

Venla Loimu, Liisa Porra, Tanja Mälkiä, Mikko Tenhunen ja Anu Anttonen

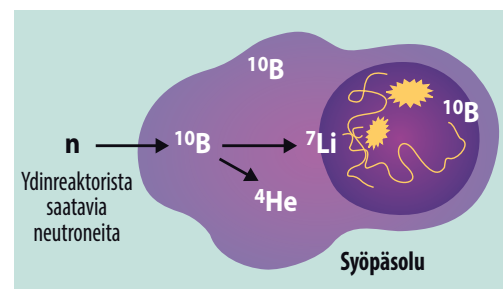
## Boorineutronisädehoidon uusi tuleminen!

Boorineutronisädehoito (boron neutron capture therapy, BNCT) on syövän kohdennettu hoitomenetelmä, jonka teho perustuu kasvainsolukkuon kuljetetun booriatomin ytimen hajoamiseen neutronisäteilyn vaikutuksesta. Hajoamisreaktion seurauksena syntyy lyhyen kantaman säteilyä, mikä johtaa erittäin suuren paikallisen sädeannoksen kehittymiseen booria sisältävissä soluissa. Boorineutronisädehoitoa on tutkittu erityisesti aivokasvainten ja uusiutuneiden pään ja kaulan alueen syöpien hoidossa, joista varsinkin jälkimmäisessä on saatu alustavia lupaavia hoitotuloksia. BNCT-hoitojen saatavuutta on viime aikoihin saakka rajoittanut ennen kaikkea riippuvuus ydinreaktorista säteilylähteenä, sillä muun tyyppisillä laitteilla ei ollut mahdollista tuottaa hoitoon soveltuva pienenergiaista neutronisäteilyä. Sittemmin ydinreaktorien tilalle on kehitelty neutroneita tuottavia protonikiihdyttimiä, joista ensimmäinen otettiin käyttöön Japanissa vuonna 2012. Länsimaiden ensimmäinen sairaala-alueelle sijoitettava BNCT-hoitoon tarkoitettu protonikiihdytin aloittaa pian toimintansa HUS:ssa.

Boorineutronisädehoito on biologisesti kohdennettua kaksivaiheista hoitoa, jossa kasvainsolukkuon kuljetettuun ei-radioaktiiviseen booriin ( $^{10}\text{B}$ ) kohdistetaan pienenergiaista (ns. termistä) neutronisäteilyä. Booriatomin altistaminen neutronisäteilylle johtaa reaktioon, jossa booriatomin ydin kaappaa sisäänsä neutronin, minkä seurauksena ydin hajoaa alfahiukkaseksi ( $^4\text{He}$ ) ja litiumytimiksi ( $^7\text{Li}$ ). Alfahiukkanen ja litiumydin ovat suurienergiaisia varauksellisia hiukkasia, joiden kantama kudoksessa on vain muutaman mikrometrin luokkaa. Näin booria sisältävän kasvainsolun sisälle saadaan tuotettua erittäin suuri paikallinen sädeannos, mikä johtaa parhaimmillaan kasvaimen täydelliseen tuhoutumiseen vain 1–2 hoitokerralla. Koska alfahiukkasen ja litiumytimen kantama on hyvin lyhyt, sädeannos kasvainsolukkuo ympäröivässä terveessä kudoksessa jää vähäiseksi, mikäli niihin ei ole kertynyt booria (KUVA 1).

Jotta BNCT:lla saavutettaisiin toivottu suuri paikallinen sädehoitovaikutus, boorin tulee siis kertyä kasvainkudokseen selvästi ympäröivää tervettä kudosta enemmän. Tästä syystä boori sidotaan kantaja-aineeseen, joka hakeutuu ve-

renkierron kautta kasvainkudokseen. Hoidon edellytyksenä on lisäksi neutronilähde, joka tuottaa hoitoon soveltuvia, riittävän pienenergiaisia neutroneita. Hoidettavan kasvaimen tulee olla kohtalaisen pinnallinen, enimmillään noin 10 cm syvyydessä, sillä hoitoon soveltuvat pienenergiaiset neutronit eivät pysty tunkeutumaan syvälle kudoksiin. Pään ja kaulan eri alueet ovat hyvin BNCT:n ulottuvilla, mutta syvällä vartalon alueella oleviin kasvaimiin



**KUVA 1.** Boorineutronisädehoidon periaate. Booridin kaappaa sisäänsä neutronin ja hajoaa alfahiukkaseksi ( $^4\text{He}$ ) ja litiumytimiksi ( $^7\text{Li}$ ). Alfahiukkasen ja litiumytimen kantama kudoksessa on murto-osa solun läpimitasta, jolloin BNCT-hoidolla saavutettu sädeannos muodostuu hyvin paikalliseksi booria sisältävissä kasvainsoluissa. Kuva artikkelista Joensuu ym. (20).

## Ydinasiat

- ▶ Boorineutronisädehoito on biologisesti kohdennettua hoitoa, joka perustuu booriytimen hajoamiseen kasvainsolussa neutronisäteilyn vaikutuksesta.
- ▶ Boorineutronisädehoidolla on saavutettu hyviä tuloksia erityisesti paikallisesti uusiutuneiden pään ja kaulan alueen syöpien hoidossa.
- ▶ HUSissa on pian alkamassa hoitotutkimukset uudella kiihdytinpohjaisella neutronisädehoitolaitteella.

BNCT:n kantama on nykyisillä laitteilla ja boorin kantaja-aineilla liian lyhyt.

## Suomen vahva asema BNCT-hoitotutkimuksissa

BNCT:n historia on suhteellisen pitkä. Astrofyysikko Gordon Locher esitti ajatuksen boorineutronikaappausreaktion hyödyntämisestä syöpäkasvainten hoidossa ensimmäisen kerran vuonna 1936, vain neljä vuotta sen jälkeen, kun James Chadwick oli todistanut neutronin olemassaolon (1).

Ensimmäiset hoitokokeet BNCT:llä tehtiin Yhdysvalloissa 1950- ja 1960-luvuilla malignia glioomaa sairastaville potilaille (2). Aivokasvainten tutkimushoitoja jatkettiin uudentyypipisten boorinkantaja-aineiden kanssa 1960-luvun lopulla Japanissa. Uusi kiinnostus hoitojen kehittelyyn heräsi maailmanlaajuisesti, kun japanilaiset tutkijat raportoivat erittäin hyviä tuloksia glioblastooman hoidossa (3). Aivokasvainpotilaiden BNCT-hoitotutkimukset aloitettiin 1990-luvulla uudelleen muun muassa Yhdysvalloissa, Alankomaissa, Ruotsissa ja Suomessa. Hoitotuloksia pidettiin kuitenkin edelleen pääosin epätydyttävänä, mistä syystä hoitotutkimukset keskeytyivät muissa keskuksissa Suomea ja Japania lukuun ottamatta.

Koska aivokasvainten hoitotulokset jäivät vaatimattomiksi, tutkimuksia laajennettiin pään ja kaulan alueen uusiutuneisiin syöpiin. Näiden hoidossa tulokset ovat vaikuttaneet selväs-

ti lupaavammilta. BNCT:tä on tutkittu myös eräiden muiden syöpien, kuten anaplastisen meningeooman, melanooman ja sarkoomien hoidossa.

Viime aikoihin saakka BNCT:ssä tarvittavaa neutronisäteilyä on ollut mahdollista tuottaa vain ydinreaktoreilla. Tämä on rajoittanut merkittävästi hoidon saatavuutta, sillä reaktorien ylläpitokustannukset ovat korkeita ja lisäksi ne sijaitsevat usein kaukana asutusalueista ja soveltuvat vain harvoin lääketieteelliseen käyttöön. Korvaavia, BNCT:hen soveltuvaa, riittävän pienienergiaista neutronisäteilyä tuottavia protonikiihdyttimiä on sittemmin kehitelty Japanissa ja Yhdysvalloissa. Ensimmäiset BNCT-hoitoihin soveltuvat protonikiihdyttimet otettiin käyttöön Japanissa vuonna 2012 (4).

Suomessa BNCT-hoitoja annettiin Otaniemessä sijainneella VTT:n FIR1-tutkimusreaktorilla vuosina 1999–2012, mutta hoidot päättyivät, kun reaktori suljettiin. Julkaistuista BNCT-tuloksista maailmanlaajuisestikin merkittävä osa on tuotettu hankkeen aikana toteutetuista hoidosta. HUS:iin on nyt valmistunut länsimaiden ensimmäinen sairaala-alueelle sijoitettava BNCT-hoitoon tarkoitettu kiihdytinpohjainen neutronilähde, ja tutkimushoidot tällä laitteella on tarkoitus aloittaa lähitulevaisuudessa.

## BNCT:n käyttökokemukset

BNCT:n kliiniset käyttökokemukset ovat yhä vähäisiä. Tutkimusnäyttö hoitojen tehosta rajoittuu yksinomaan pieniin ei-satunnaistettuihin sarjoihin, joissa hoitojen toteutus on ollut varsin heterogeenista eikä suoraa vertailua standardihoitoihin ole tehty. Valtaosa julkaistuista hoitotutkimuksista on ajalta, jolloin neutronilähteenä toimi ydinreaktori. Boorin kantaja-aineena on tavallisimmin käytetty L-boorifenyylialaniinia (BPA) tai natriumborokaptaattia (BSH).

Suurin kliininen käyttökokemus on kertynyt aivokasvainten ja paikallisesti uusiutuneiden pään ja kaulan alueen syöpien hoidosta. BNCT-hoitotutkimuksiin valikoituivat ensimmäiseksi huonoennusteiset malignit glioomat, joiden arvioitiin soveltuvan hyvin BNCT-hoitoon pinnallisen sijaintinsa ja invasiivisen kasvutapansa

vuoksi. Myöhemmin tutkimusta laajennettiin pään ja kaulan alueen syöpiin.

Suomen edellisessä BNCT-hankkeessa hoitoa annettiin yhteensä 249 potilaalle, joista 108 hoidettiin tutkimusprotokollan puitteissa. Potilaista valtaosalla oli uusiutunut pään ja kaulan alueen syöpä tai glioblastooma. Boorin kantaja-aineena käytettiin BPA:ta.

**Aivokasvainten hoito.** BNCT:n käyttöä aivokasvainten hoidossa on tutkittu sekä ensivaiheen hoidossa liitännäishoitoasetelmassa että aiemman sädehoidon jälkeen uusiutuneen taudin hoidossa.

Glioblastooman liitännäishoito tutkimuksissa, joissa BNCT on annettu potilaille leikkauksen jälkeen tavanomaisen sädehoidon sijaan, potilaiden keskimääräinen elinaika on ollut noin 12 kuukautta, mikä on vastannut tavanomaisilla hoitomenetelmillä saavutettuja tuloksia (5–8). Hoitojen siedettävyyttä on ollut kohtalaista, tavallisimpia haittavaikutuksia ovat olleet aivokudoksen edeema ja sädenekroosi. Hollantilaisessa tutkimuksessa 42 %:lla potilaista havaittiin aivojen magneettikuvauksessa aivoatrofiaa ja valkean aineen muutoksia vuoden kohdalla hoitojen jälkeen (9).

Suomessa reaktorilla saadut glioblastooman liitännäishoito tulokset vastasivat muualla saatuja. Vuoden kuluttua hoidosta elossa oli 61 % 18 tutkimuspotilaasta, eikä hoitoon liittynyt odottamattomia haittavaikutuksia (10).

Vertailuhaaran puuttuminen on vaikeuttanut tutkimustulosten tulkittamista, mutta koska BNCT:llä ei toistaiseksi ole saavutettu selvää etua standardihoitoon verrattuna aivokasvainten liitännäishoidossa, sen asema tässä käyttöaiheessa on yhä epävarma.

BNCT:tä on tutkittu myös aiempien hoitojen jälkeen uusiutuneen glioblastooman hoidossa. Suomessa tehdyssä tutkimuksessa uusiutunutta glioblastoomaa sairastavien potilaiden keskimääräinen elossaoloaika BNCT-hoidon jälkeen oli seitsemän kuukautta, ja 22 hoidetusta potilaasta yksi oli elossa vielä 18 kuukauden kuluttua hoidon päättymisestä. Hoito oli hyvin siedettyä, yleisimmät haittavaikutukset olivat hiusten lähtö ja unettomuus. Vakavammista haitoista yleisin oli kouristelu, jota raportoitiin neljällä potilaalla (11).

Japanilaisessa tutkimuksessa uusiutunutta malignia gliomaa sairastavista potilaista oli vuoden kuluttua kiihdytinpohjaisen BNCT-hoidon jälkeen elossa 79 % (12). Potilaiden keskimääräinen elossaoloaika oli 19 kuukautta.

Vaikka uusiutuneen glioblastooman hoitotulokset ovat näissä tutkimuksissa vaikuttaneet kohtalaisen hyviltä, tarvitaan lisää tutkimusta selkeyttämään hoidon etuja tässä potilasryhmässä.

**Pään ja kaulan alueen syöpien hoito.** Sädehoidon jälkeen uusiutuneen pään ja kaulan alueen syövän hoidosta BNCT:llä on saatu varsin hyviä hoitotuloksia, ja tämä potilasryhmä onkin nykyisin tärkein BNCT-hoidon kohde-ryhmä. Satunnaistamattomissa tutkimuksissa hoitovastetta on saatu 55–90 %:lla potilaista (13–16). Hoidon haittavaikutukset ovat vastanneet tavanomaisen sädehoidon haittoja, tyypillisimpiä ovat olleet mukosiitti, suukipu ja väsymys.

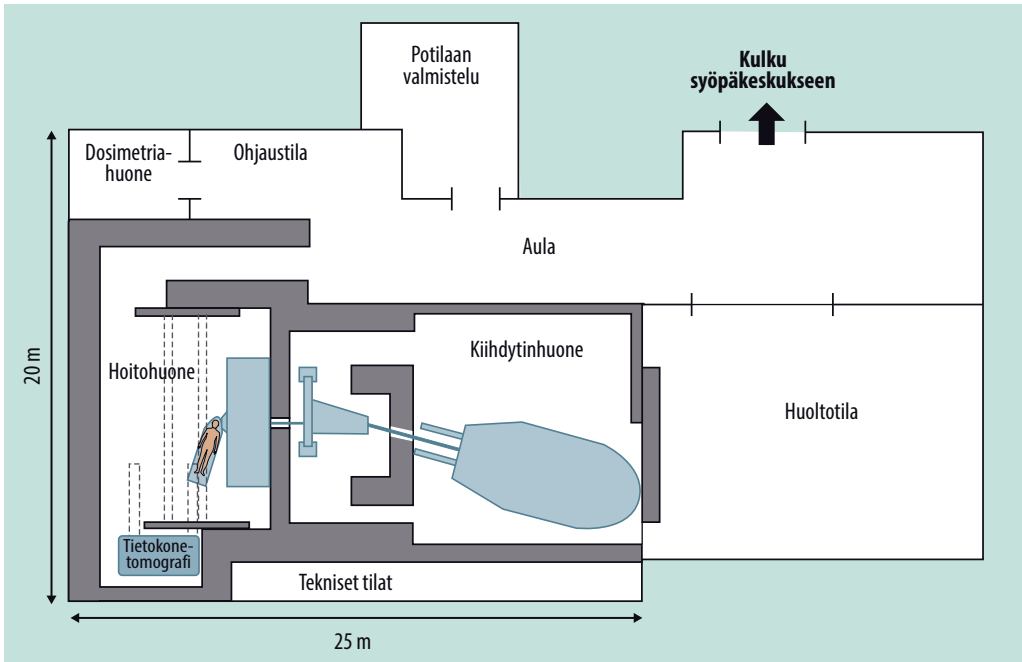
Suomessa BNCT:n tehoa tutkittiin pään ja kaulan alueen syöpäpotilailla, joilla tauti oli uusiutunut paikallisesti sädehoidon jälkeen. BNCT:n vaihtoehto näille potilaille olisi ollut jarruttava solunsalpaajahoito tai uusintasädehoito tavanomaisin menetelmin. Kasvain hävisi kokonaan 13 potilaalla 29:stä ja kutistui yhdeksällä potilaalla, kuudella kasvu pysähtyi vähintään viiden kuukauden ajaksi, ja vain yhdellä potilaalla kasvain eteni hoidosta huolimatta. Potilaista 27 % selvisi kaksi vuotta ilman paikallisuusiutumaa (17).

Japanissa kiihdytinpohjaisella BNCT:llä hoidetuista pään ja kaulan alueen paikallisesti uusiutunutta syöpää sairastavista potilaista 71 % oli saanut vastetta hoidolle kolmen kuukauden kuluttua (18).

BNCT:tä on käytetty kokeellisena hoitona pään ja kaulan alueen syövässä myös yhdistettynä tavanomaiseen sädehoitoon, ja yksittäisten potilaiden kohdalla hoitotulokset ovat olleet hyviä (19).

## HUS:n kiihdytin

Vaikka BNCT-hoito päättyi Suomessa vuonna 2012, kiinnostus hoitojen kehittelyyn säilyi. Vuonna 2016 HUS ja yhdysvaltalainen Neut-



KUVA 2. Kaavakuva HUSin BNCT-keskuksesta

ron Therapeutics solmivat yhteistyösopimuksen uuden sairaala-alueelle sijoitettavan kiihdytinpohjaisen neutronilähteen rakentamiseksi.

Laitteen asennustyöt aloitettiin vuonna 2018, ja ensimmäisen kerran sillä tuotettiin neutroneita loppuvuodesta 2019. Vaativan kehitystyön jälkeen laite on nyt saatu valmiiksi siten, että tekniset edellytykset BNCT:n kuvantamishajattuun toteutukseen nykyaikaisen ulkoisen sädehoidon tarkkuustasolla ovat olemassa. Viranomaisluvut tutkimushoitojen käynnistämiseksi ovat olleet haettavana elokuussa 2024.

Uusi BNCT-keskus on sijoitettu Meilahden kampusalueelle Syöpäkeskuksen viereen, josta se yhdistyy huoltotunnelin avulla muihin sairaalarakennuksiin (KUVA 2). Keskuksessa sijaitsee kiihdytin, protonikeilan neutroneiksi muuntava kohtiojärjestelmä ja keilanrajaus sekä itse sädehoituhuone (KUVA 3) ja hoidon ohjaustila, josta käsin henkilökunta valvoo sädetystä. Sädehoituhuoneeseen neutronisuojaoven taakse on sijoitettu tietokonetomografialaite, jolla potilaan oikea asento juuri ennen hoitokertaa voidaan varmistaa ja hoito toteuttaa kuvantamishajattusti. Keskuksessa on lisäksi hoidon

valmistelutilat sekä boorilaboratorio, jossa mitataan veren booripitoisuutta hoidon aikana.

HUS:n ensimmäisessä hoitotutkimuksessa BPA annetaan potilaalle neutronisädetystä edeltävästi kahden tunnin kestoisena infuusiona. Veren booripitoisuutta seurataan infuusion aikana ja sen jälkeen. Kun veren booripitoisuus on pienentynyt infuusion jälkeen sopivalle tasolle, potilas siirtyy hoituhuoneeseen neutronisädetystä varten. Sädetystapahtuma kestää kokonaisuudessaan noin tunnin verran. Ensimmäisissä hoitotutkimuksissa hoidettavat potilaat siirtyvät hoidon jälkeen vuodeosastoseurantaan, jatkossa hoidon voinee antaa myös polikliinisesti.

KUVASSA 4 on esitetty laskennallinen annosjakauma pään ja kaulan alueen kasvaimen hoidosta HUS:n BNCT-laitteistolla.

## Suunnitellut hoitotutkimukset HUS:ssa

Suunnitelmana on aloittaa kiihdytinpohjaiset BNCT-hoidot kliinisen hoitotutkimuksen puitteissa. Ensimmäisessä tutkimuksessa on tarkoitus arvioida hoidon turvallisuutta ja tehoa ai-



**KUVA 3.** Hoituhuone uudessa BNCT-keskuksessa. Hoidot annetaan kuvantamisohjatusti. Potilas siirretään robottipöydän avulla hoitokohtion eteen. Kuvan omistaa Neutron Therapeutics.

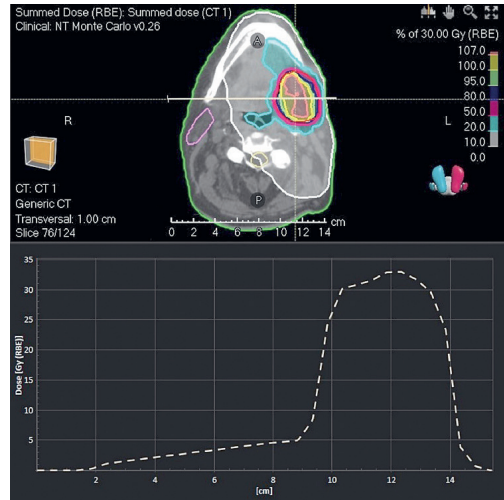
emmin sädehoidetun, paikallisesti uusiutuneen ja leikkaushoitoon soveltumattoman pään ja kaulan alueen syövän hoidossa. Mikäli hoitotulokset vastaavat odotuksia, tutkimushoidot on tarkoitus laajentaa jatkossa muihin potilasryhmiin. Käyttökokemuksen karttuessa ja laitteen saavuttaessa lääkintälaittehyväksynnän tehokkaita hoitoja voidaan ottaa käyttöön myös tutkimusasetelmien ulkopuolella.

Kliinisten hoitotutkimusten lisäksi suunnitteilla on myös prekliinisiä tutkimuksia muun muassa uudentyypisillä boorinkantajaineilla. Kotimaisia ja ulkomaisia kantajaineiden kehityshankkeita on meneillään, ja näiden molekyylien prekliiniseen ja kliiniseen testaamiseen HUS:n uusi BNCT-keskus tarjoaa hyvän ympäristön.

## BNCT:n mahdollisuudet

BNCT:n etuna tavanomaiseen ulkoiseen sädehoitoon verrattuna on suuren sädeannoksen paikallisuus, mikä mahdollistaa terveen kudoksen säästämisen laajasti ympäristöönsä infiltroivien, muilla keinoin hyvin vaikeasti hoidettavien kasvainten hoidossa. BNCT:n saatavuus kuitenkin on ollut tähän asti hyvin rajallista ja hoidon kehittäytyö hidasta. Koska satunnaisesti tutkimuksia tästä hoitomuodosta ei ole tehty, sen etujen ja haittojen arvioiminen on hankalaa.

Kiihdytinpohjaisten neutronilähteiden yleistyminen tulee jatkossa parantamaan BNCT:n saatavuutta ja helpottamaan hoitomuodon



**KUVA 4.** Yllä: Kahden kentän BNCT-hoidon annosjakauka. Sädeannos on suuri kasvainalueella ja pienee nopeasti sen ympärillä. Alla: Annosprofiili kasvaimen keskivaiheilta.

tutkimusta ja jatkokehittelyä. Tulevaisuudessa BNCT:n yhdistäminen muihin hoitomuotoihin, kuten syövän immunoterapiaan tai tavanomaiseen ulkoiseen sädehoitoon voi laajentaa hoidon käyttömahdollisuuksia ja parantaa joidenkin syöpien hoidettavuutta. Lisäksi uusien boorinkantajaineiden kehittäminen saattaa tulevaisuudessa johtaa terapeuttisen ikkunan laajenemiseen ja käyttöalueiden laajentamiseen, kun boori saadaan vietyä entistä valikoidummin kasvainalueelle.

## Lopuksi

Boorineutronisädehoidolla on saavutettu alustavia hyviä tuloksia paikallisesti edenneiden kasvainten hoidossa. Erityisesti uusiutuneissa pään ja kaulan alueen syövässä hoitotulokset ovat olleet lupaavia.

Uuden kiihdytinpohjaisen neutronilähteen käyttöönoton myötä Suomeen saadaan ainutlaatuinen mahdollisuus uuden syövän hoitomuodon tutkimukseen ja kehittelyyn. Sairaala-alueelle sijoitettava hoitolaite parantaa hoidon turvallisuutta ja toteutettavuutta. Tutkimustiedon karttuessa BNCT voitaneen tulevaisuudessa ottaa myös rutiinikäyttöön joidenkin syöpien hoidossa. ■

**KIRJALLISUUTTA**

1. Locher G. Biological effects and therapeutic possibilities of neutrons. *Am J Roentgen* 1936;36:1–13.
2. Slatkin D. A history of boron neutron capture therapy of brain tumours. *Brain* 1991;114:1609–29.
3. Nakagawa Y, Hatanaka H. Boron neutron capture therapy. *Clinical brain tumor studies. J Neurooncol* 1997;33:105–15.
4. Kiyonagi Y, Sakurai Y, Kumada H, ym. Status of accelerator-based BNCT projects worldwide. *AIP Conf Proc* 2019; 2160:050012.
5. Chanana AD, Capala J, Chadha M, ym. Boron neutron capture therapy for glioblastoma multiforme: Interim results from the phase I/II dose-escalation studies. *Neurosurgery* 1999;44:1182–92.
6. Henriksson R, Capala J, Michanek A, ym. Boron neutron capture therapy (BNCT) for glioblastoma multiforme: a phase II study evaluating prolonged high-dose of boronphenylalanine (BPA). *Radiother Oncol* 2008;88:183–91.
7. Kawabata S, Miyatake S, Kuroiwa T, ym. Boron neutron capture therapy for newly diagnosed glioblastoma. *J Radiat Res* 2009;50:51–60.
8. Laperriere N, Zuraw L, Cairncross G. Radiotherapy for newly diagnosed malignant glioma in adults. A systematic review. *Radiother Oncol* 2002;64:259–73.
9. Vos M, Turowski B, Zanella F, ym. Radiologic findings in patients treated with boron neutron capture therapy for glioblastoma multiforme within EORTC trial 11961. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2005;61:392–9.
10. Joensuu H, Kankaanranta L, Seppälä T, ym. Boron neutron capture therapy of brain tumors: clinical trials at the Finnish facility using boronphenylalanine. *J Neurooncol* 2003;62:123–34.
11. Kankaanranta L, Seppälä T, Koivunoro H, ym. L-boronphenylalanine-mediated boron neutron capture therapy for malignant glioma progressing after external beam radiation therapy: a phase I study. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2011;80:369–76.
12. Kawabata S, Suzuki M, Hirose K, ym. Accelerator-based BNCT for patients with recurrent glioblastoma: a multicenter phase II study. *Neurooncol Adv* 2021;3:1–9.
13. Kato I, Fujita Y, Maruhashi A, ym. Effectiveness of boron neutron capture therapy for recurrent head and neck malignancies. *Appl Radiat Isot* 2009;67:37–42.
14. Aihara T, Morita N, Kamitani N, ym. BNCT for advanced or recurrent head and neck cancer. *Appl Radiat Isot* 2014;88:12–5.
15. Suzuki M, Kato I, Aihara T. Boron neutron capture therapy outcomes for advanced or recurrent head and neck cancer. *J Radiat Res* 2014;55:146–53.
16. Wang L, Chen Y, Ho C, ym. Fractionated boron neutron capture therapy in locally recurrent head and neck cancer: a prospective phase I/II trial. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2016;95:396–403.
17. Kankaanranta L, Seppälä T, Koivunoro H, ym. Boron neutron capture therapy in the treatment of locally recurrent head-and-neck cancer: final analysis of a phase I/II trial. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2012;82:e67–75.
18. Hirose K, Konno A, Hiratsuka J, ym. Boron neutron capture therapy using cyclotron-based epithermal neutron source and borofalan (<sup>10</sup>B) for recurrent or locally advanced head and neck cancer (JHN002): an open-label phase II trial. *Radiother Oncol* 2021;155:182–7.
19. Kankaanranta L, Saarihahti K, Mäkitie A, ym. Boron neutron capture therapy (BNCT) followed by intensity modulated chemoradiotherapy as primary treatment of large head and neck cancer with intracranial involvement. *Radiother Oncol* 2011;99:98–9.
20. Joensuu H, Kankaanranta L, Tenhunen M, ym. Boron neutron capture therapy (BNCT) syöpään. *Duodecim* 2011;127:1697–703.

**VENLA LOIMU, LT, apulaisylilääkäri**  
**LIISA PORRA, FT, apulaisylifysikko**  
**TANJA MÄLKIÄ, LL, erikoislääkäri**  
**MIKKO TENHUNEN, professori, ylifysikko**  
**ANU ANTTONEN, LT, ylilääkäri**  
HUS syöpäkeskus, sädehoito-osasto

**TEEMAN TOIMITTAJAT**

Pauliina Kitti, Annika Pasanen ja Riikka Nevala

**SIDONNAISUDET**

**Venla Loimu:** Luentopalkkio/asiantuntijapalkkio (Merck, MSD)  
**Liisa Porra:** Ei sidonnaisuuksia  
**Tanja Mälkiä:** Muut sidonnaisuudet (Bayer AG, kliininen lääketutkimus)  
**Mikko Tenhunen:** Ei sidonnaisuuksia  
**Anu Anttonen:** Ei sidonnaisuuksia