

Zdravotné aspekty pri cestovaní lietadlom

Dana Lauková

PaF ambulancia Internej kliniky FN Nitra

Každý rok cestujú na palube komerčných leteckých spoločností takmer 2 miliardy ľudí. Poskytovatelia zdravotnej starostlivosti a cestujúci si musia byť vedomí potenciálnych zdravotných rizík spojených s leteckou dopravou. Zmeny vyplývajúce z troch zákonov o plynach sa vyskytujú počas bežných komerčných letov, vedú najčastejšie k miernej hypoxii a expanzii plynu (riziko hypoxémie, barotrauma a dekompresie). Môžu sa zhoršiť chronické zdravotné stavy alebo vyvolať akútne zdravotné situácie počas letu. Súvislosť medzi venóznou tromboembóliou a diaľkovými letmi, trapping gas, jet lag a kvalitou vzduchu v kabíne sú rastúce problémy zdravotnej starostlivosti spojené s leteckou dopravou. Zdravotné ťažkosti počas letu sú čoraz častejšie, pretože rastúci počet jedincov (vrátane starších ľudí a detí) cestuje letecky s už existujúcimi zdravotnými problémami. Na palube komerčných lietadiel máme k dispozícii len prostriedky, ktoré pomáhajú posádke lietadla a dobrovoľným lekárom pri riadení núdzových zdravotných problémov počas letu. Spôsobilosť na cestovanie lietadlom je narastajúcim problémom, pretože mnohí cestujúci si neuvedomujú zdravotné dôsledky spojené s komerčnou leteckou dopravou. Od lekárov sa často očakáva, že identifikujú jednotlivcov nevhodných na cestovanie lietadlom a poskytnú im užitočné rady.

Kľúčové slová: letecká doprava, riziko hypoxémie, riziko barotrauma, riziko dekompresie, pľúcna hypertenzia, zdravotné komplikácie.

Health aspect of airplane travel

Almost 2 billion people travel aboard commercial airlines every year. Health-care providers and travellers need to be aware of the potential health risks associated with air travel. Changes resulting from three physical laws about gas occur during routine commercial flights. They lead most often to mild hypoxia and gas expansion (risk of hypoxemia, barotrauma and decompression), which can exacerbate chronic medical conditions or incite acute in-flight medical events. The association between venous thromboembolism and long-haul flights, trapping gas, jet lag, and cabin-air quality are growing health-care issues associated with air travel. In-flight medical events are increasingly frequent because a growing number of individuals (incl. elderly people and children) with pre-existing medical conditions travel by air. Resources are available onboard to assist flight crew and volunteering physicians in the management of in-flight medical emergencies. Fitness for air travel is a growing issue because many passengers are unaware of health implications associated with commercial air travel. Physicians are often expected to identify individuals unfit for air travel and give them useful advice.

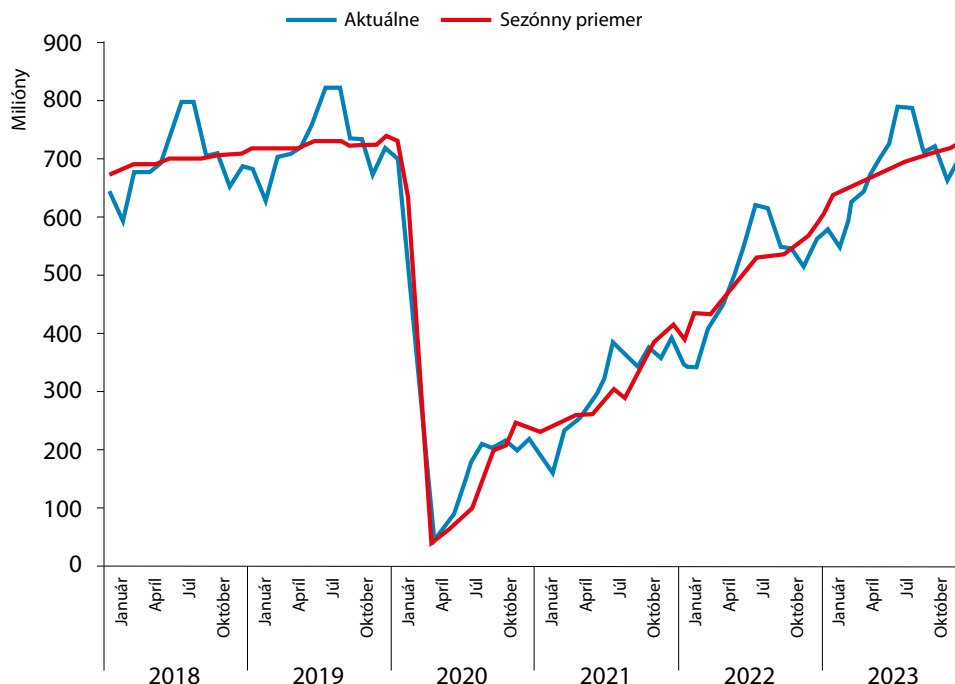
Key words: air travel, risk of hypoxemia, risk of barotrauma, risk of decompression, pulmonary hypertension, health complications.

Úvod

V súčasnosti rastie trend dovolenkovat', oddychovať v ďalekých destináciách, objavovať vzdialené krajiny (pozri graf 1) (1). Častejšie preto využívame komerčné dopravné lietadlá. Malé dopravné lietadlá lietajú prevažne vo výške 2 000 až 10 000 stôp (cca 0,6 – 3 km, napr. Cesna 172), najčastejšie okolo 5 000 stôp (cca 1,5 km) bez výrazného vplyvu

atmosferického tlaku. Len pre porovnanie: parašutisti ako športovci skáču z výšky 2 200 do 2 500 metrov nad morom (mnm), tandemové zoskoky s padákom sú až z výšky 3 000 do 6 000 mnm, pričom voľný pád nabera rýchlosť až 200 km/h na 90 sekúnd, po ktorom nasleduje let padákom s pristátím. Paraglidingom sa dostaneme do výšky cca 500 mnm, balónom zväčša do 500 – 1 000 mnm. Komerčné doprav-

Graf 1. Počet kilometrov leteckej dopravy a pasažierov za mesiac vo svete od r. 2018 do roku 2023 podľa dát IATA (1). Upravené podľa Hodkinsona a Smitha (1).



né lietadlá bežne lietajú v nadmorskej výške približne 10 000 mnm. Samozrejme iné lietadlá lietali alebo lietajú aj vyššie (certifikovaná výška pre Concorde 60 000 stôp – cca 18 km, gulfstreamy a learjety do 51 000 stôp, Boeing 787 Dreamliner do 43 tisíc stôp, čiže cca 13 km). Na palube lietadla pôsobia tri fyzikálne zákony o plynch – Daltonov zákon (riziko hypoxémie), Boyle-Mariottov (riziko barotraumy) a Henryho (riziko dekompresie) (2). Počas letu sú prítomné aj iné faktory, ktoré jednotlivo alebo spoločne môžu spôsobiť zdravotné komplikácie, exacerbácie chronických ochorení, zhoršiť chronické ochorenie až ohroziť cestujúcich na živote.

Podmienky na palube lietadla

V lietadle je nižší atmosférický (barometrický tlak) tlak s následným nižším atmosférickým parciálnym tlakom kyslíka (PO₂), čo vyvolá hypoxemickú ventilačnú reakciu. Dochádza k hypokapnii a posunu disociačnej krivky kyslíka doľava so zvýšením afinity k hemoglobínu, čo má vplyv na prestup krvných plynov na úrovni bunky s hroziacou hypoxiou. Riziko barotraumy je spojené so zväčšením objemu plynov cca o 30 – 38 % pri tlaku na palube lietadla v cestovnej výške cca 10 km (2, 3). Najčastejšie riziko dekompresie môže nastať pri potápaní do 24 hodín pred odletom (4). Hypoxia navyše aktivuje hemokoagulačný systém, najmä u predisponovaných jedincov (5, 6, 7, 8). Lietadlo zabezpečuje tepelný komfort klimatizáciou, používajúcou HEPA (high efficiency particulate air) filtre s cirkuláciou vzduchu. Pri cirkulácii vzduchu sa vymení na palube lietadla približne 50 % vzduchu cca 20 – 30x za hodinu. V lietadle je nižšia vlhkosť (cca 20 %), na suší prevažne nad 30 %. To vedie k zvýšenej prašnosti a vyššiemu šíreniu kvapôčkovej infekcie. Okrem toho nízka vlhkosť spôsobuje vysušovanie kože, očných spojoviek, nosovej sliznice, zasychanie hlienov a sekrétov, ktoré možno ovplyvniť adekvátnou hydratáciou, aplikovaním morskej vody do nosa, očných zvlhčujúcich roztokov s tvorbou dočasného ochranného filmu.

U cestujúcich so zvýšenou tvorbou hlienu v dýchacích cestách podmienenou chronickým pľúcnym ochorením komplikuje nízka vlhkosť dostatočnú expektoráciu. Káva a alkohol majú opačný účinok, limitujú príjem tekutín, čo nepriaznivo vplyva pri dlhých letoch na hydratáciu. Na palube lietadla je obmedzený pohyb vyhradený sedením v úzkom priestore sedadla až prolongovaná imobilita, potencovaná sedením pri okne a uložením palubnej batožiny pri nohách. Cestujúci sa musia počas letu pripraviť aj na zhoršenie hygienických podmienok, ako je napríklad umývanie rúk. V lietadle sa počas letu obmedzuje rozsah a kvalita zdravotnej starostlivosti, zameraná na zmiernenie symptomatickej a prvú pomoc.

Fyzikálne zákony o plynch a ich dôsledky počas letu

Počas letu sa reálne prejavujú fyzikálne zákony o plynch – Daltonov, Boyle-Mariottov a Henryho zákon (2). Cestujúci v dopravnom lietadle by sa mali na ne vopred pripraviť. Pri už známych alebo dovtedy nepoznaných chronických ochoreniach ich účinok môže viesť k vážnym zdravotným komplikáciám. Dopravné lietadlo letí vo výške cca 40 000 stôp (10 km), v ktorej sa predpokladá tlak vzduchu viac ako 140 mmHg (18,67 kPa) a parciálny tlak kyslíka 30 mmHg (0,4 kPa). Tieto podmienky bez technických úprav nie sú zlučiteľné so životom. Difúzia kyslíka na úrovni alveol je podmienená jeho parciálnym tlakom, nie jeho percentuálnym zastúpením vo vdychovanom vzduchu. Posun disociačnej krivky doľava prestup kyslíka na úrovni alveolo-kapilárnej jednotky zvyšuje. Tlak na palube lietadla sa udržiava na hodnote cca 560 mmHg (cca 75 kPa), čo zodpovedá tlakovej výške 8 000 stôp (2 400 m), pričom na hladine mora je atmosférický tlak 760 mmHg (101 kPa).

Podľa Daltonovho zákona sa parciálny tlak kyslíka mení úmerne so znížením tlaku na palube lietadla. Vedie to k zníženiu saturácie kyslíka aj u zdravých cestujúcich. Daltonov zákon hovorí, že tlak zmesi plynov

sa rovná súčtu všetkých parciálnych tlakov plynov, ktoré daný priestor obsahuje (pozri obr. 2) (2, 4).

Podľa Daltonovho zákona, t. j. aj reálne pri atmosférickom tlaku 560 mmHg (75 kPa) na palube lietadla dochádza k navodeniu hypoxického prostredia. Fyziologickým dôsledkom je hypoxemická hypoxia, ktorá sa dá merať aj u zdravých jedincov ako pokles kyslíka o 3 – 10 % v cestovnej výške 10 km, čiže do 89 % (2, 9). Zdravý cestujúci ju dobre toleruje bez zjavných subjektívnych a objektívnych ťažkostí (10, 11).

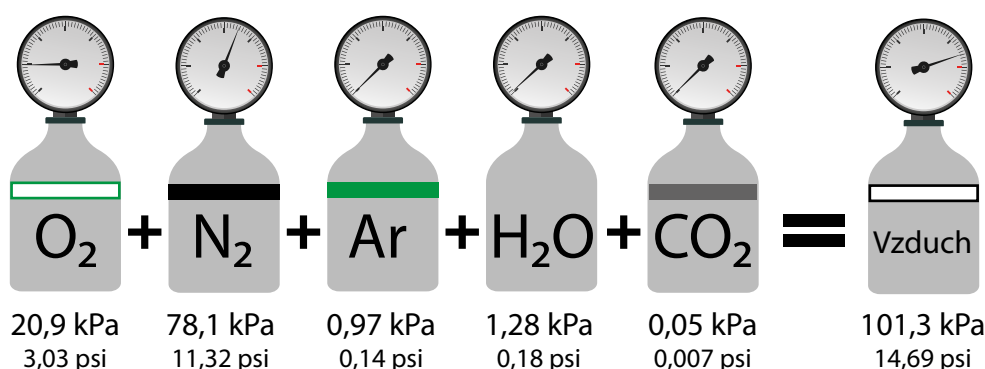
Podľa Boyle-Mariottovho zákona sa pri tlaku na palube lietadla zväčšuje objem plynov (pozri obr. 3, 4) (12, 13).

V ľudskom tele zväčšujúci sa objem plynov môže viesť k barotraume. Ide najmä o priestory, ako sú napríklad prínosové dutiny (sínusová barotrauma), stredné ucho, ale aj zubný kaz (barodontalgia), iné obalené tekutinové patologické kolekcie s prítomnosťou vzduchu (napríklad cysty a abscesové kolekcie naplnené vzduchom v rôznych parenchýmových orgánoch, emfyzematózne buly). Tieto majú podľa anatomických pomerov riziko útlaku okolitých štruktúr s lokálnou bolesťou, ohrozením funkcie tkanív a orgánov, prípadne môžu prasknúť (napríklad vznik

pneumotoraxu, vyliatie abscesovej kolekcie do okolia). Orientačne možno predpokladať, že pri tlaku na palube lietadla v cestovnej výške cca 10 km sa objem plynov zväčší o 30 – 38 % (2, 3). Nedrénovaný pneumotorax, neliečený ileus, pneumoencefalus po traumatickom poranení mozgu, reziduálny plyn v bruchu po laparoskopii sú prísnu kontraindikáciou leteckej dopravy (2, 9).

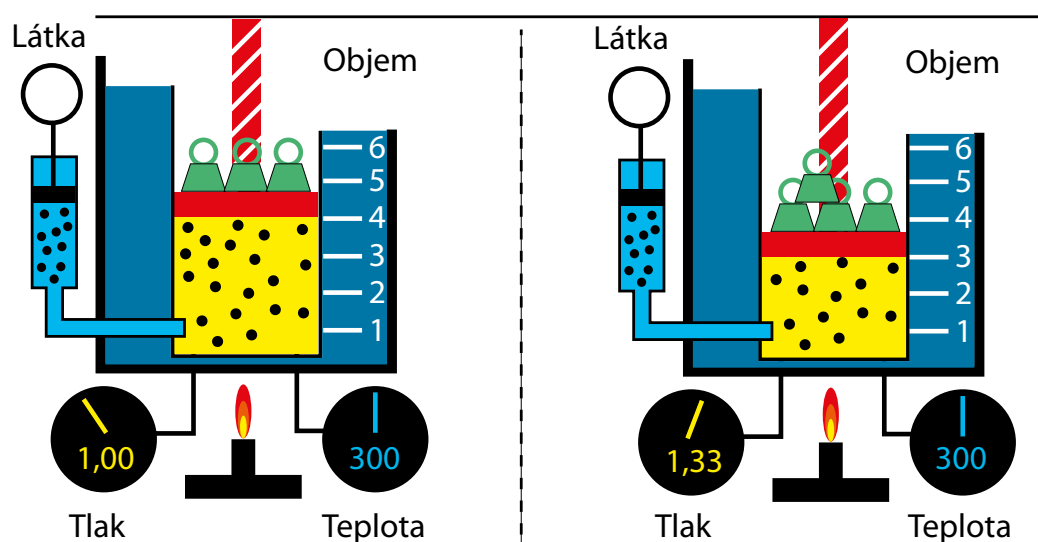
Pri akútnej sinusitíde alebo zápale stredného ucha je nutné vyhnúť sa lietaniu lietadlom, nakoľko sa cez Eustachovu trubicu nedá vyrovnáť tlak v strednom uchu (pozri obr. 5) (13). Zápal zuba alebo zubný granulóm (pulpitis chronica granulomatosa interna) môže vyvolať intenzívnu bolesť zubov až čeľuste, ale aj prasknúť pri expanzii plynu prítomného v ňom počas letu (2). Ďalším odporúčaním na zníženie tvorby plynov v tráviacom systéme pred letom je vyhnúť sa príjmu určitých potravín. Počas letu dochádza aj tu k expanzii plynov s provokovaním abdominálneho diskomfortu. Preto pred a počas letu sa neodporúča požívať jedlá so strukovinami (napr. fazuľou, hrachom, bôbom, sójou – ani pražené), ale aj s brokolicou, karfiolom, ružičkovým kelom, kapustou, kelom, mliečne výrobky, potraviny s vysokým obsahom fruktózy, ktoré

Obr. 2. Daltonov zákon – tlak zmesi plynov sa rovná súčtu všetkých parciálnych tlakov plynov, ktoré daný priestor obsahuje (4); jeho pôsobením dochádza na palube lietadla pri znížení atmosférického tlaku aj k zníženiu parciálneho tlaku kyslíka

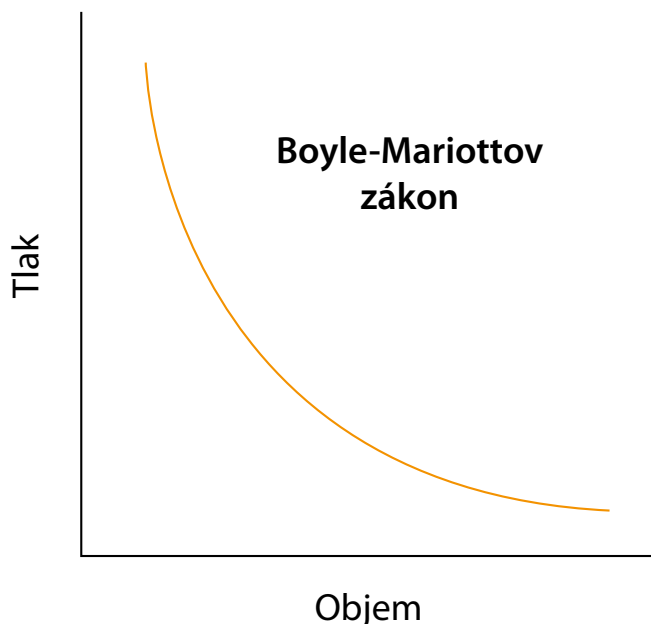


Obr. 3. Boyle-Mariottov zákon – vzťah pre izotermický dej prebiehajúci v ideálnom plyne; súčin tlaku a objemu daného látkového množstva ideálneho plynu je pri konštantnej teplote nemenný (14); pôsobením tohto zákona sa pri zníženom atmosférickom tlaku na palube lietadla zväčšuje objem plynov o 30 – 38 %, čiže k barotraume (2, 3); upravené podľa NASA (3)

Boyle Mariottov zákon



Obr. 4. Boyle-Mariottov zákon hovorí o zmenách tlaku a objemu vzduchu pri izotermickom deji s ideálnym plynom so stálou hmotnosťou, pričom je stály súčin tlaku a objemu plynu (13); pri vzlietnutí a počas letu dochádza k zníženiu atmosferického tlaku vzduchu na palube lietadla, čiže zväčšovaniu objemu vzduchových kolekcii a k riziku barotraumy; naopak, pri pristávaní sa atmosférický tlak vzduchu zvyšuje a znižuje sa objem kolekcii naplnených vzduchom; upravené podľa Scarpa et al. (13)



môžu zahŕňať figy, datle, sušené slivky, hrušky, hrozno, nealkoholické nápoje, ovocné nápoje, sušienky a koláče.

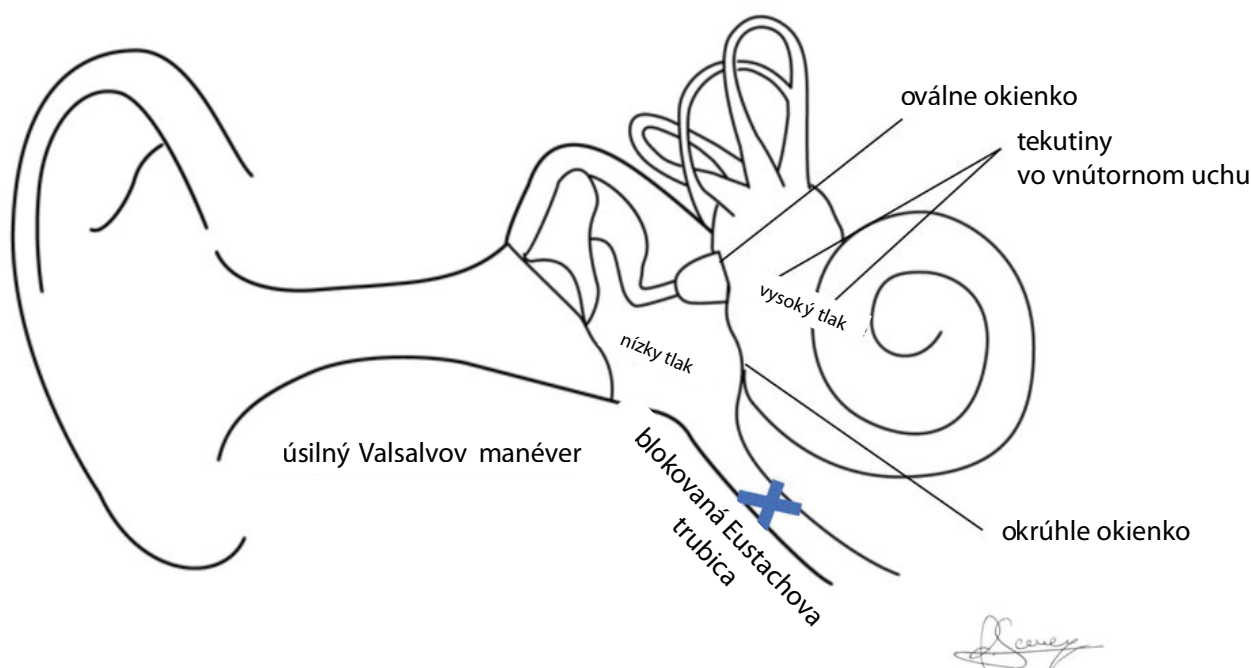
Podľa Henryho zákona si vieme vysvetliť nežiaduce potápanie 24 hodín pred odletom. Podľa tohto zákona je množstvo plynu rozpusteného v kvapaline úmerné parciálnemu tlaku plynu nad kvapalinou. Čím je nižší tlak, tým menej plynu môže zostať v roztoku a unikne bublinkami z neho von (viď obr. 6) (15). V potápačskej medicíne je tento zákon veľmi dôležitý, pretože bublinky dusíka vybublávajú v tkanive pri veľmi rýchlom vynorení sa na hladinu mora (nižší tlak je na hladine mora v porovnaní s tlakom vo vyššej ponornej hĺbke). Spôsobujú dekompresnú chorobu s parestéziami („potápačské blychy“), s neurologickým deficitom (2). Preto si treba uvedomiť, že medzi posledným ponorom a letom by mal byť minimálny rozdiel 24 hodín. Náhly pokles tlaku v kabíne lietadla („rýchla dekompresia“) môže viesť k dekompresnej chorobe, aj keď zriedkavo (2).

Hypoxia a kardiopulmonálne riziká

Atmosferický tlak v kabíne lietadla udržiava tlak ako v nadmorskej výške od 1 530 do 2 438 mmn (v porovnaní s Lomnickým štítom s 2634 mmn) s koncentráciou vdychovaného kyslíka 15 % (FiO_2), v porovnaní s úrovňou mora 21 %. Nižšia frakcia kyslíka vo vdychovanom vzduchu má nežiaduci účinok najmä u ľudí s anémiou, s kardiálnymi a respiračnými ochoreniami, s poruchami zrážania krvi. Preto je dôležité vopred poznať svoj zdravotný stav pred plánovaním letu a samotným vzlietnutím (14).

Obr. 5. Schematický diagram barotraumy vnútorného ucha: tlak stúpa počas zostupu lietadla a Valsalvov manéver môže pomôcť vyrovnať tlak v strednom uchu. A: V prípade patulóznej Eustachovej trubice Valsalvov manéver vyvolá neprimerané zvýšenie tlaku v strednom uchu. Patulózna Eustachova trubica je názov fyziologickej poruchy, pri ktorej zostáva prerušovane otvorená. Eustachova trubica býva normálne uzavretá, pričom Valsalvov manéver, prehĺtanie umožňuje vyrovnanie tlaku v strednom uchu. B: Ak je blokovaná Eustachova trubica, vzniká nižší tlak v strednom uchu. Silný Valsalvov manéver za daných podmienok môže zvýšiť tlak cerebrospinálnej tekutiny a následne spôsobiť až ruptúru okrúhleho alebo oválneho okienka (13). Upravené podľa Scarpa et al. (13).

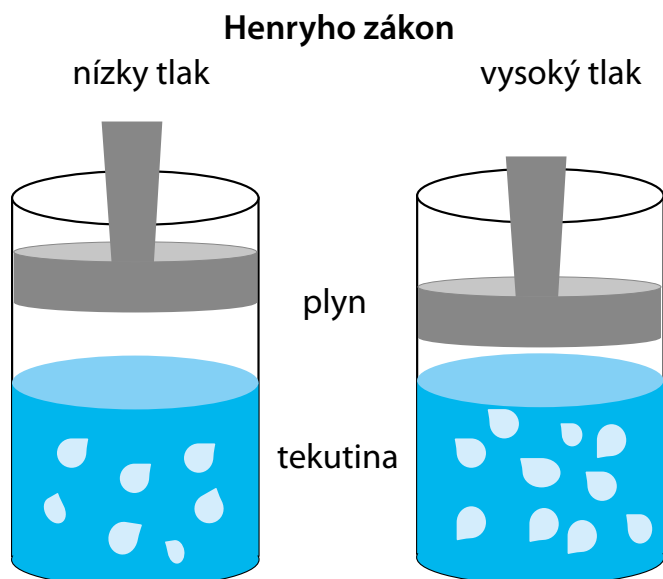
Schéma barotraumy vo vnútornom uchu



Tab. 1. Vzťah atmosférického tlaku, tlaku na palube lietadla a arteriálneho tlaku kyslíka u zdravých ľudí (16); upravené podľa Koh (16)

Výška		Atmosférický tlak		Tlak O ₂ na palube lietadla		Arteriálny tlak O ₂	
Stopy	Metre	mmHg	kPa	mmHg	kPa	mmHg	kPa
0	0	760	101	160	21,3	95 – 100	12,7 – 13,4
8 000	2 438	564	75	118	15,7	62 – 67	8,2 – 9

Obr. 6. Henryho zákon hovorí, že množstvo plynu rozpusteného v kvapaline je úmerné parciálnemu tlaku plynu nad kvapalinou; čím je nižší tlak, tým menej plynu môže zostať v roztoku a unikne bublinkami z neho von (15); upravené podľa Research (15)



S nadmorskou výškou klesá tlak, vzniká podtlak (opačne je to pri potápaní). Hypobarické prostredie na úrovni 2 438 m je cca 75 kPa, tiaž vzduchového stĺpca v nadmorskej výške s vplyvom gravitácie pri hladine mora cca 101 kPa (pozri tab. 1) (16). V lietadle je nižší atmosférický tlak s následným nižším atmosférickým parciálnym tlakom kyslíka (PO_2) s následným znížením alveolárneho (PAO_2) a arteriálneho (PaO_2) parciálneho tlaku kyslíka, čo vyvolá hypoxemickú ventilačnú reakciu. Dochádza k hypokapnii a následnému posunu disociačnej krivky kyslíka doľava so zvýšením afinity k hemoglobínu, čo má vplyv na prestup krvných plynov na úrovni bunky s hroziacou hypoxiou. Hypoxemická ventilačná reakcia je dôležitým aspektom aklimatizácie. Pokles PaO_2 vedie k hypoxickej stimulácii periférnych arteriálnych chemoreceptorov, ktoré sú pri normoxii potláčané centrálnymi chemoreceptormi reagujúcimi na zmenu oxidu uhličitého (CO_2). Periférne arteriálne chemoreceptory vyvolávajú rýchly nárast minútového dychového objemu do pár sekúnd až minút (reaktívna hyperventilácia). To spôsobí pokles PaCO_2 , ktorý stimuluje centrálny chemoreceptory snažiť sa kompenzovať znížený alveolárny parciálny tlak kyslíka (PAO_2). Hypokapnia vedie nielen k posunu disociačnej krivky kyslíka doľava. Vzniká respiračná alkalóza v arteriálnej krvi aj v mozgovomiechovom moku. Spočiatku alkalóza antagonizuje hypoxemickú ventilačnú reakciu. Organizmus si po niekoľkých hodinách až dňoch (aj viac ako 2 týždne) začne korigovať alkalózu vylučovaním bikarbonátu (HCO_3^-) obličkami, ako aj zvýšenými koncentraciami proteínových aniónov (ako napr. fosfát a albumín). Tieto procesy umožnia návrat dychového minútového objemu do predchádzajúceho stavu, dochádza k aklimatizácii, ktorú počas letu lietadlom zvyčajne nedosia-

hneme. Okrem iného, tlakové pomery na palube lietadla vplyvajú aj na pľúcnu cirkuláciu. Po reakcii na znížený PAO_2 nastáva do niekoľkých minút hypoxická pľúcna vazokonstrikcia kontrakciou buniek hladkej svaloviny v pľúcnom arteriálnom riečisku. Kontrakcia je modulovaná endotelom aj aktiváciou sympatiku. Je dvojfázová. Úvodná kontrakcia dosiahne maximum do 2 až 15 minút. Sekundárna kontrakcia nastáva medzi 30 – 60 minútami, čo spôsobí ďalšiu vazokonstrikciu pri pretrvávajúcej hypoxii. Pri „lokalizovanej“ hypoxii, napr. pri pneumónii, atelektáze, pri hladine mora, je táto reakcia prospešná, čiže lokálna vazokonstrikcia pri lokalizovanej hypoxii podmienená patologickým stavom koriguje nesúlad ventilácie a perfúzie. Pri alveolárnej hypoxii vo vysokej nadmorskej výške dochádza ku „globálnej“ vazokonstrikcii. Rozsiahla vazokonstrikcia zvyšuje pľúcnu vaskulárnu rezistenciu o 50 až 300 % s následným prudkým zvýšením pľúcneho arteriálneho tlaku (PAP), ktorý môže vyvolať výškovo špecifické patologické stavy (napr. HAPE – high-altitude pulmonary edema, vysokohorský pľúcny edém). Nárast PAP ešte podporuje aj fyzická námaha. Tlakové zmeny na palube lietadla majú vplyv aj na kardiovaskulárny systém. Pri hypoxii so stimuláciou periférnych arteriálnych chemoreceptorov so zvýšením aktivácie sympatiku dochádza aj k zvýšeniu srdcovej frekvencie (tachykardia, palpitácie), ktorá vyvolá zvýšený srdcový výdaj. Súbežne dochádza aj k systémovej vazodilatácii so stúpaním nadmorskej výšky. Antagonizuje sa zvýšeným tonusom sympatiku a zvýši sa krvný tlak (napriek prevládajúcej vazodilatácii). Pri zmenách barometrického tlaku s hypoxiou dochádza aj k renálnym a endokrinným zmenám. Navodí sa hypoxická diuretická odpoveď (natriuréza aj diuréza). Zvýši sa tak koncentrácia hemoglobínu, hematokrit. Pri dlhšom pobyte vo vysokohorskom prostredí dochádza k zvýšenej tvorbe erytropoetínu (niekoľko hodín po vzostupe), čím sa zvýši koncentrácia hemoglobínu, ako aj koncentrácia arteriálneho kyslíka a dodávkou kyslíka do tkanív (14).

U ľudí s tendenciou k hypoxii, u ľudí citlivých na hypoxiu (napríklad s respiračnými a kardiovaskulárnymi, aj neurologickými ochoreniami, s ťažkou anémiou s hemoglobínmiou pod 90 g/L) môže viesť ku kritickým situáciám. Hypoxia vedie k cerebrovaskulárnej vazokonstrikcii vplyvom tachypnogénne navodenej hypokapnie, k pulmoarteriálnej hypertenzii. Zvyšuje sa spotreba kyslíka myokardom pri kompenzačne zvýšenom minútovom objeme srdca (2). Je dôležité si uvedomiť, že sa sice začne zvyšovať tvorba erytropoetínu, ale aklimatizácia na hypoxemické prostredie nastáva až po 2 – 3 týždňoch pobytu v tomto prostredí. Hypoxémia indukuje pľúcnu hypertenziu a prehlbuje už existujúcu pľúcnu hypertenziu (možno doteraz nepoznanú). Hypoxemická pľúcna vazoaktivita u senzitivných pacientov môže viesť k akútnemu pľúcnemu edému. Okrem toho, sekundárnu hyperventiláciu prehlbuje aj anxieta z lietania a klaustrofóbia. Niektorí ich zaháňajú alkoholom pred aj počas letu, pričom samotný alebo užitý spolu s kávou vedie k dehydratácii. Navyše, tlakové zmeny vplyvajúce na ľudský organizmus počas potá-

pania sa v mori 24 hodín pred letom môžu ešte viac agravovať pľúcnu hypertenziu (2, 17). Vplyv hypoxémie opisuje obr. 7 a 8 (18, 19).

Akútnu hypoxiu počas letu do dvoch hodín nemusí pasažier so sklonom k hypoxémii, pľúcnej hypertenzii pociťovať. Po dvoch hodinách sa môže objaviť únava, zmenená fyzická a duševná výkonnosť, avšak počas letu bez nutnosti psychickej a fyzickej záťaže zväčša tieto ťažkosti cestujúci v lietadle prehliadajú alebo pripíše iným súvislostiam (2).

Myokardiálna ischemia u predisponovaných cestujúcich lietadlom vyplýva z viacerých príčin. Hypoxémia indukuje kompenzačné mechanizmy, vrátane sínusovej tachykardie, systémovej vazokonstrikcie, pľúcnej vazodilatácie, zvýšenej minútovej ventilácie. Stimuluje sa tak aktivácia sympatiku s následným zvýšením chronotropie a inotropie myokardu, zvyšuje sa krvný tlak. Zvyšuje sa vývrhová práca srdca, pričom hypoxia za danej situácie môže navodiť nežiaduce koronárne a arytmogénne komplikácie (16).

Elektrofyziológia myokardu býva u niektorých pasažierov s kardiovaskulárnymi ochoreniami zabezpečená implantovanými elektronickými prístrojmi (CIED – cardiac implantable electronic device) – kardiostimulátorom, defibrilátorom, implantovateľným slučkovým rekordérom (implantable loop recorder, ILR), ktoré zabezpečia pri ich normálnej funkcii svoju činnosť aj za fyzikálnych podmienok paluby lietadla. Pasažieri s implantovanými elektronickými prístrojmi by nemali mať kontrolu pred letom pre nežiaduci stres z alarmu pri detekcii kovu CIEDs (16).

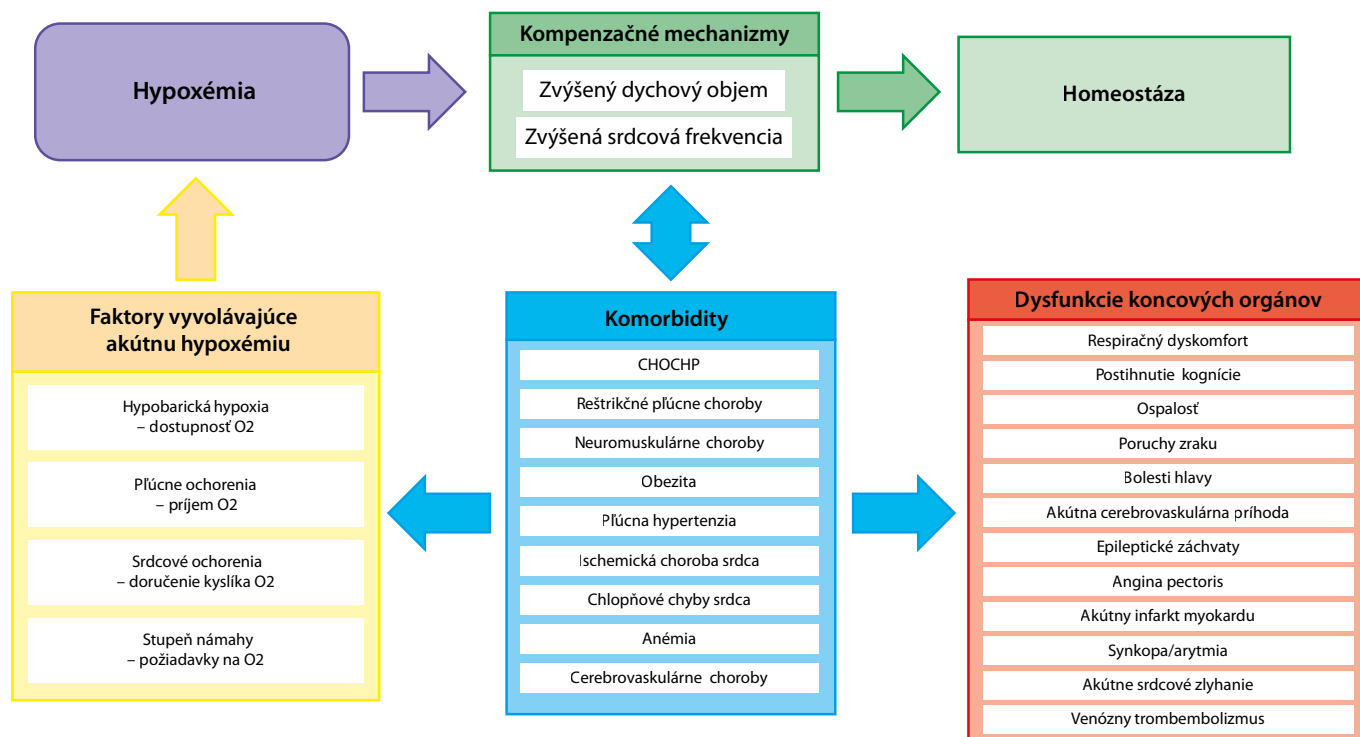
Systolické srdcové zlyhávanie s redukovanou ejekčnou frakciou (HFrEF) < 40 % predstavuje vysoké riziko vzniku urgentného stavu počas komerčného letu a let sa neodporúča, kontraindikuje. Hypoxia zhoršuje HFrEF, avšak neexistujú z etických dôvodov štúdie, ktoré by to priamo dokázali. Odráža sa to z klinických dát zo strany leteckých spoločností a reálnej praxe v nemocniciach. HFrEF rôznej etiológie (ischemická,

dilatačná, hypertenzívna alebo valvulárna) sa často kombinuje s ďalšími komorbiditami (16).

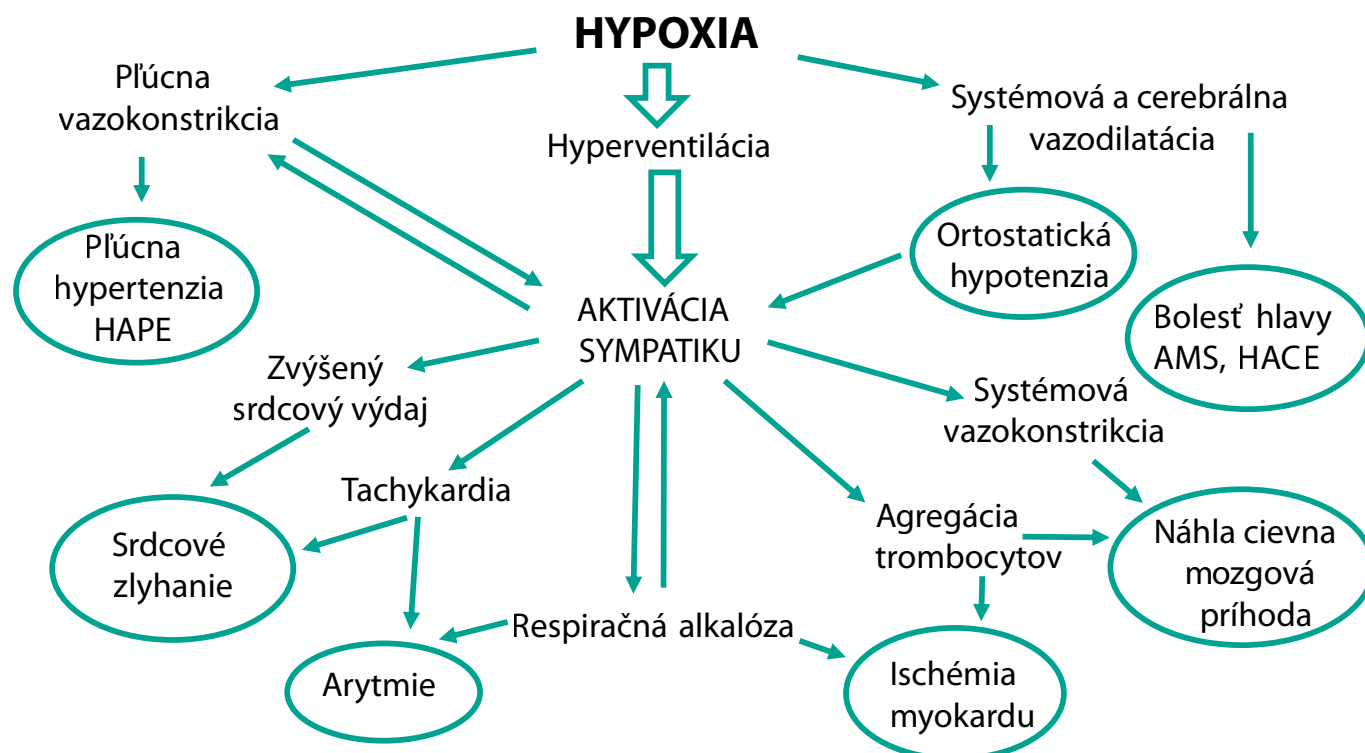
Trombembolické riziká a hemostáza

Hypobarické prostredie navyše aktivuje hemokoagulačný systém a naruší sa rovnováha medzi prokoagulačnými a fibrinolytickými faktormi (5, 6, 7). Dochádza k redukcii fibrinolytickej kapacity a k uvoľneniu relaxujúcich faktorov cievej steny, čo prehľbuje žilovú stázu (5, 6, 7). Tá je podmienená aj cestovaním s dlhším obmedzením mobility a sedením v úzkom priestore bez dostatočného pohybu (vysoké riziko sedenia pri okne, obmedzenie pohybu nôh pre príručnú batožinu uloženú pri nohách), či stláčaním podkolennej jamky u vysokých aj u nízkych (hranou sedadla, prekladanie nohy cez nohu) aj dehydratáciou (znížením príjmu vody, zníženou vlhkosťou na palube lietadla). Dlhým obmedzeným sedením v tzv. bezpečnostnej polohe so spustenými dolnými končatinami dochádza k priečnej kompresii popliteálnych vén hranou sedadla (20). Nedochádza k práci svalovej pumpy, a tým stagnuje krv v sínusoch žilových chlopní, najmä v lýtkových žilách. Riziková je aj svalová areflexia počas hlbokého spánku a cestovanie v noci, keď sa znižuje činnosť svalovej pumpy. Stav sa zhorší použitím sedatív alebo hypnotík v snahe odstrániť strach z letu, najmä v kombinácii s alkoholom. Po ceste trvajúcej aspoň štyri hodiny sa objem dolnej končatiny v oblasti predkolenia zväčší asi o 4 %. Rýchlosť krvného toku je ovplyvnená aj polohou tela. Pri zmene polohy z ležiacej do sediacej sa rýchlosť toku v dolných končatinách zníži asi o dve tretiny, v stojí asi o polovicu (21). Častejšie býva postihnutá ľavá dolná končatina a prevažuje výskyt trombózy vo femoro-popliteálnom úseku. Hypobarické prostredie aktivuje koagulačný systém 2 – 8-násobne viac, čím sa naruší rovnováha medzi prokoagulačnými faktormi a fyziologickou fibrinolýzou (26). Stav sa zhoršuje počas letu, keď chýba varovný signál dýchavice (6).

Obr. 7. Vplyv hypobarickej hypoxémie a kompenzačné mechanizmy (18); upravené podľa Nicholsona a Sznajdera (18)



Obr. 8. Dôležité fyziologické a patofyziologické účinky vplyvu hypoxie a ich potenciálne asociácie s klinickými stavmi, ktoré môžu vzniknúť najmä u predisponovaných jedincov (19)



Skratky: AMS – acute mountains sickness, akútna horská choroba; HACE – high-altitude cerebral edema, vysokohorský edém mozgu; HAPE – high altitude pulmonary edema – vysokohorský pľúcny edém; upravené podľa Bartschera (19)

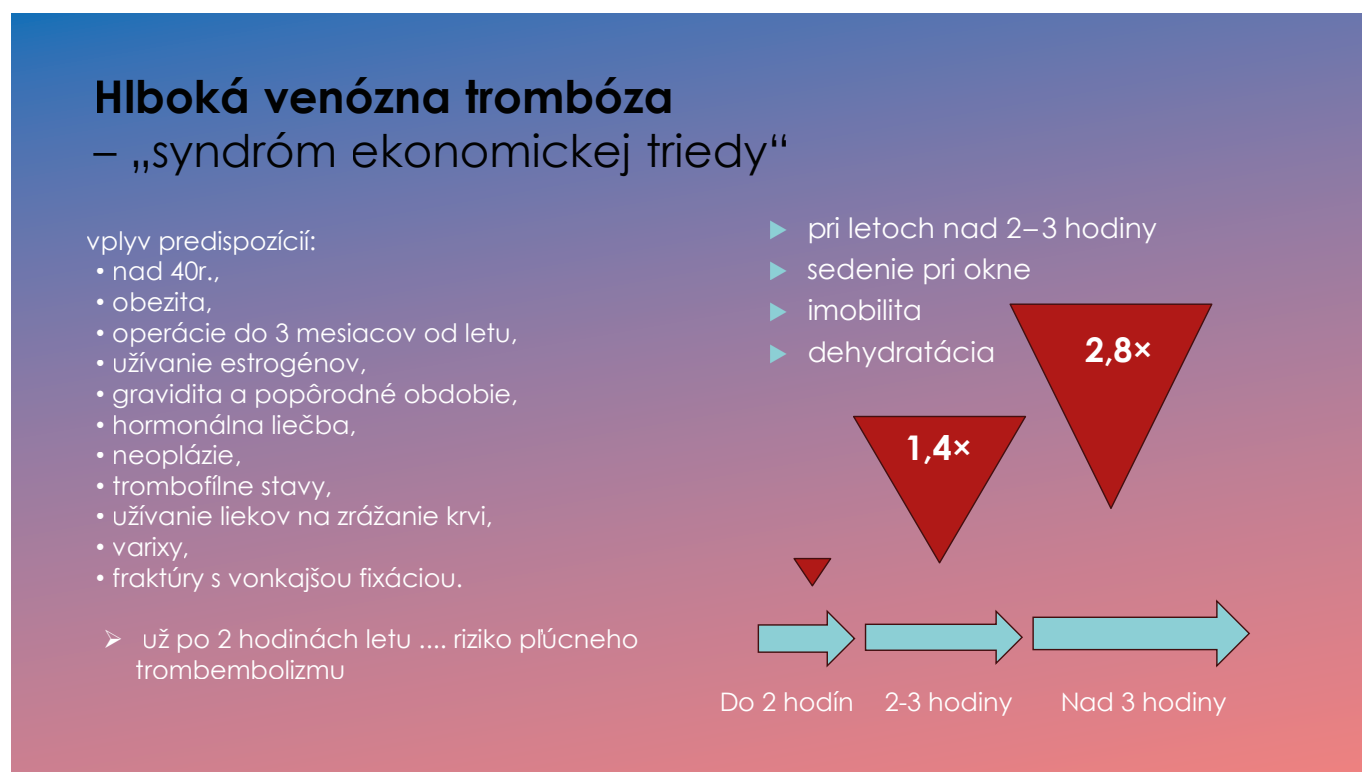
Okrem iného, každá dysfunkcia endotelu pri poškodení cievnej steny, napr. úrazom, zápalom, spôsobuje morfológické, kvantitatívne a kvalitatívne zmeny (21, 22). Pri poškodení hlbších cievnych vrstiev sa krvné elementy dostávajú do kontaktu so subendotelovo uloženým kolagénom, ktorý má výrazné protrombotické účinky (23, 24, 25, 26). Ďalšími nepriamymi predisponujúcimi faktormi k žilovej trombóze sú vyšší vek (nad 40 rokov), nadváha až obezita, gravidita (nad 28. týždeň tehotnosti treba certifikát s vyjadrením lekára k letu), užívanie hormonálnej antikoncepcie, predchádzajúce chirurgické výkony s vysokým rizikom trombózy, vrodené a získané trombofílie stavy, malígne choroby, kardiálna insuficiencia, metabolický syndróm X, edémové stavy, chronická žilová choroba dolných končatín (pozri obr. 9) (5, 26).

Zásady posúdenia na let

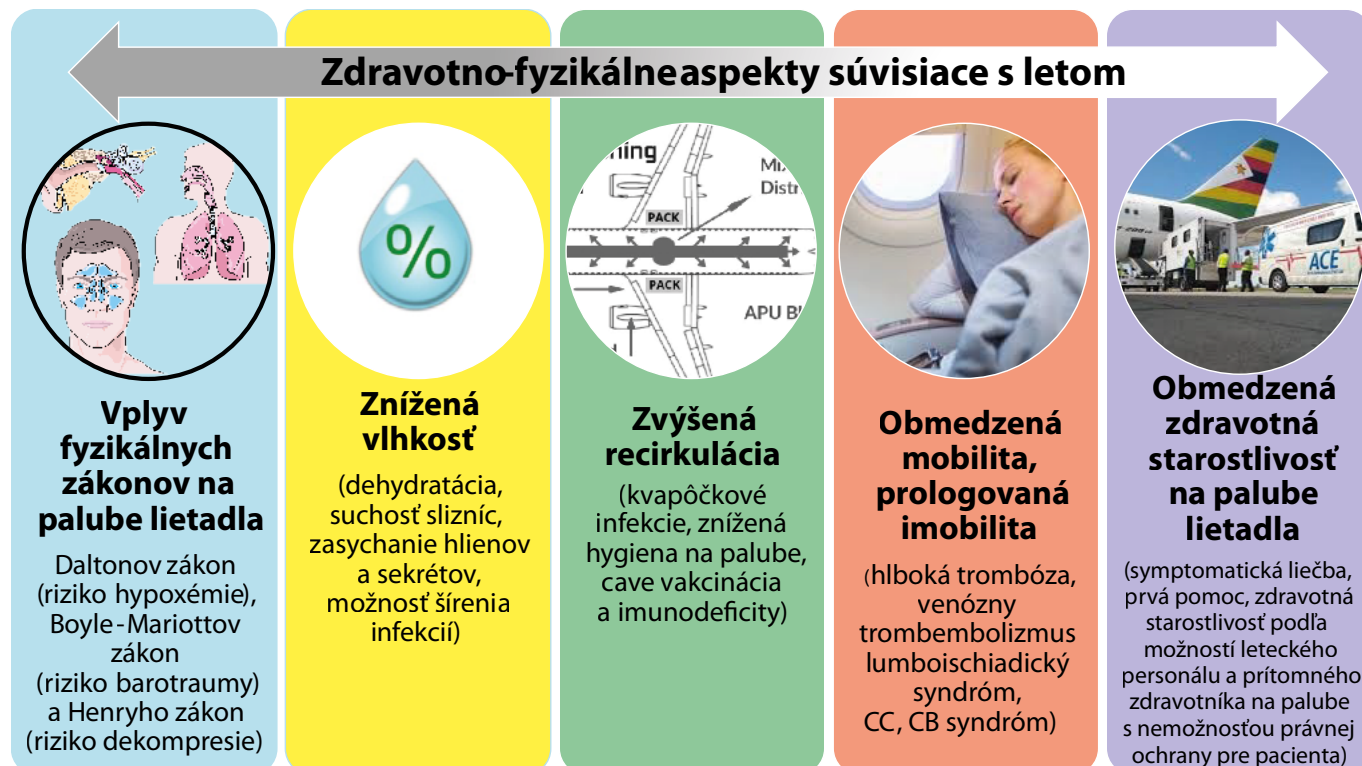
Všeobecné odporúčania pre pacientov uvádzajú najmä letecké spoločnosti na svojich internetových stránkach. BTS (British Thoracic Society) vypracovala smernice pre cestovanie lietadlom pre pneumológov (9). Takéto smernice majú aj iné odborné spoločnosti v zahraničí, napríklad kardiologické. Objektívne posúdenie spôsobilosti na let zahŕňa viaceré zdravotno-fyzikálne aspekty súvisiace s podmienkami na palube lietadla. Ich komplexnou analýzou pred plánovaným letom môžeme zistiť riziká letu, pripraviť sa na ne a predísť nežiaducim komplikáciám. Základné zdravotno-fyzikálne aspekty uvádza obr. 10. V prvom rade ich môže posúdiť praktický lekár, vie svojmu pacientovi podať základné informácie, posúdiť potrebu konzultácie s vybranými klinickými špecialistami. Ide najmä o pacientov s chronickými kardiopulmonálnymi aj neurologickými

ochoreniami s rizikom hypoxémie a možnosťou indikovať kyslíkovú liečbu počas letu pneumológom, najčastejšie po realizácii hypoxémie simulujúceho testu (HCT, hypoxemic challenge test) (9). U predisponovaných jedincov vieme posúdiť riziko venózneho trombembolizmu a indikovať adekvátnu liečbu a odporúčania (5, 6, 7, 8). U pacientov s akútnou infekciou alebo akútnou exacerbáciou chronických ochorení indikujeme odklad letu. Je nutné posúdiť riziká letu u pacientov po operačných, intervenčných a aj endoskopických zákrokoch, kde prítomnosť vzduchových kolecií môže spôsobiť barotraumu. Tú môže spôsobiť aj nedostatočne liečebne zvládnutá alergická či infekčná rinosinusitída, absces zubu, aj iné ohrozené formácie s prítomnosťou vzduchu. Prostredie lietadla ako ohrozeného priestoru komplikuje zdravotný stav u ľudí napríklad so sklonom ku hyperventilácii alebo klaustrofóbie, ale aj s imunodeficitom. Nízka vlhkosť vzduchu výrazne zvyšuje riziko exacerbácií chronických pľúcnych ochorení (napríklad CHOCHP, bronchiálna astma), prípadne ho môže kontraindikovať (napríklad cystická fibróza, bronchiektázie) (9). Takisto poučenie o podávaní chronickej medicíny, napríklad u diabetických pacientov, či nutnosť dostatočnej hydratácie počas letu môže zohrávať kľúčovú úlohu bezproblémového zvládnutia letu. Komplexnosť posúdenia rizík spojených s letom je preto nanajvyš potrebná a nemala by sa zanedbávať, nakoľko komplikácie s nimi spojené môžu výrazne skomplikovať až ohroziť na živote cestujúceho pacienta nielen počas letu, ale aj po ňom. Minimálne tri dni pred odletom by mal cestujúci s rizikovým stavom, chorobou, potrebou medicíny a inej nemedikamentózne liečby (napríklad inzulínovej alebo potreby oxygenoterapie) či požiadavky (napríklad ohľadom di-

Obr. 9. Najčastejšie rizikové faktory hlbokéj venóznei trombózy počas letu (26)



Obr. 10. Zdravotno-fyzikálne aspekty súvisiace s letom



ety a mobility) vypísaním leteckého formulára elektronicky požiadať danú leteckú spoločnosť o požiadavky v liečbe, či jej sledovaní. Každý rizikový pacient by mal myslieť na včasné vybavenie európskeho preukazu zdravotného poistenia, ktorý vydávajú národné zdravotné poisťovne, a komerčné poistenie so zameraním aj na jeho diagnózu (v špecifických prípadoch aj poistenie nákladov na repatriáciu).

Záver

Hypoxická hypoxémia v hypobarickom prostredí paluby lietadla je riziková pre chorých ľudí so sklonom k hypoxémii, ťažkou anémiou aj s primárnou alebo sekundárnou pľúcnou hypertenziou. Vedieť, ako sa správať pred odletom znamená vedieť, ako sa starať, kedy sa naposledy potápať v mori, objektívne posúdiť zdra-

votné riziká spojené s pôsobením fyzikálnych zákonov o plynch (Daltonov, Boyle-Mariottov a Henryho zákon) a ďalších podmienok na palube lietadla, predvídať ich a zabezpečiť riešenie možných

zdravotných komplikácií už pred letom. Poznanie všetkých aspektov a ich rešpektovanie zaručuje zníženie rizík súvisiacich s leteckou dopravou.

PROHLÁŠENÍ AUTORŮ: Prohlášení o původnosti: Práce je původní a nebyla publikována ani není zaslána k recenznímu řízení do jiného média. **Střet zájmů:** Žádný. **Financování:** Ne. **Poděkování:** N/A. **Registrace v databázích:** N/A. **Projednání etickou komisí:** N/A.

LITERATÚRA

- Hodkinson PD, Smith TG. Implications of the hypobaric cabin environment during commercial air travel for passenger fitness to fly. *Thorax*. 2024;79(10):897-898. <https://doi.org/10.1136/thorax-2024-221468>. PMID: 39153861.
- Franzen D, Seiler O. Der Patient als Flugpassagier. *Schweiz Med Forum*. 2008; 8(38):898-704.
- Boyle's law. NASA. Available from <https://www.grc.nasa.gov/www/BGH/boyle.html>
- Wet van Dalton. Available from https://nl.wikipedia.org/wiki/Wet_van_Dalton
- Bendz B, Rostrop M, Sevre K, Andersen TO, Sandset PM. Association between acute hypobaric hypoxia and activation of coagulation in human being. *Lancet*. 2000;356(9242):1657-1658. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(00\)03165-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(00)03165-2). PMID: 11089830.
- Schreijer AJ, Cannegieter SC, Meijers JC, Middeldorp S, Büller HR, Rosendaal FR. Activation of coagulation system during air travel: a crossover study. *Lancet*. 2006;367(9513):832-838. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(06\)68339-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(06)68339-6) PMID: 16530577.
- Malý J, Widimský J. Prevence plicní embolie a žilní trombózy. In: Widimský J, Malý J, et al. Akutní plicní embolie a žilní trombóza. Praha: Triton. 2002;24-25, 234.
- Musil, D. Žilní onemocnění na cestách. *Medical Tribune*. 2019. <https://www.tribune.cz/archiv/zilni-onemocneni-na-cestach/?articleNavigation=1&titleVolumeContent=1>
- Coker RK, Armstrong A, Church AC, Holmes S, Naylor J, Pike K, Saunders P, Spurling KJ, Vaughn P. BTS Clinical Statement on air travel for passengers with respiratory disease. *Thorax*. 2022;77(4):329-350. <https://doi.org/10.1136/thoraxjnl-2021-218110>. Epub 2022 Feb 28 PMID: 35228307; PMCID: PMC8938676.
- Muhm JM, Rock PB, McMullin DL, Jones SP, Lu IL, Eilers KD, Space DR, McMullen A. Effect of aircraft-cabin altitude on passenger discomfort. *N Engl J Med*. 2007;357(1):357:18-27. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa062770> PMID: 17611205.
- Siedenburg J. Aktuelle Empfehlungen zur Flugreisetauglichkeit. „Herr Doktor, darf ich fliegen?“. *MMW Fortsch Med*. 2001;143(19):22-28.
- Nicholson TT, Sznajder JL. Fitness to Fly in Patients with Lung Disease. *Ann Am Thorac Soc*. 2014;11(10):1614–1622. <https://doi.org/10.1513/AnnalsATS.201406-234PS> PMID: 25393882.
- Scarpa A, Ralli M, De Luca P, Gioacchini FM, Cavaliere M, Re M, Cassandro E, Cassandro C. Inner ear disorders in scuba divers: a review. *J Int Adv Otol*. 2021; 17(3):260-264. <https://doi.org/10.5152/jao.2021.8892>. PMID: 34100753; PMCID: PMC9450052.
- West JB. High-Altitude Medicine. *Am J Respir Crit Care Med*. 2012;186(12):1229–1237. doi: 10.1164/rccm.201207-1323CI. Epub 2012 Oct 26.
- Henry's law. Available from https://www.researchgate.net/figure/Henrys-law-at-a-constant-temperature-the-amount-of-dissolved-gas-in-a-liquid-is_fig2_352147682
- Koh CH. Commercial Air Travel for Passengers With Cardiovascular Disease: Stressors of Flight and Aeromedical Impact. *Curr Probl Cardiol*. 2021;46(3):100746. <https://doi.org/10.1016/j.cpcardiol.2020.100746> Epub 2020 Nov 2. PMID: 33213942; PMCID: PMC8514285.
- The International Air Transport Association (IATA) – home. Available from <https://www.iata.org/>
- Nicholson TT, Sznajder JL. Fitness to Fly in Patients with Lung Disease. *Ann Am Thorac Soc*. 2014;11(10):1614–1622. <https://doi.org/10.1513/AnnalsATS.201406-234PS> PMID: 25393882.
- Burtscher M, Mairer K, Wille M, Gatterer H, Ruedl G, Faulhaber M, Sumann G. Short-term exposure to hypoxia for work and leisure activities in health and disease: which level of hypoxia is safe? *Sleep Breath*. 2012;16(2):435-442. doi: 10.1007/s11325-011-0521-1 Epub 2011 Apr 16. PMID: 21499843.
- Parsi K McGrath MA, Lord RSA. Traveller's venous thromboembolism: a review of world literature a survey of world airlines and Australian perspectives. *Autr N Zealand J Phlebo-log*. 2021;5:32-53. [https://doi.org/10.1016/s0967-2109\(00\)00116-2](https://doi.org/10.1016/s0967-2109(00)00116-2). PMID: 11250182.
- Rusnáková H. Trombóza cestovateľov. *Via practica*, Bratislava: SOLEN. 2012;9(2): 54-56. ISSN 1336-4790.
- Gavorník P. Všeobecná angiológia. Angiologická propedeutika. Cievne choroby. 2. rozšírené a doplnené vydanie. Bratislava: Univerzita Komenského - Vydavateľstvo UK.2001;268 s. ISBN10: 8022316083 ; ISBN13: 9788022316088.
- Gavorník P, Dukát A. Endotel a jeho dysfunkcia - etiopatogenéza, diagnóza, prevencia a liečba - mimoriadne aktuálny klinický problém v oblasti cievnych chorôb. *Prakt Lek*. 2003;83(1):6-12. <https://www.internimedica.cz/pdfs/int/2008/05/04.pdf>
- Labaš P. Intervenčná liečba chronickej žilovej insuficiencie. 1. vyd. Bratislava: Vyd. Polygrafia SAV. 1999; 95 s. ISBN 80-88780-28-4.
- Lauková D. Lietadlom na dovolenku – pohľad pneumológa. 57. Nitrianske lekárske dni. 23.-24.10.2024. https://lekarskedni.sk/wp-content/uploads/2024/10/57-NLD-Oficialny-program-5_compressed.pdf.