

Juhtmevabad südamestimulaatorid

Priit Pauklin^{1,2}

Viimased aastad on rütmihäirete invasiivses ravis olnud erakordselt huvitavad. Kasutusele on võetud uued ablatsioonravi tehnoloogiad, kuid ka südamestimulaatorite vallas on olnud uusi põnevaid arenguid. Laialdasemalt on rakendatud juhteteede stimulatsiooni tehnikaid ning tänu tehnoloogilisele arengule on levima hakanud ka juhtmevabad südamestimulaatorid (ingl *leadless pacemakers*). Kuna neid seadmeid on hakatud paigaldama ka Eestis, on artikli eesmärk anda ülevaade uutest juhtmevabadest stimulaatoritest, nende erisustest võrreldes tavapäraste stimulaatoritega, paigalduse tehnikast ja kasutusnäidustustest.

TEE JUHTMEVABADE SÜDAMESTIMULAATORITENI

Esimene südamestimulaator paigaldati 1958. aastal Rootsis. Patsiendiks oli noor mees Arne Larsson, kelle esinesid süngoobi episoodid 20–30 korda päevas täieliku atriuventrikulaarse blokaadi tõttu. Aparaaadi ehitas Rootsi arst ja insener Rune Elmqvist ning seadme paigaldas kirurg Ake Senning. Esimene stimulaator töötas kõigest mõne tunni, kuid järgnevad seadmed pidasid vastu järjest paremini. Oma eluajal vahetati Arne Larssonil stimulaatori elektroode 5 korral ja südamestimulaatorit 22 korral. Larsson suri 2021. aastal 86 aasta vanuselt pahaloomulise protsessi tõttu, mis ei olnud kuidagi seotud tema stimulaatoritega ega juhtehäirega, elanud üle nii inseneri kui ka kirurgi, kes talle esmase seadme paigaldasid (1).

Järgnevatel kümnenditel arenes tehnoloogia kiiresti, tuues kaasa väiksemad generaatorite mõõtmed, parema akukeemia, täiustatud programmeerimisvõimalused ning suurema elektroodide vastupidavuse. Hoolimata nendest edusammudest on transvenoossete südamestimulaatorite nõrgaks kohaks jäänud elektroodid ja nahalune generaatoritasku, millega seostuvad infektsioonid, hematoomid, elektroodide murdumine ja nihkumine ning pneumotooraksi oht paigaldamisel.

Soov vähendada elektroodide ja generaatoritaskuga seotud tüsistusi viis kontseptsioonini paigutada südamestimulaator täielikult südameõõnde. Juba 1970ndate alguses kirjeldas dr J. William Spickler esimese täielikult iseseisva intrakardiaalse südamestimulaatori ideed ning näitas selle teostatavust loomkatsetes (1, 2). Toonane

tehnoloogia ei võimaldanud kliinilist rakendust, kuid pani aluse juhtmevabade südamestimulaatorite kontseptsioonile, mille realiseerumine sai võimalikuks alles mitu aastakümnet hiljem tänu seadmete suuruse vähendamisele, paremale akutehnoloogiale ja kateetripõhiste implantatsioonitehnikate arengule. Kliinilisse praktikasse jõudsid juhtmevabad südamestimulaatorid alles 2010. aastate alguses, kui esimene juhtmevaba stimulaator (Nanostim, St. Jude Medical) paigaldati Tšehhis 2012. aastal (3, 4).

TRANSVENOOSSED SÜDAMESTIMULAATORID

Traditsiooniliselt kasutatakse igapäevases kliinilises praktikas enamikul juhtudel transvenoosseid südamestimulaatoreid, mis koosnevad stimulaatori generaatorist ning sõltuvalt aparaadist ja selle funktsioonidest 1–3 elektroodist, mis stimulaatori generaatori külge ühendatakse. Selleks, et stimulaator saaks jälgida südames liikuvaid elektriimpulsse ja vajaduse korral südant stimuleerida, peab tal olema otsene kontakt südamelihasega. Südamestimulaatori elektroodid viiakse südameni mööda ülajäseme veene kas õlalihase ja rinnalihase vahelise (ld *vena cephalica*), kaenlaaluse (ld *vena axillaris*) või rangluualuse veeni (ld *vena subclavia*) kaudu ning kinnitatakse röntgenkontrolli all südamelihase seina külge enamasti elektroodi otsas oleva väikese väljakeeratava kruvi abil. Stimulaator ise paigaldatakse tavaliselt vasakule rangluualusesse piirkonda rinnalihase peal olevasse operatsiooni käigus tekitatud „taskusse“.

Eesti Arst 2026;
105(8):373–377

Saabunud toimetusse:
02.03.2026
Avaldamiseks vastu võetud:
06.04.2026
Avaldatud internetis:
23.08.2026

¹ Tartu Ülikooli kliinilise meditsiini instituudi südamekliinik,
² Tartu Ülikooli Kliinikumi südamekliinik

Kirjavahetajaautor:
Priit Pauklin
priit.pauklin@kliinikum.ee

Võtmesõnad:
bradükardia, juhtmevabad stimulaatorid, juhtehäired

Kasutusel on nii ühekambrilisi- kui ka kahekambrilisi südamestimulaatoreid, mis võimaldavad stimuleerida nii koda kui ka vatsakest või mõlemat. Lisaks on ka kasutusel erifunktsioonidega kardioverter-defibrillaatorid (ingl *implantable cardioverter-defibrillator*) ja südame resünkroniseeriva ravi aparaadid (ingl *cardiac resynchronization therapy*) ning

nende kombinatsioonseadmed, mis on kõige kõrgtehnoloogilisemad aparaadid. Viimased eeldavad spetsiaalsete šokifunktsiooni võimaldavate ja/või eriliste südame vasaku vatsakese peal kulgevatesse veenidesse paigaldatavate elektrootodide kasutamist (5).

EESTIS KASUTUSEL OLEVATE JUHTMEVABADE STIMULAATORITE TUTVUSTUS

Eestis on kasutusel Aveir'i (Abbott) juhtmevabade stimulaatorite süsteem, mille hulgas on nii juhtmevaba vatsakese stimulaator kui ka koja stimulaator ning paigaldamiseks vajalik sisestushülss, juhtekateeter ja vajadusel ka aparadi eemaldamiseks kasutatav kateeter. Süsteemi teeb ainulaadseks asjaolu, et koja ja vatsakese stimulaatorid on võimelised ka omavahel juhtmevabalt suhtlema, töötades nagu klassikaline kahekambriline südamestimulaator.

Vajaduse korral on võimalik esmalt paigaldada üks seade ning hiljem lisada ka teine, kui kliiniline vajadus seda nõuab. Selline modulaarsus võimaldab vähendada ressursikulu ja julgemalt kasutada siinus-sõlme nõrkusega patsientidel esmalt koja-stimulaatorit ja lisada vatsakese seade vaid nendel üksikutel patsientidel, kelle hiljem kujuneb välja ka juhtehäire atrioventrikulaarsõlmes. See on teinud vastava süsteemi ainulaadseks, kuna praeguseni ei ole ükski teine turul olev juhtmevaba südamestimulaator võimeline töötama kahekambrilise stimulaatori asendajana.

Tegemist on küllaltki väikeste aparadidega. Koja stimulaator on silindrikujuline 32 mm pikkune ja 6,5 mm läbimõõduga ning 2,1 g kaaluv aparaat, mille otsas on väline fikseerimiskruvi ja sisemine aktiivne stimulaatorikruvi. Vatsakese stimulaator on veidi pikem, 38 mm pikkune, ning 6,5 mm läbimõõduga, kaaludes 2,4 g. Ka selle aparadi otsas on 1 väline fikseerimiskruvi ja sisemine kuppel-elektrood. Teisel pool on mõlemal aparadil kinnitusnupp, mille külge paigutub juhte- või vajaduse korral eemalduskateeter (4, 6).

Seadmete patarei eluiga sõltub seadistatud parameetritest ja vajalikust stimulatsiooniprotsendist, mistõttu on protseduuri käigus oluline leida madalaid stimulatsiooniävesid võimaldav piirkond. Ühekambriliseks töötava juhtmevaba vatsakese seadme eeldatav eluiga pideva stimulatsiooni korral



Allikas: erakogu

Joonis 1. Kahekambriline südamestimulaator vasakul ning vatsakese ja koja juhtmevabad stimulaatorid paremal.



Allikas: Abbott Aveir'i kodulehekül

Joonis 2. Koja ja vatsakese stimulaatori asukohad südame mudelis.

on keskmiselt 10–15 aastat, koja seadme korral 8–10 aastat, osalise stimulatsiooni-vajaduse korral võib patarei vastu pidada märkimisväärselt kauem. Pidevat suhtlust vajava kahekambrilise süsteemi korral väheneb aparaatide eluiga mitu aastat, mistõttu on selles tööea parandamiseks tehtud juba praegu olulisi arendusi. Koja stimulaatori uuendatud mudeli puhul on suudetud aparaadi eluiga suurendada 25% (7).

JUHTMEVABA SÜDAMESTIMULAATORI PAIGALDUS

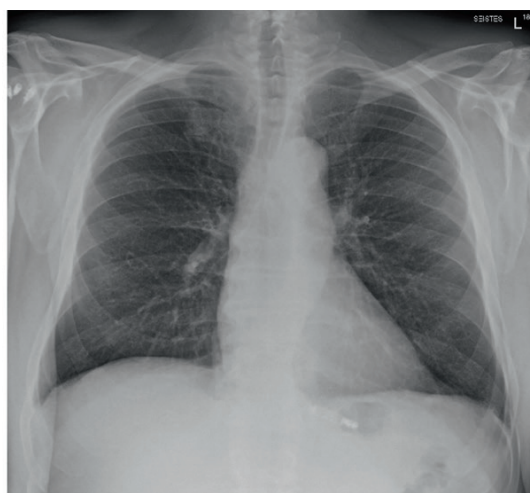
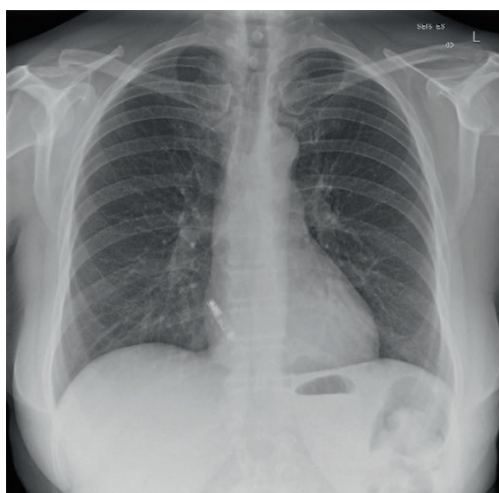
Sarnaselt tavapärase südamestimulaatoriga eeldab ka juhtmevaba seadme paigaldus kogenud personali ja operatsioonitoa tingimusi. Protseduur viiakse läbi kohaliku tuimestusega. Enamiku protseduuride jaoks kasutatakse sissepääsuteeks reieveeni, kuid vajaduse korral on protseduuriks võimalik kasutada ka sisemist jugulaar- ehk kägiveeni. Pärast tuimestussüsti punkteeritakse vajalik veen, millesse asetatakse 25 F läbimõõduga klapiga sisestushülss, mis võimaldab edasise juurdepääsu veenisüsteemile. Seejärel viiakse südamesse juhtekateeter, mille külge on kinnitatud juhtmevaba südamestimulaator. Juhtekateeter võimaldab aparaadi viia läbi trikuspidalklapi parema vatsakese vaheseina või parema koja kõrvakese suudme lähedusse.

Aveir'i süsteemi korral on võimalik kontrollida juhtmevaba stimulaatori para-

meetreid enne selle kinnitamist, et vajadusel aparaadi asukohta vahetada ilma südamelihast kahjustamata. Sobiliku koha leidmiseks kasutatakse röntgenoloogilisi suuniseid ja kontrastainet täpse asukoha hindamiseks. Selle järel kruvitakse juhtmevaba stimulaator juhtekateetri abil südame sisepinna külge ja pärast stabiilse kinnituse kontrollimist vabastatakse stimulaator juhtekateetri küljest. Vajaduse korral paigaldatakse ka teine stimulaator teise südamekambrisse sama hülsi kaudu. Pärast protseduuri suletakse sisestustee ühe ajutise õmblusega ja survekotiga punktsioonikohal või selleks spetsiaalselt kasutatava veenisulguriga (6).

Tavapärastelt jääb patsient kuni järgmise hommikuni jälgimisele haiglasse, kus aparaadi parameetrid ja punktsioonikoht kontrollitakse veel kord üle. Kuigi aparaadi paigaldamine on turvaline ja tõsiste tüsistuste risk on madal, peab siiski arvestama potentsiaalselt ka punktsioonikoha veritust, perikardi tamponaadi ja aparaadi dislotseerumise ohuga (6, 8).

Esimesed juhtmevabad vatsakese südamestimulaatorid Baltikumis paigaldati Tartu Ülikooli Kliinikumis 2025. aasta veebruaris ja koja seadmed novembris 2025. Artikli valmimise ajaks on Tartu Ülikooli Kliinikumis paigaldatud 4 koja ja 9 vatsakese seadet, plaanis on paigaldada täiendavad aparaadid. Ka Põhja-Eesti Regionaalhaigla on juhtmevabade stimulaatorite programiga alustanud ja paigaldanud esimese koja seadme käesoleva aasta veebruaris.



Allikas: erakogu

Joonis 3. Röntgenipildid paigaldatud seadmetest. Vasakul Aveir'i kojastimulaator, paremal Aveir'i vatsakesestimulaator.

PATSIENDI VALIK

Kuigi traditsioonilised transvenoossed südamestimulaatorid on laialdaselt kasutusel, ohutud ja väga töökindlad, on siiski nende süsteemidega spetsiifilisi võimalikke probleeme, mis on seotud nende ehitusega. Kuna inimese süda „lööb“ aastas keskmiselt 35–40 miljonit korda, siis peavad südamestimulaatori elektrodid olema erakordselt vastupidavad pidevale liikumisele. Lisaks on seadmete paigaldamise järel vereringes ja nahaaluses koes arvestatav hulk võõrmaterjali elektrodide ja generaatori näol, mis on potentsiaalselt vastuvõtlikud infektsioonile.

Uuringute alusel on transvenoosse stimulaatori saanutel 1–2% risk aasta jooksul komplikatsioonide tekkeks, mis on peamiselt seotud just stimulaatori elektrodidega või infektsiooniga (9). Eelmainitu on eriti oluline just tavapärasest kõrgema infektsiooniriskiga patsientide puhul (diabeetikud, hemodialüüsil olevad patsiendid, immuunpuudulikkusega või varasemate korduvate infektsioonidega patsiendid). Juhtmevabade südamestimulaatorite korral on uuringud näidanud pikaajaste tüsistuste riski vähenemist kuni 51% võrra (9). Lisaks esineb patsiente, kellele ei ole võimalik paigaldada tavapärast südamestimulaatorit ülajäsemete magistraalveenide sulguse, ahenemise või anatoomiliste eripärade tõttu.

Praegused Euroopa rütmihäirete assotsiatsiooni ravijuhendid (10) ja konsensusdokumendid (11) soovivad kaaluda juhtmevaba stimulaatori paigaldamist just patsientidele, kellel on nimetatud kõrgeenenud infektsiooni riskitegurid või anamneesis varasem südamestimulaatoriga seotud infektsioon. Juhtudel, kui on eelnevalt teada probleemid ülajäseme veenide läbitavusega, võiks juhtmevaba stimulaator olla eelistatud variant kirurgiliselt südame peale kinnitatud elektrodidele. Ka patsientidel, kellel on varasemast teada trikuspidaalklapi oluline tagasivool või on paigaldatud trikuspidaalklapi bioprotees, võiks kaaluda eelistatult juhtmevaba vatsakese stimulaatori paigaldamist transvenoosse seadme asemel, kuna sellisel juhul välditakse elektroodi paigaldamist läbi trikuspidaalklapi paremasse vatsakesse, mis võib omakorda klapifunktsiooni takistada ja tagasivoolu süvendada (10, 11).

Kuna aparaadid on tavapäraste südamestimulaatoritega võrreldes praegu veel

kallimad, on ka nende kasutusnäidustused transvenoossete stimulaatoritega võrreldes rohkem piiratud. Tehnoloogia küpsemise ja hinna langusega kaasnevalt näeme tulevikus kindlasti juhtmevabade südamestimulaatorite kasutusnäidustuste laienemist.

TULEVIKUSUUNAD

Üheks peamiseks tulevikusuunaks juhtmevabade südamestimulaatorite edasiarendusel on patarei võimekuse parandamine ja seeläbi masinate eluea pikendamine. Ühe variandina otsitakse võimalusi, kuidas kasutada südame enda liikumist energia kogumiseks ja seeläbi aparaadi patarei laadimiseks (4). Praegused juhtmevabad stimulaatorid on mõeldud täitma samu funktsioone, kui klassikalised ühekambrilised ja kahekambrilised südamestimulaatorid. Praegused juhtmevabad seadmed ei ole võimalised rakendama kõrgpingeteraapiat ehk südant defibrilleerima. Lisaks ei ole võimalik nende aparaatidega teha südame resünkroniseerivat ravi.

Siiski on ka nendes suundades tehtud esimesed edusammud. Esimesed inimuuringud on edukalt läbitud juhteteede stimulatsiooniks spetsiaalselt väljatöötatud juhtmevabade stimulaatorite prototüüpidega, mida on võimalik sisestada sügavamale vatsakestevahelisse vaheseina ja seeläbi stimuleerida vasaku vatsakese elektrijuhetüsteemi, tagades füsioloogilisema stimulatsiooni võrreldes tavapärase parempoolse vaheseina stimulatsiooniga (12). Lisaks on arendusel juhtmevaba südamestimulaatori ja implanteeritava nahaaluse defibrillaatori (ingl *subcutaneous implantable cardioverter-defibrillator*) integreeritud süsteemid (11).

KOKKUVÕTE

Juhtmevabad südamestimulaatorid on uudne võimalus abistada bradükardiaga ja juhtehäiretega patsiente. Lähiaastatel ei asenda need aparaadid veel tõenäoliselt täielikult klassikalisi transvenoosseid südamestimulaatoreid, kuid samas on need seadmed oluliseks täienduseks, et ravida kõrge infektsiooniriskiga ja potentsiaalselt probleemse veeniteega patsiente, kes vajavad südamestimulaatorit.

VÕIMALIKU HUVIKONFLIKTI DEKLARATSIOON

Autoril puudub huvide konflikt seoses artiklis käsitletud teemaga.

SUMMARY

Leadless pacemakers

Priit Pauklin^{1,2}

Leadless pacemakers are a novel option for treating patients with bradycardia and conduction disorders. In the coming years, these devices are unlikely to completely replace traditional transvenous pacemakers; however, they represent an important addition in the management of patients with high infection risk, and those with potentially problematic venous access who require a pacemaker.

KIRJANDUS / REFERENCES

1. Aquilina O. A brief history of cardiac pacing. *Images Paediatr Cardiol* 2006;8:17–81.
2. Spickler JW, Rasor NS, Kezdi P, Misra SN, Robins KE, LeBoeuf C. Totally self-contained intracardiac pacemaker. *J Electrocardiol* 1970;3:325–31.
3. Steinwender C, Leal MA. Evolution of leadless pacemaker technology. *Eur Heart J Suppl* 2025;27(Suppl 2):ii39–ii46.
4. Breeman KTN, Tjong FVY, Miller MA, et al. Ten years of leadless cardiac pacing. *J Am Coll Cardiol* 2024;84:2131–47.
5. Burri H, Starck C, Auricchio A, et al. EHRA expert consensus statement and practical guide on optimal implantation technique for conventional pacemakers and implantable cardioverter-defibrillators: endorsed by the Heart Rhythm Society (HRS), the Asia Pacific Heart Rhythm Society (APHRS), and the Latin-American Heart Rhythm Society (LAHRS). *Europace* 2021;23:983–1008.
6. Neuzil P, Hubbard C, Doshi RN, et al. Implantation techniques for a helix-fixation dual-chamber leadless pacemaker. *Heart Rhythm* 2024;21:2552–62.
7. Reddy VY, Doshi R, Ip JE, et al. Battery longevity of a helix-fixation dual-chamber leadless pacemaker: results from the AVEIR DR i2i Study. *Europace* 2025;27.
8. Ngo L, Nour D, Denman RA, et al. Safety and efficacy of leadless pacemakers: a systematic review and meta-analysis. *J Am Heart Assoc* 2021;10:e019212.
9. Saleem-Talib S, Hoevenaars CPR, Molitor N, et al. Leadless pacing: a comprehensive review. *Eur Heart J* 2025;46:1979–90.
10. Glikson M, Nielsen JC, Kronborg MB, et al. 2021 ESC Guidelines on cardiac pacing and cardiac resynchronization therapy: Developed by the Task Force on cardiac pacing and cardiac resynchronization therapy of the European Society of Cardiology (ESC) With the special contribution of the European Heart Rhythm Association (EHRA). *Eur Heart J* 2021;42:3427–520.
11. Boersma LV, El-Chami M, Steinwender C, et al. Practical considerations, indications, and future perspectives for leadless and extravascular cardiac implantable electronic devices: a position paper by EHRA/HRS/LAHS/APHRS. *Europace* 2022;24:1691–708.
12. Reddy VY, Nair DG, Doshi SK, et al. First-in-human study of a leadless pacemaker system for left bundle branch area pacing. *Heart Rhythm* 2025;22:2010–7.

¹ University of Tartu Department of Cardiology,
² Tartu University Hospital Heart Clinic

Keywords:
bradycardia, leadless pacemakers

Correspondence to:
Priit Pauklin
priit.pauklin@kliinikum.ee

LÜHIDALT

Südame vasaku koja laienemine on ajuvereringe häirete sõltumatu riskitegur

Südame vasaku koja laienemine kujuneb krooniliselt mõjuva kõrge-
nenud vererõhu, südame klapi-
kete või vasaku vatsakese dias-
toorse funktsiooni häirete korral.
Uuringute andmeil kujunevad
südame vasaku koja laienemisega
patsientidel sageli kodade virven-
dusarütmia, ajuvereringe häired
ja südamepuudulikkus.

Itaalia Milano piirkonna mitme
haigla koostöös selgitati prospek-
tiivse kohortuuringugaaju transi-
toorse isheemia ja isheemilise
insuldi kujunemise riski seost

vasaku koja laienemise väljen-
dusastmega ühe aasta jooksul.
Analüüsiti 53 109 patsienti, kel
ei olnud kodade virvendusarü-
tmia ega anamneesis ajuvere-
ringe häireid ning kelle kohta
olid olemas ehhokardiograafia
leiu andmeid. Vasaku koja laiene-
mise suurust hinnati vasaku koja
mahuindeksi põhjal: väike 34–41
mL/m², mõõdukas 42–48 mL/m²,
suur > 48 mL/m².

Ilmnes otsene seos vasaku
koja laienemise väljendusastme ja
ajuvereringe häirete riski suuruse
vahel: kerge laienemise korral oli
risk 21%, mõõduka laienemise
korral 48% ja suure laienemise
korral 85% suurem võrreldes

vasaku koja laienemiseta patsienti-
dega. Kokkuvõtlikult: vasaku koja
diameetri suurenemine 1 cm võrra
suurendab ajuvereringe häirete
riski 24% võrra.

Vasaku koja laienemise korral
aeglustub vasemas kojas verevool,
võivad tekkida trombid ja südame
varjatud rütmihäired. Uuringu
tulemused kinnitavad, et vasaku
koja laienemine on iseseisev sõltu-
matu isheemilise insuldi ja transi-
toorse isheemia riskitegur.

REFEREERITUD

Clerici B, Casazza G, Russo A, et al. Left atrial en-
largement and 1-year cerebrovascular events in
subjects without atrial fibrillation: A prospective
cohort study. *Eur J Intern Med* 2026;148:106785.