

Roberto Blanco Sequeiros, Kirsi Joronen, Gaber Komar ja Seppo K. Koskinen

Suurienergiainen kohdennettu ultraääni (HIFU) kasvainten hoidossa

HIFU (high intensity focused ultrasound) on menetelmä, jossa korkeataajuuksista ultraääntä kohdennetaan kudokseen lämpövaikutuksen ja siitä seuraavan terapeuttisen vaikutuksen (ablaatio, kudomodulaatio) aikaansaamiseksi. Menetelmä ei ole uusi, mutta viimeaikainen kuvantamismenetelmien teknologinen kehitys on mahdollistanut HIFU:n laajamittaisemman käyttöönoton. HIFU on ainutlaatuisen hoitomenetelmä: se on täysin kajoamaton, anatomiset rakenteet eivät rajoita tietyn kohteen hoitoa, ja sillä saadaan aikaan välitön, kirurgiaa vastaava kudostuhovaikutus joko ihon tai ruumiinonteloiden kautta. HIFU:a voidaan käyttää sekä hyvänlaatuisten että syöpäkasvainten hoidossa, ja sitä käytetään jo kliinisessä työssä hyvänlaatuisten kohdun lihaskasvainten hoitoon. HIFU vaikuttaa lupaavalta myös eturauhasen ja luuston kasvainten hoidossa. Neurologisissa sairauksissa kohdennettua HIFUa voidaan käyttää esimerkiksi tyvitumakehäiriöiden hoidossa.

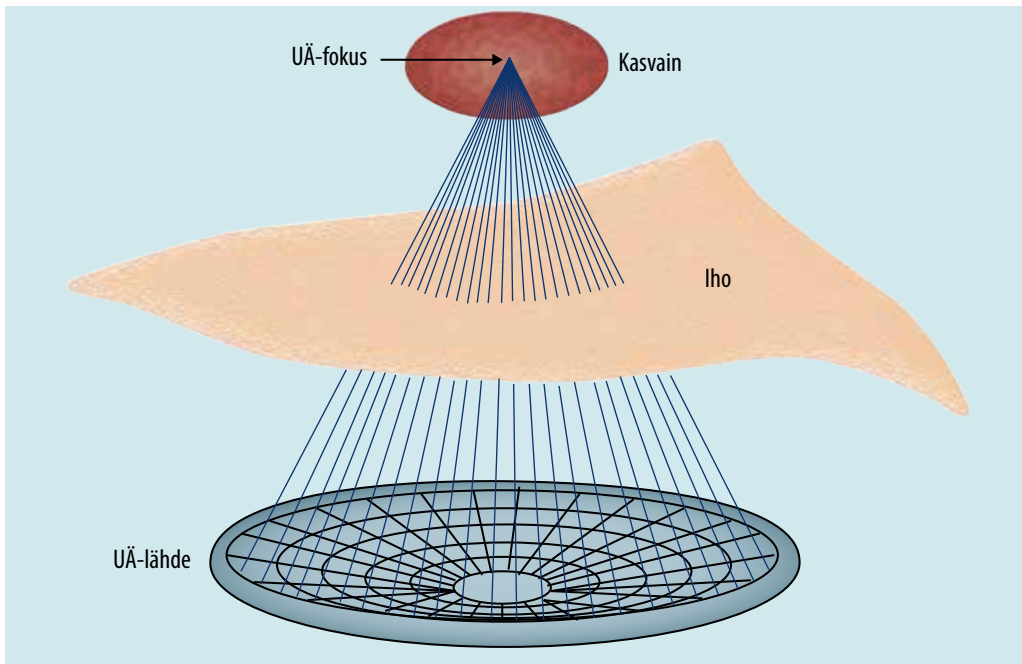
Ultraääntä (taajuus yli 20 000 Hz) voidaan käyttää kohdennettuun energian välitykseen kudoksessa. Ultraääniallot absorboituvat kudokseen ja kohottavat lämpötilaa. Ultraääni on korkeaintensiteettistä, kun sen paikallinen energiaintensiteetti on yli 5 W/cm^3 . Tällöin saadaan aikaan kudostuho energian kerääntyessä kudokseen. Kontrolloidun ja ennustettavan lämmön aiheuttaman kudostuhoon lisäksi HIFU:lla voidaan myös saada aikaan kavitaatiovaikutus, jossa ultraäänien aikaansaaman alipaineen seurauksena kudokseen muodostuu kaasukuplia. Kavitaatiovaikutusta käytetään hyväksi kudomodulaatiossa, jossa kudoksen fysiologisia ominaisuuksia muutetaan suurienergiaisella ultraäänellä väliaikaisesti tai pysyvästi (1). Kavitaatiota on kuitenkin vaikeaa säädellä, minkä takia sitä yritetään yleensä välttää ablaatiohoidossa.

HIFU välitetään kudokseen yleensä pietso-sähköisistä elementeistä kootun ultraäänianturin kautta. Antureissa voi olla satoja elementtejä. Tämä mahdollistaa ultraäänien kohdentamisen ja korkean paikallisen intensiteetin ($100\text{--}10\,000 \text{ W/cm}^3$) aikaansaamisen. Ultra-

äänifokusta voidaan ohjata anturin fokusalueella (KUVA 1). Kohdennetun fokuksen pienin koko on noin 1,5 mm x 1,5 mm. Tämä mahdollistaa ablaatioalueen kohdentamisen erittäin tarkasti, mutta toisaalta laajan kudostuhoalueen aikaansaaminen vie aikaa. Uudet ohjausohjelmistot mahdollistavat suuremmat hoitoalueet ja nopeamman hoidon mutta esimerkiksi kookkaan, yli kuuden senttimetrin läpimittaisen, myooman hoito voi kestää kahdesta kolmeen tuntia ja käytännössä yli seitsemän senttimetrin läpimittaista myoomaa ei voida hoitaa yhdellä hoitokerralla.

HIFU-hoidon ohjaus

Kaikukuvaus. HIFU-hoidon ohjaus tapahtuu kuvantaen, ja kaikukuvaus (englanniksi US-HIFU) on käytetyin menetelmä. Kaikukuvausohjauksessa diagnostinen reaaliaikainen ultraäänikuva ja hoitoalueen kuvainformaatio projisoidaan päällekkäin. Myös muiden kuvantamismenetelmien kuvamateriaalia voidaan käyttää hyväksi hoidon suunnittelussa. Kaikukuvausohjauksen haittoja ovat kvyyttömyys



KUVA 1. HIFU-hoidon periaate. Ultraäänienergia kohdennetaan hoitoalueelle, esimerkiksi kasvaimeen.

havainnoida tarkasti kudoksen lämpenemistä ja vastaavasti kehittyvän kudostuhoalueen laajuutta. Lisäksi ultraäänen kudoserottelukyky, kuvausalueen pieni koko ja hoidon myötä huonontuva kuvan laatu ovat ongelmallisia hoidon toteutuksen kannalta.

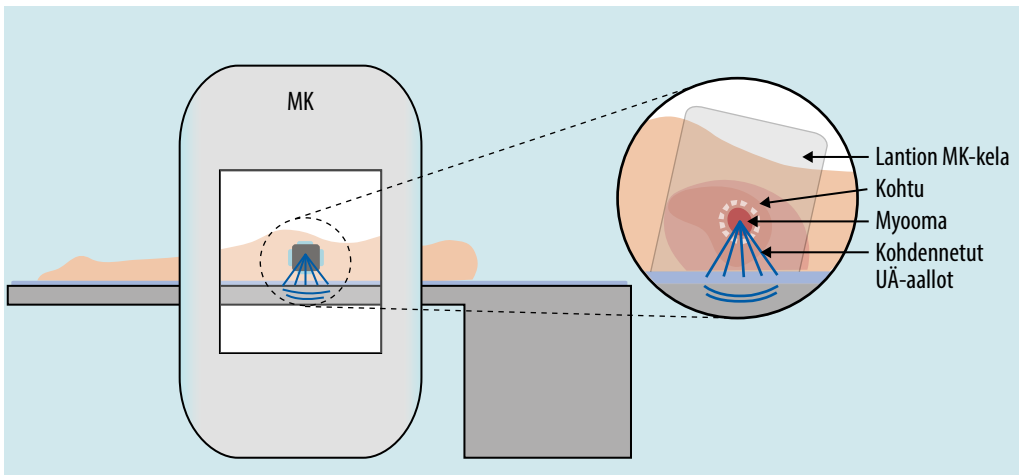
Magneettikuvaus. HIFU-hoidon ohjaus magneettikuvauksella (lyhenteet englanniksi MR-HIFU, MRgFUS) mahdollistaa hoitoalueen tarkastelun vapain leiketason ja kolmiulotteisesti (KUVA 2). Magneettikuvauksen pehmytkudoserottelukyky on ylivertainen muihin kuvantamismuotoihin verrattuna, ja sen avulla voidaan tarkastella reaaliaikaisesti hoitoalueen lämpötilaa protoniresonanssitaajuuden vaihtelua mittaamalla ja näin seurata kudostuhoalueen kehittymistä. Magneettikuvauksessa voidaan määritellä hyvin tarkasti kehittyneen hoitoalueen tilavuus ja suhde ympäröiviin rakenteisiin. Näin vältetään ympäröivään terveeseen kudokseen kohdistuvalta kudostuhoalueelta ja hoidon tarkkuus paranee. Magneettikuvauksen haittana on sen herkkyys liikkeelle, jolloin kuvanlaatu huononee. Kuvauspöytään integroitu HIFU-laite vaikuttaa myös magneettikelojen valintaan ja kuvanlaatu – vaikkakin ultraääntä

selvästi parempi – on diagnostista magneettikuvaa hieman huonompi.

Hoitojärjestelmät. Tällä hetkellä kliinisessä käytössä on useita kaikukuvausohjaukseen perustuvia hoitojärjestelmiä, mutta julkaistuja tutkimustuloksia on vähän, eikä asennettujen tai käytössä olevien järjestelmien lukumäärästä ole tarkkaa käsitystä. Magneettikuvaukseen perustuva ohjaus on uudempi menetelmä, josta on enemmän tutkimusnäyttöä ja asennettuja järjestelmiä on useita kymmeniä ympäri maailmaa. Suomessa on tällä hetkellä käytössä yksi magneettikuvausohjauksella toimiva HIFU-hoitolaite Tyksissä.

HIFU:n käyttö gynekologiassa

Laajimmassa kliinisessä käytössä HIFU on ollut jo yli kymmenen vuoden ajan kohdun hyväntaluisien lihaskasvainien, myoomien, hoidossa (KUVA 3). Arviolta kahdelle kolmesta naisesta kehittyy myooma 50 ikävuoteen mennessä, ja vaikka myoomat ovat usein oireettomia, ne voivat aiheuttaa runsaita kuukautisvuotoja, painon tunnetta, virtsaamisvaijoja ja joskus myös lapsettomuutta (2).



KUVA 2. Magneettikuvauslaitte ohjaa kajoamatonta ultraääniablaatiota, esimerkki kohdun myooman hoidosta.

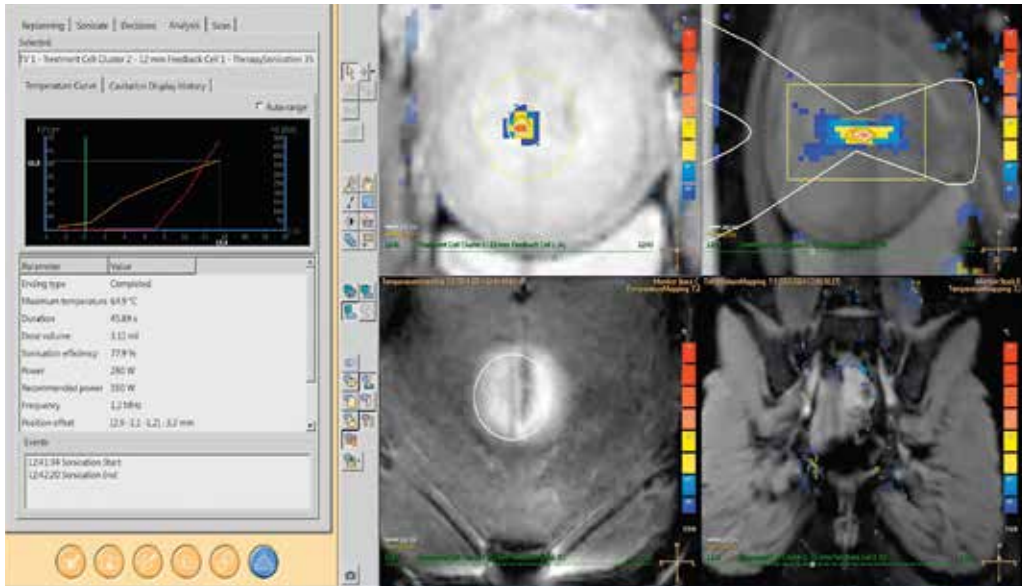
Myooman HIFU-hoitoon soveltuvuuteen vaikuttaa myooman koko, sijainti sekä rakenne. Hoidettavia myoomia voi olla useampia, mutta yleensä yli 500 ml:n tilavuuksia ei pystytä hoitamaan yhdellä hoitokerralla. Myoomien HIFU-hoidossa potilas makaa vatsallaan magneettikuvauslaitteessa ja ultraäänihoidoanturi asetetaan alavatsalle, jolloin ultraääni kulkee kohteeseen vatsanpeitteiden läpi. Näin ultraääni menee kehon sisään suuren pinta-alan kautta eikä aiheuta merkittävää pinnallista kuumenemista, ja myoomaan taas saadaan aikaan nekroosiin johtava lämpeneminen. Transvaginaalinen tai transuretraalinen hoito ei ole mahdollista, sillä hoidon kattava kohdistaminen myoomiin ei onnistu näiden rakenteiden kautta. Alavatsan runsas arpisuus, erittäin paksu tai erittäin ohut ihonalainen rasvakerros, suolten sijainti ultraäänisäteen reitillä tai lantion ja ristiluun hermojen läheisyys voivat joskus muodostua esteiksi hoidon toteuttamiselle. Myoomien HIFU-hoito voidaan suorittaa polikliinisesti, ja potilas voi palata normaalielämään yleensä jo seuraavana päivänä hoidon jälkeen.

Vakavia haittapahtumia hoitoon liittyen on raportoitu hyvin vähän. Yleisimmät haittavaikeudet ovat väliaikaisesti lisääntynyt verenvuoto emättimestä sekä vatsan ihon pinnallinen lämpövaurio (palovamma), josta ei yleensä jää pysyvää haittaa (3). Uudempien laitteiden nestejäähdytys vähentää merkittävästi palo-

vammakomplikaatioita, joita ei ole raportoitu uusien laitteiden käytön yhteydessä.

Myoomien HIFU-hoidossa tähdätään ensisijaisesti oireiden helpottumiseen ja myös myooman pienenemiseen. Oireiden helpottumista on yleisimmin arvioitu myoomien oire- ja elämänlaatukyselyllä (UFS-QoL) ja arvioitaessa oireiden hankaluutta tällä 0–100-pisteen asteikolla, ovat oireet helpottuneet keskimäärin 30–40 pisteellä hoidon jälkeen (3). Myooman hoidossa tulee pyrkiä sen mahdollisimman täydelliseen ablaatioon. Oireiden helpottuminen ja myooman pieneminen riippuvat täysin siitä, kuinka suuri osa myoomasta saadaan tuhottua hoidolla (KUVA 4). Suurehkoissa saksalaisessa aineistossa todettiin yli 80-prosenttisen myooman tuhoutumisen johtavan oireiden merkittävään helpottumiseen yli 80 %:lla potilaista. Kahden vuoden seurannassa riski johonkin uusintahoitoon joutumiseen oli 12 % (4). Magneettikuvausohjattu HIFU-hoito vaikuttaa kustannustehokkaalta kohdunpoistoon tai myooman embolisatioon verrattuna (5).

Raskaustoive ei ole vasta-aihe myoomien HIFU-hoidolle. Raportoituja raskauksia HIFU-hoidon jälkeen on runsas 150, eivätkä keskenmenot tai synnytyskomplikaatiot vaikuta lisääntyneen HIFU:lla hoidetuilla potilailla. Tosin vakavat obstetriset komplikaatiot ovat harvinaisia, joten raskauksien kulusta HIFU-hoidon jälkeen tarvitaan lisätietoa. Tä-



KUVA 3. Myooman magneettikuvausohjattu HIFU-hoito. Kolmiulotteisella magneettikuvauksella seurataan hoitoalueen lämpötilan kohoamista. Väripikselit edustavat eri lämpötiloja kudoksessa: mitä lämpimämpi väri, sitä korkeampi on lämpötila kudoksessa.

män vuoksi suunnitteilla onkin kansainvälisen HIFU-tietokannan perustaminen, jonne hoitoa seuranneet raskaudet voitaisiin rekisteröidä. Tieto HIFU-hoidon vaikutuksista hedelmällisyyteen on puutteellista, mutta negatiivisia vaikutuksia hedelmällisyyteen ei ole todettu (6).

Kohdun adenomyoosi on kuukautiskipuja ja vuotohäiriöitä aiheuttava sairaus, jossa kohdun limakalvon kaltaista solukkoa kasvaa kohdun lihaseinämän sisällä joko diffuusisti tai paikallisena muutoksena. HIFU-hoidon tulokset ovat olleet hyviä hoidettaessa kumpaakin edellä mainittua. Suuressa 350 potilaan aineistossa yli 80 % potilaista koki merkittävää kipu- ja vuotooireiden helpottumista vielä kolmen vuoden kuluttua hoidosta (7). Muita gynekologisia ongelmia, joiden hoidosta HIFU:lla on julkaistu pienehköjä potilasarjoja, ovat muun muassa keisarileikkausarpiraskaus, arpiendometriooosi ja kiinni kasvanut istukka.

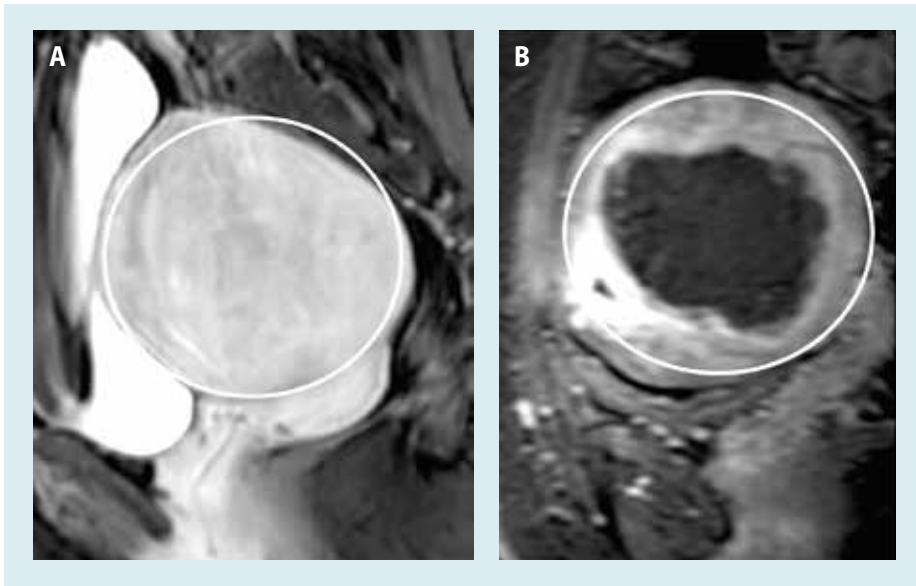
Tyksissä myoomien magneettikuvausohjattut HIFU-hoidot alkoivat keväällä 2016, ja toistaiseksi on hoidettu kymmenen potilasta. Alustavat tulokset ovat varsin rohkaisevia. Hoidot ovat sujuneet ongelmitta ilman merkittäviä komplikaatioita, ja kolme kuukautta hoidon jälkeen potilaat ovat olleet varsin tyytyväisiä hoi-

toon ja siitä saamaansa apuun; potilaiden oireet ovat helpottuneet ja myoomat pienentyneet merkittävästi. Syksyn 2016 aikana magneettikuvausohjattua HIFU-hoitoa ryhdytään tarjoamaan Tyksissä myös adenomyoosipotilaille.

HIFU:n muut kliiniset käyttöaiheet

Eturauhassyövän hoitoon vaikuttavat moniulotteisesti sairauden vaikeusaste (Gleasonin luokitus), potilaan kunto, hoidon oletetut haittavaikutukset ja vaikutus elämänlaatuun. Tyypillisiä hoitovaihtoehtoja ovat aktiivinen seuranta, radikaali prostatektomia, sädehoito ja hormonihoito.

HIFU:n avulla lämpöablaatio voidaan toteuttaa joko paikallisesti kasvaimen tai koko eturauhasen alueelle. Hoitomuotoa on käytetty erityisesti kaikukuvausohjatuksi. Hoitotulokset ovat olleet vaihtelevia (8). Moniparametrinen magneettikuvaus mahdollistaa eturauhassyövän tarkemman paikallistamisen (9). Tätä kuvainformaatiota voidaan käyttää hyväksi biopsian sekä mahdollisesti sitä seuraavan HIFU-hoidon kohdentamisessa joko kuvafuusiolla (kaikukuvausohjattu HIFU) tai reaaliaikaisesti hoitotoimenpiteen yhteydessä (mag-



KUVA 4. Magneettikuvausohjattu myooman hoito. Myooma ennen hoitoa (A) ja välittömästi hoidon jälkeen (B, ympyrä). Dynaaminen tehosteainekuvaus, T1-painotteinen rasvasaturoitu kuva. Tuhottu myooma-alue ei enää tehostu (B).

neettikuvausohjattu HIFU). Nykykäsityksen mukaan magneettikuvausohjattu HIFU on kaikukuvausohjattua tarkempi menetelmä myös eturauhassyövän hoidossa, ja magneettikuvaus mahdollistaa kaikukuvausohjausta paremmin kriittisten rakenteiden, kuten neurovaskulaarisen alueen, tunnistamisen ja välttämisen. HIFU voidaan kohdentaa koko eturauhasen alueelle joko peräsuolen tai virtsaputken kautta.

Eturauhasen HIFU-toimenpiteeseen liittyy vain vähän komplikaatioita. Virtsaputken ja neurovaskulaarisen vaurion aiheuttamien tyypillisten komplikaatioiden (verivirtsaisuus, kipu, impotenssi) lisäksi vakavimpia vaurioita ovat fistelit. Komplikaatiot ovat kuitenkin harvinaisia ja suurelta osin vältettävissä oikealla potilasvalinnalla.

HIFU tulee todennäköisesti täydentämään nykyisiä hoitomenetelmiä eturauhassyövän hoidossa. Erityisesti pienen ja keskisuuren riskin eturauhassyöpöpätilaajat (Gleasonin luokitus 7) vaikuttavat soveltuvan hyvin HIFU-hoitoon (10). On kuitenkin huomattava, että nykysuosituksen mukaan pienen riskin (Gleasonin luokitus 6 tai alle) eturauhassyövän hoito on aktiiviseuranta. Toinen mahdollinen HIFU:sta hyötyvä ryhmä on potilaat, joilla tau-

ti on uusiutunut sädehoidon jälkeen. Eturauhassyövän paikallishoidot edellyttävät huolellista potilasvalintaa, jossa kaikukuvaus ja kohdistetuilla biopsioilla on tärkeä rooli valittaessa hoidosta todennäköisimmin hyötyvät potilaat. On korostettava, että eturauhassyövän HIFU-hoito on vielä alkuvaiheissaan ja kokeellista, ja sen rooli eturauhassyövän hoidossa vakiintuu vasta tutkimusnäytön myötä.

Neurokirurgia. HIFU:lla on suuri potentiaali aivokasvainten ja toiminnallisten neurologisten häiriöiden hoidossa. Kajoamattomana menetelmänä HIFU:lla voidaan hoitaa poikkeavaa aivokudosta ilman, että normaali aivokudos vaurioituu. Transkraniaalinen HIFU-hoito voidaan toteuttaa käyttäen erikoisanturia, joka muodostuu 1024 ultraäänielementistä (Insightech ExAblate 3000). Elementtien suuri määrä mahdollistaa ultraäänien energian kohdentamisen aivojen syviin osiin kallon luun läpi. Neurokirurgiassa käytettävä HIFU-laitteisto on selkeästi kalliimpi kuin tavanomainen HIFU-laitteisto. Neurokirurgiset toimenpiteet edellyttävät myös tarkkaa kallon luun mallintamista, jotta ultraäänien energia voidaan ohjata akustisen esteen muodostavan luun läpi aiheuttamatta kallon luun lämmön nousua. Tämä on mahdol-

Ydinasiat

- ▶ HIFU on ultraäänienergiaan perustuva kuvantamisohjauksessa tapahtuva kajoamaton hoitomenetelmä.
- ▶ Ultraääniaallot absorboituvat kudokseen aiheuttaen lämpötilan kohoamisen ja kudostuhon.
- ▶ HIFU-hoito on vielä pääosin kokeellista, mutta kliinisessä käytössä se on myoomien hoidossa.
- ▶ HIFU:a voidaan tulevaisuudessa käyttää erityyppisten kasvaimien hoidon lisäksi mahdollisesti myös kudomodulaatioon.

lista ultraäänielementtien suuren määrän takia, jolloin yhdestä elementistä tuleva energia on suhteellisen pieni polttopisteen energiaan verrattuna. Magneettikuvausohjaus on välttämätön, sillä hoidon tarkka anatominen kohdennus ei muutoin ole mahdollista.

HIFU on hyväksytty (laitteiston CE-merkinä) talamuksen, subtalamuksen ja linssitumakkeen pallon alueen muutosten hoitoon. Tästä huolimatta neurokirurginen HIFU-hoito on vielä katsottava kokeelliseksi hoidoksi, ja valtaosa tutkimuksista on tehty koe-eläimillä. Transkraniaalista magneettikuvausohjattua HIFU:a on käytetty muiden neurokirurgisten menetelmien rinnalla essentiaalisen vapinan, Parkinsonin taudin ja neuropaattisen kivun hoitoon (11,12). Mahdollisia muita käyttöalueita ovat aivokasvainten, epilepsian ja kolmoishermostöryin hoito sekä psykokirurgia (13). HIFU-hoidon tämänhetkisenä rajoitteena on mahdollisuus hoitaa vain aivojen sentraalisia osia.

HIFU:a voidaan mahdollisesti käyttää myös neuromodulaatioon. Menetelmästä on alustavia tuloksia sensomotorisen korteksin aktiiviossa vähäistä ultraäänienergiaa hyväksi käyttämällä (14). HIFU:lla voidaan myös väliaikaisesti purkaa veri-aivoeste käyttäen hyväksi kavitaatiovaikutuksen synnyttämiä mikrokuplia, joiden avulla lääkkeitä voidaan kohdentaa halutuille aivoalueille (15).

Tuki- ja liikuntaelimestö. HIFU-hoidon tuki- ja liikuntaelimestön sovellukset ovat toistaiseksi suhteellisen vähäisiä. Luun kuorikerros on vahva paikallinen akustinen este, mutta pehmytkudosmuutokset ja luukalvon alaiset muutokset ovat otollisia kohteita HIFU:lle. Italialaisessa monikeskustutkimuksessa hoidettiin 29 raajojen osteoidiosteoomaa, joista suurin osa (18 kpl) sijaitsi luun kuorikerroksen sisällä (16). Tulokset osoittautuivat hyväksi, sillä onnistumisprosentti oli 90 %, mikä on verrattavissa tavanomaisella radiofrekvenssiablaatiohoidolla saataviin tuloksiin. Kuorikerroksen sisäisissä muutoksissa tulee kuitenkin huomioida se, että riittävän lämpövaikutuksen (yli 56 °C vähintään sekunnin ajaksi) aikaansaamiseksi hoidettavan kohteen tulisi olla korkeintaan sentin syvyydellä luussa. Ongelmaksi saattaa joskus muodostua myös hyvin ohut ihokerros luun tai luumuutoksen edessä, joka voi altistaa hoidon aiheuttamille ihovaurioille.

Toinen lupaava kohde HIFU-hoidolle ovat luustoetäpesäkkeet potilailla, joille uusi sädehoito ei ole mahdollista tai kipulääkitys ei tehoa luustokipuihin. HIFU-hoidolla saavutettiin hyvä kivunlievitys kahdella kolmesta potilaasta, joilla hoidettiin muulle kivunhoidolle vastaamatonta luustoetäpesäkkeistä johtuvaa kipua (17,18). Myös nivelkalvon muutosten HIFU-hoito on koe-eläimillä osoittautunut mahdolliseksi ja tarjonnut mahdollisuuden esimerkiksi yksittäisten jänteiden jättisolukasvaimien ablaatiolle (19).

Lopuksi

HIFU on suhteellisen uusi hoitomenetelmä, joka perustuu hoitovaikutteisen ultraäänienergian kohdistamiseen kudokseen reaaliaikaisessa kuvantamisohjauksessa. Laitteistot ovat joko kaiku- tai magneettikuvaukseen perustuvia. Potentiaalisia käyttökohteita on useita, mutta yleisimmin HIFU:n kliininen käyttö kohdistuu myoomiin. Alustavia tuloksia on luuston, eturauhasen ja aivojen kasvainten ja sairauksien hoidossa. Mielenkiintoinen, mahdollinen tulevaisuuden sovellus on kudomodulaatio. Suomessa ensimmäinen HIFU-laitteisto on Tyksissä, jossa hoito toistaiseksi rajoittuu gynekologisiin käyttöaiheisiin. ■

KIRJALLISUUTTA

1. Copelan A, Hartman J, Chehab M, Venkatesan AM. High-intensity focused ultrasound: current status for image-guided therapy. *Semin Intervent Radiol* 2015;32:398–415.
2. Suvitie P, Perheentupa A. Myoomat ja heidelmällisyys. *Duodecim* 2011;127:1848–56.
3. Gizzo S, Saccardi C, Patrelli TS, ym. Magnetic resonance-guided focused ultrasound myomectomy: safety, efficacy, subsequent fertility and quality-of-life improvements, a systematic review. *Reprod Sci* 2014;21:465–76.
4. Mindjuk I, Trumm CG, Herzog P, ym. MRI predictors of clinical success in MR-guided focused ultrasound (MRgFUS) treatments of uterine fibroids: results from a single centre. *Eur Radiol* 2015;25:1317–28.
5. Kong CY, Meng L, Omer ZB, ym. MRI-guided focused ultrasound surgery for uterine fibroid treatment: a cost-effectiveness analysis. *AJR Am J Roentgenol* 2014;203:361–71.
6. Clark NA, Mumford SL, Segars JH. Reproductive impact of MRI-guided focused ultrasound surgery for fibroids: a systematic review of the evidence. *Curr Opin Obstet Gynecol* 2014;26:151–61.
7. Shui L, Mao S, Wu Q, ym. High-intensity focused ultrasound (HIFU) for adenomyosis: two-year follow-up results. *Ultrasound Sonochem* 2015;27:677–81.
8. Valerio M, Ahmed HU, Emberton M, ym. The role of focal therapy in the management of localised prostate cancer: a systematic review. *Eur Urol* 2014;66:732–51.
9. Jambor I, Kähkönen E, Taimen P, ym. Pre-biopsy multiparametric 3T prostate MRI in patients with elevated PSA, normal digital rectal examination, and no previous biopsy. *J Magn Reson Imaging* 2015;41:1394–404.
10. Ahmed HU, Dickinson L, Charman S, ym. Focal ablation targeted to the index lesion in multifocal localised prostate cancer: a prospective development study. *Eur Urol* 2015;68:927–36.
11. Elias WJ, Lipsman N, Ondo WG, ym. A randomized trial of focused ultrasound thalamotomy for essential tremor. *N Engl J Med* 2016;375:730–9.
12. Kobus T, McDannold N. Update on clinical magnetic resonance-guided focused ultrasound applications. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 2015;23:657–67.
13. Monteith S, Sheehan J, Medel R, ym. Potential intracranial applications of magnetic resonance-guided focused ultrasound surgery. *J Neurosurg* 2013;118:215–21.
14. Legon W, Sato TF, Opitz A, ym. Transcranial focused ultrasound modulates the activity of primary somatosensory cortex in humans. *Nat Neurosci* 2014;17:322–9.
15. McDannold N, Arvanitis CD, Vykhodtseva N, Livingstone MS. Temporary disruption of the blood-brain barrier by use of ultrasound and microbubbles: safety and efficacy evaluation in rhesus macaques. *Cancer Res* 2012;72:3652–63.
16. Geiger D, Napoli A, Conchiglia A, ym. MR-guided focused ultrasound (MRgFUS) ablation for the treatment of non-spinal osteoid osteoma: a prospective multicenter evaluation. *J Bone Joint Surg Am* 2014;96:743–51.
17. Hurwitz MD, Ghanouni P, Kanaev SV, ym. Magnetic resonance-guided focused ultrasound for patients with painful bone metastases: phase III trial results. *J Natl Cancer Inst* 2014;106. DOI 10.1093/jnci/dju082.
18. Huisman M, Lam MK, Bartels LW, ym. Feasibility of volumetric MRI-guided high intensity focused ultrasound (MR-HIFU) for painful bone metastases. *J Ther Ultrasound* 2014;2:16.
19. Foldes K, Hynynen K, Shortkroff S, ym. Magnetic resonance imaging-guided focused ultrasound synovectomy. *Scand J Rheumatol* 1999;28:233–7.

ROBERTO BLANCO SEQUEIROS, dosentti, ylilääkäri

Varsinais-Suomen Kuvantamiskeskus
TYKS-SAPA liikelaitos, Tyks

KIRSI JORONEN, LT, erikoislääkäri

TYKS Naistenlinikka

GABER KOMAR, LT, erikoistuva lääkäri

Varsinais-Suomen Kuvantamiskeskus
TYKS-SAPA liikelaitos, Tyks

SEPPO KOSKINEN, professori, ylilääkäri

Institutionen för klinisk vetenskap, intervention och teknik
Enheten för medicinsk bild, funktion och teknolog
Karolinska Institutet, Tukholma, Ruotsi
Funktion Bild & Funktion
Karolinska Universitetssjukhus, Tukholma, Ruotsi

SIDONNAISUUDET

Roberto Blanco, Kirsi Joronen, Gaber Komar ja Seppo Koskinen: Ei sidonnaisuuksia

SUMMARY

High intensity focused ultrasound (HIFU) in tumor therapy

HIFU (high intensity focused ultrasound) is a method in which high-frequency ultrasound is focused on a tissue in order to achieve a thermal effect and the subsequent percutaneously ablation, or tissue modulation. HIFU is non-invasive and results in an immediate tissue destruction effect corresponding to surgery, either percutaneously or through body cavities. HIFU can be utilized in the treatment of both benign and malignant tumors. In neurological diseases, focused HIFU can be used in the treatment of disorders of the basal ganglia.