

Oponentský posudek disertační práce – výtah

PhDr. Michal Mašek: Hyperkapnie a difuze plynů v lavině

ABSTRAKT

Téma a význam disertace

Výzkumná práce si dala za cíl přispět k vysvětlení mechanismů, které umožňují přežití osob po zasypání lavinou. Nebezpečí lavin jako příčiny a mechanismu ohrožení života a zdraví patří k nejobtížněji ovlivnitelnému rizikovému faktoru zimních hor. Při současném životním způsobu společnosti můžeme předpokládat, že se zájem o zimní sporty ani návštěvnost hor nesníží, a tudíž problematika prevence úrazů a úmrtí bude stále aktuální.

Teoretická úroveň

Od základu jsou přehledně vysvětlena teoretická východiska respirační fyziologie zasypání lavinou resp. fyziologie vzduchové kapsy (lze uvést v různém pořadí): závažnost a důsledky lavinového nebezpečí a pádu laviny, statistiky příčin úmrtnosti, vznik a klasifikace lavin, možnosti předvídání pádu laviny, osud a chování lavinou stržené osoby, možnosti lokalizace a záchrany po zasypání, používání záchranných prostředků. Tyto mají charakter pomůcek jednak bránících úplnému zasypání (Avalanche Air Bag Systém (ABS), K2 Avalanche Ball), jednak prodlužujících možný pobyt pod sněhem, o jehož délce rozhoduje dýchání (AvaLung). Pomůcky první se snaží vzdorovat obrovským přírodním silám, ty druhé skýtají neméně elegantní a sofistikované řešení. Udušení ve sněhu, který může být z poloviny a více tvořen vzduchem, je totiž hlavní a nejčastější příčinou smrti.

Vzduch ve sněhu je k dýchání nevyužitelný, avšak složení sněhu umožňuje difuzi plynů. Příčinou udušení není však primárně nedostatek kyslíku, nýbrž hromadění oxidu uhličitýho (CO₂) a hyperkapnie s následným bezvědomím a zástavou dýchání, jak si vysvětlujeme. Tento mechanismus asfyxie je označován jako asfyxie z vytěsnění (*displacement asphyxia*¹) – nasycení okolí CO₂ snižuje dostupnost kyslíku, v souladu s rovnicí pro alveolární plyny je kyslík vytěsněn oxidem uhličitým. Ukázalo se navíc, že hyperkapnie urychluje pokles tělesné teploty při zasypání sněhem (Grissom et al., 2004).

Ne zcela zodpovězenými otázkami zůstávají dynamika fyziologických parametrů ventilace a výměny dýchacích plynů a doba, po kterou lze v lavině dýchat, tedy doba přežití do nálezu zasypané osoby a vyproštění.

Orientace autora v literárních pramenech

Relevantní literaturu k danému tématu a problému lze stěží počítat na desítky pramenů. Odhlédneme-li pravděpodobně od prvních experimentů výzkumníků v Innsbrucku před rokem 1990 (Haisjackl et al. 1991², Mair et al. 1991³, autor necituje) a nevydařených pokusu na prasatech (Paal et al., 2013⁴), jsou známy jen uvedené, vlastně jen dva projekty sledování respirace do sněhové kapsy: Grissom et al. 2000

¹ BAUM G.L. and E. WOLINSKY. *Textbook of Pulmonary Diseases*. Vol 1. 5th ed. New York, NY: Little, Brown & Co; 1993. P. 901–906. Citováno v Radwin et al. 2001 v seznamu disertace.

² HAIJACKL M., M. OBERWALDER, K. KELLER., G. POSCH und V. STÖLLNERBERGER. Hypoxie und Hyperkapnie im geschlossenen Raum. *Proceedings 11th International Medical Congress on Mountain Rescue*. Innsbruck (Austria); 1991: 43–7.

³ MAIR P., W. HASIBEDER, R. KORNBERGER, V. STÖLLNERBERGER und G. FLORA. Untersuchungen über die Gefährdung von Bergrettungsmännern bei Eingrabung in Schneehöhlen. *Proceedings 11th International Medical Congress on Mountain Rescue*. Innsbruck (Austria); 1991: p. 47–55.

⁴ PAAL Peter, Daniel Carl SCHROEDER; Giacomo STRAPAZZON, Günther SUMANN, Volker WENZEL, Andreas WERNER, Patrick BRAUN, Peter Paul ELLMAUER, Markus FALK and Hermann BRUGGER. Factors affecting survival from avalanche burial – a randomised prospective porcine pilot study. *Resuscitation*, 2013, 84(2): 239-243. Abstrakt. [on line] Dostupné na [http://www.resuscitationjournal.com/article/S0300-9572\(12\)00322-X/abstract](http://www.resuscitationjournal.com/article/S0300-9572(12)00322-X/abstract). doi:10.1016/j.resuscitation.2012.06.019. [vid. 13. 1. 2014]

resp. Radwin et al. 2001 (n=8, kapsa 500 cm³) a Summan et al. 2002⁵ resp. Brugger 2003 (citace č. 7 v seznamu disertací, n=12, kapsa 1 a 2 litry). Z bezpečnostních a etických důvodů jsou možnosti výzkumu na zasypaných osobách a při expozici nízkým teplotám omezené.

Citace „ad 42) Radwin, M. et al. Aufrechterhaltung der Oxygenierung und Ventilation während einer experimentellen Schneeingrabung durch Ableitung des ausgeatmeten Kohlendioxids. Wilderness Environ Med. 2000“ odpovídá s citací Radwin 2001 pod číslem 44.

V roce 2011 byla na www.cmaj.ca publikována analýza srovnávající rozdílné přežití zasypání lavinou mezi kanadskými a švýcarskými statistikami (Haegeli et. al., 2011⁶). Aniž by se lišily celkovou úmrtností, měla kanadská křivka naděje na přežití v prvních 35 minutách strmější průběh, k většině nehod došlo pod hranicí lesa a smrt byla způsobena ve více než polovině případů úrazem. V Alpách byla většina nehod nad hranicí lesa. Klima Severní Ameriky rozeznává *západní (přímořský) charakter* (mokřejší a těžší sníh) s nejhorší prognózou přežití zasypání lavinou, *kontinentální klima a přechodný charakter klimatu*.

Metodologická úroveň (vědecké otázky, hypotézy, standardizace výzkumných metod a technik)

Na základě prostudované literatury a svých předchozích prací formuluje autor dvě hypotézy:

1. Hypotéza 1 – Dýchání ze vzduchové kapsy ve sněhu, na rozdíl od dýchání z uzavřeného objemu, poskytuje kontinuální přísun O₂ a odvod CO₂.
2. Hypotéza 2 – Zásadní význam pro výměnu plynů při ventilaci pod sněhovou lavinou má velikost vzduchové kapsy.

Autor vypracoval podrobnou originální metodiku záměrně zvýhodňující velikost uzavřeného objemu 8 litrů oproti vzduchové kapse 400 ml. Známa zdravotní rizika⁷ specifických podmínek této speciální experimentální respirační fyziologie respektuje již při výběru pokusných osob, jejichž fyziologické charakteristiky (FVC, doba apnoe v inspiriu a expiriu) se však neliší od normální populace. Průběh experimentu zajišťuje přítomností lékaře a zdravotníků s technickým vybavením a průběžným sledováním fyziologických parametrů a reakcí.

Na rozdíl od jiných studií zvolil odlišnou polohu probandů – vleže obličejem dolů. Vyšetřované osoby subjektivně neshledávaly tuto polohu omezující. Možnou otázkou zůstává ovlivnění výsledků.

Výsledky disertace a jejich přínos k rozvoji oboru

Experiment potvrzuje, že dýchání ze vzduchové kapsy ve sněhu, na rozdíl od dýchání z uzavřeného objemu, poskytuje kontinuální přísun O₂ a odvod CO₂. Potvrzují to kasuistiky⁸ přežití úplného zasypání často i po dvou hodinách zasypání s malou vzduchovou kapsou, dokonce až 44 hodin. S prodlužující se dobou zasypání stoupá význam tepelných ztrát s rozvojem podchlazení.

Hodnocení významu velikosti vzduchové kapsy pro výměnu plynů při ventilaci pod sněhovou lavinou není jednoznačné. Brugger et al. (2003) uvádějí, že pokles saturace (SpO₂) byl při dýchání do vzduchové

⁵ SUMANN Günther, Hermann BRUGGER, Roland MEISTER, Hanns-Christian GUNGA, Eberhard KORALEWSKI, Peter MAIR, Markus FALK and Wolfgang SCHOBERSBERGER. Hypoxia and hypercapnia during respiration in artificial air pockets in snow... In: *Health & Height. Proceedings of the Vth World Congress on Mountain Medicine and High Altitude Physiology*. Barcelona 2002. S. 313-316.

⁶ HAEGELI Pascal, Marcus FALK, Hermann BRUGGER, Hans-Jürg ETTER and Jeff BOYS. Comparison of avalanche survival patterns in Canada and Switzerland. *CMAJ* April 19, 2011 vol. 183 no. 7 First published March 21, 2011. Dostupné z <http://www.cmaj.ca/content/183/7/789.full> doi: 10.1503/cmaj.101435. [on line] [vid. 23. 1. 2014].

⁷ HAJISACKL M., M. OBERWALDER, K. KELLER., G. POSCH und V. STÖLLNBERGER. Hypoxie und Hyperkapnie im geschlossenen Raum. *Proceedings 11th International Medical Congress on Mountain Rescue*. Innsbruck (Austria); 1991: 43–47. MAIR P., W. HASIBEDER, R. KORNBERGER, V. STÖLLNBERGER und G. FLORA. Untersuchungen über die Gefährdung von Bergrettungsmännern bei Eingrabung in Schneehöhlen. *Proceedings 11th International Medical Congress on Mountain Rescue*. Innsbruck (Austria); 1991: p. 47–55

⁸ WINTERBERICHT. Davos (Switzerland): *Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung* 1971–1972;36:129–31. Citováno v Brugger 2001.

kapsy o objemu jednoho litru větší než u kapsy o objemu dvou litrů, naopak jsou v praxi nezdědka případy přežití v lavině bez nálezů vzduchové kapsy za předpokladu průchodných dýchacích cest.

Pro časté obtíže při prokazování přítomnosti vzduchové kapsy při vyprošťování obětí lavin byl tento krok z algoritmu Mezinárodní komise pro záchranu v horách (IKAR) o pomoci při záchraně zcela vypuštěn (Brugger 2011⁹).

Autor prokazuje, že malá vzduchová kapsa klade zvýšené nároky na dechovou práci zasypané osoby (grafy č. 10, 11 a 12) a limitujícím faktorem přísunu kyslíku je zřejmě vyčerpání s následnou hypoxií a narůstající hyperkapnií.

Realizovaná výzkumná práce má význam pro další studium problematiky přežití v lavině. Teprve navazující experimenty a další práce budou schopny obsáhnout další podrobnější informace a možnosti, jak uvádí autor, detailně vysvětlit změny ventilačně-respiračních parametrů, fyziologických procesů a kompenzačních mechanismů organismu zasypaného v nejen simulované sněhové lavině v závislosti na čase a proměnlivosti sněhových podmínek. Následně pak i k formulaci preventivních opatření....

23. 1. 2014

MUDr. Ivan Rotman
Společnost horské medicíny, prezident

⁹ BRUGGER Hermann. Totbergung aus Lawine – Ein Fallbericht zum Nachdenken. 22. *Internationale Bergrettungsärzte-Tagung, Innsbruck 5. 11. 2011*. Dále též BRUGGER Hermann, Peter PAAL and Jeff BOYD. Prehospital Resuscitation of the Buried Avalanche Victim. *High Altitude Medicine & Biology*, 2011, 12(3): 199-205 DOI: 10.1089/ham.2011.1025 [on line] [vid. 23. 1. 2014]. BRUGGER Hermann, Fidel ELSENSOHN, Peter PAAL, Giacomo STRAPAZZON, Eveline WINTERBERGER, Ken ZAFREN and Jeff BOYD. Resuscitation of avalanche victims: Evidence-based guidelines of the international commission for mountain emergency medicine (ICAR MEDCOM): intended for physicians and other advanced life support personnel. *Resuscitation* 2013; 84(5): 539-546.