

Ilkka Jaakkola, Anita Hiippala ja Juha-Matti Happonen

Elektrofysiologian uutuudet nopeiden rytmihäiriöiden diagnosoinnissa ja hoidossa

Rytmihäiriöiden diagnosointi muuttui merkittävästi, kun opittiin mittaamaan sydämensisäistä sähköistä toimintaa. Tältä pohjalta kehittyi myös rytmihäiriöiden ablaatiohoito, jossa rytmihäiriön aiheuttaja hävitetään kudosta paikallisesti kuumentamalla tai jäädyttämällä hoitokatetrin avulla. Viimeksi kuluneen vuosikymmenen aikana elektrofysiologiset tutkimus- ja hoitomenetelmät ovat kehittyneet valtavasti. Läpivalaisulaitteistojen kehitys on parantanut kuvanlaatua ja vähentänyt säderasitusta. Kolmiulotteisten kuvantamis- ja kartoitusjärjestelmien kehitys on puolestaan mullistanut rytmihäiriöiden mekanismien ymmärtämisen ja häiriökohtien paikantamisen. Välineiden kehitys ja erityisesti jäädytystekniikan käyttöönotto ovat lisänneet oman johtumisjärjestelmän lähellä annettavien ablaatiohoitojen turvallisuutta. Näiden tekniikoiden myötä elektrofysiologisesta tutkimuksesta ja ablaatiohoidoista on tullut turvallisia ja rutiinimaisia myös lasten ja nuorten rytmihäiriöiden hoitoja.

Willem Einthoven esitteli EKG:n periaatteen kehon pinnalta tapahtuvan sydämen sähköisen toiminnan mittaamiseksi vuonna 1895 (1). Tämä Nobelin palkinnollakin tunnustettu keksintö on edelleen tärkein yksittäinen sydämen toimintaa mittaava tutkimus, ja sen merkitys rytmihäiriödiagnoosiikassa on keskeinen. Kuitenkin vasta 1960-luvulla kehitetty sydämen sähköisen toiminnan rekisteröiminen sydämen sisälle viettyjen elektrodien avulla avasi mahdollisuudet rytmihäiriömekanismien parempaan ymmärtämiseen ja noin 20 vuotta myöhemmin myös perusteet sydämensisäisen rytmihäiriöhoidon eli ablaatiohoidon kehittämiseksi.

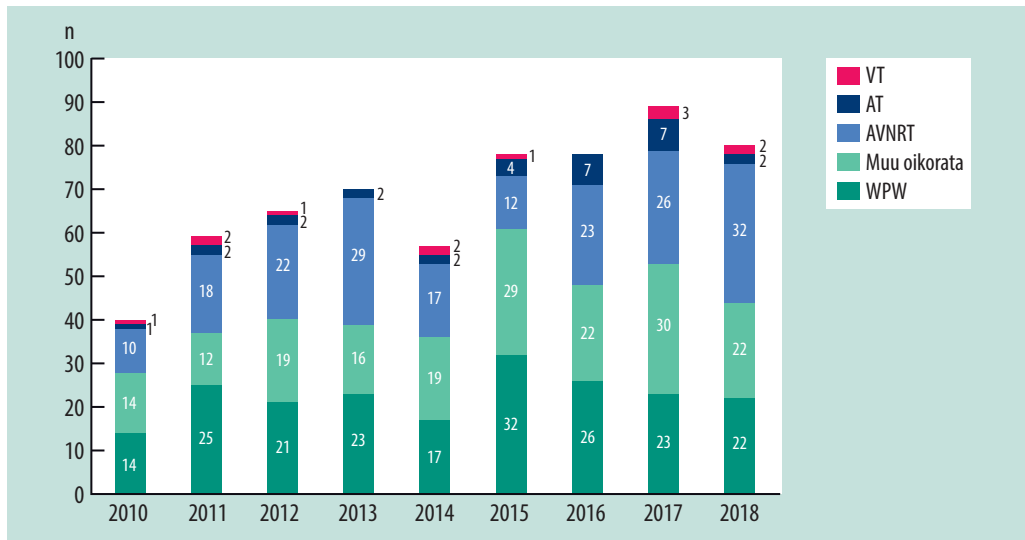
Suomessa lasten kajoavaa rytmihäiriöiden hoitoa on tehty yli 20 vuoden ajan. Toiminta on keskitetty Helsinkiin, jossa tehdään vuosittain vajaat sata elektrofysiologista toimenpidettä. Toimenpidemäärät ovat tasaisesti lisääntyneet, kun tietoisuus rytmihäiriöistä ja niiden hoitomahdollisuuksista on lisääntynyt (KUVA 1). Myös uudet suositukset EKG:ssä todettujen kammioiden varhaisaktivaatioon

liittyvien vaarallisten rytmihäiriöiden riskin arviosta ovat lisänneet lähetemäärää kajoaviin tutkimuksiin (2).

Sydämen elektrofysiologinen tutkimus

Sydämen elektrofysiologinen tutkimus perustuu sydämen sähköisen signaalin samanaikaiseen rekisteröimiseen elektrodeilla varustetuilla tutkimuskatetreilla. Nämä katetrit viedään sydämen eri osiin tyypillisimmin nivuslaskimon kautta. Katetrien elektrodit mahdollistavat paikallisten sähköisten impulssien antamisen ja mittaamisen. Mittauksia tehdään tutkijan kontrolloimien eteis- ja kammiotahdistusten sekä rytmihäiriön aikana. Kontrolloidulla tahdistuksella pyritään myös rytmihäiriön käynnistämiseen, mikä on lähes aina diagnoosiin pääsemisen edellytys.

Koska lapsipotilaat ovat toimenpiteiden aikana yleisanestesiassa, vaatii rytmihäiriön käynnistyminen monesti eteis-kammiosolmukkeen adrenergisen stimuloinnin isoprenaliinilla.



KUVA 1. Helsingin lastenkliniikassa vuosina 2010–2018 tehdyt ablaatiotoimenpiteet eri rytmihäiriöiden osalta. Taulukkotietojen perusteella lasketut rytmihäiriöiden kumulatiiviset jakaumat. Wolff–Parkinson–Whiten oireyhtymä (WPW) 34 %, muu oikorata 30 %, eteis-kammiosolmukkeen kiertoaktivaatiotakykardia (AVNRT) 30 %, eteistakykardia (AT) 4,4 %, kammiotakykardia (VT) 1,2 %.

Erityisesti paikallisalkuisten eteistakykardioiden esiin saaminen voi olla yleisanestesiassa kuitenkin vaativaa isoprenaliiniherkistyksestä huolimatta. Näissä tapauksissa tutkimus pyritään tekemään mahdollisuuksien mukaan paikallispuudutuksessa. Koska tämä tapa edellyttää potilaalta jo huomattavaa yhteistyökykyä, se on mahdollinen aikaisintaan teini-ikäisille nuorille.

Elektrofysiologisilla mittauksilla ja tutkimuksella pyritään selvittämään rytmihäiriölle altistavat rakenteet, näiden anatominen sijainti ja rytmihäiriön tarkka mekanismi. Vasta näiden perusteella on mahdollista suunnitella rytmihäiriön ablaatiohoito. Hoidon tarkoituksena on poistaa rytmihäiriön aiheuttava rakenne, esimerkiksi eteis-kammiorata tai eteis-kammiosolmukkeen hitaat säikeet.

Vaihtoehtoisesti ablaatiolla pyritään tekemään sellainen sydämen sisäpinnan eristyslinja, joka estää rytmihäiriölle välttämättömän sähköisen kierron syntymisen, kuten tyypillisen eteislepatuksen tai arpitakykardian yhteydessä esiintyy. Ablatio voidaan tehdä haluttuun kohtaan tätä tarkoitusta varten kehitetyillä katetreilla, joko radiotaajuusenergialla (radiofrequency, RF) kuumentamalla tai erityistä jää-

dytyskatetria käyttämällä (kryotekniikka). Molempien menetelmien tavoitteena on aiheuttaa paikallinen, riittävän syvä kudostuho, joka estää pysyvästi sähköisen signaalin etenemisen.

Sydänkatetrien kehitys

Merkittävin katetreihin ja ablaatioon liittyvä uudistus on ollut jäädytyskatetrien kehitys. Oikein käytettynä riski aiheuttaa katetrilla äkillinen pysyvä vaurio potilaan johtumisjärjestelmään on lähes olematon (3). Jäädytystekniikka mahdollistaa hoidot sellaisilla alueilla, joilla johtumisjärjestelmävaurion riski on suuri. Siksi jäädytystekniikan käyttö onkin turvallisuutensa vuoksi vakiintunut monessa keskuksessa lasten eteis-kammiosolmukkeen kiertoaktivaatiotakykardian (atrioventricular nodal re-entrant tachycardia, AVNRT) ja lähellä normaalia johtorataa sijaitsevien oikoratojen hoidoksi (4).

Radiotaajuuskatetrien osalta merkittävin uudistus on ollut huuhtelumekanismien kehittäminen. Huuhteluvassa katetrissa jatkuva, säädeltävä nestevirtaus jäädyttää katetrin kärjen ablaation aikana. Näin ablaatiolesion syvyyttä ja laajuutta voidaan lisätä pitämällä lämpötilan

nousun aiheuttama kudostuhoituksen lisääntyminen ja sitä seuraava tehon heikkeneminen vähäisenä. Kun estetään lämpötilan nousun aiheuttamaa proteiinien koagulaatiota, on paikallisten endokardiaalisten trombien syntyminen riski vähäisempi, millä on merkitystä erityisesti sydämen vasemman puolen toimenpiteissä (5). Aikuispotilaiden hoidossa huuhteltavien katetrien käyttö on rutiinimaista. Lapsipotilaiden hoidossa niiden käyttö on vähäisempää, sillä huuhteltavan katetrin aiheuttama ablaatioon liittyvä seinämän puhkeamisen riski on suurempi.

Uudempi innovaatio on ablaatiokatettrin kärkeen asennetun jousimekanismin avulla tapahtuva seinämään kohdistuvan kontaktivoiman mittaaminen. Tätä ja muita ablaatioosuureita käyttämällä laitteisto laskee kumulatiivisen ablaatioindeksin, joka antaa epäsuoran arvion syntyneen ablaation paikallisesta vaikutuksesta. Näin vähennetään teoriassa komplikaatoriskiä, kun vältetään tarpeettoman pitkiä paikallisia hoitoja ja voidaan arvioida ablaation tehoa objektiivisemmin kuin pelkästään ajan suurena. Menetelmä on käyttökelpoinen erityisesti runsaasti ablaatioita vaativien rytmihäiriöhoitojen, kuten eteislepatuksen ja eteisvärinän, hoidossa. Näiden hoitojen toimenpiteajat ovat tämän menetelmän myötä lyhentyneet ja säteilyannos pienentynyt (6).

Menetelmän käytöstä lapsipotilaiden hoidossa on vain vähän kokemusta. Tuoreessa tutkimuksessa kuitenkin käytettiin kontaktivoimakatetria vasemmanpuoleisten oikoratojen hoitoon, ja läpivalaisuajat olivat lyhyempiä ja ablaatioon käytetty radiotaajuusenergian määrä vähäisempi kuin tavanomaisissa katetritoimenpiteissä (7).

Säteilyhygienian parantuminen

Kaikessa kajoavassa kardiologiassa säteilyn käyttö välineiden ja sydämen rakenteiden visualisoimiseksi on välttämätöntä. Tästä aiheutuva säderasitus on merkittävä niin potilaalle kuin hoitohenkilökunnallekin. Yleinen sädehygienian paraneminen ja erityisesti röntgenlaitteiden viimeksi kuluneen vuosikymmenen aikainen kehitys ovat merkittävästi vähentäneet säteilyaltistusta sekä parantaneet kuvanlaatua.

Ydinasiat

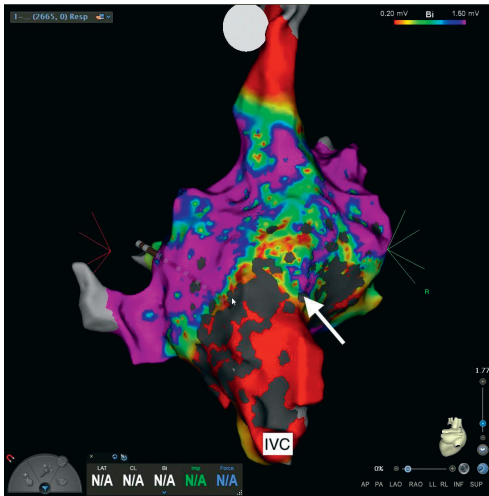
- ▶ Kuvantamismenetelmien, välineistön ja uusien tekniikoiden kehitys on mullistanut rytmihäiriöiden diagnostiikan ja hoidon kymmenen viime vuoden aikana.
- ▶ Rytmihäiriöiden ablaatiohoidon aiheuttama säderasitus on vähentynyt merkittävästi, ja parhaimmillaan hoito on mahdollista ilman läpivalaisua.
- ▶ Lasten hoitoon keskittyneissä keskuksissa katetriablaatio on turvallinen ja tehokas tapa hoitaa lasten ja nuorten rytmihäiriöitä.

Sydämen anatomian mallinnus ja aktivaatiokartat

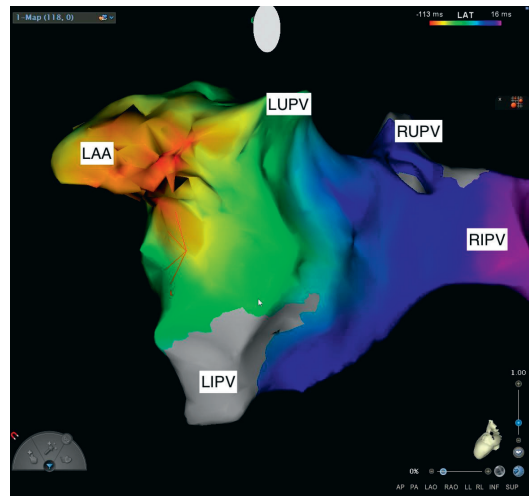
Ablaatiohoito perustuu pääasiassa sydämen sisällä liikkumiseen, jolloin sydämen anatomian kolmiulotteinen hahmottaminen on edellytys toiminnan onnistumiselle. Tavanomaisilla läpivalaisulaitteilla tämä onnistuu vain käyttämällä läpivalaisua läpi koko toimenpiteen, mikä voi johtaa merkittävään säderasitukseen.

Elektrofysiologiassa käytettävien laitteistojen ehdottomasti merkityksellisin uudistus onkin ollut anatomisten kartoitusjärjestelmien kehittäminen. Tässä tekniikassa impedanssia ja magneetikenttää apuna käyttämällä luodaan katetrien avulla sydämensisäinen ”GPS-järjestelmä”, jolla voidaan määrittää katetrien tarkka sijainti ja luoda ilman säteilyrasitusta sydämen anatominen kolmiulotteinen liikuteltava malli. Yhdistämällä tähän kuvaan katetrien elektrodien antama sähköisen signaalin informaatio, on kuvaan mahdollista lisätä myös haluttujen rakenteiden, kuten eteis-kammio- ja laskimoiden liittymäkohdat ja johtumisjärjestelmän sijainti. Paikallisen signaalin amplitudiin perustuvalla kudoksen volttikartalla voidaan myös erottaa terve kudostuhoituneista tai arpeutuneista seinämän osista, jotka ovat monesti rytmihäiriölle herkkiä alueita (KUVA 2).

Kartoitusjärjestelmällä luodun anatomisen mallin päälle tuotava paikallisten sähköisten



KUVA 2. Oikeasta eteisestä tehty anatominen mallinnus, jossa eteiskudoksen paikalliseen jännitepotentiaaliin perustuva voltitikartta. Punaiset alueet kuvaavat pienimmän kudossännitteen alueita (onttolaskimoiden alueet), liilat alueet ovat suurimman kudossännitteen eli terveimmän kudoksen alueita. Kartassa nähdään alaonttolaskimon (IVC) ja eteisen liittymäkohdassa ja eteisen takaosassa olevat arpialueet (harmaat alueet) ja näiden väliin tuleva terveempi alue (nuoli), joka toimii paikallisena eteistakykardian kiertoaktivaation mahdollistavana kanavana. Tälle kanava-alueelle tehty ablaatiolinja pysäytti takykardian ja esti kiertoaktivaation uudelleenkäynnistymisen.



KUVA 3. Vasemmasta eteisestä tehty anatominen mallinnus, jossa paikallisalkuisen eteistakykardian aikana tehty aktivaatiokartta näyttää, kuinka takykardian lähtökohtaa kuvaavat varhaisimmat signaalit (punainen alue) paikantuvat vasemman eteiskorvakkeen (LAA) tyveen lateraalisesti. Tälle alueelle endokardiaalisesti annettu ablaatiohoito osoittautui tehottomaksi. Lopulta ablaatio onnistui, kun käytettiin epikardiaalista lähestymistapaa ja vietiin ablaatiokatetri sydänpussiin tehdyn punktion kautta. RUPV = oikea ylempi keuhkolaskimo, RIPV = oikea alempi keuhkolaskimo, LUPV = vasen ylempi keuhkolaskimo, LIPV = vasen alempi keuhkolaskimo

signaalien informaatio on mullistanut rytmihäiriöiden diagnostiikan. Tallentamalla sydämen sisäistä signaalia sydämen eri kohdista rytmihäiriön aikana on mahdollista luoda signaalin varhaisuuteen perustuva värikoodattu aktivaatiokartta. Sen avulla rytmihäiriön aiheuttava alue on helposti visualisoitavissa ja hoidon kohdentaminen oikeaan kohtaan helpottuu (**KUVA 3**). Animaatio-ominaisuutta käyttämällä voidaan nähdä myös rytmihäiriön sähköisen aktivaation eteneminen, mikä puolestaan auttaa arvioimaan, onko kyseessä paikallisalkuinen vai kiertoaktivaatioon perustuva rytmihäiriö. Toisaalta pystytään myös näkemään kiertoaktivaatiolle kriittiset alueet, joihin ablaatiohoito kohdistetaan.

Anatomiseen malliin voidaan myös lisätä taustalle läpivalaisukuva haluttuihin suuntiin. Menetelmää käytetään usein ilman anatomista mallinnusta, jolloin ablaatiokatetrin sijainti sydämen sisällä voidaan visualisoida läpivalai-

sukuvan päälle toimenpiteen aikana ilman jatkuva läpivalaisua (**KUVA 4**). Tyypillisesti tätä käytetään AVNRT:n ablaatioissa, jossa riittää johtoratajärjestelmän paikantaminen ja merkitseminen, jotta voidaan varmistaa ablaation turvallinen etäisyys Hisin kimpusta ja näin vähentää eteis-kammiokatkoksen riskiä (**KUVA 5**). Meilahden sairaalassa saadun kokemuksen perusteella menetelmän käyttö on vähentänyt merkittävästi AVNRT:n hoitoon liittyvää säderasitusta, lyhyempien toimenpiteiden läpivalaisuaajat ovat olleet alle 30 sekuntia.

Uusimmissa menetelmissä on mahdollista myös siirtää sydämen magneetti- tai tietokonetomografiakuvat elektrofysiologisen tutkimuksen anatomiseksi pohjaksi. Näiden menetelmien etuna on niiden antama tarkka kolmiulotteinen anatominen tieto ja haluttujen rytmihäiriöille tai komplikaatioille altistavien rakenteiden erottaminen (**KUVA 6**). Synnynäistä rakenteellista sydänvikaa sairastavien



KUVA 4. Oikeaan kammioon (RV), Hisin kimpun alle (His) ja sepelpoukamaan (CS) vietyjen tutkimuskatetrien sekä ablaatiokatetrin (Abl) visualisointi kahdessa eri projektiossa. Värikoodin avulla nähdään oikearadan läheiselle alueelle tehdyn kartoituksen tulos, jossa lähimpänä oikearadan sijaintia mitatut signaalit näytetään punaisella. Ablatio (punainen pallo) on tehty tämän tiedon ohjaamana vasemmalla puolella posterolateraalisesti sijainneen oikearadan hoitamiseksi.

potilaiden mahdollisimman tarkka anatominen kuvantaminen on erityisen tärkeää, sillä korjausleikkausten vuoksi heidän sydämensä anatomia voi olla huomattavan poikkeava. Tärkein tällainen ryhmä ovat potilaat, joiden valtasuonet ovat vaihtuneet ja joiden korjaus on tehty vanhalla, sydämensisäistä anatomiaa merkittävästi muuttavalla eteisten vaihtoleikkaustekniikalla (Senningin tai Mustardin leikkaus).

Leikattujen synnynnäisten sydänvikaa sairastavien potilaiden pitkäaikaisennuste on parantunut viime vuosikymmenien aikana merkittävästi, minkä vuoksi rakennevia ja leikkausten myöhäis seurauksena ilmaantuvien rytmihäiriöiden määrä lisääntyy jatkuvasti (8). Tarkempien kuvantamismenetelmien tarve lisääntyy tämän vuoksi selvästi.

Kaikukuvauksen käyttö elektrofysiologisissa toimenpiteissä

Radiologisten kuvantamismenetelmien yhdistämisen lisäksi on myös mahdollista käyttää

sydämensisäisen kaikukuvauksen antamaa tietoa elektrofysiologisen tutkimuksen osana. Tällöin tutkimuskatetrien lisäksi viedään laskimoteitse oikeaan eteiseen ohut kaikukuvausanturi, jolla voidaan kuvantaa sydämen rakenteita tutkimuksen aikana. Anturin eri suunnista tuottamat pysäytyskuvat voidaan yhdistää erillisellä ohjelmalla osaksi anatomista kartoitusta. Tämä mahdollistaa esimerkiksi aorttaläpän liuskojen eli ”kusprien” sekä läppärakenteiden tarkan visualisoinnin. Menetelmän etuna on myös ablaatiokatetrin reaaliaikainen visualisointi suhteessa rakenteisiin.

Tavanomaisempi sydämensisäisen kaikukuvaustekniikan käyttöalue ovat tilanteet, joissa katetrien vieminen sydämen vasemmalle puolelle on välttämätöntä, tyypillisimmin vasemmanpuoleisten oikoratojen tai eteisvärinän hoidot. Eteisväliseinämän soikean aukon kalvon kohdalle tehdään punktio pitkällä erikoisneulalla. Väärin suunnattu punktio voi johtaa aorttan tyven tai sydämen takaseinämän puhkeamiseen. Mikäli sydämen anatomia on poikkeava



KUVA 5. Kartoitusjärjestelmään tuotujen kahden eri suunnan läpivalaisukuvien avulla katetrien anatomisen sijainnin helpottuu ja läpivalaisun tarve vähenee. Kuvaan on järjestelmää käyttämällä merkitty ensin Hisin kimpun sijainti (keltaiset pallot). Näitä käyttämällä voidaan varmistua, että eteis-kammiosolmukkeen kiertoaktivaatio-takykardian (AVNRT) hoidossa tehty eteis-kammiosolmukkeen hitaan radan ablaatio (punainen pallo) on turvallisella etäisyydellä Hisin kimpusta, eikä eteis-kammiokatkoksen vaaraa ole.

tai kyseessä on pieni potilas, sydämensisäinen kaikukuvaus lisää punktion turvallisuutta (9).

Vähemmän kajoavaa, ruokatorven kautta tehtävää kaikukuvausta on myös käytetty samaan tarkoitukseen, mutta sen käyttö edellyttää anestesiaa. Menetelmän etuna on myös säderasituksen vähentäminen, koska tällöin punktiossa ei tarvita läpivalaisua. Keskuksissa, joissa on valittu toimintapa, jossa läpivalaisua ei käytetä lainkaan koko toimenpiteessä (zero fluoro -tekniikka), on kaikukuvausten käyttö välttämätöntä. Meilahden sairaalassa ja Uudessa lastensairaalassa kaikukuvausta käytetään punktioissa harkinnan mukaan.

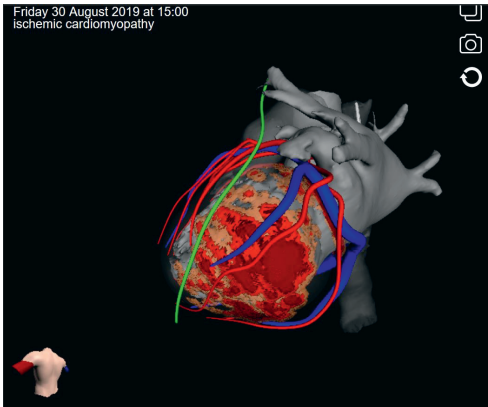
Sydänkatetrin ohjaaminen

Tavanomaisesti toimenpidelääkäri liikuttaa ja ohjaa katetreja potilaan vieressä. Joskus ablaatiokohde on vaikean anatomian vuoksi sellaisessa paikassa, ettei tavallisilla katetreilla päästä ablaatioalueelle. Näissä tilanteissa toimenpiteessä voidaan käyttää menetelmää, jossa erikoisvalmisteista hyvin taipuisaa katetria ohjataan voimakkaiden kehon ulkopuolisten

magneettien avulla. Katetrin erinomaisen liikkuvuuden ja taipumisominaisuuksien vuoksi sen ohjaaminen vaativiinkin paikkoihin on mahdollista.

Synnynnäistä sydänvikaa sairastavien potilaiden elektrofysiologisissa toimenpiteissä magneettinavigointi onkin monesti paras vaihtoehto – ellei suorastaan välttämättömyys. Magneettikenttä mahdollistaa myös katetrin erinomaisen stabiiliuden, jolloin esimerkiksi johtoratajärjestelmän lähelle tehtävissä ablaatiohoidoissa johtumishäiriöriski on pienempi. Järjestelmä itsessään on kuitenkin varsin kallis ja vaatii suuren tilan. Järjestelmän käyttö edellyttää myös erikoisvälineitä, joiden hinta on selvästi tavanomaisia välineitä kalliimpi. Suomessa järjestelmä on käytössä kaikissa yliopistosairaloissa.

Viimeisimpiä elektrofysiologisia uutuuksia ovat erillisten moninapaisten kartoituskatetrien kehitys ja näihin katetreihin yhdistetty automaattinen elektroanatominen kartoitusjärjestelmä. Kartoituskatetrit rakentuvat useista erillisistä hyvin ohuista elektrodisarajoista, joilla pyyhitään sydämen sisäpintaa rytmihäiriön



KUVA 6. Aiemmin tehdyn sydämen tietokonetomografian kolmiulotteinen rekonstruktiokuva on tuotu kartoitusjärjestelmän taustalle. Segmentaatio-ohjelmaa käyttämällä sepelvaltimoiden (punainen) ja laskimoiden (sininen) sekä palleahermon (vihreä) kulku on korostettu värein. Menetelmän avulla voidaan pienentää riskiä kriittisten rakenteiden vaurioittamiselle, kun annetaan ablaatiohoitoa näiden lähellä.

aikana. Katetrin lukuisat elektrodit keräävät lyhyessä ajassa suuren määrän paikallisia signaaleja, joista ohjelma suodattaa laadultaan riittävät signaalit ja muodostaa niiden perusteella rytmihäiriönaikaisen aktivaatiokartan.

Signaalien keräyksen periaate on sama kuin tavanomaista ablaatiokatetria käytettäessä, kerättyjen ja analysoitujen signaalien lukumäärässä on vain suuruusluokkaero. Tämä luo edellytykset huomattavasti tarkemmalle rytmihäiriön aktivaatiokartalle, jonka perusteella ablaation kohdentaminen oikeaan paikkaan paranee. Parhaimmillaan menetelmä nopeuttaa tutkimusta huomattavasti. Ablatiokatetrilla tehtävään signaalinkeräykseen verrattuna menetelmän haittana on, että näillä erikoiskatetreilla ei voi tehdä ablaatiota, johon tarvitaan oma katetrinsa. Tämä lisää kustannuksia, minkä vuoksi näiden erikoiskatetrin käyttöä harkitaan aina tapauskohtaisesti.

Komplikaatiot

Sydämen elektrofysiologiseen tutkimukseen ja ablaatiohoitoon liittyvät vakavimmat komplikaatiot ovat sydämen seinämän puhkeamisen aiheuttama sydäntamponaatio, ablaation tai katetrin mekaanisen kudosaivurion aiheuttama

pysyvä eteis-kammiokatkos ja tromboemboolinen aivotapahtuma. Nykyisillä välineillä ja tekniikoilla sekä kokemuksen myötä on näiden riski oleellisesti pienentynyt.

Lasten rytmihäiriöiden hoitoon keskittyneissä keskuksissa vakavien haittatapahtumien riski on noin 0,5–1 %, mikä vastaa aikuisia hoitavien keskuksien lukuja. Komplikaatoriski suurenee merkittävästi, jos lapsi painaa alle 15 kg. Siksi pienimpien lasten rytmihäiriön kajoava hoito tulee kyseeseen vain tilanteissa, joissa rytmihäiriön kontrollointi ei lääkkeillä onnistu (10,11).

Merkittävä osa elektrofysiologian kehityksestä onkin tähännyt vakavien komplikaatioiden vähentämiseen. Katetrin pienempi koko, vähäisempi jäykkyys ja parempi ohjattavuus ovat pienentäneet puhkeamariskiä ja samalla myös mahdollistaneet pienemmälle alueelle kohdistuvan ablaation tekemisen. Pienemmät ja paremmin ohjailtavat välineet ovat lisänneet erityisesti lapsipotilaiden toimenpiteiden turvallisuutta. Valitettavasti markkinoilla on edelleenkin vain vähän lapsipotilaille suunniteltua välineistöä. Tästä huolimatta rytmihäiriötyyppin ja oikoradan sijainnin mukaan saavutetaan primaarisesti onnistunut hoitotulos 87–98 %:ssa tapauksista. Rakenteellisiin sydänvikoihin ja niiden korjausleikkausten jälkitiloihin liittyvien rytmihäiriöiden ablaatiohoidon tulokset ovat maailmanlaajuisesti selvästi huonommat (11).

Lopuksi

Elektrofysiologiset menetelmät ja sydämen kuvantaminen ovat viime vuosikymmenen aikana huomattavasti kehittyneet. Erityisesti anatomiseen kuvantamiseen yhdistetyt aktivaatiokartat ovat yhdessä katetrin kehityksen kanssa lisänneet ymmärrystä rytmihäiriöiden mekanismeista ja hoidosta. Ne ovat myös vähentäneet merkittävien toimenpiteeseen liittyvien komplikaatioiden esiintymistä ja mahdollistaneet ablaatiohoidon sellaisillekin alueille, joihin ei aiemmin voitu vaikean anatomian vuoksi päästä.

Uudet menetelmät ovat myös nopeuttaneet monelta osin kerätyn tiedon tulkintaa ja hoitopäätöksen tekoa. Näiden menetelmien merkitys erityisesti lapsipotilaiden hoidossa on ollut

erityisen merkittävä, minkä vuoksi elektrofysiologista tutkimusta ja ablaatiohoitoa voidaan nykyään pitää myös kouluikäisten lasten rytmihäiriöiden turvallisina ja ensisijaisina hoitoina. Välineiden huomattavasta kehityksestä huoli-

matta pelkästään lasten tutkimiseen ja hoitoon tarkoitettuja välineitä ei ole juuri saatavilla. Tämän vuoksi hyvin pienten, alle 15 kg painavien lasten kajoavaan rytmihäiriöiden hoitoon tulee ryhtyä vain välttämättömissä tilanteissa. ■

ILKKA JAAKKOLA, LT, lastenkardiologi, erikoislääkäri
HUS, Uusi lastensairaala ja Meilahden sydän- ja keuhkokeskus

ANITA HIIPPALA, LL, lastenkardiologi, erikoislääkäri
JUHA-MATTI HAPPONEN, LL, lastenkardiologi, erikoislääkäri

HUS, Uusi lastensairaala

TEEMAN ERIKOISTOIMITTAJAT
Jaana Pihkala ja Olli Pitkänen-Argillander

VASTUUTOIMITTAJA
Pekka Lahdenne

SIDONNAISUUDET

Ilkka Jaakkola: Korvaukset koulutus- ja kongressikuluista (Abbott, Boston Scientific, Biotronik, Bayer Oy), muut sidonnaisuudet (Ausculting Oy, CMO, osakkuus)

Anita Hiippala: Ei sidonnaisuuksia

Juha-Matti Happonen: Luottamustoimet (Association for European Paediatric Cardiology board member/treasurer)

KIRJALLISUUTTA

1. Barold SS. Willem Einthoven and the birth of clinical electrocardiograph a hundred years ago. *Card Electrophysiol Rev* 2003;7: 88–104.
2. Brugada J, Katritsis DG, Arbelo E, ym. 2019 ESC Guidelines for the management of patients with supraventricular tachycardia. The Task Force for the management of patients with supraventricular tachycardia of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J* 2019. DOI: 10.1093/eurheartj/ehz467
3. Santangeli P, Proietti R, Di Biase L, ym. Cryoablation versus radiofrequency ablation of atrioventricular nodal reentrant tachycardia. *J Interv Card Electrophysiol* 2013;9:111–9.
4. Hiippala A, Parikka H, Happonen JM. Kryoablaatio rytmihäiriöiden hoidossa. *Duodecim* 2013;129:1141–8.
5. Müssigbrodt A, Grothoff M, Dinov B, ym. Irrigated tip catheters for radiofrequency ablation in ventricular tachycardia. *Biom Res Int* 2015. DOI: 10.1155/2015/389294
6. Lin H, Chen YH, Hou JW, ym. Role of contact force-guided radiofrequency catheter ablation for treatment of atrial fibrillation: a systematic review and meta-analysis. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2012;8:994–1005.
7. Gulletta S, Vergara P, Gigli L, ym. Usefulness of electroanatomical mapping with contact force monitoring for accessory pathways ablation in pediatric population. *Pediatr Cardiol* 2019;40:713–8.
8. Khairy P, Van Hare GF, Balaji S, ym. PACES/HRS expert consensus statement on the recognition and management of arrhythmias in adult congenital heart disease. *Can J Cardiol* 2014. DOI: 10.1016/j.cjca.2014.09.002.
9. Bayrak F, Chierchia GB, Namdar M. Added value of transoesophageal echocardiography during transseptal puncture performed by inexperienced operators. *Europace* 2012;14:661–5.
10. Brugada J, Blom N, Sarquella-Brugada G, ym. Pharmacological and non-pharmacological therapy for arrhythmias in the pediatric population: EHRA and AEP-Cardiac Arrhythmia Working Group joint consensus statement. *Europace* 2013;15:1337–82.
11. Saul J, Kanter R. PACES/HRS expert consensus statement on the use of catheter ablation in children and patients with congenital heart disease. *Heart Rhythm* 2016. DOI: 0.1016/j.hrthm.2016.02.009.

SUMMARY

New methods of electrophysiology in diagnosing and treating arrhythmias

Diagnosing and understanding arrhythmias underwent a dramatic change after inventing the method to measure endocardial electrical signals. This gave rise also to the development of treating arrhythmias with specialized catheters by ablating the arrhythmogenic tissue or anatomical structure either by heating or freezing. During the past decade there has been an enormous development in the field of electrophysiology both in diagnosis and treatment of arrhythmias. The x-ray systems have gone through major changes that have improved the imaging quality with less radiation. The development of 3D imaging and mapping systems has enabled a more precise understanding of the arrhythmia mechanisms as well as more accurate ways to treat them. Cryo-techniques have improved the safety of ablations close to the normal conduction system. Along with these giant leaps in electrophysiology, ablation has become a safe and routine way of treating arrhythmias also among children and adolescents.