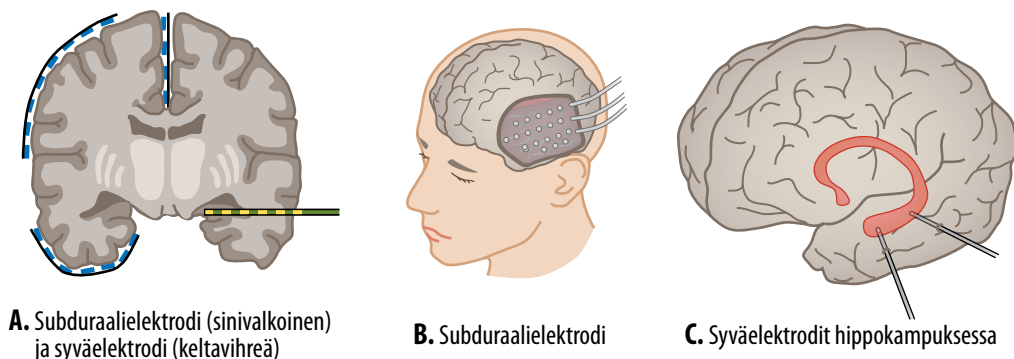


EEG pintaa syvemmältä

Aivojen epileptisiä sähköisiä ilmiöitä tutkitaan ensisijaisesti päänahalta rekisteröitävällä pinta-EEG:llä. Joskus epilepsiapesäkkeen paikantaminen ei onnistu kajoamattomien tutkimusten avulla, jolloin epilepsiakirurgista selvittelyä voidaan jatkaa kallonsisäisellä EEG-rekisteröinnillä. Vaikeahoitoisen epilepsian leikkaushoidon mahdollisuudet tulee aina arvioida epilepsiakirurgiaan perehtyneessä yksikössä. Leikkaussalissa kallonsisäiset elektrodit asennetaan joko aivojen pinnalle (subduraalielektrodi) tai aivokudoksen sisälle (syväelektrodi). Viikon tai kaksi kestävä rekisteröinti (videotelemetry) tehdään video-EEG-yksikössä. Lopuksi elektrodit poistetaan. Kallonsisäisen EEG-tutkimuksen tavoitteena on rajata epileptogeenista aluetta ja tarvittaessa paikantaa toiminnalliset aivoalueet. Lopullinen päämäärä on poistaa epilepsiapesäke, jotta potilaan epileptiset kohtaukset loppuisivat. Leikkaushoidon tuloksiin vaikuttavat epilepsian etiologia, epileptogeenisen alueen sijainti sekä magneettikuvauslöydös.

Elektroenkefalografia (EEG) on anamneesiin ohella epilepsiadiagnostiikan kulmakivi, jolla pyritään tunnistamaan ja paikantamaan epileptisiä sähköisiä ilmiöitä (Mervaala ym. 2009). Päänahalta rekisteröitävän pinta-EEG:n herkkyydessä ja tarkkuudessa on kuitenkin rajoituksia. Epileptisten alueiden sijainti aivoissa, poikkeavan sähkötoiminnan voimakkuus sekä välikudosten johtavuus vaikuttavat merkittävästi signaalien rekisteröityvyyteen kallon ihon pinnalta. Pinta-EEG:n herkkyys heikkenee, jos paikallinen häiriöalue sijaitsee aivopoimuissa, jotka kätkevät yli 60 % aivokuoresta. Vasta useiden neliösenttimetrien kokoisen aivokuorialueen aktivoituminen synnyttää kallon ulkopuolelta rekisteröitävän epileptisen ilmiön (Tao ym. 2005). Kallonsisäisellä EEG:llä voidaan sen sijaan rekisteröidä aivojen sähköistä toimintaa suoraan lähdealueelta, huomattavasti paremmalla signaalikohinasuhteella ja paikannustarkkuudella. Kallonsisäinen rekisteröinti mahdollistaakin epilepsiaa aiheuttavien alueiden tarkemman tutkimisen. Elektrodit on mahdollista asettaa suoraan aivojen pinnalle (subduraalielektrodi) tai aivokudoksen sisälle (syväelektrodi) (KUVA 1). Kallonsisäinen EEG on käytössä



vain epilepsiakirurgisissa yksiköissä, joissa tutkitaan vaikeahoitoista epilepsiaa sairastavia aikuis- ja lapsipotilaita. Suomessa epilepsiakirurgia on keskitetty kahteen keskukseseen (HYKS ja KYS).

Kaikki kirurgiseen arvioon tulevat epilepsiapotilaat käyvät läpi vaiheittaisen tutkimuskokonaisuuden, joka suunnitellaan potilas-kohtaisesti epileptogeenisen alueen määrittämiseksi (Immonen ym. 2008). Epileptogeenisellä alueella tarkoitetaan pienintä mahdollista aivokuoren aluetta, jonka poistamisen (resektio) jälkeen potilaan epileptiset kohtaukset loppuvat (Lüders ym. 2006). Käytännössä epilepsiakirurgiassa ei päästä tähän tarkkuuteen, vaan resektioleikkauksessa tavoitteena on poistaa se alue, johon kohtauspurkaukset paikantuvat kohtausten alkuvaiheessa, ja jättää toiminnallisesti tärkeät aivoalueet sen ulkopuolelle. Poistettava alue pyritään paikantamaan ja rajaamaan toisiaan täydentävillä tutkimuksilla, joihin kuuluvat kaikkien potilaiden osalta tarkka kohtausanamneesi, neurologinen ja neuropsykologinen tutkimus, video-EEG ja korkeatasoinen (yleensä 3T) magneettikuvaus (MK). Muita tavallisia paikannuksen tarkentamiseen käytettäviä lisätutkimuksia ovat positroniemissiotomografia (PET), kohtauksen aikainen yksifotoniemissiotomografia (ictal SPECT) ja magnetoenkefalografia (MEG). Toiminnallisesti tärkeitä aivoalueita voidaan rajata funktionaalilla MK:lla ja navigoidulla transkraniaalisella magneettistimulaatiolla (nTMS). Kallonsisäinen EEG on viimeinen täydentävä osa epilepsiakirurgista selvittelyä; se tehdään 25–40 %:lle potilaista (Blount ym. 2008).

Kallonsisäisten EEG-tutkimusten kehitys

Yhdysvalloissa ja myös Suomessa on käytetty enimmäkseen subduraalielektrodeja. Sen sijaan monessa ranskalaisessa ja italialaisessa epilepsiakeskuksessa kallonsisäiseen rekisteröintiin on alusta lähtien käytetty pelkästään stereotaktisesti asennettavia syväelektrodeja. Tämän stereoelektroenkefalografiaksi (stereo-EEG, SEEG) kutsutun tekniikan kehittivät



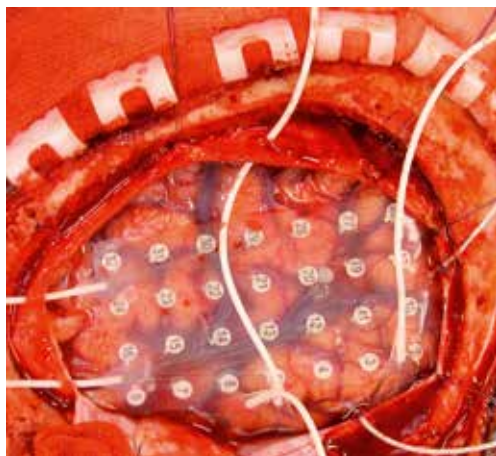
KUVA 2. Nauhaelektrodi (6 kontaktia).



KUVA 3. Mattoelektrodi (64 kontaktia).

ranskalaiset Jean Talairach (neurokirurgi) ja Jean Bancaud (epileptologi) jo 1950-luvun lopussa (Schramm ja Clusmann 2008).

Tarkentunut rakenteellinen kuvantaminen ja uudet toiminnalliset kuvantamismenetelmät ovat vaikuttaneet subduraali- ja syväelektroditutkimusten käyttöaiheisiin epilepsiakirurgiassa (Vanninen ja Vanninen 2009). Nykyaikainen tietokonepohjainen kuvankäsittely on myös tarkentanut elektrodien sijoittamisen suunnittelua sekä helpottanut tutkimustulosten analysointia. Kajoamattomin menetelmin voidaan nykyään paikantaa epileptogeeninen alue entistä paremmin, jolloin yhä useammalle potilaalle leikkaussuositus voidaan tehdä ilman kallonsisäistä EEG:tä. Toisaalta osalle niistä potilaista, jotka aiemmin olisivat jääneet leikkaushoidon ulkopuolelle, voidaan kajoamattomien menetelmien kehityksen myötä nykyisin löytää aihe jatkaa kallonsisäisellä tutkimuksella. Rakenteellisessa kuvantamisessa ei edelleenkään aina löydetä poikkeavuutta epilepsian taustalta, mutta normaaliksi tulkitu MK ei sulje pois jatkoa kallonsisäisiin tutkimuksiin (McGonigal ym. 2007).

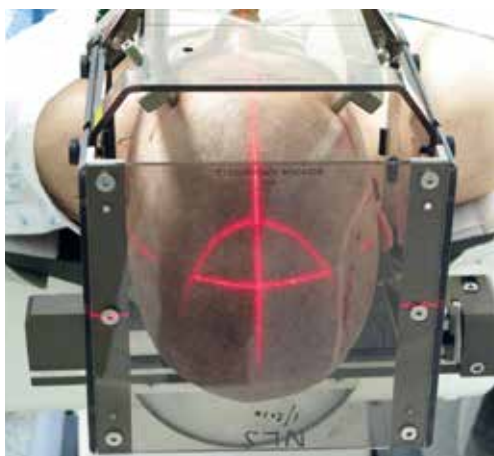


KUVA 4. Kraniotomia-avaus, jossa 32 kontaktin mattoelektrodit asetettuina aivojen pinnalle ja kolme nauhaelektroodia liu'utettuina avauksen kautta ohimolohkon pohjaan.

EEG:n analyysitekniikoiden kehittymiseen on vaikuttanut merkittävimmin tutkimuksessa käytettävän tekniikan laaja digitalisoituminen 90-luvun alussa. Signaalia voidaan käsitellä matemaattisesti. On myös mahdollista tutkia esimerkiksi eri taajuuksien aivorytmien esiintyvyyttä ja toiminnallisia yhteyksiä eri aivoalueiden välillä tavoitteena hermoverkkojen ymmärtäminen. Lisäksi on kehitetty sovelluksia, joiden avulla kallonsisäisistä rekisteröinneistä pystytään kvantifioimaan aivoalueen epileptogeenisuutta. Tämä perustuu kohtaukseen liittyvän nopean purkaustoiminnan ajoittumiseen ja suhteelliseen määrään eri elektrodien alueella (Bartolomei ym. 2008, David ym. 2012).

Lupaava alue on kohtausten välillä esiintyvien poikkeavien korkeataajuuksien (> 80 Hz) oskillaatioiden analyysi. Nämä syntymekanismeiltaan osittain tuntemattomat oskillaatiot näyttäisivät alustavien tutkimusten valossa korreloivan epileptiakirurgisilla potilailla epileptogeeniseen alueeseen, mutta tarvitaan vielä lisätutkimuksia ennen kuin menetelmää on mahdollista soveltaa laajemmin kliinisessä käytössä (Jacobs ym. 2012).

Kallonsisäisiä elektrodeja voidaan hyödyntää myös hoitotarkoituksessa. SEEG-elektrodien kautta kyetään sähkövirralla tekemään niin sanottuja termokoagulaatioita epileptogeeniselle alueelle, jolloin potilaan kohtauk-



KUVA 5. Kalloon kiinnitetty stereotaktinen kehikko ja koordinaatisto, joiden kanssa potilas menee aivo-erisuuntien TT:hen.

set voivat parhaimmillaan loppua. Tavallisesti hyöty on kuitenkin osittainen tai ohimenevä (Guenot ym. 2011). Epilepsiapotilaiden aivojen stimulaatiohoito (DBS) on saanut huomattavasti suurempaa huomiota, vaikka senkään tulokset eivät toistaiseksi ole aivan vastanneet odotuksia (Fisher ym. 2010).

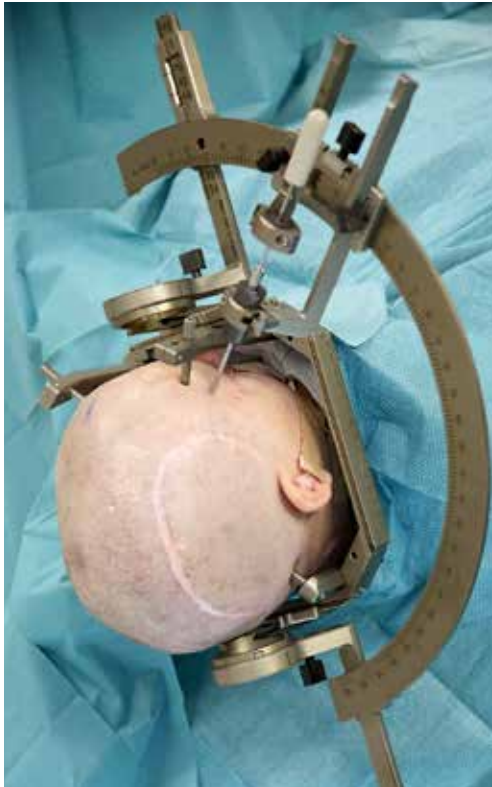
Rekisteröintitekniikat

Subduraalielektrodit ovat pieniä metallisia (platinaisia) levyjä, jotka on upotettu ohueen silastiseen (muovin ja silikonin seos) nauhaan (strip) tai mattoon (grid). Niiden muoto ja koko vaihtelevat (KUVAT 2 ja 3). Molemmissa elektrodit ovat 7 mm:n etäisyydellä toisistaan. Nauhaelektrodit voidaan asettaa pienen porareian kautta, mutta mattoelektrodi sen sijaan vaatii kallon isomman aukon (kraniotomia) (KUVA 4). Leikkauksen aikana subduraalielektrodien asettuminen suunniteltuun kohtaan pyritään varmistamaan anatomisia maamerkkejä ja neuronavigaattoria käyttämällä.

SEEG-tutkimuksessa syväelektrodit asetetaan stereotaktisella tekniikalla joko kehikon (KUVA 5) tai neuronavigaattorivarren avulla paikkakoordinaatein määritettyyn kohteeseen, jolloin saavutetaan erinomainen tarkkuus (alle 2 mm:n virhemarginaali). Suunnittelua varten tarvitaan ensiluokkainen anatominen



KUVA 6. SEEG-syväelektrodi (10 kontaktaa).

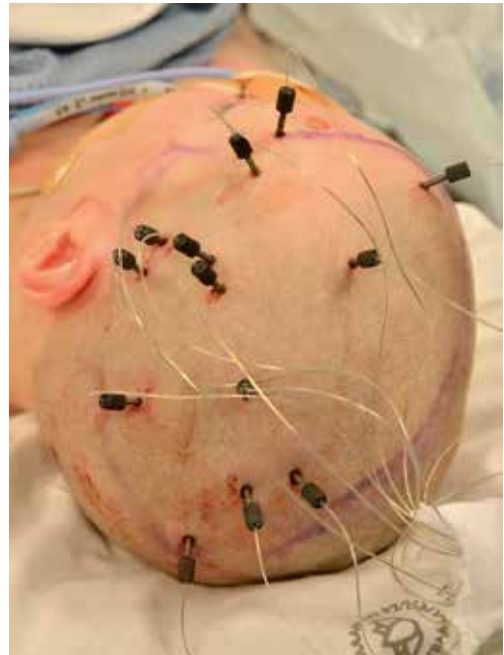


KUVA 7. Syväelektrodin asetus stereotaktisen kaaren avulla.

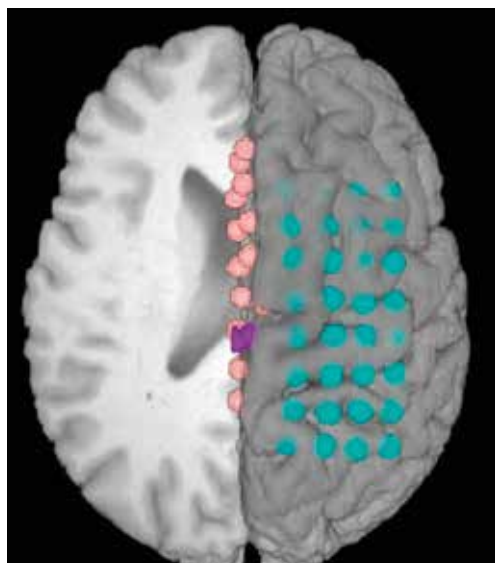
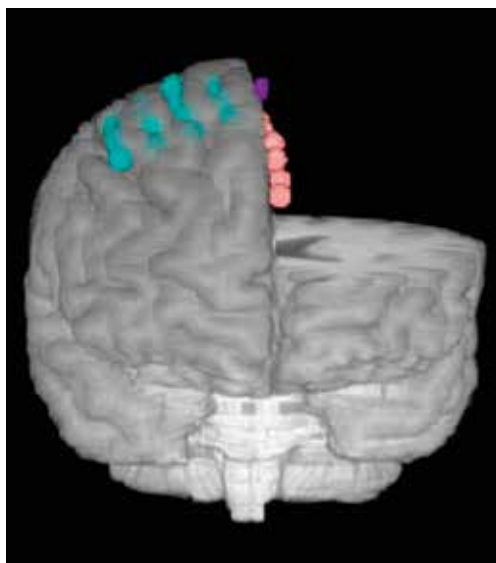
MK ja aivoverisuonten varjoainekuvauks. Periaatteena on sijoittaa elektrodi aivopöimun sisään siten, että se kulkee harmaassa aineessa uurteen pohjalle saakka osumatta verisuoniin. Elektrodit ovat niin ohuita (0,8 mm), ettei aivokudokseen synny havaittavaa vauriota (KUVA 6). Leikkaussalissa syväelektrodit viedään pienten pisto- ja pora-aukkojen läpi suunniteltua reittiä pitkin kohteeseen (KUVAT 7 ja 8). Elektrodissa on useita (yleensä 8–15 kappaletta) 2 mm:n pituisia kontakteja, joten aivosähkötoimintaa rekisteröidään syväelektrodin koko kulkureitin varrelta.

Elektrodien tarkka sijainti varmistetaan leikkauksen jälkeen tehtävällä pään tietokone-tomografialla (TT) tai MK:lla (KUVAT 9 ja 10). Näissä anatomisissa kuvissa näkyvä ”elektrodikoordinaatisto” auttaa neurokirurgia suunnistamaan myöhemmin tehtävässä epilepsia-kirurgisessa leikkauksessa, jossa rekisteröinnin avulla paikannettu epileptogeeninen alue poistetaan.

Päänahan läpi kanavidot elektrodijohdot kytketään rekisteröintilaitteistoon vasta seuraavana päivänä video-EEG-yksikössä. Rekisteröinnin aikana potilaiden epilepsialääkitystä



KUVA 8. SEEG-syväelektrodit paikallaan.



KUVAT 9 ja 10. Mattoelektrodit kohdennettu MK:n pintarekonstruktioon.

yleensä vähennetään, jotta potilaalle tyypillisiä kohtauksia ja kohtausten välisiä (interiktaalisia) löydöksiä saataisiin tallennetuksi riittävä määrä. Rekisteröinnin ajan potilaat ovat video-EEG-rekisteröintihuoneessa tarkassa seurannassa. Erityisesti mattoelektrodioiden asettamisen jälkeen potilailla esiintyy alkuun päänsärkyä ja väsymystä, mutta nämä oireet lievittyvät rekisteröinnin kuluessa. Useimmiten potilaat kykenevät vointinsa sallimissa rajoissa viettämään aikaa esimerkiksi lukien tai TV:tä katsellen.

Kallonsisäinen EEG mahdollistaa myös toiminnallisesti tärkeiden aivoalueiden paikantamisen, kun aivoja stimuloidaan hyvin paikallisesti pienellä sähkövirralla elektrodien kautta. Toiminnalliselle alueelle tai sen läheisyyteen asetetut elektrodit käydään järjestelmällisesti läpi pientä sähkövirtaa käyttämällä. Näin etsitään vasteita, kuten käden liikettä tai puheen pysähtymistä. Tällä tavalla on mahdollista paikantaa hyvin tarkasti toiminnalliset alueet, jolloin niiden vahingoittamista osataan varoa myöhemmin tehtävässä leikkauksessa. Lisäksi etsitään elektrodikontakteja, joiden kautta annettu stimulaatio johtaa potilaalle tyypillisiin kohtausten ennakkotuntemuksiin ja kohtauksiin; myös tämä auttaa epileptogeenisen alueen paikantamisessa.

Yleensä alle viikon rekisteröinti riittää tiedon keräämiseksi, mutta tarvittaessa SEEG- ja nauhaelektroditutkimusta voidaan jatkaa kolmekin viikkoa. Mattoelektrodit poistetaan yleisanestesiassa ja samalla tehdään epileptogeenisen alueen resektio. SEEG- ja nauhaelektrodit on mahdollista poistaa paikallisuudutuksessa tai kevyessä nukutuksessa (lapset), jolloin resektio suoritetaan myöhemmin.

Joskus aivosähkötoimintaa rekisteröidään epilepsiakirurgisen leikkauksen aikana (elektrokortikografia). Tällöin tutkimusaika rajoittuu muutamiin kymmeneen minuutteihin ja kohtauspurkausten rekisteröinti onnistuu vain harvojen potilaiden tapauksessa. Anestesiassa käytettävät lääkeaineet saattavat häiritä EEG:n tulkintaa. Elektrokortikografiassa näkyvät kohtausten väliset piikit auttavat kuitenkin rajaamaan epileptogeenista aluetta, erityisesti jos potilaan epilepsian taustalla on paikallinen aivokuoren kehityshäiriö (Palmini ym. 1995). Aivokuorta voidaan myös stimuloida toiminnallisten alueiden paikantamiseksi leikkauksen aikana. Menetelmä on yleisesti käytössä epilepsia- ja aivokasvainleikkauksissa, jos poistettava alue sijaitsee esimerkiksi keskiuurteen seudussa (Kuruvilla ja Flink 2003).

Käyttöaiheet

Tavallisimmat tilanteet, joissa epilepsiakirurgiset tutkimustulokset eivät tue toisiaan riittävästi ja epileptogeeninen alue jää epävarmaksi, on lueteltu **TAULUKOSSA**. Kun kaikki kajoamattomat tutkimusmenetelmät on hyödynnetty ilman että epileptogeenista aluetta olisi kyetty rajaamaan riittävän hyvin leikkaussuosituksen (leikkaus tai leikkauksesta pidättäytyminen) antamiseksi, voidaan selvittelyä jatkaa kallonsisäisellä EEG-rekisteröinnillä. Sen edellytyksenä on, että epileptogeenisen alueen oletetusta sijainnista on kajoamattomien tutkimusten perusteella pystytty muodostamaan riittävän tarkka hypoteesi, jota kallonsisäisellä tutkimuksella voidaan testata. Elektrodiin sijainti suunnitellaan siten, että niistä saatu informaatio vastaa kysymyksiin mahdollisimman tarkasti. Kallonsisäiset elektrodit rekisteröivät vain kontaktien välitöntä ympäristöä, joten kohtauksen alku on mahdollista paikantaa ja rajata vain, jos elektrodit osataan sijoittaa oikein.

Subduraalielektrodit. Nauhaelektrodeja on käytetty tavallisesti ohimolohkoepilepsian yhteydessä, kun halutaan selvittää, onko kohtauksen alku tois- vai molemminpuolinen. Ohimolohkon ulkopuolista epilepsiaa tutkittaessa pelkillä nauhaelektrodeilla ei yleensä saavuteta riittävää tarkkuutta ja kattavuutta, joten useimmiten niillä täydennetään mattoelektrodeilla tehtyä rekisteröintiä. Nauhaelektrodien etuna on levyjä taipuisampi ja kapeampi rakenne, joka mahdollistaa aset-

tamisen kapeisiin rakoihin. Käytännössä subduraalielektrodeilla voidaan kattaa aivo-kuorta ulkopinnalla, aivolohkojen välissä sekä otsa- ja ohimolohkon ala- ja sisäpinnoilla. Kallon sisälle mahtuu kuitenkin vain rajallinen määrä subduraalielektrodeja, joten yleensä pystytään tutkimaan kattavasti vain kaksi lohkoa kerrallaan.

Mattoelektrodien tärkein käyttöaihe on liike- tai puheaivokuoreen rajautuva paikallisalkuinen epilepsia, jossa poistettavan epileptogeenisen ja säästettävän toiminnallisen alueen rajat täytyy selvittää. Tiheään sijaitsevien elektrodien avulla alueen kartoitus onnistuu yleensä hyvin tarkasti. Mattoelektrodeilla on mahdollista tutkia myös laajaa tai multifokaalista aivojen ulkopinnasta alkunsa saavaa epilepsiaa. Syvän aivopoimun pohjalla sijaitsevaa epilepsiapesäketä voi kuitenkin olla mahdollista paikantaa subduraalitalasta rekisteröimällä. Samoin ohimolohkon sisäpinnalta alkava kohtaus voi nauhaelektrodirekisteröinnissä paikantua virheellisesti jopa väärälle puolelle (Spencer ym. 1990). Joskus on hyödyllistä asettaa muutama syväelektrodi mattoelektrodin läpi aivokudokseen, jotta päästään aivopoimun pohjalle.

Syväelektrodit ja SEEG. Epileptogeeninen alue ulottuu usein pinnalta aivojen syvempiin rakenteisiin. Varsinkin ohimolohkon sisäosat (hippokampus, mantelitulmake, entorinaalinen aivokuori) ovat tärkeitä alueita tiettyjen epilepsioiden syntypaikkoina. Selvitettäessä niiden osuutta kohtausten synnyssä syväelektrodit tai SEEG ovat erityisen tehokkaita. Myös otsa- tai ohimolohkoalkuiseen epilepsiaan toisinaan liittyvän, Sylviuksen uurteen sisällä sijaitsevan insulaarisen aivokuoren merkitystä on mahdollista tutkia syväelektrodien avulla.

SEEG:n syväelektrodien sijoittelu vaatii yksityiskohtaista etukäteissuunnittelua ja kolmiulotteisen hypoteesin epileptogeenisesta aivoalueesta. Tavallisesti SEEG-elektrodeja tarvitaan 10–15, jotta epileptogeenisen alueen rajat voidaan kartoittaa.

HYKS:n epilepsia-kirurgiayksikössä kallonsisäinen rekisteröinti tehdään vuosittain noin 15 potilaalle

TAULUKKO. Kallonsisäisen EEG:n aiheita (Nair ym. 2008).

Magneettikuussa (3T) ei näy epileptogeeniseksi sopivaa muutosta, vaikka muut tutkimukset viittaavat paikalliseen alkuun

Epileptogeenisen alueen voidaan olettaa ulottuvan merkittävästi MK:ssa erottuvaa muutosta laajemmalle (esim. tyyppin 1 FCD)

Useita MK:ssa erottuvia epileptogeeniseksi sopivia muutoksia

EEG:ssä havaitut purkaukset eivät paikanna riittävästi tarkkuudella

Epileptogeenisen alueen epäillään ulottuvan toiminnalliselle alueelle

FCD = fokaalinen kortikaalinen dysplasia

1247

YDINASIAIAT

- ▶▶ Vaikeahoitoinen epilepsia on aihe epilepsiakirurgisen hoidon mahdollisuuksien selvittelyyn.
- ▶▶ Joskus paikallisalkuisen epilepsian paikantaminen ei onnistu kajoamattomien tutkimusten avulla, jolloin epilepsiakirurgista selvittelyä voidaan jatkaa kallonsisäisellä EEG-rekisteröinnillä.
- ▶▶ Kallonsisäisillä elektrodeilla tehdyn EEG:n tavoitteena on paikantaa ja rajata epileptogeeninen alue, jotta se voidaan poistaa leikkaamalla.
- ▶▶ Suomessa kallonsisäiset rekisteröinnit on keskitetty Helsingin yliopistolliseen keskussairaalaan ja Kuopion yliopistolliseen sairaalaan.
- ▶▶ Lopullinen tavoite on epilepsiapotilaan täydellinen kohtauksettomuus, joka saavutetaan keskimäärin puolessa tapauksista.

Haittavaikutukset

Kallonsisäisiin EEG-rekisteröinteihin voi liittyä haittavaikutuksia, joista pelätyin on verenvuoto. Sen riski on keskimäärin 3 % (0,5–25 %) (Hamer ym. 2002, Önal ym. 2003, van Gompel ym. 2008, Tanriverdi ym. 2009). Muita mahdollisia paikallisia komplikaatioita ovat haavan likvorivuoto, aivokalvotulehdus ja aivoturvotus. Kirjallisuuden perusteella SEEG:hen vaikuttaisi liittyvän vähemmän komplikaatioita kuin mattoelektrodeilla tehtyihin rekisteröinteihin. Käytettäessä useiden elektrodien subduraalimattoja ja yli viikon rekisteröintiaikaa haittavaikutuksia on esiintynyt jopa 26–49 %:lla potilaista (Hamer ym. 2002, Önal ym. 2003, Blauwblomme ym. 2011). Sen sijaan SEEG:hen on liittynyt komplikaatioita vain noin 5 %:lla potilaista (Guenot ym. 2001, Cossu ym. 2005, Afif ym. 2008). Osuudet eivät välttämättä ole aivan vertailukelpoisia, koska komplikaatioille ei ole systemaattista luokittelua. Myös HYKS:n epilepsiakirurgiatyöryhmän kokemuksen mukaan SEEG-rekisteröinteihin liittyy selvästi vähemmän päänsärkyä ja väsymystä kuin

mattoelektrodeilla tehtyihin rekisteröinteihin. Käytännössä menetelmät ovat kuitenkin toisiaan täydentäviä.

Kallonsisäisen EEG-rekisteröinnin riskejä arvioidaan aina tapauskohtaisesti suhteuttaen ne tutkimuksesta saatavaan informaatioon ja epilepsian ennusteeseen. Lääkeresistentin epilepsian vaikutus potilaan elämänlaatuun tai lapsen kehitykseen on usein tuhoisa, ja äkki-kuoleman riski on merkittävä (Bjornaes ym. 2001, Freitag ja Tuxhorn 2005, Shorvon ja Tomson 2011, Sillanpää 2011). Näihin verrattuna kallonsisäisen EEG:n riskit ovat selvästi pienemmät.

Hoitotulokset

Kallonsisäisen EEG-rekisteröinnin avulla epileptogeeninen alue onnistutaan paikantamaan 69–97 %:ssa tapauksista (Guenot ym. 2001, Cossu ym. 2005, van Gompel ym. 2008, Tanriverdi ym. 2009, Wellmer ym. 2012). Rekisteröintimenetelmällä ei näyttäisi olevan merkittävää vaikutusta tuloksiin, ja erot selittyvät lähinnä potilasvalinnalla. Lopullinen tavoite eli kohtauksettomuus saavutetaan resektion jälkeen keskimäärin 50 %:lla potilaista (Guenot ym. 2001, Cossu ym. 2005, van Gompel ym. 2008, Tanriverdi 2009, Wellmer ym. 2012).

Epilepsian leikkaushoidon tuloksiin vaikuttavat epileptogeenisen alueen sijainti, epilepsian etiologia sekä MK-löydös. Tärkein kohtausennusteeseen vaikuttava tekijä on se, saadanko koko epileptogeeninen alue poistettua.

Parhaat resektion jälkeiset leikkaustulokset (65–75 % kohtauksettomia) saavutetaan niillä ohimolohkoepilepsiaa sairastavilla potilailla, joiden MK:ssa voidaan nähdä selvä epilepsiaan sopiva muutos (Immonen ym. 2004, Putkonen ja Kälviäinen 2009). Tilanne muuttuu ratkaisevasti, jos MK on normaali: ohimolohkoepilepsian vuoksi tehdyn leikkauksen jälkeen vain 36–51 % ja muun kuin ohimolohkon epilepsialeikkauksen jälkeen 32–35 % potilaista on kohtauksettomia (Immonen ym. 2010, Téllez-Zenteno ym. 2010). Negatiivista MK-löydöstä ei siis pidä tulkita epilepsiakirurgisten tutkimusten tai leikkaushoidon vasta-

aiheeksi, koska myös nämä potilaat voivat soveltua leikkaushoitoon.

Huonoin ennuste kohtauksettomuuden saavuttamisen suhteen on niillä, joilla epileptogeeninen alue sijaitsee toiminnallisesti tärkeällä alueella tai aivan sen vieressä, jolloin resektioon ei voida sisällyttää koko epileptogeenista aluetta (Pondal-Sordo ym. 2006). Eri etiologioista esimerkiksi hippokampusskleroosiin, hyvänlaatuisiin kasvaimiin (sijainnin mukaan) ja paikallisen aivokuoren kehityshäiriöön (FCD, tyyppi 2) liittyy hyvä kohtauksettomuusennuste leikkauksen jälkeen.

Kallonsisäistä EEG-rekisteröintiä tarvitaan siis vain kaikkein vaikeimmissa epilepsia-kirurgiseen selvittelyyn tulevissa tapauksissa. Tämän valikoitumisen vuoksi kallonsisäisen EEG-rekisteröinnin hyötyä on ollut vaikea osoittaa tieteellisesti (Nair 2008). Käytännössä tämän tutkimuksen vaihtoehto on kuitenkin luopuminen parantavan hoidon mahdollisuudesta, koska muilla tutkimusmenetelmillä epileptogeenista aluetta ei ole onnistuttu paikantamaan. Kirurgista hoitoa vaille jäävillä potilailla on tässä tilanteessa hyvin pienet mahdollisuudet saavuttaa pitkäaikainen kohtauksettomuus lääkehoidolla (Callaghan ym. 2011, Wellmer ym. 2012).

Lopuksi

Millään yksittäisellä tutkimusmenetelmällä ei pystytä suoraan osoittamaan epileptogee-

nisen alueen sijaintia. Paikannus perustuu tutkimusmenetelmien ja niiden tulosten kokemuseräiseen hyödyntämiseen. Epilepsia-kirurgiakeskusten välillä on toimintatapoihin ja kokemukseen liittyviä eroja kallonsisäisen EEG-rekisteröinnin käytössä sekä leikkausten suunnittelussa ja toteutuksessa. Esimerkiksi HYKS:n epilepsia-kirurgiayksikössä kallonsisäinen rekisteröinti tehdään vuosittain noin 15 potilaalle, joista suurimmalle osalle asetetaan SEEG-elektrodit. Rajoitteistaan huolimatta kallonsisäinen EEG-rekisteröinti on epileptogeenisen alueen paikannuksen kultainen standardi (Blount ym. 2008). Tulevaisuudessa entisestään kehittyvät kajoamattomat tutkimusmenetelmät vähentävät kallonsisäisen EEG-rekisteröinnin tarvetta paikantavana tutkimuksena, mutta samanaikaisesti potilaskohdallisen etukäteistiedon lisääntyessä yhä useammat potilaat voivat saada mahdollisuuden kallonsisäiseen EEG-rekisteröintiin ja resektioon. Epileptogeenisen alueen poistoon perustuva leikkaushoito ja sitä edeltävä harkiten tehtävä kallonsisäinen EEG-rekisteröinti säilyttävät toistaiseksi asemansa epilepsia-kirurgian johtavina metodeina. Tulevaisuuden hoitojen kehittämisen edellytyksenä on aivojen epileptisten verkkojen ja epileptogeenisten alueiden syntymekanismien selvittäminen. Kallonsisäisten EEG-rekisteröintiä tuottamaa tietoa voidaan hyödyntää myös tämän tavoitteen saavuttamiseksi. ■

Summary

EEG under the surface

Epilepsy work-up is based on history and scalp EEG. Drug resistant epilepsy should be evaluated in a dedicated epilepsy surgery unit. Sometimes non-invasive studies fail to localize the epileptogenic area in focal epilepsy and then the work up can be complemented with intracranial EEG. Intracranial electrodes are implanted either in the subdural space or intraparenchymally. This is followed by one to two weeks of EEG monitoring in a specialized videotelemetry unit. Intracranial EEG helps to define the borders of the epileptogenic area for resection. The ultimate objective is to render the patient seizure free. The outcome of resective epilepsy surgery depends on the etiology of epilepsy, localization of the epileptogenic area and MR image yield.

KIRJALLISUUTTA

- Afif A, Chabardes S, Minotti L, Kahane P, Hoffmann D. Safety and usefulness of insular depth electrodes implanted via an oblique approach in patients with epilepsy. *Neurosurgery* 2008;62:471–9.
- Almeida AN, Martínez V, Feindel W. The first case of invasive EEG monitoring for the surgical treatment of epilepsy: historical significance and context. *Epilepsia* 2005;46:1082–5.
- Bartolomei F, Chauvel P, Wendling F. Epileptogenicity of brain structures in human temporal lobe epilepsy: a quantified study from intracerebral EEG. *Brain* 2008;131:1818–30.
- Bjornaes H, Stabell K, Henriksen O, Løynning Y. The effects of refractory epilepsy on intellectual functioning in children and adults. A longitudinal study. *Seizure* 2001;10:250–9.
- Blauwblomme T, Ternier J, Romero C, ym. Adverse events occurring during invasive electroencephalogram recordings in children. *Neurosurgery* 2011;69:169–75.
- Blount JP, Cormier J, Kim H, Kankirawatana P, Riley KO, Knowlton RC. Advances in intracranial monitoring. *Neurosurgical Focus* 2008;25:E18.
- Callaghan B, Schlesinger M, Rodemer W, ym. Remission and relapse in a drug-resistant epilepsy population followed prospectively. *Epilepsia* 2011;52:619–26.
- Cossu M, Cardinale F, Castana L, ym. Stereoelectroencephalography in the presurgical evaluation of focal epilepsy: a retrospective analysis of 215 procedures. *Neurosurgery* 2005;57:706–18.
- Fisher R, Salanova V, Witt T, ym. Electrical stimulation of the anterior nucleus of thalamus for treatment of refractory epilepsy. *Epilepsia* 2010;51:899–908.
- Freitag H, Tuxhorn I. Cognitive function in preschool children after epilepsy surgery: rationale for early intervention. *Epilepsia* 2005;46:561–7.
- Guenot M, Isnard J, Catenoix H, Maugeiere F, Sindou M. SEEG-guided RF-thermo-coagulation of epileptic foci: A therapeutic

- alternative for drug-resistant non-operable partial epilepsies. *Adv Tech Stand Neurosurg* 2011;36:61–78.
- Guenot M, Isnard J, Rylvlin P, ym. Neurophysiological monitoring for epilepsy surgery: the Talairach SEEG method. *Stereo-ElectroEncephalography. Indications, results, complications and therapeutic applications in a series of 100 consecutive cases. Stereotact Funct Neurosurg* 2001;77:29–32.
- Hamer HM, Morris HH, Mascha EJ, ym. Complications of invasive video-EEG monitoring with subdural grid electrodes. *Neurology* 2002;58:97–103.
- Immonen A, Jutila L, Kälviäinen R, ym. Preoperative clinical evaluation, outline of surgical technique and outcome in temporal lobe epilepsy. *Adv Tech Stand Neurosurg* 2004;29:87–132.
- Immonen A, Jutila L, Muraja-Murro A, ym. Long-term epilepsy surgery outcomes in patients with MRI-negative temporal lobe epilepsy. *Epilepsia* 2010;51:2260–9.
- Immonen A, Kälviäinen R, Gaily E, Blomstedt G. Kuka hyötyy epilepsiakirurgiasta? *Duodecim* 2008;124:2383–91.
- Jacobs J, Staba R, Asano E, ym. High-frequency oscillations (HFOs) in clinical epilepsy. *Prog Neurobiol* 2012;98:302–15.
- Kuruvilla A, Flink R. Intraoperative electrocorticography in epilepsy surgery: useful or not? *Seizure* 2003;12:577–84.
- Lüders HO, Najm I, Nair D, Widdess-Walsh P, Bingman W. The epileptogenic zone: general principles. *Epileptic Disorders* 2006;8:S1–9.
- McGonigal A, Bartolomei F, Regis J, ym. Stereoelectroencephalography in presurgical assessment of MRI-negative epilepsy. *Brain* 2007;130:3169–83.
- Mervaala E, Mäkinen R, Peltola J, Eriksson K, Jutila L, Immonen A. Video-EEG epilepsian diagnostiikassa – milloin ja miksi? *Duodecim* 2009;125:2514–20.
- Nair DR, Burgess R, McIntyre CC, Lüders H. Chronic subdural electrodes in the management of epilepsy. *Clinical Neurophysiology* 2008;119:11–28.
- Palmieri A, Gambardella A, Andermann F,

- ym. Intrinsic epileptogenicity of human dysplastic cortex as suggested by corticography and surgical results. *Ann Neurol* 1995;37:476–87.
- Pondal-Sordo M, Diosy D, Tellez-Zenteno JF, Girvin JP, Wiebe S. Epilepsy surgery involving the sensory-motor cortex. *Brain* 2006;129:3307–14.
- Putkonen P, Kälviäinen R. Ohimolohkoon kohdistuva epilepsiakirurgia on kustannus-vaikuttavaa hoitoa. *Duodecim* 2009;125:2500–2.
- Schramm J, Clusmann H. The surgery of epilepsy. *Neurosurgery* 2008;62:463–81.
- Shorvon S, Tomson S. Sudden unexpected death in epilepsy. *Lancet* 2011;378:2028–38.
- Sillanpää M. Epilepsiaa sairastavan elin-aika. *Duodecim* 2011;127:1631–2.
- Spencer SS, Spencer DD, Williamson PD, Mattson R. Combined depth and subdural electrode investigation in uncontrolled epilepsy. *Neurology* 1990;40:74–9.
- Tanriverdi T, Ajlan A, Poulin N, Olivier A. Morbidity in epilepsy surgery: an experience based on 2449 epilepsy surgery procedures from a single institution. *J Neurosurg* 2009;110:1111–23.
- Tellez-Zenteno JF, Hernandez Ronquillo L, Moien-Afshari F, Wiebe S. Surgical outcomes in lesional and non-lesional epilepsy: a systematic review and meta-analysis. *Epilepsy Res* 2010;89:310–8.
- Van Gompel JJ, Worrell GA, Bell ML, ym. Intracranial electroencephalography with subdural grid electrodes: techniques, complications, and outcomes. *Neurosurgery* 2008;63:498–506.
- Vanninen R, Vanninen E. Uudet kuvantamismenetelmät epilepsian diagnostiikassa. *Duodecim* 2009;125:2503–13.
- Wellmer J, von der Groeben F, Klarmann U, ym. Risks and benefits of invasive epilepsy surgery workup with implanted subdural and depth electrodes. *Epilepsia* 2012;53:1322–32.
- Önal Ç, Otsubo H, Araki T, ym. Complications of invasive subdural grid monitoring in children with epilepsy. *J Neurosurg* 2003;98:1017–26.

ATTE KARPPINEN, LL, neurokirurgi, osastonlääkäri

AKI LAAKSO, dosentti, neurokirurgi

GÖRAN BLOMSTEDT, dosentti, osastonylilääkäri

HYKS, neurokirurgian klinikka

MARIA PELTOLA, LL, kliinisen neurofysiologian erikoislääkäri

LEENA LAURONEN, dosentti, vs. osastonylilääkäri

HYKS, kliininen neurofysiologia

HUS-Kuvantaminen, Lastenkliniikka

LIISA METSÄHONKALA, dosentti, lastenneurologian erikoislääkäri, apulaisyliääkäri

EIJA GAILY, dosentti, lastenneurologian erikoislääkäri, osastonylilääkäri

HYKS, lastenneurologian klinikka, epilepsiyksikkö

SIDONNAISUODET

Atte Karppinen: Ei sidonnaisuuksia

Aki Laakso: Luentopalkkio (Orion Pharma)

Göran Blomstedt: Ei sidonnaisuuksia

Maria Peltola: Luentopalkkio (UCB)

Leena Lauronen: Luentopalkkioita (UCB)

Liisa Metsähonkala: Asiantuntijapalkkio

(Novartis), luentopalkkio (UCB-Pharma),

koulutus/kongressikuluja yrityksen tuella

(Eisai, Novartis, UCB-Pharma)

Eija Gaily: Asiantuntijapalkkio (Eisai)