

Opinnäytetyö (AMK)

Bioanalytikkokoulutus

2022

Iina Peltonen, Roosa Rantanen & Tiina Jurvanen

# ISOTOOPPILÄÄKETIEDE

– verkko-opinnot bioanalytikko-opiskelijoille



Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Bioanalytikkokoulutus

2022 | 39 sivua

lina Peltonen, Roosa Rantanen & Tiina Jurvanen

# ISOTOOPPILÄÄKETIEDE

- verkko-opinnot bioanalytikko-opiskelijoille

Isotooppilääketiede on lääketieteen erikoisala, jossa käytetään radiolääkkeitä sairauksien diagnosointiin ja hoitoon. Isotooppikuvantaminen perustuu radiolääkkeen emittoiman gammasäteilyn havaitsemiseen. Isotooppikuvantaminen jaetaan gammakuvaukseen ja positroniemissiotomografiaan. Isotooppikuvantaminen on elimistön fysiologian kuvantamista ja sen yksi suurimmista käyttöaiheista on syöpätautien kuvantaminen.

Turun ammattikorkeakoulun bioanalytikkokoulutuksen opetussuunnitelma ei tällä hetkellä sisällä isotooppilääketieteen opintoja, minkä johdosta verkko-opinnot koettiin tarpeellisiksi. Tämän opinnäytetyön tavoitteena on edistää opiskelijoiden ammattitaitoa ja valmiuksia työelämään. Verkko-oppimateriaalien myötä opiskelijoille muodostuu tietoperusta isotooppilääketieteestä.

Verkko-oppimateriaali koottiin Itslearning-verkkoalustalle. Oppimateriaali kostuu Powerpointeistä, videoista, artikkeleista ja haastatteluvideosta. Verkkoalustasta luotiin monipuolinen ja selkeä kokonaisuus, joka motivoi opiskelijaa.

Asiasanat:

Isotooppilääketiede, radiolääke, isotooppikuvantaminen, PET-keskus, verkko-opinnot

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Biomedical laboratory science

2022 | 39 pages

lina Peltonen, Roosa Rantanen & Tiina Jurvanen

## NUCLEAR MEDICINE

- online course for biomedical laboratory science students

Nuclear medicine is a medical specialty that uses radiopharmaceuticals to diagnose and treat diseases. Isotope imaging is based on the detection of gamma radiation emitted by a radiopharmaceutical. It is divided into gamma imaging and positron emission tomography. Isotope imaging is the imaging of the body's physiology and oncology is one of its main indications.

Turku University of Applied Sciences' biomedical laboratory science education curriculum does not currently include nuclear medicine studies, which is why online studies were considered necessary. The aim of this thesis is to promote students' professional skills and readiness for working life. Due to online learning materials, students form a knowledge base on nuclear medicine.

The e-learning material was compiled on the Itslearning online platform. The learning material consists of PowerPoints, videos, articles and an interview video. A versatile and lucid entity was created from the online platform that motivates the student.

Keywords:

Nuclear medicine, radiopharmaceutical, nuclear medicine imaging, PET center, online studies

<b>1 Johdanto</b>	<b>6</b>
<b>2 Isotooppilääketiede</b>	<b>8</b>
2.2 Radiolääke	8
2.2.1 Kuvantamisessa käytettävät radionuklidit	9
2.2.2 Radiolääkkeen valmistaminen	11
2.2.3 Puhdistilatyöskentely	12
2.2.4 Laadunohjaus	13
2.3 Isotooppikuvantaminen	13
2.3.1 Gammakuvantaminen	14
2.3.2 Positroniemissiotomografia	15
2.3.3 Fuusiokuvantaminen	16
2.4 Eri elinten isotooppitutkimukset	18
2.4.1 Syöpätautien isotooppikuvantaminen	18
2.4.2 Sydämen isotooppikuvantaminen	19
2.4.3 Aivojen isotooppikuvantaminen	21
2.5 PET-keskus	22
<b>3 Verkko-opinnot</b>	<b>24</b>
3.1 Opiskelijoiden kokemuksia verkko-opiskelun hyödyistä ja haitoista	26
<b>4 Opinnäytetyön tarkoitus ja tavoite</b>	<b>27</b>
<b>5 Opinnäytetyön tuotos ja sen tarkastelu</b>	<b>28</b>
5.1 Opinnäytetyön metodologiset lähtökohdat	30
5.2 Opinnäytetyön eettiset lähtökohdat	31
<b>6 Pohdinta</b>	<b>32</b>
<b>Lähteet</b>	<b>34</b>

## **Taulukot**

Taulukko 1. Radionuklidit ja niiden puoliintumisajat.	10
Taulukko 2. Haastattelukysymykset.	29
Taulukko 3. Verkko-opintojen osa-alueet	30

# 1 Johdanto

Isotooppilääketiede on lääketieteen erikoisala, jossa sairauksien tutkimiseen ja hoitoon käytetään radiolääkkeitä (STUK 2020a). Turussa isotooppitutkimuksia tehdään PET-keskuksessa, joka on Turun yliopiston, Åbo Akademin ja Turun yliopistollisen keskussairaalan yhteinen, valtakunnallinen tutkimuskeskus (TYKS 2021). PET-keskuksessa käytetään isotooppikuvausmenetelmänä positroniemissiotomografiaa (PET), jolla saadaan tietoa elimistön toiminnasta ja aineenvaihdunnasta lyhytikäisiä säteileviä merkkiaineita käyttäen (Janatuinen & Kempainen 2020; TYKS 2021).

PET-kuvaukset ovat nykyään terveydenhuollossa jo arkirutiinia. Kliinisiä PET-tutkimuksia tehtiin Suomessa lähes 13 000 vuonna 2018, joista Turussa tehtiin 2543. PET-kuvantaminen on kasvanut vauhdilla. Esimerkiksi Turussa vuodesta 2015 vuoteen 2018 tutkimusten määrä on kasvanut 82 %. PET-kuvantamisen yleisin käyttöalue Suomessa on syövän kuvantaminen, joka kattaa noin 90 % kaikista PET-tutkimuksista. Uusia käyttöaiheita syntyy kuitenkin jatkuvasti, jonka lisäksi tieto lisääntyy aikaisempien käyttöaiheiden osalta. (Knuuti 2020.)

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on edistää bioanalyttikko-opiskelijoiden osaamista isotooppilääketieteestä, PET-keskuksen toiminnasta sekä keskeisimmistä radiolääkkeistä ja isotooppitutkimuksista. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on laatia Turun ammattikorkeakoulun bioanalyttikko-opiskelijoille verkko-opinnot isotooppilääketieteestä Itslearning-verkkoalustalle. Verkko-opintojen valmistumisen johdosta opiskelija pystyy valitsemaan isotooppilääketieteen opintoja Asiantuntijana terveystieteiden toimintaympäristössä 1 & 2 –opintojaksoihin, joissa opiskelija syventyy valitsemiinsa erikoisaloihin. Tämä opinnäytetyö on toiminnallinen opinnäytetyö.

Opinnäytetyö on aiheellinen, koska Turun ammattikorkeakoulun bioanalyttikkokoulutuksen opetussuunnitelma ei tällä hetkellä sisällä isotooppilääketieteen opintoja. PET-keskus odottaa opiskelijoilta aseptisen työskentelyn ja säteilyturvallisuuden osaamista (TYKS 2021). Verkko-opintojen

johdosta opiskelijalla on paremmat valmiudet vastata PET-keskuksen odotuksiin opiskelijan teoriapohjasta.

## 2 Isotooppilääketiede

Isotooppilääketiede on lääketieteen erikoisala, jossa tutkitaan ja mitataan elimien toimintoja, niiden häiriöitä ja hoidetaan sairauksia radiolääkkeiden avulla (Knuuti & Laitinen 2020; STUK 2020a.) Isotoopit ovat saman alkuaineen eri muotoja, joilla on eri määrä neutroneja atomin ytimessä (STUK 2019). Isotooppikuvantamisessa radioaktiiviset isotoopit eli radionuklidit liitetään lääkeaineisiin. Tätä muodostunutta yhdistettä kutsutaan radiolääkkeeksi. (STUK 2020a.)

### 2.2 Radiolääke

Epävakaissa atomiytimissä on usein liian paljon tai liian vähän neutroneja, jolloin ne ovat virittyneitä (STUK 2020b). Radioaktiivisuus tarkoittaa tapahtumaa, jossa rakenteeltaan epävakaa atomiydin muuttuu vakaammaksi emittoimalla hiukkasia ja/tai fotoneja ympäristöönsä. Radioaktiivista atomiydintä kutsutaan radionuklidiksi tai -isotoopiksi. Radionuklidin hajoamisprosessissa atomin ytimestä vapautuu energiaa ionisoivan säteilyn muodossa. Ajan kuluessa radioaktiivisen aineen aktiivisuus vähenee eksponentiaalisen hajoamislain mukaisesti. Aktiivisuuden vähenemistä kuvataan fysikaalisella puoliintumisajalla ( $T_p$ ), joka kuvaa aikaa, jonka jälkeen radioaktiivisen aineen aktiivisuus, eli radioaktiivisten ytimien määrä, on vähentynyt puoleen alkuperäisestä. (Saarakkala 2017.) Potilaan säteilyannoksen kannalta radionuklidin fysikaalinen puoliintumisaika ei saa olla liian pitkä. Toisaalta jos puoliintumisaika on liian lyhyt, radionuklidien kuljetus ja jakelu on vaikea järjestää taloudellisesti. (Korpela 2004, 223.)

Kemiallinen yhdiste, johon radionuklidi on liitetty, ja joka on sellaisessa muodossa, että sitä voidaan antaa ihmiselle, on nimeltään radiolääke (Korpela 2004, 228). Radiolääke hakeutuu aineenvaihdunnan kautta tutkittavaan kudokseen tai elimeen (STUK 2020a). Ne ovat muiden lääkkeiden tapaan steriili ja pyrogeenivapaa tuote, jolloin ne voidaan antaa potilaalle esimerkiksi



suonensisäisesti. (Sovijärvi & Ahola 2003.) Muutokset elimen toiminnassa voidaan havaita isotooppikuvantamisella, sillä muutokset vaikuttavat radiolääkkeen jakautumiseen elimistössä (Korpela 2004, 220).

### 2.2.1 Kuvantamisessa käytettävät radionuklidit

Yleisimmät isotooppitutkimuksissa käytettävät radioaktiiviset isotoopit ovat teknetiumin metastabiili-isotooppi 99 ( $^{99m}\text{Tc}$ ) ja fluori-18 ( $^{18}\text{F}$ ) (STUK 2020a). Gammakuvauksessa ja SPET:ssä tyypilliset merkkiaineet ovat yhdisteitä, joilla on tietty spesifinen käyttäytyminen ja joihin voidaan kiinnittää gammasäteilevä isotooppi. PET:ssä korvataan haluttujen molekyylien hiili-, happi- tai fluoriatomit vastaavalla radioaktiivisella isotoopilla, joka käyttäytyy ja kulkeutuu, säteilyä lukuun ottamatta, kudoksissa normaalisti. PET käyttää usein hyväkseen kehossa normaalistikin esiintyviä aineita: sokeria, happea, vettä ja aminohappoja. Sokerin avulla voidaan tutkia kohteen glukoosinkäyttöä, vedellä verenvirtausta sekä hapella hapenkulutusta. (Knuuti & Kajander 2017a.) Radionuklidilla leimattu merkkiaine voi olla elimistössä fysiologisesti esiintyvä molekyyli, tiettyyn reseptoriin tai solun pinnalla olevaan molekyyliin kiinnittyvä valmiste tai aineenvaihdunnan patologiseen kertymätuotteeseen sitoutuva aine (Janatuinen & Kempainen 2020).

Gammakuvauksessa ja SPET:ssä yleisin radioaktiivinen isotooppi on teknetium ( $^{99m}\text{Tc}$ ), jonka lisäksi muita tavallisia isotooppeja ovat indium ( $^{111}\text{In}$ ) ja jodi ( $^{123}\text{I}$ ) (Knuuti & Kajander 2017a). Teknetium on kemiallisesti erittäin reaktiivinen ja sillä voidaan leimata monia kemiallisia yhdisteitä. Sen puoliintumisaika on nopea, noin kuusi tuntia, ja sitä käytetään erityisesti luuston, sydänlihaskierroksen, keuhkoverenkierroksen ja vartijaimusolmukkeiden gammakuvauksissa. (Vierula 2009; Knuuti & Kajander 2017a.) Noin 80 % isotooppitutkimuksista tehdään käyttäen teknetium- 99m:llä leimattua radiolääkettä (Vierula 2009). Esimerkiksi keuhkoperfuusion gammakuvauksessa käytetään radiolääkettä  $^{99m}\text{Tc}$ -MAA, jossa MAA on radiolääkeaine (makroagregoidut albumiinipartikkelit), joka on leimattu  $^{99m}\text{Tc}$ :llä (Saarakkala 2017).

Teknetiumilla leimattujen radioaktiivisten lääkeaineiden keksimisen jälkeen jodilla leimattujen yhdisteiden käyttö on vähentynyt jyrkästi. Radionuklideilla  $^{131}\text{I}$  ja  $^{123}\text{I}$  leimattuja yhdisteitä käytetään usein kilpirauhassairauksien tutkimiseen.  $^{123}\text{I}$ :stä aiheutuu kilpirauhaselle huomattavasti pienempi säteilyannos, mutta se on kallista ja sen mahdollisesti sisältämät epäpuhtaudet huonontavat kuvanlaatua. (Korpela 2004, 231.) Esimerkiksi  $^{123}\text{I}$ :llä leimattua  $\beta$ -CIT-injektionestettä ( $^{123}\text{I}$ - $\beta$ -CIT) käytetään aivojen dopamiinin kuljettajaproteiinien gammakuvauksessa (Saarakkala 2017).

PET-kuvantamisessa käytettävät radionuklidit ovat alkuaineita, jotka ovat normaalien metaboliittien ja monien muiden kantajamolekyylien luonnollisia komponentteja, eli kantajamolekyylien leimaaminen ei muuta niiden rakennetta tai biologista käyttäytymistä. (Korpela 2004, 232.) PET-isotooppien puoliintumisaika on tyypillisesti lyhyempi kuin gammasäteilijöiden. (Knuuti & Kajander 2017a.) Taulukossa 1 on esitetty radionuklideja ja niiden puoliintumisaikoja. Yleisimpiä PET-kuvantamisessa käytettyjä positronisäteileviä isotooppeja ovat hiukkaskiihdyttimellä tuotetut  $^{11}\text{C}$ hiili,  $^{15}\text{O}$ happi ja  $^{18}\text{F}$ fluori, sekä generaattoripohjaisesti tuotettava  $^{68}\text{Ga}$ gallium (Janatuinen & Kempainen 2020).

Radionuklidi	$T_p$
$^{11}\text{C}$	20 min
$^{15}\text{O}$	2 min
$^{18}\text{F}$	2 h
$^{68}\text{Ga}$	1 h
$^{99m}\text{Tc}$	6 h
$^{111}\text{In}$	2,8 vrk
$^{123}\text{I}$	13 h

Taulukko 1. Radionuklidit ja niiden puoliintumisajat.

Happi-15:llä leimattua vettä (radiovettä)  $^{15}\text{O}$ - $\text{H}_2\text{O}$  käytetään mm. sydänlihasperfuusion eli sydänlihaksen verenkierron kuvantamisessa. Merkkiaine jakaantuu sydänlihakseen alueellisen perfuusion mukaisesti.

Radioveden lyhyen puoliintumisajan vuoksi se tuotetaan kuvauspaikalla. (Saraste & Knuuti 2012.)

<sup>68</sup>Galliumilla leimattua DOTA-peptidiä käytetään neuroendokriinisten tuumoreiden (NET) diagnostiikkaan. NET-tuumoreille on tyypillistä somatostatiinireseptoreiden suuri määrä solukalvon pinnalla. DOTA-peptidi toimii somatostatiinianalogina, ja sitoutuu näihin reseptoreihin. (Loimaala ym. 2014.)

Esimerkkinä PET-kuvantamisessa käytetystä radiolääkkeestä toimii <sup>18</sup>F-FDG, joka on <sup>18</sup>F:lla leimattu glukoosianalogi fluorodeoksiglukoosi. Sitä käytetään glukoosimetabolian tutkittaessa. <sup>18</sup>F korvaa yleensä leimattavan molekyylin vetyatomit, jolloin molekyyli ei metaboloidu aivan samalla tavalla kuin alkuperäinen. FDG fosforyloituu samaan tapaan kuin glukoosi heksokinaasin vaikutuksesta 2-deoksiglukoosi-6-fosfaatiksi. Leimattu molekyyli ei kuitenkaan toimi substraattina glukoosimetabolian seuraavassa vaiheessa (krebsin sykli), eikä myöskään pääse solusta ulos. Tästä syystä se jää soluun ja kertyy kudoksiin ja elimiin, joissa glukoosimetabolia on nopeaa: esimerkiksi aivoissa (glukoosi energianlähteenä) ja syöpäkudoksessa (nopea solunjakautuminen). (Korpela 2004, 232–233.)

### 2.2.2 Radiolääkkeen valmistaminen

Kaikki isotooppiagnostiikassa käytettävät radionuklidit ovat keinotekoisia. Radionuklideja voidaan valmistaa syklotronilla, reaktorilla säteilyttämällä tai generaattorilla pitkäikäisemmästä emonuklidista. Syklotronilla valmistettuja radionuklideja ovat muun muassa <sup>11</sup>C, <sup>12</sup>N, <sup>15</sup>O, <sup>18</sup>F, <sup>111</sup>In sekä <sup>123</sup>I. Reaktorilla säteilyttämällä valmistettuja radionuklideja ovat esimerkiksi <sup>51</sup>Cr, <sup>59</sup>Fe ja <sup>75</sup>Se (Korpela 2004, 223.)

Potilaaseen saatettu radiolääke tuottaa hajotessaan gammasäteilyä, jota kuvannetaan joko gammakameralla tai PET-kameralla. Itse kuvantamislaitte ei säteile. (Knuuti & Kajander 2017a.) Radiolääkkeet annostellaan potilaalle yleensä suonensisäisesti, mutta joissakin tapauksissa myös suun kautta tai

hengitettävänä kaasuna. Esimerkiksi koska jodidi-ioni absorboituu nopeasti mahalaukusta, se annetaan potilaalle suun kautta. (Korpela 2004, 228-231.)

Syklotroni eli hiukkaskiihdytin kiihdyttää protoneita magneettikentässä suihkuksi, ja näin saatu hiukkassuihku törmäytetään kohtiomateriaaliin. Kohtiomateriaali voi olla kaasua, nestettä tai kiinteää ainetta. Kun hiukkassuihku osuu stabiiliin kohtiomateriaalin atomiytimiin, syntyy epästabiili radionuklidi, joka lähettää säteilyä palatessaan stabiiliin tilaan. (Åbo Akademi 2015; Peeva 2021.)

$^{99m}\text{Tc}$  valmistetaan  $^{99}\text{Mo}$ - $^{99m}\text{Tc}$ -generaattorilla sen emoaineesta, molybdeenin-99:stä. Koska teknetiumin puoliintumisaika on suhteellisen lyhyt, se valmistetaan käyttöpaikalla. (Korpela 2004; Vierula 2009.)  $^{99m}\text{Tc}$  on metastabiili tila ja on emonuklidin  $^{99}\text{Mo}$  tytärnuklidi. Käytettävä  $^{99}\text{Mo}$  tuotetaan ydinreaktorissa säteilyttämällä molybdeenin isotooppia 98 tai uraanin isotooppia 235. Koska  $^{99}\text{Mo}$ :n puoliintumisaika on sekin lyhyt, n. 66 tuntia, uusia generaattoreita tarvitaan viikoittain. (Korpela 2004, 224-8.)

$^{68}\text{Ga}$  tuotetaan  $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$  -generaattorilla 68-germaniumista, jonka puoliintumisaika on 271 päivää (Martiniova ym. 2016).  $^{18}\text{F}$ -FDG:n valmistus on riippuvainen läheisestä syklotronista, joten  $^{68}\text{Ga}$ :n etuna on mahdollisuus valmistaa radiolääke osastolla ilman syklotronia (Loimaala ym. 2014 & Martiniova ym. 2016).

### 2.2.3 Puhdastilatyöskentely

Puhdastila on tila, joka on rakennettu ja sitä käytetään niin, että hiukkasten sisäänpääsy, syntyminen ja säilyminen tilassa on säädeltyä (SFS-EN ISO 14644-1). Puhdastilassa ilman hiukkasten määrää, lämpötilaa, kosteutta sekä ilmanpaineen suhdetta viereisiin tiloihin nähdessä säädelään. Puhdastilaa tarvitaan prosesseissa, joissa tuotteen kontaminaatio tulee estää. Esimerkiksi lääketeollisuudessa tuotteiden valmistus vaatii steriilin ympäristön, sillä niiden mikrobikontaminaatio voi aiheuttaa potilaalle vakavia infektioita. (Rajala 2007, 9-10.)

Ilmassa olevan sallitun hiukkasmäärän perusteella puhdastilat jaetaan luokkiin, jotka perustuvat kansainväliseen standardiin ISO 14644-1. Steriilien lääkeaineiden valmistukseen on erikseen myös puhdastiloja koskeva Euroopan komission ohjeistus EU GMP (Good Manufacturing Practice) Annex 1. EU GMP Annex 1 on yhdenmukainen ISO 14644-1 standardin kanssa, kuitenkin sisältäen steriilien lääkeaineiden valmistukseen liittyvät erityispiirteet. (Sandle & Saghee 2013, 42,52-53.)

#### 2.2.4 Laadunohjaus

Radiolääkkeiden laaduntarkkailussa on tarkasteltava useita eri osa-alueita, joita ovat radionuklidien puhtaus, radiokemiallinen puhtaus, kemiallinen puhtaus, steriiliys ja pyrogeenittömyys (Korpela 2004, 234). Radiolääkkeen tulee sisältää ainoastaan haluttua nuklidia, jolloin puhutaan radionuklidisesta puhtaudesta. Radiolääke voi olla hankala tuottaa ilman epäpuhtauksia, jonka takia on annettu rajat muiden nuklidien pitoisuuksille. (Korpela 2004, 233 & Maltby 2009.)

Radiolääkkeen on oltava halutussa kemiallisessa muodossa ja sen tulisi sisältää vain haluttua kemiallista yhdistettä. Radiolääkkeen tulee olla steriiliä. Siinä ei saa olla mikrobikontaminaatiota. Valmisteen pyrogeenittömyys tulee testata, sillä pyrogeenejä sisältävä valmiste saattaa aiheuttaa kuumereaktion potilaalle suonensisäisesti annettuna (Korpela 2004, 234.) Radiolääkkeen radioaktiivisuuden tulee olla tietyllä tasolla lääkkeen antohetkellä (Maltby 2009).

#### 2.3 Isotooppikuvantaminen

Isotooppikuvantaminen perustuu potilaalle annettavan radiolääkkeen emittoiman gammasäteilyn havaitsemiseen. Radioaktiivisuuden kertymistä ja jakautumista tutkittavaan kudokseen tai elimeen seurataan kameroilla, jotka havaitsevat gammasäteilyä (STUK 2020a). Isotooppikuvaukset voidaan jakaa gammakuvaukseen ja positroniemissiotomografiaan (PET). Gammakuvaus voidaan edelleen jakaa tasokuvantamiseen ja yksifotoniemissiotomografiaan

(single photon emission tomography, SPET). Isotooppikuvaus on funktionaalista eli toiminnallista kuvantamista, jonka avulla voidaan selvittää elinten toimintaa. (Saarakkala 2017.) Isotooppitutkimuksia hyödynnetään erityisesti kasvainten kuvantamisessa, syöpäkuvantamisessa, luuston, sydänlihasperfuusion ja hengitysteiden tutkimuksissa (Knuuti & Laitinen 2020).

### 2.3.1 Gammakuvantaminen

Gammakuvaus on lukumääräisesti yleisin isotooppikuvantamisen muoto, jossa radiolääkkeen radioaktiivinen hajoaminen synnyttää yhden fotonin, jonka emittoimaa säteilyä mitataan gammakameralla. Gammakuvaus voidaan jakaa tasokuvantamiseen, sekä yksifotoniemissiotomografiaan (SPET). Tasokuvauksessa kuvataan tutkittava kohde yhdestä suunnasta, kun taas SPET on kerroskuvausta, jossa gammakamera kiertää potilaan ympärillä 360 astetta ja kerää informaatiota eri suunnista. Tasokuvantamisessa saadaan siis potilaasta kaksiulotteinen kuva, kun taas yksifotoniemissiotomografiassa saadaan kolmiulotteinen leikekuva. (Knuuti & Kajander 2017a; Saarakkala 2017.) SPET on tarkempi kuvausmenetelmä kuin tasokuvaus, ja siitä on erityisesti hyötyä, kun tutkittavan kohteen kolmiulotteisella muodolla on merkitystä, kuten sydänlihasta tutkittaessa. Haittapuolena on pidempi kuvausaika tasokuvaukseen verrattuna. (Knuuti & Kajander 2017a.)

Gammakamerassa kuva muodostuu ketjussa, jonka muodostavat kohde-elimen sisältämä radioaktiivinen lääkeaine, potilaan muut kudokset, kollimaattori, detektorin ilmaisinkide, valomonistinputket, paikannuselektroniikka, korjauselektroniikka sekä näyttölaitteet. (Saarakkala 2017). Kollimaattorin tarkoituksena on rajata pois vinosti ilmaisinta kohti tuleva säteily, sillä gammasäteilyä emittoituu kaikkiin suuntiin tutkittavasta elimestä. Kollimaattorityyppejä on useita erilaisia, kuten suorareikäinen ja neulanreikäkollimaattori. Eniten käytetty kollimaattori gammakuvauksessa on suorareikäinen, jossa laite päästää lävitseen kohtisuoraan detektorin pintaa vastaan tulevat gammafotonit ja rajaa vinosti tulevat pois. Suorareikäinen kollimaattori ei muuta kuvan geometrisiä mittasuhteita, kuten muut kollimaattorit

tekevät. (Wernick & Aarsvold 2004, 130-134; Saarakkala 2017.) Esimerkiksi neulanreikäkollimaattorilla saadaan muodostettua voimakkaasti suurennettu kuva, jolla voidaan kuvata muun muassa kilpirauhasta ja näin ollen saadaan hyödynnettyä koko detektorin kuva-alue kuvanmuodostuksessa (Saarakkala 2017). Detektorin ilmaisinkiteen tarkoituksena on muuttaa gammasäteily näkyviksi valontuikahduksiksi, jotka muuttuvat sähköisiksi jänniteimpulsseiksi valonmonistinputkissa. Jännitepulssien avulla saadaan muodostettua kuva radioaktiivisen aineen jakautumisesta tutkittavassa elimessä. (Wernick & Aarsvold 2004, 130-134; Saarakkala 2017.) Koska ilmaisinkiteestä emittoituneen valoimpulssin voimakkuus on suoraan verrannollinen tulevan fotonin energiaan, täytyy gammakamera aina kalibroida käytettäville radionuklideille, jotta tiedetään kuinka suuren jänniteimpulssin tuottaa gammafotoni, jolla on kyseisen radionuklidin energia (Saarakkala 2017).

Isotooppikuvausten kuvausajat vaihtelevat 15 minuutista jopa yli tuntiin, sillä gammakamera mittaa aina yhden gammafotonin kerrallaan määrittäen sen paikan x- ja y-suunnassa sekä laskien sen energian (Saarakkala 2017). Gammakameralla voidaan tehdä myös kaksoisisotooppikuvaus, jossa potilas on saanut kahta eri isotooppia samanaikaisesti. Tämä on mahdollista, koska isotooppien hajoamisessa vapautuneet gammakvantit ovat energialtaan erilaiset. (Kemppainen & Tuokkola 2018a.) Gammakameralla voidaan ottaa sekä staattisia kuvia, jossa potilaasta otetaan tarvittava määrä kuvia eri suunnista ja eri aikoina, että dynaamisia kuvia, jossa seurataan reaaliajassa radiolääkkeen saapumista ja poistumista tutkittavassa elimessä. Koska gammakameralla mitataan radiolääkkeestä emittoituvaa säteilyä ei kuvaaminen aiheuta potilaalle säderasitusta ja näin ollen potilaasta voidaan ottaa lisäkuvia ilman, että potilaan saama säderasitus kasvaa. (Saarakkala 2017; Kemppainen & Tuokkola 2018a.)

### 2.3.2 Positroniemissiotomografia

Positroniemissiotomografia mahdollistaa fysiologisten toimintojen kvantitatiivisen mittaamisen sekä paremman resoluution ja herkkyyden, mikä erottaa PET:n muista isotooppikuvantamisista. Lisäksi PET:ssä käytettävillä merkkiaineilla

voidaan kuvantaa kudosten verenkiertoa ja aineenvaihduntaa, lääkeaineiden jakautumista kudoksissa sekä välittäjäaineita ja reseptoreita. (Korpela 2004, 239.)

PET-kuvantaminen perustuu radiolääkkeenä käytettäviin positronisäteileviin isotooppeihin (Saarakkala 2017; Janatuinen & Kemppainen 2020). Positroni ( $\beta^+$ -hiukkanen) on elektronin antihiiukkanen, joka ei etene ihmisen kudoksessa pitkälle, vaan emission jälkeen törmää ympärillä olevan kudoksen elektroneihin. Tätä törmäystä kutsutaan annihilaatioksi, jonka johdosta syntyy kaksi vastakkaisiin suuntiin menevää gammafotonia, joiden molempien energia on 511 kiloelektronivoltia (keV). (Ikäheimonen 2002, 21&43; Saarakkala 2017.) PET:n edellytyksenä on, että nämä molemmat gammafotonit pystytään havaitsemaan vastakkaisilta puolilta yhtä aikaa. Tästä syystä PET:ssä käytetään kehädetektoria, joka koostuu lukuisista yksittäisistä detektorielementeistä. PET-kameran ja gammakameran toimintaperiaate on muuten samanlainen, paitsi PET-kamerassa ei tarvita kollimaattoreita. Tämä johtuu siitä, että PET:ssä tutkitaan kahta vastakkaisiin suuntiin emittoivaa gammafotonia, joten riittää, että detektori pystyy havaitsemaan kaksi 180 asteen kulmassa olevaa 511 keV:n gammafotonia riittävän lyhyen aikavälin sisällä. Kehädetektorista johtuen PET on herkempi, sekä sen paikkaresoluutio on parempi kuin SPET:n. Paremman herkkyyden johdosta PET:llä pystytään erottamaan pienemmät radiolääkekertymät elimistöstä, mikä parantaa esimerkiksi syövän varhaisvaiheiden diagnostiikkaa. (Saarakkala 2017.)

### 2.3.3 Fuusiokuvantaminen

Fuusiokuvantamisen tarkoituksena on yhdistää isotooppikuvantamisen antama biologinen informaatio tarkempaan anatomiseen tietoon. Tämä onnistuu niin sanotuilla hybridilaitteilla, jossa PET- tai gammakamera on yhdistetty tietokonetomografia (TT)- tai magneettilaitteeseen. Tällä tavoin tutkittavasta kohteesta saadaan sekä tarkkaa anatomista, että fysiologista tietoa. (Knuuti & Kajander 2017a.) Tavoitteena PET-fuusiokuvantamisessa on lisätä tietoa taudin alkuperästä, pahanlaatuisuudesta, sijainnista, sopivimmasta



näytteenottopaikasta, levinneisyydestä, hoidon tehosta ja taudin uusiutumisesta sekä auttaa valitsemaan sopivin ja oikea-aikaisin hoito (Kempainen & Tuokola 2018b; Janatuinen & Kempainen 2020). Hybridilaitteilla voidaan ottaa potilaasta samanaikaisesti molemmat kuvaukset, jolloin potilaan ei tarvitse siirtyä laitteesta toiseen. Potilaalle voidaan antaa myös varjoainetta, jota käytetään yleisesti TT-kuvauksessa ja tämän avulla saadaan parannettua elimistön rakenteiden erottumista. Fuusiokuvantaminen on mahdollista kaikissa yliopistosairaaloissa ja PET-TT onkin korvannut diagnostisena menetelmänä PET:n kokonaan. (Knuuti & Kajander 2017a.)

Tietokonetomografian toinen merkittävä hyöty isotooppikuvantamisessa on vaimenemiskertoimen pienentäminen. Isotooppikuvantamisessa (PET & SPET) radiolääkkeen emittoiva gammasäteily vaimenee ihmisen kudoksissa riippuen siitä, miten syvällä tai mihin kudokseen radiolääke hakeutuu. (Knuuti & Kajander 2017a; Saarakkala 2017.) Esimerkiksi kaksi saman aktiivista radiolääkekertymää potilaassa voi antaa lopullisessa kuvassa tulokseksi erilaisen aktiivisuuden, riippuen siitä missä radiolääkekertymä sijaitsee. Jos vaimenemiskerrointa ei oteta huomioon, aktiivisuuksien vertailu lopullisessa kuvassa on hankalaa. Tietokonetomografian avulla pystytään mittaamaan säteilyn vaimenemista, jolloin isotooppikuvantamisesta saadut aktiivisuusarvot voidaan korjata TT:stä saatavien vaimenemiskertoimien perusteella. Vaimenemiskertoimet voidaan määrittää myös eri kudostyypeille kuten luukudokselle tai ilmalle, jolloin saadaan tarkempi vaimenemiskorjaus. Vaimenemiskorjauksen jälkeen pystytään vertailemaan lopullisissa kuvissa nähtäviä aktiivisuusarvoja. (Saarakkala 2017.) PET-TT:n tärkein käyttöaihe on syöpätautien kuvantaminen (Knuuti & Kajander 2017b). SPET-TT:n ja PET-TT:n heikkouksena on lisääntynyt säteilylle, sillä TT:ssä käytetään röntgensäteilyä kuvan muodostukseen (Kaijaluoto & Liukkonen 2018, 14; TYKS 2022). Radiolääkkeistä johtuvasta säteilyaltistumisesta isotooppitutkimuksissa aiheutuu keskimäärin noin 3,5 millisievertin (mSv) suuruinen altistuminen ja TT lisää säteilyaltistumista noin 1,8 mSv:llä (Kaijaluoto & Liukkonen 2018, 14). Vertailuna voidaan käyttää suomalaiselle säteilystä aiheutuvaa keskimääräistä annosta vuodessa, joka on 5,9 mSv:tä (STUK 2020c).

Positroniemissiotomografia-magneettikuvaus (PET-MK) on fuusiokuvausmenetelmä, jossa käytetään eri PET-merkkiaineiden ja magneettikuvaussarjojen yhdistelmiä. PET-MK-kuvausmenetelmä on vielä kehitysvaiheessa ja Suomen tällä hetkellä ainoa PET-MK laite sijaitsee PET-keskuksessa. Magneettikuvaus perustuu säteilyttömään radiologiseen menetelmään, joka pystyy antamaan elinten erilaisten protonitiheyksien perusteella tarkan kuvan elimistön rakenteesta. PET-MK:ta käytetään kliinisessä työssä eniten syöpätautien diagnostiikassa ja hoidossa, sekä muun muassa infektio- ja lastentautien tutkimisessa. PET-TT:n verrattuna PET-MK:ssa on parempi pehmytkudosten erottelukyky, sekä pienempi säderasitus, mutta sen kuvausaika ja kustannukset ovat suuremmat. (Tuokkola & Knuuti 2018.) PET-TT:llä sen sijaan pystytään tutkimaan keuhkojen syöpiä paremmin, sillä PET-MK:lla tutkittaessa kudskontrasti keuhkoissa on huonompi (Janatuinen & Kempainen 2020). PET-MK kuvissa virheitä esiintyy eniten niillä kuvausalueilla, joissa on runsaasti luukudosta, sekä ilma luun vierellä lisää edelleen virheen esiintyvyyttä. PET-MK-kuvantaminen on erityisesti hyödyllinen tilanteissa, jossa on paljon huonosti erottuvia yksityiskohtia (kaulan ja pikkulantion alueella), jos leikkauksen jälkeiset muutokset ovat huomattavat, jos säteilyannoksen pienentäminen on perusteltua (lapset), tai jos kasvainten oletetaan levinneen vain lähialueille. (Tuokkola & Knuuti 2018.)

## 2.4 Eri elinten isotooppitutkimukset

### 2.4.1 Syöpätautien isotooppikuvantaminen

Syöpätautien kuvantaminen on PET-TT:n tärkein kliininen käyttöaihe. Tutkimusta hyödynnetään muun muassa muutosten pahanlaatuisuuden arvioinnissa, syövän levinneisyyden selvittelyssä, hoitovasteen arvioinnissa sekä uusiutumisen toteamisessa. (Knuuti & Kajander 2017a.) Menetelmä on herkkä ja sen avulla pystytään havaitsemaan syövän aiheuttamat aineenvaihdunnan muutokset varhain, jo ennen anatomisia muutoksia (Kempainen ym. 2020). Varhaisten muutosten havaitsemisesta on hyötyä erityisesti syövän hoitovasteen sekä

uusiutumisen arvioinnissa (Schildt ym. 2020). PET-kuvantamisen avulla voidaan myös havaita entistä pienempiä imusolmuke-etäpesäkkeitä sekä erottaa aktiivinen kasvainkudos arpikudoksesta. Imusolmuke- sekä muiden etäpesäkkeiden havaitseminen on menetelmän suurin etu syövän levinneisysselvittelyssä. (Kemppainen ym. 2020.)

Kuvantamistuloksella on eniten merkitystä syövän hoitomuodon valinnassa. PET-tutkimusta ei suoriteta kaikille syöpäpotilaille vaan kallis tutkimus pyritään kohdentamaan niille, joiden hoitoihin löydöksellä on vaikutusta. Jos esimerkiksi muiden kuvantamismenetelmien perusteella tiedetään syövän levinneen laajalle eikä PET tuo lisäarvoa hoitomuodon valintaan, ei tutkimusta silloin tehdä. (Kemppainen ym. 2020.)

Syöpäkasvainten PET-kuvantamisessa käytetään merkkiaineena pääasiassa  $^{18}\text{F}$ -fluorodeoksiglukoosia, joka kulkeutuu kiihtyneen glukoosimetabolian alueille. Useimmissa syöpätyypeissä kasvaimen glukoosiaineenvaihdunta on kiihtynyttä ja aineenvaihdunnan voimakkuus on myös yhteydessä syövän aggressiivisuuteen. FDG kertymää ei välttämättä havaita hitaasti kasvavissa ja hyvin erilaistuneissa syövässä, kuten neuroendokriiniset kasvaimet ja eturauhassyöpä. (Kemppainen ym. 2020.)

#### 2.4.2 Sydämen isotooppikuvantaminen

Sydämen isotooppitutkimuksia käytetään pääasiassa sydänlihaksen verenkierron eli perfuusion kuvantamiseen. Perfuusion kuvausta käytetään sepelvaltimotaudin diagnostiikassa ja vaikeusasteen arvioinnissa ja yleisin tähän käytetty isotooppikuvantamismenetelmä on SPET. (Kajander & Knuuti 2018,177.) PET on perfuusion kuvantamiseen vähemmän käytetty menetelmä sen merkkiaineiden korkean hinnan ja huonon saatavuuden vuoksi. PET on kuitenkin ainoa menetelmä, jolla perfuusiota pystytään mittaamaan kvantitatiivisesti, eikä vain suhteellisina eroina kuten gammakuvauksessa. (Saraste & Knuuti 2012.) Sydänlihaksen perfuusion PET-kuvantamisessa käytetään merkkiaineina  $^{15}\text{O}$ - $\text{H}_2\text{O}$ :ta eli radiovettä,  $^{13}\text{N}$ -ammoniakkia tai

$^{82}\text{rubidiumia}$ , joista  $^{15}\text{O-H}_2\text{O:n}$  sekä  $^{82}\text{rubidiumin}$  puoliintumisajat ovat hyvin lyhyitä (Kajander & Knuuti 2018, 183). Lyhyen puoliintumisajan ja sen myötä myös lyhyen säderasituksen ansiosta tutkimus on mahdollista uusilla lyhyen ajan sisällä. Tämä mahdollistaa esimerkiksi perfuusion kuvaamisen levossa sekä rasiuksessa samalla tutkimuskäynnillä. (Laitinen & Knuuti 2020.)

Myös sydämen aineenvaihduntaa voidaan kuvata PET:n avulla (Laitinen & Knuuti 2020). PET-kuvausta yhdistettynä tietokonetomografiaan hyödynnetään epäiltäessä tulehduksellista sydänsairautta, kuten sydänsarkoidoosia. Yleisin tutkimuksessa käytetty merkkiaine on  $^{18}\text{F}$ -fluorodeoksiglukoosi, joka kertyy glukoosia aineenvaihdunnassaan käyttäviin kudoksiin. Tulehdussolut käyttävät glukoosia energianlähteenään, minkä johdosta tulehdukselliset sairaudet soveltuvat hyvin menetelmällä kuvattaviksi. (Hedman ym. 2012.) Sydänlihaksen käyttää normaalitilanteessakin energialähteenä glukoosia, mikä voi näkyä kertyminä  $^{18}\text{F-FDG}$  PET/TT kuvauksessa ja siten heikentää kuvauksen luotettavuutta. Jotta kuvista erotetaan patologinen kertymä, fysiologista kertymää vähennetään tutkimusta edeltävällä paastolla sekä mahdollisella vähähiilihydraattisella ja rasvapitoisella ruokavaliolla. Tällöin glukoosin käyttö sydänlihaksessa vähenee ja korvautuu rasvahappojen käytöllä. (Hedman ym. 2012; Laitinen & Knuuti 2020.)

Sydämen perfuusio- ja aineenvaihduntatutkimusten tuottamaa informaatiota yhdistämällä voidaan tutkia sydämen elinkykyisyyttä eli viabiliteettia. Tutkimusten tuottaman informaation avulla voidaan erottaa elinkelpoinen sydänlihaksen arpi- ja nekroosialueesta. Toiminnan palautuminen sydänlihaksen alueelle, jossa ei ole perfuusiota eikä  $^{18}\text{F-FDG}$ -kertymän osoittamaa metaboliaa, on epätodennäköistä. Sen sijaan perfuusiopuutosalueen, jonka metabolia on säilynyt normaalina, toiminta palautuu suurella todennäköisyydellä normaaliksi verenkierron palaututtua. (Laitinen & Knuuti 2020.)

### 2.4.3 Aivojen isotooppikuvantaminen

Positroniemissiotomografialla voidaan käytetystä merkkiaineesta riippuen kuvata aivojen verenkiertoa, aineenvaihduntaa, joidenkin proteiinien kertymiä ja välittäjäainejärjestelmien toimintaa. Erona tietokonetomografiaan ja magneettikuvaukseen, joiden avulla kuvataan hermoston rakennetta, PET-kuvaus tarjoaa informaatiota aivokudoksen toiminnasta. PET-kuvantamista käytetään neurologisten sairauksien diagnostiikassa ja erityisesti liikehäiriöiden ja muistisairauksien erotusdiagnoosiin sekä epilepsiapesäkkeen paikantamisessa. Aivojen kuvantamiseen käytetään PET:n lisäksi myös SPET-kuvausta, jonka etuja ovat hyvä saatavuus ja edullisempi hinta. PET-menetelmän paikkaresoluutio on kuitenkin SPET-menetelmää parempi ja merkkiaineita on kliiniseen käyttöön useampia. (Kokkonen ym. 2020.)

Liikehäiriösairauksiin kuuluvassa Parkinsonin taudissa aivojen dopamiinitoiminta heikentyy, mikä voidaan havaita PET- tai SPET-kuvauksella. Kuvauksissa selvitetään presynaptista dopamiinitoimintaa. PET-kuvantamisessa käytetään yleisimmin  $^{18}\text{F}$ -fluorodopa - merkkiainetta, joka kuvaa aivojen dopamiinituotantokapasiteettia. SPET-kuvantamisessa taas käytetään [ $^{123}\text{I}$ ]FP-CIT-merkkiainetta, joka sitoutuu dopamiinitransportteriin. Menetelmistä laajemmin käytössä on SPET. (Kokkonen ym. 2020.)

Alzheimerin taudin diagnostiikassa osoitetaan PET- kuvauksella taudille tyypillisiä amyloidikertymiä. Tähän käytettyjä merkkiaineita ovat  $^{11}\text{C}$ -PIB,  $^{18}\text{F}$ -Flutemetamoli,  $^{18}\text{F}$ -Florbetapiiri ja  $^{18}\text{F}$ -Florbetabeeni. (Kemppainen & Rinne 2018, 283-285; Kokkonen ym. 2020.) Amyloidikertymien kuvantamisen lisäksi voidaan täydentävänä tutkimuksena käyttää  $^{18}\text{F}$ -FDG-PET-kuvausta, jonka avulla havaitaan taudille tyypillinen aivojen heikentynyt aineenvaihdunta ohimolohkojen sisäpinnoilla ja päälaen lohkoissa. (Kokkonen ym. 2020.)

PET-kuvantamista voidaan käyttää epilepsiadiagnostiikassa paikallisalkuisen epilepsian pesäkkeen paikantamiseen. Kuvantamista käytetään erityisesti selvittäessä leikkaushoidon mahdollisuutta vaikeassa epilepsiassa. (Kokkonen ym. 2020.) Tutkimus on diagnostiikassa hyödyllinen myös silloin, kun potilaan

magneettikuva on normaali, epäillään monipesäkkeistä epilepsiaa tai kun muiden tutkimusten tulokset ovat ristiriidassa keskenään. (Loimaala & Mussalo 2018, 279-280; Kokkonen ym. 2020.) PET-kuvauksen avulla voidaan paikantaa epilepsiapesäkkeeseen liittyvä poikkeava verenkierto, glukoosimetabolia tai bentsodiatsepiinireseptoritoiminta. Tutkimus voidaan suorittaa kohtauksen aikana, jolloin kyseessä on iktaalinen tutkimus tai kohtausten välissä, interiktaalinen tutkimus. Kohtausten aikana pesäkkeen metabolia ja verenkierto kiihtyvät, kun taas kohtausten välissä ne ovat normaaliin aivokudokseen verrattuna heikentyneitä. Glukoosimetaboliaa osoittava interiktaalinen  $^{18}\text{F}$ -FDG-PET on PET-menetelmistä käytetyin. (Kokkonen ym. 2020.)

## 2.5 PET-keskus

PET-keskus on valtakunnallinen tutkimuskeskus, jossa käytetään positronisäteileviä isotooppeja lääketieteellisessä tutkimuksessa. 1970-luvulla perustettu keskus sijaitsee Turussa ja on Turun yliopiston, Åbo Akademin ja Turun yliopistollisen keskussairaalan yhteinen. PET-keskus muodostuu kiihdytinlaboratoriosta, radiofarmaseuttisen kemian laboratoriosta, sekä prekliinisestä ja kliinisestä kuvantamislaboratoriosta. Keskuksessa työskentelee noin 200 eri tutkimusalojen työntekijää ja tutkijaa. Tällä hetkellä PET-keskuksessa on yhteensä viisi PET-kameraa ja neljä syklotronia. PET-keskuksen toimintaan kuuluu diagnostisten palveluiden tuottaminen sekä korkeatasoinen tieteellinen tutkimustyö. Tieteellisessä tutkimustyössä on kuusi pääaihetta, joita ovat sydän- ja verisuonitutkimus, aivotutkimus, syöpätutkimus, prekliininen kuvantaminen ja lääketutkimus, tietojenkäsittely ja kuva-analyysi sekä radiokemian tutkimus. (Turku PET Centre 2022a.)

Turun PET-keskuksesta tuli Suomen positronikuvantamisen keskusta, kun ensimmäinen syklotroni asennettiin 1970-luvulla. Lisäksi se oli yksi ensimmäisistä laboratorioista Euroopassa, joka pystyi tuottamaan  $^{18}\text{F}$ -FDG merkkiainetta. Vuonna 1988 saatiin ensimmäinen kokovartalo-PET-skanneri, jonka johdosta tieteelliset PET-tutkimukset voitiin aloittaa. PET-keskus sai vuonna 1996 opetusministeriöltä valtakunnallisen aseman, joka lisäsi resursseja

henkilöstön palkkaamiseen. PET- keskus tekee tiivistä yhteistyötä myös kansainvälisellä tasolla. PET-keskuksesta on tuotettu väitöskirjoja jo yli 100 kappaletta, sekä tieteellisiä artikkeleita lähes 2000. (Turku PET Centre 2022b.)

PET-keskukseen on hankittu vuonna 2022 uudenlainen koko kehon PET-kamera Biograph Vision Quadra. Kirjoitushetkellä vastaavia laitteita rutiinikäytössä maailmalla on vain yksi PET-keskuksen lisäksi (Turun yliopisto 2021.) Kameran avulla saadaan kuvattua koko keho kerrallaan ja rekisteröidä, mitä elimistössä kuvaushetkellä tapahtuu. Tämä avaa uusia mahdollisuuksia tutkia sairauksia, jotka vaikuttavat koko elimistöön yhden elimen sijasta. Tällaisia koko elimistöön vaikuttavia sairauksia ovat muun muassa MS-tauti ja sepelvaltimotauti. Kameran avulla saadaan esimerkiksi ensimmäistä kertaa kuvattua sepelvaltimotautipotilaan sydän ja aivot samanaikaisesti. Uusi laite on 10-20 kertaa herkempi kuin tavallinen PET-kuvauslaite, sekä huomattavasti nopeampi. Näiden etujen ansiosta potilaan saama säteilyrasitus pienenee huomattavasti, jonka johdosta myös lasten kuvaaminen on turvallisempaa uudella laitteella. Turun PET-keskus tekee kansainvälistä yhteistyötä, jonka tarkoituksena on ratkoa koko kehon PET-kuvantamiseen liittyviä teknisiä haasteita, sekä tehdä tieteellistä yhteistyötä. Turun PET-keskuksessa sijaitsee Euro-Biomed Imaging-kuvantamisinfrastruktuurin päämaja, jonka johdosta koko kehon laitetta pääsee avoimesti käyttämään tutkijat ympäri maailmaa. (Siemens Healthcare Oy 2022.)

### 3 Verkko-opinnot

Verkko-opinnot ovat verkossa suoritettavia opintoja, joille on rakennettu verkkopohjainen oppimisympäristö. Verkko-oppimateriaaleja voi opiskella opettajan johdolla tai itsenäisesti. (Opintopolku.fi.) Verkkopohjainen oppimisympäristö toteutetaan internetiä ja verkkoalustoja hyödyntäen ja se muodostuu muun muassa keskustelualueista, linkeistä, chateista ja hypermediasta. Verkkokurssilla tarkoitetaan tiettyihin oppimistavoitteisiin perustuvaa rajattua verkkosivustoa. Verkkokurssi on aikataulutettu sekä ohjattu opetussuunnitelmaan perustuva kokonaisuus, jossa on mukana erilaiset vuorovaikutusmahdollisuudet kuten sähköposti, sekä opiskelua tukeva oppimateriaali. (Matikainen & Pasanen 2003, 28.) Verkkokurssien hyvä puoli on se, että ne mahdollistavat joustavan opiskelun oman aikataulun mukaan, sekä verkkokeskustelut ja videoneuvotteluyhteydet mahdollistavat opettajan ja opiskelijan välisen vuorovaikutuksen ilman fyysistä läsnäoloa (Keränen & Penttinen 2007, 3). Verkko-oppimateriaali voi olla lineaarista tekstiä tai itseopiskelumateriaalia, jossa on oppimista tukevia hypertekstiominaisuuksia sekä vastausautomaattia. (Matikainen & Pasanen 2003, 28.) Verkkopetoksessa opiskelijoilta vaaditaan paljon itsenäistä työskentelyä ja laadukasta oppimisen ohjausta ja oppimismateriaaleja, sillä opiskelija ja opettaja eivät välttämättä tapaa koko oppimisprosessin aikana. Verkkokurssien vuorovaikutus eroaa lähiopetuksessa kasvokkain tapahtuvasta vuorovaikutuksesta. (Löfström ym. 2010, 15.)

Oppimisella tarkoitetaan pään sisällä tapahtuvia kognitiivisia prosesseja, jotka mahdollistavat opitun taidon tai tiedon havaitsemisen, mieleen painamisen, ymmärtämisen ja soveltamisen. Opiskelulla tarkoitetaan sen sijaan oppijan aktiivista, ulkoisesti havaittavaa toimintaa, jonka tavoitteena on oppiminen. Opiskelua voi olla kirjan tai tekstin lukeminen, esseiden kirjoittaminen, verkkokeskusteluun osallistuminen, luontojen seuraaminen tai tenttiin osallistuminen, sekä harjoittelu. (Matikainen & Pasanen 2003, 30.) Verkko-oppiminen vaatii yhtä lailla aikaa kuin muukin oppiminen. Oppimisen kannalta



keskeisiä tekijöitä ovat motivaatio, opittujen asioiden muistaminen sekä tiedon soveltaminen ja syventäminen (Keränen ja Penttinen 2007, 3). Oppimisen tulisi olla mielekästä ja mielekkään oppimisen edellytyksenä onkin, että opiskelija kokee ratkovansa ongelmia ja tutkivan asioita, jotka ovat hänelle aktuaalisia ja todellisia. Mielekästä oppimista edistää myös oppimisympäristö, jonka tulisi olla konstruktiiivisesti rakennettu, adaptiivinen, sekä antaa mahdollisuuden erilaisille oppijille edetä yksilöllisesti. Hyvän oppimisympäristön tulisi olla monimuotoinen, päämääräsuuntautunut ja tavoitteellinen, sekä sen tulisi edistää dialogisuutta ja vuorovaikutteisuutta. (Nevgi & Tirri 2003, 31,35.)

Hyvään verkko-oppimisympäristöön tulisi olla rakennettu elementtejä, joiden avulla opiskelija voi etsiä ja analysoida tietoa. Oppimisympäristössä tulisi käyttää simulaatioita, videoita ja internet-linkkejä. Siellä tulisi olla yhteiset keskustelutilat ja jokaisella opiskelijalla tulisi olla sähköpostiyhteys opettajaan, sekä oppimisympäristöön olisi rakennettu hypertekstejä ja tietopankkeja, ongelmanratkaisutehtäviä ja suunnittelutehtäviä. Lisäksi verkko-oppimisympäristön tulisi sisältää oppimisen suunnittelun, seurannan ja arvioinnin välineitä, jotta opiskelijalla olisi esimerkiksi mahdollisuus suunnitella ja arvioida omat henkilökohtaiset tavoitteensa. Verkko-oppimisen esteet voidaan karkeasti jakaa kahteen pääalueeseen, joita ovat opiskelijalähtöiset ja organisaatiolähtöiset esteet. Opiskelijalähtöisiä esteitä voi olla esimerkiksi tietoteknisen osaamisen puute, riittämättömät verkkoyhteydet tai tietotekniikka, vaikeudet tulkita ja vastaanottaa palautetta, osaamattomuus liikkua verkkoympäristössä tai haasteet tunnistaa avun ja neuvon tarve. Organisaatiolähtöisiä esteitä voi olla muun muassa tekniikan ja ohjelmistojen soveltumattomuus suurelle yleisölle, liian suuret verkkosivustot, jotka eivät aukea, opettajan puutteelliset tekniikka taidot ja palautteiden hitaus, huonosti suunniteltu toteutus tai olemattomat ohjaus- ja neuvontapalvelut. (Nevgi & Tirri 2003, 36–37.)

### 3.1 Opiskelijoiden kokemuksia verkko-opiskelun hyödyistä ja haitoista

Dung (2020) on tutkinut millaisia kokemuksia vietnamilaisen yliopiston englannin kielen opiskelijoilla sekä opetushenkilökunnalla on verkko-opiskelun haitoista ja hyödyistä. Tutkimuksessa verkkokyselyyn vastasi 205 opiskelijaa, jonka lisäksi 79 opiskelijaa ja 22 luennoitsijaa haastateltiin.

Kyselyn perusteella opiskelijoiden kokemia verkko-opiskelun hyötyjä olivat esimerkiksi aiemmin matkustukseen kuluneen ajan säästyminen (95,5 %), itsenäiseen opiskeluun jäävä aika (60 %), uudet oppimisen muodot (81 %) sekä lähdemateriaalin helppo saatavuus verkossa (60 %). Verkko-opiskelun haitoiksi kyselyssä ilmeni muun muassa liiallinen ruutuaika (93,6 %) sekä liikkumisen vähyys (91,1 %). Verkko-opiskelun koettiin tarjoavan hyvin vähän mahdollisuuksia sosiaaliselle kanssakäymiselle muiden opiskelijoiden kanssa (75,6 %) sekä sosiaalisten taitojen kehittämiseksi (89,2 %). Myös kanssakäymistä opettajan kanssa koettiin olevan liian vähän (56,7 %). Opiskelijat kärsivät keskittymisvaikeuksista (72,8 %) ja itsekurin puutteesta sekä kokivat kurssiaikataulun noudattamisen vaikeaksi (51 %). Suuri osa vastanneista pelkäsi verkossa suoritettavia tenttejä (80,2 %). Opiskelijat pelkäsivät tehtävien katoavan huonon verkkoyhteyden takia ja heidän tietoteknisten taitojensa puutteen vaikuttavan heidän suoriutumiseensa. Kyselystä ja haastatteluista saadut tulokset olivat keskenään samankaltaisia. (Dung 2020, 45–48.)

Tutkimustulosten perusteella Dung (2020) tarjoaa ehdotuksia, joiden avulla kurssien laatua voitaisiin parantaa. Hänen mukaansa opiskelijoiden edistymistä tulisi arvioida koko kurssin ajan, jolloin lopputenttiin ei kohdistuisi niin suuria paineita tai pelkoa. Opettajan tulisi järjestää verkkoluennoille enemmän tehtäviä, jotka kannustaisivat opiskelijoiden väliseen kanssakäymiseen. Opetusmateriaalin ja tehtävien tulisi olla käytettävissä sekä älypuhelimella että tietokoneella, jolloin opiskelijat eivät joudu eriarvoiseen asemaan käyttämänsä laitteen perusteella. Opiskelijoille tulisi tarjota myös tietoteknistä tukea ja mahdollisuus edetä kurssilla huonosta verkkoyhteydestä huolimatta.

## 4 Opinnäytetyön tarkoitus ja tavoite

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on laatia Turun ammattikorkeakoulun bioanalytikko-opiskelijoille verkko-opinnot isotooppilääketieteestä Itslearning-verkkoalustalle. Tämä opinnäytetyö on toiminnallinen opinnäytetyö.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on edistää bioanalytikko-opiskelijoiden osaamista isotooppilääketieteestä, PET-keskuksen toiminnasta sekä keskeisimmistä radiolääkkeistä ja isotooppitutkimuksista. Opinnäytetyön tuotoksena valmistuvan verkkototeutuksen ansiosta opiskelija saa teoriapohjan isotooppilääketieteestä ja siten paremmat valmiudet esimerkiksi Laajentava erikoisalan osaaminen -harjoittelujakson suorittamiseen PET-keskuksessa. Lisäksi verkkototeutus mahdollistaa opiskelijalle uuden vaihtoehdoisen tavan suorittaa osan Asiantuntijana terveysalan toimintaympäristössä 1 & 2 – opintojaksoista.

## 5 Opinnäytetyön tuotos ja sen tarkastelu

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja on Turun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö on osa Turun ammattikorkeakoulun hanketta Työelämäyhteistyön ja opetusmenetelmien kehittäminen bioanalytikkokoulutuksessa. Opinnäytetyön aihe valittiin syksyllä 2021. Aihe jaettiin kahteen eri opinnäytetyöhön, joiden yhteisenä tuotoksena syntyi kahden (2) opintopisteen suuruinen verkkokurssi, josta tämä opinnäytetyö kattaa yhden (1) opintopisteen. Aihe rajattiin yhdessä toisen opinnäytetyön tekijöiden kanssa ja verkkokurssin sisältö jaettiin kahden opinnäytetyön kesken. Tämän opinnäytetyön tuotos sisältää radiolääkkeet, puhdistilatyöskentelyn, laadunohjauksen, isotooppikuvantamismenetelmät, eri elinten isotooppitutkimuksia sekä PET-keskuksen esittelyn ja siellä työskentelevän bioanalytikon haastatteluvideon.

Opinnäytetyön suunnitelmaa aloitettiin kirjoittamaan alkuvuodesta 2022. Suunnitelman edetessä oltiin yhteydessä PET-keskukseen haastattelun toteuttamisesta. Keväällä pidettiin PET-keskuksen osastonhoitajan kanssa etäpalaveri, jossa sovittiin tutustumiskäynti PET-keskukseen ja joka toteutui toukokuussa 2022. PET-keskuksen rooli tässä opinnäytetyössä oli osallistua haastatteluvideon toteuttamiseen antamalla luvan kuvata tilojaan ja mahdollistamalla työntekijän haastattelu. PET-keskukselta ei vaadittu muuta osallistumista opinnäytetyön toteutukseen. Valmiille opinnäytetyösuunnitelmalle laadittiin opinnäytetyösopimus Turun ammattikorkeakoulun ja Turun PET-keskuksen kanssa keväällä 2022.

Syksyllä 2022 aloitettiin opinnäytetyöraportin kirjoittaminen. Syyskuussa sovittiin vielä toinen tutustumiskäynti PET-keskukseen, jossa suunniteltiin haastattelun toteutusta ja kuvattavia kohteita sekä sovittiin kuvauspäivät. Haastatteluvideo kuvattiin ja editoitiin lokakuussa. Haastattelukysymykset (taulukko 2) laadittiin ennen kuvauspäiviä ja kysymykset muovautuivat haastattelun edetessä. Videoklipit kuvattiin ja haastattelu sekä kuvattiin että äänitettiin puhelimella. Haastatteluvideo editoitiin CapCut-sovelluksella.

1.	Mitä perehdytys sisältää?
2.	Mitä bioanalyytikon toimenkuvaan kuuluu?
3.	Mikä PET-keskuksessa on erityistä?
4.	Mitä pidät työstäsi?
5.	Mikä on haastavinta työssäsi?
6.	Miksi PET-keskukseen harjoitteluun?

Taulukko 2. Haastattelukysymykset.

Verkkototeutuksen oppimateriaalien teko aloitettiin syksyllä raportin viitekehyksen valmistuessa. Verkkokurssi toteutettiin Itslearning-alustalla. Alustalle koottiin kummankin opinnäytetyöryhmän valmiit oppimateriaalit ja tentit. Tämän opinnäytetyön oppimateriaalit koostuvat viidestä PowerPoint-esityksestä, viidestä Youtube-videosta, viidestä artikkelista, oppaasta ja haastatteluvideosta. Kurssin sisällön osa-alueet nähdään taulukossa 3. Jokaisesta osa-alueesta on automaattitarkastetut tentit, jotka sisältävät monivalintatehtäviä, aukkotehtäviä ja yhdistelytehtäviä. Verkkototeutuksen arviointi on muotoa hyväksytty/hylätty. Hyväksytyin arvioinnin saamiseksi kaikista tenteistä täytyy saada 100 % oikein, sekä kaikki tehtävät täytyy olla suoritettuina. Tenteissä on rajaton määrä yrityskertoja.

Kurssin suoritettuaan opiskelija tietää radioaktiivisuuden peruskäsitteitä, turvallisen isotooppityöskentelyn periaatteet, isotooppitoimintaa ohjaavat säteilysuojelusäädökset sekä viranomaismääräykset. Opiskelija osaa kuvailla pääpiirteittäin isotooppilääketieteessä käytettävien laitteiden toimintaperiaatteet sekä tuntee eri isotooppikuvantamistekniikat ja niiden käyttökohteet. Opiskelija tietää radiolääkkeiden toimintaperiaatteen ja miten niitä valmistetaan. Opiskelija ymmärtää radiolääkkeen laatukriteerit sekä puhdistilatyöskentelyn merkityksen. Opiskelija tietää miten isotooppikuvantamismenetelmiä hyödynnetään tautien diagnostiikassa ja seurannassa. Opiskelija tutustuu PET-keskuksen toimintaan ja bioanalyytikon toimenkuvaan siellä.

1. Isotooppikuvantaminen Gammakuvaus, positroniemissiotomografia & fuusiokuvantaminen
2. Radiolääkkeet Radiolääke, valmistus ja anto, radiolääkkeen toimintaperiaate Puhdastilatyöskentely Laadunohjaus
3. Eri elinten isotooppitutkimukset ja niiden kuvantamismenetelmät Miksi tutkitaan, millä radiolääkkeellä ja millä kuvantamismenetelmällä
4. PET-keskus Bioanalyytikko PET-keskuksessa-haastatteluvideo

Taulukko 3. Verkko-opintojen osa-alueet.

### 5.1 Opinnäytetyön metodologiset lähtökohdat

Toiminnallisen opinnäytetyön tavoitteena on käytännön toiminnan ohjeistaminen, opastaminen ja järjestäminen. Toiminnallisena opinnäytetyönä voidaan toteuttaa esimerkiksi käytäntöä ohjaava ohje, ohjeistus tai opas. Tuotoksen kriteerejä ovat käytettävyys ja asiasisällön sopivuus kohderyhmässä, tuotteen houkuttelevuus, informatiivisuus, selkeys ja johdonmukaisuus. Toiminnallisen opinnäytetyön toteutuksessa on otettava huomioon lähdekritiikki. (Vilka & Airaksinen 2003, 9, 53.) Tämä opinnäytetyö on toiminnallinen opinnäytetyö, koska tuotoksena saadaan oppimateriaalit isotooppilääketieteestä. Materiaaleista tehdään selkeitä ja johdonmukaisesti eteneviä kokonaisuuksia. Työhön valitaan vain luotettavia lähteitä.

Toiminnallinen opinnäytetyö sisältää toiminnallisen osuuden ja opinnäytetyön raportin, johon kuuluu prosessin dokumentointi ja arviointi. Opinnäytetyöprosessi käynnistyy laatimalla suunnitelma, jonka alussa rajataan työlle aihe sekä määritellään työlle tarkoitus ja tavoitteet. (Saastamoinen ym. 2018.) Tämä opinnäytetyö sisältää toiminnallisen osuuden, eli verkkokurssin, sekä opinnäytetyöraportin.

## 5.2 Opinnäytetyön eettiset lähtökohdat

Tämän opinnäytetyön tuotoksena syntyvä verkkototeutus mahdollistaa bioanalyttikko-opiskelijoille isotooppilääketieteen perusteiden opiskelun Turun ammattikorkeakoulussa. Tämä lisää bioanalyttikko-opiskelijoiden vaihtoehtoja valita erilaisia opintoja Asiantuntijana terveystieteen toimintaympäristössä 1 & 2 -opintojaksoihin. Tälle opinnäytetyölle laadittiin sen toteuttamiseen tarvittava opinnäytetyösopimus yhdessä opinnäytetyöhön osallistuvien tahojen kanssa. Opinnäytetyössä ei käsitellä henkilötietoja.

Hyvän tieteellisen käytännön mukaisia toimintatapoja ovat rehellisyys, yleinen huolellisuus ja tarkkuus. Hyvissä tieteellisissä toimintatavoissa otetaan huomioon tutkijoiden työt ja saavutukset asianmukaisella tavalla ja annetaan heidän saavutuksilleen niille kuuluva arvostus. (Kuula 2006, 34–35; TENK 2012.) Tässä opinnäytetyöraportissa sekä opinnäytetyön tuotoksessa noudatetaan edellä mainittuja hyvän tieteellisen käytännön mukaisia toimintatapoja esimerkiksi merkitsemällä lähdeviitteet ja lähdeluettelo oikeaoppisesti. Opinnäytetyön tuotos perustuu vain luotettaviin lähteisiin.

Tutkittavalle täytyy ilmoittaa, että tutkimusaineistoa käytetään vain aihetta koskevassa opetuksessa, sekä missä ja kuinka kauan tutkimusaineistoa säilytetään. Kun aineisto kerätään suoraan tutkittavilta ja se tallennetaan sellaisenaan, kuten haastattelut, tarvitaan sekä kirjallinen informointi että tutkittavan vapaaehtoinen suostumus. (Kuula 2006, 115–116, 119.) Tässä opinnäytetyössä tehdään videohaastattelu, jossa haastatellaan PET-keskuksessa työskentelevää bioanalyttikkoa. Haastateltavalle kerrotaan, että videohaastattelu julkaistaan YouTube-palvelussa piilotettuna ja video on katsottavissa vain Itslearning-kurssialustalle lisätyn linkin kautta. Tämän johdosta vain videon linkin saaneet opiskelijat voivat katsoa videon. Haastatteluvideo on katsottavissa YouTube-palvelussa niin kauan, kuin kurssi on aktiivisena. Opinnäytetyön suunnitelma toimii kirjallisena informointina haastateltavalle ja haastateltava on vapaaehtoisesti suostunut haastateltavaksi.

## 6 Pohdinta

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli laatia Turun ammattikorkeakoulun bioanalyttikko-opiskelijoille verkko-opinnot isotooppilääketieteestä Itslearning-verkkoalustalle. Valmis verkkoalusta sisältää kaksi osiota, joista toinen on tämän opinnäytetyön tuotos. Verkkoalusta pyrittiin luomaan monipuoliseksi kokonaisuudeksi, joka sisältää hyvän verkkoympäristön elementtejä kuten videoita ja internet-linkkejä. Tämä toteutui sisällyttämällä kurssiin PowerPoint-esityksiä, opetusvideoita, artikkeleita ja opinnäytetyön tekijöiden itse tuottama haastatteluvideo.

Viitekehyksen rakentaminen käynnistyi jo suunnitelmavaiheessa. Huolellisesti tehty suunnitelma helpotti raporttivaihetta. Raportin viitekehys päätettiin kirjoittaa ennen verkkokurssin oppimateriaaleja. Oppimateriaalien teko sujui hyvin, sillä teoriapohja oli jo kirjoitettu ja tiedettiin mitä oppimateriaaleilta haluttiin. Oppimateriaaleista oli tarkoitus tehdä selkeitä, monipuolisia ja helposti opiskeltavia. PowerPoint-esityksistä pyrittiin tekemään visuaalisesti miellyttäviä vähentämällä diakohtaista tekstin määrää. Esitysten äänittäminen olisi tehnyt niistä saavutettavimpia ja helpommin seurattavia, jolloin tekstin määrä olisi vähentynyt.

Haastatteluvideo toteutettiin PET-keskuksessa haastattelemalla siellä työskentelevää bioanalyttikkoa. Kuvauspäiviä oli ennalta sovittu yksi, mutta PET-keskuksen laiterikon vuoksi kuvamateriaalia ei saatu yhtä paljon kuin oli suunniteltu, joten materiaalia kuvattiin kahtena päivänä. Haasteena videon editoimisessa oli käsikirjoituksen puute, joka vaikeutti ääniraidan leikkaamista ja videoklippien kokoamista. Vaikeuksia toi myös sopivan editointiohjelman löytäminen. Editointiohjelmaa vaihdettiin kesken editoinnin siinä ilmenneiden puutteiden takia. Video lähetettiin PET-keskukseen hyväksyttäväksi ja sieltä saatu palaute oli erinomaista. Vaikka videon teossa olikin haasteita, lopputulos oli onnistunut ja opettavainen.

Opinnäytetyön aihe oli tekijöille kokonaan uusi, joten aiheeseen perehtyminen oli aikaavievää. Verkkokurssinkin teko oli kokonaan uutta ja sen kokoamisessa oli



haasteita, kuten sisällön tuottaminen kahden ryhmän yhteistyönä. Piti varmistua, että sisällössä ei ole päällekkäisyyksiä ja verkkototeutuksesta piti saada rakenteeltaan yhtenäinen. Ryhmät tekivät verkkokurssia eri lukukausina, joten kommunikaatio yhteisestä sisällöstä toi haasteita. Opinnäytetyön tekijöiden mielestä verkkokurssista saatiin hyvä kokonaisuus, mutta materiaaleja ei keretty testaamaan testiryhmällä, joten tuotoksen onnistumisesta ei voida olla täysin varmoja.

## Lähteet

Dung, D. T. H. 2020. The Advantages and Disadvantages of Virtual Learning. IOSR Journal of Research & Method in Education, 10(3), 45-48. Viitattu 9.3.2022. Saatavilla: <https://www.iosrjournals.org/iosr-jrme/papers/Vol-10%20Issue-3/Series-5/H1003054548.pdf>.

Hedman, M., Mussalo, H., Hänninen, H., Holmström, M. & Kivistö, S. 2012. Sydänlihassairauksien kuvantaminen. Sydänääni 23:1A, 51-62. Viitattu: 14.9.2022. Saatavilla: <https://www.fincardio.fi/julkaisut/sydanaani/teemanumerot/sydanaani-2012-1a-teemanumero-sydamen-kuvantaminen/>.

Ikäheimonen, T. K. 2002. Säteily ja sen havaitseminen. Helsinki: Säteilyturvakeskus. Viitattu 15.9.2022 Saatavilla: [https://www.stuk.fi/documents/12547/494524/kirja1\\_1.pdf/0aa465c1-9c58-44b9-a30c-f160ef3b1171](https://www.stuk.fi/documents/12547/494524/kirja1_1.pdf/0aa465c1-9c58-44b9-a30c-f160ef3b1171).

Janatuinen, T. & Kemppainen, J. 2020. PET-kuvantamisen menetelmät yleistajuisesti. Lääketieteellinen aikakauskirja Duodecim, 2020;136(9):1062–7. Viitattu 13.3.2022. Saatavilla: <https://www.duodecimlehti.fi/duo15553>.

Kaijaluoto, S. & Liukkonen, J. 2018. Isotooppitutkimukset ja -hoidot Suomessa vuonna 2018, terveydenhuollon valvontaraportti. STUK-B 252, Helsinki 2020. Viitattu 23.9.2022 Saatavilla: [https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/139991/STUK-B-252.pdf?sequence=1&isAllowed=yes- ja hoidot Suomessa 2018 \(julkari.fi\)](https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/139991/STUK-B-252.pdf?sequence=1&isAllowed=yes- ja hoidot Suomessa 2018 (julkari.fi)).

Kajander, S. & Knuuti, J. 2018. Sydämen isotooppitutkimukset. Teoksessa Sovijärvi, A., Hartiala, J., Knuuti, J., Laitinen, T., Malmberg, P. & Haapalahti, P. (toim.). Kliinisen fysiologian ja isotooppilääketieteen perusteet. 1. painos. Helsinki: Duodecim.

Kemppainen, J. & Rinne, J. 2018. Aivojen amyloidikuvaus. Teoksessa Sovijärvi, A., Hartiala, J., Knuuti, J., Laitinen, T., Malmberg, P. & Haapalahti, P. (toim.). Kliinisen fysiologian ja isotooppilääketieteen perusteet. 1. painos. Helsinki: Duodecim.

Kempainen, J.; Timonen, K. & Mussalo, H. 2020. PET-tutkimus syövän diagnostiikassa ja levinneisyys selvittelyssä. Lääketieteellinen aikakauskirja Duodecim, 2020;136(9):1068–75. Viitattu 1.3.2022. Saatavilla: <https://www-terveysportti-fi.ezproxy.turkuamk.fi/xmedia/duo/duo15552.pdf>.

Kempainen, J. & Tuokkola, T. 2018a. Gammakamera. Teoksessa Sovijärvi, A., Hartiala, J., Knuuti, J., Laitinen, T., Malmberg, P. & Haapalahti, P. (toim.). Kliinisen fysiologian ja isotooppilääketieteen perusteet. 1. painos. Helsinki: Duodecim.

Kempainen, J. & Tuokkola, T. 2018b. Fuusiokuvantaminen. Teoksessa Sovijärvi, A., Hartiala, J., Knuuti, J., Laitinen, T., Malmberg, P. & Haapalahti, P. (toim.). Kliinisen fysiologian ja isotooppilääketieteen perusteet. 1. painos. Helsinki: Duodecim.

Keränen, V. & Penttinen, J. 2007. Verkko-oppimateriaalin tuottajan opas. Jyväskylä: WSOYpro : Docendo.

Kokkonen, A., Kaasinen, V., Jutila, L., Tuominen, L., Rinne, J. & Joutsa, J. 2020. PET aivosairauksissa. Lääketieteen aikakauskirja Duodecim, 2020;136(9):1110-7. Viitattu: 13.9.2022. Saatavilla: <https://www.duodecimlehti.fi/duo15549>.

Korpela, H. 2004. Isotooppilääketiede. Teoksessa Tapiovaara, M., Miettinen, A., Sipilä, P., Korpela, H., Väisälä, S., Kaituri, M. & Pukkila, O. Säteilyn käyttö. Helsinki: Säteilyturvakeskus. Viitattu 14.9.2022 Saatavilla: [Säteilyn käyttö - STUK](#).

Knuuti, J. & Kajander, S. 2017a. Isotooppitutkimukset, molekyyli- ja fuusiokuvantaminen. Teoksessa Blanco Sequeiros, R., Koskinen, S., Aronen, H. J., Lundbom, N., Vanninen, R. & Tervonen, O. (toim.). Kliininen radiologia. 1. painos. Helsinki: Duodecim.

Knuuti, J. & Kajander, S. 2017b. Positroniemissiotomografian ja fuusiokuvantamisen käyttöaiheet. Teoksessa Blanco Sequeiros, R., Koskinen, S., Aronen, H. J., Lundbom, N., Vanninen, R. & Tervonen, O. (toim.). Kliininen radiologia. 1. painos. Helsinki: Duodecim.

Knuuti, J. & Laitinen, T. 2020. Kliinisen fysiologian ja isotooppilääketieteen erikoisala. Lääketieteellinen aikakauskirja Duodecim, 2020;136(9):1118. Viitattu 23.2.2022. Saatavilla: <https://www.duodecimlehti.fi/duo15548>.

Knuuti, J. 2020. PET-kuvantaminen tänään ja tulevaisuudessa. Lääketieteellinen aikakauskirja Duodecim, 2020;136(9):1059–61. Viitattu 13.3.2022. Saatavilla: <https://www.duodecimlehti.fi/lehti/2020/9/duo15569>.

Laitinen, T. & Knuuti, J. 2020. Sydämen PET-tutkimukset. Lääketieteen aikakauskirja Duodecim, 2020;136(9):1102-9. Viitattu 13.9.2022. Saatavilla: <https://www.duodecimlehti.fi/duo15556>.

Loimaala, A. & Mussalo, H. 2018. Aivojen verenkierron ja aineenvaihdunnan isotooppitutkimukset. Teoksessa Sovijärvi, A., Hartiala, J., Knuuti, J., Laitinen, T., Malmberg, P. & Haapalahti, P. (toim.). Kliinisen fysiologian ja isotooppilääketieteen perusteet. 1. painos. Helsinki: Duodecim.

Loimaala, A., Mäenpää, A., Lipponen, T., Schildt, J., Kämäräinen E., Karhumäki, L & Ahonen, A. 2014. Somatostatiinireseptoreiden PET-TT-kuvaus Ga-DOTA-peptideillä parantaa neuro-endokriinisten kasvainten diagnostiikkaa. Lääketieteellinen aikakauskirja Duodecim. 2014;130(19):1931-8. Viitattu 22.9.2022. Saatavilla: <https://www.duodecimlehti.fi/duo11859>.

Löfström, E.; Kanerva, K.; Tuuttila, L.; Lehtinen, A. & Nevgi, A. 2010. Laadukkaasti verkossa: verkko-opetuksen käsikirja yliopisto-opettajille. Helsingin yliopisto. Viitattu 1.3.2022. Saatavilla: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/23899/hallinnon\\_julkaisuja\\_71\\_2\\_010.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/23899/hallinnon_julkaisuja_71_2_010.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

Maltby, P. 2009. Radiopharmacy quality control. Viitattu 28.9.2022. Saatavilla: [https://www.eanm.org/content-eanm/uploads/CTE-Archive/2009/CTE-6/CTE6\\_3.pdf](https://www.eanm.org/content-eanm/uploads/CTE-Archive/2009/CTE-6/CTE6_3.pdf).

Martiniova L., Palatis L., Etchebehere E. & Ravizzini G. 2016. Gallium-68 in Medical Imaging. Curr Radiopharm. 2016;9(3):187-207. Viitattu 22.9.2022. Saatavilla: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27804868/>.

Matikainen, J. & Pasanen, H. 2003. Oppimisen ohjaus verkossa. Helsinki: Palmenia-kustannus.

Nevgi, A. & Tirri, K. 2003. Hyvää verkko-opetusta etsimässä: Oppimista edistävät ja estävät tekijät verkko-oppimisympäristöissä : opiskelijoiden kokemukset ja opettajien arviot. [Turku]: Suomen kasvatustieteellinen seura.

Opintopolku.fi. Etäopetus ja verkko-opetus. Viitattu 1.3.2022. Saatavilla: <https://opintopolku.fi/wp/aikuiskoulutus/mietitko-aikuiskoulutusta/opiskelumuodot/etaopiskelu-ja-verkko-opiskelu/>.

Peeva, A. 2021. Cyclotrons – What are They and Where Can you Find Them. IAEA international Atomic Energy Agency. Viitattu 27.9.2022. Saatavilla: <https://www.iaea.org/newscenter/news/cyclotrons-what-are-they-and-where-can-you-find-them>.

Rajala, K. 2007. Puhdastilatyöskentely. Suomen laboratorioden liitto ry:n ammatti- ja yhdistyslehti Analyysi. Saatavilla: [https://laboratorioalanliitto.fi/wp-content/uploads/2017/11/analyysi\\_3\\_07\\_net.pdf](https://laboratorioalanliitto.fi/wp-content/uploads/2017/11/analyysi_3_07_net.pdf).

Saarakkala, S. 2017. Isotooppikuvaus. Teoksessa Blanco Sequeiros, R., Koskinen, S., Aronen, H. J., Lundbom, N., Vanninen, R. & Tervonen, O. (toim.). Kliininen radiologia. 1. painos. Helsinki: Duodecim.

Saastamoinen, M., Vähä, T., Ypyä, J., Alahuhta, M. & Päätaalo, K. 2018. Toiminnallisen opinnäytetyön oppimiskokemukset. ePooki. Oulun ammattikorkeakoulun tutkimus- ja kehitystyön julkaisut 45. Viitattu 21.10.2022 <http://urn.fi/urn:nbn:fi-fe2018060625407>.

Sandle, T. & Saghee, M. R. 2013. Cleanroom management in pharmaceuticals and healthcare. Euromed Communications.

Saraste, A. & Knuuti, J. 2012. Perfuusio- ja hybridikuvantaminen. Sydänääni 23:1A, 23-27. Viitattu 14.9.2022. Saatavilla: <https://www.fincardio.fi/julkaisut/sydanaani/teemanumerot/sydanaani-2012-1a-teemanumero-sydamen-kuvantaminen/>.

Schildt, J., Sipilä, K. & Minn, H. 2020. PET-tutkimus syövän hoitovasteen seurannassa ja uusiutumisen toteamisessa. Lääketieteen aikakauskirja Duodecim, 2020;136(9):1077-85. Viitattu: 19.9.2022. Saatavilla: <https://www.duodecimlehti.fi/duo15555>.

SFS-EN ISO 14644-1. Cleanrooms and associated controlled environments. Part 1: Classification of air cleanliness by particle concentration. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

Siemens Healthcare Oy 2022. Uusi koko kehon PET-kamera käyttöön Turun PET-keskuksessa. Teksti: Turun yliopisto. Viitattu 7.10.2022. Saatavilla: <https://www.siemens-healthineers.com/fi/uusi-koko-kehon-pet-kamera-kayttoon-turun-pet-keskuksessa-2022>.

Sovijärvi, A. & Ahola, T. 2003. Kliininen fysiologia ja isotooppilääketiede. Helsinki: Duodecim. Viitattu 20.2.2022.

Säteilyturvakeskus (STUK) 2019. Mitä säteily on? Sanasto. Viitattu 23.2.2022. Saatavilla: <https://www.stuk.fi/aiheet/mita-sateily-on/sanasto>.

Säteilyturvakeskus (STUK) 2020a. Isotooppilääketiede. Viitattu 26.9.2022. Saatavilla: <https://www.stuk.fi/aiheet/sateily-terveydenhuollossa/isotooppilaaketiede>.

Säteilyturvakeskus (STUK) 2020b. Mitä säteily on? Ionisoiva säteily. Viitattu 13.9.2022. <https://www.stuk.fi/aiheet/mita-sateily-on/ionisoiva-sateily>.

Säteilyturvallisuuskeskus (STUK) 2020c. Esimerkkejä säteilyannoksista. Viitattu 23.9.2022 Saatavilla: <https://www.stuk.fi/web/selkosivut/sateilyvaara-ja-suojautuminen/esimerkkeja-sateilyannoksista>.

Tapiovaara, M., Miettinen, A., Sipilä, P., Korpela, H., Väisälä, S., Kaituri, M. & Pukkila, O. 2004. Säteilyn käyttö. Helsinki: Säteilyturvakeskus. Viitattu 20.2.2022 Saatavilla: [Säteilyn käyttö - STUK](#).

Tutkimuseettinen neuvottelukunta (TENK) 2012. Hyvä tieteellinen käytäntö ja sen loukkausepäilyjen käsitteleminen Suomessa. Päivitetty 8.2.2021. Viitattu 21.10.2022. Saatavilla: <https://tenk.fi/fi/ohjeet-ja-aineistot/HTK-ohje-2012#HTK>.

Tuokkola, T. & Knuuti, J. 2018. Positroniemissiotomografia-magneettikuvaus. Lääketieteellinen aikakausikirja Duodecim, 2018;134(6):627-34. Viitattu 22.9.2022 Saatavilla: <https://www.duodecimlehti.fi/duo14215>.

Turku PET Centre 2022a. Welcome to Turku PET centre. Viitattu 11.9.2022 Saatavilla: <https://turkupetcentre.fi/turku-pet-centre/>.

Turku PET Centre 2022b. Short history of Turku PET centre. Viitattu 11.9.2022  
Saatavilla: <https://turkupetcentre.fi/history/>.

Turun yliopisto 2021. Turun PET-keskukselle rahoitus uuden sukupolven PET-kameraan. Viitattu 7.10.2022. Saatavilla: <https://www.utu.fi/fi/ajankohtaista/mediatiedote/turun-pet-keskukselle-rahoitus-uuden-sukupolven-pet-kameraan>.

Turun yliopistollinen keskussairaala 2021. PET-keskus. Viitattu 10.3.2022. Saatavilla: <https://www.vsshp.fi/fi/toimipaikat/tyks/osastot-ja-poliklinikat/Sivut/pet-keskus.aspx#horisontaali2>.

Turun Yliopistollinen keskussairaala 2022. Tietokonetomografiat ja -toimenpiteet. Viitattu 22.9.2022 Saatavilla: <https://www.vsshp.fi/fi/hoito-ja-tutkimukset/Sivut/tietokonetomografiat-ja-toimenpiteet.aspx>.

Tutkimuseettinen neuvottelukunta (TENK) 2021. Hyvä tieteellinen käytäntö (HTK). Viitattu 15.3.2022. Saatavilla: <https://tenk.fi/fi/tiedevilppi/hyva-tieteellinen-kaytanta-htk>.

Vierula, H. 2009. Lääkärilehti. Molybdeenipula vaikeuttaa gammakuvauksia. Viitattu 12.9.2022. Saatavilla: <https://www.laakarilehti.fi/ajassa/ajankohtaista/molybdeenipula-vaikeuttaa-gammakuvauksia-4716/>.

Vilka, H. & Airaksinen, T. 2003. Toiminnallinen opinnäytetyö. Helsinki: Tammi.

Wernick, M. N. & Aarsvold, J. N. 2004. Emission tomography: The fundamentals of PET and SPECT. Amsterdam ; Boston: Elsevier Academic Press. Viitattu 15.9.2022.

Åbo Akademi 2015. PET-keskus vihki uuden syklotronin tutkimuskäyttöön. Muokattu 2015. Viitattu 27.9.2022. Saatavilla: <https://www.vsshp.fi/fi/sairaanhoitopiiri/media-tiedotteet-viestinta/tiedotteet/Sivut/uusi-syklotroni.aspx>.