



**TURUN
YLIOPISTO**

Nestetasapainon muutokset pediatriisilla tehohoitopotilailla BIA-laitetta hyödyntäen

Lastentautioppi
Syventävien opintojen kirjallinen työ

Laatija:
Vilma Sironen

Ohjaajat:
Dos. Janne Kataja, EL Minna Virta

28.2.2025
Turku

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

Syventävien opintojen kirjallinen työ

Oppiaine: Lastentautioppi

Tekijä: Vilma Sironen

Otsikko: Nestetasapainon muutokset pediatriisilla tehohoitopotilailla BIA-laitetta hyödyntäen

Ohjaajat: Dos. Janne Kataja, EL Minna Virta

Sivumäärä: 28 sivua

Päivämäärä: 28.2.2025

Nestetasapainon häiriöt ovat yleinen ongelma sairaalahoidossa olevilla lapsipotilailla. Hoidon aikana iso osa potilaista saa parenteraalista nestehoitoa erilaisin indikaatioin, kuten ylläpitonesteytyksestä huolehtimiseksi tai tapahtuneiden menetysten korjaamiseksi. Nestetasapainon arvioiminen on usein haastavaa ja sen arvioinnissa hyödynnetään esimerkiksi painon seurantaa, potilaan ottamien ja erittämien nesteiden laskemista, virtsamäärien seurantaa sekä kliinistä arviota. Turun yliopistollisen keskussairaalan lasten ja nuorten teho-osastolla käytössä on edellisten rinnalla bioimpedanssianalysaattori, eli BIA-laite. Laitteen toiminta perustuu vaihtovirtaan ja sen kulkemiseen eri kudoksissa. Tämän tutkielman tarkoituksena on pohtia onko painon seuranta riittävä mittari nestetasapainon arvioinnissa. Painon perusteella saatua arviota verrataan BIA-mittauksista saataviin arvioihin.

Tutkimukseen valittiin mukaan potilaat (n=39), joista oli tehty BIA-mittaus tai -mittauksia lasten ja nuorten teho-osastolla aikavälillä 10/2021–4/2024. Tutkimusta varten haettiin tehdyistä mittauksista saatu data taulukkomuodossa ja sitä täydentämään etsittiin oleellisia tietoja potilastietojärjestelmästä. Tietojen perusteella laskettiin muun muassa mahdollisen nestetasapainonhäiriön suuruus painoon sekä BIA-mittauksiin perustuvien arvioiden osalta. Lisäksi tarkasteltiin tarkemmin BIA-mittauksista saatuja arvoja nestetasapainon kannalta.

Tutkimuksen perusteella voidaan todeta nestetasapainon häiriöiden olevan varsin yleisiä Tyks:n lasten ja nuorten teho-osastolla, vaikka nestetasapainoon on pyritty hoidon aikana vaikuttamaan nestehoitoprotokollalla ja tarvittaessa nesteenpoistolääkkein. Merkittäväksi häiriöksi tutkimuksessa tulkittiin kuivuma >3% tai nesteylimäärä >5%. Merkittävä muutos oli painon perusteella 83 %:lla ja BIA-mittausten perusteella 55 %:lla tutkimuksessa tarkastelluista potilaista. Erikseen eriteltiin keskivaikeat ja vaikeat nesteylimäärät sekä kuivumat. Keskivaikea tai vaikea nesteylimäärä oli painon perusteella 33 %:lla ja BIA-mittausten perusteella 5 %:lla. Vastaavasti keskivaikea tai vaikea kuivuma oli painon perusteella 10 %:lla ja BIA-mittausten perusteella 2 %:lla. Näiden tulosten perusteella painoon perustuva arvio nestetasapainosta yliarvioi nestetasapainonhäiriön vaikeusasteen verrattuna BIA-mittaukseen perustuvaan arvioon.

Avainsanat: nestetasapaino, bioimpedanssianalyysi

Sisällysluettelo

1	Johdanto	4
2	Kirjallisuuskatsaus	6
2.1	Nestetasapainon säätely	6
2.2	Nesteylimäärä	7
2.3	Kuivuma	10
2.4	Bioimpedanssianalyysi	11
3	Tutkimuksen tarkoitus	14
4	Aineisto ja menetelmät	15
5	Tulokset	18
6	Pohdinta	22
	Lähteet	25

1 Johdanto

Nestetasapainon arviointi on tärkeä osa potilaan hoitoa sairaalajakson aikana. Potilaalla voi olla ongelmia nestetasapainon kanssa hoitoon tullessa, tai ne voivat kehittyä hoitojakson aikana. Muutoksia nestetasapainossa voi tapahtua missä tahansa vaiheessa hoitoa. Sen säilyttäminen on olennaista homeostaasin ylläpitämiseksi, koska sekä nesteytymäärä että kuivuma voivat aiheuttaa hoitoa vaikeuttavia komplikaatioita.

Vesi on elintärkeää elimistön homeostasian ylläpitämiseksi. Nesteiden osuus lapsen kokonaispainosta vaihtelee iän mukaan. Vastasyntyneillä se on tyypillisesti noin 70–80 %, mutta laskee aikuisikään mennessä 50–60 %:iin (Zieg ym., 2024). Elimistön kokonaisnestemäärästä käytetään englanninkielisessä kirjallisuudessa termiä “total body water” (TBW). Elimistössä neste jakautuu intrasellulaariseen, eli solunsisäiseen (intracellular water, ICW) ja solunulkoiseen (extracellular water, ECW) tilaan. Solunsisäisen nesteiden osuus kehonpainosta on noin 35–45 %, ja se pysyy lähes muuttumattomana läpi elämän (Kiviluoma K., 2020; Sallialmi M., 2020). Solunulkoiseen nesteeseen puolestaan kuuluu soluvälitilat ja veren plasma, ja sen osuus kokonaispainosta muuttuu ensimmäisen elinvuoden aikana noin 40–45 %:sta 25–20 %:iin (Kataja ym., 2023; Kiviluoma K., 2020; Sallialmi M., 2020).

Nestehoito on olennainen osa monien sairaalapotilaiden hoitoa ja sillä on useita indikaatioita, kuten perustarpeiden tyydyttäminen tai menetysten korjaaminen. Kuivuman korjaamiseksi annettavan neste-elvytyksen tavoitteena on saavuttaa riittävä kiertävä verivolyymi, jotta sydämen minuuttitulavuus ja kudospesuus pysyvät riittävän suurina. Hoidossa voidaan käyttää suonensisäisiä perusnesteitä sekä lääkkeitä ja ravitsemusliuoksia. Lapsilla annettavien nesteiden määrää ja laatua tulee arvioida tilanteen mukaan ja siinä tulee huomioida lapsen pituus, paino ja mahdolliset aikaisemmat tai tulevat muutokset nestetasapainossa. Lasten ja nuorten teho-osastolla käytetään Holliday-Segarin kaavaa perusnestetarpeen arviointiin. Kaavan mukaan perusnesteiden tarve on ensimmäistä kymmentä painokiloa kohden 100 ml/kg, seuraavaa kymmentä painokiloa kohden 50 ml/kg ja tämän jälkeisiä painokiloja kohden 20 ml/kg (Holliday & Segar, 1957). Nestehoito on suunniteltava tietylle ajanjaksolle ja sen toteutumista on valvottava. Tarvittaessa hoitosuunnitelmaa tulee päivittää.

Nestetasapainon tarkka arviointi on haasteellista. Arvioinnissa käytetään painon mittaamista, potilaan ottamien ja erittämien nesteiden määrän seuraamista, virtsamäärien seuraamista sekä

kliinistä arviota nestetasapainosta. Kliiniseen arvioon kuuluu esimerkiksi limakalvojen kosteuden tarkastelu, ihon kimmoisuuden arvio sekä verenpaineen ja pulssin mittaus. Nestetasapainon arvioon on kehitetty myös mittareita ja laitteita. Turun yliopistollisessa keskussairaalassa lasten teho-osastolla on käytössä bioimpedanssianalysaattori (BIA-laite), jonka toiminta perustuu sähkövirtaan ja sen erilaisiin johtumisprofiileihin eri kudoksissa. BIA-laitteen avulla saadaan yksityiskohtaisempi arvio lapsen nestetasapainosta ja ravitsemustilasta aiempiin menetelmiin verrattuna. Tässä tutkielmassa selvitetään, minkälaisia arvoja BIA-mittauksesta on saatu verrattuna potilaan painon arviointiin.

2 Kirjallisuuskatsaus

2.1 Nestetasapainon säätely

Normaalitilanteessa nestetasapainon säätely tapahtuu monin eri mekanismein. Säätelyyn osallistuu muun muassa antidiureettinen hormoni (ADH), jonka tuotanto tapahtuu hypothalamuksessa ja erityisesti aivolisäkkeen takalohkosta. ADH:n toimintamekanismina on lisätä veden takaisinottoa eli reabsorptiota munuaisissa. Tällöin vettä kertyy elimistöön ja virtsamäärä pienenee. Antidiureettisen hormonin eritystä lisääntyy, kun hypothalamuksen osmoreseptorit havaitsevat osmolaliteetin suurentumisen tai baroreseptorit ympäri elimistöä havaitsevat kiertävän verivolyymin pienentyneen. Osmoreseptorien aktivaatio saa aikaan myös janon tunteen. Negatiivinen palautesäätely aktivoituu, kun plasman osmolaliteetti pienenee tai kiertävä verivolyyymi suurenee. (Selewski ym., 2019; Zieg ym., 2024)

Tärkein osmolaliteettiin vaikuttava tekijä on plasman natriumpitoisuus. Muutokset plasman natriumpitoisuudessa saavat aikaan myös osmoottisen gradientin muutoksia, joiden seurauksena vettä siirtyy solujen ja solunulkoisen tilan välillä. Natriumtasapainon säätely tapahtuu reniini-angiotensiini-aldosteronijärjestelmän (RAA-järjestelmä) kautta. RAA-järjestelmä on monivaiheinen kokonaisuus, jonka toimintaa stimuloidaan usein eri mekanismein, esimerkiksi virtsasuodoksen natriumpitoisuuden, verenpaineen ja plasman kaliumpitoisuuden kautta. Virtsasuodoksen matala natriumpitoisuus saa aikaan reniinin erityksen munuaisissa. Reniinin tehtävänä on pilkkoa angiotensinogeeni angiotensiini I:ksi, joka pilkotaan edelleen angiotensiini II:ksi. Angiotensiini II saa aikaan aldosteronin erityksen ja verisuonten sileiden lihasten supistumisen. Aldosteroni puolestaan lisää natriumin takaisinottoa munuaisissa. (Sane, 2010)

ADH:n erittyminen voi myös käynnistyä epätarkoituksenmukaisesti (syndrome of inappropriate antidiuretic hormone secretion, SIADH). Tällöin potilas on yleensä euvoleeminen, hänen osmolaliteettinsa on pienentynyt ja hänellä on mahdollisesti plasman laimenemisen myötä kehittynyt hyponatremia. ADH:ta voi erittyä epätarkoituksenmukaisesti lukuisista eri syistä, esimerkiksi keskushermostosairauksissa, leikkauksen jälkeen, kivun ja pahoinvoinnin seurauksena tai lääkeaineiden kuten opioidien ja antikonvulsanttien käytön seurauksena (Rautakorpi ym., 2020). Hyponatremia voi olla lapsipotilaalle vaarallinen, koska se voi aiheuttaa neurologisia ongelmia, kuten hyponatremista enkefalopatiaa. Lapsipotilailla

enkefalopatia voi olla erityisen vaarallista, sillä lasten aivot vievät kallonsisäisestä tilavuudesta suhteellisesti suuremman osuuden kuin aikuisten, joten tilaa niiden turpoamiselle on vähemmän. (Moritz, 2019)

2.2 Nesteylimäärä

Nestetasapainoon liittyvä terminologia on ollut aiemmin vailla selkeitä määritelmiä. Marraskuussa 2021 järjestetyssä Pediatric Acute Disease Quality Initiative (ADQI) -konferenssissa pyrittiin luomaan tarkempia määritelmiä termeille kuten *fluid overload*, *daily fluid balance*, *cumulative fluid balance* sekä *percent cumulative fluid balance*. Aiemmassa kirjallisuudessa nesteylimäärästä (fluid overload, FO) on puhuttu tilanteesta, jossa elimistöön kertyy enemmän nestettä kuin sieltä poistuu. Konferenssissa tarjottiin nesteylimäärän määritelmäksi tilaa, jossa potilaan nestetasapaino on positiivinen ja siihen liittyy jokin päätetapahtuma, kuten mekaanisen ventilaation tarpeen pidentyminen.

Vuorokauden nestetasapaino (daily fluid balance) kertoo vuorokaudessa potilaan ottamien ja erittämien nesteiden erotusta tai painon muutosta. Kumulatiivinen nestetasapaino (cumulative fluid balance) puolestaan lasketaan vuorokautta pidemmältä ajanjaksolta samaan tapaan kuin vuorokauden nestetasapaino. Tässä käytetyn ajanjakson pituus voidaan määrittellä vapaasti. Prosentuaalinen kumulatiivinen nestetasapaino (percent cumulative fluid balance) kuvaa nestetasapainon prosentuaalista muutosta valitun ajanjakson aikana. Tässäkin voidaan hyödyntää joko nesteiden laskemista tai käyttää painonseurantaa. Jos mittauksissa käytetään painonseurantaa, tulee valita jokin paino, johon aina verrataan. Usein se on paino sairaalaan tai teho-osastolle tullessa. (Selewski ym., 2024) Laskemiseen käytetyt kaavat on esitelty alla asetelmassa 1.

Vuorokauden nestetasapaino

= nykyinen paino (kg) – edellisen päivän paino (kg)

TAI

= vuorokauden aikana otetut nesteet (l)

– vuorokauden aikana erittyneet nesteet (l)

Kumulatiivinen nestetasapaino

$$= \Sigma \text{ nykyinen paino (kg) - vertailupaino (kg)}$$

TAI

$$= \Sigma \text{ otetut nesteet (l) - erittyneet nesteet (l)}$$

Prosentuaalinen kumulatiivinen nestetasapaino

$$= \frac{[\text{nykyinen paino (kg) - vertailupaino (kg)}]}{\text{vertailupaino (kg)}} \times 100\%$$

TAI

$$= \frac{\Sigma[\text{otetut nesteet (l) - erittyneet nesteet (l)}]}{\text{vertailupaino (kg)}} \times 100\%$$

Asetelma 1. Kaavat nestetasapainon laskemiseksi

Nesteylimäärän vaikeusaste luokitellaan muutoksen suuruuden mukaan. Muutos (x) välillä 0 % ≤ x ≤ 5 % on minimaalinen, 5 % < x ≤ 10 % lievä, 10 % < x ≤ 15 % keskivaikea ja >15 % vaikea. Tehohoidossa olevilla lapsilla nesteylimäärä on varsin yleinen; sitä esiintyy jopa 30 %:lla potilaista (Alobaidi ym., 2018). Nesteylimäärälle ei kuitenkaan ole yleisesti käytössä olevia kynnyksarvoja, jotka olisivat päteviä vakavasti sairaita lapsia hoidettaessa (Soulages Arrese & Green, 2022). Nestetasapainon muutoksia tulee aina tarkastella tilannekohtaisesti, sillä positiivinen nestetasapaino ei ole kaikissa tilanteissa haitallista. Myös liiallista negatiivista nestetasapainoa pyritään välttämään. (Selewski ym., 2024)

Nesteylimäärä kehittyy, kun verisuonen endoteelin glykokalyksi vaurioituu. Glykokalyksi on solujen ulkopintaa verhoava kerros, joka koostuu hiilihydraattipitoisista molekyyleistä. Vaurioita voivat aiheuttaa esimerkiksi hypervolemia, verenvuotosokki, iskemia, tulehdus tai hyperglykemia. Glykokalyksin vaurioitumisen seurauksena nestettä siirtyy verisuonista kudoksiin normaalia enemmän. Tämä aiheuttaa ensin hypovolemian, minkä seurauksena elimistö pyrkii säästämään vettä. Veden säästämistä seuraa puolestaan nesteylimäärä ja kapillaarien hydrostaattisen paineen nousu. Nesteen siirtyminen suonista soluvälitiloihin aiheuttaa kudosturvotusta, joka ilmenee eri elimissä eri tavoin. Hyvin suunniteltu ja toteutettu nestehoito suojaa glykokalyksia vaurioilta, jolloin läpäisevyyshäiriöt ja niistä johtuvat kudosturvotukset vähenevät. (Aho, 2015)

Nesteen kertyminen aiheuttaa häiriön elimistön homeostaasiin. Nesteylimäärä on yhteydessä lukuisiin päätapahtumiin esimerkiksi keuhkoissa ja munuaisissa, ja se vaikuttaa sairastuvuuteen ja kuolleisuuteen. (Alobaidi ym., 2018; Fernández-Sarmiento ym., 2023) Yleisimmin nesteylimäärä kehittyy sairaalahoidossa olevalle potilaalle. Taustalla voi olla esimerkiksi liian runsas parenteraalinen nesteytys tai veden poistumishäiriö, yleisimmin liian vähäinen virtsaaminen. Vähäinen virtsaaminen voi johtua esimerkiksi häiriöstä virtsantuotannossa, jonka taustalla voi olla esimerkiksi munuaisten, sydämen tai maksan vajaatoiminta. Normaalisti virtsaa erittyy noin 1–3 ml/kg/vrk, ja virtsan eritystä pidetään heikentyneenä, kun määrä on alle 0,5 ml/kg/h (Kiviluoma, 2020). Nesteylimäärä voi kehittyä myös poikkeavan runsaan juomisen, eli polydipsian, seurauksena (Rautakorpi ym., 2020).

Keuhkoissa kudosturvotuksen kehittyminen heikentää kaasujenvaihtoa, mikä johtaa hapenpuutteeseen ja hiilidioksidin kertymiseen. Hiilidioksidin kertyminen aiheuttaa veren happamoitumisen, jolloin tilaa kutsutaan respiratoriseksi asidoosiksi. Jos potilas ei kykene kompensoimaan veren happamoitumista itse, tilanne voi vaatia mekaanista hengitystukea. Nesteylimäärän kehittyminen hoidon aikana voi pidentää mekaanisen ventilaation tarvetta. (Gomes ym., 2023; Matsushita ym., 2022). Hengityskoneen asetuksia tarkastellessa on havaittu, että lapsipotilailla, joilla käytettiin spontaania hengitystä tukevaa paineventilaatiota, nesteylimäärä oli pienempi verrattuna potilaisiin, jotka tarvitsivat kontrolloitua ventilaatiota. (Gomes ym., 2023).

Munuaisissa nesteylimäärä aiheuttaa interstitiaalista tubulaarista ödeemaa, mikä heikentää munuaisten toimintakykyä. Tämän seurauksena glomerulusten eli hiussuonikerästen suodatusnopeus (glomerular filtration rate, GFR) pienenee. Munuaisten toimintakyvyn heikentyessä voi kehittyä akuutti munuaisvaurio (acute kidney injury, AKI). Nesteylimäärä oli suurempi potilailla, joille kehittyi hoidon aikana AKI (Matsushita ym., 2022). Lisäksi jatkuvan munuaisten korvaushoidon tarve lisääntyi nesteylimäärän kasvaessa (Alobaidi ym., 2018). AKI:n kehittymistä pyritään ehkäisemään optimoimalla ravitsemus, monitoroimalla elektrolyyttitasapainoa ja estämällä nesteylimäärän kehittyminen (Selewski ym., 2019).

2.3 Kuivuma

Kuivuma eli dehydraatio on tila, jossa elimistöstä poistuu enemmän nestettä kuin sitä saadaan. Nestetasapainon säätely tapahtuu kuivumassa samoilla mekanismeilla kuin nesteylimäärässä. Kuivuma on lasten yleisin nestetasapainon häiriö. Sen aiheuttajia voivat olla esimerkiksi niukka juominen, ripuli, oksentelu, kuume tai verenvuoto. Ongelma vaikeutuu helposti, jos lapsi ei suostu syömään tai juomaan. (Kataja ym., 2023; Kiviluoma, 2020)

Kuivumat voidaan luokitella plasman natriumpitoisuuden perusteella iso- ($P\text{-Na}^+$ 136-145 mmol/l), hypo- ($P\text{-Na}^+ < 136$ mmol/l) ja hypernatremisiin ($P\text{-Na}^+ > 145$ mmol/l) kuivumiin. Yleisin tyyppi on isonatreeminen kuivuma, jossa solunulkoisesta tilasta menetetään yhtä paljon natriumia ja vettä. Hyponatreeminen kuivuma voi kehittyä esimerkiksi silloin, kun gastroenteriittia sairastavan lapsen kuivumaa korjataan liian vähäsuolaisella nesteellä. Hypernatreeminen kuivumasta taas ilmenee esimerkiksi diabeettisen ketoasidoosin yhteydessä, jolloin elimistöstä poistuu suhteessa enemmän vettä kuin natriumia. (Kataja ym., 2023; Powers, 2015)

Nestettä voi siirtyä soluista ja plasmasta myös soluvälitiloihin, eli interstitiumiin. Tämä voi johtaa verenkierron hypovolemian kehittymiseen, vaikka elimistön kokonaisnestemäärä olisikin normaali. Syitä tähän voivat olla esimerkiksi nesteylimäärän pohjalta kehittynyt verisuonten endoteelin glykokalyksin vaurioituminen. Glykokalyksi voi vaurioitua myös sepsissä infektioissa tai leikkauksen jälkeen. Muita syitä ovat muun muassa plasman albumiinipitoisuuden lasku, esimerkiksi nefroottisen munuaistaudin tai maksan vajaatoiminnan vuoksi. Kun plasman albumiinipitoisuus laskee alle 20 g/l, neste alkaa tyypillisesti siirtyä plasmasta interstitiumiin. (Kataja ym., 2023)

Kuivuman vaikeusasteen määrittäminen voi olla haastavaa. Apuna voi käyttää painon prosentuaalista muutosta nykyisen painon ja ennen kuivuman ilmenemistä mitatun painon välillä. Kuivumassa paino on matalampi, kuin aiemmin terveenä mitattu paino. Muutos (x) välillä $0\% \leq x \leq 3\%$ on minimaalinen, $3\% < x \leq 5\%$ lievä, $5\% < x \leq 10\%$ keskivaikea ja $>10\%$ vaikea (Powers, 2015; Santillanes & Rose, 2018). Kuivuma aiheuttaa runsaasti havaittavia muutoksia, joita on esitelty alla olevassa taulukossa (taulukko 1) tarkemmin. Tarkimpina kliiniseen arvioon pohjautuvista kuivumaan liittyvistä muutoksista pidetään alentunutta ihon kimmoisuutta, pidentynyttä kapillaaritäyttöä (> 2 s) sekä poikkeavaa

hengitystyötä (Powers, 2015). Lapset pyrkivät ensisijaisesti kompensoimaan kuivumaa syketaajuutta nostamalla. Jos vitaalielinten verenkierto on uhattuna, perifeeriset suonet supistuvat, minkä seurauksena verenpaine saattaa aluksi nousta. Ikään nähden huomattavasti koholla oleva verenpaine voi viitata vaikeaan nestehukkaan. (Sallisalmi, 2020)

Taulukko 1. Kuivuman kliiniset merkit, mukailtu (Powers, 2015)

	Minimaalinen dehydraatio (<3% painonlasku)	Lievä–keskivaikea dehydraatio (3-9% painonlasku)	Vaikea dehydraatio (>10% painonlasku)
Hengitystyö	normaalia	normaalia tai hengitys nopeaa	hengitys syvää ja huohottavaa
Syke	normaali	normaali tai takykardinen. Pulssi voi olla palpoidessa heikentynyt	takykardinen, erittäin vaikeissa voi olla bradykardinen. Pulssi voi olla vaikeaa palpoida tai se voi olla heikkoa tai lankamaista
Systolinen verenpaine	normaali	normaali tai matala	matala
Tajunta	normaali	normaali, väsynyt, levoton tai ärsyyntynyt	apaattinen, unelias tai tajuton
Raajojen lämpötila	lämpimät	viileät	kylmät. Voi olla myös kirjavat tai syanoottiset
Ihon kimmoisuus (turgor)	palautuu heti	alentunut: palautuminen < 2s, telttaoire	alentunut: palautuminen > 2s, telttaoire
Kapillaaritäyttö	normaali, < 2s	pidentynyt, > 2s	pidentynyt, > 2s
Limakalvot	normaalit tai kuivat	kuivat	kuivat
Kyynelten määrä	tulee normaalisti tai hieman vähentyneesti	vähentyneet	ei havaittavissa
Silmät	normaalit	kuopalla	reilusti kuopalla
Aukileen jänteys	kimmoisa	kuopalla	reilusti kuopalla
Virtsan erityis	normaali-vähentynyt	vähentynyt, < 1 ml/kg/h	minimaalista, <0,5 ml/kg/h
estimoitu nestevaje	30–50 ml/kg	100 ml/kg	>100 ml/kg

2.4 Bioimpedanssianalyysi

Bioelektrisellä impedanssianalysaattorilla (BIA-laite) saadaan yksityiskohtainen arvio potilaan kehonkoostumuksesta. BIA-laitteen toiminta perustuu heikkoon vaihtovirtaan ja sen johtumiseen kehon eri kudoksissa (Chula de Castro ym., 2018). Elimistön aiheuttamaa vastusta vaihtovirralla kutsutaan impedanssiksi ja se jakautuu resistenssiin ja reaktanssiin. Resistenssi kuvaa elimistön kykyä vastustaa sähkövirtaa, ja se on kääntäen verrannollinen

elimistön nestemäärään. Eroja johtumiseen muodostuu kudosten erilaisen nesteprofiilien vuoksi, sillä vesi johtaa paremmin sähköä verrattuna esimerkiksi rasvakudokseen (Chula de Castro ym., 2018). Reaktanssi puolestaan kertoo virran varastoitumisesta, tässä tapauksessa solukalvoihin (Azevedo ym., 2013). Menetelmässä hyödynnetään vaihtovirtaa, sillä pienitaajuinen (<10 kHz) virta kulkeutuu vain solujen ulkopuolella ja suuritaajuinen (>100 kHz) virta kulkee myös solujen sisällä.

Mittausvälineenä BIA on noninvasiivinen, toistettava, edullinen ja nopea, eikä se aiheuta potilaalle kipua. Mittauksessa potilaaseen asetetaan elektrodit saman puolen käteen ja jalkaan. Elektrodeja kiinnitetään saman puolen kämmenselkään ja jalkapöytään sekä proksimaalisesti että distaalisesti. On myös mahdollista tehdä kehon osa-analyysejä esimerkiksi vain jalasta, jolloin elektrodien sijoittelu muuttuu. Mittauksesta saadaan raakadataa, kuten resistanssi, reaktanssi ja impedanssi. Näiden perusteella laite arvioi esimerkiksi kehon kokonaisvesimäärän, solunsisäisen vesimäärän, solunulkoisen vesimäärän, rasvattoman massan (*fat-free mass, FFM*), nesteylimäärän sekä monia muita suureita. (Ojanen, 2011)

BIA:n avulla saatavia arvoja on tutkittu muun muassa resistenssin, reaktanssin ja vaihekulman osalta. Terveillä lapsilla ja nuorilla tehdyssä tutkimuksessa havaittiin, että vaihekulma kasvaa iän myötä erityisesti puberteetin jälkeen ja on luontaisesti suurempi pojilla kuin tytöillä. Ylipaino voi myös nostaa vaihekulmaa (Ballarin ym., 2022). Vaikeasti sairailta lapsilla resistenssin ja reaktanssin matalat arvot suhteutettuna lapsen pituuteen ennakoivat esimerkiksi sepstistä sokkia (Azevedo ym., 2013). Vaihekulman pieneneminen on lisäksi yhdistetty sairaalahoidon pidentymiseen, mekaanisen ventilaation tarpeeseen, septiseen sokkiin ja kuolleisuuteen. Tämän näytönaste on kuitenkin tutkimuksissa ollut matala tai erittäin matala. (Fernández-Jiménez ym., 2023)

Lapsilla BIA-mittauksia on hyödynnetty esimerkiksi peritoneaalidialyysipotilaiden nestetasapainoon ja ravitsemustilan seurannassa. Nesteylimäärä on yleinen komplikaatio peritoneaalidialyysissä. Esimerkiksi Yuan ym. tutkimuksessa 56 %:lla tutkituista potilaista oli nesteylimäärää kahden tunnin dialyysin jälkeen (Yuan ym., 2024). Aiheeseen liittyvissä tutkimuksissa lievänä nesteylimääränä pidettiin $\geq 7\%$ ja vaikeana $\geq 15\%$ (Prukngampun ym., 2024; Yuan ym., 2024).

Aikuisilla tehdyissä tutkimuksissa BIA-mittaus on osoittautunut käyttökelpoiseksi välineeksi nestetasapanon arvioinnissa kriittisesti sairailta potilailta. Mittaus on helposti toteutettava, nopea ja noninvasiivinen. Useissa tutkimuksissa pohdittiin BIA-mittauksessa saatujen arvojen yhteyttä sairastuvuuteen ja kuolleisuuteen. (Chung & Kim, 2021; Lee ym., 2017) Chung & Kimin tutkimuksessa havaittiin, että kolmantena postoperatiivisena päivänä kohonnut ECW/TBW-suhde, ennusti postoperatiivista sairastuvuutta ja sairaalakuolleisuutta (Chung & Kim, 2021). Lee ym. tutkimuksessa todettiin, että matalat vaihekulma-, impedanssi- ja reaktanssiarvot ennustivat postoperatiivista kuolleisuutta. Lisäksi BIA-mittauksen havaittiin olevan tarkempi kuin teho-osastolla käytetyt pisteytysmenetelmät, kuten APACHE II, SOFA ja SAPS, kuolleisuuden ennustamisessa. (Lee ym., 2017)

3 Tutkimuksen tarkoitus

Tutkimuksen tavoitteena on arvioida, onko mitattu paino riittävä mittari potilaiden nestetasapainon seurannassa. Mitattua painoa verrataan bioimpedanssianalyysistä saatavaan arvioon nestetasapainosta ja siihen kuuluvista eri komponenteista.

Tutkimuksen hypoteesit:

- BIA-mittaus on tarkempi tapa arvioida nestetasapainoa verrattuna painon mittaamiseen ja kliiniseen arvioon nestetasapainosta.
- BIA-mittaus soveltuu hyvin myös kriittisesti sairaiden lasten arviointiin, on helppokäyttöinen, toistettava ja non-invasiivinen menetelmä.

4 Aineisto ja menetelmät

Aineistona tutkimuksessa ovat bioimpedanssianalyysimittaukset, jotka tehtiin Turun yliopistollisessa keskussairaalassa lasten ja nuorten teho-osastolla ajalla 10/2021–04/2024. Mittaukset suoritettiin BioScan touch i8 nano –laitteella (Maltron International, Rayleigh, Yhdistynyt Kuningaskunta). Tutkimus on retrospektiivinen. Bioimpedanssianalyysimittaukset saatiin laitteesta suoraan taulukkomuotoon. Taulukosta poistettiin tutkimuksen kannalta epäolennaiset muuttujat. Kiinnostavia muuttujia olivat potilaan kuivapaino, rasvattoman massan nestemäärä (FFMH%), kokonaisnestemäärä, kehon ekstrasellulaarinen ja intrasellulaarinen nestemäärä sekä näiden suhde.

Lisäksi potilastietojärjestelmästä Uranus/OMNI360 (CGI) haettiin potilaiden aikaisemmat sairaudet sekä lääkitykset, hoitajakson pituus, tulopaino, osastojaksolla mitattu korkein ja matalin paino, hoitajakson diagnoosi, mahdollisesti toimenpiteet, hengityskonehoidon kesto, suonensisäisten nesteiden tarve, vasoaktiivien käyttö, diureettien tarve sekä laboratoriotuloksista mittauspäiviltä seuraavat arvot: P-Krea, P-Na, P-K, P-Lakt ja B-Hb.

Tilastolliset analyysit tehtiin taulukkolaskentaohjelmalla Microsoft Excel for Mac, (Microsoft Corporation, 2021). Bioimpedanssianalyysien tiedot yhdistettiin samaan tiedostoon potilastietojärjestelmästä haettujen tietojen kanssa. Jatkuvista numeerisista muuttujista laskettiin keskiarvo, keskihajonta ja vaihteluväli. Diskreeteistä muuttujista selvitettiin niiden lukumäärät sekä osuudet koko tutkimusaineistosta.

Tyks:n lasten ja nuorten teho-osastolla painoa seurataan säännöllisesti. Lähes kaikilta potilailta paino mitataan ensimmäisen hoitovuorokauden aamuna. Poikkeuksena ovat diabeettisen ketoasidoosin, intoksikaation tai apneaseurannan vuoksi hoidossa olevat potilaat sekä skolioosileikatut potilaat. Lisäksi potilaat, joilla on ulkoinen defibrillaattori tai iskevä sydämentahdistin jäävät rutiiniseurannan ulkopuolelle. Aamuisin mittaukset aloitetaan pediatriasisista potilaista ja jatketaan kirurgisiin. Paino pyritään mittaamaan myös toisen ja kolmannen hoitovuorokauden aamuna. Painoa seurataan tarkemmin myös lääkärin määräyksestä. Osastolla on käytössä Secan sänkyvaaka sekä Seca 985 -digitaalinen vuodevaaka laitevaunulla (Seca GmbH & Co. KG, Hampuri, Saksa). Osastolle saapuessa tulopainoksi kirjataan potilastiedoista löytyvä viimeksi mitattu paino tai vaihtoehtoisesti arvio painosta.

Nestetasapainon seurannassa Tyks:n lasten ja nuorten teho-osastolla käytetään myös hyödyksi otettujen ja erittyneiden nesteiden määrän seuranta. Potilaan saamat nesteet kirjataan tarkasti ylös. Samoin kirjataan esimerkiksi dreeniä kautta erittyneiden nesteiden määrät. Usealla potilaalla on virtsakatetri, jonka avulla pystytään seuraamaan hyvin tarkasti virtsan erittymistä. Tyypillisesti määritetään myös tuntidiureesi-tavoite painokiloa kohti. Näitä kirjanpitoja ei ole otettu tässä tutkimuksessa huomioon.

Kuivapainolla tarkoitetaan painoa, jossa potilaan tulisi olla, kun hänen nestetasapainonsa on normaali. Kuivapainoa korkeampi paino viittaa nesteylimäärään, kun taas matalampi paino viittaa kuivumaan. Laitevalmistajan ohjekirjan (versio 9, 2020) mukaan noin 2 %:n vaihtelu kuivapainosta on normaalia. Rasvattoman massan nestemäärä on laskennallinen suure, joka kuvaa kehon kokonaisnestemäärän osuutta rasvattomasta massasta. Ohjekirjassa kerrotaan, että terveillä aikuisilla arvot ovat yleensä välillä 71–75 %. 4–22-vuotiailla tehdyssä tutkimuksessa havaittiin kuitenkin huomattavaa vaihtelua. Tulosten mukaan FFMH% kasvoi BMI:n noustessa ja laskee iän myötä. Keskiarvo koko aineistossa oli pojilla 75 % (SD 2,2) ja tytöillä 75,1 % (SD 1,9) (Gutiérrez-Marín ym., 2019).

Kehon kokonaisnestemäärä riippuu lapsen koosta ja iästä. Sen osuus lapsen painosta on vastasyntyneillä jopa 80 %, mutta laskee vähitellen 55–60 %:iin. Solunsisäisen nesteen osuus painosta on terveellä henkilöllä noin 35–45 % ja se pysyy lähes muuttumattomana koko elämän ajan. Solunulkoisen nesteen osuus painosta pienenee merkittävästi: vastasyntyneillä ECW:n osuus on noin 40–45 %, mutta ensimmäisen elinvuoden aikana se vähenee 20–25 %:iin. Nesteylimäärän kehittyessä nestettä kertyy soluvälitiloihin, joka nostaa ECW:n osuutta. E/I-suhde kuvaa nesteen jakautumista solujen ulkoisen ja sisäisen nesteen välillä. Laitteen ohjekirjan mukaan normaali E/I-suhde on välillä 0,7–0,9. Nesteylimäärän kertyessä arvot nousevat yli 1,0.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on arvioida, vastaavatko BIA-mittauksella saadut arviot nestetasapainosta painonmittausten perusteella saatuja arvioita. Painoon perustuvissa arvioissa verrattiin päivän painoa tulopainoon. BIA-mittauksessa laite puolestaan estimoi senhetkisen nestetasapainon hyödyntäen päivän painoa. Laskentaan käytetyt kaavat ovat esitelty alla asetelmassa 2.

$$\text{nestetasapainon muutos painon perusteella} = \frac{\text{suurin tai pienin paino} - \text{tulopaino}}{\text{tulopaino}} \times 100\%$$

$$\text{nestetasapainon muutos BIA:n perusteella} = \frac{\text{ylimääräiset nesteet}}{\text{päivän paino}} \times 100\%$$

Asetelma 2. Kaavat nestetasapainon muutoksen laskemiseksi

5 Tulokset

Tutkimusaineistoon kuului yhteensä 39 potilasta, joista 19 (49 %) oli tyttöjä ja 20 (51 %) poikia. Hoitajaksoja oli yhteensä 42, sillä osa potilaista oli teho-osastohoidossa useamman kerran tarkastelujakson aikana. Tutkimukseen otettiin mukaan potilaat, joiden ikä oli välillä 0–17,99. Potilaiden iän keskiarvo oli 5,29 vuotta (SD 5,74). Ennalta tiedossa oleva perussairaus oli 24 potilaalla (36 %) ja säännöllinen lääkitys 11 potilaalla (28 %).

Potilaita hoidettiin Turun yliopistollisen keskussairaalan lasten ja nuorten teho-osastolla. Hoitajaksojen pituuden keskiarvo oli 12 vuorokautta, ja vaihteluväli oli 1–82 vuorokautta. Leikkauksen jälkeistä hoitoa sai 18 potilasta (43 %) ja hengityskonehoitoa osastojakson aikana tarvitsi 23 potilasta (55 %). Suonensisäistä nestehoitoa sai 36 potilasta (86 %). Verenkiertoa tukevia lääkkeitä tarvitsi 17 potilasta (40 %), ja nesteenpoistolääkkeitä sai 28 potilasta (67 %). Munuaisten toimintaa tutkittiin plasman kreatiniinin avulla, joka mitattiin osastojakson aikana 29 potilaalta (69 %). Kreatiniinin suurimman arvon keskiarvo oli 48,62 $\mu\text{mol/l}$, ja vaihteluväli 9–395 $\mu\text{mol/l}$.

BIA-mittauksia oli tehty vaihtelevasti: 17 potilaasta (40 %) oli osastojakson aikana tehty useampi mittaus. Keskimäärin BIA-mittauksia oli kaksi, ja vaihteluväli oli 1–9 mittausta hoitajakson aikana. Ensimmäinen mittaus tehtiin keskimäärin kolmantena hoitopäivänä (vaihteluväli 1–12 päivää). Potilaskertomusmerkinnöissä BIA-mittausta oli hyödynnetty tai mainittu 25 kertaa (32 %).

Lähes kaikilta potilailta löytyi potilasasiakirjamerkinnöistä tulopaino sekä osastojakson korkein ja matalin paino. Tutkimuksen potilaat erosivat merkittävästi painoiltaan, minkä vuoksi painonmuutosten arvioinnissa käytettiin suhteellista muutosta tulopainoon verrattuna kilogrammamääräisen muutoksen sijasta.

Nestetasapainoa tarkasteltiin sekä painoon perustuvien suureiden, että BIA-mittauksista saadun datan avulla. Painoon perustuvassa tarkastelussa nestetasapainon arvio laskettiin vertaamalla suurinta ja pienintä osastojakson aikana mitattua painoa tulopainoon. BIA-mittauksissa nesteylimäärän arvio saatiin laskemalla laitteen ilmoittaman nesteylimäärän osuus kyseisen päivän painosta. Painon avulla laskettuna nestetasapainon muutoksen keskiarvo oli suurimmillaan +6,99 % (vaihteluväli -20,00 % – +35,76 %) ja pienimmillään -

1,85 %, (vaihteluväli -26,00 % – 22,96 %). BIA-mittausten perusteella nestetasapainon muutosten keskiarvo oli suurimmillaan +3,28 % (vaihteluväli -6,63 % – +12,11 %) ja pienimmillään +2,07 %, (vaihteluväli -6,63 % – +9,83 %).

Merkittävänä nestetasapainon muutoksena pidettiin ≥ 5 % nesteylimäärää tai ≥ 3 % kuivumaa. Painon perusteella merkittävä muutos havaittiin 35 potilaalla (83 %), kun taas BIA-mittausten perusteella vastaava luku oli 23 potilasta (55 %). Vaikeita tai keskivaikeita nesteylimääriä ($FO \geq 10$ %) oli painon perusteella 14 potilaalla (33 %) ja BIA-mittausten perusteella 2 potilaalla (5 %). Vaikeita tai keskivaikeita kuivumia (kuivuma ≥ 6 %) havaittiin painon perusteella 10 potilaalla (24 %) ja BIA-mittausten perusteella 1 potilaalla (2 %).

Potilaita, joilla esiintyi merkittävä nestetasapainon muutos jossain hoidon vaiheessa, tarkasteltiin vielä erikseen nestetasapainon muutosten vaihtelun osalta hoitajakson aikana. Painon perusteella merkittävä muutos oli 35 potilaalla. Näistä 19 potilaalla (54 %) oli osastojakson aikana joko pelkästään nesteylimäärää tai ei merkittävää nestetasapainon häiriötä. Kuivumaa tai ei merkittävää nestetasapainon häiriötä oli 10 potilaalla (29 %). Sekä nesteylimäärää että kuivumaa vaihdellen oli 6 potilaalla (17 %). Kahdessa tapauksessa (6 %) tiedot olivat puutteelliset tiedot, sillä käytössä oli vain yksi painomittaus, eikä muutosta täten voitu arvioida.

BIA-mittausten perusteella merkittävä nestetasapainon muutos havaittiin 23 potilaalla (55 %). Näistä 18 potilaalla (78 %) esiintyi nesteylimäärää, ja 5 potilaalla (22 %) kuivumaa. Yhdenkään potilaan nestetasapaino ei BIA-mittausten perusteella vaihdellut merkittävän nesteylimäärän ja kuivuman välillä.

BIA-mittauksista saadut tulokset osoittivat, että kehon kokonaisnestemäärä (TBW) oli keskimäärin 13,04 litraa (SD 13,28 l) ja sen prosentuaalinen osuus kehon kokonaispainosta 65,07 % (SD 7,60 %). Solunulkoisen nesteen (ECW) määrä oli keskimäärin 6,87 l (SD 6,63 l) ja sen osuus kehon kokonaisnestemäärästä oli 57,25 % (SD 9,02 %). Solunsisäisen nesteen (ICW) määrä oli keskimäärin 6,17 l (SD 7,08 l) ja osuus kehon kokonaisnestemäärästä 42,75 % (SD 9,02 %). Kuivapaino oli keskimäärin 20,44 kg (SD 21,27 kg). Nestetasapainoa arvioivista suureista solunulkoisen nesteen suhde solunsisäiseen nesteeseen (E/I-suhde) oli 1,45 (SD 0,52) ja rasvattoman massan nestemäärä (FFMH%) 79,95 % (SD 3,50 %).

Taulukko 1. Potilaiden taustatietoja

	n (%), n =39
Sukupuoli	
tytöt	19 (49 %)
pojat	20 (51 %)
Ikäjakama (keskiarvo (vuotta), sd)	5,29 v (SD 5,74)
<1v	16 (41 %)
1-6v	8 (21 %)
6-12v	6 (15 %)
>12v	9 (23 %)
Tiedossa oleva perussairaus	24 (36 %)
Säännöllinen lääkitys	11 (28 %)

Taulukko 2. Osastohoitoon liittyviä tietoja

	n =42
Hoitojakson pituus (keskiarvo (vrk), vaihteluväli)	12 vrk, vaihteluväli 1–82 vrk
Leikkauksen jälkeinen hoito (n, (%))	
kyllä	18 (43 %)
ei	24 (57 %)
Hengityskonehoito (n, (%))	
kyllä	23 (55 %)
ei	19 (45 %)
Hengityskonehoidon kesto (keskiarvo (vrk), vaihteluväli)	4,67 vrk, vaihteluväli 0–37 vrk
Suonen sisäinen nesteytys (n, (%))	
kyllä	36 (86 %)
ei	4 (10 %)
ei tiedossa	2 (5 %)
Verenkierron tukilääkkeet (n, (%))	
kyllä	17 (40 %)
ei	23 (55 %)
ei tiedossa	2 (5 %)
Nesteenpoistolääkkeet (n, (%))	
kyllä	28 (67 %)
ei	12 (29 %)
ei tiedossa	2 (5 %)
Munuaisfunktio, krea (keskiarvo (µmol/l) , vaihteluväli)	48,62 µmol/l, vaihteluväli 9–395 µmol/l
BIA-mittausten määrä hoitojakson aikana (keskiarvo (kappalemäärä), vaihteluväli)	2 kpl, vaihteluväli 1-9 kpl
Hoitovuorokauden numero, jolloin BIA-mittaus on tehty ensimmäistä kertaa (keskiarvo (vrk), vaihteluväli)	3. vrk, vaihteluväli 1-12 vrk

Maininta tehdystä BIA-mittauksesta potilasasiakirjamerkinnässä, n=79 (n, (%))	25 (32%)
kyllä	54 (68%)
ei	

Taulukko 3. Nestetasapaino osastojaksolla

	Painoon perustuen, n=42	BIA-mittauksiin perustuen, n =42
Ei merkittävää nestetasapainon häiriötä ¹ n, (%)	6 (14 %)	19 (45 %)
Merkittävä nestetasapainon häiriö ² n, (%)	35 (83 %)	23 (55 %)
Vaikea tai keskivaikea nesteylimäärä ³ n, (%)	14 (33 %)	2 (5 %)
Vaikea tai keskivaikea kuivuma ⁴ n, (%)	10 (24 %)	1 (2 %)
Nestetasapainon keskiarvo suurimman ja pienimmän mittauksen mukaan (keskiarvo (%), vaihteluväli)	Suurimmillaan: +6,99 % -20,00 % – +35,76 % Pienimmillään: -1,85 % -26,00 % – 22,96 %	Suurimmillaan +3,28 % -6,63 % – + 12,11 % Pienimmillään +2,07 % -6,63 % – 9,83 %

¹ muutos tulopainoon välillä -3% – +5%,

² FO >5 % tai kuivuma >3 %

³ FO >10%

⁴ Kuivuma >6%

Taulukko 4. BIA-mittauksesta saatuja nestetasapainon suureita

	keskiarvo	normaalijakauma	vaihteluväli
BMI (kg/m ²)	16,45	3,44	11,21–26,12
Kuivapaino (kg)	20,44	21,27	2,52–66,91
TBW (l)	13,04	13,28	1,30–48,42
TBW (%)	65,07	7,60	49,69–80,21
ECW (l)	6,87	6,63	0,67–20,80
ECW (%)	57,25	9,02	41,89–72,77
ICW (l)	6,17	7,08	0,63–28,13
ICW (%)	42,75	9,02	27,23–58,12
ECW/ICW	1,45	0,52	0,72–2,67
FFMH%	79,95	3,50	72,24–84,86

6 Pohdinta

Tutkimuksen perusteella nestetasapainon häiriöt ovat varsin yleinen ongelma Turun yliopistollisen keskussairaalan lasten ja nuorten teho-osastolla. Painoon perustuvan arvion perusteella osastojakson aikana merkittävä häiriö nestetasapainossa oli 83 %:lla ja BIA-mittausten perusteella 55 %:lla tutkimuksessa tarkastelluista potilaista. Monet tämän aineiston potilaista olivat vakavasti sairaita, mistä kertoo pitkä hoitoaika teho-osastolla sekä hengityskonehoidon tarve. Potilaiden nestetasapainoon on pyritty vaikuttamaan hoidon aikana nestehoitoprotokollalla sekä tarvittaessa nesteenpoistolääkkeillä.

BIA-mittausten perusteella vaikeaa nesteylimäärää tai kuivumaa esiintyi huomattavasti harvemmin kuin painoon perustuvassa arvioissa. Osastojakson matalimman painon perusteella laskettuna keskivaikea tai vaikea kuivuma havaittiin kymmenellä potilaalla, kun taas BIA-mittausten perusteella vastaava löydös oli yhdellä. Keskivaikea tai vaikea nesteylimäärä todettiin painon perusteella neljällätoista ja BIA-mittausten perusteella kahdella potilaalla. Tulosten perusteella painoon perustuva arvio saattaa yliarvioida nestetasapainon häiriön vaikeusasteen verrattuna BIA-mittaukseen. Mittausten tarkkuuteen vaikuttaa myös se, että monilta potilailta oli saatavilla vain yksi mittaus satunnaisessa hoitojakson vaiheessa. Tällöin kuivuma tai nesteylimäärä on voinut olla vaikeimmillaan päivänä, jolloin mittausta ei ole tehty.

Painoon perustuvan arvioinnin luotettavuuteen vaikuttaa myös valittu tulopaino, joka on arvio potilaan painosta ennen sairastumista. Tulopainoksi voidaan valita esimerkiksi aiemmin potilastietojärjestelmään kirjattu paino tai arvio potilaan painosta. Koska tulopaino perustuu arvioon, se voi aiheuttaa harhaa nestetasapainon arviointiin. Tästä syystä kliininen arvio sekä nestetasapainon seuranta otettujen ja erittyneiden nesteiden määrän perusteella ovat tärkeitä työkaluja nestetasapainon arvioinnissa painonseurannan ohella.

BIA-mittausten tuloksia tarkastellessa havaittiin, että suurimmalla osalla potilaista esiintyi nesteylimäärää laitteen ohjekirjan antamien raja-arvojen perusteella. E/I-suhteen tulisi ohjekirjan mukaan olla normaalisti välillä 0,7-0,9, kun tässä potilasaineistossa keskiarvo oli 1,45 ja vaihteluväli 0,72-2,67. Nesteylimäärästä kertoo myös FFMH%, jonka tulisi ohjekirjan mukaan olla terveillä aikuisilla välillä 71-75%. Lapsilla ja nuorilla tehdyssä tutkimuksessa FFMH% keskiarvo oli pojilla 75 % (SD 2,2) ja tytöillä 75,1 % (SD 1,9) (Gutiérrez-Marín

ym., 2019). Tässä potilasaineistossa potilaina oli ainoastaan sairaita lapsia, joilla FFMH% oli keskimäärin 79,95% (SD 3,5). On vaikeaa arvioida, johtuuko korkeammat arvot lapsipotilaiden erityispiirteistä verrattuna aikuisiin, todellisesta nesteylimäärästä vai molempien yhdistelmästä. Saaduista arvoista kokonaisnestemäärää ja nesteen jakautumista intra- ja ekstrasellulaarinesteeseen on haastavaa arvioida potilaiden ollessa eri ikäisiä ja kokoisia.

Tyksen lasten ja nuorten teho-osastolla painoa seurataan säännöllisesti ennalta sovitun protokollan mukaisesti. Seurannassa painopiste on pediatriassa potilaissa ja erityisesti ensimmäisissä hoitovuorokausissa. BIA-mittaus on vielä suhteellisen uusi menetelmä nestetasapainon arvioinnissa, eikä sen käytölle ole määriteltyä protokollaa. BIA-mittauksia suorittavat vain muutamat hoitajat, minkä ansiosta mittaukset suoritetaan yhteneväisesti. Potilastietojärjestelmän kirjausten perusteella BIA-mittauksia hyödynnetään potilaiden hoidossa vain harvoin, sillä BIA-mittauksesta oli maininta vain 32 %:ssa tapauksista.

Aiemman kirjallisuuden mukaan nesteylimäärän tiedetään olevan yhteydessä pidentyneeseen sairaalahoitoon, hengityskonehoidon tarpeeseen sekä akuutin munuaisten vajaatoiminnan kehittymiseen (Alobaidi ym., 2018). Tyksen lasten ja nuorten teho-osaston mediaanihoitoaika on noin 1,1 vuorokautta, kun tässä tutkimuksessa keskimääräinen hoitoaika oli 12 vuorokautta (vaihteluväli 1-82 vrk). Hengityskonehoitoa sai 55 %:a potilaista ja hengityskonehoidon kesto oli keskimäärin 4,67 vuorokautta, mikä on huomattavasti pidempi aika kuin osaston hoitoajan mediaani. Munuaisfunktiota tarkasteltiin plasman kreatiniinipitoisuuden perusteella, mutta mittauksia ei ollut saatavilla kaikista potilaista. Aineistossa P-Krea:n keskiarvo oli 48,62 $\mu\text{mol/l}$ (vaihteluväli 9–395 $\mu\text{mol/l}$). Kreatiniinin viitearvot ovat ikäkohtaisia ja vaihtelevat välillä 10–95 $\mu\text{mol/l}$, jolle välille tutkimuksessa saatu keskiarvo sijoittuu. Aineistossa ei erikseen eritelty potilaita, joilla oli hoitojakson aikana AKI.

Bioimpedanssianalyysiä hyödyntäviä tutkimuksia kriittisesti sairailta lapsilla ja nuoret on vähän, ja ne keskittyvät spesifisiin kohderyhmiin, kuten dialyysipotilaisiin, tai tiettyyn raaka-arvoon, kuten vaihekulmaan (Azevedo ym., 2013; Fernández-Jiménez ym., 2023; Prukngampun ym., 2024; Yuan ym., 2024). Tässä tutkimuksessa potilasaineisto oli vaihtelevaa, osa potilaista oli kirurgisia ja osa pediatria ja hoidon syyt vaihtelivat. Tutkimuksessa ei myöskään tarkasteltu raaka-arvoja, jonka vuoksi vertailu aiempiin tutkimuksiin on haastavaa.

Kuten aiemmin todettu nestetasapainon ongelmat ovat kuitenkin yleisiä kriittisesti sairailta lapsilla. Alobaidi ym. tekemässä meta-analyysissä nesteylimäärää oli jopa 30 %:lla tehohoidossa olevalla potilaalla. Nesteylimäärän määritelmä analyysiin mukaan otetuissa aineistoissa vaihteli välillä FO% 5–20%. (Alobaidi ym., 2018) Tässä tutkimuksessa eriteltiin keskivaikea tai vaikea nesteylimäärä, FO% >10 %, joka havaittiin painon perusteella 33 %:lla ja BIA-mittauksen perusteella 5 %:lla. Tulokset vastaavat painon osalta meta-analyysissä saatuja tuloksia. BIA-mittauksen perusteella nesteylimäärä havaittiin huomattavasti pienemmällä osalla potilaita. Tosin tässä on kyseessä yhden keskuksen pieni retrospektiivinen tutkimus, jonka perusteella ei voida tehdä päätelmiä suuremmassa mittakaavassa. Jatkotutkimukset suuremmilla aineistoilla voisivat olla paikallaan, jotta saadaan selvitettyä kuinka paljon eroa nestetasapainonhäiriöiden vaikeusasteen arvioinnissa on painoon perustuvan seurannan ja BIA-mittausten välillä.

Lähteet

- Ahonen, J. (2015). Glycocalyx and fluid therapy. *Duodecim; Laaketieteellinen Aikakauskirja*, *131*(20), 1937–1946.
- Alobaidi, R., Morgan, C., Basu, R. K., Stenson, E., Featherstone, R., Majumdar, S. R., & Bagshaw, S. M. (2018). Association Between Fluid Balance and Outcomes in Critically Ill Children: A Systematic Review and Meta-analysis. *JAMA Pediatrics*, *172*(3), 257–268. <https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2017.4540>
- Azevedo, Z. M. A., Moore, D. C. B. C., de Matos, F. A. A., Fonseca, V. M., Peixoto, M. V. M., Gaspar-Elsas, M. I. C., Santinoni, E., dos Anjos, L. A., & Ramos, E. G. (2013). Bioelectrical impedance parameters in critically ill children: Importance of reactance and resistance. *Clinical Nutrition*, *32*(5), 824–829. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2013.01.011>
- Ballarin, G., Valerio, G., Alicante, P., Di Vincenzo, O., & Scalfi, L. (2022). Bioelectrical Impedance Analysis (BIA)- Derived Phase Angle in Children and Adolescents: A Systematic Review. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, *75*(2), 120–130. <https://doi.org/10.1097/MPG.00000000000003488>
- Chula de Castro, J. A., Lima, T. R. de, & Silva, D. A. S. (2018). Body composition estimation in children and adolescents by bioelectrical impedance analysis: A systematic review. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, *22*(1), 134–146. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2017.04.010>
- Chung, Y. J., & Kim, E. Y. (2021). Usefulness of bioelectrical impedance analysis and ECW ratio as a guidance for fluid management in critically ill patients after operation. *Scientific Reports*, *11*(1), 12168. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-91819-7>
- Fernández-Jiménez, R., Martín-Masot, R., Cornejo-Pareja, I., Vegas-Aguilar, I. M., Herrador-López, M., Tinahones, F. J., Navas-López, V. M., Bellido-Guerrero, D., & García-Almeida, J. M. (2023). Phase angle as a marker of outcome in hospitalized pediatric patients. A systematic review of the evidence (GRADE) with meta-analysis. *Reviews in Endocrine & Metabolic Disorders*, *24*(4), 751–765. <https://doi.org/10.1007/s11154-023-09817-1>
- Fernández-Sarmiento, J., Sierra-Zuñiga, M. F., Salazar González, M. P., Lucena, N., Soares Lanziotti, V., & Agudelo, S. (2023). Association between fluid overload and mortality in children with sepsis: A systematic review and meta-analysis. *BMJ Paediatrics Open*, *7*(1), e002094. <https://doi.org/10.1136/bmjpo-2023-002094>

- Gomes, R. A. D. S., Azevedo, L. F., Simões, B. P. C., Detomi, L. S., Rodrigues, K. E. de S., Rodrigues, A. T., Melo, M. do C. B. de, & Fonseca, J. G. da. (2023). Fluid overload: Clinical outcomes in pediatric intensive care unit. *Jornal De Pediatria*, 99(3), 241–246. <https://doi.org/10.1016/j.jpmed.2022.10.002>
- Gutiérrez-Marín, D., Luque, V., Ferré, N., Fewtrell, M. S., Williams, J. E., & Wells, J. C. K. (2019). Associations of age and body mass index with hydration and density of fat-free mass from 4 to 22 years. *European Journal of Clinical Nutrition*, 73(10), 1422–1430. <https://doi.org/10.1038/s41430-019-0447-4>
- Holliday, M. A., & Segar, W. E. (1957). The maintenance need for water in parenteral fluid therapy. *Pediatrics*, 19(5), 823–832.
- Kataja J., Jalanko H., Jahnukainen T., 2023. Vesi- ja elektrolyyttitasapainon häiriöt. Teoksessa Renko M., Niinikoski H., Palmu S. (toim.) Lastentaudit. Uud. painos. Helsinki: Duodecim. Viitattu 5.11.2024. Vaatii käyttöoikeuden. <https://www.oppiporssi.fi/oppikirjat/lta00885>
- Kiviluoma K., 2020. Lasten nestevajauksen tunnistaminen ja korjaaminen. Teoksessa Olkkola K., Kiviluoma K., Saari T., Tallgren M., Uusaro A., Yli-Hankala A. (toim.) Anestesiologia, teho-, ensi- ja kivunhoito, 2020. Helsinki: Duodecim. Viitattu 5.11.2024. Vaatii käyttöoikeuden. <https://www.oppiporssi.fi/ajt00444>
- Lee, Y. H., Lee, J.-D., Kang, D. R., Hong, J., & Lee, J.-M. (2017). Bioelectrical impedance analysis values as markers to predict severity in critically ill patients. *Journal of Critical Care*, 40, 103–107. <https://doi.org/10.1016/j.jcrc.2017.03.013>
- Matsushita, F. Y., Krebs, V. L. J., & de Carvalho, W. B. (2022). Association between fluid overload and mortality in newborns: A systematic review and meta-analysis. *Pediatric Nephrology*, 37(5), 983–992. <https://doi.org/10.1007/s00467-021-05281-8>
- Moritz, M. L. (2019). Syndrome of Inappropriate Antidiuresis. *Pediatric Clinics of North America*, 66(1), 209–226. <https://doi.org/10.1016/j.pcl.2018.09.005>
- Ojanen S., Rauta V., Sihvo S., Isojärvi J., Vuori I., Bioimpedanssi auttaa hemodialyysipotilaiden kuivapainon määrittämisessä. *Suom lääkäri* 26-31/2011 vsk 66 s. 2159 - 2164
- Powers, K. S. (2015). Dehydration: Isonatremic, Hyponatremic, and Hypernatremic Recognition and Management. *Pediatrics In Review*, 36(7), 274–285. <https://doi.org/10.1542/pir.36-7-274>
- Prukngampun, N., Densupsoontorn, N., Pattaragarn, A., Pooliam, J., Tinnabut, I., Sumboonnanonda, A., Supavekin, S., Piyaphanee, N., Lomjansook, K.,

- Thunsiribuddhichai, Y., & Chaiyapak, T. (2024). Effect of peritoneal dialysate on bioelectrical impedance analysis variability in pediatric patients receiving peritoneal dialysis. *Pediatric Nephrology (Berlin, Germany)*, 39(5), 1499–1507.
<https://doi.org/10.1007/s00467-023-06219-y>
- Rautakorpi P., Soinio M., Nuutila P., 2020. Aivolisäkkeen toimintahäiriöiden tunnistaminen. Teoksessa Olkkola K., Kiviluoma K., Saari T., Tallgren M., Uusaro A., Yli-Hankala A. (toim.) *Anestesiologia, teho-, ensi- ja kivunhoito*, 2020. Helsinki: Duodecim. Viitattu 5.11.2024. Vaatii käyttöoikeuden.
<https://www.oppiportti.fi/oppikirjat/ajt00344>
- Sane T., 2010. Reniini-angiotensiini-aldosteronijärjestelmä. Teoksessa Välimäki M., Sane T., Dunkel L. (toim.) *Endokrinologia*, 2009. Helsinki: Duodecim. Viitattu 12.12.2024. Vaatii käyttöoikeuden. <https://www.oppiportti.fi/oppikirjat/end00803>
- Sallisalmi M., 2020. Sydän- ja verenkiertoelimistön kehitysfysiologia. Teoksessa Olkkola K., Kiviluoma K., Saari T., Tallgren M., Uusaro A., Yli-Hankala A. (toim.) *Anestesiologia, teho-, ensi- ja kivunhoito*, 2020. Helsinki: Duodecim. Viitattu 5.11.2024. Vaatii käyttöoikeuden. <https://www.oppiportti.fi/oppikirjat/ajt00403>
- Santillanes, G., & Rose, E. (2018). Evaluation and Management of Dehydration in Children. *Emergency Medicine Clinics of North America*, 36(2), 259–273.
<https://doi.org/10.1016/j.emc.2017.12.004>
- Selewski, D. T., Akcan-Arikan, A., Bonachea, E. M., Gist, K. M., Goldstein, S. L., Hanna, M., Joseph, C., Mahan, J. D., Nada, A., Nathan, A. T., Reidy, K., Staples, A., Wintermark, P., Boohaker, L. J., Griffin, R., Askenazi, D. J., Guillet, R., & Neonatal Kidney Collaborative. (2019). The impact of fluid balance on outcomes in critically ill near-term/term neonates: A report from the AWAKEN study group. *Pediatric Research*, 85(1), 79–85. <https://doi.org/10.1038/s41390-018-0183-9>
- Selewski, D. T., Barhight, M. F., Bjornstad, E. C., Ricci, Z., de Sousa Tavares, M., Akcan-Arikan, A., Goldstein, S. L., Basu, R., Bagshaw, S. M., Alobaidi, R., Askenazi, D. J., Barreto, E., Bayrakci, B., Bignall, O. N. R., Brophy, P., Charlton, J., Chanchlani, R., Conroy, A. L., Deep, A., ... on behalf of the Pediatric the Acute Disease Quality Initiative (ADQI) Consensus Committee Members. (2024). Fluid assessment, fluid balance, and fluid overload in sick children: A report from the Pediatric Acute Disease Quality Initiative (ADQI) conference. *Pediatric Nephrology*, 39(3), 955–979.
<https://doi.org/10.1007/s00467-023-06156-w>

- Soulages Arrese, N., & Green, M. L. (2022). Fluid management of the critically ill child. *Current Opinion in Pediatrics*. <https://doi.org/10.1097/MOP.0000000000001210>
- Yuan, W., Yu, M., Zhang, Z., Miao, Q., Liu, J., Zhang, H., Zhou, Q., Chen, J., Zhai, Y., Fang, X., Xu, H., & Shen, Q. (2024). The value of bioimpedance analysis in the assessment of hydration and nutritional status in children on chronic peritoneal dialysis. *Renal Failure*, 46(1), 2301531. <https://doi.org/10.1080/0886022X.2023.2301531>
- Zieg, J., Narla, D., Gonsorcikova, L., & Raina, R. (2024). Fluid management in children with volume depletion. *Pediatric Nephrology*, 39(2), 423–434. <https://doi.org/10.1007/s00467-023-06080-z>