

SILMÄKIRURGIA KÄYTTÄEN INTRAOPERATIIVISTA KAASUA JA SEN SOVELTUVUUS LAITESUKELLUKSEEN

Yksi vaikeimmista laitesukelluksen haasteista on estää onnettomuudet, jotka johtuvat kaasun olemassaoloon kehossa. Vaikka kehon nesteitä on itse asiassa käytännössä mahdoton puristaa kasaan, reagoivat kaasut kudoksen paineeseen muuttamalla kaasun tilavuutta itsessään.

Kudoksen paineen lisääntyessä pienenee kaasun tilavuus se sillä on taipumus liueta orgaanisiin nesteisiin. Kudoksen paineen pienentyessä kaasun tilavuus kuitenkin kasvaa ja sillä on tapana ohittaa nesteen dekompressiotila muodostaen kuplia. Jälkimmäistä aiheuttaa niin kutsutun "sukeltajantaudin." Mistä me normaalitilassa yleensä löydämme kaasuja kehossamme? Kuten sukeltajat tietävät, kaasuja löytyy keuhkoista, ilmasteistä, välikorvasta, nenän ilmaonteloista, ruoansulatuskanavasta jne.

On kuitenkin muutamia epätavallisia olosuhteita, jolloin kaasua on kehossa jossain, missä sitä ei pitäisi normaalisti olla. Mikäli unohdetaan epätavalliset patologiset tilat on yleisin epätavallisen kaasun aiheuttaja iatrogeeninen. Eli sitä on käytetty lääketieteellisissä toimenpiteissä.

Lääkärit käyttävät kaasuja diagnoosia tehdessään sekä terapeuttisissa tarkoituksissa. Diagnoosia tehtäessä käytetään kaasuja joskus radiologiassa. Esimerkiksi tutkittaessa paksusuolta.

Terapeuttisissa tarkoituksissa kaasuja toisinaan käytetään kirurgisten leikkausten aikana. Esimerkiksi tietyissä vaiheissa vatsaleikkausta, gynekologiassa sekä silmätaudeissa. Näissä tapauksissa kaasun esiintyminen leikkauksen jälkeisenä aikana saattaa aiheuttaa esteen laitesukellukselle.

Tässä artikkelissa katsomme kaasujen käyttöä silmäleikkauksissa, erityisesti vitreo-verkkokalvon kirurgisia toimenpiteitä ja kuinka sellainen käyttö voi rajoittaa potilaan sukellusten määrää toimenpiteen jälkeen. Jotta kaikkien lukijoiden on helpompi ymmärtää tämä, vältämme käyttämästä matemaattisia kaavoja sekä selitämme fyysiset käsitteet, joita on joskus vaikea ymmärtää.

Historiaa:

Ensimmäiset huomiot kaasukuplasta eläimen silmässä vie vuoteen 1607. Robert Boyle rakensi painekammion ja laittoi siihen eri eläimiä. Käärme oli hänen koneensa dekompressiokohde ja sen silmässä huomattiin kaasukupla. He eivät kuitenkaan pystyneet selittämään tarkasti, kuinka se muodostui.

Käytännössä tätä voidaan pitää ensimmäisenä esimerkkinä suunnitellusta sukeltajantaudin laboratoriokokeesta lääketieteen historiassa. Kaasun käyttö silmäleikkauksissa juontaa kuitenkin viime vuosisadan alkupuolelle. Ensimmäinen yritys käyttää laskimokaasua hoidettaessa verkkokalvon irtaamaa juontaa vuoteen 1909. Käytetty kaasu oli ilmaa.

Viime vuosisadan toisella puoliskolla alkoivat silmäkirurgit käyttää ilmaa avustamaan kovakalvon nurjahdusta kirurgisissa toimenpiteissä verkkokalvon irtaumalle. Tämän jälkeen pitkäkestoisia puhtaita kaasuja ja kaasusekoituksia on käytetty ja käytetään edelleen operaatioissa, joissa on vitreoverkkokalvo-olosuhteet. Erityisesti pneumaattisiin ei tulehtuneisiin ja lasiaisen poistoleikkauksiin.

Kaasujen käyttö silmäleikkauksissa nykyisin

Operoitaessa silmän etuosan segmenttejä, erityisesti harmaa- ja viherkaihia käytetään itse asiassa pelkkää ilmaa. Tämän tyyppisen kaasun käyttö nykyisin on melko harvinaista, koska muutamat aineet joissa on viskoelastisia ominaisuuksia ovat ainakin nykyaikaisessa kirurgiassa korvanneet ilman. Kaasun tarkoitus näissä tapauksissa on luoda tilaa ja erottamalla endookulaarit rakenteet joita kirurgin on operoitava.

Ottaen huomioon, että etukammiossa käytetyn ilman määrä on pieni, poistuu se yhdestä kahteen päivässä eikä sen vuoksi aiheuta ongelmia potilaille, jotka päättävät sukeltaa heti kun leikkaushaava on parantunut. On kuitenkin huomattava, että vaikka silmässä ei enää olekaan kaasua, on suositeltua odottaa vähintään kaksi kuukautta ennen kuin alkaa uudelleen sukeltamaan. Tämä, jotta vältetään leikkaushaavan infektioita ja iskuja siihen.

Operoitaessa silmän takaosan segmenttejä

Kaasun pitkäaikainen pysyminen silmän sisällä saattaa aiheuttaa vakavia ongelmia niille henkilöille, jotka haluavat alkaa laitesukelluksen liian nopeasti. Näitä kaasuja käytetään verkkokalvojen vitreoleikkauksissa, erityisesti leikattaessa verkkokalvon irtautumaa tai silmänpohjan rappeutumaa.

Näissä tapauksissa kaasun tarkoitus ei ole tehdä tilaa tai auttaa visualisoimaan endo-okulaarisia rakenteita (joka päinvastoin tekee niistä paljon vaikeammin tunnistettavia) vaan toimia tamponaationa.

Tamponaatio tarkoittaa voimaa, jolla kaasu puristaa verkkokalvoa helpottaen sen uudelleen sijoittamista luonnolliseen asentoonsa kun verkkokalvo on irronnut. Verkkokalvon irtautuma on tila, jossa verkkokalvo on erossa silmän seinästä, johon se normaalisti on kiinnittynyt. Vertauksen avulla sen ymmärtää paremmin, joten kuvitellaan silmä huoneena.

Huoneen sisäseinät on tapetoitu. Revennyt tapetti kuvaa parhaiten verkkokalvon repeämää. Mikäli tapetti on repeytynyt pääsee kosteus läpi ja irrottaa kaiken. Verkkokalvon repeämisen aiheuttaja voi olla lasiaisen takana tapahtuva irtoaminen. Se on olennainen fyysinen tila, jonka useimmat ihmiset kokevat saavutetuaan tietyn iän.

Emme mene liian yksityiskohtaisesti tähän monimutkaiseen väitteeseen, mutta on sanottava että tila voi joissain tapauksissa johtaa siihen, että verkkokalvo repeytyy irti. Sitä aikaan saavat verkkokalvon rikkoutumiset vaihtelevat vakavuudeltaan.

Suurin osa verkkokalvon rikkoutumiset eivät aiheuta sen repeytymistä. Moniin näistä rikkoutumista voidaan kuitenkin antaa laserhoitoa, mikäli silmäkirurgi päättää että ne ovat vaarallisia ja mahdollisia esiasteita verkkokalvon irtautumiselle. ([Kuvat 1 ja 2](#)).

Osa muista verkkokalvon tiloista, jotka altistavat verkkokalvon rikkoutumiselle voidaan myös hoitaa laserilla. Kun verkkokalvo rikkoutuu alkaa irtautuminen. Verkkokalvon ja silmän seinän väliin muodostuu nestepinta, joka estää normaalin aineenvaihdunnan verkkokalvon ja suonikalvojen välillä. Suonikalvot vievät normaalisti ravintoa verkkokalvon hermosoluille.

Irtautumisella, jos se jätetään hoitamatta, on taipumus laajentua koko verkkokalvolle ja aiheuttaa sokeutumisen. Verkkokalvoleikkauksen tarkoituksena on sulkea repeytymä ja antaa verkkokalvolle kertyneelle nesteelle aikaa imeytyä uudelleen.

Repeämän sulkeminen voidaan tehdä niin kutsutulla episcleral-kirurgialla, jossa sitouttava aine (yleensä

sienestä tai silikonista valmistettu) sijoitetaan silmän ulkoseinään Tässä tapauksessa paikka painetaan ulkopuolelta verkkokalvoa vasten, jolloin saadaan rikkoutumaan toimiva paikka.

Verkkokalvon repeytymän sulkeminen voidaan tehdä myös sisäisellä leikkauksella, jolloin lasiaista poistetaan asianmukaisilla työkaluilla ja käytetään tamppoonia (joko kaasua tai nestettä) joka työntää verkkokalvoa silmän seinään sisäpuolelta sulkien repeytymän ja mahdollistaen nesteen imeytymisen verkkokalvoon uudelleen. Kirurgisen tekniikan kehittyminen verkkokalvojen kiinnityksessä on lisännyt kaasujen käyttöä leikkauksissa. Viime vuosien aikana ovat kirurgit muutamissa tapauksissa alkaneet käyttämään mini-invasiivista menettelyä, jota kutsutaan pneumaattiseksi retonipatiaksi.

Se sisältää kaasun ruiskuttamisen silmään, jonka jälkeen tehdään verkkokalvon laserhoito. Näin verkkokalvon irtautuma paranee ilman kirurgisia instrumentteja. Kaasun ruiskuttaminen työntää verkkokalvon silmän seinää vasten kiinnittäen sen.

Käytetty kaasukupla alkaa usein "kellumaan" korjaten isomman osan silmää ([ks. kuva 2](#)). Mikäli potilas on makuu asenossa, työntää kupla kiteistä linssiä. Mikäli potilas seisoo tai istuu puristaa kaasukupla verkkokalvoa silmän yläosassa.

Tämän vuoksi on tärkeää, että ensimmäiset 24-36 tuntia leikkauksesta potilas pysyy kirurgin määräämässä asennossa, koska tällöin kaasukupla painaa juuri oikeaa kohtaa verkkokalvossa, missä irtautuma on. Yleensä kuukauden kuluessa silmään laitettu kaasu imeytyy silmän kudoksiin.

Kauanko kaasu pysyy silmässä

operaation jälkeen Eri kaasut pysyvät silmässä eri aikoja. Kun ilma on ruiskutettu silmään, ei sen tilavuus aluksi muutu, mutta muut kaasut kuten rikkiheksafluoridi ja perfluorihilivety pyrkivät leviämään ja kasvattamaan tilavuuttaan ensimmäisinä päivinä leikkauksesta ennen kuin ne asteittain imeytyvät kokonaan.

Kun ensimmäistä laajennusta ei vaadita, lisätään kaasuseokset silmän ilman kanssa mieluummin kuin puhtaina kaasuina. Näin erityisesti kun halutaan välttää aiheuttamasta silmälle ensimmäistä laajenemista.

Oli kyse puhtaista kaasuista tai kaasuseoksista alkaa kaasujen imeytyminen kudoksiin muutaman päivän jälkeen pienentäen silmänpainetta kuplassa. Aika, jonka kudokseksi tarvitsee kuplan imeytymiseen vaihtelee kaasuittain. Toisinaan verkkokalvon tamppoonia tarvitaan kolmesta neljään viikkoa. Yleensä kuitenkin reilun kuukauden kuluttua ovat kaikki kaasut imeytyneet silmän kudoksiin.

Silmän paine

Silmänpaineen mittaa yleensä silmien asiantuntija käyttäen tonometriä. Silmänpaine (jota olisi parempi kutsua silmän suhteelliseksi paineeksi) tulee silmän todellisen paineen ja ilmanpaineen välisestä erosta.

10-20 elohopeamillimetrin paine katostaan normaaliksi. Tämä tarkoittaa, että silmän kokonaispaine on yleensä 10-20 mmHg korkeampi kuin ilmakehän paine. Kun kaasua lisätään silmään leikkaussalissa tasautuu silmänpaine varsinaisen kohoamisen jälkeen muutamassa tunnissa ja palaa 10-20 mmHg, koska kaasunvaihto on hidasta kuplan ja silmäkudoksen välillä. Kuten kohta näemme, kun silmässä on kaasukupla muuttavat nopeasti paineenmuutokset (kuten esimerkiksi lennettäessä tai sukeltaessa) sisäistä silmänpainetta.

Itse asiassa silmän kaasukupla ei voi vuotaa pois silmästä tai imeytyä kudokseen riittävän nopeasti. Kuten aiemmin sanoimme, on silmänpaine absoluuttisen sisäisen ja ulkoisen paineen ero. Sen vuoksi kun silmässä on kaasukupla, kun ulkoinen paine pienenee, esimerkiksi lentäessä silmänpaine lisääntyy. Edelleen, mikäli silmässä on kaasukupla ja ulkoinen paine kasvaa (kuten laitesukelluksessa) pienenee silmänpaine. Silmänpaineen lisääntyminen on vaarallista, koska laajentuva kaasukupla voi aiheuttaa vahinkoa silmän sisäistä rakennetta lisäten tilavuutta.

Silmänpaineen pieneneminen on myös vaarallista, koska se painaa silmää ympäröiviä kudoksia silmän linssiin (josta tulee vahingossa levy).

Silmänsisäinen kaasu ja laitesukellus Mietitään nyt sukellusta suojaamattomien silmien tai piilolasien kanssa ilman maskia. Laskeutumisen aikana ulkoinen paine kulkee silmän kudoksissa.

Tässä tapauksessa veden ulkoinen paine vastaa silmän kaikkien osien sisäistä painetta. Silmän sisäinen (suhteellinen) paine, kuten aiemmin määritelty pysyy yleensä vakaana, mutta absoluuttinen paine lisääntyy verrattuna tilanteeseen pinnalla.

Ylipaineilmakehä johtaa kaasukuplan tilavuuden asteittaiseen vähenemiseen siihen, mikä se oli ennen sukellusta. Tämä voi puolestaan johtaa silmän seinän romahtamiseen, vahingoittaen mahdollisesti silmäkalvon rakenteissa.

Todellisuudessa sukeltajat yleensä pitävät maskin täynnä ilmaa. Sen vuoksi paineen laskemista vaikeuttaa maskin ilmatila. Ilman ja sukeltajan kasvojen kosketuspinta on kriittinen ympäröivän paineen piste.

Jos painetta ilmatilassa sukeltajan silmien edessä ei ole lisätä (puhaltamalla siihen ilmaa) on maskin ilmanpaine pienempi kuin sen ulkopuolisessa vedessä. Tuloksena on imu, jota kutsutaan "maski alipaineeksi." Maskin sisällä olevat silmän ja kasvojen kudokset pullistuvat maskia kohden. Sukellusmaailma kutsuu Ilmiötä "maski squeesiksi".

Tulos on kuitenkin muodonmuutos ja kudosten siirtyminen silmästä kohti maskin sisusta, kudosten turvotusta ja joskus vakavaa verenvuotoa.

Itse asiassa kun laskeudumme pinnan alle paine-ero verisuoniemme ja välikudoksiemme välillä sekä ilmanpaine maskissa lisääntyvät oleellisesti pintaan verrattuna..

Sen vuoksi, mikäli maskin painetta ei ole kunnolla tasattu, saattaa silmien alue vahingoittua ja sinne tulla kipua ja sidekalvojen verenvuotoa. Onneksi silmän sisäiset vahingot ja vakava verenvuoto ovat melko harvinaisia.

Laitesukeltajalle, jolla on kupla silmässä veden alla ja maskin sisäinen paine on sama kuin veden ulkoinen paine, voi suojaamattoman silmän sisäisen kaasukuplan tilavuus pienentyä ja silmä voi "romahtaa".

Paineen vaihtelut maskin sisällä, kuten veden ulkoinen paine, saattavat aiheuttaa vaihteluja silmän sisäisen kaasun tilavuuteen. "Maski squeesin" tapahtuessa maskin sisäinen paine on pienempi kuin veden paine (ja myös silmän paine) ja tämä voi aiheuttaa silmän sisäisen kuplan tilavuuden kasvun.

Tämä saattaa päättyä silmämunan venymiseen ja linssin sekä muiden silmän rakenteiden siirtymiseen eteenpäin. Päinvastainen ei ole mahdollista, koska kun maskissa on enemmän painetta kuin vedessä (ja siis myös silmän sisällä) ja siitä päästetään ilmaa tasamaan paine, on maskin paine sama kuin

ulkopuolella.

Näiden fyysisten ja fysiologisten asioiden valossa on suositeltua olla sukeltamatta niin kauan kuin kaasua on silmässä leikkauksen jälkeen. Tämä suositus liittyy myös leikkauksessa käytettyjen kaasupullojen toimittajien käyttöohjeisiin.

Silmänsisäinen kaasu ja lentäminen Laitesukeltajat matkustavat usein pitkiä matkoja saavuttaakseen syrjäiset sukelluskohteet. Lentäminen on silmälle vaarallista, mikäli silmän sisällä on kaasua.

Lentokoneen kabiinipaine on yleensä sama kuin vuoristossa 1500 metrin korkeudessa. Absoluuttinen silmän sisäinen paine, kuten aiemmin määritelty näyttää pysyvän vakiona, mutta suhteellinen paine (mikä on verrattuna ulkopuolelle) lisääntyy suhteessa lentokentän ilmanpaineeseen (ilmiselvää, mikäli lentokenttä on alle 1500 metriä merenpinnasta). Lentokoneen sisällä oltaessa tämä johtaa silmässä olevan kaasukuplan laajenemiseen koska matkustamossa oleva paine on yleensä lähempänä merenpintaa ja siksi korkeampi. Tällä tavoin laajentunut kaasukupla saattaa johtaa silmän sisäisiin vahinkoihin siirtämällä ja puristamalla silmän sisäisiä kudoksia. Tämän vuoksi tulisi lentomatkailua välttää, kun silmässä on kaasukupla.

Soveltuvuus laitesukellukseen

Laserhoito kun verkkokalvossa on reikä. Sukeltajat kysyvät usein lisätietoa tästä toimenpiteestä. Joissain tapauksissa siihen liittyy kaasun lisäämiseen (pneumatic retinopexy), josta puhumme lisää myöhemmin tässä artikkelissa. Useimmissa tapauksissa kuitenkin se tehdään ilman, että silmään lisätään kaasua.

Tämä on verkkokalvon reikien ehkäisevä hoito, jota tehdään jotta vältetään verkkokalvon irtoamista. Joissain tapauksissa pieni, paikallinen irtoaminen voidaan reunustaa laserhoidolla, joka estää sen leviämisen muualle verkkokalvoon välttäen näin lisävahingot.



Joissain verkkokalvon irtoamisen kirurgisissa toimenpiteissä laserhoito tehdään sen jälkeen, kun verkkokalvo on laitettu takaisin episkelaarisilla tai silmän sisäisillä kirurgisilla tekniikoilla. Kaikki laserhoidot sisältävät verkkokalvon herättävän mikroskooppisen polttamisen, joka arpeutuessaan estää nesteen liukenemisen verkkokalvon alle.

Seuraamuksia laitesukellukselle verkkokalvon repeytymän tai rappeutuman laserhoidon jälkeen ei ole ellei verkkokalvo ollut irronnut ja silmään ei ole laitettu kaasua. On tietenkin vältettävä iskuja silmään sekä rasitusta noin kolmen viikon ajan, kunnes verkkokalvon arvet ovat parantuneet. "Maskin squeesiä" on myös vältettävä sukeltaessa.

Kaihileikkauksia, pneumattinen retinopeksia, lasiaisen poisto, verkkokalvon irtautuman episkleraalin leikkaus.

Varotoimenpiteenä on suositeltua olla sukeltamatta tai lentämättä noin kaksi kuukautta kyseisten leikkausten jälkeen.

Tämä palautumisaika mahdollistaa operaatiossa käytetyn kaasun imeytymisen silmän kudoksiin. Laitesukellus ja lentomatkailu voidaan jälleen sallia, kun silmälääkäri on todennut kaiken olevan kunnossa. Jopa aikaisemmin, mikäli leikkauksen aikana silmään ei ole ruiskutettu kaasua tai mikäli kaasua on käytetty kun asiantuntija varmistaa ja toteaa, ettei silmässä ole enää kaasua ja leikkaushaava on kokonaan parantunut

Fig. 1	Fig. 2	Fig. 3
		

Kiitokset

Erytiskiitokset Diego Dickille, Giorgio Orlandellille, tortori Paolo Perosalle Cala Lungan sukelluskeskuksesta La Maddalenasta heidän avustaan tämän artikkelin laatimisessa.