

# MEDICINA SPORTIVA

BOHEMICA & SLOVACA

Vol. 27 No. 4

2018



## Obsah

### *Souborné referáty*

- Martinek, L., Hrazdira, L., Krupa, P., Řezaninová, J., Tomáš, T.:  
Gonartróza a chondropatie – současné možnosti diagnostiky a terapie . . . . . 143

### *Krátká sdělení*

- Procházka, M., Illinger, V., Pokorný, J., Simonianová, L., Slabý, K., Radvanský, J.:  
Srovnání „tradičních“ maximálních zátěžových protokolů při bicyklové ergometrii – pilotní studie . . . . 158

### *Review articles*

- Martinek, L., Hrazdira, L., Krupa, P., Řezaninová, J., Tomáš, T.:  
Knee joint osteoarthritis and chondropathy – recent diagnostics and treatment possibilities . . . . . 143

### *Short communications*

- Procházka, M., Illinger, V., Pokorný, J., Simonianová, L., Slabý, K., Radvanský, J.:  
Comparison of “traditional” maximal exercise testing protocols during bicycle ergometry – pilot study . . 158

# Před 40 léty byl dosažen vrchol Mt. Everestu „bez kyslíku“

Jaroslav Novák<sup>1</sup>, Ivan Rotman<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ústav tělovýchovného lékařství Lékařské fakulty UK v Plzni

<sup>2</sup> Společnost horské medicíny ČR

## □ Souhrn

Když Reinhold Messner a Peter Habeler vystoupili na vrchol Mount Everestu (8 848 m) dne 8. května 1978 poprvé bez použití pomocných lahví s kyslíkem, jednalo se o unikátní důkaz schopností lidského organismu překonat krajně nepříznivé klimatické podmínky nejvyššího místa naší planety. Předpokladem pro takový výkon je z fyziologického hlediska jednak nadprůměrná kardiorespirační kapacita, jednak úroveň hypoxické ventilační reakce (HVR). Výšky nad 7 500 m se však nadále pokládají za tzv. zónu smrti, kde pobyt a pohyb bez doplňkového dýchání kyslíku je vždy časově limitován řádově na hodiny. I po čtyřiceti letech od prvního výstupu zůstávají výstupy na vrcholy vyšší než 8 000 m bez kyslíku vyhrazeny jen mimořádně zdatným a zkušným horolezcům. Messner a Habeler přesvědčili vědeckou veřejnost, že člověk může bez doplňkového kyslíku krátkodobě přežít i výšky nad 8 500 m a 8. květen 1978 zůstane dnem historického výkonu, který navždy poznamenal charakter horolezectví.

## □ Summary

Novák, J., Rotman, I.: **Forty years ago summit of Mt. Everest was reached “without oxygen”.**

On 8 May 1978 Reinhold Messner and Peter Habeler became the first to climb Mount Everest (8 848 m) without supplemental oxygen. They demonstrated unique evidence of human abilities to overcome extremely unfavourable climatic conditions of the highest point of our planet. Presumption for this barrier-breaking undertaking from the physiological point of view was on one hand above standard cardiorespiratory capacity on the other hand high level of hypoxic ventilatory response. However, the altitudes above 7 500 m are still considered so called death (or lethal) zones, where sojourn or movement without supplemental oxygen is always time-limited to hours only. Even after forty years since the first successful climb the peaks above 8000 m without oxygen remain reserved to only exceptionally fit and experienced climbers. Messner and Habeler certainly disproved the scientific belief that it was impossible for humans to survive without oxygen in altitudes above 8 500 meters. 8 May 1978 will remain as a historic landmark climb that forever shaped the face of mountaineering.

## Úvod

Statistické údaje archivní instituce Himalayan Database uvádějí, že na nejvyšší vrchol světa Mt. Everest (8 848 m) od prvního pokusu v roce 1921 až do června 2017 vystoupilo 4 833 členů expedic, a pokud se počítají i opakované výstupy, a hlavně výstupy výškových Šerpů, dosáhne číslo na 8 306 úspěšných výstupů. Za uvedené období však bylo zaznamenáno celkem 288 úmrtí. Přestože většina výstupů se podniká po jihovýchodním (nepálském) hřebenu, je procentuální „úmrtnost“ na obou hlavních trasách výstupů prakticky stejná, na nepálské 3,4 %, na severovýchodní (čínské) 3,3 %.

K prvnímu úspěšnému výstupu na vrchol naší planety zásluhou Novozélandčana Edmunda Hillaryho a nepálského Šerpy Tenzinga Norgaye došlo již před 65 léty (29. 5. 1953), celé další

čtvrtstoletí trvalo, než se zdařil první výstup „bez kyslíku“. Připomeňme, že v závěrečné fázi svého prioritního výstupu činila hmotnost kyslíkových lahví každého lezce plných 14 kg. S touto zátěží vyráželi od posledního bivaku ve výšce kolem 8 530 m k vrcholu. Při návratu, když zá-  
soba kyslíku stačila jen na cca 1 hodinu, se hmotnost ztenčila na pouhý kilogram (9).

Je otázkou, proč to trvalo tak dlouho, když jednak cesty k vrcholu byly postupně stále podrobněji mapovány a když i technické vybavení horolezců doznávalo rok od roku další vylepšení. Těmi prvními úspěšnými průkopníky, kteří se nezalekli názoru mnohých svých kolegů i zkušených lékařských odborníků, že si jdou pro smrt či přinejmenším pro těžké zdravotní následky, se stali Ital Reinhold Messner a Němec Peter Habeler. Dne 8. května 1978 krátce po 13. hodině dokázali, že i na nejvyšší horu světa lze vystoupit bez použití umělého kyslíku.

## **Kdo je Reinhold Messner**

Narodil se 17. září 1944 v tyrolském městečku Bressanone (u nás známý Brixen). Měl devět sourozenců, otec Josef byl učitelem. Od mládí byl veden k lásce k přírodě a horám. Již ve 13 letech zdolával okolní horské vrcholy Dolomitů, nejčastěji s mladším bratrem Güntherem. Studoval na univerzitě v italské Padově, nějaký čas učil matematiku. Jeho osudem však se staly hory. Od počátku zastával styl lezení tzv. alpským stylem, při němž nevyužíval externí podpory (tj. s minimem doprovodných nosičů či zcela bez nich, s minimálním vybavením, později bez kyslíku).

V roce 1970 při výstupu na himálajskou osmitisícovku Nanga Parbat (8 125 m), po úspěšném zdolání vrcholu, postihla jeho bratra při sestupu horská nemoc. Vyčerpaný Reinhold se vydal pro pomoc, mezitím však spadla lavina, která bratra v nepřístupném terénu zasypala. Z obvinění, že na jeho smrti má podíl, se obhájil až poté, co v roce 2005 byly nalezeny Güntherovy ostatky.

V letech 1970 až 1986 zdolal jako první všech 14 osmitisícovek. Některé, jako např. Mount Everest, opakovaně, navíc bez kyslíkového přístroje. V roce 1986 vystoupil i na Mount Vinson v Antarktidě, čímž jako čtvrtý zdolal Seven Summits, sedm nejvyšších vrcholů šesti kontinentů (za Ameriku je na seznamu Mount McKinley v Severní a Aconcagua v Jižní Americe). V 90. letech se věnoval expedicím. Přešel Antarktidu přes jižní pól (2 800 km), Grónsko (2 200 km), podnikl expedici do pohoří Altaj, přešel pouště Gobi v Mongolsku, Atacama v Jižní Americe a Thárskou poušť v Indii. Neúspěšně se pokusil přejít ze Sibíře na Aljašku.

Za obět' Reinholdově vášni padlo jeho první manželství s kanadskou fotografkou Nenou Holguinovou. Z něj má slavný horolezec dceru Leilu (1981). Extrémní podmínky zanechaly stopy na Reinholdově těle, i kvůli omrzlinám ztratil sedm prstů na nohou a několik článků na ruce.

Od roku 2003 pracuje na projektu Muzeum hor. Reinhold Messner je autorem cca šedesáti knih přeložených do mnoha jazyků, včetně češtiny. V roce 2009 se znovu oženil – se svou dlouholetou přítelkyní Sabinou Evou Stehleovou, s níž má 3 děti. V současnosti žije střídavě v německém Mnichově a v italském Meranu, v létě pak často pobývá na svém hradě Juval, který je sídlem i jednoho z jeho horských muzeí (7).

## **Kdo je Peter Habeler**

Peter Habeler se narodil 22. července 1942 v Mayrhofenu v rakouském Zillertalu. V dětství s kamarády vylezl na mnoho okolních zillertalských vrcholů, rozhodující pro jeho horolezecké nadšení však se stala jeho první třítisícovka. Pyramidu připomínající hora Olperer (3 467 m), tyčící se nad zillertalským údolím, byla tím zážitkem, který v něm rozdmýchal vášně pro horolezectví. Pak už následovaly stále obtížnější výkony, mj. např. v roce 1969 prvovýstup východní stěnou Yerupajá Grande (6 634 m) v Peru či severní stěna Matterhornu (4 478 m) ve Švýcarsku,

zdolaná rekordně za pouhé 4 hodiny. Když se v roce 1966 setkal s R. Messnerem, zrodilo se jejich trvalé lezecké přátelství, korunované řadou společných úspěchů. Mezi ty patří např. v roce 1974 rekordní výstup severní stěnou Eigeru za méně než 10 hodin. O rok později vystoupili spolu poprvé v historii na osmitisícovku Gašerbrum I (8 068 m) alpským stylem, tedy bez použití fixních lan, výškových táborů a bez pomoci nosičů. Po výstupu na Mt. Everest bez kyslíku v roce 1978 Habeler dokázal vystoupit ještě na další osmitisícovky Čo Oju, Kančendžengu a Nanga Parbat. Neúspěšně se pokoušel také o K2 a Dhaulágirí. Habeler má dvě děti, je však rozvedený. V Zillertalu založil horolezeckou školu, kterou dosud vede, a lyžařskou školu, kterou převzal jeho syn. Stále se udržuje ve skvělé kondici, ve věku 74 let si úspěšně zopakoval výstup severní stěnou Eigeru (35).

### **Rizika extrémních výšek a význam „umělého kyslíku“**

Nejvýznamnějším faktorem, ovlivňujícím zdravotní stav člověka ve vysoké nadmořské výšce, je nízký parciální tlak kyslíku, související s nízkým barometrickým tlakem. Může postihnout neaklimatizované osoby již od výšek kolem 3000 m n. m. Pokud jsou podceněny příznaky horské nemoci, může se rozvinout obraz akutního vysokohorského otoku plic nebo akutního vysokohorského otoku mozku, které postiženého zcela invalidizují. Není-li poskytnuta rychlá první pomoc a transport do nížiny, hrozí postiženému smrt.

Uvedené riziko lze snížit postupnou aklimatizací. Aklimatizace probíhá vždy stupňovitě, po etapách: po úspěšné aklimatizaci na dosaženou výšku se člověk po dosažení vyšší nadmořské výšky musí nové výšce opět znovu přizpůsobovat (19). Aklimatizace na výšku se pochopitelně předpokládá u všech, kdo se pohybují na úrovni osmitisícovek. Extrémním výškám se nelze přizpůsobit, při delším pobytu dochází k výškové deterioraci. Hypoxie působí výraznou hypoxémií a hypokapnií, oxygenaci zajišťuje výrazná hyperventilace. Pokračující selhávání všech fyziologických funkcí vede při příliš dlouhém pobytu k smrti. Pro tyto nadmořské výšky zavedl švýcarský lékař a horolezec Edouard Wyss-Dunant, vůdce neúspěšné švýcarské expedice na Mount Everest v roce 1952, pojem „zóna smrti“ (*lethal zone* či *death zone*) (49).

V extrémních výškách nad 7 500 m však ani předchozí důkladná aklimatizace nepomáhá. Při dlouhodobém pobytu v těchto extrémních výškách již k plné dlouhodobé aklimatizaci nedojde ani u nejvýkonnějších jedinců. Vystoupat do této úrovně lze jen na krátkou dobu – a řádově po několika hodinách je nutné se vrátit do úrovně výrazně nižší. Pro méně zdatné osoby však platí, že vysoké riziko závažných zdravotních problémů hrozí již od výšek podstatně nižších – od 5 300 metrů n. m.

Barometrický tlak na úrovni vrcholu Mt. Everestu dosahuje 253 torrů,  $pO_2$  ve vdechovaném vzduchu tak je jen 43 torrů,  $pCO_2$  7,5 torrů,  $p50$  při pH 7,4 je 29,6 torrů a hodnota base excess -7,2 mEq/l, tomu odpovídající arteriální pH 7,7. Jeden z úspěšných lezců dosáhl dechové frekvence 86 dechů/min a dechového objemu 1,26 l (6, 41, 43, 45).

Měření parciálních tlaků dýchacích plynů v simulovaných výškách okolo 8 000 m ukázalo, že na úrovni vrcholu Mt. Everestu dochází k extrémní hypokapnií a alkalóze (20, 42). Při 40denním pobytu v simulovaném velehorském prostředí, z toho 20 dnů na úrovni kolem 6 400 m a 9 dnů nad úrovní 8 000 m, došlo k poklesu alveolárního  $pCO_2$  na úroveň  $12 \pm 1,8$  torrů a arteriálního  $pCO_2$  na  $11,4 \pm 1,6$  torrů. U dvou pokusných osob bylo dokonce dosaženo hodnot nižších než 10 torrů. Dosažení vrcholu Mt. Everestu bez doplňkového kyslíku je podmíněno schopností mimořádné hyperventilace a respirační alkalózy. Hyperventilace a alkalóza podmiňují zvýšenou afinitu hemoglobinu ke kyslíku a tím lepší saturaci v plicních kapilárách (45). Hyperventilace také umožňuje udržet v daných podmínkách co nejvyšší alveolární  $pO_2$ , i přesto však arteriální  $pO_2$  nepřesahuje 30 torrů.

Ve výškách nad 7 000 m n.m. je patrný strmý pokles  $\dot{V}O_{2max}$ . V těchto výškách již nelze mluvit o „aklimatizaci“, dochází k trvalému zhoršování tělesných funkcí a zhoršování funkcí centrálního nervového systému. Doplnkový kyslík v těchto výškách vždy zvyšuje námahovou toleranci a měl by být k dispozici u všech výprav do těchto výšek, přinejmenším alespoň jako záchranný prostředek pro lékařské účely (43). Negativní dopad na funkce CNS přetrvává i po návratu do nížiny. Poruchy pohybové koordinace byly patrné u většiny členů americké lékařské expedice Everest v roce 1981 i déle než 12 měsíců. U lezců, kteří dosahovali v extrémních výškách nejvyšších hodnot ventilace, se projevilo také nejvýraznější poškození CNS, pravděpodobně v důsledku výraznější vazokonstrikce v oblasti mozkového řečiště (43). Při této expedici byl také poprvé reálně změřen  $pO_2$  ve vdechovaném vzduchu na vrcholu Mt. Everestu – 43 torrů. Aerobní kapacita ( $\dot{V}O_{2max}$ ) v této výšce dosahovala 1 l/min, tedy hraniční úrovně tzv. kyslíkové deprivace (44, 46).

Je zajímavé, že při porovnání parametrů naměřených v umělých podmínkách hypobarických komor a reálných velehorských podmínek byly hodnoty alveolárního parciálního tlaku kyslíku  $pO_2$ , arteriální saturace kyslíkem  $So_2$  i ventilační a respirační hodnoty příznivější v reálných podmínkách (26). Když se West a Wagner (42) pokusili po úspěšném zdolání Mt. Everestu bez kyslíku najít pomocí extrapolací změny, k nimž u obou lezců takový výkon vedl, došli k hodnotám alveolárního  $pCO_2$  10 torrů, koncentrace hemoglobinu 20.5 g/100 ml,  $pO_2$  ve smíšené žilní krvi 15 torrů a  $\dot{V}O_{2max}$  méně než 700 ml/min. K těmto predikcím došli na základě měření, provedených v reálných výškách 5 800 m a 7 440 m n. m. (42).

Vedle nízkého  $pO_2$  však riziko smrti v extrémních výškách zvyšuje řada dalších faktorů – je to především nízká teplota vzduchu a silný vítr až vichr a samozřejmě i lezecky obtížný terén (11).

Již v roce 1878 Paul Bert experimentoval s hypobarickým prostředím v hypobarické komoře (2). Sám dokumentoval, že s použitím stlačeného kyslíku lze dosáhnout hypobarické úrovně, odpovídající vrcholu Mt. Everestu, ba ještě vyšší – při barometrickém tlaku 240 torrů odpovídajícímu n. v. 9 754 m (18). To také byl jeden ze závěrů jeho publikace: *Quoi qu'il en soit des difficultes de la realisation pratique, il est certain que, par la respiration d'un air suroxygene, le sommet du mont Everest, la plus elevee des montagnes du globe (8840 m), n'est pas theoriquement inaccessible a l'homme, puisque j'ai pu inoi-mome atteindre sans encombre la pression de 21,8 qui correspond precisement a celle de cette prodigieuse hauteur. (Bez ohledu na potíže při praktické realizaci je jisté, že vrchol Everestu – nejvyšší světové hory (8 840 m) – není při dýchání prostého vzduchu člověku teoreticky nepřístupný, protože jsem byl schopen bez problémů dosáhnout tlaku 21,8, který přesně odpovídá tlaku této ohromné výšky).*

V roce 1946 Charles Houston (12) realizoval model výstupu do výše Mt. Everestu, jak by probíhal ve skutečnosti. V komorním hypobarickém prostředí pobýly čtyři pokusné osoby 35 dnů. Absolvovaly postupnou aklimatizaci, v závěru však dva z účastníků tolerovali simulovaný tlak vzduchu 235 torrů předpokládaný pro výšku Mt. Everestu 8 848 m (ve skutečnosti by však v zeměpisné šířce Everestu tlak vzduchu 235 torrů odpovídal výšce 9 400 m n.m.) jen pokud byli zcela v klidu, další dva jen za předpokladu, že jim byl podán doplnkový kyslík, jinak ztratili vědomí. Hodnoty alveolárního  $pO_2$  klesly až na 21–24 torrů. To vedlo k závěru, že vrcholu Mt. Everestu nelze dosáhnout bez doplňkového kyslíku (13, 32). Podobného názoru byli i další autoři (23, 33).

Pugh se spolupracovníky (28) za základě rozsáhlých měření v terénních velehorských podmínkách došli k závěru, že na vrcholu Everestu je barometrický tlak natolik postačující, že horolezci se přiměřeně pomalým tempem mohou pohybovat bez doplňkového kyslíku. V průběhu *American Medical Research Expedition* k Mt. Everestu v roce 1981 byly změřeny hodnoty

barometrického tlaku ve výškách 5 400 m (základní tábor) až na vrchol hory ve výšce 8 848 m. Průměrné denní tlakové hodnoty byly ve výšce 5 400 m  $400,4 \pm 2,4$  torrů, ve výšce 6 300 m  $351,0 \pm 1,0$  torrů, ve výšce 8 050 m  $283,6 \pm 1,5$  torrů a ve výšce 8 848 m  $253,0$  torrů (tj. o 17 torrů více, než v experimentu Operation Everest 1946). Všechny uvedené tlakové hodnoty byly značně vyšší než hodnoty, predikované ICAO Standard Atmosphere (ICAO = *International Civil Aviation Organization*) (39). K hlavním příčinám tohoto rozdílu patří závislost atmosférického tlaku na zeměpisné šířce. Poblíž rovníku jsou tyto tlaky ve výškách od 2 do 16 km vyšší proto, že v těchto šířkách se poblíž rovníku nachází velké masy studeného vzduchu. Údaje z meteorologických balónů ukazují, že na úrovni Mt. Everestu jsou tyto tlaky výrazně závislé na ročním období. V létě jsou až o 11,5 torrů vyšší než v zimě. I přesto však denní rozdíly parciálních tlaků kyslíků mohou v těchto výškách významně ovlivnit maximální spotřebu kyslíku při fyzické zátěži (43). Lze však předpokládat, že v období, kdy se obvykle odehrává většina výstupů na velehorské vrcholy, tedy mezi květnem a říjnem, se barometrický tlak na vrcholu Mt. Everestu pohybuje na úrovni 251–253 torrů (43).

Jako první změřili saturaci kyslíkem přímo v terénních podmínkách v rámci výstupu na Mt. Everest Grocott a spol. (8). U skupiny 10 lezců provedli odběry arteriální krve v laboratoři a poté při výstupu ve výškách 5 300 m, 6 400 m, 7 100 m a u 4 lezců při návratu z úspěšného výstupu ve výšce 8 400 m. Na této úrovni byly zjištěny následující průměrné hodnoty: pH 7,53, PaO<sub>2</sub> 24,6 torrů, PaCO<sub>2</sub> 13,3 torrů, hladina bikarbonátů 10,8 mmol/l, BE -6,9 mmol/l, laktacidémie 2,2 mmol/l, SaO<sub>2</sub> 54,0 %, hemoglobinémie 19,3 mmol/l, respirační kvocient 0,74, alveolo-arteriální diference O<sub>2</sub> 5,41 torrů. Výsledky dokumentovaly stav funkčního omezení plicní difuze a subklinický stupeň vysokohorského plicního edému.

### **Funkční kapacita úspěšných lezců**

Jaké úrovně dosahují parametry aerobní kapacity u úspěšných lezců, kteří dosáhli bez kyslíku vrcholů osmitisícovek, ukázala studie Oelze a spol. (24). U šesti lezců, kteří úspěšně vystoupili nad 8 500 m, byla provedena dva až 12 měsíců po posledním velehorském výstupu spiroergometrická vyšetření. Statické i dynamické ventilační hodnoty stejně tak jako pravo- i levostranné echokardiografické hodnoty byly v rozmezí hodnot u zdravých netrénovaných osob. Z hlediska složení svalových vláken bylo významně vyšší zastoupení pomalých vláken typu I (71 %), na typ IIa připadalo 22 % a na typ IIb 7 % vláken. Příčná plocha průřezu svalových vláken ve srovnání s netrénovanými kontrolami byla o 15 % nižší, ve srovnání s běžci-vytrvalci o 51 % nižší. Průměrná  $\dot{V}O_{2max}$ /kg dosahovala  $60 \pm 6$  ml/min. Průměrná maximální anaerobní síla byla  $28 \pm 2,5$  W/kg a nelišila se významně od netrénovaných osob. Všichni vyšetřovaní vykazovali velmi vysoké hodnoty hyperventilace jak při normoxii, tak při středně těžké hypoxii (při dýchání pO<sub>2</sub> o 77 torrech). Tím dosahovali také vyšších hodnot oxyhemoglobinu ve srovnání s netrénovanými. Jedinou výraznější odlišností byla skutečnost, že ve srovnání s netrénovanými osobami měli vyšetřovaní lezci o 40 % vyšší hustotu kapilár ve svalu.

Zdálo by se tedy, že výkonní „bezokysíkoví“ lezci se nad 800 m vyznačují jen mírně nadprůměrnými parametry kardiorepirační kapacity, zato však významně vyššími schopnostmi hyperventilace jak v klidu, tak při zátěži v hypoxických podmínkách. Může jít buď o přetrvávající adaptační změnu po úspěšných aklimatizačních pobytech ve velehorách nebo o geneticky podmíněný předpoklad vyrovnat se s podmínkami hypoxie v extrémních výškách (25).

V roce 2017 Wagner (36) analyzoval výše uvedené nálezy Oelze a spol. (24) ve světle výsledků tehdy současně probíhajícího projektu Operation Everest II v roce 1985. Více než 20 vědeckých týmů různého zaměření sledovalo fyziologické parametry 8 mužů během 42denního

simulovaného „výstupu“ do 8 848 m (253 torr,  $PIO_2 = 43$  torr). Se zvyšující se nadmořskou výškou očekávaně klesala jak hodnota  $\dot{V}O_{2max}$ , tak i – avšak pozoruhodně v přímém poměru –  $pO_2$  ve smíšené žilní krvi, a to důsledkem omezeného transportu  $O_2$  z vlásečnic k mitochondriím. Podstatou poklesu  $\dot{V}O_{2max}$  je totiž právě omezení difuze (stejně jako v plicích je omezení difuze limitujícím faktorem). Vyšší hustota svalových vlásečnic (+40 %) znamená zlepšení difuze a není třeba se odvolávat na mimořádné funkční kardiopulmonální parametry, o kterých měření Oelze a spol. vlastně nesvědčí.

Schoener a spol. (30) došli k závěru, že pro výkon ve vysokých nadmořských výškách je rozhodující úroveň tzv. hypoxické ventilační odpovědi (HVR). Zjistili, že pokles  $SaO_2$  při zátěži v hypoxii je nepřímo úměrný HVR a osoby s vyšší úrovní HVR dosahují ve vyšší nadmořské výšce vyšší výkonnosti. Při tom relativní úroveň HVR není ovlivněna proběhlou aklimatizací.

Zajímavé údaje o funkčních předpokladech k úspěšné pohybové aktivitě ve velehorských podmínkách uvedli Kayser a spol. (17). Porovnali ultramikroskopické parametry, získané z bi-optických vzorků z m. vastus lateralis od 5 nepálských Šerpů (věk  $28 \pm 2.8$  let, nepřímo stanovená  $\dot{V}O_{2max}/kg$   $48.5 \pm 5.4$  ml/min/kg) s parametry, stanovenými obdobně u osob se sedavým životním stylem, žijících v nížinných podmínkách, a u velehorských horolezců před výstupem a po šesti- až osmitýdenním pobytu ve výškách 5 000–8 600 m n.m. Tloušťka svalových vláken Šerpů ( $3\ 186 \pm 521 \mu m^2$ ) byla podobná jako u obou skupin horolezců, byla však nižší než u neaklimatizovaných horolezců i u nížinných rezidentů. Denzita kapilár u Šerpů ( $467 \pm 22 mm^{-2}$ ) se významněji nelišila od hodnot horolezců, byla však významně vyšší než u nížinných rezidentů. Zajímavým zjištěním bylo, že objemová denzita mitochondrií Šerpů ( $3,96 \pm 0,54$  %) byla významně nižší než u všech ostatních srovnávaných skupin (27).

Srovnání aerobní kapacity trvalých rezidentů ve vysokých nadmořských výškách (Tibeťané, ve výšce narození Čiňané, obyvatelé And) s bílými nížinnými obyvateli, žijícími však alespoň rok ve výškách 3 400 až 4 700 m n.m. neukázalo žádné významné rozdíly ve  $\dot{V}O_{2max}/kg$ , obyvatelé Tibetu se však vyznačovali vyšší ekonomičností práce jak na bicyklovém, tak běhátkovém ergometru, související pravděpodobně s vyšším obsahem svalového myoglobinu a vyšší antioxidační kapacitou. U obyvatel And se však tyto rozdíly neprokázaly a pozadí jejich vysoké výkonnosti je zatím nejasné (21).

Velehorský výstup má negativní vliv na některé mozkové funkce. Horolezci v extrémních výškách opakovaně udávali zrakové, sluchové a somatosenzorické halucinace, podobné těm, které lze vyvolat i v simulovaných laboratorních podmínkách. Mohou být příčinou chybných rozhodnutí s následnými v krajním případě až smrtelnými důsledky. Většina těchto negativních příznaků rychle odezní po návratu do nižších poloh. Lezci však často udávají poruchy krátkodobé paměti, přetrvávající řadu měsíců po návratu do nížiny (25).

Výsledky baterie neuropsychologických testů u osmi horolezců, kteří zdolali celkem 60 vrcholů vyšších 8 000 metrů bez použití kyslíku, ukázaly zcela normální neurologický nále. Většina lezců měla nadprůměrný IQ. V testu koncentrace se však u většiny ukázalo vyšší skóre chybných odpovědí. U poloviny lezců byly patrné poruchy krátkodobé paměti, dlouhodobá paměť byla v normě. U poloviny lezců byly také zjištěny poruchy kognitivní a adaptační flexibility. Nižak narušena nebyla motorická výkonnost. Uvedené změny mohou naznačovat dysfunkci v oblasti frontotemporální bazální korové oblasti. Tomu odpovídaly i některé charakteristické změny EEG (29).

## Závěr

Od prvního pokusu v roce 1921 až do června 2017 vystoupilo na Mt. Everest (8 848 m) celkem 4 833 členů expedic. Pokud se do toho započítají i opakované výstupy, a hlavně výstupy Šerpů, jednalo se o 8 306 úspěšných výstupů (47). Za uvedené období však bylo zaznamenáno celkem 288 úmrtí (48). Ze všech úspěšných výstupů bylo provedeno pouze 208 bez použití umělého kyslíku. Vystoupit na vrchol naší planety již zdaleka není tak obdivovanou raritou, jako tomu bývalo v minulém století. Obvyklá výstupová trasa přes Jižní sedlo a Jihovýchodní hřeben je natolik dokonale vyznačena, že umožňuje za příznivého počasí vystoupat na vrchol během jediného dne několika desítkám horolezců. Statistiky uvádějí, že 16. 5. 2002 vystoupilo na vrchol po JV hřebenu celkem 61 osob, 19. 5. 2012 na vrchol vystoupilo dokonce 179 lezců. V roce 2017 nepálská vláda vydala cizincům 371 povolenek k výstupu na Mount Everest, což je nejvyšší číslo od roku 1953 (1). Poté, co se podařilo na vrcholu Mr. Everestu přistát dokonce vrtulníkem, hrozí riziko, že v dohledné době se toto unikátní místo naší Země stane ještě častějším cílem kohokoliv, kdo si lukrativní výlet zaplatí (34).

Velký počet lidí, kteří se o zdolání hory pokoušejí, ale přináší problémy – dochází k dlouhým prodlevám při výstupu i sestupu, a to ve vysokých nadmořských výškách ohrožuje zdraví horolezců. (5).

Stále však pro výšky nad 8 000 m platí, že se zde jedná o „zónu smrti“, kde déletrvajícím pobytem hrozí každému natolik závažnými zdravotními problémy, že znemožní lezci návrat do bezpečí v nížině a zahyne, nezřídka i poté, co úspěšně dosáhl vrcholu (16). Pokud k výstupu došlo bez pomoci kyslíku či zásoby kyslíku v tlakových lahvích byly vyčerpány, riziko se úměrně zvyšuje. Za obecně přijatelný bezpečnostní časový limit se pokládá dosáhnout vrcholu do 11. hodiny. Pokud však lezci stráví desítky minut až hodiny velmi pomalým postupem či neplánovaným čekáním ve frontě, toto optimum k výstupu na vrchol mnozí překročí. V takové situaci snadno dochází k vyčerpání kyslíkových zásob či k nucenému prodloužení pobytu v zóně smrti (5). Navíc byly popsány i případy, kdy již v základním táboře došlo ke krádežím kyslíkových lahví, ohrožujících svého původního majitele při následném výstupu na životě (4).

I když nejvyšší počet smrtelných nehod na Mt. Everestu připadá na laviny a pády do hlubin, ze známých příčin se rovněž často mezi příčinami nachází akutní horská nemoc, vysokohorský otok mozku a/nebo plic a vyčerpání, určitě však se pobyt a pohyb v zóně smrti podílí na případech smrtelných akutních srdečních a mozkových příhod (3, 40). Podceňovat nelze ani snahy lámat rekordy v nejrůznějších věkových a zdravotních kategoriích (14, 15), na originálních výstupových trasách či v nejnepříznivějších klimatických podmínkách. Každý nadšenec, zlákaný nabídkou takového jedinečného životního zážitku, by měl dobře zvážit, zda těmto nesmírně náročným podmínkám odpovídají nejen jeho zdravotní stav (10, 42), ale také úroveň jeho funkční kapacity, jeho zkušenosti s pohybem ve vysokohorském terénu, lezecké schopnosti, technické vybavení a také ekonomické zázemí. Vhodnou prevencí akutní horské nemoci a dalších zdravotních komplikací mohou být krátkodobé expozice vysokohorskému prostředí předcházející vlastnímu déletrvajicímu výstupu (22) či jiné metody tzv. preaklimatizace (pobyty v hypoxickém stanu, v podtlakové komoře apod.). V zóně smrti nelze spoléhat na nic jiného než na vlastní připravenost nejen při ideálních klimatických podmínkách, ale i za nečekaných a nezřídka drastických klimatických změn. V opačném případě nelze vyloučit, že cestu na vrchol nejvyšší hory budou nadlouho lemovat další lidské pozůstatky.



## Literatura

1. Aktuálně.cz: Na Mount Everest se chystá rekordní počet lidí. Nejvyšší hoře světa hrozí „zácpy“. 5. 5. 2017.
2. Bert P.: La pression barométrique. Recherches de physiologie expérimentale. Paris, G. Masson 1878.
3. Burtcher M.: Výskyt smrtelných srdečně-oběhových příhod v horách. In: II. Pelikánův seminář Aktuální problémy horské medicíny. Praha, 31. května 1991.
4. ČT24: Na Everestu bují obchod s kradeným kyslíkem. Horolezcům může jít o život. 26. 5. 2017.
5. ČTK, iDNES.cz : Na Mount Everestu zahynuli tři horolezci, vyčerpal je čekání v zácpě. 21. května 2012.
6. Dill DB, Evans DS: Report barometric pressure. *J Appl Physiol.* 1970;29:914–916.
7. green-tea: Reinhold Messner. Životopis. FDb.cz.
8. Grocott MPW, Martin DS et al.: Arterial blood gases and oxygen content in climbers on Mount Everest. *N Engl J Med* 2009; 360: 140–149.
9. Herrligkoffer K. M.: Mount Everest. Historie dobývání nejvyšší hory světa. Praha, Olympia 1976.
10. Herman I.: Rizika výstupů neaklimatizovaných sportovců ve velehorách. In: II. Pelikánův seminář Aktuální problémy horské medicíny. Praha, 31. května 1991.
11. Huey RB, Eguskita X, Dillon M: Mountaineering in thin air. Patterns of death and of weather at high altitude. *Adv Exp Med Biol.* 2001,502:225–236.
12. Houston CS: Operation Everest: a study of acclimatisation to anoxia. *US Naval Med Bull.* 1946; 46 (12):1783–1792.
13. Houston CS, Riley RL: Respiratory and circulatory changes during acclimatization to high altitude. *Am J Physiol.* 1947;149(3):565–88.
14. iDnes.cz: Nepálský exministr zemřel na Everestu, toužil být nejstarším pokořitelem. 10. května 2011.
15. iDnes.cz: Osmdesátiletý Japonec se stal nejstarším pokořitelem Mount Everestu. 23. května 2013.
16. Kele F. a spol.: Everest. Prvá československá expedícia na najvyššom vrchu sveta. Bratislava, Šport. Praha, Olympus 1986.
17. Kayser B, Hoppeler H, Claassen H, Cerretelli P: Muscle structure and performance capacity of Himalayan Sherpas. *J Appl Physiol.* 1991; 70(5):1938–1942.
18. Kellas AM: A consideration of the possibility of ascending Mount Everest. *High Alt Med Biol.* 2001; (3)2:434–462.
19. Levett DZ, Martin DS, Wilson MH, et al.: Design and conduct of Caudwell Xtreme Everest: an observational cohort study of variation in human adaptation to progressive environmental hypoxia. *BMC Med Res Methodol.* 2010; doi: 10.1186/1471-2288-10-98.
20. Malconian MK, Rock PB, Reeves JT, et al.: Operation Everest II: gas tensions in expired air and arterial blood at extreme altitude. *Aviat Space Environ Med.* 1993;64(1):37–42.
21. Marconi C, Marzorati M, Cerretelli P: Work capacity of permanent residents of high altitude. *High Alt Med Biol.* 2006;2(7):105–115.
22. Muza SR, Beidleman BA, Fulco CS: Altitude preexposure recommendations for inducing acclimatization. *High Alt Med Biol.* 2010;11(2):87–92.
23. Odel NE: So-called “deterioration” and the use of oxygen at high altitudes. *Geograph J* 1954;120: 131–133.
24. Oelz O, Howald H, Di Prampero PE, Hoppeler H, et al.: Physiological profile of world-class high-altitude climbers. *J Appl Physiol* 1986;60(5):1734–1742.
25. Oelz O, Regard M.: Physiological and neuropsychological characteristics of world-class extreme-altitude climbers. AAC Publications - <http://publications.americanalpineclub.org>
26. Peacock AJ, Jones PL: Gas exchange at extreme altitude: results from the British 40th Anniversary Everest Expedition. *Europ Resp J.* 1997;10:1439–1444.
27. Gilbert-Kawai ET, Milledge J, Grocott MPW, Martin D: King of the mountains: Tibetan and Sherpa physiological adaptations for life at high altitude. *Physiology* 2014;29(6):388–402.

28. Pugh LG, Gill MB, Lahiri S, et al.: Muscular exercise at great altitude. *J Appl Physiol* 1964;19(3): 431–440.
29. Regard M, Oelz O, Brugger P, Landis T: Persistent cognitive impairment in climbers after repeated exposure to extreme altitude. *Neurology*. 1989; 39(2 Pt 1):210–203.
30. Schoene RB, Lahiri S, Hackett PH et al.: Relationship of hypoxic ventilatory response to exercise performance on Mount Everest. *J Appl Physiol* 1984; 56:1478–1483.
31. Steck U.: Bez kyslíku na Everestu. Závěrečná zpráva. 2012.
32. Tansey EA: Teaching the physiology of adaptation to hypoxic stress with the aid of a classic paper on high altitude by Houston and Riley. *Adv Physiol Educ*. 2008; 32: 11–17.
33. Thron HL: Die menschlichen Körperfunktionen unter Grenzbedingungen. A. Höhe. In: Groh H.: *Sportmedizin*, Stuttgart, F. Enke 1962: 357–369.
34. [Treking.cz](http://treking.cz): Vrtulník na Everestu. Vrtulníkem na Mount Everest. 9. 6. 2005.
35. Turek J: Peter Habeler, skromná a nenápadná horolezecká ikona. [Horydoly.cz](http://Horydoly.cz). 12/6/2017.
36. Wagner PD: Operation Everest II and the 1978 Habeler/Messner ascent of Everest without bottled O<sub>2</sub>: what might they have in common? *J Appl Physiol* 2017;123(6):1682–1688.
37. West JB, Wagner PD: Predicted gas exchange on the summit of Mt. Everest. *Respir Physiol*. 1980; 42(1):1–16.
38. West JB: Man at extreme altitude. *J. Appl. Physiol*. 1982;52:1393–1399.
39. West JB, Lahiri S, Maret KH, et al.: Barometric pressures at extreme altitudes on Mt. Everest: physiological significance. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*. 1983;54(5):1188–1194.
40. West JB: Climbing Mt. Everest without oxygen: an analysis of maximal exercise during extreme hypoxia. *Respir Physiol*. 1983;52(3):265–279.
41. West JB, Boyer SJ, Graber DJ et al.: Maximal exercise at extreme altitudes on Mount Everest. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*. 1983; 55(3):688–698.
42. West JB: Acclimatization and tolerance to extreme altitude. *J Wilderness Med*. 1993; 4(1):17–26.
43. West JB: Barometric pressures on Mt. Everest: new data and physiological significance. *J Appl Physiol*. 1999;86(3):1062–1066.
44. West JB: Human limits for hypoxia. The physiological challenge of climbing Mt. Everest. *Ann N Y Acad Sci*. 2000;899:15–27.
45. West JB: American medical research expedition to Everest. *High Alt Med Biol*. 2010; 11(2):103–110.
46. West JB: Everest Physiology Pre-2008. *Adv Exp Med Biol*. 2016;903:457–463.
47. Wikipedia: List of Mount Everest records. Edited on 20 November 2018.
48. Wikipedia: List of Mount Everest death statistics. Edited on 24 September 2018.
49. Wyss-Dunant, E: Acclimatisation. In: Kurz M.: *The mountain world*. London, G. Allen & Unwin Ltd. 1953: 110–117. <https://ia902205.us.archive.org/22/items/mountainworld195029881mbp/mountainworld195029881mbp.pdf>

MUDr. Jaroslav Novák, Ph.D.  
 Ústav tělovýchovného lékařství Lékařské fakulty UK v Plzni  
 Lidická 6, 301 00 Plzeň  
 email: novakj@lfp.cuni.cz