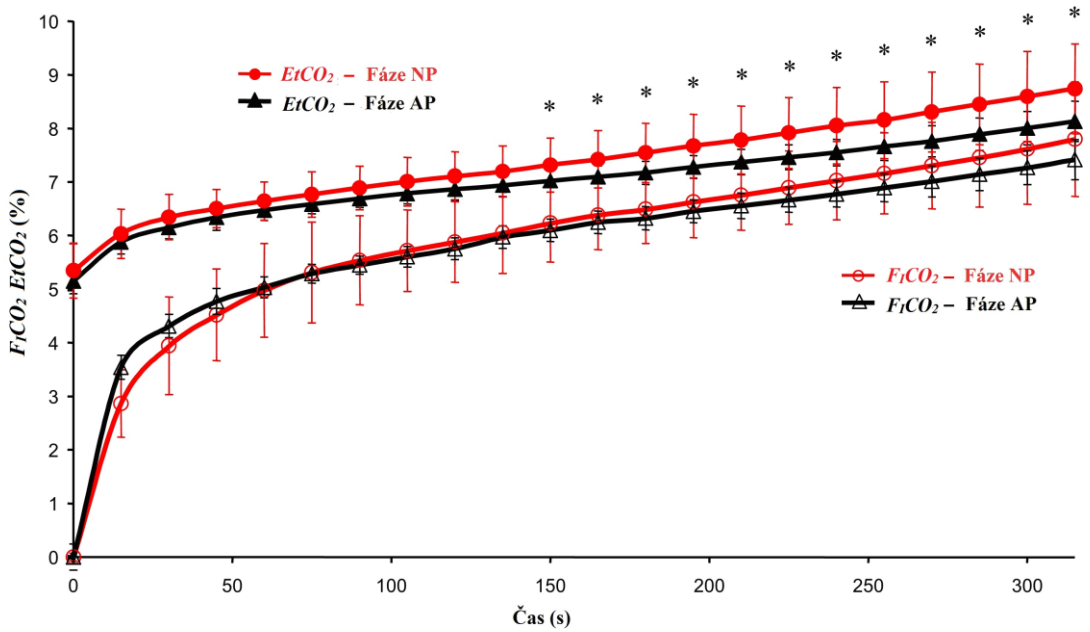
Stejný trend jako u SpO_2 měly i inspirační a exspirační frakce kyslíku a oxidu uhličitého. Nicméně rozdíl, který by byl statisticky významný na hladině statistické významnosti $p \leq 0.05$, se projevoval později než u SpO_2. U obou plynů nastal statisticky významný rozdíl mnohem dříve u exspiračních frakcí, kde se jednalo o 60 s pro EtO_2 a 150 s pro $EtCO_2$. U inspirační frakce kyslíku F_IO_2 došlo ke statisticky významným rozdílům až po 210 s, zatímco inspirační frakce oxidu uhličitého F_ICO_2 nevykazovala statistickou významnost po celou dobu experimentu F_ICO_2, $EtCO_2$ (%).



Graf 3 Hodnoty inspirovaného (F_IO_2) a exspirovaného (EtO_2) kyslíku v průběhu fází AP a NP

Hodnoty v grafu jsou průměry, ± značí směrodatnou odchylku. Symbol * vyjadřuje statistickou významnost rozdílů F_IO_2 mezi fázemi AP a NP na hladině statistické významnosti $p \leq 0.05$. Symbol # vyjadřuje statistickou významnost rozdílů EtO_2 mezi fázemi AP a NP na hladině statistické významnosti $p \leq 0,05$.

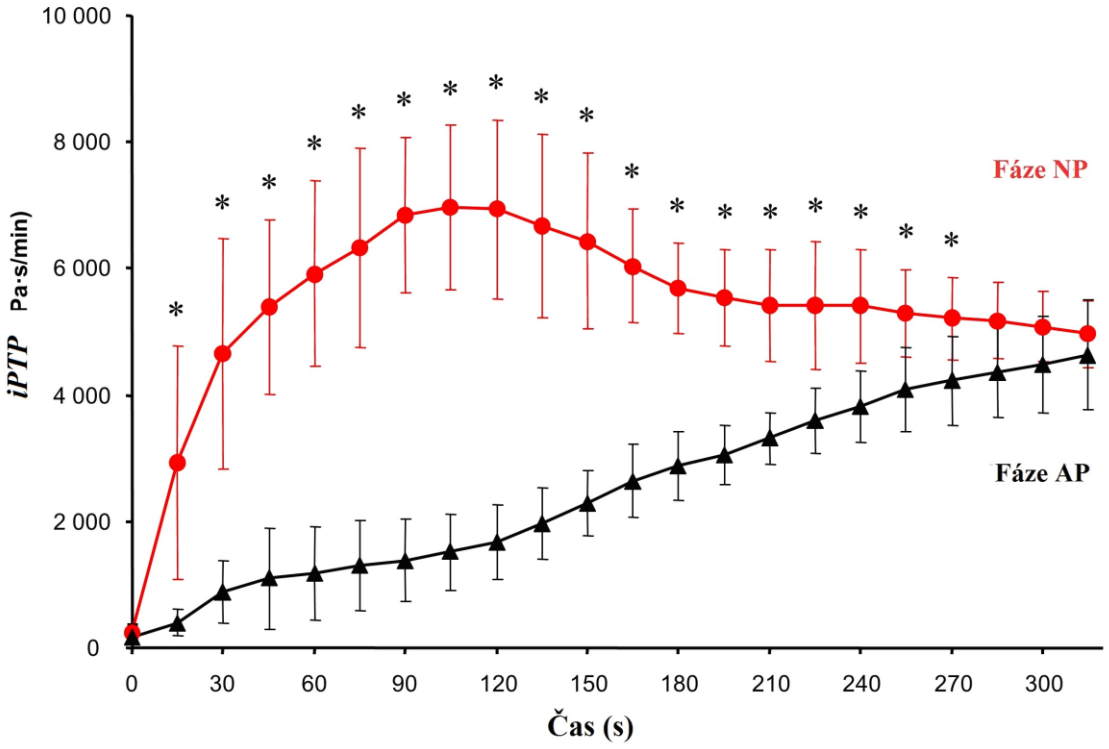
6.4 HODNOTY FRAKCE OXIDU UHLIČITÉHO (CO_2)



Graf 4 Hodnoty inspirovaného (F_ICO_2) a exspirovaného ($EtCO_2$) oxidu uhličitého v průběhu fází AP a NP

Hodnoty v grafu jsou průměry, +/- značí směrodatnou odchylku. Symbol * vyjadřuje statistickou významnost rozdílů $EtCO_2$ mezi fázemi AP a NP na hladině statistické významnosti $p \leq 0,05$.

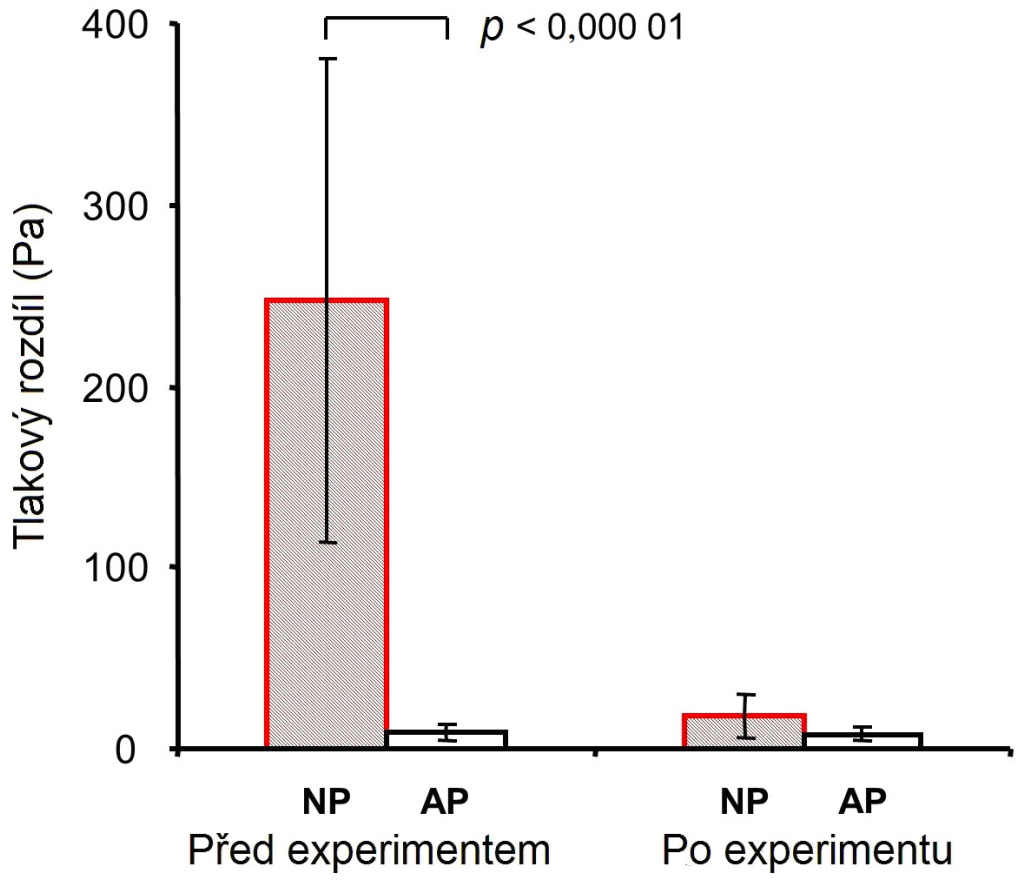
Na grafu č. 5 můžeme sledovat rozdíly *iPTP* při dýchání během fází AP a NP. Z grafu je patrné, že rozdíl *iPTP* mezi jednotlivými fázemi AP a NP se projevil již bezprostředně po zahájení dýchání. Nárůst *iPTP* při fázi NP je v prvních počátcích experimentu enormní a neustále dochází ještě k jeho navyšování. Přibližně po 2 minutách křivka *iPTP* pro fázi NP začíná klesat a pomalu se v dalším průběhu přibližuje ke křivce *iPTP* pro fázi AP. Celková *iPTP* byla vypočítána jako součet $iPTP_{insp}$ (inspirační) a $iPTP_{exsp}$ (exspirační) a je vyjádřena v Pa·s/min. Statistická významnost byla testována stejným způsobem jako předchozí fyziologické parametry.



Graf 5 Rozdíl v dechovém úsilí vyjádřené jako Pressure-Time Product (iPTP) v průběhu fází AP a NP

Hodnoty v grafu jsou průměry, ± značí směrodatnou odchylku. Symbol * vyjadřuje statistickou významnost rozdílů *iPTP* mezi fázemi AP a NP $p \leq 0{,}05$.

Měření odporu sněhu se provádělo vždy před experimentem a po jeho ukončení. Odpor sněhu se měřil pomocí rozdílu tlaků v dýchacím okruhu a okolního tlaku při konstantní rychlosti průtoku vzduchu 60 L/min. Tyto hodnoty jsou vyjádřeny jako průměr, symbol ± znázorňuje směrodatnou odchylku (*SD*). Pro normalitu dat byl zvolen Shapiro-Wilk test a dvojitý párový Studentův *t*-test pro porovnání statistické významnosti mezi AP a NP. Z grafu je patrné, že odpor sněhu před experimentem u fáze NP byl 27krát větší než u fáze NP. Nicméně odpor sněhu po experimentu už statisticky významný rozdíl mezi těmito dvěma fázemi nevykázal. Po fázi NP bylo prováděno měření dutiny, která byla dýcháním při experimentu vytvořena. Vytvořená dutina byla válcového tvaru, jejíž průměr měl hodnotu 36 mm ± 9 mm (od 24 do 52 mm) a délku 59 mm ± 19 mm (od 35 – 90 mm). Průměrný objem vytvořených dutin činil 61 mL ± 34 mL (od 29 do 127 mL). Sníh v okolí těchto dutin byl mokrý, avšak nebyly zde pozorovány žádné známky tvorby ledové krusty.



Graf 6 Hodnoty odporu sněhu měřeného před a po experimentu fází AP a NP

Hodnoty v grafu jsou průměry, ± značí směrodatnou odchylku. Statistická významnost rozdílů tlaku mezi fázemi AP a NP před experimentem $p < 0{,}000\ 01$.

7 DISKUZE

Historie výzkumného projektu

Tato studie je pokračováním společného výzkumného projektu Fakulty tělesné výchovy a sportu UK, Fakulty biomedicínckého inženýrství ČVUT a Fakulty elektrotechnické ČVUT. Na projektu spolupracovali studenti doktorského studia Kinantropologie s vědeckými pracovníky, odborníkem na ventilačně-respirační problematiku (prof. Ing. Karel Roubík, Ph.D.) a se specialistou na výzkumy přežití v extrémních podmínkách (Ing. Ladislav Sieger, CSc.).

K úspěšnému průběhu projektu přispěli i studenti Vojenského oboru Fakulty tělesné výchovy a sportu UK, kteří jako probandi měli pro tento typ výzkumu velmi dobré předpoklady, a to jak z hlediska svého zdravotního stavu a fyzické kondice, tak i psychické odolnosti. Psychickou odolnost prokázali především absolvováním extrémních kurzů přežití a komplexních cvičení v AČR. V průběhu náročného výzkumu prokázali příkladnou motivaci a soutěživost.

Realizaci projektu umožnily i specifické možnosti AČR (zajištění místa výzkumu v horských podmínkách s ubytovacím zařízením pro celý výzkumný tým, zapůjčení zdravotnické a komunikační techniky s vybavením záchranné služby, na čemž se podílela Letecká základna Praha – Kbely). Dalším nutným opatřením při experimentu byla přítomnost anesteziologa z ÚVN Praha.

Výzkum extrémní, i když jen simulované situace pobytu pod sněhovou lavinou, byl rizikový a vyžadoval pečlivé zabezpečení. Tomu odpovídala i vysoce odborná první pomoc (přítomnost zdravotnického pracovníka, anesteziologa a sanitního vozu a dále také spolupráce s odborníky z Horské služby ve Špindlerově Mlýně).

První fáze projektu byla zpracována a obhájena v r. 2013 jako disertační práce PhDr. Michala Maška, Ph.D. [68]. Tato práce byla pojata jako pilotní studie a jejím úkolem bylo nejen potvrdit difusibilitu respiračních plynů ve sněhové kapse, ale zároveň i vyzkoušet a případně vylepšit originální technické postupy navržené experty z ČVUT v Praze. Měření v přizpůsobených „laboratorních“ podmínkách horské chaty nepřinášelo žádné potíže. Problematičtější bylo zvládnutí náročného měření v nepříliš příznivých

podmínkách zevního prostředí. Zcela zásadní opatření pro správnou funkci měřících aparatur byla ochrana před působením chladu či mrazu a vlhka.

Nicméně prvním a základním problémem bylo bezpečné umístění probandů. Ihned z počátku byla zamítnuta možnost úplného zahrabání. Zvažoval se a vyzkoušel částečný záhrab s umístěním hlavy v závěji. Nakonec byla poloha probandů velmi uspokojivě vyřešena polohou vleže na tepelně izolované podložce. Probandi tak mohli být pod stálou kontrolou a současně byli chráněni proti výraznějšímu působení chladu (efekt hypotermie se zcela záměrně nesledoval). Dále se musela řešit tvorba a utěsnění sněhové kapsy, stejně jako utěsnění celého systému hadic a ventilů. Museli se zajistit podmínky pro správné funkce měřících aparatur (tzn. musel se minimalizovat vliv chladu umístěním citlivých přístrojů v částečně vyhřívaném stanu). Musela být také zajištěna registrace měřených dat i vzájemná komunikace s probandem a s dalším personálem. Velmi důležité pro charakteristiku experimentálních podmínek bylo i měření důležitých fyzikálních veličin jako jsou teplota vzduchu a sněhu, hustota sněhu a průtočný odpor sněhu.

Z důvodu rizika případných zdravotních komplikací, navozených extrémní experimentální situací, bylo třeba prostudovat příslušnou odbornou literaturu a přísně dodržovat bezpečnostní opatření podle doporučení Etické komise FTVS UK.

Při prvním výzkumu, který prováděl kolega Mašek a já jsem se ho také osobně účastnil, tvořilo experimentální skupinu 11 zdravých mladých mužů. Ti byli nejdříve otestováni na senzivitivitu vůči hypoxii a hyperkapnii apnoickým testem a v předtestu ještě podrobeni testu usilovného výdechu *FVC*. Ve vlastním experimentu byly sledovány fyziologické parametry při dýchání jak do uzavřeného nepropustného vaku s objemem 8 L, tak do sněhové kapsy s objemem 0,4 L.

V těchto dvou experimentálních situacích byly vyhodnocovány oběhové parametry (kontinuálně měřený krevní tlak a srdeční frekvence vyhodnocovaná z EKG záznamu) a ventilačně-respirační parametry (minutová ventilace, dechový objem a frekvence, procentuální frakce O_2 a CO_2 ve vdechovaném a vydechovaném vzduchu a periferní kyslíková saturace krve). I když doba výdrže dýchání byla individuálně odlišná, pro vyhodnocení naměřených hodnot byla použita jednotná doba 5 a půl minuty. Na konci standardního měření byly ve vdechovaném vzduchu nalezeny výrazně vhodnější podmínky u dýchání do sněhu než při dýchání do 20krát většího, ale neprodyšného vaku (CO_2 3,7 % proti 7,3 % a O_2 14,1 % proti 8,7 %). Tento nález podpořil hypotézu o možnosti difuze respiračních plynů ve sněhu. Překvapivým nálezem byla (při jinak lepších výsledcích)

výraznější redukce periferní saturace O_2 při dýchání do sněhové kapsy (až na 64 %) než při dýchání do neprodyšného vaku (73 %). Vysvětlení se hledalo v možnosti nežádoucího ovlivnění výsledku měření chladovou vazokonstrikcí, což se již v podobných situacích několikrát prokázalo [44].

Diskuse k výsledkům předkládané práce

Nejdůležitějším a navíc unikátním přínosem této studie bylo **potvrzení první hypotézy**, že **dýchání přímo do** lavinového **sněhu** je po dobu nejméně **5 minut možné**. Toto dýchání je však spojené s výrazně zvýšenou dechovou prací. Díky teplému a vlhkému vydechovanému vzduchu se v průběhu experimentu vytvořila ve sněhu malá kapsa s objemem kolem 60 mL.

Výsledky vedly ke dvěma základním poznatkům.

1. Ihned na **začátku** experimentu se ve fázi NP (při **dýchání přímo do sněhu**) objevilo extrémní zvýšení dechové práce. Díky této několikanásobně zvýšené dechové práci došlo k **rychlým změnám** exspiračních frakcí jak kyslíku a oxidu uhličitého, tak i periferní saturace krve kyslíkem SpO_2. Zvýšená práce dýchacích svalů vyvolala vyšší nároky na metabolismus, tzn. i zvýšenou spotřebu kyslíku spolu se zvýšenou produkcí oxidu uhličitého. To byly faktory, které rychle zhoršovaly již narušenou homeostázu a aktuální stav probandů.
2. Nálezy menších rozdílů u inspirovaných frakcí kyslíku a oxidu uhličitého v obou experimentálních situací naznačily, že **sníh je porézní prostředí**, které je schopno dodávat omezené množství kyslíku a zároveň je také schopné omezené množství oxidu uhličitého odvádět.

Po ukončení každého jednotlivého měření jsme měřili difuzivitu CO_2 ve sněhu. Zvýšená koncentrace oxidu uhličitého (C_{CO_2}) byla nejdále naměřena ve vzdálenosti 20 cm od hrany vzduchové kapsy, příp. konce pacientské Y-spojky. Rozdíl mezi fázemi AP a NP nebyl pozorován. Toto zjištění jen potvrzuje velmi malou schopnost rozpouštění CO_2 ve sněhu, což je zcela zásadní z hlediska rychle narůstající hyperkapnie při zasypání sněhovou lavinou.

Významné rozdíly mezi fázemi **NP a AP** byly pozorovány v **exspiračních frakcích** kyslíku i oxidu uhličitého a v periferní **saturaci krve kyslíkem** SpO_2. U inspiračních frakcí se významné rozdíly objevily mnohem později (F_IO_2) nebo k nim nedošlo vůbec (F_ICO_2).

Významným nálezem byly také rozdíly mezi dvěma experimentálními fázemi v dechové práci. Při dýchání **přímo do sněhu** byl pozorován náhlý a výrazný **nárůst dechového úsilí**, vyjádřený jako *iPTP*, a to **bezprostředně po zahájení** experimentu. Při dýchání do vzduchové kapsy s objemem 1 L nebyla zaznamenána výrazná změna *iPTP*. Dechová práce naopak narůstala pomalu a plynule a odpovídala v souvislosti s rozvojem hyperkapnie, vyvolané opětovným vdechováním vydechovaného vzduchu, postupnému zvyšování dechových objemů a dechové frekvence. Bezprostřední výrazné zvýšení dechového úsilí (*iPTP)* **korelovalo** s **velkým odporem sněhu** (viz graf č. 6). Uplatnil se tu známý fyzikální vztah, podle kterého se odpor zvyšuje s poklesem průřezové plochy průtoku a naopak. Podle Hagen-Poiseuille rovnice je objemový tok (množství protékajícího plynu) přímo úměrný rozdílu tlaku na začátku a na konci trubice. Podle rovnice však není vztah mezi odporem sněhu a velikostí kapsy lineární. I malá změna ve velikosti kapsy vedla ke značným změnám v odporu protékajícího vzduchu, a to i v případě, že původní kapsa byla velmi malá. I přes velmi významný rozdíl v odporu sněhu mezi fázemi AP a NP, zjištěnými na začátku experimentu, **nebyl po ukončení** experimentu zjištěn v odporu statisticky **významný rozdíl**.

Toto zjištění dokazuje, že **vytvoření** byť **jen malé vzduchové kapsy** (61 mL ± 34 mL) výrazně **snižuje odpor** proudění vzduchu a tím i vykonávanou **dechovou práci**.

Potvrdila se tedy i **druhá hypotéza**, která predikovala možnost dosáhnout reálného snížení dechového úsilí (*iPTP*) i u velmi malých vzduchových kapes.

Přes všechna poučení a snahy o předcházení problémů z minulé studie se patrně nezabránilo chladovému ovlivnění hodnot periferní kyslíkové saturace krve. I při dostatečném zateplení teplou palčákovou rukavicí byly na konci experimentu nalezeny nízké až **kritické hodnoty periferní kyslíkové saturace krve**. Opakovaně se ukazuje, jak uvádí specialista na leteckou medicínu Dr. Melechovský [44], že nevýhodou pro měření pulzními oxymetry jsou nízké teploty. Chladem vyvolaná vazokonstrikce v prstech ruky totiž snižuje průtok potřebného množství okysličené krve a oxymetry podávají falešně nízké hodnoty. S hodnotami nízké saturace nekorespondovaly obtíže, typické pro výskyt takto nízkých hodnot.

Brugger et al. [22] popsali nevýznamný rozdíl mezi hodnotami $EtCO_2$ u probandů, kteří dýchali do vzduchových kapes o objemu 1 L a 2 L. Exspirovaný $PaCO_2$ vystoupil u jejich probandů na 51 mm Hg (6,8 kPa) a arteriální saturace kyslíku klesla ve 4. min na 88 %. Redukce SpO_2 byla nižší u větší kapsy a korelovala s hustotou sněhu. Experiment ukončilo 21 % účastníků pro subjektivní potíže (dušení, mrákotné stavy, panika), u 61 % probandů byl experiment přerušen při poklesu $SpO_2 < 75$ % a 18 % osob (n = 5) ukončilo experiment až po 30 min. Podle Bruggera se na stupni asfyxie podílejí nejen velikost kapsy a hustota sněhu, ale také individuální charakteristiky jedince (asi 22% podíl). Příčinou může být podle Bruggera různá psychická odolnost a senzitivita vůči hypoxii a hyperkapnii. Srovnání se nabízí především u saturace kyslíkem. U našich probandů byly nalezeny hodnoty podstatně nižší a s výjimkou 2 osob byl experiment individuálně ukončen mezi 5. až 11. min (graf 1). Je třeba upozornit, že v přípravě našeho experimentu byl únik vydechovaného či nasávaného vzduchu mimo sněhové prostředí pečlivě ošetřen pomocí N_2O (viz metodika).

Použití zařízení AvaLung, jehož výrobcem je firma Black Diamond, představuje výrazné prodloužení doby přežití. Analytická studie, publikovaná Grissomem CK et al. [12], objasnila princip zařízení, zamezující zpětné vdechování vydechovaného plynu pomocí jednosměrných ventilů s rozdílným umístěním inspiračního (na hrudníku) a exspiračního výstupu (na zádech). Již konstrukce samotného zařízení usnadňuje dýchání. Vstupní otvor má velkou povrchovou plochu a snižuje tak odpor proudění vzduchu při dýchání ze sněhu. Problémem používání tohoto zařízení je především schopnost zasaženého vložit náustek zařízení do úst a tam jej i po celou dobu při zasažení lavinou udržet.

Použití Avalungu a dalších podobných pomůcek ve sněhovém závalu prověřovali autoři Radwin, Grissom, Windsor a další [11 – 14]. Jejich probandi dokázali vydržet ve sněhovém závalu 73-93 min bez výraznějších odchylek od fyziologických norem.

V naší práci jsme vyhodnotili dechové úsilí pomocí parametru Pressure-Time Product (*PTP*), který byl vhodnější než dechová práce (Work of Breathing - *WoB*). *PTP* je vhodným indikátorem dechové práce a práce metabolické [69]. Field et al. [70] prokázali, že spotřeba kyslíku z dýchacího svalstva jen velmi slabě koreluje s mechanickou dechovou prací (*WoB*), která je výsledkem $\Delta P \cdot \Delta V$. Ve vyjádření *PTP* je však korelace velmi dobrá.

Bere v úvahu izometrickou fázi kontrakce dýchacích svalů [71] a je zároveň dobrým ukazatelem výdeje energie [72].

Paal et al. [23] zaměřili svoji velice zajímavou studii mimo jiné i na hypotermii. U zasypaných anestezovaných zvířat sledovali proto i jiné parametry, jako např. tělesnou teplotu, *pH* krve a některé oběhové ukazatele, které v naší studii sloužily jen jako bezpečnostní markery.

Faktory limitující výsledky práce

Práce byla limitována několika faktory, které se do jisté míry mohly promítnout do výsledků studie.

1. Experiment byl zaměřený pouze na vybrané parametry. Opomíjel vlivy dalších proměnných, jako jsou například hypotermie, útlak hrudníku způsobený váhou sněhu, psychické aspekty, trauma a další. Toto jsou však vlivy, které není možné z etických důvodů experimentálně zkoumat na lidech (viz Helsinská deklarace). Na druhou stranu byla studie navržena tak, aby eliminovala zkreslení výsledků vstupem dalších negativních faktorů a proměnných. Zabývala se frakcemi respiračních plynů, periferní saturací kyslíkem a dechovým úsilím při přítomnosti nebo absenci vzduchových kapes ve sněhu při zasypání oběti sněhovou lavinou.

2. Výběr probandů nebyl náhodný. Tato homogenní skupina byla vybrána ze zdravých, dobře trénovaných a vysoce motivovaných studentů Vojenského oboru při FTVS UK. K tomuto výběru bylo přistoupeno záměrně tak, aby byla odstraněna možná zdravotní rizika, která by mohla studii ovlivnit. Dobrovolníci museli být také vysoce odolní proti diskomfortu, který byl v průběhu experimentu značný. Svoji odolnost prokázali absolvováním několika extrémních armádních kurzů ve speciální tělesné přípravě (STP). Velikost souboru jsme zvolili na základě předchozích podobných studií v této oblasti [11 – 14, 21 – 23].

3. Celý experiment probíhal v poměrně stabilních klimatických a povětrnostních podmínkách, které zajišťovaly určité fyzikální vlastnosti sněhu (druh sněhu, hustota sněhu, teplota sněhu, teplota vzduchu apod.). Výzkum byl realizován v nadmořské výšce (762 m n.m.) s vyšším parciálním tlakem kyslíku (PaO_2) než v ostatních dříve citovaných studiích. To by mohlo ovlivnit publikované hodnoty F_IO_2, EtO_2 *a* SpO_2 a jejich porovnávání s experimenty, prováděnými ve vyšších nadmořských výškách. Jsme však

přesvědčeni, že trendy těchto parametrů společně s efekty účinků jednotlivých fází výzkumu tím nebyly významně ovlivněny.

4. Vhledem k používání měřící techniky, která je využívána na nemocničních jednotkách JIP, nebylo možné vyhodnotit některé parametry (především dechové objemy). Tyto údaje jsme sice po celou dobu zaznamenávaly, ale v některých případech dosahovaly natolik extrémní hodnoty, že přesahovaly technické možnosti měřící techniky.

5. Zvolená problematika byla náročná nejen svou přípravou, ale i samotnou realizací. Byla vázána mimo organizačních a technických záležitostí především na vhodné klimatické podmínky a dostatek sněhu. Další předpokládaný výzkum, který by řešil situaci v rozdílných klimatických a sněhových podmínkách s návazností na tvorbu matematicko-fyzikálního modelu, se již nerealizoval, a to jak pro sněhu nepříznivý rok, tak i pro časový limit, ukončení mého doktorského studia.

8 ZÁVĚR

Náš výzkum pomáhá lépe pochopit patofyziologii oběti při zasypání sněhovou lavinou během prvních pěti minut v případě absence vzduchové kapsy v bezprostřední blízkosti před dýchacími cestami a v případě přítomnosti této vzduchové kapsy o objemu 1 L.

Tato první studie dokládá, že dýchání ve sněhu je možné i bez sněhové kapsy vytvořené před dýchacími cestami. Z tohoto hlediska byla potvrzena hypotéza H1.

Limitujícím faktorem za námi měřených podmínek byl vysoký nárůst dechové práce, která způsobuje vyšší nároky na metabolismus. Tyto vyšší nároky následně zapříčiňují vyšší spotřebu kyslíku a zároveň vyšší produkci oxidu uhličitého. Hypotéza H2 potvrdila, že přítomnost vzduchové kapsy o objemu 1 L významně snižuje dechový odpor a tím i dechovou práci ve srovnání s absencí vzduchové kapsy před dýchacími cestami zasypaného.

Na základě těchto výsledků je patrné, že vytvoření, popř. udržení si byť jen malé vzduchové kapsy před dýchacími cestami, snižuje dechovou práci a tím i nároky na metabolismus. To v konečné podobě vede k prodloužení doby přežití pod sněhovou lavinou a tím i k větší šanci pro záchranu zasypané oběti lavinového neštěstí. Je třeba ale také zmínit, že ani ten nejlepší technický prostředek nemůže nahradit zkušenosti a znalosti, jejichž nedostatek vede právě k vyšší pravděpodobnosti lavinové nehody.

Další výzkum ventilačně-respiračních změn by mohl pokračovat právě tímto směrem, kdy by komplexní zkoumání této problematiky mohlo být prováděno na animálních modelech (např. selata), jako tomu bylo při výzkumu v rakouském Ventu [23]. Takový výzkum je však časově, organizačně a finančně velmi náročný a pro jeho realizaci je nutné využít vhodný grant, který by tyto problémy dokázal pokrýt.

Studie je prvním výzkumem svého druhu zabývajícím se dýcháním bez dutiny před dýchacími cestami při zasypání lavinou.

Studie byla přijata a publikována v časopise Plos One (USA) [73].

9 LITERATURA

1. Brugger H, Durrer B, Adler-Kastner L, Falk M, Tschirky F. Field management of avalanche victims. Resuscitation 2001; 51:7–15.

2. Boyd J, Haegeli P, Abu-Laban RB., Shuster M, Butt JC. Patterns of death among avalanche fatalities: a 21-year review. Canadian Medical Association Journal 2009*;* 180:5:507-512.

3. Hohlrieder M, Brugger H, Schubert HM Pavlic M, Ellerton J, Mair P. Pattern and severity of injury in avalanche victims. High Altitude Medicine & Biology 2007*;* 8:1:56-61.

4. Falk M, Brugger H, Adler-Kastner L. Avalanche survival chances. Nature 1994; *368*:21.

5. Brugger H, Falk M, Adler-Kastner L. Der Lawinennotfall. Eine aktuelle Übersicht. Wiener Klinische Wochenschrift 2003; 9:8:691-701.

6. Stalsberg H, Albretsen C, Gilbert M, Kearney M, Moestue E, Nordrum I et al. Mechanism of death in avalanche victims. Wirchows archiv a pathological anatomy and histopathology 1989; 414:415-422.

7. Logan N, Atkins D. The snowy torrents: Avalanche accidents in the United States 1980-1986. Colorado geological survey 1996:240-243.

8. Grossman MD, Saffle, JR, Thomas F, Tremper B. Avalanche trauma. Trauma 1989; 29:1705-1709

9. McIntosh SE, Grisom CK, Olivares CR., Kim HS, Tremper B. Cause of death in avalanche fatalities. Wilderness & Enviromental Medicine 2007*;* 18:4:293-297.

10. Haegeli P, Falk M, Brugger H, Etter HJ, Boyd J. Comparison of avalanche survival patterns in Canada and Switzerland. Canadian Medical Association Journal 2011; 183:7:789-795.

11. Grissom CK, McAlpine JC, Harmston CH, Radwin MI, Giesbrecht GG, Sholand MB et al. Hypercapnia Effect on Core Cooling and Shivering Treshold During Snow Burial. Aviation, Space, and Environmental Medicine 2008; 79:8:735-742.

12. Grissom CK, Radwin MI, Harmston CH, Hirshberg EL, Crowley TJ. Respiration during snow burial using an artificial air pocket. Jama 2000; 283:17:2261-2271.

13. Windsor JS, Hamilton E, Grocott MP, O´Dwyer MJ, Milledge JS. The snow snorkel: A proof of concept study. Wilderness & Enviromental Medicine 2009; 20:61-65.

14 Radwin IM, Grisom CK, Scholand MB, Harmston CH. Normal Oxygenation and Ventilation during Snow Burial by the Exclusion of Exhaled Carbon Dioxine. Wilderness Enviromental & Medicine 2001; 12:256–262.

15. Chardon G, Bonnetere V, Bernadet C, De Gaudemaris R. Intérêt du sac à dos airbag lors des accidents d'avalanche comme moyen de secours supplémentaire en complément de l'appareil de recherche des victimes en avalanche (ARVA). Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement 2007; 68:3:297-287.

16. Haegeli P, Falk M, Procter E, Zweifel B, Jarry F, Logan S et al. The effectiveness of avalanche airbags. Resuscitation 2014; 85:1197–1203.

17. Haegeli P, Falk M, Procter E, Zweifel B, Jarry F, Logan S et al. An up-to-date perspective on the affectiveness of avalanche airbags. Snow Science 2014; 33:1:9–11.

18. Brugger H, Etter HJ, Zweifel B, Mair P, Hohlrieder M, Ellerton J et al. The impact of avalanche rescue devices on survival. Resuscitation, 2007; 75:3:476-483.

19. Sýkora K, Michalička V, Dlouhý R. Airbag backpacks – Active avalanche protection. Journal of Outdoor Activities 2015; 9:1:32-39.

20. Burtscher M. Avalanche survival chances - related comment. Nature 1994; 371:6497:482-482.

21. Brugger H, Oberhammer R, Adler-Kastner L, Beikircher W. The rate of cooling during avalanche burial; a „Core“ issue. Resuscitation 2009; 80:956-958.

22. Brugger H, Sumann G, Meister R, Adler-Kastner L, Mair P, Gunga HC. Hypoxia and hypercapnia during respiration into an artificial air pocket in the snow: implications for avalanche survival. Rescuscitation 2003; 58:81-88.

23. Paal P, Strapazzon G, Braun P, Ellmauer PP, Schroeder DC, Suman G et al. Factors affecting survival from avalanche burial – A randomised prospective porcine pilot study. Resuscitation 2013; 84:2:239-243.

24. Seok B, Helmig D, Wiliams MW, Liptzin D, Chowanski K, Hueber J. An automated system for continuous measurements of trace gas fluxes through snow: an evaluation of the gas diffusion method at a subalpine forest site, Niwot Ridge, Colorado. Biogeochemistry 2009; 95:95-113.

25. Brugger H, Paal P, Boyd J. Prehospital resuscitation of the buried avalanche victim. High Altitude Medicine & Biology 2011; 12:3:199 – 205.

26. Pastucha D, Bartůňková S, Filipčíková R, Gallo J, Havlíček P, Hyjánek J et al. Tělovýchovné lékařství. Vybrané kapitoly. Praha: Grada. 2014; 288. ISBN 978-80-247-4837-5.

27. Woods DR, Boos C, Roberts PR. Cardiac arrhytmia at high altitude. J R Army Med Corps. 2011; 157:1:59 – 62.

28. Alexander JK. Cardiac arrhythmia at high altitude: the progressive effect of aging. Heart Inst. J. 1999; 26:4:258 – 263.

29. Widimský J. Hypertenze: 24hodinové monitorování krevního tlaku (AMTK). Praha: Triton 2002; 51 – 56.

30. Zeman V. Tělesná aktivita v chladu. In Máček M, Radvanský J. Fyziologie a klinické aspekty pohybové activity. Praha: Galen, 2011. ISBN 978-80-7262-695-3.

31. Sieger L. Hiblerův zábal v praxi. Med Sport Boh Slov. 2008; 17:2:90 – 93.

32. Hampl V. Fyziologie extrémních stavů [online]. Praha: Karlova Univerzita , [cit.2011-11-18]. Dostupné z WWW:<http://fyziologie.lf2.cuni.cz/hampl/teach_mat/extremy/index.htm

33. Vránová J. Metabolismus při fyzickém zatížení. In: Bartůňková S. Fyziologie pohybové zátěže. Praha: Univerzita Karlova, 2013. ISBN 978-80-87647-06-6.

34. Trojan S. Lékařská fyziologie. 4. vydání. Praha: Grada, 2003; 179 – 319. ISBN 8024705125.

35. Bartůňková, S. et al. Fyziologie pohybové zátěže. Praha: Univerzita Karlova, 2013; 246. ISBN 978-80-87647-06-6.

36. Otis AB. The Work of Breathing. J Physiological Reviews 1954; 34:3:449-458.

37. Otis AB, Fenn WO, Rahn H. Mechanics of breathing in man. J Appl Physiol 1950; 2:592-607.

38. Paleček F, Feitová S,Herget J, Kandus J, Novák M, Pokorný J et al. Patofyziologie dýchání. 2. vydání. Praha: Academia, 1999. ISBN 80-200-0723-7.

39. Havlíčková L. et al. Fyziologie tělesné zátěže I - Obecná část. 2. vydání. Praha: Karolinum, 2008; 203. ISBN 978-80-7184-875-2.

40. Wilmore JH, Costill DL. Physiology of Sport and Exercise. Champaign: Human Kinetics. 2004:726. ISBN 0-7360-4489-2.

41. Rokyta R. Fyziologie pro bakalářská studia v medicíně, přírodovědných a tělovýchovných oborech. Praha: ISV nakladatelství. 2000; 359. ISBN 80-85866-45-5.

42. Bartůňková S. Fyziologie člověka a tělesných cvičení. Učební texty pro studenty fyzioterapie a studia tělesná a pracovní výchova zdravotně postižených. 2. vydání. Praha: Karolinum, 2010; 285. ISB 978-80-246-1817-3.

43. Wilmore JH, Costill DL. Physiology of Sport and Exercise. Champaign: Human Kinetics. 2004:726. ISBN 0-7360-4489-2.

44. Melechovský, D. Kapitoly z letecké medicíny [cit. 2016-03-11]. Dostupné z: http://www.leteckylekar.cz/kapitoly-z-letecke-mediciny/72-pulzni-oxymetr.html

45. Vilikus Z. Tělovýchovné lékařství. Praha: Karolinum. 2004; ISBN 80-246-0821-9.

46. Cinglová L. Vybrané kapitoly z tělovýchovného lékařství. Praha: Karolinum: 2010; 114 ISBN 9788024617787.

47. Slavíková J, Švíglerová J. Fyziologie dýchání. Praha: Univerzita Karlova, 2014; 94. ISBN 9788024620657.

48. Rotman I. Fyziologické a zdravotní aspekty pohybové aktivity v extrémních výškách. In Máček M, Radvanský J. Fyziologie a klinické aspekty pohybové aktivity. Praha: Galen, 2011. ISBN 978-80-7262-695-3.

49. Bultas J. Výšková nemoc – praktické aspekty léčby. Med pro praxi, 2008; 5:6:251 – 253.

50. Webb JT, Balldin UI, Pilmanis AA. Prevention of decompression sickness in current and future fighter aircraft. Aviat Space Environ Med. 1993; 64:11:1048-50.

51. Šulc J. Zdravotní rizika v letecké dopravě. Interní medicína pro praxi. 2005; 7 – 8:371 – 72.

52. Máčková J. Pohybová aktivita a sport ve vysokohorském prostředí. In Máček M, Radvanský J. Fyziologie a klinické aspekty pohybové activity. Praha: Galen, 2011. ISBN 978-80-7262-695-3.

53. Heller J. Vyšetřovací metody u sportujícího jedince. In Bartůňková S at al. Fyziologie pohybové zátěže. Praha: Univerzita Karlova, 2013; 246. ISBN 978-80-87647-06-6.

54. Hampl V, Herget J. Role of Nitric Oxide in the Pathogenesis of Chronic Pulmonary of Hypertension. Physiol Rev. 2000; 80:4:1337 – 1372.

55. Busch T, Bärtsch P, Pappert D, Grünig E, Hildebrandt W, Elser H. et al. Hypoxia Decreases Exhaled Nitric Oxide in Mountaineers Susceptible to High-Altitude Pulmonary Edema. Am J Respir Critical Care Med 2001; 163:2:368 – 73.

56. Berger MM, Hesse C, Dehnert C, Fiedler H, Kleinbongart P, Bardenheuer HJ et al. Hypoxia impairs systemic endothelial function in individuals. Am J Respir Critical Care Med, 2005; 172:6:763 – 767.

57. Gassmann M. Lessons from Tibet. In: Rotman: Zpráva z kongresu „High Altitude Tolerance." Heidelberg, 25 – 26. 1. 2013.

58. Novomeský F. Potápěčská medicína. Martin: Osveta, 2013; 415. ISBN-13: 978-80-8063-397-4.

59. Fölsch UR, Kochisiek K, Schmidt RF. Patologická fyziologie. Praha: Grada. 2003; 588. ISBN 80-247-0319-X.

60. McArdle WD, Katch FI, Katch VL. Exercise Physiology. Energy, Nutrition, and Human Performance. 6th edition. Lippincott Williams & Wilkins, 2007; 1068. ISBN: 0781749905

61. Guyton AC, Hall JE. Textbook of Medical Physiology. 11th. edition. Elsevier, 2006; 782–784. ISBN 987-0-7216-0240-0.

62. Bellani G, Patroniti N, Weismann D, Galbiati L, Curto F, Foti G et al. Measurement of Pressure-Time Product during Spontaneous Assisted Breathing by Rapid Interrupter Technique. Anesthesiology 2007; 106:484–90.

63. Lumb AB. Nunn's Applied Respiratory Physiology. 7th edition. Elsevier, 2012.

64. American Society of Anesthesiologists, INC. New Classification of Physical Status, Anesthesiology, 1963;24: 111.

65. McClung D, Schaerer PA. The Avalanche Handbook; Mountainers: Seattle, WA, 1993.

66. EN ISO 8835–2. Inhalational anesthesia systems—Part 2: Anaesthetic breathing systems. Brussel:European Committee for Standardization, 2009.

67. Shapiro SS, Wilk MB. An analysis of variance test for normality (complete samples). Biometrika, 1965; 52:34:591–611.

68. Mašek, M. Změny funkčních parametrů u jedince v krizové situaci (Hyperkapnie a difuze plynů pod sněhovou lavinou). FTVS UK, 2013; Disertační práce. Školitelka: doc. Bartůňková.

69. Bellani G, Patroniti N, Weismann D, Galbiati L, Curto F, Foti G et al. Measurement of Pressure-Time Product during Spontaneous Assisted Breathing by Rapid Interrupter Technique. Anesthesiology 2007; 106:484–90.

70. Field S, Sanci S, Grassino A. Respiratory muscle oxygen consumption estimated by the diaphragm pressure-time index. J Appl Physiol 1984; 57:44–51.

71. Sassoon CS, Mahutte CK. Work of breathing during mechanical ventilation, Physiological Basis of Ventilatory Support. Edited by Marini JJ, Slutsky A. New York, Marcel Dekker, 1998; 261–310.

72. Collett PW, Perry C, Engel LA. Pressure-time product, flow and oxygen cost of resistive breathing in humans. J Appl Physiol 1985; 58:1263–72.

73. Roubík K, Sieger L, Sýkora K. Work of breathing into snow in the presence versus absence of an artificial air pocket affects hypoxia and hypercapnia of a victim covered with avalanche snow: A randomized double blind crossover study. PLoS ONE 2015; 10:12: e0144332. doi:10.1371/journal.pone.0144332.

10 INTERNETOVÉ ZDROJE

74. US avalanche fatalities. Colorado avalanche information center. [online] [cit. 2016-03-11]. Dostupné z: http://avalanche.state.co.us.

75. International Commission for Alpine Rescue [online] [cit. 2016-03-11]. Dostupné z: http://www.alpine-rescue.org/ikar-cisa/documents/2016/ikar20160131001942.xls.

76. Tradiční skialpinismus. [online] [cit. 2016-03-11]. Dostupné z: http://www.horosvaz.cz/tradicni-skialpinismus.

77. Společnost horské medicíny ČR. [online] [cit. 2016-03-11]. Dostupné z: http://www.horska-medicina.cz.

78. Avalanche accidents with ABS. [online] [cit. 2016-03-11]. Dostupné z: http://abs-airbag.de

79. Polar. [online] [cit. 2016-03-11]. Dostupné z: http://www.polar-eshop.cz

80. Helsinská deklarace. [online] [cit. 2016-03-11]. Dostupné z: http://old.lf3.cuni.cz/ustavy/etika/helsinska_deklarace.pdf

11 PŘÍLOHY

11.1 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Křivka pravděpodobnosti přežití (A) a zvyšování rizika úmrtí (B) úplně zasypaných lavinových obětí ve vztahu k době zasypání v alpských zemích 19

Obrázek 2 Krabicový graf vztahu SpO_2 a velikosti vzduchové kapsy (n = 28) 21

Obrázek 3 Korelace mezi snižováním SpO_2 a hustotou sněhu (kg/m³) 22

Obrázek 4 Optimální dechová frekvence 27

Obrázek 5 Schematické znázornění plicních objemů a kapacit [34] 29

Obrázek 6 Pulzní oxymetr s hodnotou SpO_2 a SF (foto výrobce) 33

Obrázek 7 Přehled faktorů ovlivňujících ventilaci [60] 37

Obrázek 8 Diagram výzkumu podle standardu CONSORT 2010 43

Obrázek 10 Příprava měření a vstupní vyšetření před experimentem 45

Obrázek 11 Pacientský anesteziologický přístroj Datex-Ohmeda S/5 (foto výrobce) 48

Obrázek 12 Monitor životních funkcí (foto výrobce) 48

Obrázek 13 Spirometrický měřící přístroj MSP1 (foto L. Sieger) 49

Obrázek 14 Měření měrné hmotnosti sněhu (foto L. Sieger) 50

Obrázek 15 Měření teploty sněhu (foto: L. Sieger) 50

Obrázek 16 Osobní profesionální radiostanice Motorola GP 388 UHF (foto výrobce) 51

Obrázek 17 Nákres dýchacího okruhu a jeho instalace do sněhové stěny (ilustrace B. Kračmar) 53

Obrázek 18 Dýchací soustava s vytvořenou vzduchovou kapsou 1 L (fáze AP) 54

Obrázek 19 Dýchací soustava bez vzduchové kapsy 0 L (fáze NP) 55

Obrázek 20 Příprava senzorů pro měření koncentrace CO2 po ukončení experimentu fáze AP 56

Obrázek 21 Příprava senzorů pro měření koncentrace CO2 po ukončení experimentu fáze NP 57

Obrázek 22 Zateplení stanu a přístroje Datex-Ohmeda S/5 v průběhu měření 57

Obrázek 23 Proband při ustalovací fázi před začátkem experimentu 58

11.2 SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Příčiny úmrtí v lavině 18

Tabulka 2 Parciální tlaky jednotlivých složek vzduchu v různém prostředí (v kPa) [42] 31

Tabulka 3 Hodnoty atmosférického tlaku a PaO_2 v různých výškách [43] 31

Tabulka 5 Charakteristika výzkumného souboru 46

11.3 SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Doba dýchání jednotlivých probandů v obou fázích experimentu 60

Graf 2 Rozdíl mezi hodnotami SpO_2 v průběhu fází AP a NP 61

Graf 3 Hodnoty inspirovaného (F_IO_2) a exspirovaného (EtO_2) kyslíku v průběhu fází AP a NP 62

Graf 4 Hodnoty inspirovaného (F_ICO_2) a exspirovaného ($EtCO_2$) oxidu uhličitého v průběhu fází AP a NP 62

Graf 5 Rozdíl v dechovém úsilí vyjádřené jako Pressure-Time Product (iPTP) v průběhu fází AP a NP 63

Graf 6 Hodnoty odporu sněhu měřeného před a po experimentu fází AP a NP 64

11.4 SEZNAM DOKUMENTACE K EXPERIMENTU

1. Sylabus výzkumného projektu …….…….84
2. Vyjádření Etické komise FTVS UK …….……87
3. Informovaný souhlas ……88
4. Registrace na ClinicalTrials.gov …….…….89
5. Karta účastníka experimentů ……..……..92
6. Průvodní list účastníka experimentů ……93
7. Protokol měření probanda při dýchání ve sněhu ……..95
8. SOP Datex-Ohmeda S/5 ……...……99

Sylabus výzkumného projektu

A: Základní údaje o výzkumném projektu:

Název projektu: **Transportní procesy a výměna plynů při dýchání v lavinovém sněhu**

Typ studie:	X intervenční	X prospektivní
	☐ observační	☐ retrospektivní
Půjde o práci:	X s osobami	☐ s laboratorními zvířaty

(V závislosti na typu testovaných subjektů vyplňte buď část B, nebo část C tohoto sylabu)

Cíl projektu, testovaná hypotéza:

Cílem výzkumu je sledování změn ventilačně-respiračních parametrů zdravých dobrovolníků v simulované sněhové lavině (vzduchové kapse) a následné použití naměřených dat pro tvorbu matematicko-fyzikálního modelu chování organismu v lavině při narůstající hyperkapnii a pro zahájení animálních experimentů (nejsou předmětem této žádosti) s extrémními hodnotami krevních plynů, které nelze připustit u dobrovolníků.

Přínos projektu v technické, diagnostické, léčebné oblasti, pro lékařské poznání nebo individuální subjekt hodnocení:

Cílem celého projektu, jehož součástí je předkládaný výzkum na dobrovolnících, je poznat základní rizika spojená s výměnou plynů při dýchání v lavinovém sněhu za komplexního monitorování ventilačních a fyziologických parametrů a nalezení závislosti těchto parametrů na fyzikálních vlastnostech sněhu, velikosti sněhové kavity a dalších parametrech. Jedná se o jediný experiment prováděný v podmínkách detailního a komplexního monitorování a vztažený k fyzikálním vlastnostem sněhu.

B: Charakteristika souboru subjektů (osob) klinického hodnocení:

Počet: 50	Věková struktura: 18 – 45 let
Pohlaví: M i Ž	Způsob jejich náboru: dobrovolníci v rámci učitelů a studentů FBMI, FTVS v Praze, studenti z FTVS VO, vojáci z povolání (létající personál a instruktoři přesunů na sněhu a ledu), ostatní dobrovolníci.
Odměna za účast: 0	Jiné: ---
Doba trvání celého projektu (datum od-do): 1. 1. 2013 do 31. 12. 2015	Doba trvání pro jeden subjekt hodnocení: 3 – 15 minut (+ bezp. poučení a předtesty)

Popis nakládání se subjekty, popis intervence, odebírání vzorků apod.:

V přednášce (bezpečnostním poučení) budou probandi seznámeni s problematikou přežití pod lavinou a s významem prováděného měření. Bude vysvětlena situace při hypoxemii a hyperkapnii a také podrobný průběh testování. Pro zjištění senzitivity na hypoxemii a hyperkapnii provedeme tyto před-testy: 1) statickou apnoi, 2) spirometrii, 3) dýchání do uzavřeného prostoru.

Po absolvování tří před-testů bude každý proband dýchat do vzduchové kapsy o definovaném objemu, která bude pro opakovatelnost měření vytvořena pro každého zvlášť. V rámci experimentu nebude proband zasypán sněhem, bude tedy mít po celou dobu měření možnost

volného pohybu. Bude ležet na sněhu na nosítkách s karimatkou, obličejem dolů. V ústech bude mít náustek, který umožní dýchání do prostoru vzduchové kapsy pod ním. Kapsa bude svrchu překryta kovovou deskou a kryta igelitem a sněhem, aby nebyl možný únik a difuze plynů směrem nahoru. Zde bude docházet ke konvekci vzduchu ze sněhu do kapsy a difuzi CO_2 z kapsy do sněhu. Deskou budou procházet hadice končící v náustku probanda. Měření bude realizováno pomocí jednocestných ventilů tak, aby došlo k nádechu ze sněhové kapsy a výdechu opět zpátky do sněhové kapsy. Exspirované CO_2 začne postupně způsobovat nárůst CO_2 i v inspirovaném vzduchu a snižování obsahu O_2 v inspirované směsi. S rostoucím časem bude dýchání stále obtížnější. Předpokládaná doba měření bude 3 - 15 minut (závislost na objemu a ploše sněhové kapsy a poréznosti sněhu).

Liší se projekt od standardního postupu v denní praxi: X ANO ☐ NE
V případě, že ano, popište rozdíly:
Jedná se o uměle připravenou experimentální situaci detailně popsanou výše.

Možná rizika, nesnáze a obtíže pro subjekt hodnocení (včetně etických):

Pro subjekt hrozí rizika způsobená hladinou krevních plynů mimo běžný fyziologický rozsah. Pro minimalizaci těchto rizik a zamezení dosažení nebezpečných hodnot krevních plynů jsou zavedena opatření popsaná v následujícím odstavci.

Mezi vyřazující kritéria patří zejména jakákoliv respirační a kardiovaskulární onemocnění, a to jak chronická, tak akutní. Z experimentu jsou dále vyloučeny gravidní ženy.

Jak je zajištěna bezpečnost testovaného subjektu:

Projekt navazuje na pilotní měření se stejnými podmínkami sválené Etickou komisí FTVS UK v Praze a provedené Krkonoších, ve Špindlerově Mlýně, v termínu: 4. 3. - 9. 3. 2012.

Mezi před-testy bude patřit statické zadržení dechu, spirometrie a dýchání do uzavřeného prostoru s cílem vytipovat zvýšené senzitivity na hypoxemii a hyperkapnii.
Experiment bude realizován s pomocí pacientského monitoru DATEX Ohmeda, který průběžně monitoruje křivku EKG, srdeční frekvenci, krevní tlak, SpO_2 a veškeré dechové parametry ($EtCO_2$, $FiCO_2$, EtO_2, FiO_2, dechovou frekvenci, dechové objemy, minutovou ventilaci, odpor při výdechu). Dále bude monitorována transkutánní sondou hladina tkáňového CO_2 a bude použit ještě jeden nezávislý přístroj na monitorování saturace krve kyslíkem SpO_2. Bude snímána i orientační tělesná teplota probanda, nicméně vzhledem k době trvání se nepředpokládá podchlazení organismu.

S probandem bude probíhat neustálá komunikace (musí aktivně reagovat zvednutím ruky, nohy, řešit jednoduché matematické úkoly-ukázat počet prstů, atd.) pro kontrolu mozkové činnosti. Měření bude ukončeno v okamžiku, pokud: a) proband vzdá experiment, požádá o ukončení či jinak od studie odstoupí, b) nebude reagovat správným způsobem na testy c) některé z měřených parametrů dosáhnou kritických hodnot.

Jako kritické hodnoty byly stanoveny následující parametry:
Parciální tlak CO_2 ve vydechovaném plynu ($EtCO_2$) dosáhne 65 Torrů (8,66 kPa)
nebo
Saturace SpO_2 poklesne na hodnotu 80 %.

K bezpečnostním opatřením patří: trvalá přítomnost lékaře (zajištěná memorandem o spolupráci se Společností horské medicíny (SHM), která se zavázala mj. k zajištění odborného zdravotního personálu a dohledu při realizaci měření v terénu. Dále budou přítomni příslušníci Horské služby. K dispozici bude i vozidlo LRD 130 Z (sanita) vybavená pro první pomoc s vyškoleným zdravotníkem. Projekt byl diskutován se specialisty a zástupci Lékařské komise Českého horolezeckého svazu a Společnosti horské medicíny
Kdo ponese náklady na odškodnění v případě poškození subjektu hodnocení: FBMI ČVUT

C: Charakteristika souboru laboratorních zvířat:	
Druh laboratorních zvířat:	Počet:
Doba trvání celého projektu (datum od-do):	Doba trvání pro jeden subjekt hodnocení:
Jak bude zajištěna péče o zvířata v průběhu experimentu:	

D: Doplňující informace k výzkumnému projektu:

V Kladně dne 12. 6. 2012

podpis hlavního řešitele

UNIVERZITA KARLOVA
FAKULTA TĚLESNÉ VÝCHOVY A SPORTU
José Martího 31, 162 52 Praha 6 – Veleslavín
tel. (02) 2017 1111
http://www.ftvs.cuni.cz/

Žádost o vyjádření etické komise UK FTVS

k projektu výzkumné, doktorské, diplomové (bakalářské) práce, zahrnující lidské účastníky

Název: Ventilačně-respirační změny a difuze plynů v simulované sněhové lavině
Forma práce: doktorská
Autor/ hlavní řešitel/ Mgr. Karel Sýkora
Konzultant Ing. Ladislav Sieger, CSc.
Školitel doc. MUDr. Staša Bartůňková, CSc.

Popis projektu
Cílem výzkumu je sledování změn ventilačně-respiračních parametrů v simulované sněhové lavině (vzduchové kapse) a následné použití naměřených dat pro tvorbu matematicko-fyzikálního modelu chování organismu v lavině při narůstající hyperkapnii.
Probandi: studenti z FTVS VO, vojáci z povolání (létající personál a instruktoři přesunů na sněhu a ledu), ostatní dobrovolníci.
Místo: Krkonoše, Špindlerův Mlýn, termín: 14.1. – 18.1. a 4.3. - 8.3. 2013.
Zajištění bezpečnosti pro posouzení odborníky: Mezi pre-testy bude patřit EKG záznam, měření krevního tlaku a usilovného výdechu vitální kapacity pro posouzení normálních fyziologických hodnot. Experiment bude realizován s pomocí pacientského monitoru DATEX Ohmeda, který průběžně monitoruje křivku EKG, srdeční frekvenci, krevní tlak, SpO_2 a veškeré dechové parametry ($EtCO_2$, $FiCO_2$, EtO_2, FiO_2, dechovou frekvenci, dechové objemy, minutovou ventilaci, odpor při výdechu). Dále bude snímána i orientační tělesná teplota probanda, nicméně vzhledem k době trvání se nepředpokládá podchlazení organismu. S probandem bude probíhat neustálá komunikace (musí aktivně reagovat zvednutím ruky, nohy, řešit jednoduché matematické úkoly-ukázat počet prstů, atd.) pro kontrolu mozkové činnosti. Měření bude ukončeno v okamžiku, pokud: a) proband požádá o ukončení, b) nebude reagovat správným způsobem c) některé z měřených parametrů dosáhnou kritických hodnot.
K bezpečnostním opatřením patří: přítomnost lékaře a příslušníků Horské služby. K dispozici bude i vozidlo LRD 130 Z (sanita) vybavená pro první pomoc s vyškoleným zdravotníkem.
Projekt byl diskutován se specialisty a zástupci Lékařské komise Českého horolezeckého svazu a Společnosti horské medicíny.
Etické aspekty výzkumu: Účast ve studii je dobrovolná. Výsledky ani osobní data nebudou zneužity.
Informovaný souhlas (přiložen).

V Praze dne 3.1.2013 Podpis autora

Vyjádření etické komise UK FTVS

Složení komise: doc. MUDr. Staša Bartůňková, CSc.
Prof. Ing. Václav Bunc, CSc.
Prof. PhDr. Pavel Slepička, DrSc.
Doc. MUDr. Jan Heller, CSc.

Projekt práce byl schválen Etickou komisí UK FTVS pod jednacím číslem: 001/2013

dne: 3.1.2013

Etická komise UK FTVS zhodnotila předložený projekt a **neshledala žádné rozpory** s platnými zásadami, předpisy a mezinárodní směrnicemi pro provádění biomedicínského výzkumu, zahrnujícího lidské účastníky.

Řešitel projektu splnil podmínky nutné k získání souhlasu etické komise.

razítko školy

UNIVERZITA KARLOVA v Praze
Fakulta tělesné výchovy a sportu
José Martího 31, 162 52, Praha 6

podpis předsedy a členů EK

1

Informovaný souhlas

Vážená paní, Vážený pane,

nabízíme Vám účast ve výzkumné studii, prováděné v rámci výzkumného experimentu „Změny funkčních parametrů u jedinců v krizové situaci (Hyperkapnie a difuze plynů pod sněhovou lavinou).“

Cíl: Zjistit jak dlouho budete schopni dýchat do sněhové kapsy o různých objemech, pokud bude dýchání omezeno nárůstem $EtCO_2$. Měření má simulovat dobu přežití po zasypání lavinou. Vychází se z faktu, že ve sněhu je 20 – 80 % vzduchu. Limitujícím faktorem je nárůst koncentrace CO_2, který se hromadí při výdechu ve vzduchové kapse zasypaného. Protože sníh je porézní, je situace rozdílná od dýchání do uzavřeného objemu. Doba přežití je zde ovlivněna schopností CO_2 difundovat do okolního sněhu. Nárůst CO_2 v čase závisí na objemu a ploše sněhové kapsy a parametrech sněhu (difuzivitě).

Příprava: V přednášce budete seznámeni s problematikou přežití pod lavinou a s významem prováděného měření. Vysvětlíme Vám situaci při hypoxii a hyperkapnii a také podrobný průběh testování. Pro zjištění Vaší senzitivity na hypoxii a hyperkapnii provedeme tyto před-testy: 1) statickou apnoi, 2) spirometrická měření.

Průběh testování: Po absolvování těchto pre-testů bude každý z Vás dýchat do vzduchové kapsy, která bude z důvodu opakovatelnosti měření vytvořena pro každého zvlášť. Z důvodu zaslepenosti celé studie nebudete znát velikosti těchto vzduchových kapes. V rámci experimentu nebudete zasypán sněhem, budete tedy mít po celou dobu měření možnost volného pohybu. Budete ležet na improvizovaném lůžku položeném na sněhu, které Vás bude izolovat od podložky, obličejem dolů. Pro ulehčení polohy budete mít možnost položit hlavu o oporu. V ústech budete mít náustek, který Vám umožní dýchání do prostoru vzduchové kapsy před Vámi. Kapsa bude vytvořena ve sněhu a budou do ní ústit dýchací hadice od náustku probanda. V této kapse bude docházet ke konvekci vzduchu ze sněhu do kapsy a difuzi CO_2 z kapsy do sněhu. Měření bude realizováno pomocí jednocestných ventilů tak, aby došlo k nádechu ze sněhové kapsy a výdechu opět zpátky do sněhové kapsy. Expirované CO_2 začne postupně způsobovat nárůst CO_2 i v inspirovaném vzduchu. S rostoucím časem bude Vaše dýchání stále obtížnější. Předpokládaná doba měření bude 3 - 10 minut (závislost na objemu a ploše sněhové kapsy a poréznosti sněhu). Pro zajištění testu těsnosti bude Váš obličej ovíván oxidem dusným (N_2O), který v případě jakékoli netěsnosti bude okamžitě detekován na pacientském monitoru DATEX Ohmeda. Po ukončení dýchání Vám lékařem bude odebrán vzorek kapilární krve z prstu či ušního boltce, který bude sloužit k analýze laktátu v krvi.

Zajištění bezpečnosti: Projekt byl prodiskutován se specialisty a zástupci Lékařské komise ČHS a Společnosti horské medicíny. Bude snímána řada fyziologických veličin (křivka EKG, srdeční frekvence, krevní tlak, SpO_2, $EtCO_2$, $FiCO_2$, EtO_2, FiO_2, dechová frekvence, dechové objemy, minutová ventilace, odpor při výdechu a tělesná teplota), které budou informovat o Vašem aktuálním stavu. Dále s Vámi budeme v neustálém kontaktu, tzn. musíte aktivně reagovat zvednutím ruky, nohy či řešit jednoduché matematické úkoly (ukázat počet prstů) pro kontrolu Vaší mozkové činnosti. Měření bude ukončeno v okamžiku, kdy o to sami požádáte, pokud budete reagovat nesprávným způsobem, na základě rozhodnutí lékaře nebo v případě dosažení kritických hodnot z přístrojů, jež by při dalším pokračování překročily bezpečné limity organismu. K bezpečnostním opatřením patří přítomnost lékaře. K dispozici bude vozidlo LRD 130 Z (sanita) s vyškoleným zdravotníkem, vybavené pro první pomoc.

Z měření můžete kdykoliv na vlastní žádost odstoupit.

Řešitel: Mgr. Karel Sýkora, doktorand FTVS UK, katedra fyziologie a biochemie
Školitelka: doc. MUDr. Staša Bartůňková, CSc., FTVS UK, katedra fyziologie a biochemie
Odborný konzultant: Ing. Ladislav Sieger, CSc. ČVUT FEL, katedra fyziky
prof. Ing. Karel Roubík, Ph.D. ČVUT FBMI

Souhlasím s účastí.

Datum: jméno vyšetřované osoby

ClinicalTrials.gov
A service of the U.S. National Institutes of Health

Trial record **1 of 1** for: nct02521272
Previous Study | Return to List | Next Study

Hypercapnia and Gas Exchange Under the Avalanche Snow Model (HyperAvaSM) (HyperAvaSM)

This study has been completed.

Sponsor:
Czech Technical University in Prague

Collaborator:
Charles University, Czech Republic

Information provided by (Responsible Party):
Czech Technical University in Prague

ClinicalTrials.gov Identifier:
NCT02521272

First received: August 10, 2015
Last updated: August 11, 2015
Last verified: August 2015
History of Changes

Full Text View | Tabular View | No Study Results Posted | Disclaimer | How to Read a Study Record

Purpose

The aim of the study is to investigate respiratory parameters of a person in the simulated avalanche snow and consequent use of the measured data for development of a mathematical-physical model of breathing during increasing hypercapnia in the avalanche.

Condition	Intervention
Accident Caused by Snow Avalanche	Other: Breathing in the simulated avalanche snow. Device: air pocket

Study Type: Interventional
Study Design: Endpoint Classification: Efficacy Study
Intervention Model: Single Group Assignment
Masking: Double Blind (Subject, Investigator)
Primary Purpose: Basic Science

Official Title: Hypercapnia and Gas Exchange Under the Simulated Avalanche Snow

Resource links provided by NLM:

Drug Information available for: Cocaine hydrochloride

U.S. FDA Resources

Further study details as provided by Czech Technical University in Prague:

Primary Outcome Measures:

- The length of breathing [Time Frame: Continuously within 30 minute interval from the beginning of the breathing experiment] [Designated as safety issue: No]

  Time to termination of the breathing experiment due to the decision of the subject, or determined by high End-Tidal CO2 value or by the order by the clinician assessing the health status of the subjects.

Enrollment: 12
Study Start Date: March 2012
Study Completion Date: March 2012
Primary Completion Date: March 2012 (Final data collection date for primary outcome measure)

Arms	Assigned Interventions
Experimental: air pocket Breathing in the simulated avalanche snow.	Other: Breathing in the simulated avalanche snow. Breathing in the simulated avalanche snow with zero air pocket and one-liter air pocket. Device: air pocket Zero air pocket or one-liter air pocket in the snow.

Detailed Description:
The study is a part of a university research project aimed at studying physiological conditions and development of breathing parameters of a person breathing in the simulated avalanche snow. Presence of an air pocket and its size play an important role in survival of victims buried in the avalanche snow. Even small air pockets facilitate breathing, yet they do not provide a significant amount of fresh air for breathing. The investigators hypothesize that the size of the air pocket significantly affects the airflow resistance and work of breathing. The aim of the study is to investigate the effect of the air pocket volume on gas exchange and work of breathing in subjects breathing into the simulated avalanche snow and to test, whether it is possible to breathe with zero air pocket.

Eligibility

Ages Eligible for Study:	20 Years to 30 Years
Genders Eligible for Study:	Male
Accepts Healthy Volunteers:	Yes

Criteria

Inclusion Criteria:

- Participants were volunteers from the Czech Army forces, studying at the Military Department of the Faculty of Physical Education and Sport, Charles University in Prague. All subjects were healthy and fit, classified as ASA I, all without a smoking history. The volunteers were highly motivated to participate in the experiment. The entrance examination, completed before the start of the study, included these tests: electrocardiography, blood pressure, spirometry, and assessment of the health conditions and family anamnesis by a physician with a specialty in anesthesia and critical care.

Exclusion Criteria:

- The exclusion criteria were Tiffeneau Index less than 0.70 and any cardiovascular or respiratory condition.

Contacts and Locations

Choosing to participate in a study is an important personal decision. Talk with your doctor and family members or friends about deciding to join a study. To learn more about this study, you or your doctor may contact the study research staff using the Contacts provided below. For general information, see Learn About Clinical Studies.

Please refer to this study by its ClinicalTrials.gov identifier: NCT02521272

Locations

Czech Republic

Charles University, Czech Republic
Prague, Czech Republic, 162 00

Sponsors and Collaborators

Czech Technical University in Prague

Charles University, Czech Republic

Investigators

Study Director: Karel Roubik, prof., Ph.D. Czech Technical University in Prague

More Information

Publications:

Brugger H, Sumann G, Meister R, Adler-Kastner L, Mair P, Gunga HC, Schobersberger W, Falk M. Hypoxia and hypercapnia during respiration into an artificial air pocket in snow: implications for avalanche survival. Resuscitation. 2003 Jul;58(1):81-8.

Bellani G, Patroniti N, Weismann D, Galbiati L, Curto F, Foti G, Pesenti A. Measurement of pressure-time product during spontaneous assisted breathing by rapid interrupter technique. Anesthesiology. 2007 Mar;106(3):484-90.

Grissom CK, Radwin MI, Harmston CH, Hirshberg EL, Crowley TJ. Respiration during snow burial using an artificial air pocket. JAMA. 2000 May 3;283(17):2266-71.

Responsible Party:	Czech Technical University in Prague
ClinicalTrials.gov Identifier:	NCT02521272 History of Changes
Other Study ID Numbers:	VentRes-2015-01-KR
Study First Received:	August 10, 2015
Last Updated:	August 11, 2015
Health Authority:	Czech Republic: State Institute for Drug Control

Additional relevant MeSH terms:
Hypercapnia
Signs and Symptoms
Signs and Symptoms, Respiratory

ClinicalTrials.gov processed this record on March 08, 2016

Karta účastníka experimentů

Proband vystupuje ve studii pouze pod výše uvedeným identifikátorem. Při prezentaci výsledků nebude možné identifikovat jednotlivé probandy. Informace uvedené pod tímto sdělením jsou chápána jako důvěrná. Jsou však důležitá pro přepočty změřených fyziologických veličin na standardizované indexy, rozdělení do skupin a studium dalších možných vlivů na změřené parametry.

Příjmení:	Jméno:	Rodné číslo:	Věk:	Pohlaví (M/Ž):
Výška (cm):	Hmotnost (kg):	Kr. skupina:	Rh (+/-)	TK Syst/diast (mm Hg)
Instituce a pozice:				
Respirační komplikace, limitace:				
Kouří:	Kouřil:	Současnost a historie kouření, četnost, komplikace:		
Oběhové komplikace a další limitace důležité pro experiment:				

SPIROMETRICKÉ TESTY:

FEV1 3x test (L):	FVC 3x test (L):
FEV1 průměr (L):	FVC průměr (L):

MĚŘENÍ KREVNÍHO TLAKU:

TK Syst/Diast (mm Hg):

Provedl:	Poznámky:

RANDOMIZACE:

Klíče pfo fázi 1:	Klíče pfo fázi 2:

INFORMOVANÝ SOUHLAS:

Průvodní list účastníka experimentů

Bedřichov, Špindlerův Mlýn, **leden 2013**

Karta	SpiroTK	Ini.	Compl.	VDtest	VDopen	VDclose	Apn	Kavita

Dýchání do sněhu - iniciální fáze:

Datum:	Čas plán:	Čas přípr.	Čas zaháj.:	Čas konec:	PC soubor:	Klíč:
t. vzduchu	t. sněhu 1	t. sněhu 2	Poznámky:			

Datum:	Čas plán:	Čas přípr.	Čas zaháj.:	Čas konec:	PC soubor:	Klíč:
t. vzduchu	t. sněhu 1	t. sněhu 2	Poznámky:			

Dýchání do sněhu - komplementární fáze:

Datum:	Čas plán:	Čas přípr.	Čas zaháj.:	Čas konec:	PC soubor:	Klíč:
t. vzduchu	t. sněhu 1	t. sněhu 2	Poznámky:			

Datum:	Čas plán:	Čas přípr.	Čas zaháj.:	Čas konec:	PC soubor:	Klíč:
t. vzduchu	t. sněhu 1	t. sněhu 2	Poznámky:			

Prosíme, tento průvodní list vraťte před odjezdem zkoušejícím. Děkujeme moc!

Dýchání do mrtvého prostoru:

Datum:	Čas plán:	Čas exper.	Poznámky:

Datum:	Čas plán:	Čas exper.	Poznámky:

Datum:	Čas plán:	Čas exper.	Poznámky:

Přímé dýchání do sněhu:

Datum:	Čas plán:	Čas exper.	Poznámky:

Datum:	Čas plán:	Čas exper.	Poznámky:

Prosíme, tento průvodní list vraťte před odjezdem zkoušejícím. Děkujeme moc!

Protokol měření probanda při dýchání ve sněhu

ID:

Klíč:

Datum	*Čas začátku příprav*	*Orient. čas měření*	*Zkoušející*

Personální zajištění:

Funkce	*Popis zodpovědností*	*Jméno a příjmení*	*Aktivní*
Zkoušející	Řídí měření, zapisuje tento protokol	*viz výše*	☐
„Snowman“ 2x	Připravuje místo a vytváří dýchací dutinu, obsluhuje venkovní kameru, komunikuje s probandem při měření		☐ ☐
„Camper“	Ve stanu kontroluje životní funkce probanda a provádí záznam dat z monitoru a videokamery ve stanu		☐
Asistent	Napojuje sondy a elektrody na probanda (v chalupě), čistí a dezinfikuje části ventilačních okruhů, suší je; Pomáhá úpravci sněhu při činnostech		☐

☐ Informovat personál o zásadách:

- Dodržovat naprostý klid při experimentu i při iniciální fázi ustalování.
- Neinformovat probanda o změně jeho fyziologických parametrů (ani z legrace).
- Neinformovat probanda, za jakých podmínek dýchá do sněhu (zaslepení).
- Campera a ostatní informovat o limitech fyziologických parametrů, při jejichž překročení musí být experiment ukončen.

☐ Personální sestava je kompletní, informovaná o činnostech a funguje.

☐ V chalupě převzít od probanda „Kartu probanda“ (Asistent), provést kontrolu údajů a nahlásit z karty klíč platný pro příslušnou fázi experimentu Snowmanovi vysílačkou.

☐ Zeptat se probanda, jestli nepotřebuje na záchod.

☐ V chatě napojovat probanda na kabely a elektrody pro monitoraci.

☐ Zkontrolovat, zda funguje vyhřívání monitoru a přívodních hadic.

☐ Nastavit monitor podle zvláštního dokumentu SOP-Datex.

☐ Dát do monitoru novou past na vodu (Defender).

ID:	Klíč:

- ☐ Změřit odpor sněhu – do jedné díry připojit tlakoměr a ten vynulovat; do druhé díry přivést chladný vzduch o průtoku 20 L/min na velmi krátkou dobu a odečíst tlak. Pozor! Delší doba průtoku může zvětšit dutinu nebo ji jinak modifikovat.

  Tlak ..... Pa byl naměřen při 20 L/min
- ☐ Zavolat probanda z chalupy
- ☐ Připojit probanda k monitoru, nasadit oba dva SpO2 senzory na jednu ruku, která je odlišná od paže, na které je manžeta pro měření krevního tlaku!
- ☐ Zkontrolovat, že monitor měří všechna data.
- ☐ Zkontrolovat/zajistit, zda jsou senzory SpO2 v teple a chráněny.
- ☐ Instruovat probanda podle zvláštního dokumentu.
- ☐ Umístit probanda „na místo“ do „pracovní“ polohy, zajistit jeho polohový a tepelný komfort a klid.
- ☐ Na monitoru zvolit „**Auto ZAP/VYP**“ v poli **NIBP** (vpravo na straně) a bezprostředně po tom zmáčknout „**Start Zrušit**“. Monitor začne měřit tlak ale hned přestane. Dole v poli NIBP bude vidět, za jak dlouho začne tlak měřit. To koresponduje se zněnou minut v čase nahoře vpravo. Dojde-li ke změně minuty, monitor změří tlak.
- ☐ Připojit probanda na hadice/spirometrickou clonu. Zahájit fázi ustalování (baseline).

  Připojení proběhlo v ..... hodin.
- ☐ Zkontrolovat izolaci okruhu, porovnat N2O límec.
- ☐ Zkontrolovat, že monitor měří spirometrické údaje a údaje o kyslíku a CO2.
- ☐ Zkontrolovat, že monitor intermitentně měří krevní tlak.
- ☐ Zapnout záznam dat z monitoru. Správně pojmenovat ukládané soubory podle dokumentu SOP-Datex.
- ☐ Zkontrolovat, že monitor zapisuje data na disk (zvětšuje se velikost souboru).
- ☐ Zapnout videozáznam monitoru.
- ☐ Zapnout videozáznam prostředí.
- ☐ Do obou videozáznamů současně namluvit identifikátor probanda, datum, přesný čas a klíč. Od tohoto okamžiku se počítá doba na ustálení (typicky 5 minut).

ID:	Klíč:

☐ Jestliže fáze ustalování trvala již alespoň 5 minut, je nutné zkontrolovat klid probanda a stabilitu jeho fyziologických parametrů (MV, TK, HR). Pokračovat dále teprve potom, co jsou hodnoty stabilní.

☐ Připojit dýchací okruh k desce a hlasitě okamžik připojení oznámit do videokamer.

Připojení proběhlo v ..... hodin.

☐ Zapnout přítok N2O.

☐ Snowman sleduje probanda a dává mu jednoduché početní úkony ke kontrole stavu vědomí.

☐ Trvale kontrolovat, že

- videokamery zaznamenávají obraz
- Snowman testuje vědomí probanda pomocí jednoduchých početních úloh
- na monitoru se neobjevuje nenulová koncentrace N2O
- monitor intermitentně měří NIBP

Během měření nastaly tyto události:

Čas	*Událost – popis*	*P*	*V*

☐ Na pokyn Campera, Snowmana nebo na žádost probanda bude ukončeno měření ve sněhu odpojením okruhu od desky a ohlášením tohoto okamžiku na kamery. Zůstanou však měřeny všechny parametry dalších 5 minut.

Odpojení kruhu od desky proběhlo v ..... hodin.

☐ Přerušit dodávku N2O.

ID:	Klíč:

☐ Uplynulo-li již alespoň 5 minut měření od odpojení desky od okruhu: odpojit probanda od okruhu.

Odpojení probanda od okruhu proběhlo v ..... hodin.

☐ Po skončení měření probanda zmáčknout na monitoru „**Auto ZAP/VYP**“ v poli **NIBP**. Tím se deaktivuje opakované měření tlaku po 1 min.

☐ Přeměřit odpor sněhu.

Tlak ..... Pa byl naměřen při 20 L/min

☐ Nahrát rozhovor s probandem dle zvláštního dokumentu na diktafon.

☐ Zahájí se odstrojování probanda a dekontaminace a sušení dýchacího okruhu. Odeslat k údržbě i past na vodu (Defender).

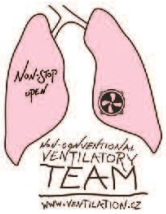
☐ Ukončit záznam dat do notebooku podle SOP-Datex.

☐ Vypnout videokamery.

☐ Provést zálohu dat z monitoru na SD kartu (v nejhorším na USB flashdisk) podle dokumentu SOP-Datex. Tuto SD kartu nebo USB disk odeslat k zálohování do chalupy.

☐ Zkontrolovat, že byla data z SD karty (USB flashdisku) v chalupě skutečně zálohována na notebook.

Datum aktualizace	*Název souboru*	*Vytvořil(i)*
22. 12. 2012	Protokol sníh-03.doc	Roubík, Sýkora Sieger, Mašek



Nastavení monitoru Datex S/5 a softwaru pro záznam dat do PC

SOP-Datex

Ventilační experimenty ve sněhu leden 2012

Aby byla správně a zaručeně zaznamenána všechna data z experimentu nutná pro jeho následné vyhodnocení a aby nedošlo ke ztrátě těchto dat, jsou data zaznamenávána dvojím způsobem:

- Záznamem obrazovky monitoru spolu se zvukovým záznamem událostí na videokameru; k tomu je nutné mít správně nakonfigurovanou obrazovku monitoru Datex S/5a.
- Kontinuálním záznamem dat z monitoru do notebooku; k tomu je nutné mít správně nastavený SW S5 Collect a jasný systém adresářů a značení souborů, aby nedošlo k jejich přepsání nebo ztrátě informací jejich záměnou.

SOP-Datex-A
Nastavení monitoru Datex S/5 před měřením

<u>Upozornění:</u> Monitor si při vypnutí předchozí nastavení nepamatuje! Proto je vhodné ho při měření zbytečně nevypínat a je nutné kontrolovat, zda je nastaven správně!

Zmáčknout <**Nastavení monitoru**>
zvolit „Screen 1 Setup“
zvolit „Waveform Fields“ a nastavit je takto:
Field 1: ECG1
Field 2: Pleth
Field 3: CO2
Field 4: O2
Field 5: OFF
Field 6: OFF

zvolit „Digit Fields“ a nastavit je takto:
Lower Field 1: NIBP
ostatní tři: OFF

zvolit „Split Screen“ a nastavit jako Spiro2

Zmáčknout <**Dechový plyn**>
zvolit „CO2 Setup“
nastavit Scale 15 %
zvolit „CO2 Alarms“

zvolit „Adjust Limits“ a nastavit je takto:

CO2ET horní na _____ (8)

CO2ET dolní na _____ (3)

CO2FI horní na _____ (3)

CO2FI dolní na _____ (-)

zvolit „O2 Setup“
nastavit Scale na DIF30
zvolit „O2 Alarms“
zvolit „Adjust Limits“ a nastavit je takto:

O2FI High na _____ (-)

O2FI Low na _____ (lze nastavit min. 18)

Zmáčknout <**NIBP**>
nastavit Cycle Time na 1 min

■

SOP-Datex-B
Nastavení softwaru pro záznam dat do PC

Připojení monitoru k notebooku:

Propojit monitor Datex S/5 k notebooku prostřednictvím sériového kabelu a RS232/USB převodníku, který je nutné zasunout **do pravé USB zdířky** (vpravo od klávesnice!).

Myš je možné připojit vlevo od klávesnice nebo vzadu; doporučujeme ji připojit vzadu, protože levá USB zásuvka je vhodná na USB flash disk používaný pro pravidelné zálohování naměřených dat.

Struktura názvů souborů:

V průběhu měření budou pojmenovávány soubory a ukládány do adresářů tak, aby nemohlo dojít k jejich přepsání, záměně nebo poškození. Název souboru bude poskládán následovně:

1. část: slovo „trends“, „waves“ nebo „alarms“
2. část: spojovník „-“

Pozn.: Pro soubory typu „.drc" se neuvádí část 1 a 2, název začíná až následujícím bodem č. 3.

3. část: identifikátor probanda (písmeno a dvě číslice)
4. část: spojovník „-"
5. část: klíč experimentu (čtyři písmena)

Nikdy by nemělo dojít k přepsání existujícího souboru. Nabízí-li program přepsání, nikdy to nedovolte a zvolte jiný název! Je-li nutné pokračovat v záznamu například po havárii nebo neočekávaném přerušení, použije se stejná struktura názvu, ale doplněná o následující dvě položky:

6. část: spojovník „-"
7. část: vysvětlující text, například „druhá část", „opakovaný pokus" apod.

Nepovolujte NIKDY přepsání existujícího souboru!

Nastavení softwaru:

Spustit monitor Datex S5.

Na ploše notebooku spustit program „S5 Collect".

Neměnit nastavení (Serial Port; COM4) a zmáčknout tlačítko „On-line"

Pozor, následující nastavení jsou zásadní:

Stisknout záložku **Waves**:

Dole zkontrolovat (případně nastavit) parametry Period: 5 sec a Freq: 300 Hz.

Zkontrolovat, zda jsou modře označeny, nebo pomocí podržení klávesy „SHIFT" myší označit následující signály, které budou ukládány: ECG2, Pleth, CO2, O2, N2O, AA, Paw, Flow a Vol

(Vpravo od grafů je možné změnit na obrazovce zobrazované parametry, ale my budeme mít při měřené aktivovanou obrazovku Trends a ne Waves.)

Stisknout záložku **Trends**:

Dole zkontrolovat (případně nastavit) parametry Scale: 1 min a Interval: 1 sec.

Zkontrolovat, jestli jsou **vybrány všechny parametry**, tj. jsou **na černém pozadí od „HR" až po „Free 5"**. Ke kontrole použít rolovací lištu vpravo od seznamu parametrů.

Jestliže vybrány nejsou, je nutné je vybrat takto:

Kliknout levým tlačítkem myši na „ST1" (druhá položka)

Stisknout „SHIFT" na klávesnici a nepustit!

Kliknout levým tlačítkem myši na „HR" (první položka) a držet levé tlačítko myši. Přejet myší dolů (stále drže její levé tlačítko) až kousek pod rámeček s parametry a

tam s ukazatelem myši pohybovat tak dlouho, až se parametry odrolují úplně na konec jejich seznamu a označí se černě i poslední parametr „Free 5“.

Pustit tlačítko myši a potom pustit klávesy „Shift“.

Vpravo od grafů zvolit následující čtyři parametry: HR, NIBPsyst, MVspont, FiN2O.

Stisknout tlačítko s červeným puntíkem nad nápisem DRC. Objeví se okno „Select DRC File or Create new“. Stisknout velké tlačítko „Plocha“ a dvakrát kliknout na adresář „= Sníh leden 2013 =“. Vložit název souboru: číslo probanda, „- “, klíč experimentu podle výše uvedené struktury názvu souboru (příklad: B09-KSDR).

Po stisknutí „Uložit“ začíná SW ukládat data do vnitřního souboru .drc, což se projevuje zvětšováním čísla (např. 20 kB) pod nápisem „DRC“ na obrazovce. Nejedná se ale o náš požadovaný výstupní soubor! Tento krok je však nutný proto, aby se zpřístupnilo tlačítko s tmavě červeným puntíkem označené „ASCII“.

Stisknout tlačítko s tmavě červeným puntíkem označené „ASCII“.

Objeví se okno „Select Trend File or Create new“. Stisknout velké tlačítko „Plocha“ a dvakrát kliknout na adresář „= Sníh leden 2013 =“. V políčku s názvem souboru je předvyplněno slovo „trends“, které je nutné ponechat! Za slovo „trends“ je nutné doplnit „-“, číslo probanda, „- “, klíč experimentu podle výše uvedené struktury názvu souboru (příklad: trends-B09-KSDR). Stisknout „Uložit“.

Objeví se okno „Select Wave File or Create new“. Stisknout velké tlačítko „Plocha“ a dvakrát kliknout na adresář „= Sníh leden 2013 =“. V políčku s názvem souboru je předvyplněno „waves“, které je nutné ponechat! Za slovo „waves“ je nutné doplnit „-“, číslo probanda, „- “, klíč experimentu podle výše uvedené struktury názvu souboru (příklad: waves-B09-KSDR). Stisknout „Uložit“.

Objeví se okno „Select Alarm File or Create new“. Stisknout velké tlačítko „Plocha“ a dvakrát kliknout na adresář „= Sníh leden 2013 =“. V políčku s názvem souboru je předvyplněno „alarms“, které je nutné ponechat! Za slovo „alarms“ je nutné doplnit „-“, číslo probanda, „- “, klíč experimentu podle výše uvedené struktury názvu souboru (příklad: alarms-B09-KSDR). Stisknout „Uložit“.

Pod tlačítkem „ASCII“ se zvětšuje velikost uloženého souboru dat.

Teprve od této chvíle jsou zaznamenávány všechny potřebné údaje.

Po ukončení měření, ale až na pokyn zkoušejícího, ukončit záznam stiskem tlačítka s černým čtverečkem označené „Stop“. Přestanou se zvětšovat velikosti souborů pod tlačítky „DRC“ a „ASCII“

Připojit SD disk nebo USB Flash disk. Otevřít složku „= Sníh leden 2013 =“ na ploše. Provést zálohu všech čtyř vzniklých souborů na připojené médium. Odpojit korektně médium/externí disk a odeslat médium ke kontrole a zálohování do chalupy.

V adresáři „= Sníh leden 2013 =“ vytvořit podadresář odpovídající identifikátoru probanda a klíči experimentu (např. B09-KSDR)

Přesunout všechny čtyři soubory do tohoto nově vytvořeného adresáře.

Prosíme, v případě jakékoliv pochybnosti, nejistotě nebo nejasnosti s manipulací se soubory zavolat co nejdříve zkoušejícího a problém konzultovat.

Datum aktualizace	*Název souboru*	*Vytvořil(i)*
25. 12. 2012	SOP-Datex-02.doc	Roubík, Suchomel