

# Eesnäärmevähi kiiritusravi MRT-põhine planeerimine

Anastassia Butorina<sup>1</sup>

Juhendajad: Kätlin Tiigi<sup>2</sup>, Mikk Saretok<sup>2</sup>

Eesti Arst 2024;  
103(4):204–210

Saabunud toimetusse:  
18.12.2023  
Avaldamiseks vastu võetud:  
10.01.2024  
Avaldatud internetis:  
24.04.2024

<sup>1</sup> Tartu Ülikooli meditsiini-  
teaduste valdkonna  
arstiteaduse üliõpilane,  
<sup>2</sup> Põhja-Eesti Regionaal-  
haigla onkoloogia- ja  
hematoloogiakliiniku  
kiiritusravi keskus

Kirjavahetaja autor:  
Anastassia Butorina,  
butorinaanastassia@  
gmail.com

Võtmesõnad:  
kiiritusravi, MRT-põhine  
planeerimine, eesnääre,  
sünteesiline KT

Tänapäeval kasutatakse mitmete vähipaikmete, sh eesnäärmevähi kiiritusravi planeerimisel nii kompuutertomograafia (KT) kui ka magnetresonantstomograafia (MRT) uuringut. MRT-uuringut kasutatakse tänu tema paremale pehmete kudede visualiseerimise võimaldamisele kiirituse sihtmahu hindamiseks ja kiiritatava piirkonna piiritlemiseks ning KT-uuringut kiiritusdoosi planeerimiseks. Kahe uuringu koos kasutamisel võib kaasneda süstemaatilisi vigu. Tänapäeva tehnoloogia võimaldab kiiritusravi planeerimise töövoost välja jätta KT-uuringu. MRT-põhine kiiritusravi planeerimine võeti maailmas kasutusele 2012. aastal. Praegu kasutatakse seda meetodit peamiselt eesnäärmevähi kiiritusravi planeerimiseks. „Alates 01.01.2024 on Eesti tervisekassa lisanud tervishoiuteenuste loetellu uue kiiritusravi teenuse „Intensiivsusmoduleeritud väliskiiritusravi planeerimine (MRT-põhine)“ tervistaval eesmärgil ravi saavatele eesnäärmevähiga patsientidele“. Artiklis on antud ülevaade MRT rollist eesnäärmevähi kiiritusravi planeerimisel tänapäeval, selle meetodi eelistest KT- ja MRT-uuringu kooskasutamise meetodi ees ning kirjeldatud väljakutseid, mis MRT-põhise kiiritusravi planeerimisega kaasas käivad.

Kompuutertomograafiline uuring (KT) on olnud peamine meetod, mida kasutatakse kiiritusravi planeerimisel, sihtmärgi ja riskielundite piiritlemisel. Samuti on KT ülioluline kiiritusdoosi planeerimisel, kuna annab infot elektrontiheduse kohta, mille abil saab arvutada neeldunud doosi. Samuti kasutatakse KT-uuringut referentsuuringuna patsiendi positsioneerimiseks kiirendi laual.

KT suureks puuduseks on aga halb pehmete kudede visualiseeritavus, mis on magnetresonantstomograafia (MRT) uuringut kasutades märkimisväärselt parem. Paljud kasvaja arenevad pehmetes kudedes – eesnärmes, ajus jm – ning tänapäeval kasutatakse kiiritusravi planeerimisel KT- ja MRT-meetodi kombineerimist. MRT-uuring võimaldab tuumorit paremini visualiseerida ja kiirguse sihtmahete täpsemalt kontuurida ning KT kiirgusdoosi jaotust planeerida. See tehnika vajab fusiooni ehk kahe pildi ühildamist, mis võib tuua endaga kaasa süstemaatilisi vigu – patsiendi asend, tema elundite paigutus võib eri ajahetkel tehtud pildil erineda jms. Need vead jäävad püsima kogu ravikuuri jooksul ning võivad mõjutada ravivastust. Samuti nõuab kahe uuringu

tegemine rohkem aega ja raha. KTga kaasneb ka ioniseeriv kiirgus. Tänapäeval on aga leitud mitmeid meetodeid MRT-uuringu alusel kudede elektrontiheduse hindamiseks – n-ö pseudo-KT tegemiseks. See annab võimaluse mitmete vähipaikmete kiiritusravi planeerimisel loobuda KT-põhisest planeerimisest ning üle minna MRT-põhisele planeerimisele.

## MRT-PÕHISE KIIRITUSRABI PLANEERIMISE EELISED

Kirjanduses on välja toodud MRT-põhise kiiritusravi planeerimise kolm põhilist eelist KT- ja MRT-uuringu kooskasutamise meetodi ees: süstemaatiliste vigade vältimine, aja- ja kulutõhusus ning madalam kiirguskoormus patsiendile.

## Süstemaatiliste vigade vältimine

Eesnäärme kiiritusravis on kiiritatavaks alaks kogu eesnääre ning osa seemnepõiekestest ja seda ümbritsev ala, kuhu võivad kasvajakud olla levinud (kiiritatav kliiniline maht). Ravitava piirkonna maht planeeritakse kliinilisest mahust suurem, võttes arvesse võimalike ebatäpsuste teket patsiendi positsioneerimisel kiirendi lauale ja kiirguse suunamisel.

Kiiritatava ala mõõtmete täpne hindamine – eesnäärme kontuurimine – on kiiritusravi planeerimisel olulisim lüli ja on KT-põhisel kiiritusravi planeerimisel ravi täpsust mõjutavate tegurite seas kõige nõrgem lüli. Eesnäärme kontuurimise ebatäpsus KT-põhisel planeerimisel tekitab rohkem ravivigu kui patsiendi positsioneerimisest tulenevad ebatäpsused (1, 2).

Mida täpsemalt on hinnatud eesnäärme kontuurid, seda väiksem on kiiritatava ala maht, kõrge kiirgusdoos on suunatud täpselt kasvajale ja seda ümbritsevad nn riskielundid saavad võimalikult vähe kiiritusest kahjustada. MRT-uuring võimaldab pehmekoeliste kasvajate korral terveid kudesid kasvajast eristada paremini kui KT-uuring.

MRT-kujutistel on võimalik täpsemalt määrata kiiritatavat piirkonda ja vähendada sihtmärgi piiritlemise varieeruvust (3). Soovitatakse kasutada T2-kaalutud kujutist, mis tagab eesnäärme parema visualiseerimise kraniaal- ja kaudaalsuunas (4, 5). Samuti võimaldab MRT eesnäärme sisestruktuuri hästi visualiseerida ja eristada vähki teistest haiguslikest muutustest (6). MRT- ja KT-uuringute kooskasutamisel eesnäärme piiritlemisel on uuringute andmeil kiiritatava ala maht kuni 40% võrra väiksem KT-uuringu põhjal planeeritud ala mahust (2, 4, 7–11). MRT-põhiselt planeeritud kiiritatava ala maht eesnäärmevähi raviks on kuni 18% võrra väiksem KT- ja MRT-uuringu kooskasutamise meetodil planeeritud mahust (12). Uuringuga on leitud, et MRT-meetodil planeeritud eesnäärmevähi kiirituse korral oli pärasoole seina kiirguse doos 64 Gy ja KT-meetodil planeeringu korral 65,6 Gy ning *bulbus penis*'e kiirgusdoos aga vastavalt 7,9 Gy ja 19,5 Gy (4). Seega on MRT-põhiselt planeeritud eesnäärmevähi kiiritusravi korral väiksem uroloogiliste ja seedetrakti tüsistuste ning erektilise düsfunktsiooni kujunemise tõenäosus ja esinemissagedus.

Tänu täpsemale eesnäärme kontuuriamisele saab suurendada korraga antavat terapeutilist doosi, ilma et ümbritsevad terved koed saaksid rohkem kahjustada. Näiteks võimaldas eesnäärme kontuurimine MRT-l suurendada ühekordset doosi 2–7 Gy, säilitades samas lubatud doosi pärasoolele (13). Ühekordse doosi suurendamine võimaldab vähendada ka kiiritusseansside arvu ning seega lühendada ravi kestust.

Lisaks ei sobi MRT-uuring mitte ainult ravi planeerimiseks, vaid võimaldab saada head ülevaadet ka haiguse dünaamikast ja aidata ravivastust hinnata.

KT- ja MRT-uuringu kooskasutamise meetod, mille puhul tuumorit ja ümbritsevat kude kontuuritakse MRT-pildil ning kiirgusdoosi planeeritakse KT-uuringul, võib endaga kaasa tuua geomeetrilisi vigu. Keeruline on tagada patsiendi identset positsiooni mõlema uuringu ajal vaatamata erinevate positsioneerimis- ja immobilisatsioonivahendite olemasolule. Samuti on raske tagada patsiendi siseelundite (pärasool ja kusepõis) samasugust paigutust ja täituvust eri ajahetkedel. Eesnäärme kiirituse planeerimisel on siseelundite paigutuse võimalikud erinevused kahe erineva uuringu kasutamisel kuni 2 mm ulatuses (17). Sellised süstemaatilised planeerimisvead võivad omakorda põhjustada vigu kiirguse doosi jaotuse planeerimisel, viies doosi sihtmärgist kaugemale. MRT-põhine planeerimine vähendab KT- ja MRT-kujutiste ühendamisega seotud vigu, kuna tugineb ainult ühe uuringu andmetele.

### Aja- ja kulutõhusus

Jättes KT-uuringu kõrvale eesnäärmevähi kiiritusravi planeerimisel, on võimalik ravi planeerimisel saada 15 minutit ajalist kokkuhoidu (14).

MRT-põhine planeerimise meetod ei ole ainult kliiniliselt, vaid ka majanduslikult tõhusam. Soomes 2021. aastal tehtud uuringus ilmnes, et MRT-põhine planeerimise meetod on 2% kulutõhusam kui KT- ja MRT-uuringul põhineva planeerimise meetod; ühe eesnäärmevähi patsiendi ravi planeerimine MRT-põhist meetodit kasutades maksis 903 eurot ning KT- ja MRT-uuringul põhinevat meetodit rakendades 922 eurot. Seega saavutati 10 aasta jooksul 3000 patsiendi ravil kokkuhoid 58 544 eurot (15).

Teine uuring näitas, et MRT-põhist meetodit kasutades on esialgne kulude vähenemine 14 eurot patsiendi kohta, kulude suuremat kokkuhoidu piirasid algul vajalikud kvaliteedi tagamise protseduurid. Pikemas perspektiivis võib eeldada veelgi suuremat rahalist kokkuhoidu (209 eurot patsiendi kohta), kui MRT-põhise planeerimise töövoog on välja kujunenud ning vähenevad kvaliteedi tagamise protse-

duuride lisakulud. Siis oleks MRT-põhisel planeerimisel võrreldes KT- ja MRT-uuringul põhineva meetodiga kulude kokkuhoid juba 7% (16).

## Vähenenud kiirguskoormus

MRT-põhine planeerimine kõrvaldab vajaduse KT-uuringu järele, vähendades seeläbi patsiendi kokkupuudet ioniseeriva kiirgusega. KT-uuringu kiirgusdoos jääb vahemikku 1–4 cGy, mida võib pidada väikeseks, arvestades, et näiteks eesnäärme kiiritusravi käigus saavad patsiendid 3 Gy ühe korruga. Kiirgusdoosi vähendamine võib olla aktuaalne laste kiiritusravis ja olukordades, kus on ravi kohandamiseks vaja korduvalt teha KT-uuring.

## MRT-PÕHISE PLANEERIMISE VÄLJAKUTSED

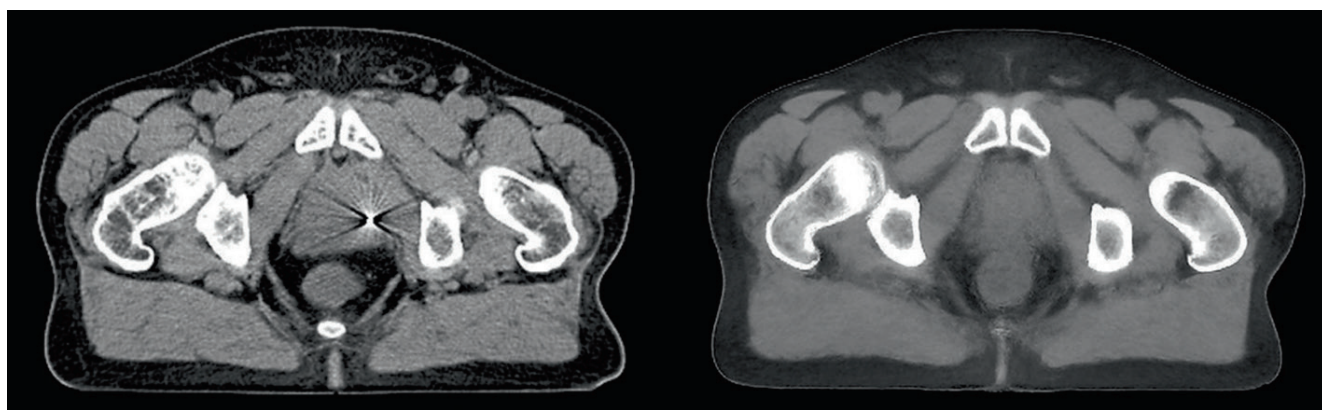
### Elektrontiheduse puudumine ja doosijaotuse arvutamine

Nagu juba eelnevalt mainitud, ei ole võimalik planeerida doosi MRT-uuringul, kuna see ei anna otseselt teavet kudede elektrontiheduse kohta, mis on vajalik kiirgusdoosi planeerimiseks. MRT-signaal sõltub peamiselt prootonite tihedusest ja relaksatsiooni ajast, seega ei ole MRT-kujutis otseselt seotud kudede elektrontihedusega ega mõõdetav Hounsfieldi ühikutega (HU). MRT-põhisel planeerimisel tuleb raviks vajaliku kiirgusdoosi planeerimiseks luua KT-omadustega kujutis – sünteetiline KT-kujutis (vt joonis 1).

Kirjanduses on esitatud mitmeid tehnoloogiaid sünteetilise KT-kujutise genereerimiseks, mida võib jagada nelja rühma: ühe koe tiheduse määramine, erinevatele kudedele spetsiifilise tiheduse määramine, spetsiaalselt kudede tiheduse määramiseks koostatud atlase kasutamine ja masinõpe. Sageli kasutatakse nn hübriidmeetodit (koosneb mitmest meetodist), et tagada doosijaotuse parem täpsus.

Ühe tiheduse määramise meetodi puhul hinnatakse ühe koetüübi HU suurust kogu organismi elektrontiheduse näitajana. Selle meetodi puudus seisneb selles, et ei võeta arvesse kudede heterogeensust. Koegrupile spetsiifilise tiheduse määramise meetodit võib pidada eelmise meetodi laienduseks, kus võetakse arvesse kudede heterogeensust – koed klassifitseeritakse tüüpideks (lihas, luu, rasv, õhk) ning igale koetüübile määratakse konkreetne HU suurus. Atlasel põhinev lähenemisviis kasutab sünteetilise KT-kujutise genereerimiseks spetsiaalselt koostatud atlast, mis hõlmab erinevate patsientide KT- ja MRT-kujutiste paaride andmekogumit kudede täpseks kaardistamiseks. Üks populaarsemaid meetodeid on masinõpe. Luuakse matemaatiline mudel, mille abil õpetatakse masinale leidma seoseid MRT ja KT vahel ning nende seoste abil konverteerima MRT-kujutist KT-kujutiseks. Selle meetodi muudab atraktiivseks kiirus – sünteetiline KT-kujutis genereeritakse sekunditega. Uuringud on näidatud, et erinevaid meetodeid kasutades erineb sünteetilise KT-kujutise põhjal planeeritud kiirgusdoosi jaotus reaalse KT-uuringu põhjal arvatust kuni 2% võrra. Kõige väiksem on erinevus atlasepõhise ja masinõppe meetodi kasutamisel (5, 18, 19).

Kirjanduses on esitatud mitmeid tehnoloogiaid sünteetilise KT-kujutise genereerimiseks, mida võib jagada nelja rühma: ühe koe tiheduse määramine, erinevatele kudedele spetsiifilise tiheduse määramine, spetsiaalselt kudede tiheduse määramiseks koostatud atlase kasutamine ja masinõpe. Sageli kasutatakse nn hübriidmeetodit (koosneb mitmest meetodist), et tagada doosijaotuse parem täpsus.



Joonis 1. Vasakul kompuutertomograafiline (KT) kujutis, paremal sünteetiline KT-kujutis (loodud atlasepõhisel meetodil, kasutades MriPlanneri tarkvara) (12).



### Geomeetriline moonutus

MRT-pildil tekib geomeetriline moonutus, mis võib põhjustada vigu sihtmärgi kontuurimisel ja ka sünteetilise KT-kujutise loomisel.

MRT-uuringul magnetvälja intensiivsus ei vähene lineaarselt ja sõltub kaugusest isotsentrist. Seetõttu ei ühti magnetuuringu pildil tsentrist kaugemal olevate punktide ruumiline paigutus pildil täpselt punktide paigutusega uuritavas piirkonnas, tekib geomeetriline moonutus (20).

Diagnoosimise eesmärgil tehtud MRT-uuringul ei ole geomeetrilise moonutuse põhjustatud ebatäpsused nii olulised, kuna eesmärk on ainult kujutise kirjeldamine. Kiiritusravi planeerimisel on aga täpsus oluline ning MRT-põhisel planeerimisel on vajalik kujutise 3D-korrektsioon. Korrigeerimata jätmisel võivad erinevused KT-põhise planeerimisega võrreldes olla üle 1 cm ja see on eriti oluline eesnäärmevähi ravi planeerimisel, kus kasutatakse suure vaateväljaga MRT-uuringut sünteetilise KT-kujutise genereerimiseks. 3D-korrektsiooniga on võimalik vähendada geomeetrilist moonutust keskmiselt 1,97 millimeetrit (kaugus isotsentrist 200–250 mm) (21).

### MRT-kujutise salvestamine ravi asendis

Patsiendi paigutamine MRT-seadme lauale on tähtis etapp. Peab olema tagatud patsiendile mugav ja võimalikult stabiilne asend, et vältida ka minimaalseid liigutusi. Kiiritusravis kasutusel olev MRT-aparaat erineb diagnoosimisel kasutatavast. Esiteks on kiiritusravi MRT-aparaadil lame laud, mis võimaldab kergemini kasutada erinevaid täpse positsioneerimise ja fikseerimise abivahendeid, nagu näiteks jala- ja põlvealu-seid. Samuti peaks kasutusel olevate abivahendite tõttu kiiritusravis kasutusel olev MRT-aparaat olema suurema läbimõõduga, et patsiendi peale paigutatavad fikseerimisvahendid ja mähised ei komprimeeriks ega moonutaks patsiendi kehaosi. Täpse positsioneerimise hõlbustamiseks paigaldatakse MRT-ruumi ka lasereid (vt joonis 2).

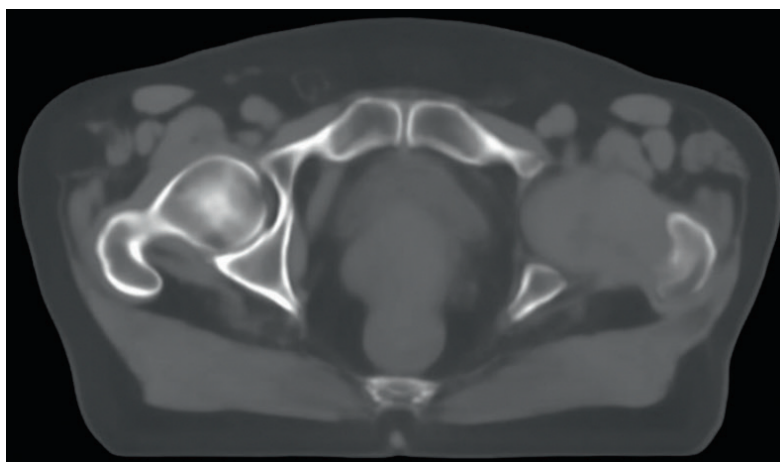
### Kullast markerite visualiseerimine

Enne planeerimisuuringut paigaldatakse patsiendi eesnäärmesse ultraheli- (UH) uuringu kontrolli all 3 kullast markerit, mida kasutatakse eesnäärme asendi jälgimiseks ja sihtmärgi positsioneerimiseks

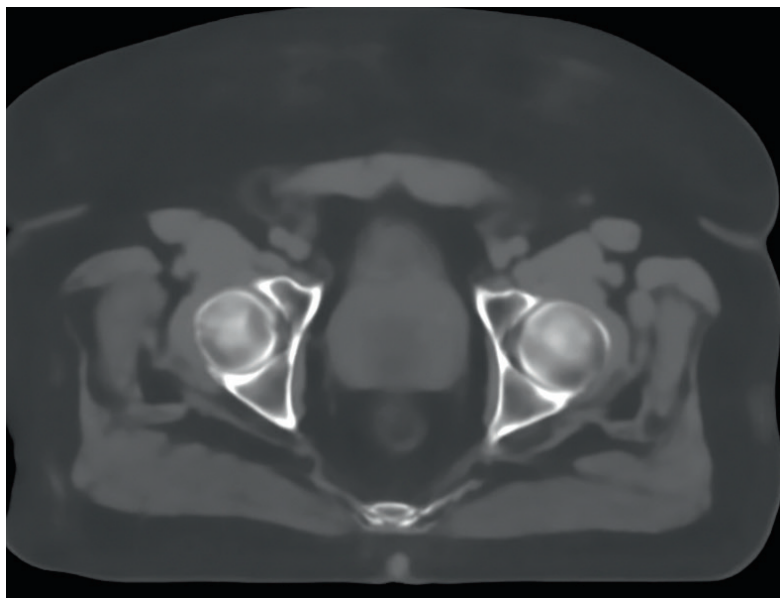


Joonis 2. Patsiendi positsioneerimine magnetresonantstomograafilise seadme laual. (Autori isiklik pilt.)

kiiritusravi eel ja ajal. Seda nimetatakse piltjuhitud kiiritusraviks. KT-uuringul on need markerid suurepäraselt nähtavad, kuid MRT-uuringul on neid raske tuvastada, kuna kuld ei tekita signaali magnetväljas ning seetõttu jääb MRT-uuringu pildil nende paiknemise kohta tühimik. Segavateks teguriteks MRT-põhisel planeerimisel võivad osutuda ka eesnäärmes olevad hemorraagiad, kaltsifikaadid, fibroos, mis samuti jäävad pildile tühimikena. Eduka MRT-põhise kiiritusravi planeerimise üheks takistuseks peetakse just kullast markerite tuvastamise raskust MRT-uuringul (6, 22). Kullast markerite visualiseerimiseks regist-



**Joonis 3.** Vasak puusaprotees ilmestub veana sünteetilisel kompuutertomograafilisel pildil. (Autori isiklik pilt.)



**Joonis 4.** Patsient ei mahu vabalt MRT vaatevälja, seetõttu on kehakontuur vale ja vale omakorda ka doosijaotus. (Autori isiklik pilt.)

reeritakse eraldi spetsiaalne MRT-sekvents, kuhu kantakse kullast markerite ja kiiritatava ala kontuurid, mis kopeeritakse sünteetiliselle KT-kujutisele. Mitmete sekventsides registreerimine pikendab uuringu aega ning sellega suureneb risk, et sekventsides ajal ja/või nendevahelisel ajal patsient liigutab end. Kullast markerite tuvastamise protsessi automatiseerimine, mille korral nende kontuurimine toimuks samal sekvenssil, kus ka sihtmahu kontuurimine, võiks olla üheks lahendusviisiks (21).

## Täiendavad takistused

Praegu ei saa veel tagada kõigile eesnäärmevähiga patsientidele MRT-põhist kiiritusravi planeerimist. Erinevate keskuste andmeil rakendati MRT-põhist planeerimist 88–93%-l kõikidest patsientidest, kes seda vajasisid (14, 15, 23). Teatud olukordades tuleb ikkagi jääda MRT- ja KT-uuringul põhineva planeerimise juurde. Patsiendid puusaproteesidega vajavad lisaks MRT-le ka KT-planeerimis-uuringut, kuna proteesid tekitavad pildil artefakte (vt joonis 3).

Patsientidel, kelle kehamassiindeks on suur, tuleb kiiritusravi planeerimiseks samuti rakendada KT-l ja MRT-l põhinevat meetodit, kuna suure kehapindalaga patsient ei mahu vabalt planeerimiseks kasutatavasse MRT-aparaati ning sellest tulenevad vead sünteetiliselt KT-kujutise genereerimisel (vt joonis 4). Veel üheks takistuseks võib osutuda ka patsiendi klaustrofoobia.

## MRT-PÕHISE KIIRITUSRABI PLANEERIMISE TÖÖVOOG

1. Raviotsus tehakse onkoloogilisel konsiiliumil.
2. Kullast markerid paigaldatakse UH-uuringu kontrolli all eesnäärmesse kaks nädalat enne ravi planeerimist.
3. Kiiritusravi planeerimiseks tehakse MRT-uuring. Patsient tuleb uuringule ette valmistatuna, s.t tühja pärasoolega ja mõõdukalt täidetud kusepöiega. Patsiendi positsioneerimist MRT-seadme lauale ravisendis, adekvaatset patsiendi immobilisatsiooni ja referentsmärkide paigaldamist on täpsemalt kirjeldatud eespool. MRT-uuringu protokollid eesnäärme kohta võivad haiglalt varieeruda. PERHis toimiv protokoll hõlmab kolmes tasapinnas lokaliseerimispilete, mis on tavaliselt kiiresti tehtavad ja

suhteliselt madala eraldusvõimega kujutised. Need pildid aitavad optimeerida ja tagada parimat võimalikku kujutise kvaliteeti, sh hinnata soole ja kusepõie täituvust. Tehakse T2-kaalutud kujutised kolmes tasapinnas, mille peal toimub sihtmahtude ja riskielundite kontuurimine. Sünteetilise KT-kujutise genereerimiseks registreeritakse eraldi sekvents aksiaalses lõikes. Tehakse ka aksiaallõikes eraldi sekvents kullast markerite lokaliseerimiseks.

4. Genereeritakse sünteetiline KT-kujutis, kasutades spetsiaalset tarkvara.
5. Eesnäärmesse paigaldatud kullast markerid lokaliseeritakse ja piiritletakse spetsiaalsel sekvensil ning kontuurid kopeeritakse sünteetilisele KT-kujutisele.
6. Järgneb sihtmahtude, ümbritsevate tervete kudede, riskielundite määratlemine ja märgistamine – kontuurimine ja autokontuurimine.
7. Kontuurid vaadatakse sõltumatult läbi – *peer review* – ning aktsepteeritud kontuurid kopeeritakse sünteetilisele KT-kujutisele.
8. Planeeritakse doosijaotus ja koostatakse raviplaan.
9. Valmis raviplaan vaadatakse sõltumatult üle.
10. Raviplaan kinnitatakse ja tehakse kvaliteedikontroll.
11. Patsiendi ettevalmistus kiirendi laual hõlmab endas õiget paigutamist ja patsiendi immobiliseerimist ravi ajaks. Enne raviseansi kontrollitakse patsiendi asendit ja sihtmärgi joondumist piltjuhitud meetodite abil. Need meetodid võimaldavad ravimeeskonnal jälgida ja kontrollida, kas patsient on õiges asendis ning kas kiirgus jõuab täpselt sihtmärgini. See tagab ravi täpsuse ja aitab vähendada kõrvaltoimete riski tervetele kudedele. Piltjuhitud meetodid on eriti olulised juhtudel, kus sihtmärk asub tundlikes ja liikuvates anatoomilistes piirkondades, näiteks vaagnas, kus paikneb eesnääre, on täpsus kriitilise tähtsusega.
12. Kiirendil ravi ajal jälgitakse patsiendi eesnäärmesse paigaldatud kolme kullast markerit, ja kui kiiritatava ala sihtpunkt ei ole õiges positsioonis (patsient liigutab, soole ja põie täituvusest tingitud liigutus), siis kiiritus katkestatakse ja asendit korrigeeritakse.

## TULEVIK – ADAPTIIVNE KIIRITUSRAVI MRT-KIIRENDIL

Praegu kasutatav MRT-l põhinev kiiritusravi planeerimine on esimene samm täielikult MRT-l põhineva kiiritusravi rakendamise poole, mille korral toimub ravi MRT-kiirendil – seadmel, mis hõlmab endas nii MRTd kui ka kiirendit. MRT-kiirendi võimaldab tõelist adaptiivset kiiritusravi. Kuna MRT-uuring ei tekita ioniseerivat kiirgust, on võimalik enne ravi, selle ajal ja ka iga antud kiirgusdoosi järel teha MRT-pildid, mis aitavad hinnata ravivastust, patsiendi asendit raviseansi ajal ja vajadusel kohandada raviplaani sõltuvalt MRT-leiust. Samuti võimaldab selline täpne ja sage patsiendi asendi jälgimine ning kudede visualiseerimine suurendada ohutumalt kasvajale antavat kiirgusdoosi ning minna üle stereotaktilisele eesnäärmevähi kiiritusravile ehk anda suuremat kiirgusdoosi konkreetsele pahaloomulisest kasvajast haaratud punktile (13). Selle meetodi puhul jääks töövoost ära ka piltjuhtivuses kasutusel olev KT.

## KOKKUVÕTE

Kiiritusravi MRT-põhine planeerimine võimaldab täpsemalt määrata kiiritatava piirkonna kontuure, vähendada kasvajat ümbritsevatele kudedele antavat kiirgusdoosi ja tüsistuste tekkimise tõenäosust. Jättes töövoost välja KT-uuringu, väheneb patsiendile antav kiirgusdoos, hoitakse kokku aega ning kogu protsess muutub patsiendile mugavamaks. MRT-põhine planeerimine on tõestanud ka oma kuluühisuse, eriti pikemas perspektiivis. Praeguseks on loodud mitmeid tehnoloogiasid, et ületada väljakutseid, mis esinevad MRT-põhisele planeerimisele üleminekul. Kudede elektrontiheduse arvestamiseks MRT-põhise planeerimise korral on kasutusel mitmed tehnoloogiad sünteetilise KT-kujutise loomiseks. MRT-pildil tekkiva geomeetrilise moonutuse korrigeerimiseks on loodud süsteemid, mille abil on moonutus viidud minimaalseks. Ainult MRT-l põhinev planeerimine on samm vaid MRT-l põhineva ravi suunas, mis on adaptiivne kiiritusravi, mis võimaldab ravi jälgida ja korrigeerida reaajas.

## VÕIMALIKU HUVIKONFLIKTI DEKLARATSIOON

Autorid kinnitavad, et neil ei esine huvide konflikti.



<sup>1</sup> Student, Faculty of Medicine, University of Tartu, Estonia,  
<sup>2</sup> Oncology and Haematology Clinic, The North Estonia Medical Centre, Tallinn, Estonia

Correspondence to:  
 Anastassia Butorina  
 butorinaanastassia@gmail.com

**Keywords:**  
 radiotherapy, MRI-only, prostate, synthetic CT

## SUMMARY

### MRI-only workflow for radiotherapy planning in prostate cancer

Anastassia Butorina<sup>1</sup>, Kätlin Tiigi<sup>2</sup>, Mikk Saretok<sup>2</sup>

MRI-only radiotherapy planning reduces systematic errors and ensures more accurate contours of target volumes. More precise contours reduce the radiation dose to surrounding healthy tissues, thereby reducing the likelihood of complications. By excluding CT from the radiotherapy planning workflow, we reduce the patient's radiation dose, save time, and make the whole process more comfortable for patients. MRI-only planning has also proven its cost effectiveness, especially in the long term. Several technologies have been developed to overcome the challenges of transitioning to MRI-only planning. To ensure the electron density, several technologies for generating synthetic CT have been developed, all of which ensure a dose distribution comparable to a standard CT. To correct geometric distortion, systems have been created to minimize geometric distortion. MRI-only planning is a step toward MR-guided adaptive radiotherapy, that allows real-time treatment monitoring and adaptive re-planning if necessary.

## KIRJANDUS / REFERENCES

- Njeh CF. Tumor delineation: The weakest link in the search for accuracy in radiotherapy. *J Med Phys* 2008;33:136-40.
- Hentschel B, Oehler W, Strauss D, Ulrich A, Malich A. Definition of the CTV prostate in CT and MRI by using CT-MRI image fusion in IMRT planning for prostate cancer. *Strahlenther Onkol* 2011;187:183-90.
- Usmani N, Sloboda R, Kamal W, et al. Can images obtained with high field strength magnetic resonance imaging reduce contouring variability of the prostate? *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2011;80:728-34.

- Jackson AS, Reinsberg SA, Sohaib SA, et al. Distortion-corrected T2 weighted MRI: a novel approach to prostate radiotherapy planning. *Br J Radiol* 2007;80:926-33.
- Johnstone E, Wyatt JJ, Henry AM, et al. Systematic review of synthetic computed tomography generation methodologies for use in magnetic resonance imaging-only radiation therapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2018;100:199-217.
- Barentsz JO, Richenberg J, Clements R, et al. European Society of Urogenital Radiology. ESUR prostate MR guidelines 2012. *Eur Radiol* 2012;22:746-57.
- Rasch C, Barillot I, Remeijer P, Touw A, van Herk M, Lebesque JV. Definition of the prostate in CT and MRI: a multi-observer study. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1999;43:57-66.
- Gao Z, Wilkins D, Eapen L, Morash C, Wassef Y, Gerig L. A study of prostate delineation referenced against a gold standard created from the visible human data. *Radiother Oncol* 2007;85:239-46.
- Seppälä T, Visapää H, Collan J, et al. Converting from CT- to MRI-only-based target definition in radiotherapy of localized prostate cancer: A comparison between two modalities. *Strahlenther Onkol* 2015;191:862-8.
- Tzikas A, Karaiskos P, Papanikolaou N, et al. Investigating the clinical aspects of using CT vs. CT-MRI images during organ delineation and treatment planning in prostate cancer radiotherapy. *Technol Cancer Res Treat* 2011;10:231-42.
- Smith WL, Lewis C, Bauman G, et al. Prostate volume contouring: a 3D analysis of segmentation using 3DTRUS, CT, and MR. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2007;67:1238-47.
- Gunnlaugsson A, Persson E, Gustafsson C, et al. Target definition in radiotherapy of prostate cancer using magnetic resonance imaging only workflow. *Phys Imaging Radiat Oncol* 2019;9:89-91.
- Steenbakkers RJ, Deurloo KE, Nowak PJ, Lebesque JV, van Herk M, Rasch CR. Reduction of dose delivered to the rectum and bulb of the penis using MRI delineation for radiotherapy of the prostate. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2003;57:1269-79.
- Tyagi N, Fontenla S, Zelefsky M, et al. Clinical workflow for MR-only simulation and planning in prostate. *Radiat Oncol* 2017;12:119.
- Keyriläinen J, Sjöblom O, Turnbull-Smith S, Hovirinta T, Minn H. Clinical experience and cost evaluation of magnetic resonance imaging-only workflow in radiation therapy planning of prostate cancer. *Phys Imaging Radiat Oncol* 2021;19:66-71.
- Persson E, Svanberg N, Scherman J, et al. MRI-only radiotherapy from an economic perspective: Can new techniques in prostate cancer treatment be cost saving? *Clin Transl Radiat Oncol* 2023;38:183-7.
- Nyholm T, Nyberg M, Karlsson MG, Karlsson M. Systematisation of spatial uncertainties for comparison between a MR and a CT-based radiotherapy workflow for prostate treatments. *Radiat Oncol* 2009;4:54.
- Edmund JM, Nyholm T. A review of substitute CT generation for MRI-only radiation therapy. *Radiat Oncol* 2017;12:28.
- Owringi AM, Greer PB, Glide-Hurst CK. MRI-only treatment planning: benefits and challenges. *Phys Med Biol* 2018;63:05TR01.
- Seibert TM, White NS, Kim GY, et al. Distortion inherent to magnetic resonance imaging can lead to geometric miss in radiosurgery planning. *Pract Radiat Oncol* 2016;6:e319-e328.
- Jamtheim Gustafsson C. MRI-only radiotherapy of prostate cancer. Development and evaluation of methods to assess fiducial marker detection, geometric accuracy and dosimetric integrity. Lund University: Faculty of Medicine; 2019.
- Murgić J, Gregov M, Mrčela I, et al. MRI-guided radiotherapy for prostate cancer: a new paradigm. *Acta Clin Croat* 2022;61(Suppl 3):65-70.
- Tenhunen M, Korhonen J, Kapanen M, et al. MRI-only based radiation therapy of prostate cancer: workflow and early clinical experience. *Acta Oncologica* 2018;57:902-7.