Oftalmologie 1-012 10.4.2012 13:08 Str. 3
proLékaře.cz | 14.12.2026

SOUBORNÝ REFERÁT

PLYNY VO VITREORETINÁLNEJ CHIRURGII

Jančo L., Vida R., Bartoš M., Villémová K., Izák M.
II. očná klinika SZU, FNsP F. D. Roosevelta, Banská Bystrica,
prednosta MUDr. Mária Molnárová, PhD.

SÚHRN

Cieľ: Cieľom práce je zhodnotiť význam a výhody použitia plynov vo vitreoretinálnej chirurgii.

Materiál a metodika: Plyny predstavujú širokú skupinu látok používaných v mikrochirurgii oka už viac ako 100 rokov. Úloha vnútroočných plynov vo vitreoretinálnej chirurgii je nenahraditeľná, dodnes je ich použitie považované za „zlatý štandard". Dôležitým krokom v chirurgii oka bolo zavedenie použitia expanzných plynov – sulfur hexafluoridu a perfluoropropánov do bežnej klinickej praxe. Najčastejšími indikáciami pre použitie vnútroočnej tamponády sietnice plynom sú: odlúpenie sietnice, idiopatická diera makuly, komplikácie vo vitreoretinálnej chirurgii a ďalšie.

Výsledky a Závery: Zavedenie plynov do rutinnej klinickej praxe spolu s ďalšími modernými chirurgickými technikami spôsobilo výrazné zlepšenie pooperačných výsledkov v širokej škále ochorení oka. Pochopenie princípov a možností použitia plynov prináša výhody pre pacienta aj pre lekára. Vďaka ich fyzikálnym a chemickým vlastnostiam predstavujú doteraz najlepší a najvhodnejší variant vnútroočnej tamponády. Napriek tomu plyny so sebou prinášajú aj určité nevýhody, ako sú obmedzené možnosti detailne vyšetriť očné pozadie, vyšetriť zrakovú ostrosť pacienta, realizovať ultrasonografické vyšetrenie, aplikovať intravitreálne lieky či redukované možnosti použitia laserového ošetrenia sietnice, výrazne menia vlastnosti optického systému oka. Použitie plynov vo vitreoretinálnej chirurgii výrazne zvýšilo úspešnosť chirurgie odlúpenej sietnice, komplikovaných stavov zadného segmentu oka, úrazov, chirurgie makuly a ďalších ochorení oka.

Kľúčové slová: plyn, vitreoretinálna chirurgia, sietnica, sklovec

SUMMARY

Gases in Vitreoretinal Surgery

Aim: To evaluate the importance and benefits of using gases in vitreoretinal surgery.

Material and Methods: The gases represent a wide group of substances used in eye surgery for more than 100 years. The role of intraocular gases in vitreoretinal surgery is irreplaceable. Their use is still considered to be the "gold standard". An important step in eye surgery was the introduction of expanding gases – sulfur hexafluoride and perfluorocarbons into routine clinical practice. The most common indications for the use of intraocular gases are: retinal detachment, idiopathic macular hole, complications of vitreoretinal surgery and others.

Results and conclusions: The introduction of intraocular gases into routine clinical practice, along with other modern surgical techniques resulted in significant improvement of postoperative outcomes in a wide range of eye diseases. Understanding the principles of intraocular gases use brings the benefits to the patient and physician as well.. Due to their physical and chemical properties they pose far the best and most appropriate variant of intraocular tamponade. Gases also bring some disadvantages, such as difficulties in detailed fundus examination, visual acuity testing, ultrasonographic examination, difficulties in application of intravitreal drugs or reduced possibility of retina laser treatment. The gases significantly change optical system properties of the eye. The use of gases in vitreoretinal surgery has significantly increased success rate of retinal detachment surgery, complicated posterior segment cases, trauma, surgery of the macula and other diseases.

Key words: gas, vitreoretinal surgery, retina, vitreous body

Čes. a slov. Oftal., 68, 2012, No. 1, p. 3–10

Do redakce doručeno dne 9. 12. 2011

Do tisku přijato dne 10. 2. 2012

MUDr. Ladislav Jančo
II. očná klinika SZU, FNsP F. D. Roosevelta, Banská Bystrica
e-mail: infoskk@skkartik.sk

HISTÓRIA

Prvá zmienka v literatúre o prítomnosti plynu v oku patrí Mr. sir Robert Boyle z roku 1670, ktorý pozoroval bublinu vzduchu v prednej komore po úraze oka hada, ktorého zabil (6).

Ďalšie záznamy a prvenstvo v intraokulárnej injekcii plynu patrí Kosterovi, ktorý v roku 1902 aplikoval injekčne vzduch do prednej komory za účelom liečby tuberkulózy dúhovky (25).

V nasledujúcom období sa množili správy o použití vzduchu pri ochoreniach predného segmentu oka pri flyktenulárnej keratokonjunktivitíde, vrede rohovky, hypopyon a syfilitickej sklerití de.

Prvý záznam o intravitreálnej injekcii vzduchu je od Ohma z roku 1911 (50).

Oftalmologie 1-012 10.4.2012 13:08 Str. 4
proLékaře.cz | 14.11.2026

Ohm aplikoval vzduch do oka mačiek a pozoroval jeho resorpciu. Následne popísal použitie vzduchu u pacienta s odlúpením sietnice. Po aspirovaní subretinálnej tekutiny cez sklerotómiu inferonazálne, aplikoval do sklovca 1 ml vzduchu a pacienta nechal polohovať. Po dvoch dňoch sa vzduch zresorboval a pri vyšetrení našiel priloženú sietnicu. U druhého pacienta s odlúpením sietnice napriek opakovanej aplikácii vzduchu do sklovca úspešný nebol.

Rosengren v nasledujúcom období pochopil, popísal a objasnil princípy tamponády trhliny sietnice vzduchovou bublinou. Zdôraznil úlohu vzduchu v urýchlení vstrebávania subretinálnej tekutiny, schopnosť bubliny pritlačiť okraje trhliny sietnice ku cievovke vďaka vztlakovej sile, ktorá tak bráni prenikaniu ďalšej tekutiny pod sietnicu. Vo svojom súbore 29 očí z roku 1938 dosiahol po diatermii 45% úspešnosť operácie, v súbore 25 očí po diatermii, punkcii subretinálnej tekutiny a injekcii vzduchu do sklovca dosiahol úspešnosť operácie 84 % (52). V roku 1947 vo svojej publikácii podrobne popísal svoju techniku operácie, a prezentoval výsledky súboru jeho prvých 100 pacientov s odlúpením sietnice. Zistil, že jeho operačná technika mala dobré výsledky v liečbe akútneho odlúpenia sietnice, avšak nedostatočné výsledky pri trvaní odlúpenia sietnice viac ako rok (51). Vo svojich záverečných prácach v rokoch 1952 a 1953 publikoval výsledky súborov 300 prípadov odlúpenia sietnice. U pacientov s plochým odlúpením sietnice bol úspešný aj po diatermii s punkciou subretinálnej tekutiny bez aplikácie vzduchu. Odlúpenie sietnice v dolných kvadrantoch dobre odpovedalo aj na samotnú diatermiu.

Jeho operačná technika bola prekonaná koncom päťdesiatych rokov zavedením techniky externej plombáže skléry Custodisom a Schepensom.

Zavedeniu expanzných plynov v chirurgii oka vďačíme Lincoffovi, ktorý v rokoch 1965–1967 (36) hľadal plyny s dlhšie trvajúcim účinkom v oku a pomalšou resorpciou. Študoval účinky neónu, argónu, vzduchu, etánu, propánu, neopentánu a nešpecifikovaného freónu, až sa prepracoval k **sulfur hexafluoridu (SF6).** Množstvo odborníkov v nasledujúcom období skúmalo bezpečnosť a dynamiku rôznych plynov, z ktorých sa ako najvýhodnejšie ukázali **perfluorokarbóny**.

Možnosti tamponády a liečby obrovských trhlín sietnice plynmi v kombinácii s diatermokoaguláciou a kryoretinopexiou publikovali Norton a spol. v roku 1969 (47).

Prvá zmienka o použití kombinácie SF6 s **plombážou skléry** pri odlúpení sietnice patrí Nortonovi z roku 1973 (45). V nasledujúcom období (1974) publikovali Mc-Lean a Norton (40) možnosti liečby primárneho odlúpenia sietnice tamponádou plynom s retinopexiou bez potreby použitia sklerálnej plomby u vybraných pacientov s minimálnou trakciou sklovca (**pneumatická retinopexia**). Táto technika bola postupne rozšírená a v americkej oftalmologickej literatúre nachádzame množstvo publikácií s touto témou. V roku 1987 Hilton a kol. (21) publikoval súbor 100 očí operovaných touto technikou. Po primárnej operácii dosiahli úspešnosť priloženia sietnice 84 %, definitívna úspešnosť v súbore po reoperácii bola 98%.

S rozvojom vitreoretinálnej chirurgie a zavedení Pars plana vitrektómie (**PPV**) Machemerom a jeho žiakmi v osemdesiatych rokoch do praxe získali expanzné plyny dôležité miesto v oblasti vnútroočnej tamponády. Význam tamponády sietnice plynmi po primárnej vitrektómii pri regmatogénnom odlúpení sietnice publikoval Escoffery v roku 1985 (14), ktorý pripomenul širokú škálu možných komplikácií po plombáži skléry: vylúčenie plomby, infekcia, obmedzená pohyblivosť bulbu, subretinálne krvácanie, ischémia predného segmentu oka, ametropia, poruchy prietoku krvi zadného segmentu oka.

Predmetom ďalších štúdií bol význam dlhšietrvajúcej tamponády plynmi v porovnaní s SF6. Chang a kol. v roku 1985 (9) publikoval výsledky svojho súboru 56 pacientov s komplikovaným odlúpením sietnice. Pozorovali výrazne lepšie výsledky pri tamponáde pomocou perfluoroetánu (C2F6) a perfluoropropánu (C3F8) oproti SF6, pri ktorom bolo potrebných viac reoperácií. Prvá multicentrická randomizovaná kontrolovaná štúdia porovnávajúca výsledky pneumatickej retinopexie a plombáže skléry bola v roku 1989 publikovaná Tornambe a kol. (62). Výsledkom bola signifikantne nižšia úspešnosť primárnej pneumatickej retinopexie oproti plombáži skléry (75 % oproti 90 % u fakických očí a 67 % oproti 73 % u afakických očí). Dôležité je však poznamenať, že u plombáže skléry bola až v 36 % prípadov použitá aj aplikácia plynu do dutiny sklovca.

V deväťdesiatych rokoch sa rozšírili indikácie pneumatickej retinopexie aj na dieru makuly, obrovské trhliny sietnice a jamku terča zrakového nervu.

Použitie expanzných plynov v kombinácii s pars plana vitrektómiou pre idiopatickú dieru makuly bolo prvýkrát publikované v roku 1991 autormi Kelly a Wendel (24). Vo svojej práci kládli dôraz na dôslednú vitrektómiu, odstránenie všetkých epiretinálnych membrán, tamponádu plynom a polohovanie pacienta dole tvárou. V štúdii dosiahli zlepšenie videnia u 42 % očí. V nasledujúcom období sa objavili správy o možnosti zlepšenia výsledkov operácie diery makuly použitím rastového faktora beta alebo aplikáciou autológneho doštičkového koncentrátu.

2. VLASTNOSTI PLYNOV

Fyzikálne vlastnosti plynov

Pre potreby vitreoretinálnej chirurgie bolo vyvinuté veľké množstvo plynov (tab.1). Z hľadiska klinickej praxe sú najdôležitejšími vzduch, sulfur hexafluorid (SF6) a perfluorokarbónové plyny.

Tabuľka 1

Neexpanzné plyny	Expanzné plyny
vzduch	sulfur hexafluorid (SF6)
dusík	octafluorocyklobután (C4F10)
hélium	perfluorometán (CF4)
kyslík	perfluoroetán (C2F6)
argón	perfluoropropán (C3F8)
xenón	perfluorobután (C4F10)
kryptón	perfluoropentán (C5F12)
oxid uhličitý	

Vzduch je zložený z 78 % dusíka, 20,5 % kyslíka, 1 % argónu, 0,3 % oxidu uhličitého a vodnej pary. Dusík je preto jeho najdôležitejšou súčasťou z hľadiska fyzikálnych vlastností.

SF6 je plyn bez farby, chuti a zápachu. Je približne päťkrát ťažší ako vzduch. Je chemicky inertný a termicky stabilný. Vďaka nízkej rozpustnosti vo vode veľmi pomaly difunduje z oka a bublina s objemom 1 ml 100% SF6 sa z oka stratí asi za 10 dní. Dostupný je ako vysoko purifikovaný v koncentrácii 99,99 %.

Perfluorokarbóny sú taktiež inertné, bezfarebné, nehorľavé plyny bez zápachu. Perfluoropropán je približne 6-krát ťažší ako vzduch. Vyrábajú sa vysoko purifikované (viac ako 99,7 %). S rastúcou dĺžkou uhlíkového reťazca a teda vyššou molekulovou hmotnosťou klesá ich rozpustnosť vo vode a a preto rastie schopnosť expanzie a trvania tamponády.

Oftalmologie 1-012 10.4.2012 13:08 Str. 5
proLékaře.cz | 14.11.2026

Chemické vlastnosti plynov

Za fyziologických podmienok je väčšina plynov inertných. Chemické zmeny sa však môžu objaviť za špeciálnych podmienok, napr. elektrický oblúk alebo laserové žiarenie. Ako potenciálne toxický je považovaný sulfur decafluoride (20), ktorý môže vzniknúť rozkladom SF6. Výsledky vedeckých prác však neviedli k obmedzeniu použitia expanzných plynov (23).

Biologické vlastnosti plynov

Obavy z možných neužiadúcich účinkov sa objavili ihneď po zavedení plynov do klinickej praxe. Jednak to boli obavy z poškodenia personálu pri možnom úniku plynu na operačnej sále, rovnako obavy z možného poškodenia oka. Tieto obavy však neboli potvrdené. Klinické skúšky a testy na zvieratách nepotvrdili žiadnu toxicitu (7, 16, 23).

Väčšina bežne používaných plynov má aj určité anestetické vlastnosti, predovšetkým za hyperbarických podmienok. Za atmosférických podmienok je anestetický účinok SF6 nižší ako u oxidu dusného, C3F8 má len slabé anestetické účinky. Tento relatívny potenciál súvisí s ich rozpustnosťou v lipidoch (12).

Rozhranie plyn – tekutina

Za terapeutické ale aj neželané účinky plynov je priamo zodpovedné rozhranie plyn – tekutina. **Povrchové napätie** predstavuje jednu z nadôležitejších fyzikálnych síl plynov vo vnútri oka. Vďaka vysokému povrchovému napätiu plynu tento bráni prúdeniu tekutiny cez dieru alebo trhlinu v sietnici. Prednokomorový mok má povrchové napätie približne 24 dyn/cm2, hyaluronát sodný asi 50 dyn/cm^2, plyny majú najvyššie povrchové napätie (70 dyn/cm^2) zo všetkých dostupných tamponád sietnice. Vďaka inertnému rozhraniu plyn – tekutina sa proliferatívne bunky nevedia zachytiť na povrch plynovej bubliny.

Elasticita a vztlaková sila bubliny hrá veľmi dôležitú úlohu v mechanizme účinku intravitreálnych plynov. Želaný účinok dosiahneme správnym polohovaním hlavy tak, aby vrchol bubliny tampónoval trhlinu sietnice.

Optické účinky uvedeného rozhrania sú dva: refrakčný a reflexný. Optická mohutnosť oka vyplneného plynom závisí od lokalizácie bubliny, jej veľkosti a polohe oka. V dôsledku optických vlastností rozhrania tekutina – plyn dochádza k zmenšeniu obrazu. Ak je dutina sklovca kompletne vyplnená plynom, refrakcia oka sa posunie do myopie asi o 10 dioptrií. Naopak pri vyplnení prednej komory oka plynom dochádza k posunu do hypermetropie asi o 12,7 dioptrií. Iná situácia je u afakických očí. V takomto prípade plyn prakticky neutralizuje optickú mohutnosť rohovky, preto je možné vyšetriť fundus aj bez použitia šošovky. Odrazy svetla od rozhrania tekutina – plyn spôsobujú ťažkosti pri priamej oftalmoskopii, ako aj pri snahe o koaguláciu sietnice.

3. DYNAMIKA PLYNOV

Dynamika použitia intravitreálnych plynov bola intenzívne skúmaná na experimentálnych modeloch aj klinicky. Zmeny objemu plynovej bubliny v oku môžeme rozdeliť do troch fáz: expanzia bubliny, rovnovážny stav a rozpad (vstrebávanie). Faktormi, ktoré majú vplyv na zmenu veľkosti plynovej bubliny sú: veľkosť povrchu bubliny, difúzny koeficient bubliny v tekutine, rozpustnosť bubliny v tekutine, rozdiely v parciálnom tlaku plynov v bubline a tekutine, hrúbka difúznej bariéry, prietok krvi v bulbe, vlastnosti sklovca.

Expanzia bubliny

Expanzné plyny neexpandujú v pravom slova zmysle. K nárastu objemu plynovej bubliny dochádza v dôsledku difúzie plynov z okolia bubliny do bubliny (predovšetkým dusíka, kyslíka a oxidu uhličitého) až do chvíle, kedy sa rýchlosť difúzie plynov z bubliny von a dnu nevyrovná. V tejto chvíli dosiahla bublina najväčší objem. Difúzia kyslíka a oxidu uhličitého prebieha rýchlo a v priebehu niekoľkých hodín dosiahnu rovnovážny stav. Dusík difunduje veľmi pomaly a trvá niekoľko dní, pokiaľ dosiahne rovnovážny stav.

Špeciálne postavenie v tejto fáze má oxid dusný, ktorý sa používa v inhalačnej anestéze. Tento plyn je až 34-krát rozpustnejší ako dusík a 117-krát rozpustnejší ako SF6, a preto extrémne rýchlo difunduje do bubliny plynu v kavite sklovca. Tieto vlastnosti majú významné klinické využitie. Ak plánujeme použitie plynovej bubliny u pacienta v celkovej inhalačnej anestéze, inhalácia oxidu dusného by mala byť prerušená aspoň 15 minút pred aplikáciou plynu (60). Inou možnosťou je vylúčenie oxidu dusného počas anestézy – napríklad použitie totálnej intravenóznej anestézy.

Náhly pokles atmosférického tlaku počas cesty lietadlom môže spôsobiť náhly vzostup vnútroočného tlaku pri veľkej plynovej bubline v kavite sklovca v dôsledku nárastu objemu bubliny. Následkom toho stúpa očný tlak a môže dôjsť až k uzáveru centrálnej artérie sietnice. Ako prví popísali náhle vzniknutú bolesť na oku po vitrektómii s plynovou bublinou SF6 počas cesty lietadlom Norton a Fuller (48) v roku 1976. Klinické experimenty ukazujú, že let lietadlom by mal byť bezpečný, ak bublina plynu v oku je menšia ako 1 cm^3. Naproti tomu niektoré štúdie ukazujú, že aj intravitreálna bublina o veľkosti 0,25–0,5 cm^3 môže spôsobiť nebezpečný vzostup vnútroočného tlaku (10).

Rovnovážny stav

Rovnovážny stav predstavuje stav, kedy bublina zostáva relatívne rovnako veľká a dosiahla svoj maximálny objem. V tejto chvíli je difúzia plynov vnu a von z bubliny približne v rovnováhe. Pri perflouropropáne trvá táto fáza asi 2–3 dni. Niektorí autori spochybňujú existenciu tejto fázy.

Rozpad bubliny

Táto fáza nastáva, keď difúzia plynov von z bubliny je rýchlejšia ako opačným smerom. Zmenšovanie bubliny v čase kopíruje exponenciálnu krivku. V literatúre sa nachádzajú veľmi rozdielne údaje o polčase rozpadu plynovej bubliny, na ktorý vplýva mnoho faktorov. Napríklad prítomnosť sklovca hrá významnú úlohu pri rozpade bubliny. Experimentálne bolo dokázané, že polčas rozpadu sulfur hexafluoridu alebo perfluoropropánu je 2,2 až 2,7-krát dlhší u nevitrektomovaných fakických očí (63). Meyers a kol. (42) zistili, že polčas rozpadu plynovej bubliny dokonca výrazne kolíše po opakovanej aplikácii na tom istom oku.

V tabuľke 2 je stručný prehľad o expanzii, približnom bode trvania bubliny v oku, neexpanznej koncentrácii a odporučenej koncentrácii pre aplikáciu jednotlivých plynov.

Tabuľka 2

Plyn	Expanzia (x)	Trvanie (dni)	Neexpanzná koncentrácia (%)	Doporučená koncentrácia (%)
SF6	2,0	10–14	18–20	25
C2F6	3,5	30–35	16	20
C3F8	4,0	55–65	12–14	20

4. PRÍPRAVA PLYNOV KU OPERÁCII

Aplikácia a tamponáda sietnice vzduchom počas vitrektómie je realizovaná pomocou vzduchovej pumpy, ktorá je súčasťou prístroja používaného pre vitrektómiu. S použitím antibakteriálnych filtrov

Oftalmologie 1-012 10.4.2012 13:08 Str. 6
proLékaře.cz | 14.11.2026

aplikujeme vzduch do kavity sklovca kontinuálne pod určitým voliteľným tlakom. Do praxe bola táto technika zavedená začiatkom osemdesiatych rokov s rozvojom prístrojov pre vitreoretinálnu chirurgiu (39). Tento spôsob bráni kolapsu bulbu aj pri otvorených sklerotómiách a následne umožňuje použitie laserovej fotokoagulácie sietnice alebo kryoretinopexie.

Príprava plynov v expanzných alebo neexpanzných koncentráciách prebieha taktiež za aseptických podmienok s použitím antibakteriálnych filtrov. Do vopred zvolenej injekčnej striekačky cez filtre aspirujeme potrebné množstvo plynu, a aplikujeme ho buď v neriedenej forme do oka vyplneného vzduchom alebo v želanej nariedenej koncentrácii. Ak je sietnica pri tamponáde vzduchom kompletne priložená, používa sa neexpanzná alebo minimálne expanzná koncentrácia plynu, ak je na konci operácie pod sietnicou reziduálna subretinálna tekutina, doporučuje sa aplikácia mierne expanznej koncentrácie plynu. Príprava plynu by sa mala realizovať tesne pred jeho použitím, lebo dlhšie skladovanie pripraveného plynu vedie k poklesu jeho koncentrácie v injekčnej striekačke (57). Údaje v literatúre sú však v jednotlivých zdrojoch veľmi rozdielne. Humayun a kol. (22) pozorovali po aspirácii 100% SF6 do 10 ml plastickej injekčnej striekačky zníženie jeho koncentrácie na 89 % po 15 minútach a po 1 hodine pokles koncentrácie SF6 na 76 %. Po 18 hodinách bola koncentrácia SF6 len 2 %.

Najmodernejšie prístroje pre vitreoretinálnu chirurgiu už dokonca ponúkajú možnosť aplikácie plynu alebo jeho zmesi priamo z prístroja.

5. KLINICKÉ VYUŽITIE PLYNOV VO VITREORETINÁLNEJ CHIRURGII

Podľa Nortona (45) sa indikácie v oblasti „klasickej“ chirurgie odlúpenej sietnice výraznejšie nezmenili od roku 1973. Hlavnými indikáciami sú: veľké trhliny sietnice s tendenciou k „fishmouth“ fenoménu, obrovské trhliny sietnice v hornej polovici fundu, trhliny lokalizované na zadnom póle, diery makuly, náhrada objemu pri drenáži subretinálnej tekutiny, odlúpenie sietnice s mnohopočetnými trhlinami sietnice a radiálne riasenie **sietnice.**

Pri pars plana vitrektómii sa plyny používajú pri riešení komplikovanejších prípadov odlúpenia sietnice, obrovských trhlinách, proliferačnej vitreoretinopatii (PVR) a ďalších ochoreniach (23, 25). Dôležitú skupinu ochorení tvorí patológia makuly, predovšetkým diery makuly (11, 26, 28).

Výber plynu, jeho koncentrácie a objemu, príprava a spôsob jeho aplikácie závisí od individuálnych potrieb každého prípadu a samozrejme od klinických skúseností a preferencií vitreoretinálneho chirurga. Všeobecne možno povedať, že čím je prípad komplikovanejší, napríklad trakčné odlúpenie sietnice alebo PVR, tým sa odporúča použitie dlhšie trvajúceho plynu.

Pneumatická retinopexia

Pneumatická retinopexia predstavuje jednu z najefektívnejších indikácií použitia vnútroočných plynov. Predstavuje možnosť liečby ochorenia bez rozsiahlejšieho chirurgického zásahu. Aj dnes má svoje miesto v chirurgii odlúpenej sietnice, jej použitie je však indikované len u vybraných prípadov (1, 15, 62, 64).

Použitie plynov pri plombáži skléry

Použitie plynov počas sklerálnej plombáže je bežným postupom, ale vhodné je len vtedy, ak má priniesť dostatočný efekt. Injekcia plynu je výhodná za účelom dočasnej tamponády trhliny sietnice. V niektorých prípadoch je pravdepodobné, že dočasná tamponáda trhliny je dostatočná a plombáž trhliny by nebola nutná. Výhodné je taktiež použitie plynu pri vzniku „fishmouth“ fenoméne trhliny (v dôsledku výraznejšej trakcie sklovca alebo významnejšieho skrátenia obvodu oka plombou alebo serklážou) (45, 46). Plyny predstavujú alternatívu použitia roztokov, ktoré je potrebné injikovať pri doplnení objemu oka po drenáži subretinálnej tekutiny (SRT). Taktiež napomáhajú drenáž SRT urýchliť a dokončiť. Intravitreálnu aplikáciu plynu možno použiť aj v ďalšom manažmente neúspešnej plombáže skléry alebo serkláže (49).

Plyny pri pars plana vitrektómii pre odlúpenie sietnice

Zavedenie techniky výmeny plyn – tekutina (gas – fluid exchange) znamenalo zásadný krok vo vitreoretinálnej chirurgii. Pred érou vitrektómie sa množili správy o tejto technike aj u nevitrektomovaných očí, ktorá bola úspešná v prípade skolikvovaného sklovca. Takto dosiahli autori Meyers a kol. (43) tamponádu približne 50 % dutiny sklovca.

Plynom možno počas vitrektómie tampónovať trhliny a diery sietnice aktívnym alebo pasívnym odsávaním subretinálnej tekutiny (SRT) cez existujúce trhliny alebo drenážne centrálne a periférne retinotómie. Po odsatí SRT dokončíme tamponádu sietnice odsatím tekutiny z kavity sklovca. Plyny taktiež dobre tampónujú rany skléry, pomáhajú vytvoriť opticky čistú kavitu sklovca pri opakovanom krvácaní, indentifikovať reziduálne trakcie alebo skrátenie sietnice v dôsledku PVR. Vďaka optickým vlastnostiam je pri plynovej tamponáde sietnice výrazne zlepšená vizualizácia periférnej sietnice až po vráskovec.

Tamponáda sietnice plynom vytvára dobré predpoklady pre následnú dostatočnú tamponádu silikónovým olejom technikou výmeny oleja za vzduch, ktorý vyplní kavitu sklovca odspodu. Pomocou techniky výmeny plyn – tekutina je možné odstrániť z kavity sklovca aj dočasnú tamponádu sietnice ťažkými tekutinami – tekutými perfluorokarbónmi (heavy liquids). Tamponáda sietnice plynom umožňuje následné ošetrenie degenerácií, trhlín a dier sietnice kryoretinopexiou alebo laserovou retinopexiou. Samozrejmosťou v pooperačnom období je polohovanie pacienta s cieľom správnej tamponády konkrétnej patológie sietnice.

Plyny v liečbe idiopatickej diery makuly

Prvé správy o použití plynov bez vitrektómie pri diere makuly sa objavili v jej spojitosti s odlúpením sietnice (32). Idiopatická diera makuly sa spočiatku považovala za neliečiteľnú. Objavili sa však správy o zlepšení zrakovej ostrosti po laserovej fotokoagulácii (56).

Počiatočné správy od Kellyho a Wendela z roku 1991 (24) o výsledkoch pars plana vitrektómie pri idiopatickej diere makuly neboli príliš povzbudzujúce. Zdokonalenie operačnej techniky, zavedenie farbív na farbenie epiretinálych membrán a membrana limitans interna (MLI), a rozšírené použitie techniky odstránenia (peelingu) MLI viedlo k výraznému zlepšeniu pooperačných výsledkov. Predmetom diskusií stále ostávajú prognostické faktory pred operáciou, možné nežiadúce účinky farbív, rozsah potrebného odstránenia MLI, typ tamponády, či a ako dlho polohovať (11, 26, 28, 44, 61).

Ďalšie možnosti využitia plynov

Plyny je možné používať aj pri ďalších diagnózach v mikrochirurgii oka. Najčastejšie sa jedná o chirurgiu katarakty, refrakčnú chirurgiu, chirurgiu glaukómu, expulzívne krvácanie.

Využitie plynov pri chirurgii katarakty

Aplikovaný plyn (vzduch) do prednej komory zlepšuje jej vizualizáciu a pomáha reštaurovať jej tvar a objem, čo sa v minulosti využívalo hlavne pri extrakapsulárnej extrakcii katarakty. Ako prvý popísali použitie vzduchu na uľahčenie prednej kapsulotómie Binkhorst a kol. 1978 (5). Veľmi nápomocný bol v tomto období aj pri ochrane endotelu pri implantácii umelých vnútroočných šošoviek. Taktiež bol používaný pri chirurgii katarakty pri manažmente straty sklovca (8) a pri korekcii tvaru zrenice. Vzduch dobre tampónuje rany rohovky, takže aj dnes je možné použiť ho na tamponádu nedostatočne tesniacej rany rohovky a zabránenie vzniku predných synechií do rán po operáciách alebo úrazoch. Vý-

Oftalmologie 1-012 10.4.2012 13:08 Str. 7
proLékaře.cz | 14.11.2026

hodný je aj miotický efekt pôsobením na dúhovku.

Využitie plynov pri chirurgii glaukómu

Prvé správy o použití vzduchu pri operácii glaukómu pochádzajú z roku 1939 od MacMillana (41), ktorý použil vzduch na rekonštrukciu prednej komory pri filtrujúcej operácii ako prevenciu vzniku synechií. Ďalšími dôvodmi aplikácie vzduchu boli: vizualizácia dúhovkovorohovkového uhla pri goniotómii, kontrola a zastavenie krvácania v prednej komore, rekonštrukcia prednej komory peroperačne aj v pooperačnom období, hlavne pri pretrvávajúcej plytkej komore až atalamii, rozrušenie a zabránenie vzniku predných synechií, prevencia zvýšenia vnútroočného tlaku.

Iné využitie plynov

Mnohé ďalšie možnosti použitia plynov sú dnes už obsolentné, ale niektoré z nich sú využiteľné aj v dnešnej praxi.

Dôležitú úlohu zohral vzduch v refrakčnej chirurgii pri penetrujúcej aj lamelárnej keratoplastike predovšetkým v súvislosti s v tom čase neexistujúcim viskoelastickým materiálom. Prvé použitie vzduchu pri penetrujúcej keratoplastike bolo pripísané Strampellimu v roku 1949 (53). Vzduch bol aplikovaný do prednej komory na jej rekonštrukciu a udržanie a ako prevencia kontaktu darcovskej rohovky so sklovcom. V roku 1967 Sparks (58) prvýkrát popísal použitie vzduchu pri odlúpení Descemetovej membrány. Použitie vzduchu pri lamelárnej keratoplastike prvýkrát popísal Ambos v roku 1971 (3). K moderným technikám patria „big buble" technika pri prednej hlbokej lamelárnej keratoplastike ako aj endoteliálna lamelárna keratoplastika, pri ktorých je použitie vzduchu rozhodujúce.

Prvá správa o použití vzduchu pri expulzívnom krvácaní je od Frenkela a Shina (17). V roku 1987 Adriano a Ball (2) popísali liečbu suprachoroidálneho krvácania externou drenážou spojenou s vitrektómiou a tamponádou plynom.

Medzi dnes už obsolentné indikácie patrili v minulosti: použitie vzduchu v liečbe keratitíd a uveitíd, subkonjunktiválna alebo retrobulbárna aplikácia vzduchu pri krvácaní do sklovca, paraokulárna aplikácia vzduchu ako kontrastného média, anestetické používanie injekcie vzduchu pod spojovku.

6. KOMPLIKÁCIE PRI POUŽITÍ PLYNOV

Najčastejšími komplikáciami pri použití vnútroočných plynov sú zvýšenie vnútroočného tlaku a plynom vyvolané zákaly šošovky. Menej častými komplikáciami môžu byť: bulózna keratopatia, prítomnosť plynu pod sietnicou, nové alebo rozšírené existujúce trhliny sietnice, dislokácia umelej vnútroočnej šošovky. Tieto komplikácie môžeme minimalizovať použitím správnych operačných techník, dôsledným vyšetrením a pooperačnou starostlivosťou.

Manažment vnútroočného tlaku

Kontrola vnútroočného tlaku pred, peroperačne aj pooperačne môže mať výrazný vplyv na výsledok chirurgického výkonu. **Predoperačne** sa vo vitreoretinálnej chirurgii často stretávame s hypotóniou v prípade odlúpenej sietnice, ktorá sa zvyčajne zvýrazňuje s trvaním ochorenia. V štúdii Silicone Study (4) bola predoperačná hypotónia sledovaná ako významný rizikový faktor pre pooperačnú hypotóniu.

Peroperačne možno použiť plyn pri korekcii hypotónie, ktorá vzniká často po drenáži väčšieho množstva subretinálnej tekutiny pri odlúpení sietnice. Pokiaľ v priebehu operácie dôjde k neželanému vzostupu vnútroočného tlaku v dôsledku použitia plynu, je ho možné korigovať paracentézou prednej komory. Ak je predná komora plytká, doporučuje sa znížiť vnútroočný tlak čiastočným odsatím plynu z dutiny sklovca cez pars plana.

Pooperačne je monitorovanie vnútroočného tlaku dôležitou súčasťou manažmentu pacienta. Hypotónia sa môže objaviť v dôsledku netesniacej rany, alebo zníženia tvorby vnútroočnej tekutiny v dôsledku ablácie alebo fibrózy vráskovca, nadmernej laserovej koagulácie a kryokoagulácie sietnice (55). V konzervatívnej liečbe je na korekciu hypotónie možné použiť mydriatiká a steroidy v lokálnej alebo celkovej forme (65). V chirurgii možno použiť množstvo techník na korekciu hypotónie. Jednou z možností liečby pretrvávajúcej hypotónie je opakovaná vnútroočná injekcia plynov s pomalou resorpciou (59). Vysoký vnútroočný tlak (VOT) ako príčina pooperačného zníženia až straty zrakových funkcií po použití plynov bola popísaná ihneď po ich zavedení do praxe (45). Existuje mnoho možných príčin vzostupu VOT po vnútroočnej operácii, obzvlášť po operácii odlúpenej sietnice. Môže sa jednať o preexistujúci glaukóm s otvoreným uhlom, neovaskulárny alebo steroidný glaukóm, krvácanie do prednej komory, glaukóm s úzkym uhlom, uveitídu, pupilárny blok vytvorený plynom alebo príliš veľká expanzia plynu.

Už v roku 1974 MCLean a Norton (40) popísali možnosti kontroly zvýšeného vnútroočného tlaku použitím acetazolamidu v konzervatívnej liečbe. V krátkom pooperačnom období je ho možné použiť v prevencii neželaného zvýšenia VOT a podpore resorpcie subretinálnej tekutiny. Význam v konzervatívnej liečbe zvýšeného VOT majú prakticky všetky očné hypotenzíva.

Pokiaľ dôjde ku príliš veľkej expanzii plynovej bubliny, mala by byť korigovaná odsatím plynu. Každý prípad však vždy vyžaduje individiuálny prístup. Ako hranica pre chirurgickú intervenciu sa podľa Machemera a kol. (38) považuje hladina VOT 40 torr.

Komplikovaná katarakta

Vznik katarakty pri kontakte plynov so šošovkou bol od ich zavedenia predmetom mnohých štúdií (9, 37). Po pars plana vitrektómii s tamponádou plynom je typická prechodná zadná subkapsulárna „rozetovitá" alebo takzvaná plynová katarakta, ktorá sa zvyčajne objaví, ak sú viac ako 2/3 objemu dutiny sklovca vyplnené plynom (37). Zákaly šošovky vznikajú pravdepodobne nedostatočným prísunom živín pri kontakte bubliny so šošovkou. Tento účinok na šošovku je možné eliminovať správnym polohovaním pacienta a použitím plynov s rýchlejším vstrebávaním. Podobne môže vzniknúť aj predná subkapsulárna katarakta počas prítomnosti plynu v prednej komore (33). Z dlhodobého hľadiska v priebehu mesiacov po PPV s tamponádou plynom vzniká zadná subkapsulárna alebo nukleárna katarakta. Sabates a kol. (54) popísali progresiu katarakty v dôsledku vnútroočnej injekcie plynu u 67 % očí v čase do 6 mesiacov od operácie. Ďalšími dôležitými rizikovými faktormi, ktoré ovplyvňujú rýchlosť vzniku komplikovanej katarakty, sú: predchádzajúce vnútroočné operácie, pridružené očné a celkové ochorenia, napríklad diabetes mellitus, vek.

Ďalšie komplikácie

Účinok plynov na všetky štruktúry oka bol podrobne študovaný a popísaný.

Endotel rohovky môže prísť do kontaktu s plynom pri rôznych vnútroočných operáciách. Všetky plyny spôsobujú poškodenie buniek endotelu, predovšetkým ich úbytok. Klinicky sa prvé známky môžu prejaviť zmenou hrúbky rohovky – jej zhrubnutím, alebo bulóznou keratopatiou. Mechanizmus účinku nie je presne známy, pokiaľ je však plyn v kontakte s endotelom, predstavuje mechanickú bariéru, ktorá bráni prístupu a výmene potrebných látok z prednokomorovej tekutiny k endotelu. V literatúre nájdeme množstvo správ, ktoré tento účinok potvrdzujú. Lee a kol. (33) potvrdili tieto účinky v experimentálnych podmienkach na oku králika. V klinickej prospektívnej štúdii autorov Eifermana a Wilkinsa (13) bol sledovaný úbytok endotelových buniek rohovky po intrakapsulárnej extrakcii katarakty, po ktorej bola na konci operácie predná komora vyplnená vzduchom. Priemerný úbytok endotelových buniek predstavoval 18,5% v porovnaní s 8,5% v kontrolnej skupine, kde vzduch nebol použitý. Markantné výsledky dosiahol Friberg a kol. (18), ktorý po PPV s lensektó-

Oftalmologie 1-012 10.4.2012 13:08 Str. 8
proLékaře.cz | 14.11.2026

miou a tamponádou plynom napriek polohovaniu popísal úbytok endotelových buniek rohovky až 16,9 %.

Dôležitým predmetom záujmu boli a sú účinky plynov na **sklovec**. Injekciou plynu do sklovca dochádza k poruche vnútornej aj vonkajšej hematookulárnej bariéry. V dôsledku toho v sklovci výrazne stúpajú hladiny sérových bielkovín, zvýrazňujú sa zákaly sklovca, pribúdajú bunky a mediátory zápalu (34).

Vnútroočná injekcia plynu spôsobuje stlačenie vlákien sklovca predovšetkým smerom ku šošovke a smerom k terču zrakového nervu. Sklovcová kôra je tlakom plynovej bubliny väčšinou pritlačená ku sietnici, čo môže byť príčinou vzniku ďalších pooperačných komplikácií. Kontrakcia kôry sklovca môže spôsobiť opakované odlúpenie sietnice alebo ďalšie poškodenie vonkajších vrstiev sietnice alebo cievovky (35). Posun sklovca môže vyvolať vznik nových trhlín sietnice.

Možné nežiadúce účinky plynov na **sietnicu** experimentálne štúdie Lincoffa a Kreissigovej (34) ani klinické práce nepotvrdili. Krátkodobé zmeny v elektroretinograme po resorpcii plynov sa pri dlhodobom sledovaní nepotvrdili (19).

Prítomnosť **subretinálneho plynu** bola zriedkavejšie popísaná, a môže vzniknúť použitím nesprávnej operačnej techniky. Počas operácie je potrebné mať pod kontrolou koniec ihly alebo kanyly, pomocou ktorej plyn aplikujeme. Zriedkavo môže byť nutné z týchto príčin počas operácie plyn kompletne z oka odstrániť opakovať injekciu plynu do dutiny sklovca.

ZÁVER

Zavedenie plynov do rutinnej klinickej praxe spolu s ďalšími modernými chirurgickými technikami spôsobilo výrazné zlepšenie pooperačných výsledkov v širokej škále ochorení oka. Pochopenie princípov a možností použitia plynov prináša výhody pre pacienta aj pre lekára. Vďaka plynom sme výrazne zvýšili úspešnosť chirurgie odlúpenej sietnice pri klasickej operácii ako aj pri pars plana vitrektómii. Zlepšili sa výsledky chirurgie komplikovaných stavov odlúpenej sietnice a úrazov, rovnako ako chirurgie makuly a ďalších ochorení oka.

LITERATÚRA

1. **Abecia, E., Pinilla, I., Olivan, J.M et al.:** Anatomic results and complications in a long-term follow-up of pneumatic retinopexy cases. Retina. ISSN 0275-004X, 2000; 20, 2: 156–161.
2. **Adriano, M.L., Ball, F.:** Delayed non-expulsive suprachoroidal hemorrhage after trabeculectomy. Ophthalmic Surg. ISSN 0022-023X, 1987; 18, 9: 661–666.
3. **Ambos, E.:** Luftinjektion in die Hornhaut. Eine tierexperimentelle Studie zur Hornhautplastik. Klin Monatsbl Augenheilkd. ISSN 0023-2165, 1971; 159; 4: 505–506.
4. **Barr, C.C., Lai, M.Y, Lean, J.S. et al.:** Postoperative intraocular pressure abnormalities in the Silicone study. Silicone Study Report 4. Ophthalmology. ISSN 0161-6420, 1993 ; 100, 11: 1629–1635.
5. **Binkhosrt, C.D., Nygaard, P., Loones, L.H.:** Specular microscopy of the corneal endothelium and lens implant surgery. Am J Ophthalmol. ISSN 0002-9394, 1978; 85, 5, 597–605.
6. **Boyle, R.:** New pneumatic experiments about respiration. Philos Trans R Soc Lond (Biol). 1670; 5: 2035.
7. **Brand, K.P.:** Discussion. On the toxicity of SF6 insulating gas. IEEE Trans.Electr. Insul. ISSN 0018-9367, 1983; 18: 93.
8. **Castroviejo, R.:** Handling of eyes with vitreous prolapse. Am J Ophthalmol. ISSN 0002-9394, 1959; 48: 397–399.
9. **Chang, Lincoff, H.A., Coleman, D.J. et al.:** Perfluorocarbon gases in vitreous surgery. Ophthalmology. ISSN 0161-6420, 1985; 92, 5: 651–656.
10. **Dieckert, J.P., O'Connor, P.S., Schacklett, D.E. et al.:** Air travel and intraocular gas. Ophthalmology. ISSN 0161-6420, 1986; 93, 5: 642–645.
11. **Eckardt, C.:** 2009. Macular hole surgery with air tamponade and OCT-based duration of prone positioning. Retina Today. ISSN, 2009; 4: 61–63.
12. **Eger, E.L.2nd, Lundgren, C., Miller, L. et al.:** Anesthetic potencies of sulfur hexafluoride, carbon tetrafluoride, chloroform and Ethrane in dogs: correlation with the hydrate and lipid theories of anesthetic action. Anesthesiology. ISSN 0003-3022, 1969; 30, 2: 129–135.
13. **Eiferman, R.A., Wilkins, E.L.:** The effect of air on human corneal endothelium. Am.J.Ophthalmol. ISSN 0002-9394, 1981; 92, 3: 328–331.
14. **Escoffery, R.F., Olk, R.J., Grand, M.G. et al.:** Vitrectomy without scleral buckling for primary rhegmatogenous retinal detachment. Am J Ophthalmol. ISSN 0002-9394, 1985; 99, 3: 275–281.
15. **Eter, N. - Böker, T., Spitznas, M.:** Long-term results of pneumatic retinopexy. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol. ISSN 0721-832X, 2000; 238, 8: 677–681.
16. **Fineberg, E., Machemer, R., Sullivan, P. et al.:** Sulfur hexafluoride in owl monkey vitreous cavity. Am J Ophthalmol. ISSN 0002-9394, 1975; 79, 1: 67–76.
17. **Frenkel, R.E. - Shin, D.H.:** Prevention and management of delayed suprachoroidal hemorrhage after filtration surgery. Arch.Ophthalmol. ISSN 0003-9950, 1986; 104, 10: 1459–1463.
18. **Friberg, T.R., Doran, D.L., Lazenby, F.L.:** The effect of vitreous and retinal surgery on corneal endothelial cell density. Ophthalmology. ISSN 0161-6420, 1984; 91, 10: 1166–1169.
19. **Frumar, K.D., Gregor, Z.J., Carter, R.M. et al.:** Electrophysiological responses after vitrectomy and intraocular tamponade. Trans. Ophthalmol. Soc. UK. ISSN 0078-5334, 1985; 104: 129–132.
20. **Greenberg, L.A., Lester, D.:** The toxicity of sulfur pentafluoride. Arch Ind Hyg Occup. ISSN 0273-1045, 1950; 2, 3: 350–352.
21. **Hilton, G.F., Kelly, N.E., Salzano, T.C. et al.:** Pneumatic retinopexy. A collaborative report of the first 100 cases. Ophthalmology. ISSN 0161-6420, 1987; 94, 4: 307–314.
22. **Humayun, M.S., Yeo, J.H., Koski, W.S. et al.:** The rate of sulfur hexafluoride escape from a plastic syringe. Arch Ophthalmol. ISSN 0003-9950, 1989; 1047, 6: 853–854.
23. IEC 60376: 1971, Specification and acceptance of new sulphur hexafluoride.
24. **Kelly, N.E., Wendel, R.T.:** Vitreous surgery for idiopathic macular holes. Results of a pilot study. Arch Ophthalmol. ISSN 0003-9950, 1991; 109, 5: 654–659.
25. **Koster:** Sitzungsberichte. Niederländische ophthalmologische Gesellschaft. Klin Monatsbl Augenheilkd. ISSN 0023-2165, 1902; 40: 338.
26. **Krásnik, V.:** Chirurgická liečba idiopatickej makulárnej diery. Súborný referát. Čs Oftal. 55, 1999; 6: 377–383.
27. **Krásnik, V., Strmeň, P., Hasa, J., Izáková, A., Hrachovcová, J.:** Chirurgická liečba makulárnej diery a makulopatie v spojení s jamkou terča zrakového nervu. Čs Oftal. 55, 1999; 5: 263–267.
28. **Krásnik, V., Strmeň, P., Javorská, L.:** Dlhodobé sledovanie zrakových funkcií po anatomicky úspešnej chirurgickej liečbe idiopatickej diery makuly. Čes a Slov Oftal. 57, 2001; 2, 80–87.
29. **Krásnik, V., Strmeň, P., Javorská, L.:** Chirurgická liečba traumatickej diery makuly. Čes. a slov. Oftal., 58, 2002, 84–88.
30. **Krásnik, V., Strmeň, P., Štefaničková, J., Ferková:** Chirurgická liečba makulopatie pri jamke terča zrakového nervu. Čes a Slov Oftal. 63, 2007, 1, 10–16.
31. **Kreissig, I., Lincoff, H., Stanowsky, A.:** The treatment of giant tear under detachments using retrohyaloidal perfluorocarbon gases without drainage or vitrectomy. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol. ISSN 0721-832X, 1987; 225, 2: 94–98.
32. **Landers, M.B., Yamanashi, B.S.:** The treatment of retinal detachments secondary to macular holes. South Med J. ISSN 0038-4348, 1973; 137, 12: 1–4.
33. **Lee, D.A. Wilson, M.R. Yoshizumi, M.O. et al.:** The ocular effects of gases when injected into the anterior chamber of rabbit eyes. Arch Ophthalmol. ISSN 0003-9950, 1991; 109, 4, 571–575.
34. **Lincoff, A., Kreissig, I.:** Intravitreal behavior of perfluorocarbons. Dev. Ophthalmol. ISSN 0250-3751, 1981; 2: 17–23.

Oftalmologie 1-012 10.4.2012 13:08 Str. 10
proLékaře.cz | 14.11.2026

35. **Lincoff, H., Kreissig, I.:** Posterior lip traction caused by intravitreal gas. Arch. Ophthalmol. ISSN 0003-9950, 1981; 99, 8: 1367–1380.
36. **Lincoff, H.:** Limitations and prospects for retinal surgery. Panel discussion: chapter II. Mod Probl Ophthalmol. ISSN 0077-0078, 1974; 12: 342.
37. **Lincoff, H., Coleman, J., Kreissig, I. et al.:** The perfluorocarbon gases in the treatment of retinal detachment. Ophthalmology. ISSN 0161-6420, 1983; 90, 5: 546–551.
38. **Machemer, R., Aarberg, T.M.:** Vitrectomy. 2nd ed. New York: Grune & Stratton, 1979, 187. ISBN 0808911465.
39. **McCuen N, B.W. 2nd, Bessler, M., Hickingbotham, D. et al.:** Automated fluid-gas exchange. Am.J.Ophthalmol. ISSN 0002-9394, 1983; 95, 5: 717.
40. **McLean, E.B. - Norton, E.W.1974.** The use of intraocular air and sulfur hexafluoride gas in the repair of selected retinal detachments. Mod. Probl. Ophthalmol. ISSN 0077-0078, 1974; 12: 428-435.
41. **MacMillan, J.A.:** Air injection as a factor in maintaining filtration following corneoscleral trephining in glaucoma. Trans.Am.Ophthalmol.Soc. ISSN 0065-9533, 1939; 37: 127–134.
42. **Meyers, M. Ambler, J.S., Tan, M. et al.:** Variation of perfluoropropane dissapearance after vitrectomy. Retina. ISSN 0275-004X, 1992; 12, 4: 359–363.
43. **Meyers, M., Fitzgibbon, E.J.:** Simultaneous external subretinal fluid drainage and intravitreal gas injection. Arch Ophthalmol. ISSN 0003-9950, 1985; 103, 12: 1881–1883.
44. **Mittra, R.A., Kim, J.E., Han, D.P. et al.:** Sustained postoperative face-down positioning is unnecessary for successful macular hole surgery. Br J Ophthalmol. ISSN 0007-1161, 2009; 93, 5: 664–666.
45. **Norton, E.W.:** Intraocular gas in the management of selected retinal detachments. Trans Am Acad Ophthalmol Otolaryngol. ISSN 0002-7154, 1973, 77, 2, OP85–98.
46. **Norton, E.W.:** Use of gas in retinal surgery. Management of the fishmouth phenomenon. Trans Ophthalmol Soc U.K. ISSN 0078-5334, 1980; 100, Pt 1: 66–68.
47. **Norton, E.W., Aaberg, T., Fung, W. et al.:** Giant retinal tears. I. Clinical management with intravitreal air. Am J Ophthalmol. ISSN 0002-9394, 1969; 68, 6: 1011–1021.
48. **Norton, E.W., Fuller, D.G.:** The use of intravitreal sulfur hexafluoride in vitrectomy. Irvine, A.R. et al. Advances in vitreous surgery. Springfield : Thomas, 1976. ISBN 0398033919.
49. **O'Connor, P.R.:** Intravitreal air injection and the Custodis procedure. Ophthalmic. Surg. ISSN 0022-023X, 1976; 7, 2: 86–89.
50. **Ohm, J.:** Über die Behandlung der Netzhautablosung durch operative Entleerung der subretinalen Flüssigkeit und Einspritzung von Luft in der Glaskörper. Graefes Arch Klin Exp Ophthalmol. 1911; 79: 442.
51. **Rosengren, B.:** On the operative treatment of retinal detachment. Acta Ophthalmol. (Copenh). ISSN 1755-3768, 1947; 25, 2: 111–125.
52. **Rosengren, B.:** Results of the treatment detachment of the retina with diathermy and injection of air into the vitreous. Acta Ophthalmol. 1938; 16: 573.
53. **Ricci, L.:** Sulla introduzione di aria nella chirurgia endobulbare. Boll.Ocul. ISSN 0006-677X, 1956; 35, 9–12, 789–795.
54. **Sabates, N.R., Tolentino, F.I., Arroyo, M. et al.:** The complications of perfluoropropane gas use in complex retinal detachments. Retina. ISSN 0275-004X, 1996; 16, 1: 7–12.
55. **SchiŅdte, N.:** Intraocular pressure and panretinal photocoagulation. Arch. Ophthalmol. ISSN 0161-6420, 1988; 106, 10: 1346.
56. **Schocket, S., Lakhanpal, V., Miao, X.P. et al.:** Laser treatment of macular holes. Ophthalmology. ISSN 0161-6420, 1988; 95, 5: 574–582.
57. **Schrader, W., Rodemann, K ., Schrader, B.:** Dosierungsfehler und ihre Vermeidung bei der intraokularen SF6-Injektion zur Endotamponade bei der pneumatischen Retinopexie und nach Vitrektomie. Fortschr Ophthalmol. ISSN 0723-8045, 1991; 88, 6: 633–636.
58. **Sparks, G.M.:** Descemetopexy. Surgical reattachment of stripped Descemet's membrane. Arch Ophthalmol. ISSN 0003-9950, 1967; 78, 1: 31–34.
59. **Stallman, J.B., Meyers, M.:** Repeated fluid-gas exchange for hypotony after vitreoretinal surgery for proliferative vitreoretinopathy. Am J Ophthalmol. ISSN 0002-9394, 1988; 106, 2: 147–153.
60. **Stinson, T.W. 3rd, Donlon, J.V. Jr.:** Interaction of intraocular air and sulfur hexafluoride with nitrous oxide: a computer simulation. Anesthesiology. ISSN 0003-3022, 1982; 56, 5: 385–388.
61. **Tatham, A., Banerjee:** Face-down posturing after macular hole surgery: a meta-analysis. Br J Ophthalmol. ISSN 0007-1161, 2010; 94, 5: 626–631.
62. **Tornambe, P.E., Hilton, G.F.:** Pneumatic retinopexy. A multicenter randomized controlled clinical trial comparing pneumatic retinopexy with scleral buckling. The Retinal Detachment Study Group. Ophthalmology. ISSN 0161-6420, 1989; 96, 6: 772-783.
63. **Wong, R.F., Thompson, J.T.:** Prediction of the kinetics of disappearance of sulfur hexafluoride and perfluoropropane intraocular gas bubbles. Ophthalmology. ISSN 0161-6420, 1988; 95, 5: 609–613.
64. **Zaidi, A.A., Alvarado, R., Irvino, A.:** Pneumatic retinopexy: success rate and complications. Br J Ophthalmol. ISSN 0007-1161, 2006; 90, 4: 427–428.
65. **Zarbin, M.A., Michels, R.G., Green, W.R.:** Dissection of epiciliary tissue to treat chronic hypotony after surgery for retinal detachment with proliferative vitreoretinopathy. Retina. ISSN 0275-004X, 1991, 11, 2, 208–213.