OČNÍ OPERACE S INTRAOPERATIVNÍM PLYNEM A JEJICH VHODNOST PRO POUŽITÍ PŘI PŘÍSTROJOVÉM POTÁPĚNÍ

Jednou z největších výzev při přístrojovém potápění je předcházení nehod souvisejících s přítomností plynu v lidském těle. Zatímco tekutiny obsažené v těle je prakticky nemožné komprimovat, plyny reagují na změny tlaku v tkáních změnou svého objemu.
Čím vyšší je v tkáni tlak, tím více se snižuje objem plynů v ní obsažený, přičemž je patrná tendence k rozpuštění se do organických kapalin.

Při snížení tlaku tkáně se naopak objem plynů zvětšuje a nastává opačná tendence, t.j. proměna z kapalného stavu do skupenství plynného (např. tvorba bublinek při dekompresi). Tento proces je příčinou tzv. "nemoci z dekomprese".
Kde se nacházejí plyny v těle za normálních podmínek?
Potápěči to vědí velmi dobře: v plicích, v dýchacích cestách, ve středním uchu, v paranazálních dutinách, ve střevech atd. Za některých neobvyklých podmínek je však plyn přítomen i v částech těla, kde by za normálních okolností být neměl. Když ponecháme stranou patologické stavy, bývá příčina neobvyklé přítomnosti plynu iatrogenní, t.j. vyvolaná určitými zdravotními postupy.

Plyny se také používají pro diagnostické a terapeutické účely. Při stanovování diagnózy se plyny někdy používají v radiologii, např. při vyšetřování tlustého střeva.
K terapeutickým účelům se plyny používají během některých chirurgických zákroků, jako příklady lze uvést zákroky abdominální (břišní), gynekologické a oční. V těchto případech se může ukázat přítomnost plynu v pooperačním období jako kontraindikace vůči přístrojovému potápění.
V tomto článku se budeme věnovat použití plynu při očních operacích, zvláště při vitreo-retinálních chirurgických postupech a jak může poooperační situace přinutit pacienty snížit rozsah svých potápěčských činností. Pro snadnější pochopení této tématiky se vyhneme používání matematických vzorců a vysvětlíme některé fyzikální pojmy, jejichž význam někdy bývá poněkud nejasný.

Historie:
První pozorování plynové bubliny ve zvířecím oku spadají do roku 1607. Robert Boyle vytvořil hyperbarickou komoru a vkládal do ní různá zvířata. Mimo jiné zde vystavil dekompresi i zmiji a, i když v jejím oku zpozoroval bublinu, neuměl si vysvětlit, čím vlastně byla apříčiněna.
Ve skutečnosti lze tento pokus považovat za první příklad laboratorně vyvolané dekompesní nemoci v dějinách lékařství.
Praktické používání plynu v oční chirurgii sahá do začátku minulého století. První pokus s použitím intravenózního plynu při léčbě odchlípnuté sítnice se uskutečnil v roce 1909. Použitým plynem byl vzduch.
V druhé polovině minulého století začali oční chirurgové používat vzduch při chirurgických zákrocích na zdeformované bělimě při řešení odchlípnuté sítníce. Následovalo dlouhodobé (a stále existující) používání čistých plynů a plynných směsí při operacích v případech vitreo-retinálních poruch, zvláště při pneumatické retinopexii a vitrektomii.

Používání plynu v oční chirurgii dnes
Při operacích přední části oka, hlavně při šedém a zeleném zákalu, je jediným používaným plynem vzduch. Použití plynu při těchto chirurgických zákrocích je v současné době již dosti vzácné, neboť v

moderní chirurgické praxi byl vzduch nahrazen různými materiály s vhodnými viskózními a pružnými vlastnostmi. Funkcí plynu v těchto případech je vytvořit prostor a získat prostředek k oddělení intraokulárních struktur, které musí chirurg operovat.
Vzhledem k tomu, že množství plynu použitého v přední komoře je velmi malé, reabsorbuje se tento plyn během jednoho až dvou dní, a proto nečiní žádné problémy těm pacientům, kteří se rozhodnout věnovat se přístrojovému potápění ihned, jakmile se zahojí peračí rána. Je však nutno dodat, že i když se v oku již žádný plyn nenachází, doporučuje se počkat s potápěním alespoň 2 měsíce, aby se vyhnulo infekcím operační rány nebo nárazům na ni.

Operace zadní části oka
Dlouhodobě přetrvávající plyn uvnitř oka může způsobit vážné problémy těm pacientům, kteří jsou příliš nedočkaví a chtějí se vrátit k přístrojovému potápění co nejdříve.
Tyto plyny se používají ve vitreoretinální chirurgii, zvláště při chirurgických zákrocích majících vyřešit odchlípnutou sítnici nebo chorobnou oční skvrnu.
V těchto případech není důvodem pro použití plynu “vytvořit prostor” nebo pomoci nahlédnout na intraokulární struktury (což by naopak ztěžovalo jejich rozpoznání a určení), účelem je tzv. tamponování. Tamponování znamená aplikaci tlaku plynu na sítnici tak, aby se dosáhlo jejího “návratu” do přirozené polohy, jestliže došlo k jejímu odchlípení.

Odchlípení sítnice je stav, kdy se sítnice oddělila od stěny oka, ke které za normálního stavu připojena. Pro snadnější vysvětlení a lepší pochopení této situace si představme oko jako nějakou místnost. Vnitřní stěny místnosti jsou pokryty tapetou. Protržení tapety je nejvhodnějším přirovnáním porušení sítnice.
Jestliže se tapeta protrhne, začne trhlinou prostupovat vlhkost a odlepovat tapetu od stěny dál a dál. Příčiny porušení/protržení sítnice spočívají v odchlípení sklivce, což je fyziologický stav, který většinou postihne lidi až po překročení určitého věku. Není potřeba zacházet do přílišných podrobností v této poměrně složité problematice, ale je nutno říci, že v některých případech může tento stav vést až k protržení sítnice s dalšími následnými trhlinami různého stupně závažnosti. Většinu trhlin v sítnici nezpůsobuje její odchlípení. Mnoho z nich lze řešit laserem, jestliže oční lékař usoudí, že jsou nebezpečné a mohly by následně zapříčinit odchlípení sítnice (obrázky 1 a 2).

Některé jiné stavy sítnice, při kterých rovněž hrozí následné protržení, lze také řešit laserem. Když se však trhlina vyvine až v odchlípení sítnice, vytvoří se mezi sítnicí a stěnou oka prostor naplněný kapalinou a ta brání normální metabolické výměně mezi sítnicí a cévnatkovou vrstvou bohatou na žilky a cévy, odkud se zajišťuje výživa sítnicových nervových buněk. Jestliže se prvotní odchlípení neléčí, začne se rozšiřovat na celou sítnici, což způsopuje slepotu. Účelem chirurgických zákroků s cílem odstranit odchlípení sítnice je uzavřít její protržení a umožnit, aby se zpětně vstřebala kapalina nacházející se pod sítnicí.

Uzavření trhliny v sítnici lze provést tzv. episklerálním chirurgickým zákrokem, při kterém se na vnější stěnu oka umístí nějaký vsuvný prvek (zpravidla z houbovité nebo silikonové pryže). Takto se stěna oční bulvy přitlačí na sítnici zvnějšku a trhlina se uzavře. Uzavření trhliny v sítnici však lze dosáhnout i zevnitř tzv. vitreoretinální operací, při níž se pomocí speciálních nástrojů odstraní sklivec a poté se použije nějaký tamponovací materiál (plyn nebo kapalina), který tlačí sítnici zevnitř proti stěně oka, čímž se trhlina uzavře a umožní opětovné vstřebání kapaliny pod sítnicí. Vývoj těchto chirurgických postupů řešících odchlípení sítnice vedl k nárůstu používání plynu při prováděných operacích.

V posledních několika letech začali chirurgové v některých vybraných případech používat minimálně invazivní postup zvaný pneumatická retiniopexie, jejíž podstata spočívá v injekčním vstříknutí plynu do oka

s následným laserovým zásahem do sítnicové trhliny (příčiny odchlípení sítnice).
Tímto způsobem se vyřeší odchlípnutí sítnice bez použití chirurgických nástrojů, a sice vstřiknutím plynu, který tlačí sítnici na stěnu oka a tak ji k ní znovu připojí. Plynová bublina má pak tendenci "vznést se", to znamená, že vystoupá a setrvává někde v nejvyšší části oka (viz obr. 2).

Když pacient leží, tlačí bublina na krystalickou čočku. Když pacient stojí nebo vzpřímeně sedí, tlačí bublina na sítnici směrem od horní části oka.
Proto je nutné, aby pacient během prvních 24-36 hodin po operaci zůstal v poloze, o které rozhodne chirurg, neboť bublina musí tlačit na správnou oblast (kde se nachází trhlina) a kde došlo k odchlípnutí sítnice. Všeobecně pak platí, že během jednoho měsíce se plyn vstřiknutý do oka zcela vstřebá do ostatních očních tkání.

Jak dlouho zůstává plyn v oku po operaci
Různé plyny zůstávají v oku různě dlouhou dobu. Po injekčním vstřiknutí plynu do oka se aplikovaný objem u vzduchu nezmění, avšak objemy jiných plynů, jakými jsou např. sulfur exafluoride nebo perfluorocarbon se první dny po operaci zvětšují a následně se postupně zcela vstřebají.
Když je původní expanze plynu nežádoucí, vstřikuje se do oka namísto nějakého čistého plynu spíše směs různých plynů se vzduchem, přičemž se složení takové směsi pečlivě propočítá, aby nedošlo k expanzi uvnitř oka.

Ať již se použije čistý plyn nebo nějaká plynná směs, po několika dnech od operace začíná vstřebávání plynu do tkání a tím se zmenšuje rozměr intraokulární bubliny.
Celková doba potřebná pro úplné vstřebání bubliny se liší podle druhu použitého plynu. Někdy je pro tamponování oka zapotřebí 3 až 4 týdnů. Všobecně však lze říci, že o něco déle než jednom měsíci se do očních tkání beze zbytku vstřebá jakýkoliv druh plynu.

Intraokulární tlak
Intraokulární tlak obvykle měří oční specialista přístrojem zvaným tonometr. Intraokulární tlak (který by se měl správněji nazývat relativním intraokulárním tlakem) vzniká rozdílem mezi absolutním tlakem uvnitř oka a absolutním tlakem vzduchu.
Tlak mezi 10 až 20 mm rtuťového sloupce se považuje za normální. To znamená, že absolutní tlak uvnitř oka je o 10 až 20 mm rtuťového sloupce vyšší než absolutní atmosférický tlak vzduchu.
Když se na operačním sále aplikuje do oka nějaký plyn, stoupne intraokulární tlak na několik hodin, poté se tento tlak stabilizuje a postupně se vrátí na 10-20 mm rtuťového sloupce, neboť mezi plynovou bublinou a očními tkáněni probíhá pomalá výměna plynů. Jak si ukážeme za chvíli, když je v oku přítomna plynová bublina, rychlé změny vnějšího tlaku (např. při potápění nebo létání) vyvolávají změny intraokulárního tlaku.

Ve skutečnosti platí, že intraokulární plynová bublina se nemůže do tkání vstřebat dostatečně rychle. Jak jsme se již zmínili, zntraokulární tlak vzniká rozdílem mezi absolutním vnitřním tlakem a tlakem vnějším. Za přítomnosti intraokulární plynové bubliny platí následující:
Jestliže se vnější tlak snižuje (např. během letu), intraokulární tlak se zvyšuje. A naopak, je-li v oku přítomná plynová bublina a vnější tlak se zvyšuje (např. během potápění), intraokulární tlak se snižuje. Zvýšení intraokulárního tlaku je nebezpečné kvůli možnému poškození, které by mohla expandující plynová bublina způsobit na intraokulární struktuře svým zvětšeným objemem. Snížení intraokulárního tlaku je rovněž nebezpečné kvůli stlačování tkání oční bulvy (která v takovém případě měkne).

Intraokulární tlak a přístrojové potápění

Nejdříve se podívejme na potápění bez ochráněných očí nebo s kontaktními čočkami, ale bez potápěčské masky. Během sestupu pod vodu působí vnější tlak vody na oční tkáně.
V tomto případě odpovídá vnější tlak vody vnitřnímu tlaku ve všech částech oka. Intraokulární tlak (relativní) – jak jsme jej popsali dříve – má tendenci zůstat stejný, ale absolutní ntraokulární tlak stoupá oproti tlaku nahoře na hladině vody.
Hyperbarická atmosféra vede ke zmenšení objemu plynové bubliny vpravené do oka před ponorem, což vede ke zborcení oční stěny s možným poškozením intraokulárních struktur. Při přístrojovém potápění se však používají masky naplněné vzduchem. Kvůli vzduchové bublině v masce se skutečný vnější tlak působící na oko vypočítává jen obtížně. Rozhraní mezi vzduchem a obličejem potápěče v masce je rozhodujícím bodem pro stanovení skutečného tlaku.

Jestliže se tlak vzduchu před očima potápěče nezvýšil "kompenzačním manévrem pro vyrovnání tlaku v masce", pak je tlak v masce nižší než tlak okolní vody. Výsledkem je "sání", tzv. smrštění masky. Oční a obličejové tkáně mající vyšší tlak než je tlak v masce mají tendenci vtlačovat se do masky.
Tento jev je ve světě přístrojového potápění známý jako „smršťování masky''. Někdy má za následek i deformaci a posun očních tkání směrem do masky s možným edémem a dokonce i krvácením.
Oproti situaci na hladině se při sestupu pod vodu významně zvyšuje rozdíl mezi tlakem v krevních cestách a intersticiálních (meziprostorních) tkáních a tlakem vzduchu v masce.

Proto dochází při potápěčských nehodách, při kterých není tlak v masce správně komprimován, k poškození oční oblasti, což bývá provázeno bolestmi a podspojivkovým krvácením. Naštěstí k poškození a krvácení uvnitř oka dochází jen zřídka. U potápěče pod vodou, který má v oku plynovou bublinu a tlak v jeho masce je stejný jako vnější tlak vody, se intraokulární plynová bublina zmenšuje stejným způsobem jako ve shora uvedeném příkladu nechráněného oka a oko se může zbortit.
Rozdíly tlaku uvnitř masky oproti rozdílům vnějšího tlaku vody mohou vyvolat změny objemu plynu uvnitř oka. V případě "smrštěné masky" je tlak v masce (a tedy i tlak na oko) nižší než tlak vody, což může způsobit zvětšení objemu intraokulární plynové bubliny.

To může mít za následek roztažení bulvy a její posun směrem ke krystalické čočce a dalším očním strukturám. Opak možný není, neboť když by byl tlak v masce (a tedy i tlak na oko) vyšší než tlak vody, vedlo by to k úniku vzduchu z masky a vyrovnání tlaku v masce tak, aby se shodoval s tlakem vnějším.
Vzhledem k těmto fyzikálním a fyziologickým zákonitostem se nedoporučuje potápět se tak dlouho, dokud v oku zůstává plyn po jakémkoliv chirurgickém zákroku. Toto doporučení bývá také uvedeno na instruktážním listě od výrobců plynových lahví používaných při chirurgických zákrocích tohoto druhu.

Intraokulární tlak a létání
Potápěči věnující se přístrojovému potápění často cestují na velké vzdálenosti do velmi vzdálených destinací. Je-li v oku přítomný intraokulární plyn, je pro takové oko létání nebezpečné. Tlak vzduchu v kabině letadel bývá stejný jako atmosférický tlak ve výšce 1 500 metrů nad mořem.
Absolutní intraokulární tlak, jak jsme se o něm zmínili již dříve, zůstává zpravidla stejný, ale relativní tlak (t.j. v porovnání s vnějším) se zvyšuje oproti tlaku na letišti, z kterého letadlo startovalo (samozřejmě v případě, že letiště leží níže než 1 500 metrů nad mořem).
To vede na palubě letadla k expanzi plynové bubliny vpravené za pokojového tlaku (v operačním sále) při atmosférickém tlaku zpravidla blízkém tlaku na hladině moře (tedy při vyšším tlaku). Takto expandující plynová bublina může způsobit intraokulární poškození posunem a stlačením intraokulárních tkání. Proto by se osoba mající v oku plynovou bublinu měla létání vyhnout.

Vhodnost pro přístrojové potápění
Léčba sítnicových trhlin laserem

Potápěči se často na tento postup vyptávají a chtějí o něm znát více informací. V některých případech tato praxe souvisí se zavedením plynu (při pneumatické retinopexii), což bude v tomto článku diskutováno později. Ve většině případů se však laserové zákroky provádějí bez zavádění plynu do oka.
Jedná se o profylaktickou léčbu sítnicových trhlin, která se provádí za účelem prevence proti skutečnému odchlípnutí sítnice. V některých případech lze laserem řešit (ohraničit) i malé lokalizované odchlípení, kdy se zablokuje jeho rozšíření na ostatní části sítnice a tím se zabrání dalšímu poškození.

Při některých chirurgických postupech řešících odchlípení sítnice se používá laser poté, co se sítnice znovu připojila pomocí episklerální nebo intraokulární chirurgické metody (pomocí vitrektomie nebo pneumatické retinopexie). Při použití laseru jde ve všech případech o vyvolání mikroskopického popálení sítnice, po kterém jizva vytvořená hojením blokuje prosakování kapaliny z vitrea do oblasti pod sítnicí.
Jestliže nebyl do oka vpraven plyn, tak po laserovém zásahu za účelem uzavření sítnicových trhlin nebo kvůli degeneraci sítnice, která nebyla odchlípená, neexistuje vůči přístrojovému potápění žádná kontraindikace. Samozřejmě je nutno vyhnout se očnímu traumatu nebo nadměrné námaze po dobu asi 3 týdnů od operace, dokud se zcela nezahojí jizva na sítnici. A během potápění je rovněž nutno se vyhnout ''smršťování masky''.

Operace očních zákalů, pneumatická retinopexie, vitrektomie, episklerální chirurgie při odchlípení sítnice

Jako preventivní opatření se doporučuje vyhnout se potápění a cestování letadlem po dobu asi 2 měsíců od podrobení se těmto chirurgickým zákrokům.
Během takto dlouhé rekonvalescence se plyn použitý při operaci bezpečně vstřebá do oční tkáně. K přístrojovému potápění a k letání je možno se vrátit i dříve, ale až poté, co k tomu dá svolení oční specialista, to jest v případech, kdy při operaci nebyl do oka plyn vůbec vpraven, nebo když oční specialista zjistí, že žádný plyn se již v oku nenachází a operační rána se zcela zahojila.

Fig. 1	Fig. 2	Fig. 3

Poděkování

Zvláštní poděkování patří Diego Dickovi,Giorgio Orlandellimu a doktoru Paolo Perosovi z potápěčského střediska Cala Lunga v La Maddalena za jejich pomoc při sestavování tohoto článku.