



**TURUN
YLIOPISTO**

Traumapotilaiden ylipainehappihoito

Taru Harjunpää

5.3.2025

Turku

Turun yliopiston laatujärjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu
Turnitin OriginalityCheck -järjestelmällä.

Oppiaine: Ortopedia ja traumatologia
Tekijä(t): Taru Harjunpää
Otsikko: Traumapotilaiden ylipainehappihoito
Ohjaaja(t): LT Elina Ekman
Sivumäärä: 17 sivua
Päivämäärä: 5.3.2025

Tämän syventävien opintojen kirjallisen opinnäytetyön tavoitteena on tarkastella ylipainehappihoidon käyttöä traumapotilaiden hoidossa Turun yliopistollisessa keskussairaalassa (TYKS).

Ylipainehappihoito on lääketieteellinen hoitokeino, jossa potilas hengittää sataprosenttista happea kammiossa. Kammio on paineistettu normaali ilmanpainetta korkeammaksi. Ylipainehappihoito toteutetaan joko yksipaikkaisessa tai monipaikkaisessa kammiossa. Ylipainehappihoitoa voidaan käyttää kirurgiassa osana murskavammojen, avomurtumien ja huonosti paranevien haavojen hoitoa.

Tämän retrospektiivisen tutkimuksen aineisto koostui traumapotilaista, joita on hoidettu ylipainehappihoidolla TYKS:ssä vuosina 2010–2022. Potilastiedot haettiin aikaväliltä 1.1.2010–30.6.2022. Potilastietojärjestelmästä haettiin kaikki potilaat, joilla ICD-10-diagnoosikoodina oli jokin seuraavista: S82.2, S92.1, T79.6, T14.7 tai T81.4 (sääriluun varren murtuma, telaluun murtuma, lihaksen traumaattinen iskemia, määrittämättömän kehonosan murskavamma ja/tai typistyminen, muualla luokittamaton leikkauksen tai toimenpiteen jälkeen ilmenevä infektio). Tällä aikavälillä ylipainehappihoitoa saaneita traumapotilaita oli 377. Poissulkukriteerein rajattiin tutkimuksen ulkopuolelle 177 potilasta, jolloin lopullinen tutkimusaineisto sisälsi 200 ylipainehappihoidolla hoidettua traumapotilasta. Tutkimuksen tuloksista kirjoitetaan artikkeli, joka julkaistaan lääketieteellisessä julkaisussa. Tämä syventävien opintojen opinnäytetyö on tiivistelmä artikkelista.

Ylipainehappihoitoa saaneista potilaista 68 % (n=135) oli miehiä ja 32 % (n=65) naisia. Potilaiden keski-ikä oli 50 vuotta. Minkään tietyn epidemiologisen tekijän ei havaittu olevan yhteydessä komplikaatioiden ilmaantumiseen. Yleisin ylipainehappihoidolla hoidettu alaraajan trauma oli distaalitibian murtuma, näitä oli 17 % (n=34). Muun, kuin tibian vamman vuoksi ylipainehappihoidolla hoidettiin 35 % (n=71) potilasta. Ylipainehappihoitoa vaatineista vammoista 66 % (n=132) oli korkea energisiä.

Kuten aiemmissakin aiheesta tehdyissä tutkimuksissa on havaittu, ylipainehappihoito on tehokasta ja hyvin siedettyä. Ylipainehappihoito keskeytyi vain 2 %:lla (n=4) potilaista. Syitä hoidon keskeytymiseen oli ahdistus/paniikkikohtaus (n=1), delirium (n=1), jatkohoitoon siirtyminen (n=1), sekä tilanne, jossa arvioitiin, ettei hoidolla saavutettaisi enää lisähyötyä (n=1). Ylipainehappihoitoon liittyviä komplikaatioita ei raportoitu yhdelläkään potilaalla.

Avainsanat: ylipainehappihoito

Sisällysluettelo

1	Johdanto	4
2	Ylipainehappihoito	6
2.1	Kehitys	6
2.2	Hoidon tavoitteet	6
2.3	Hoidon toteutus	7
2.4	Vasta-aiheet ja komplikaatiot	8
2.5	Ylipainehappihoito traumapotilailla	9
3	Aineisto ja menetelmät	10
4	Tulokset	11
5	Pohdinta	15
	Viitteet	17

1 Johdanto

Ylipainehappihoito on lääketieteellinen hoitokeino, jossa potilas hengittää sataprosenttista hapetta kammiossa. Kammiota on paineistettu normaalia ilmanpainetta korkeammaksi. Ylipainehappihoito on tehokkain tunnettu keino lisätä kudosten happipitoisuutta ja siten nopeuttaa kudosten paranemista. Ylipainehappihoito pienentää kaasujen tilavuutta, jolloin kaasujen liukoisuus lisääntyy ja happiosapaine nousee. Tämä puolestaan lisää hapen määrää kaikissa elimistön nesteissä ja parantaa hapen tarjontaa kudoksissa. Paineammiossa hengitetty happi nostaa veren happiosapaineen 10–14 kertaiseksi normaali-ilmanpaineessa hengitettyyn huoneilmaan verrattuna. Kaasut siirtyvät suuremmasta osapaineesta pienempään, jolloin hypokseemisen kudoksen hapettuminen parantuu. Paineammiossa happi myös kulkeutuu hiussuonista kudoksiin jopa neljä kertaa etäämmälle kuin normaali-ilmanpaineessa hengitetty happi. (1)

Ylipainehappihoitoa käytetään kirurgiassa osana murskavammojen, avomurtumien ja huonosti paranevien haavojen hoitoa. Lisäksi ylipainehappihoitoa voidaan käyttää esimerkiksi sukeltajantaudin, aivovaltimoiden ilmaembolioiden ja diabeettisten ongelmahaavojen hoidossa. (1) Ylipainehappihoitoa pidetään turvallisena ja suurin osa komplikaatioista on joko vältettävissä tai itsestään rajoittuvia. Yleisin komplikaatio on barotrauma ja pelätyin happimyrkytys. (5)

Turun yliopistollisessa keskussairaalassa (TYKS) on Suomen ainoa ympärivuorokautisesti toimiva ylipainehappihoitokeskus. TYKS:n ylipainehappihoitokammiossa annettiin ensimmäinen hoito 18.10.1968. Vuosien varrella ylipainehappihoitomäärät ovat suurentuneet ja toimintaa on tehostettu. Vuonna 1992 otettiin käyttöön monipaikkainen kammiota, jossa pystytään hoitamaan myös tehohoitopotilaita, tajuttomia ja nukutettuja potilaita. Vuonna 2013 ylipainehappihoitokeskus siirtyi nykyisiin tiloihinsa T-sairaalaan, jossa se sijaitsee teho-osaston yhteydessä. Hoidosta vastaa teho-osaston erikoiskoulutettu henkilökunta. Ylipainehappihoitokeskuksessa on yksi monipaikkainen kammiota sekä kaksi yhden hengen kammiota. Vuonna 2017 TYKS:n ylipainehappihoitokeskuksessa annettiin painekammiohoitoja 796 kertaa yhteensä 151 potilaalle. Hoitojen ja hoidettavien potilaiden määrä on viime vuosina kasvanut noin 20–30 prosenttia vuodessa.

Tämän syventävien opintojen kirjallisen opinnäytetyön tavoitteena on tarkastella ylipainehappihoidon käyttöä traumapotilaiden hoidossa TYKS:ssä. Aineisto koostuu TYKS:ssä vuosina 2010–2022 hoidetuista traumapotilaista. Tutkimuksen tarkoituksena on tarkastella ylipainehappihoidolla hoidettujen traumapotilaiden epidemiologisia tekijöitä, tehtyjä hoitotoimenpiteitä ja hoitoviiveitä, sekä näiden tekijöiden vaikutusta hoitotuloksiin ja mahdollisiin komplikaatioihin. Tutkimuksen tuloksista kirjoitetaan artikkeli, joka julkaistaan lääketieteellisessä julkaisussa.

2 Ylipainehappihoito

2.1 Kehitys

Varhaisimmat kokeilut ylipainehappihoidon suhteen tehtiin jo vuonna 1661. Moderni ylipainehappihoito otettiin käyttöön vuonna 1955. Tuolloin sitä käytettiin tehostamaan syöpäpotilaiden sädehoidon vaikutuksia. Samana vuonna hollantilainen kirurgi Boerema ehdotti ylipainehappihoidon käyttöä sydänleikkausten aikana. Lupaavat tulokset hänen tekemissään eläintutkimuksissa johtivat suuren ylipainehappihoitokammion rakennuttamiseen Amsterdamin yliopistoon. Boerema suoritti ylipainehappihoitokammiossa lukuisia leikkauksia esimerkiksi Fallotin tetralogia- ja pulmonaalistenoosipotilaille. 1960-luvulla julkaistiin ensimmäiset tulokset, joiden mukaan ylipainehappihoidosta todettiin olevan hyötyä myös anaerobi-infektioiden ja hiilidioksidimyrkytyksen hoidossa. (2)

1960-luvulla tehtyjen tutkimusten innoittamana tutkijat etsivät innokkaasti muita sovelluksia ylipainehappihoidolle ja kokeellisia tutkimuksia tehtiin paljon. Ylipainehappihoidon mielivaltainen käyttö johti säännöstelyn tarpeeseen. (2) 1976 the Undersea and Hyperbaric Medical Society (UHMS) teki hoitosuosituksen, jossa määriteltiin viralliset indikaatiot ylipainehappihoidon käytölle. (3)

Nykypäivänä ylipainehappihoidon indikaatiot (2017) ovat hiilidioksidimyrkytys, avomurtuma/murskavamma, säteilynekroosi, sukeltajantauti, ilma/kaasuembolia, nekrotisoiva pehmytkudosinfektio, äkillinen kuuroutuminen, ongelmahaavat, ongelmalliset ihosiirteet, raajan reimplantaatio, osteomyeliitti, reisiluun pään nekroosi, palovammat, verkkokalvon keskuslaskimotukos, sirppisoluanemia, interstitiaalinen kystiitti, aivovamma ja neuroblastooma. (4)

2.2 Hoidon tavoitteet

Ylipainehappihoidon keskeisenä tavoitteena on ei-toivottujen jäännöskaasukuplien liukoisuuden lisääminen ja niiden poistaminen elimistöstä. Lisäksi tavoitteena on happiosapaineen suurentaminen ja kudosten hapensaannin lisääminen esimerkiksi vakavien kudonsvaurioiden yhteydessä. (1) Ylipainehappihoito aiheuttaa vasokonstriktiota, jonka seurauksena kapillaarisuonten läpäisevyys vähenee. Tämä vähentää verenvirtausta kudostuhoalueelle 20 %, joka johtaa turvotuksen vähenemiseen 20 %:lla. (6)

Ylipainehappihoito vähentää myös inflammaatiota, tehostaa antibioottien vaikutusta, vähentää iskemia-reperfuusiovauriota ja stimuloi angiogeneesiä. (7) Pehmytkudoksen paranemista edistää myös fibroblastien ja osteoklastien aktiivisuuden lisääntyminen, sekä kollageenisynteesin kiihtyminen. (1)

2.3 Hoidon toteutus

Ylipainehappihoidossa potilas hengittää sataprosenttista happea kammiossa, joka on paineistettu normaalia ilmanpainetta korkeammaksi. Ylipainehappihoitoa voidaan käyttää kirurgiassa esimerkiksi murskavammojen ja avomurtumien hoidossa. (1) Kirurginen hoito ja ylipainehappihoito eivät ole kilpailevia hoitomuotoja vaan niitä tulisi käyttää tarvittaessa yhdessä parhaan mahdollisen hoitotuloksen saavuttamiseksi. (8)

Ylipainehappihoito toteutetaan joko yksipaikkaisessa tai monipaikkaisessa kammiossa. Yksipaikkaisessa kammiossa potilas hengittää yleensä suoraan kammioon virtaavaa sataprosenttista happea. Osassa yksipaikkaisista kammiosta potilas hengittää happea happimaskin kautta. Yksipaikkainen ylipainehappikammio mahtuu normaaliin potilashuoneeseen. (8)

Monipaikkaiseen kammioon mahtuu yleensä 2–20 henkilöä. Monipaikkaisissa kammiossa kaikilla potilailla on joko happimaski tai huppu, joka kiinnittyy ilmatiiviisti kaulan ympärille. Kammio paineistetaan ilmalla ja potilaat hengittävät happimaskin tai happihupun kautta sataprosenttista happea. Monipaikkaisessa kammiossa on potilaan kanssa aina hoitaja mukana. Ulkopuolella oleva hoitaja kontrolloi kammion paineistusta ja kommunikoi jatkuvasti sisäpuolella olevan hoitajan kanssa. (8)

Kun tehohoitopotilas tarvitsee ylipainehappihoitoa, paineistetaan hänet ja 1–2 sairaanhoitajaa monipaikkaisessa kammiossa, jossa hengityskonehoitoa, elintoimintojen turvaamista ja monitorointia, lääkeinfuusioita ja verikaasuanalyysejä voidaan jatkaa keskeytyksettä. (1) Ylipainehappihoitokammio paineistetaan normaali-ilmanpainetta korkeammaksi, tavallisimmin 2,5 – 2,8 kertaiseksi verrattuna normaali-ilmanpaineeseen (2,5 – 2,8 ATA=atmosphere absolute). Tämä vastaa sukellusta 15–18 metrin syvyyteen. (1) Tyypillisesti akuutin traumaattisen perifeerisen iskemian ylipainehappihoito toteutetaan joko 2 ATA:n paineistuksessa 2 tunnin ajan tai 2,4 ATA:n paineistuksessa 90 minuutin ajan. Ylipainehappihoidon tavallinen kesto on siis 90–120 minuuttia riippuen aiheesta. Kuitenkin

esimerkiksi sukeltajantaudin hoidossa paineistus kestää useita tunteja kerrallaan, yleensä noin 5 tuntia. (10)

Hoito voidaan toteuttaa indikaation mukaan 1–3 kertaa vuorokaudessa 5–7 päivänä viikossa. Happimyrkytys on ylipainehappihoidon pelätyin komplikaatio ja tämän ehkäisemiseksi paineistusten välillä on pidettävä 6–8 tunnin tauko. (1) Murskavammoihin tarvitaan yleensä aggressiivisia sarjahoitoja. Hoito voidaan toteuttaa esimerkiksi 8 kerran sarjana (yksi hoito kolme kertaa vuorokaudessa ensimmäisten kahden vuorokauden ajan, seuraavan kahden vuorokauden ajan kaksi hoitokertaa vuorokaudessa ja lopuksi vielä kahden vuorokauden ajan yksi hoitokerta vuorokaudessa). (8)

2.4 Vasta-aiheet ja komplikaatiot

Ylipainehappihoito on yleensä tehokasta ja hyvin siedettyä. Haittavaikutukset ovat usein lieviä ja ohimeneviä. Yleisin komplikaatio on sisäkorvan barotrauma. (5)

Ylipainehappihoidon aikana välikorvan ja sivuonteloiden paine muuttuu. (1) Barotrauma voidaan yleensä ehkäistä nenän tukkoisuutta vähentävillä lääkkeillä. Tarvittaessa potilaille voidaan tehdä parasenteesit ennen ylipainehappihoitoa. (8)

Happimyrkytys on harvinainen ylipainehappihoidon aikana ilmenevä keskushermoston komplikaatio. Happimyrkytyksen riskiä lisäävät aiempi epilepsia, alkoholin suurkulutus, kuume ja aivokasvaimet. Happimyrkytys ilmenee yleensä kouristuskohtauksena. Yli kymmenen hoitokertaa käsittävän sarjahoidon aikana voi kehittyä myopatiaa, joka kuitenkin yleensä korjaantuu itsestään hoidon päätyttyä. Iäkkäiden kaihi saattaa sarjahoidon myötä pahentua pysyvästi. (1)

Vaikkakin ylipainehappihoito on yleensä tehokasta ja hyvin siedettyä, on sille joitakin vasta-aiheita. Hoitamaton ilmarinta on ehdoton vasta-aihe, sillä se saattaa painekammiossa muuttua paineilmarinnaksi. Aiemmat spontaanit ilmarinnat ja suurirakkulainen keuhkolaajentuma lisäävät riskiä ilmarinnan kehittymiseen hoidon aikana. Hiilidioksidiretentiotaipumus keuhkohtaumataudissa on ylipainehappihoidon suhteellinen vasta-aihe. Suhteellisiin vasta-aiheisiin kuuluu myös eräiden lääkkeiden käyttö. Esimerkiksi eräiden solunsalpaajien aineenvaihdunta muuttuu, mikä johtaa suurempien pitoisuuksien kertymiseen ja näin ollen

suurempiin haittavaikutuksiin. Myös vakava ahtaanpaikankammo on otettava huomioon ylipainehappihoitoa harkittaessa. (1)

2.5 Ylipainehappihoito traumapotilailla

Vaikkakin suurin osa alaraaja murtumista on suljettuja murtumia, vaativat avomurtumat erityistä huomiota. Avomurtumiin liittyy yleensä korkeampi vammaenergia ja merkittäviä pehmytkudosvaurioita. Avomurtumiin liittyy myös suurempi komplikaatioriski. Todettuja komplikaatioita ovat esimerkiksi luutumattomuus, infektiot, krooninen kipu ja pysyvä toiminnallinen haitta. Komplikaatioiden vuoksi vaaditaan usein pidempiä hoitajaksoja ja uusintaoperaatioita. Ylipainehappihoidolla pystytään vähentämään komplikaatioita, lyhentämään hoitoaikoja ja parantamaan hoitotuloksia. (9)

Pitkien luiden avomurtumia on raportoitu 11,5 kappaletta vuodessa 100 000 henkilöä kohden. Suurin osa näistä on sääriluun murtumia. Sääriluun varren murtumat ovat yleisimpiä pitkien luiden murtumista, niiden esiintyvyys on kuitenkin vuosien varrella laskenut. Edelleen on kuitenkin raportoitu 14–17 sääriluun varren murtumaa 100 000 henkilöä kohden kehittyneissä maissa. Näistä noin 1/5 on avomurtumia. Sääriluun avomurtumiin on todettu liittyvän erityisen suuri komplikaatioriski. Näihin liittyy muita murtumia useammin pitkittynyt paraneminen, pitkittynyt luutuminen tai luutumattomuus, infektoita, aitiopaineoireyhtymä ja osteomyeliitti. (9)

Ortopedisten vammojen osalta ylipainehappihoitoa on käytetty avomurtumien, murskavammojen ja aitiopaineoireyhtymien hoidossa. (9) Ennen ylipainehappihoitoa on huolehdittava akuuteista kirurgisista toimenpiteistä, kuten raajan verenkierron palauttamisesta ja murtuman stabiloinnista. Ylipainehappihoitoa harkittaessa otetaan huomioon mm. Gustilo-Anderson-luokitus, potilaan ikä, aikaisempi toiminta-/liikuntakyky, tupakointi, sydän- ja verisuonisairaudet ja munuaisfunktio. (8)

3 Aineisto ja menetelmät

Tämän retrospektiivisen tutkimuksen aineisto koostui traumapotilaista, joita on hoidettu ylipainehappihoidolla TYKS:ssä vuosina 2010–2022. Potilastiedot haettiin aikaväliltä 1.1.2010–30.6.2022. Potilastietojärjestelmästä haettiin kaikki potilaat, joilla ICD-10-diagnoosikoodina oli jokin seuraavista: S82.2, S92.1, T79.6, T14.7 tai T81.4 (sääriluun varren murtuma, telaluun murtuma, lihaksen traumaattinen iskemia, määrittämättömän kehonosan murskavamma ja/tai typistyminen, muualla luokittamaton leikkauksen tai toimenpiteen jälkeen ilmenevä infektio). Näistä potilaista ylipainehappihoitoa saaneita oli 377.

Poissulkukriteerein rajattiin tutkimuksen ulkopuolelle 177 potilasta, jolloin lopullinen tutkimusaineisto käsitti 200 ylipainehappihoidolla hoidettua potilasta. Tutkimuksen ulkopuolelle rajattiin puutteellisten aikatietojen vuoksi potilaat, jotka saivat alkuhoidon muualla, kuin Varsinais-Suomen Sairaanhoidopiirin alueella. Lisäksi tutkimuksen ulkopuolelle rajattiin potilaat, jotka saivat alle 4 ylipainehappihoitoa tai joita hoidettiin ylipainehapella muun kuin akuutin trauman vuoksi.

Tutkimuspotilaista kerättiin sairauskertomusmerkintöjen ja anestesiakaavakkeiden perusteella seuraavat tiedot: sukupuoli, ikä, diabetes (tablettihoitoinen, insuliinihoitoinen, elintapahoitoinen), alkoholianamneesi, tupakointi, alaraajojen tukkiva valtimotauti (ASO-tauti), painoindeksi (BMI) ja leikkauspotilaan riskiluokitus (ASA-luokka). Vammasta ja sen hoidosta kerättiin seuraavat tiedot: tapaturma päivä ja kellonaika, päivystykseen tuloaika, antibiootin aloitusaika, leikkausaika, vamman puoli (oikea/vasen), vamman sijainti alaraajassa, vammamekanismi, mahdolliset liitännäisvammat, vammaenergia, Gustilo-Anderson-luokitus, operatiivisen hoidon menetelmä (levytys, ruuvikiinnitys, sääriluun ydinnalaus, pohjeluun ydinnalaus, ulkoisen kiinnityslaitteen eli ex-fixin käyttö, K-piikki), mahdolliset muut leikkaukset, mahdolliset komplikaatiot ja uusintaleikkaukset. Näiden tietojen perusteella arvioitiin viive vammasta ja päivystykseen saapumisesta antibiootin aloitukseen ja viive päivystykseen saapumisesta leikkaukseen. Ylipainehappihoidon saaneista potilaista kerättiin lisäksi seuraavat tiedot: ylipainehappihoidon aloitus päivämäärä, hoidon aloitusajankohta suhteessa primaarileikkaukseen, hoitokertojen määrä, ylipainehappihoidon mahdollinen keskeytyminen ja hoidon keskeytymisen syy ja hoidon mahdollisesti aiheuttamat komplikaatiot.

4 Tulokset

Ylipainehappihoitoa saaneiden traumapotilaiden kokonaismäärä vuosina 2010–2022 oli 377. Poissulkukriteerien perusteella tutkimusdatan ulkopuolelle rajattiin 177 potilasta, jolloin lopulliseen tutkimukseen sisältyi 200 ylipainehappihoidolla hoidettua potilasta. Näistä 68 % (n=135) oli miehiä ja 32 % (n=65) naisia. Keski-ikä oli 50 vuotta. BMI oli keskimäärin 27,7 kg/m², viiden kohdalla tieto BMI:stä puuttui. Epidemiologiset tiedot on esitetty taulukossa 1. Verrattaessa epidemiologisia tekijöitä komplikaatioiden ilmaantuvuuteen, ei millään tietyllä epidemiologisella tekijällä näyttänyt olevan suoraa korrelaatiota komplikaatioihin.

Taulukko 1. Epidemiologiset tiedot

Tapauksia	200
Sukupuoli, % (n)	
Nainen	32 (65)
Mies	68 (135)
Diabetes, % (n)	
Ei diabetesta	87 (175)
Tablettihoitoinen	6 (11)
Insuliinihoitoinen	6 (12)
Elintapahoitoinen	1 (2)
Alkoholiamneesi, % (n)	
Ei	83 (166)
Kyllä	17 (34)
Tupakointi, % (n)	
Ei	60 (121)
Kyllä	29 (58)
Ei mainintaa	11 (21)
ASO-tauti, % (n)	
Ei	98 (197)
Kyllä	2 (3)

Ylipainehappihoidolla hoidetuista traumaista 51 % (n=102) koski oikeaa alaraajaa, 48 % (n=96) vasenta ja 1 % (n=2) molempia. Yleisin ylipainehappihoidolla hoidettu alaraajan trauma oli distaalisen tibian murtuma, näitä oli 17 % (n=34). Proksimaalisen tibian murtumia oli 9 % (n=17) ja diafyysimurtumia 12 % (n=24). Useampi kuin yksi murtuma tibiassa oli 2 %:lla (n=3). Nilkkamurtumapotilaista 3 %:lla (n=6) oli unimalleolaarimurtuma, 12 %:lla (n=23) bimalleolaarimurtuma ja 15 %:lla (n=29) trimalleolaarimurtuma. Muun, kuin tibian vamman vuoksi ylipainehappihoidolla hoidettiin 35 % (n=71) traumapotilaista.

Ylipainehappihoitoa vaatineista vammoista 66 % (n=132) oli korkeaenergisiä. Hoidetuista traumaista 62 % (n=125) oli avomurtumia, 38 % (n=75) oli suljettuja murtumia tai pehmytkudoksen tilannetta ei ollut erikseen sairaskertomusmerkinnöissä mainittu. Avomurtumat luokiteltiin leikkaussalikertomuksessa ilmoitetun Gustilo-Anderson-luokituksen mukaisesti. 7 % (n=9) oli luokan I avomurtumia, 41 % (n=52) luokan II avomurtumia, 31 % (n=39) luokan IIIA avomurtumia, 18 % (n=23) luokan IIIB avomurtumia ja 2 % (n=3) luokan IIIC avomurtumia. Leikkaushoidolla hoidettiin 96 % (n=191) potilaista. Osalla potilaista käytettiin useampia eri leikkausmenetelmiä. Operatiiviseen hoitoon liittyviä tietoja on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Hoitomenetelmät

Levytys, % (n)	46 (92)
Ruuvikiinnitys, % (n)	16 (33)
Sääriluun ydinnalaus, % (n)	9 (19)
Pohjeluun ydinnalaus, % (n)	2 (4)
Ex-fix, % (n)	19 (39)
K-Piikki, % (n)	10 (20)
Stage treatment, % (n)	20 (40)
Uusintaoperaatio, % (n)	20 (41)
Konservatiivinen hoito, % (n)	4 (9)

Ylipainehappihoitoa saaneista potilaista 94 % (n=188) sai vähintään viisi hoitoa ja 6 % (n=12) sai alle viisi hoitoa. 51 %:lla ylipainehappihoito päästiin aloittamaan alle 48 tunnin kuluessa vammasta. Yli 120 tunnin viiveellä ylipainehappihoito aloitettiin 11 %:lla (n=22) potilaista. Vain 2 %:lla (n=4) ylipainehappihoito aloitettiin jo ennen primaarileikkausta, 98 %:lla (n=196) vasta primaarileikkauksen jälkeen. Ylipainehappihoito keskeytyi 2 %:lla (n=4). Syitä

hoidon keskeytymiseen oli ahdistus/paniikkikohtaus (n=1), delirium (n=1), jatkohoitoon siirtyminen (n=1), sekä tilanne, jossa arvioitiin, ettei hoidolla saavutettaisi enää lisähäyötyä (n=1). Ylipainehappihoitoon liittyviä komplikaatioita ei raportoitu yhdelläkään potilaalla.

Ylipainehappihoidolla hoidetuista potilaista 42 %:lla (n=85) oli vammaan tai leikkaushoitoon liittyvä komplikaatio, näistä 62 oli avomurtumapotilaita. 27 potilaalla ylipainehappihoito aloitettiin viiveellä, vasta jo todetun komplikaation jälkeen. Komplikaatioista yleisin oli nekroosi, jota ilmeni avomurtuma saaneista 13 %:lla (n=25) ja sulkeisen murtuman saaneista 6 %:lla (n=12). Muita komplikaatioita olivat pinnallinen infektio avomurtuman saaneista 4 %:lla (n=8), sulkeisen murtuman saaneista 1 %:lla (n=1), syvä infektio avomurtuman saaneista 5 %:lla (n=9) ja sulkeisen murtuman saaneista 2 %:lla (n=4). Luutumattomuus ilmeni avomurtuman saaneista 4 %:lla (n=7) ja sulkeisen murtuman 1 %:lla (n=2).

Leikkaushaava jäi auki avomurtuman saaneista 1 %:lla (n=1) ja sulkeisen murtuman saaneista 2 %:lla (n=3). Mekaaninen komplikaatio ilmeni avomurtuman saaneista 1 %:lla (n=2) ja sulkeisen murtuman saaneista 2 %:lla (n=3). 7 %:lla (n=14) avomurtuman saaneista todettiin infektio ja nekroosi samanaikaisesti. Komplikaation vuoksi uusintaleikkaukseen päädyttiin 37 %:ssa (n=74) tapauksista. Komplikaatioiden vuoksi tehtyjen uusintaleikkausten tietoja on esitetty taulukossa 3. Ylipainehappihoidolla hoidetuista traumapotilaista 64 % (n=128) tarvitsi ylimääräisiä kontrollikäyntejä tai pitkittynyttä seurantaa. Pitkäaikainen toimintakyvyn alenema jäi 37 %:lle (n=73) potilaista.

Taulukko 3. Uusintaoperaatiot komplikaation vuoksi

Revisio, % (n)	14 (28)
Kieleke, % (n)	12 (24)
Ihonsiirto, % (n)	12 (23)
Levynpoisto, % (n)	9 (17)
Naulan poisto, % (n)	1 (2)
Ex-Fix, % (n)	4 (9)
Deesi/luudutus, % (n)	5 (10)
Levytys, % (n)	8 (15)
Naulaus, % (n)	6 (11)
Amputaatio, % (n)	5 (10)
Osteotomia, % (n)	1 (1)
Luusiirre, % (n)	1 (2)

Viive vammasta antibiootin aloitukseen avomurtuman saaneilla potilailla (n=125) oli keskimäärin vain 3 tuntia. Viive vammasta ylipainehappihoidon aloittamiseen potilailla, joille ei aiheutunut myöhempiä komplikaatioita oli keskimäärin 66 tuntia. Potilailla, joille aiheutui myöhempiä komplikaatioita, viive oli keskimäärin 53 tuntia.

5 Pohdinta

Tämän retrospektiivisen tutkimuksen tulosten perusteella ei havaittu, että millään yksittäisellä epidemiologisella tekijällä olisi vaikutusta komplikaatioiden ilmaantuvuuteen.

Ylipainehapella hoidetuista traumaista 68 % koski miehiä. Kirjallisuuden mukaan pitkien luiden avomurtumat ovat yleisempiä nimenomaan miesten keskuudessa. (11) Avomurtuman saaneilla potilailla komplikaatioita havaittiin selvästi enemmän verrattuna potilaisiin, joilla ei todettu pehmytkudosvauriota. Löydös on linjassa aikaisemman kirjallisuuden kanssa. (9, 11, 12) Nekroosi, pinnalliset infektiot, syvät infektiot ja luutumattomuus olivat yleisempiä avomurtuman saaneilla. Vertailtaessa leikkausmenetelmiä ja myöhemmin aiheutuneita komplikaatioita, ei havaittu, että leikkausmenetelmällä olisi merkittävää vaikutusta komplikaatioiden ilmaantuvuuteen. Leikkausmenetelmistä yleisin oli levytys 46 %:lla. Löydös on linjassa Intiassa tehdyn prospektiivisen monikeskus kohorttitutkimuksen kanssa. Kyseisessä kohorttitutkimuksessa 43 % tibian murtumista hoidettiin levytyksellä ja levytys oli yleisimmin käytetty leikkausmenetelmä. (12)

Potilaille, jotka saivat ylipainehappihoitoa vähintään viisi kertaa, komplikaatioita ilmaantui suhteellisesti vähemmän, kuin potilaille, jotka saivat ylipainehappihoitoa alle 5 kertaa. Tulokseen voi kuitenkin vaikuttaa se, että ryhmässä, jotka saivat alle viisi ylipainehappihoitokertaa, potilaita oli vain 12. Vastaavasti ryhmässä, jotka saivat ylipainehappihoitoa vähintään viisi kertaa, potilaita oli 188. Viiveellä vammasta ylipainehappihoidon aloittamiseen ei havaittu olevan yhteyttä myöhempien komplikaatioiden ilmaantuvuuteen.

Kuten aikaisemmissakin tutkimuksissa on todettu, ylipainehappihoito on yleisesti turvallista ja hyvin siedettyä. Ylipainehappihoito keskeytyi vain 2 %:lla (n=4) potilaista. Ylipainehappihoitoon liittyviä komplikaatioita ei havaittu yhdelläkään potilaalla. Tuloksiin voi vaikuttaa se, että tutkimuksen ulkopuolelle rajattiin potilaat, jotka saivat alle 4 ylipainehappihoitokertaa. Todennäköistä on, että tässä ryhmässä on potilaita, joilla hoito on komplikaation vuoksi jouduttu keskeyttämään. Ensimmäisessä aiheesta tehdyssä satunnaistetussa kliinisessä tutkimuksessa (HOLLT) 12 % (n=7) sai hoidosta haittoja ja hoito jouduttiin keskeyttämään. HOLLT-tutkimuksessa ylipainehapella hoidetuilla tibian avomurtumapotilailla ilmaantui vähemmän komplikaatioita, etenkin akuuttien komplikaatioiden kuten nekroosin ilmaantuminen väheni verrokkiryhmään nähden. (9)

Toisessa pienemmässä satunnaistetussa kliinisessä tutkimuksessa ei todettu statistisesti merkittävää eroa haavojen paranemisessa, mutta haavojen vaikeusaste oli selvästi pienempi ylipainehappihoitoa saaneilla potilailla verrokkiryhmään nähden. (7) Cochrane katsauksessa, joka käsitteli ylipainehappihoidon käyttöä murtumien paranemisen edistämiseksi ja pseudoartroosin ehkäisemiseksi, ylipainehappihoidolla ei havaittu olevan merkittävää hyötyä. (10)

Kuten muissakin aiheesta tehdyissä tutkimuksissa on todettu, ylipainehappihoidon tehon arviointia vaikeuttaa edelleen puute riittävän suurista kontrolloiduista tutkimuksista. Usein yksittäisten ylipainehappihoidokeskusten potilasmäärä on suhteellisen pieni, tämä osaltaan selittää kontrolloitujen tutkimusten vähäisyyttä. Ylipainehappihoidolla hoidettavat traumapotilaat muodostavat kliinisesti hyvin heterogeenisen ryhmän. Tämän vuoksi on vaikea suunnitella luotettavia randomisoituja kliinisiä tutkimuksia, joissa olisi tarkasti määritelty, mutta toisaalta riittävän laaja potilasjoukko. Osaltaan tutkimustuloksiin vaikuttaa myös se, että ylipainehappihoitoon on todettu liittyvän melko merkittävää plasebo-vaikutusta, etenkin toistetuissa ylipainehappihoidoissa. (5) Toistaiseksi ylipainehappihoidon käyttö perustuu pitkälti kokemukseräiseen arvioon hoidon hyödyistä ja vaikuttavuudesta. (1) Jatkossa aiheesta tarvitaan lisää laajoja, satunnaistettuja, kontrolloituja kliinisiä tutkimuksia.

Retrospektiivisen tutkimusasetelman vuoksi tämän tutkimuksen heikkoutena oli osittain puutteelliset sairauskertomusmerkinnät. Tämän vuoksi ei voida täysin luotettavasti arvioida esimerkiksi epidemiologisten tekijöiden mahdollista vaikutusta myöhempien komplikaatioiden ilmaantuvuuteen. Potilasmäärä oli myös suhteellisen pieni ja potilasmassa hyvin heterogeeninen, mikä osaltaan vaikuttaa tulosten luotettavuuteen. Tässä tutkimuksessa ei myöskään ollut käytössä verrokkiryhmä sellaisten potilaiden osalta, jotka eivät ole saaneet ylipainehappihoitoa. Aineiston perusteella tehdään vielä myöhemmin tapaus-verrokkitutkimus.

Viitteet

1. Arola O. Ylipainehappihoito, *Duodecim* 2018;134(20):1996-2005
2. Buettner M., Wolkenhauer D., Hyperbaric Oxygen Therapy in the Treatment of Open Fractures and Crush Injuries, *Emergency Medicine Clinics of North America*, Volume 25, Issue 1, 2007, s. 177-188
3. Williams STB., The role of hyperbaric oxygen therapy in trauma, *Trauma*, Volume 12, Issue 1, 2010, s. 13-20.
4. Mathieu D., Marroni A., Kot J., Tenth European Consensus Conference on Hyperbaric Medicine: recommendations for accepted and non-accepted clinical indications and practice of hyperbaric oxygen treatment, *Diving Hyperbaric Medicine*, Volume 47, Issue 1, 2017, s.24-32
5. Kwee, E., Borgdorff, M., Schepers, T. *et al.* Adjunctive hyperbaric oxygen therapy in the management of severe lower limb soft tissue injuries: a systematic review. *Eur J Trauma Emerg Surg*, Volume 50, 2024, s. 1093–1100
6. Strauss MB., The effect of hyperbaric oxygen in crush injuries and skeletal muscle-compartment syndromes, *Undersea & Hyperbaric Medicine*, Volume 39, Issue 4, 2012, s. 847-855.
7. Manish R., Bhartiya R.K., Rajput A.K., Singh S.K., Jadon Jitendra P.S., Gill S.P.S., Hyperbaric oxygen therapy for soft tissue injury in open musculoskeletal trauma: A prospective study, *Cureus*, Volume 15, Issue 11, 2023
8. Torp K.D., Murphy-Lavoie H.M., Acute Traumatic Ischemia Hyperbaric Evaluation and Treatment, *StatPearls*, 2022
9. Millar I.L., McGinnes R.A., Williamson O., et al. Hyperbaric oxygen in lower limb trauma (HOLLT); protocol for a randomised controlled trial. *BMJ Open*, Volume 5, Issue 6, 2015
10. Bennett M.H., Stanford R.E., Turner R., Hyperbaric oxygen therapy for promoting fracture healing and treating fracture non-union, *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2012, Issue 11, 2012
11. Court-Brown C.M., Rimmer S., Prakash U., McQueen M.M., The epidemiology of open long bone fractures, *Injury*, Volume 29, Issue 7, 1998
12. Doshi P., Gopalan H., Sprague S., *et al.* Incidence of infection following internal fixation of open and closed tibia fractures in India (INFINITI): a multi-centre observational cohort study. *BMC Musculoskelet Disord*, Volume 18, Issue 156, 2017

