

Juho Joutsa, Janek Frantzén ja Valtteri Kaasinen

Aivojen kohdennettu ultraäänihoito liikehäiriösairauksien hoidossa

Kohdennettu suurienergiainen aivojen ultraäänihoito (neuro-HIFU, high-intensity focused ultrasound) otettiin kliniseen käyttöön Suomessa keväällä 2022 Turun yliopistollisessa keskussairaalassa ensimmäisenä yliopistosairaalana Pohjoismaissa. Pian käyttöönoton jälkeen julkaistiin ensimmäinen suomenkielinen katsaus aiheesta. Sitten tutkimusnäyttö on vahvistunut, käyttöaiheet ovat laajentuneet ja hoitokäytännöt ovat täsmentyneet myös kansallisella tasolla. Pääasiallinen käyttöaihe on edelleen lääke-resistentti vapina, mutta hoidot laajenevat myös muihin liikehäiriöihin. Tässä katsauksessa esittelemme neuro-HIFU-hoidon klinisen nykytilanteen, käsittelemme tuoreinta tutkimusnäyttöä ja soveltuvuutta eri liikehäiriöiden hoitoon sekä tuomme esiin keskeiset seikat potilasvalinnan ja hoitoonohjauksen näkökulmasta.

Toiminnallinen neurokirurgia on nopeasti kehittyvä ala, joka tarjoaa tehokkaita hoitovaihtoehtoja erityisesti liikehäiriösairauksien, kuten essentiaalisen vapinan ja Parkinsonin taudin, hoitoon. Keskeisiä menetelmiä ovat muun muassa aivojen syvästimulaatio (deep brain stimulation, DBS) ja erilaiset paikallisen kudosaivurion tuottamiseen perustuvat leesiohoidot, kuten radiotaajuusablaatio (radiofrequency ablation) ja gammaveitsiablaatio (gamma knife ablation) (1).

Toiminnallisen neurokirurgian tuorein menetelmä on viime vuosina yleistynyt magneettiohjatulla kohdennetulla ultraäänellä toteutettu leesiohoito (magnetic resonance-guided focused ultrasound, MRgFUS). Se tunnetaan Suomessa nimellä neuro-HIFU, ja se perustuu suurienergiaisen ultraäänen tarkasti fokusoi-tuun kohdentamiseen aivojen syviin rakenteisiin reaaliaikaisen magneettikuvantamisen avulla. Toimenpiteessä tuotetaan terminen leesio kohdekudokseen, ja biologinen vaikutusmekanismi vastaa radiotaajuus- ja gammaveitsimenetelmän tuottamaa pysyvää vauriota (2,3).

Yksi neuro-HIFUn merkittävimmistä eduista on sen vähäinen kajoavuus – menetelmä ei edellytä trepanaatiota, kuten radiotaajuusablaatio ja DBS, tai pysyvän laitteiston asettamista,

kuten DBS. Lisäksi hoitokohdetta voidaan testata lisäämällä ultraäänen lämpövaikutusta asteittain ennen pysyvän leesio tuottamista, toisin kuin esimerkiksi gammaveistä käytettäessä. Hoitokohdetta voidaan myös tarvittaessa siirtää joustavammin kuin radiotaajuusmenetelmää käytettäessä. Menetelmän haittapuolia ovat hoidon peruuttamattomuus ja säätömahdollisuuksien puute verrattuna DBS:ään, joka mahdollistaa stimulaation sammuttamisen tai stimulaatioparametrien muokkaamisen pitkällä aikavälillä taudin edetessä tai haittojen ilmaantuessa. Neuro-HIFU vaikuttaa kustannusvaikuttavalta hoitomuodolta sekä essentiaalisen vapinan että Parkinsonin taudin hoidossa (4,5).

Suoria vertailuja eri hoitomuotojen tehosta ei ole, mutta neuro-HIFUn teho vaikuttaa olennaisilta osiltaan samankaltaiselta kuin DBS:n ja talamotomian (6–8). Kliinisessä käytössä menetelmien olennaisimpia eroja ovat potilasvalinta, toimenpiteen suoritus, jälkihoito ja haittavaikutusprofiilit.

Neuro-HIFU Suomessa

Suomessa neuro-HIFU otettiin käyttöön keväällä 2022, ja hoidon nykyinen hinta on noin 20 000 €/hoidettu puoli. Vastaavia laitteisto-

TAULUKKO 1. Neuro-HIFU-hoidon käyttöaiheet Tyksissä.

Sairaus	Hoitokohde	Uni- tai bilateraalinen	Hoidettava oire
Essentiaali- nen vapina	Talamus (VIM)	Unilateraalinen	Käden vapina
		Bilateraalinen (asteittainen, aikaisintaan 9 kk ensimmäisestä toimenpiteestä)	Käden vapina; mahdollista vaikutusta myös pään ja äänen vapinaan ¹
Parkinsonin tauti	Talamus (VIM)	Unilateraalinen	Käden vapina
	Subtalaaminen tumake (STN)	Unilateraalinen	Bradykinesia, rigiditeetti, vapina, dyskinesia (epäsuorasti)
	Pallidum (GPi)	Unilateraalinen	Bradykinesia, rigiditeetti, vapina, dyskinesia

¹Pään ja äänen vapina johto-oireena ei ole neuro-HIFUn käyttöaihe.

ja on nykyisin käytössä yliopistosairaaloissa Tanskassa ja Ruotsissa mutta ei vielä Norjassa tai Baltian maissa. Maailmanlaajuisesti neuro-HIFU-laitteita on kliinisessä käytössä noin 170. Suomen ainoa neuro-HIFU-laitteisto sijaitsee Tyksissä, jossa hoitoja tarjotaan myös muualta Suomesta ja ulkomailta saapuville potilaille.

Toistaiseksi Tyksissä on tehty yli 150 neuro-HIFU-talamotomia. Lisäksi OYS:ssa on pienienergiainen ultraäänihoitolaitteisto (neuro-LIFU, low intensity focused ultrasound), jolla voidaan tutkimusasetelmissa muun muassa tilapäisesti avata veri-aivoestettä tai muokata hermoverkostojen toimintaa muodostamatta leesiota. Toistaiseksi neuro-LIFU ei ole maailmalla kliinisessä käytössä (2).

Neuro-HIFUn käytöstä julkaistiin ensimmäinen ja toistaiseksi ainoa suomenkielinen katsaus vuonna 2023, kun menetelmä oli vasta otettu käyttöön (9). Alkuvaiheen hoito rajoitui unilateraaliin talamotomioihin essentiaalisen vapinan ja Parkinsonin taudin vapinan hoidossa. Sitten käyttö on laajentunut bilateraalisiin toimenpiteisiin (essentiaalinen vapina) sekä muiden Parkinsonin taudin oireiden hoitoon (unilateraalinen subtalamotomia ja pallidotomia). Samanaikaisesti kansalliset hoitokäytänteet ovat tarkentuneet kliinisen kokemuksen ja tutkimusnäytön karttuessa.

Uutta tutkimusnäyttöä neuro-HIFU-hoidosta

Essentiaalisen vapinan bilateraalisen, vaiheittain toteutetun talamotomian tehoa arvioitiin avoimessa etenevässä tutkimuksessa, johon osallistui 51 potilasta (10). Tutkittaville oli ai-

emmin tehty unilateraalinen talamotomia neuro-HIFU-menetelmällä vähintään yhdeksän kuukautta aiemmin. Lumekontrolloitu asetus ei ollut tutkimuksessa toteutettavissa, koska aiemman kokemuksen perusteella potilaat kykenivät helposti erottamaan aktiivisen hoidon lumetoimenpiteestä. Toisen talamotomian vaste kontralateraalisen käden vapinaan oli keskimäärin 66 %, mikä vastasi pitkälti ensimmäisen toimenpiteen tehoa, ja vaste pysyi 12 kuukauden seurannan loppuun saakka muuttumattomana. Bilateraalinen talamotomia tehosi myös muiden kehonalueiden vapinaan: pään vapinan lievittymistä raportoitiin 67 %:lla ja äänen vapinan vähentymistä 71 %:lla potilaista – näitä vaikutuksia ei unilateraalisen toimenpiteen myötä ole systemaattisesti havaittu.

Bilateraalisiin toimenpiteisiin liittyy yleisesti lisääntynyt haittavaikutusten riski, joten toimenpiteen haitat olivat tutkimuksessa erityisen mielenkiinnon kohteena. Yleisimmät haittavaikutukset 12 kuukauden kohdalla toimenpiteen jälkeen olivat tuntohäiriöt (17 %), dysartria (15 %), ataksia (13 %) ja makuaistin häiriöt (6 %). Valtaosa haittavaikutuksista oli lieviä, eivätkä nämä haitat edellyttäneet lääketieteellisiä toimenpiteitä tai aiheuttaneet merkittävää haittaa potilaan toimintakykyyn. Yksittäisillä potilailla havaittiin kuitenkin kohtalaisia haittoja 12 kuukauden kuluttua: makuaistin häiriöitä (2 %) tai nielemisvaikeutta (2 %), jotka häirit-sivät päivittäistä toimintakykyä ja vaativat hoitoa (10).

Parkinsonin taudin neuro-HIFU-hoidosta on toistaiseksi saatavilla julkaistua luotettavaa näyttöä vain unilateraalisten toimenpiteistä. Hoitokohteet ovat kuitenkin laajentuneet va-

TAULUKKO 2. Lähetevaatimukset neuro-HIFU-hoidon arvioon Tyksin neurologiseen yksikköön.

Selvittävät tekijät	Tiedot	Huomioitavaa
Diagnoosi	Essentiaalinen vapina (ET), Parkinsonin tauti (PD)	Neurologin asettama diagnoosi
Esitiedot	Muut sairaudet ja nykylläkitys	Vasta-aiheiden ja riskien arvioiminen
Mahdolliset vierasesineet kehossa	Tarkat tiedot kehoon asetetuista laitteista, kuten tahdistimista ja stimulaattoreista ja erityisesti kallonsisäisistä vierasesineistä	Laitteiden on sovellettava 3 T:n MK:hon, kallonsisäiset vierasesineet ovat yleensä vasta-aihe
Nykyoireisto	Kuvaus oireiston voimakkuudesta ja sen aiheuttamasta haitasta	Hoidon käyttöaiheena on elämänlaatua heikentävä vapina
Kuvantaminen	Pään MK:sta + MK-angiografiasta alle 12 kk (miehellään alle 6 kk)	Vasta-aiheiden poissulku (ks. TAULUKKO 3)
Lääkehoitokokeilut	ET: Vähintään kaksi lääkettä kokeiltu PD: Lääkehoitovaihtoehdot käyty läpi	ET: Propranololi, primidoni, gabapentiini, topiramaatti PD: vähintään suuriannoksinen levodopa ja mahdollisuuksien mukaan MAO-B:n estäjät, dopamiiniagonistit, COMT:n estäjät ja/tai amantadiini (tilavaihtelut); antikolinergi (vapina)
Muiden hoitovaihtoehtojen soveltuvuus	Aivojen syvästimulaatio (ET, PD), lääkepumput (PD)	Muiden hoitojen soveltuvuus voidaan arvioida myös Tyksissä

MK = magneettikuvaus; T = tesla

pinaan kohdennetusta talamotomiasta myös muiden motoristen oireiden hoitoon subtalantomian ja pallidotomian avulla. Molempien uusien hoitomuotojen teho on osoitettu satunnaistetuissa vertailututkimuksissa (11,12). Näihin toimenpiteisiin liittyi kuitenkin myös pitkäkestoisia haittavaikutuksia osalla potilaisista, ja tutkimusten seuranta-ajat olivat verrattain lyhyet (3–4 kuukautta). Kansainvälisesti subtalantomiaa hyödynnetään jo kliinisesti, mutta pallidotomian käyttö on toistaiseksi ollut vähäistä. Neuro-HIFU on kuitenkin kesällä 2025 saanut Yhdysvaltain elintarvike- ja lääkeviraston (FDA) hyväksynnän porrastetulle bilateraaliseen pallidotalaamiselle traktotomialle Parkinsonin taudin hoidossa, mutta tuloksia ei toistaiseksi ole julkaistu vertaisarvioidussa lehdessä eikä laitteistolla ole vielä CE-merkintää tällä käyttöaiheella.

Käyttöaiheet

Neuro-HIFUn nykyiset käyttöaiheet Tyksissä on koottu **TAULUKKOO 1**. Tärkein ja yleisin käyttöaihe on edelleen talamotomia ventralis intermedius (VIM) -tumakkeen alueelle essentiaalisen vapinan hoidossa. Hoito voidaan toteuttaa joko uni- tai bilateraalisenä. Bilateraalissa toimenpiteissä toisen puolen hoito voi-

daan tehdä aikaisintaan yhdeksän kuukauden kuluttua ensimmäisestä. Toisen käsittelyn potilasvalintakriteerit ovat ensimmäistä tiukemmat, ja edellytyksenä on, ettei ensimmäisestä toimenpiteestä ole aiheutunut pysyviä haittoja. Lisäksi neuro-HIFUa on hyödynnetty lukuisen potilaiden Parkinsonin taudin vapinan hoitoon (13).

Laitteistolla on CE-merkinnät Parkinsonin taudin osalta myös subtalantomiaan ja pallidotomiaan, joilla voidaan hoitaa muitakin Parkinsonin taudin oireita (bradykinesia, rigidi-teetti, tilavaihtelut), sekä neuropaattisen kivun osalta talamotomiaan (CM-tumake). Parkinsonin taudissa hoito voidaan kuitenkin nykyisin toteuttaa vain unilateraalisenä, mikä rajoittaa merkittävästi subtalantomiaista ja pallidotomiaista saatavaa hyötyä (14).

Subtalantomia ja pallidotomia voivat tulla kyseeseen lähinnä niille Parkinsonin tautia sairastaville potilaille, joille muut hoitomuodot (kuten suun kautta otettavat lääkkeet, lääkepumput ja DBS) eivät ole riittäviä tai sovellettuja, joiden oireet ovat voimakkaan asymmetriset ja joille oireiden asymmetria aiheuttaa merkittävän haitan. Viimeisimmät tutkimustulokset viittaavat siihen, että subtalantomia saattaa olla jopa talamotomiaa tehokkaampi Parkinsonin taudin vapinan hoidossa, mikä saattaa

TAULUKKO 3. Neuro-HIFU-hoidon vasta-aiheet.

Vasta-aiheet	Huomioita
Potilaaseen liittyvät	
Vasta-aihe 3 T:n magneettikuvaukselle	–
Epileptisestä kohtauksesta, aivoinfarktista tai -verenvuodosta < 12 kk	
Verenvuototaipumus (INR > 1,2, trombosyyttimäärä < 100 x 10 ⁹ /l) tai antikoagulaatio, jota ei voida keskeyttää toimenpiteen ajaksi	
Hallitsematon verenpainetauti (diastolinen paine > 100 mmHg)	
Aktiivinen alkoholin tai muiden päihteiden (pl. nikotiini) ongelmakäyttö	
Raskaus	
Heikko yhteistyökyky	Suhteellinen
Epästabiili terveydentila tai huonoennusteinen sairaus	Suhteellinen
Tasapainovaikeudet ja kävelyn ataksia	Suhteellinen
Parkinsonin taudissa lisäksi epästabiili psykiatrinen sairaus kuten vakava masennus, psykoosi, harhaluuloisuus, hallusinaatiot tai itsetuhoisuus; MMSE-pistemäärä < 25; Hoehn–Yahrin asteikolla > 2,5 lääkevasteen aikana	Suhteellinen
Kuvantamislöydöksiin liittyvät	
Aneurysmat	–
Aivojen vierasesineet	Suhteellinen ¹
Aivokasvaimet, verisuoniepämuodostumat ja muut paikalliset rakennepoikkeavuudet	Suhteellinen ¹
Selvästi poikkeava hoitokohteen anatomia, voimakas atrofia tai vaikea vaskulaarinen degeneraatio	Suhteellinen
Kallon ultraääniläpäisevyys (skull density ratio, SDR)	
Pään TT:ssä SDR < 0,30 (SDR 0,3–0,39 relatiivinen)	Pään TT Tyksissä erityisellä protokollalla

¹Ultraäänien kulkureitillä rakennepoikkeavuudet, jotka saattavat absorboida ultraäänien energiaa, ovat yleensä ehdoton vasta-aihe. Muut rakennepoikkeavuudet arvioidaan tapauskohtaisesti Tyksissä.

muuttaa hoitokäytänteitä jatkossa (15). Toistaiseksi Suomessa ei ole vielä suoritettu yhtään neuro-HIFUlla tehtyä subtaalamotomiaa tai pallidotomiaa. Neuropaattisen kivun osalta riittävä tutkimusnäyttö puuttuu, eikä tätä käyttöaihetta ole Suomessa toistaiseksi kliinisessä käytössä.

Potilasvalinta ja nykyinen hoitoprotokolla Tyksissä

Lähteet neuro-HIFU-hoidon arvioon osoitetaan Tyksin Neurokeskuksen neurologian poliklinikkaan. Lähteessä vaadittavat tiedot esitetään **TAULUKOSSA 2**. Varsinais-Suomen hyvinvointialueen potilaille voidaan arviointiprosessin yhteydessä tarvittaessa järjestää täydentäviä tutkimuksia, kuten lääkehoitokokeiluja ja aivojen kuvantamista. Muiden hyvinvointialueiden potilaiden tarvitsemat tutkimukset tulee ensisijaisesti suorittaa kotipaikkakunnalla ennen läheteen lähettämistä.

Lähte neuro-HIFU-arvioon voidaan tehdä myös tilanteessa, jossa potilaan soveltuvuus hoitoon on epävarmaa. Potilaat arvioidaan aina yksilöllisesti kliinisten esitetöiden, kuvantamisen ja hoitohistorian perusteella. Koska neuro-HIFU-hoitoon eteneminen edellyttää tarkkaa kliinistä diagnostiikkaa, ajankohtaista kuvantamista ja asianmukaisia lääkehoitokokeiluja, on suositeltavaa, että läheteen arvioon tekee neurologi. Arvio voidaan kuitenkin tehdä myös muun erikoisalan tai perusterveydenhuollon lääkärin läheteestä, mikäli kaikki vaadittavat tiedot on esitetty riittävän kattavasti.

Hyväksytyjen käyttöaiheiden mukaisesti neuro-HIFU on Suomessa käytössä pääasiassa vain essentiaaliseen vapinaan ja Parkinsonin tautiin. Poikkeustapauksissa hoitoa voidaan harkita myös muihin vapinaa aiheuttaviin sairauksiin, mikäli muut hoitovaihtoehdot eivät ole mahdollisia tai riittäviä. Neuro-HIFU-toimenpiteelle ei ole yläikärajaa. Pään magneettikuvaukset (MK) ja

MK-angiografia tarvitaan vasta-aiheiden pois-sulkuun, ja kuvantamislöydösten tulisi olla suhteellisen tuoreita (kuvantamistutkimus tehty enintään 12 kuukautta ennen lähetettä).

Lääkehoitovaihtoehtojen tulee olla riittävästi kokeiltuja ennen neuro-HIFUn harkintaa, ja DBS on osittaisen peruutettavuutensa ja säädetävyytensä vuoksi usein ensisijaisesti harkittava neurokirurginen hoitomenetelmä. Neuro-HIFUn etuja ovat sen vähemmän kajoava luonne, vähäisempi komplikaatioriski ja se, ettei hoito vaadi myöhempiä säätökäyntejä tai laitehuoltoa. Näiden ominaisuuksien vuoksi osa potilaista voi suosia tätä hoitomuotoa. Tyksissä radiotaajuus-ablaatiota harkitaan lähinnä tilanteissa, joissa DBS ja neuro-HIFU eivät sovellu potilaalle.

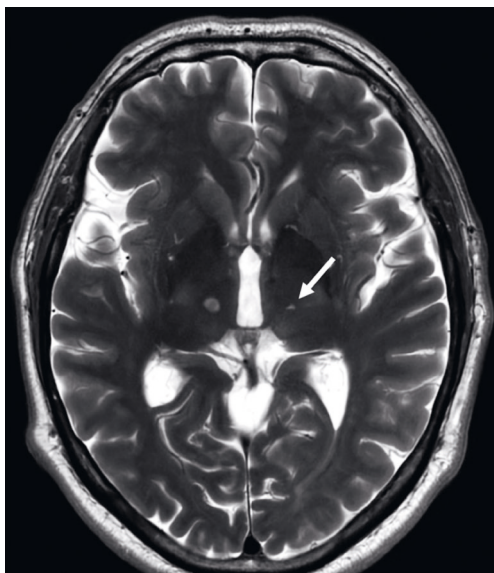
Tyksissä potilaan arvioi neuro-HIFU-hoitoihin perehtynyt neurologi. Lisäksi neuromodulaatiohoitaja tapaa potilaan, jolle tehdään pään natiivitietokonetomografia kallon ultraääniläpäisevyyden arvioimiseksi erityisellä kuvantamisprotokollalla. Käynnin yhteydessä arvioidaan myös muut mahdolliset hoitovaihtoehdot, kuten DBS ja infuusiohoidot, jotka voidaan toteuttaa joko Tyksissä tai muussa yliopistosairaalassa. Neurologi vastaa potilasvalinnasta, ja neurokirurgi tekee lopullisen toimenpidepäätöksen.

Neuro-HIFU-hoidon vasta-aiheet esitetään **TAULUKOSSA 3**. Essentiaalisen vapinan yhteydessä bilateraalisen hoidon soveltuvuutta arvioidaan Tyksissä ensimmäisen toimenpiteen jälkeisellä seurantakäynnillä. Soveltuvuutta arvioidaan yksilöllisesti saavutetun vasteen ja mahdollisten haittavaikutusten perusteella.

Neuro-HIFU ja DBS ovat molemmat kliinisesti perusteltuja vaihtoehtoja vapinan hoidossa, mutta niiden esittelytapa voi vaikuttaa merkittävästi potilaan valintaan. Potilasohjauksen tulee olla tasapainoista ja ymmärrettävää ja korostaa kummankin hoidon hyötyjä, rajoituksia ja riskejä. Kliinikon vastuulla on varmistaa, että hoitopäätös perustuu riittävään ja neutraalisti esitettyyn tietoon.

Kliiniset kokemukset

Tyksissä kertyneen kliinisen kokemuksen perusteella neuro-HIFU on osoittautunut te-



KUVA. Neuro-HIFU-talamotomiaaleesiot. Bilateraalisen neuro-HIFU-talamotomian saaneen potilaan magneettikuva. Kuvaus tehtiin kuukausi oikeanpuoleisen ja noin vuosi vasemmanpuoleisen talamotomian jälkeen. Oikealla talamuksessa tyypillinen tuore talamotomiaaleesio, joka on jo selvästi pienentynyt vasemmalla (nuoli). Kuva radiologisessa orientaatioissa (oikea-vasen).

hokkaaksi ja pääosin hyvin siedetyksi hoitomenetelmäksi vapinan hoidossa. Hoitovasteet ja haittavaikutusprofiilit ovat vastanneet kansainvälisessä kirjallisuudessa julkaistuja tuloksia. Tyksin potilasaineistosta ei ole toistaiseksi julkaistu tutkimusdataa, mutta kliininen kokemus viittaa hoidon yleisesti hyvään tehoon ja potilastyytyväisyyteen. Yksittäisillä potilailla hoitovaste on jäänyt vaatimattomaksi tai haittavaikutuksia on esiintynyt odotettua enemmän, mutta nämä ovat olleet poikkeuksia.

Hoitojen alkutaipaleen jälkeen kallon ultraääniläpäisevyyden kriteeriä (skull density ratio, SDR) on voitu lieventää kliinisen kokemuksen ja uuden tutkimusnäytön perusteella. Alkuperäinen raja-arvo (SDR alle 0,40) on Tyksissä pienennetty arvoon 0,30, koska pienen SDR:n ei ole todettu lisäävän komplikaatioriskiä, vaikka se voi heikentää hoidon onnistumisen todennäköisyyttä (16).

Toimenpideprosessia on kehitetty ja nopeutettu: nykyisin samana päivänä voidaan hoitaa kaksi potilasta. Yksi hoitokerta kestää keskimäärin 3–4 tuntia, ja valtaosa potilaista

Ydinasiat

- ▶ Aivojen suurenergiainen ultraäänihoito (neuro-HIFU) on ollut käytössä Suomessa vuodesta 2022.
- ▶ Neuro-HIFUn pääasiallinen käyttöaihe on essentiaalista vapinaa tai Parkinsonin tautia sairastavan potilaan lääkeresistentin vapinan hoito.
- ▶ Tutkimustieto neuro-HIFUsta lisääntyy nopeasti, ja uusia käyttöaiheita on jo saatu ja lisää on odotettavissa lähivuosina.

kotiutuu samana päivänä, ellei komplikaatioita ilmaannu. Vapinan uusiutuminen hoidon jälkeen on harvinaista mutta mahdollista. Mikäli talamuksen leesio on umpeutunut, toimenpiteen uusimista voidaan harkita. Tämä leesio regressio tapahtuu yleensä hitaasti kuukausien aikana, mutta kyseessä on radiologinen ilmiö, joka ei suoraan korreloi kliinisen vasteen kanssa (**KUVA**).

Lopuksi

Neuro-HIFU on tuonut merkittävän uuden työkalun liikehäiriöiden hoitoon. Se tarjoaa tehokkaan ja vähäisesti kajoavan hoitovaihtoehdon erityisesti potilaille, joilla on vaikea-asteinen lääkeresistentti vapina ja jotka eivät sovellu DBS-hoitoon esimerkiksi iäkkyytensä tai merkittävien liitännäissairauksiensa vuoksi –

tai jotka eivät halua DBS-hoitoa. Tutkimustieto menetelmästä lisääntyy jatkuvasti, ja sen myötä uusia käyttöaiheita on odotettavissa todennäköisesti jo lähitulevaisuudessa (3). Lisäksi uudet kuvantamistekniikat, kuten 7 Teslan MK ja traktografiaan perustuvat menetelmät, saattavat tulevaisuudessa parantaa toimenpiteen hyötyhaittasuhdetta. Suomalaisia hoitokäytänteitä kehitetään ja päivitetään jatkossakin kertyvän kliinisen ja tieteellisen näytön pohjalta, tavoitteena hoidon vaikuttavuuden ja potilasturvallisuuden jatkuva parantaminen. ■

JUHO JOUTSA, neurologian professori, ylilääkäri
Turun yliopisto
Neurologia, TYKS Neurokeskus

JANEK FRANTZÉN, neurokirurgian apulaisprofessori, osastonylilääkäri
Turun yliopisto
Neurokirurgia, TYKS Neurokeskus

VALTERI KAASINEN, neurologian professori, ylilääkäri
Turun yliopisto
Neurologia, TYKS Neurokeskus

VASTUUTOIMITTAJA
Perttu Lindsberg

SIDONNAISUUDET

Juho Joutsu: Luentopalkkio/asiantuntijapalkkio (Lundbeck, Novartis, Nordic Infucare, Insightec, Addiktum), korvaukset koulutus- ja kongressikuluista (Abbvie, Abbott, Insightec), luottamustoimet (International Parkinson's disease and movement disorders society (study group vice chair, steering committee member), SNY:n Liikehäiriöjaos (johtoryhmä)), muut sidonnaisuudet (Advisory board: Teva Finland Oy; konsultointi: Summaryx Oy, Adamant Health Oy, Teva Finland Oy; osakas: Suomen Neurolaboratorio Oy, Neurologic Finland Oy; hallituksen jäsen: Neurologic Finland Oy)

Janek Frantzén: Luentopalkkio/asiantuntijapalkkio (Cerenion Oy, Ambrosio Oy), korvaukset koulutus- ja kongressikuluista (Insightec), muut sidonnaisuudet (hallituksen jäsen: Cerenion Oy, Bonalife Oy)

Valteri Kaasinen: Luentopalkkio/asiantuntijapalkkio (Nordic Infucare AB, Abbvie, Lundbeck, Orion Pharma, Bial, Eisai), korvaukset koulutus- ja kongressikuluista (Nordic Infucare AB)

KIRJALLISUUTTA

1. Walters H, Shah BB. Focused ultrasound and other lesioning therapies in movement disorders. *Curr Neurol Neurosci Rep* 2019;19:66.
2. Meng Y, Hynynen K, Lipsman N. Applications of focused ultrasound in the brain: from thermoablation to drug delivery. *Nat Rev Neurol* 2021;17:7–22.
3. Joutsa J, Lipsman N, Horn A, ym. The return of the lesion for localization and therapy. *Brain* 2023;146:3146–55.
4. Meng Y, Pople CB, Kalia SK, ym. Cost-effectiveness analysis of MR-guided focused ultrasound thalamotomy for tremor-dominant Parkinson's disease. *J Neurosurg* 2021;135:273–8.
5. Jameel A, Meiwald A, Bain P, ym. The cost-effectiveness of unilateral magnetic resonance-guided focused ultrasound in comparison with unilateral deep brain stimulation for the treatment of medically refractory essential tremor in England. *Br J Radiol* 2022;95:20220137.
6. Giordano M, Caccavella VM, Zaed I, ym. Comparison between deep brain stimulation and magnetic resonance-guided focused ultrasound in the treatment of essential tremor: a systematic review and pooled analysis of functional outcomes. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2020;91:1270–8.
7. Harary M, Segar DJ, Hayes MT, ym. Unilateral thalamic deep brain stimulation versus focused ultrasound thalamotomy for essential tremor. *World Neurosurg* 2019;126:e144–e52.
8. Germann J, Santyr B, Boutet A, ym. Comparative neural correlates of DBS and MRgFUS lesioning for tremor control in essential tremor. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2024;95:180–3.
9. Brück A, Blanco Sequeiros R, Frantzén J, ym. Kohdennettu ultraääni vapinan hoidossa. *Duodecim* 2023;139:713–20.
10. Kaplitt MG, Krishna V, Eisenberg HM, ym. Safety and efficacy of staged, bilateral focused ultrasound thalamotomy in essential tremor: an open-label clinical trial. *JAMA Neurol* 2024;81:939–46.
11. Martínez-Fernández R, Mániz-Miró JU, Rodríguez-Rojas R, ym. Randomized trial of focused ultrasound subthalamotomy for Parkinson's disease. *N Engl J Med* 2020;383:2501–13.
12. Krishna V, Fishman PS, Eisenberg HM, ym. Trial of globus pallidus focused ultrasound ablation in Parkinson's disease. *N Engl J Med* 2023;388:683–93.
13. Rodríguez-Oroz MC, Martínez-Fernández R, Lipsman N, ym. Bilateral lesions in Parkinson's disease: gaps and controversies. *Mov Disord* 2025;40:231–40.
14. Natera-Villalba E, Ruiz-Yanzi MA, Gasca-Salas C, ym. MR-guided focused ultrasound in movement disorders and beyond: lessons learned and new frontiers. *Parkinsonism Relat Disord* 2024;122:106040.
15. Paschen S, Natera-Villalba E, Pineda-Pardo JA, ym. Comparative study of focused ultrasound unilateral thalamotomy and subthalamotomy for medication-refractory Parkinson's disease tremor. *Mov Disord* 2025;40:823–33.
16. Vetkas A, Boutet A, Sarica C, ym. Successful magnetic resonance-guided focused ultrasound treatment of tremor in patients with a skull density ratio of 0.4 or less. *J Neurosurg* 2024;140:639–47.