



**VILNIAUS UNIVERSITETAS
MEDICINOS FAKULTETAS**

Medicina

Širdies ir kraujagyslių ligų klinika, Klinikinės medicinos institutas

Vytautas Radavičius, VI kursas, 16 grupė

VIENTISŪJŲ STUDIJŲ MAGISTRO BAIGIAMASIS DARBAS

**Neinvaziniais vaizdiniais tyrimais ir dirbtiniu intelektu suplanuotų aritmijų
abliacijos procedūrų įvertinimas**

**Evaluation of arrhythmia ablation procedures planned using noninvasive
imaging studies and artificial intelligence**

Darbo vadovas

dr. Justinas Bacevičius

Klinikos vadovė

profesorė, dr. Sigita Glaveckaitė

Vilnius, 2026

Studento elektroninio pašto adresas: vytautas.radavicius@mf.stud.vu.lt

Turinys

Santrauka (lietuvių kalba).....	4
Santrauka (anglų kalba).....	5
1. ĮVADAS.....	6
2. TIRIAMIEJI IR METODAI.....	9
2.1. Tyrimo dizainas.....	9
2.2. Dirbtinio intelekto įgalinta ir vaizdinimu paremta abliacija, derinama su konvencine abliacija.....	9
2.2.1. Priešprocedūrinis pasiruošimas.....	9
2.2.2. Intraprocedūrinės detalės.....	11
2.3. Pacientų stebėjimas.....	14
2.4. Statistinė analizė.....	14
3. REZULTATAI.....	14
3.1. Pacientų aprašymas ir analizė.....	14
3.2. Procedūrinės charakteristikos.....	14
3.3. Poprocedūrinis stebėjimas ir komplikacijos.....	15
4. APTARIMAS.....	19
4.1. Kateterinė abliacija skilvelinių tachikardijų intervenciniame gydyme.....	19
4.2. DSP žemėlapių sudarymas, derinamas su dirbtinio intelekto konstruotu vaizdinimu.....	20
4.3. Populiacijos ir procedūrų duomenų palyginimas.....	25
4.4. Dauginės monomorfinės skilvelinės tachikardijos.....	27
4.5. Specifinė populiacija ir abliacijos procedūros rizikos įvertinimas.....	29
4.6. Radiodažninė kateterinė abliacija, antiaritminiai vaistai ir IKD.....	32
4.7. Baigiamojo darbo privalumai ir trūkumai.....	34
5. IŠVADOS.....	35
6. BAIGIAMOJO DARBO PRAKTINĖS REKOMENDACIJOS.....	35
Literatūros sąrašas.....	37

Santrumpos:

KT – kompiuterinė tomografija;
DI – dirbtinis intelektas;
DSP – dekremento sužadinti potencialai;
SkT – skilvelinė tachikardija;
VT – ventrikulinė tachikardija;
KSIF – kairiojo skilvelio išstūmimo frakcija;
IKD – implantuojamas kardioverteris - defibriliatorius;
MRT – magnetinio rezonanso tomografija;
IKE – intrakardinė echokardiografija;
PES – programuota elektrinė stimuliacija;
DS – dešinys skilvelis;
KS – kairys skilvelis;
EKG – elektrokardiograma;
DSIT – dešiniojo skilvelio išstūmimo traktas;
TCI – tachikardijos ciklo ilgis;
LIL – lėtinė inkstų liga;
ŠN – širdies nepakankamumas;
ATS – antitachikardinė stimuliacija;
KSIT – kairiojo skilvelio išstūmimo traktas;
IKMP – išeminė kardiomiopatija;
LPSA – lokalus patologinis skilvelių aktyvumas;
EKGV – elektrokardiografinis vaizdinimas;
KHPKB – kairės Hiso pluošto kojytės blokada;
SKM – staigi kardialinė mirtis;
AAV – antiaritminiai vaistai;
MI – miokardo infarktas

Santrauka

Pagrindas

Į specializuotas vaizdų apdorojimo sistemas importuoti kompiuterinės tomografijos (KT) vaizdai leidžia atlikti vaizdų segmentaciją ir integruoti juos su elektroanatominiais žemėlapiais. Neinvazinį dirbtiniu intelektu (DI) pagrįstą vaizdinimą ir dekrementinių sužadintų potencialų (DSP) žemėlapių sudarymą integravus į abliacijos procedūras, siekiama prognozuoti kritinių randinių sričių parinkimą išeminės iki numatomos skilvelinės tachikardijos (SkT) abliacijos procedūros.

Metodai

Į pilotinį skerspjūvio analitinį tyrimą 2024 - 2025 m. įtraukti pacientai (n=4), sergantys išemine kardiomiopatija ir su randu susijusia SkT. Ikioperaciniai KT vaizdai buvo apdoroti naudojant DI atliekamą vaizdų segmentavimo platformą, siekiant nustatyti rando pasiskirstymą ir prognozuojamus kritinius aritmijos ratui kanalus. Papildomai procedūros metu atliktas didelės skiriamosios gebos dekrementinių sužadintų potencialų žemėlapių sudarymas. Abliacija pirmiausia buvo nukreipta į DSP vietas, kurios sutapo su DI apibrėžtomis sąsmaukomis. Po visų pirminių taikinių abliacijos SkT indukuojamumas buvo tikrinamas taikant 400/S2/S3/S4 stimuliacijos protokolą ir farmakologinės provokacijos mėginius.

Rezultatai

Visi pacientai buvo vyrai; vidutinis amžius - $69,2 \pm 5,7$ metų, vidutinė kairiojo skilvelio išstūmimo frakcija (KSIF) – $32,2 \pm 13,2$ %, nustatyta vidutiniškai $13,67 \pm 18,93$ implantuojamų kardioverterių-defibriliatorių (IKD) iškrovų. Vidutinis rando tūris buvo $26,59 \pm 6,96$ ml, vidutiniškai nustatyti $10,5 \pm 5,72$ iš anksto apibrėžti, nuo SkT priklausomi kritiniai kanalai ir $2 \pm 1,41$ pirminių indukuojamų SkT morfologijų vienam pacientui. Priešprocedūrinis PAINESD rizikos balas vidutiniškai siekė $14,75 \pm 5,12$. Vaizdinimo ir DSP abliacijos taktika leido pasiekti sėkmingą SkT pašalinimą operacijos pabaigoje visiems pacientams. Stebėjimo laikotarpiu, kurio mediana $10 \pm 2,83$ mėn. (intervalas 6–12 mėn.), nepertraukiamų SkT atkryčių nenustatyta. Visų pacientų pooperacinė savaime nutrūkstančios SkT išgyvenamumo analizės tikimybė buvo 50 % po 7 mėn.

Išvada

Ši kombinuota intervencija rodo, kad DI pagrindu nustatytos anatominių kritinių kanalų lokalizacijos derinimas su DSP funkciniu žemėlapių sudarymu yra įgyvendinamas ir gali pagerinti substrato taikinių parinkimą išeminės SkT abliacijos metu. Reikalingi didesni palyginamieji tyrimai, siekiant įvertinti poveikį ilgalaikiams rezultatams.

Raktažodžiai: abliacija; skilvelinė tachikardija; aritmija; dirbtinis intelektas; vaizdinimas; DSP

Abstract

Background

Images from computed tomography (CT) imported into specialized image processing systems perform image segmentation and integration with electroanatomic maps. Integrating non-invasive artificial intelligence (AI) and decrement evoked potential (DEEP) mapping into ablation procedures may improve substrate targeting in ischemic ventricular tachycardia (VT) ablation.

Methods

Patients (n=4) with ischemic cardiomyopathy and scar-related VT were included between 2024 and 2025 into the pilot observational study. Pre-procedural CT scans were processed using an AI-guided imaging platform to identify scar distribution and predicted isthmuses. High-density DEEP mapping was performed intra-procedurally. Ablation primarily targeted DEEP sites co-localizing AI-defined isthmuses. Non-inducibility was tested after the ablation of all primary targets using the 400/S2/S3/S4 stimulation protocol and pharmacological provocation testing.

Results

All patients were male with a mean age of 69.2 ± 5.7 years, mean left ventricular ejection fraction (LVEF) of $32.2 \pm 13.2\%$, and a mean number of $13,67 \pm 18,93$ discharges of implantable cardioverter-defibrillators (ICDs). Patients presented with an average scar volume of 26.59 ± 6.96 ml, 10.5 ± 5.72 pre-defined VT-dependent isthmuses and 2 ± 1.41 primary inducible VTs per patient. Pre-procedural PAINESD risk score averaged 14.75 ± 5.12 . Primarily ablation tactic resulted in VT non-inducibility in all patients. During a median follow-up of 10 ± 2.83 months (range 6-12 months), no sustained VT recurrences were observed. Freedom from non-sustained VT was 50% at 7 months.

Conclusion

This pilot experience suggests that combining AI-derived anatomical isthmus prediction with DEEP functional mapping is feasible and may enhance substrate targeting in ischemic VT ablation. Larger comparative studies are required to determine its impact on long-term outcomes.

Keywords: ablation; ventricular tachycardia; arrhythmia; artificial intelligence; imaging; DEEP

1. ĮVADAS

Kateterinė radiodažninė abliacija per pastaruosius dešimtmečius iš neišplėtos ir įrodymų stokojančios elektrofiziologinės intervencijos tapo viena svarbiausių šiuolaikinės inovatyvios kardiologijos priemonių. Tai sritis, leidžianti pašalinti aritmijos epizodus ankstyvuoju poprocedūriniu laikotarpiu, taip pat tikslingai modifikuoti patogenetinį aritmologinį substratą. Tokiu būdu mažinama aritmijų sukeliama našta, simptomai, hospitalizacijų dažnis ir su prietaisų terapijomis (IKD) susijusios komplikacijos. Šios srities aktualumas ir daugėjančių praktinių tyrimų kiekis kyla iš kelių lygiagrečių procesų: didėjančio aritmijų paplitimo senėjančioje populiacijoje ir sparčios technologinės pažangos (žemėlapių sudarymo sistemų, kateterių, skirtingų energijų rūšių panaudojimo ir vaizdinimo programų integracijos), klinikinių rezultatų vertinimo aiškumo (aiškesni procedūriniai tikslai ir baigtys). Vienas svarbiausių aspektų yra vis tobulėjantis aritmijos mechanizmo supratimas, kad daugelis kliniškai reikšmingų aritmijų nėra vien fiksuotas anatomicinis židiny. Tai labiau sudėtinga erdvinė - laikinė laidumo sutrikimų sistema, kurios pašalinimas reikalauja preciziškos diagnostikos ir individualizuotos intervencijos. Ypač esant išeminei širdies ligai ir su išeminiu randu susijusioms ventrikulinėms aritmijoms, abliacijos sėkmę dažnai lemia plati radiodažninės pažaidos apimtis. Tačiau svarbiausia detalizuoti ir išgryninti tikrąjį aritmogeninį substrato taikinį: SkT išėjimo vietą, kritinį kanalą, funkcinio lėto laidumo zoną, intramuralinę diastolinio kelio dalį ar kelių kanalų tinklą, kuris dinamiškai persitvarko priklausomai nuo ciklo ilgio ir stimuliacijos sąlygų (1,2).

Kateterinės abliacijos reikšmė remiasi kertiniu elektrofiziologijos supratimu, kad klinikinę aritmiją palaiko „*re-entry*“ grandinės, židininė automatinė/trigerinė aktyvacija, arba rečiau jų kombinacijos. Abliacija šiems mechanizmsms veikia kaip struktūrinis ar funkcinis barjeras, panaikinant būtiną sąlygą patologiniam laidumui. Praktikoje tai reiškia, kad vien tik anatomicinė lokalizacija dažnai yra nepakankama, nes aritmogeninis substratas gali būti trimatis. O elektrogramų požymiai - priklausomi nuo aktyvacijos krypties, dažnio ir kontaktinių savybių. Būtent todėl šiuolaikinė abliacija vis labiau tampa kaip integruotas diagnostinis procesas, kuriame aukštos skiriamosios gebos elektroanatomicinis žemėlapių sudarymas ir funkciniai manevrai (programuota stimuliacija, „*pace-mapping*“, „*entrainment*“, įvairūs ciklo ilgio pokyčiai) suformuoja aritmijos mechanizmo vaizdą apie numanomą SkT grandinę. Ši diagnostinė logika ypač ryški ventrikulinės tachikardijos abliacijoje. Duomenys rodo, kad pilnas diastolinio kelio atvaizdavimas (ne fragmentiškas diastolinės veiklos fiksavimas) siejamas su didesne laisve nuo SkT atkryčio. Tai pabrėžia, kad modernioje substrato modifikacijos eroje išlieka svarbi sąvoka „visiškai suprasti grandinę“, vietoj įprastos taktikos paprastai identifikuoti randą (3). Šį perėjimą prie sisteminės diagnostikos dar labiau sustiprino multielektrodiniai ir didelio tankio žemėlapių kūrimo kateteriai,

kurie klinikoje leidžia greičiau surinkti didelį kiekį aritmologinės informacijos. Jie patikimiau apibrėžia mažos įtampos sritis ir vizualizuoja diastolės veiklos trajektorijas, taip sumažindami hemodinaminės destabilizacijos riziką, kai SkT yra menkai toleruojama (4).

Kateterinės abliacijos, taikančios pažangius aritmijos židinio lokalizavimo metodus, yra inovatyvi ir sparčiai besivystanti sritis; tačiau jų poveikis apibrėžiant ryšį tarp kliniškai reikšmingo aritmogeninio substrato ir abliacijos taikinių iki šiol nėra pakankamai ištirtas. Iki šiol nėra atlikta sisteminė analizė, kuri įvertintų aritmijos židinio lokalizavimo metodų veiksmingumą ir šiais metodais pagrįstų procedūrų saugumą. Sėkmingai atlikta abliacija gali sumažinti implantuojamo kardioverterio - defibriliatoriaus iškrovų riziką ir užkirsti kelią pasikartojantiems tachikardijos epizodams. Ši procedūra gali palengvinti simptomus, pagerinti ritmo kontrolę ir sustiprinti bendrą paciento prognozę (1). Prieš atliekant kateterinę abliaciją būtina atlikti išsamų priešprocedūrinį ištyrimą. Tačiau klinikinėje praktikoje kyla iššūkių parenkant optimalius lokalizavimo metodus ir integruojant juos su trimatėmis elektroanatominiu žemėlapių sudarymo technologijomis.

Kateterinė abliacija yra nusistovėjusi terapinė strategija skilvelių tachikardijai gydyti, ypač pacientams, sergantiems išemine kardiomiopatija (1). Toks prototipinis substratas pasižymi sutrikusiu elektriniu laidumu, kuris sklinda per gyvybingus kanalus (5). Nepaisant didelės skiriamosios gebos elektroanatominių žemėlapių sudarymo pažangos, SkT atkryčiai išlieka dažni, daugiausia dėl sudėtingos sąveikos tarp fiksuoto anatominio rando substrato ir dinamiškų funkcinių lėto laidumo kanalų.

Neinvazinis širdies vaizdinimas, įskaitant kompiuterinę tomografiją ir magnetinio rezonanso tomografiją (MRT), vis dažniau integruojamas į elektrofiziologinių procedūrų eigą, siekiant prieš abliaciją charakterizuoti miokardo randą ir anatomines ypatybes (6). Šie iš vaizdinimo metodų gauti heterogeniški regionai pasižymi didele atitiktimi elektrofiziologiniam žemėlapių sudarymui ir yra siejami su didesne ilgalaikės SkT indukuojamumo tikimybe (5). Šiuos duomenų rinkinius galima importuoti į specializuotas vaizdų apdorojimo platformas, tokias kaip inHEART, kurios leidžia trimatę rekonstrukciją bei rando architektūros ir galimų „re-entry“ sąsmaukų vizualizaciją (7). Vis dėlto vaizdinimu pagrįsti modeliai pirmiausia apibrėžia fiksuotą anatomicinį substratą ir tiesiogiai neįvertina funkcinių laidumo savybių.

Priešingai, dekrementinių sužadintų potencialų žemėlapių sudarymas identifikuoja funkcines lėto laidumo sritis, kurios gali dalyvauti SkT inicijavime ir palaikyme (8). Funkcinis substrato žemėlapių sudarymas, pagrįstas ekstrastimuliacija, gerina procedūrinius rezultatus ir yra susijęs su mažesniu SkT atkryčių dažniu, palyginti su konservatyvesniu žemėlapių formavimo požiūriu (9). Nors DSP žemėlapių sudarymas suteikia dinaminę elektrofiziologinę substrato charakteristiką, jam trūksta detalaus struktūrinio konteksto. Todėl komplementari anatominio rando vizualizavimo ir

funkcinio substrato žemėlapių sukūrimo integracija gali pasiūlyti išsamesnę strategiją, nukreiptą į kritinių re-entry grandinių taikinius.

Klinikinė dirbtinio intelekto (DI) valdomo vaizdinimo derinamo su DSP žemėlapių kūrimu vertė išeminės SkT abliacijoje iki šiol nebuvo sistemingai įvertinta. Mes keliame hipotezę, kad neinvaziniu dirbtiniu intelektu pagrįstas vaizdinimas ir dekrementinių sužadintų potencialų žemėlapių sudarymu paremtos procedūros užtikrina kumuliacinį efektą, didinant laisvę nuo dokumentuotų SkT epizodų ir užkertant kelią potencialių *de novo* SkT išsivystymui per nustatytus didelės rizikos kritinius kanalus, nepriklausomai nuo tachikardijos ciklo ilgio ir nereikalaujančią plataus substrato homogenizavimo.

Tyrimo tikslas: nustatyti hibridinio, aritmijos substrato vizualizavimu pagrįsto intervencinio gydymo efektyvumą, integruojant dirbtiniu intelektu išvestus anatominius skilvelinės tachikardijos kritinius kanalus su dekremento sužadintų potencialų funkcinio žemėlapių sudarymu be plataus substrato homogenizavimo.

Tyrimo uždaviniai:

- Surinkti ir įvertinti nuasmenintus pacientų medicininius duomenis.
- Pasikviesti pacientus pooperaciniame laikotarpyje ir atlikti implantuojamų kardioverterių-defibriliatorių patikrą.
- Nustatyti procedūrinius ir bendrus pacientų bruožus bei klinikinių išeičių rezultatus.
- Įvertinti publikuotoje literatūroje taikomus ventrikulinės tachikardijos diagnostikos metodus ir palyginti su kombinuotu aritmijos substrato vizualizavimu.

2. TIRIAMIEJI IR METODAI

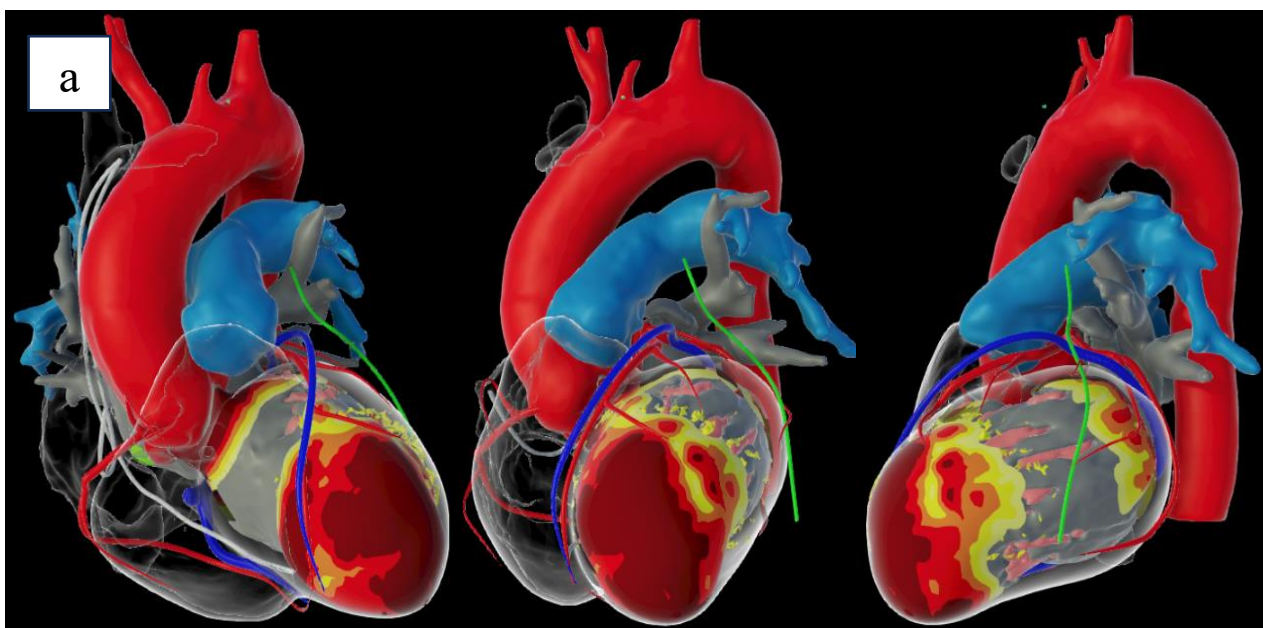
2.1. Tyrimo dizainas

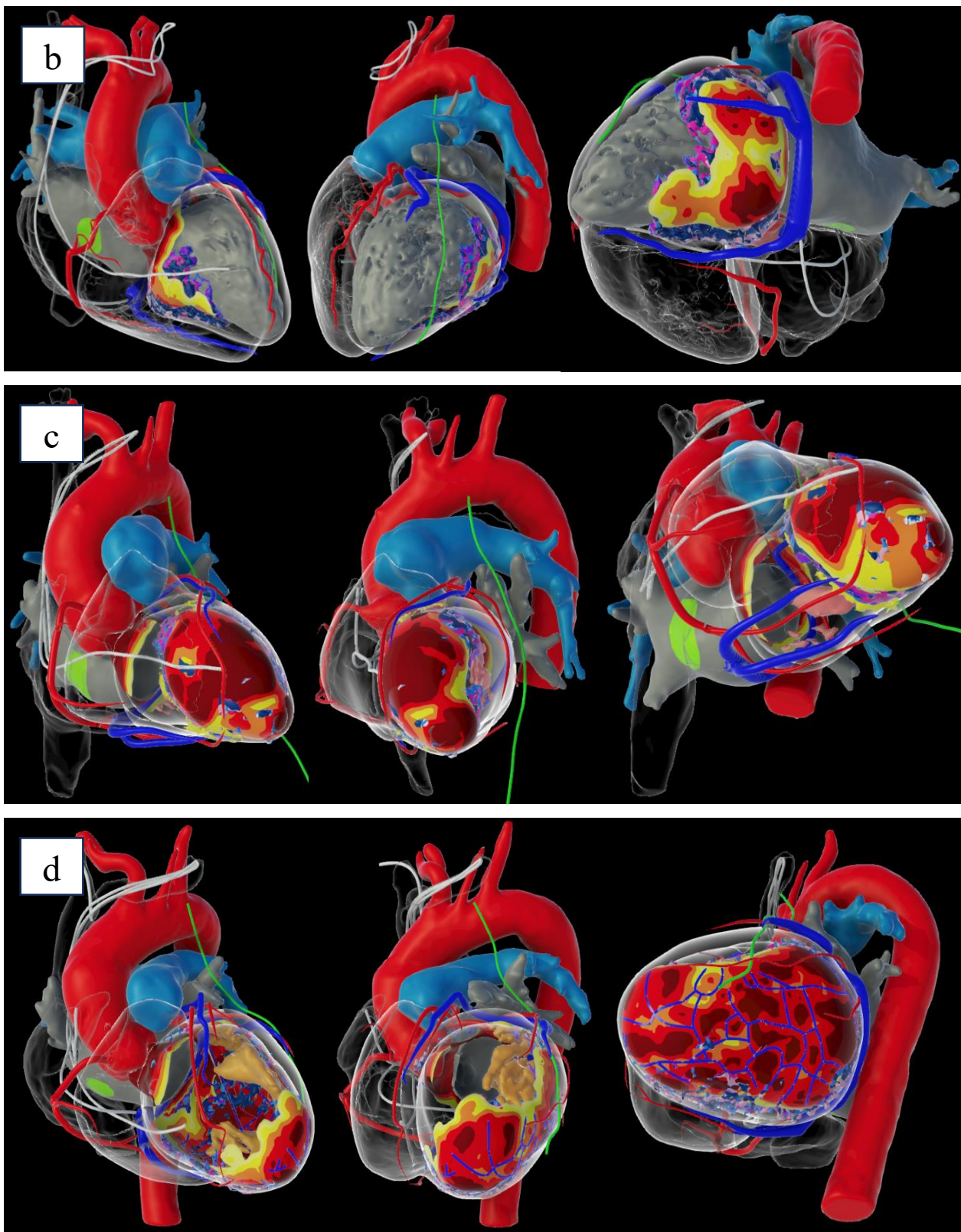
Viename centre atliktame tyrime buvo analizuojami 4 pacientų retrospektyviniai duomenys; šiems pacientams buvo atlikta pirminė arba pakartotinė skilvelių tachikardijos abliacijos procedūra. Visi pacientai buvo patyrę daugybinius pasikartojančius SkT epizodus, atsparius antiaritminiam gydymui, ir IKD iškrovas. Buvo naudojami anonimizuoti Vilniaus universiteto ligoninės Santaros klinikų medicininiai įrašai. Demografiniai ir klinikiniai duomenys buvo surinkti pacientų įtraukimo į abliacijos procedūrą metu. Pacientų įtraukimas pradėtas 2024/01. Visiems pacientams prieš procedūrą buvo atlikti KT tyrimai ir inHEART pagrįsta vaizdų segmentacija. Pacientų diagnostikai ir gydymui buvo naudojamos identiškos žemėlapių kūrimo sistemos ir kateteriai.

2.2. Dirbtinio intelekto įgalinta ir vaizdinimu paremta abliacija, derinama su konvencine abliacija

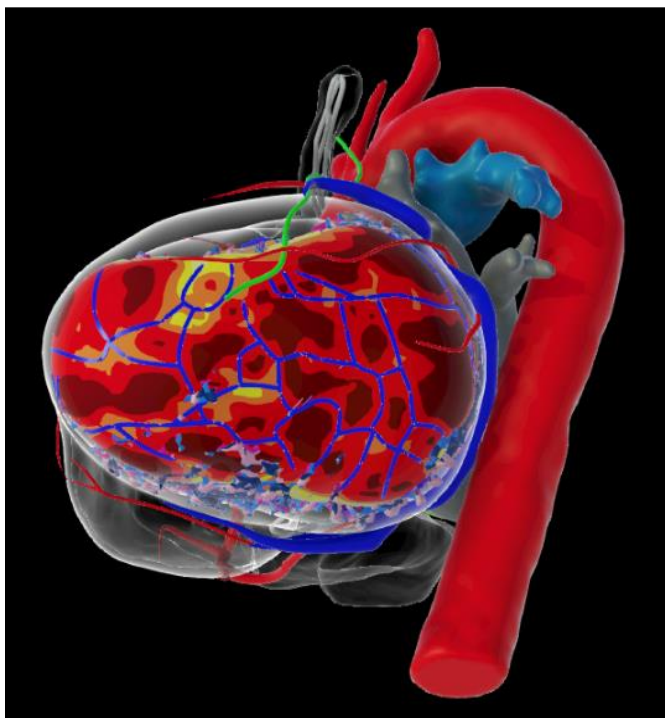
2.2.1. Priešprocedūrinis pasiruošimas

Visiems pacientams buvo atliktas KT tyrimas su vėlyvąja kontrastine faze intraoperaciniam vaizdinimui, o likutinės struktūrinės širdies ligos ir išemijos įvertinimas atliktas echokardiografija. Periprocedūrinės hemodinaminės dekomensacijos rizikai prognozuoti buvo apskaičiuotas PAINESD balas. Prieš procedūrą buvo atliktas širdies aritmijų elektrogramų registravimas ir analizė, ypač taikant elektrokardiografinius morfologinius kriterijus skilvelinių aritmijų anatominei kilmei lokalizuoti. Aritmogeninio substrato lokalizacijai buvo taikytas multimodalus vaizdinimas, atlikus miokardo segmentaciją ir atskyrus sveiką audinį nuo randinio audinio (1 pav.). Dėl sudėtingo vizualizuoto pacientų substrato, apibrėžti galimi SkT kritiniai kanalai ir rando tūriai buvo analizuojami inHEART technikų ir gydytojų specialistų (2 pav.).





1 paveikslas. inHEART rekonstruoti trimačiai (3D) vaizdai (a, b, c, d), pateikiantys visas širdies struktūras. Skirtingos spalvos nuo ryškiai geltonos (4 mm) iki tamsiai raudonos (1 mm) žymi miokardo storį, susijusį su poinfarktineis randais. 3/4 pacientų su komplikotu pertvartinės srities aritmogeniniu substratu. d paveiksle matomi daugybiniai kritiniai kanalai (tamsiai mėlyna spalva).



2 paveikslas. Tamsiai mėlynos spalvos linijos vaizduoja iš anksto apibrėžtas su skilvelių tachikardija (SkT) susijusius kritinius kanalus su išėjimo iš šių kanalų lokalizacijomis.

2.2.2. Intraprocedūrinės detalės

Sukėlus bendrąją anesteziją, ultragarsu kontroliuojant buvo užtikrinta šlaunies venos prieiga, o arterinė prieiga buvo suformuota pagal klinikinį poreikį. Epikardinė prieiga nebuvo planuota. Transseptinė punkcija buvo atlikta kontroliuojant intrakardinę echokardiografiją (IKE). Programuota elektrinė stimuliacija (PES) buvo taikyta stimuliuojant iš dešiniojo skilvelio (DS) viršūnės. Aktyvuotas krešėjimo laikas visos procedūros metu buvo palaikomas >300 s.

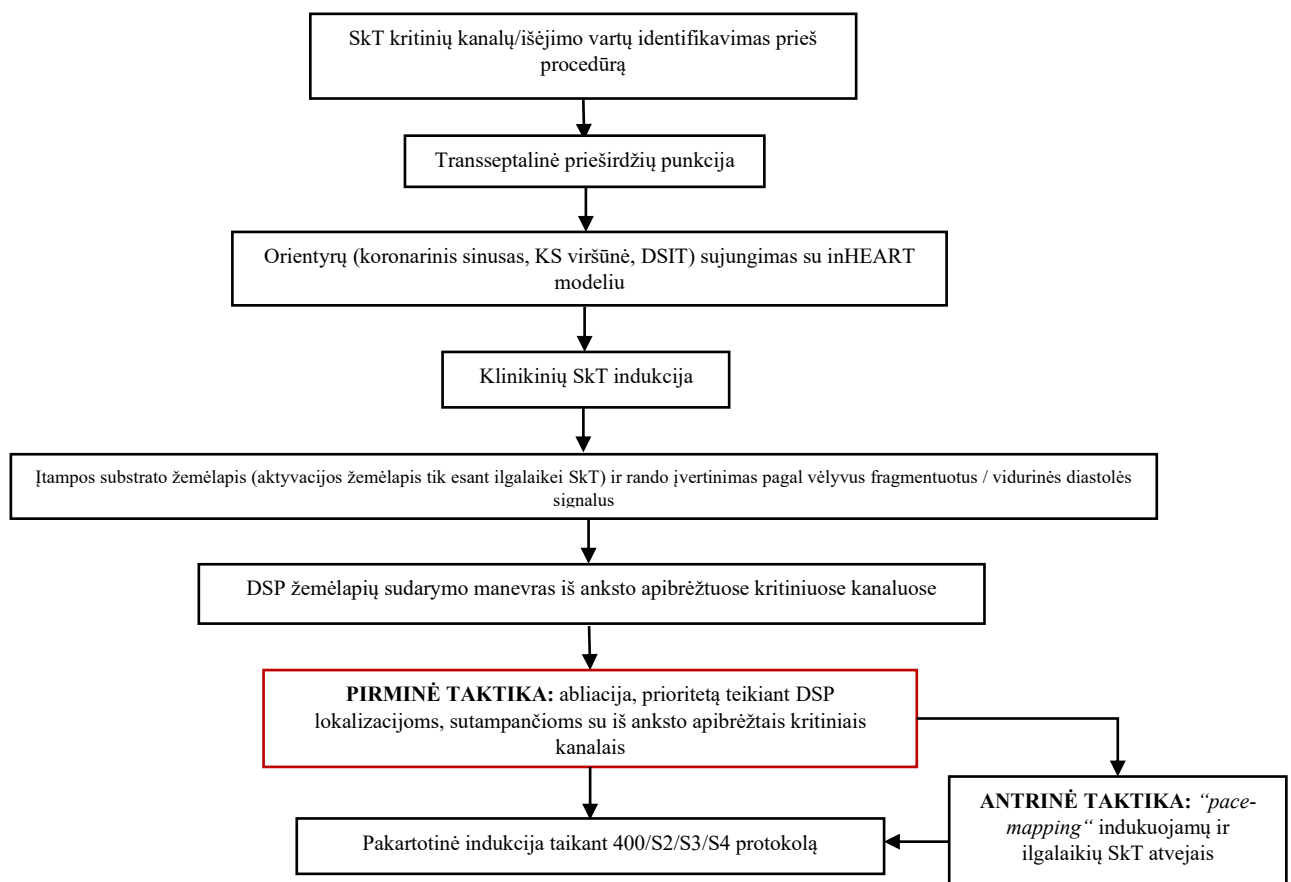
Elektroanatominis įtampos žemėlapių kūrimas buvo atliktas sinusinio ritmo metu, naudojant EnSite X sistemą ir Advisor HD Grid kateterį (Abbott). Anatominiai orientyrai, tokie kaip koronarinis sinusas, DS ištekėjimo traktas ir kairiojo skilvelio (KS) viršūnė, buvo sužymėti ir sujungti su inHEART modeliu. Prognozuotos kritinės sąsmaukos buvo apibrėžtos kaip gyvybingo audinio suplonėjimas iki 1–3 mm rando ribinėse zonose. Įtampos žemėlapių kūrimas apibrėžė mažos įtampos substratą.

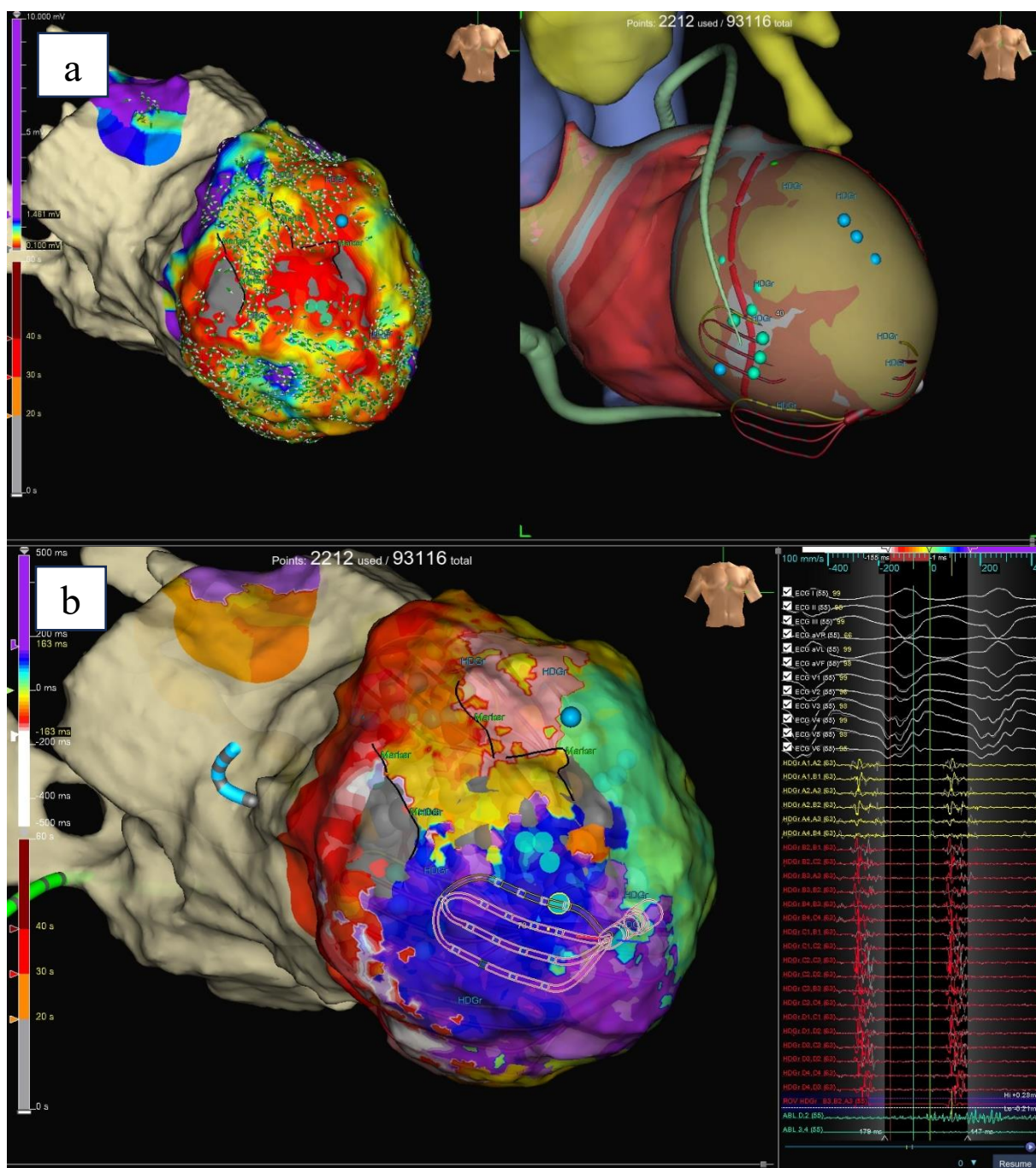
DSP žemėlapių sudarymas buvo atliktas taikant vieną ekstrastimulą, o dekrementinis laidumas buvo apibrėžtas kaip >10 ms uždelsimas, palyginti su bazinės stimuliacijos ritmu (3 pav.). Abliacijai pirmiausia buvo prioritetu parinktos vietos, kuriose nustatyta ko-lokalizacija tarp dirbtinio intelekto prognozuotų kritinių kanalų ir DSP nustatytų sričių (pirminė strategija). Esant hemodinaminiam paciento toleravimui, buvo atliktas aktyvacijos žemėlapių formavimas sukeltos

skilvelinės tachikardijos metu, siekiant identifikuoti vidurinės ar galinės dalies diastolės potencialus. Jei ilgalaikės SkT žemėlapių sukūrimas nebuvo įmanomas dėl greitos daugelio morfologijų reindukcijos, buvo taikytas „*pace-mapping*“ – stimuliuojant konkrečias endokardo vietas, gydytojai siekia atkartoti klinikinės tachikardijos 12-os derivacijų elektrokardiogramos (EKG) morfologiją, taip identifikuodami aritmijos kilmės židinį arba jos išėjimo/kanalo pabaigos vietą (antrinė strategija). Lokalios aktyvacijos laikas buvo apibrėžtas kaip bipolinės elektrogramos didžiausio nuokrypio taškas. Visi automatiškai anotuoti aktyvacijos taškai buvo peržiūrėti rankiniu būdu, siekiant pakoreguoti laiko išskirtis.

Pirminė abliacijos taktika buvo pagrįsta vien tik inHEART pateiktu anatominiu substratu ir DSP žemėlapių vizualizuotu funkciniu substratu. Radiodažnine abliacija buvo atlikta naudojant irrigacinius kateterius (Abbott), kontaktinė jėga 10–15 g ir galia 40–50 W. Procedūrinis tikslas buvo jokios ilgalaikės SkT neindukuojamumas, taikant programuotą stimuliaciją (400/S2/S3/S4 protokolas; bazinis ciklo ilgis 400 ms, minimalus sujungimo intervalas 200 ms). Procedūros darbo seka pateikta 1 lentelėje.

1 lentelė. Procedūros darbo seka.





3 paveikslas. a) Išeminės kilmės skilvelių tachikardija, kylanti iš kairiojo skilvelio apatinės pertvarinės ir viršūninės segmentų (kairėje įtampos žemėlapis). Žali taškai žymi >10 ms decrementinio laidumo sritį, nustatytą procedūros metu (DSP žemėlapių kūrimas), kuri atitinka specifiškiausią aritmijos kanalą ir (arba) išėjimo vartų vietą (dešinėje inHEART sugeneruotas modelis). Tiksliai pavaizduotos įtampos sritys preciziškai atspindi dirbtiniu intelektu įgalinto vaizdinimu valdomo žemėlapių duomenis. b) Lokaliausios aktyvacijos laiko žemėlapis ventrikulinės tachikardijos metu. Aukštos gebos žemėlapyje kateterio intrakardiniuose signaluose matomi mid-diastoliniai potencialai. Juodomis linijomis pažymėtos kritinės pereinamosios tachikardijos zonos, kurios atitinka inHEART modelio projektuojamus kritinius kanalus.

2.3. Pacientų stebėjimas

Pacientai buvo stebimi iki 12 mėn. po abliacijos procedūros. Visi pacientai prieš abliaciją turėjo implantuojamą kardioverterį - defibriliatorių (IKD). Prietaiso patikros (interogacijos) buvo atliekamos planiniuose ambulatoriniuose vizituose. Papildomai buvo vykdyta telefoninė konsultacija, siekiant įvertinti tarpinius galimus simptominius aritmijų epizodus.

2.4. Statistinė analizė

Tęstiniai kintamieji pateikiami kaip vidurkiai $\pm$ standartiniai nuokrypiai, o kategoriniai kintamieji - kaip skaičiai ir procentinės dalys. Išgyvenamumas be įvykių po abliacijos buvo vertinamas taikant Kaplan-Meier analizę stebėjimo laikotarpiu. Atsižvelgiant į mažą imties dydį, visos analizės buvo laikomos aprašomosiomis ir eksploracinėmis. Statistiniai skaičiavimai buvo atlikti naudojant Microsoft Excel.

3. REZULTATAI

3.1. Pacientų aprašymas ir analizė

Pradinės pacientų charakteristikos pateikiamos 2 lentelėje. Visi pacientai buvo vyrai, sergantys išemine kardiomiopatija (100 %); vidutinis amžius buvo $69,2 \pm 5,7$ metų, o vidutinė kairiojo skilvelio išstūmimo frakcija (KSIF) - $32,2 \pm 13,2$ %, kas atspindi didelės rizikos populiaciją SkT atkryčiams ir procedūriniam nestabilumui. Vidutinis indukuotų pirminių klinikinių SkT skaičius buvo $2 \pm 1,41$. Tik vienas pacientas buvo hospitalizuotas su elektrinės audros klinika ir prieš abliacijos procedūrą buvo stabilizuotas. Visiems pacientams prieš procedūrą buvo implantuoti IKD, o aritmijų našta išliko didelė nepaisant optimalios medikamentinės terapijos. Tik vienam pacientui buvo atlikta pakartotinė abliacija po substrato modifikacijos. Visi pacientai turėjo stabilizuotą širdies nepakankamumą ir reikšmingos ($> 50\%$) vainikinių arterijų stenozės anamnezę. Vidutinis antiaritminių vaistų skaičius buvo 2,5 vienam pacientui, dažniausiai skiriant beta adrenoblokatorius (100 %) ir amjodaroną (75 %). Apskaičiuotas vidutinis validuotas pre-procedūrinis rizikos įvertinimo PAINESD balas - $14,75 \pm 5,12$, kuris prognozuoja ūminės hemodinaminės dekomensacijos ir mirtingumo riziką.

3.2. Procedūrų aprašymas ir analizė

Pagrindinės procedūrinės charakteristikos pateikiamos 3 lentelėje. Endokardinės skilvelinių tachikardijų išėjimo vietos su atitinkamais kritiniais kanalais buvo identifikuotos visoms SkT, o abliacija buvo atlikta iš kairiojo skilvelio, daugiausia įtraukiant pertvarinę sritį. Nepaisant plačios išeminės substrato apimties ir daugelio prognozuotų „re-entry“ kanalų, kombinuotas dirbtinio intelekto apibrėžtų kritinių kanalų ir DSP sričių taikymas (pirminė abliacijos strategija) lėmė 100% ūminį neindukuojamumą visoms skilvelinės tachikardijos morfologijoms, esant priimtina

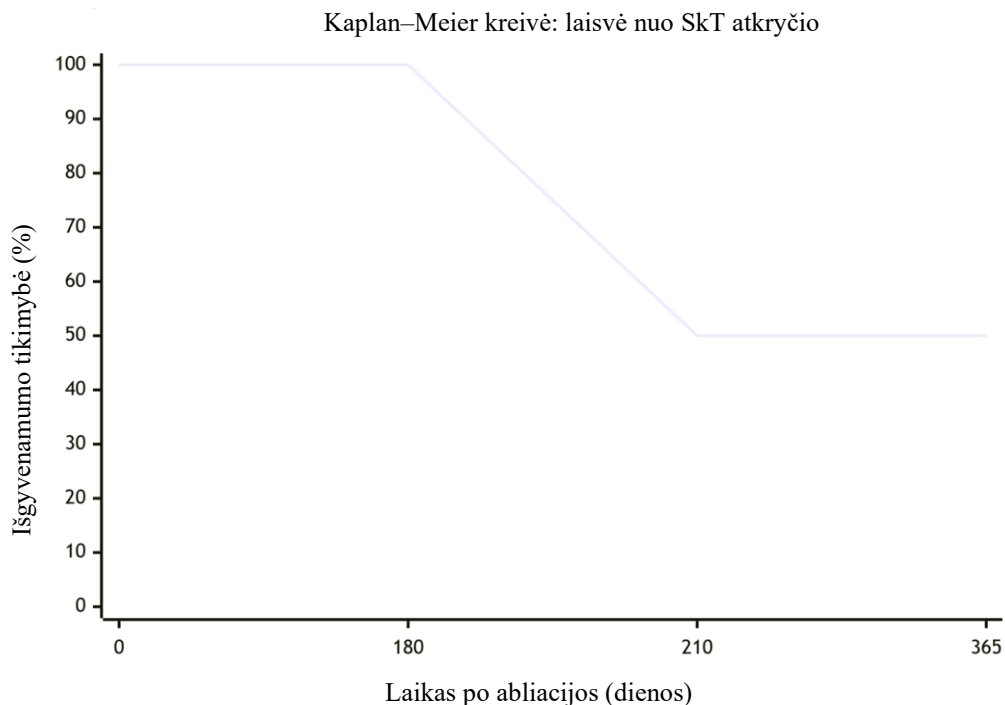
procedūros trukmei ir spinduliuotės ekspozicijos parametrams. inHEART pateiktas visų 4 pacientų rando tūris vidutiniškai buvo $26,59 \pm 6,96$ ml, o prognozuotų nuo SkT priklausomų kritinių kanalų skaičius vidutiniškai siekė $10,5 \pm 5,72$. „Skin-to-skin“ procedūros trukmė buvo $277,7 \pm 6,4$ min, o substrato žemėlapių sudarymo trukmė vidutiniškai sudarė $50,0 \pm 9,54$ min. Bendras grynos abliacijos laikas, reikalingas pašalinti pirmines SkT, vidutiniškai buvo $45,85 \pm 7,78$ min. Vidutinis SkT ciklo ilgis buvo $372,5 \pm 58,69$ ms. Fluoroskopijos trukmė vidutiniškai sudarė $43,7 \pm 25,3$ min, o vidutinė spinduliuotės dozė buvo $693,25 \pm 485,6$ $\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2$.

3.3. Poprocedūrinis stebėjimas ir komplikacijos

Pooperaciniu laikotarpiu visi keturi pacientai buvo išrašyti ambulatoriniam gydymui be komplikacijų, vidutiniškai praėjus 5,5 dienos po abliacijos procedūros. Buvo atlikta jų implantuotų kardioverterių-defibriliatorių (IKD) patikra (interogacija). Per vidutinį $10 \pm 2,83$ mėnesių (intervalas 6-12 mėn.) stebėjimo laikotarpį po operacijos keturių pacientų IKD patikros neparodė nei iškrovų, nei antitachikardinės stimuliacijos epizodų. Vienam pacientui buvo užfiksuoti penki savaimė pasibaigiantys, besimptomiai, hemodinamiškai stabilūs SkT epizodai (4 pav.). Savaimė nutrūkstančio SkT atkryčio išgyvenamumo tikimybė per stebėjimo laikotarpį sudarė maždaug 50 % (5 pav.). Vienam pacientui po kairės pertvaros abliacijos išsivystė naujai atsiradusi kairės Hiso pluošto kojytės blokada (KHPKB). Vienas pacientas stebėjimo metu mirė dėl trauminio galvos sužalojimo; su aritmija susijusi mirties priežastis nebuvo dokumentuota.

	6 mėn. iki abliacijos	6 mėn. po abliacijos
Pacientas 1	Daug klinikinių IKD iškrovų. TCI 360 ms, >35 iškrovos. Antitachikardinė stimuliacija neveiksminga.	0 iškrovų IKD patikros metu ir pagal paciento anamnezę
Pacientas 2	Nustatyta klinikinė VT. IKD implantuotas <2 mėn. iki abliacijos.	0 iškrovų IKD patikros metu ir pagal paciento anamnezę
Pacientas 3	Klinikinė VT TCI 350 ms, 3 iškrovos, 3 nesėkmingi antitachikardinės stimuliacijos epizodai.	5 savaime pasibaigiantys, besimptomiai, hemodinamiškai stabilūs VT epizodai; 0 iškrovų; 0 antitachikardinės stimuliacijos epizodų
Pacientas 4	6 klinikiniai VT epizodai TCI 364 ms, 6 iškrovos, 18 antitachikardinės stimuliacijos epizodų.	Savaime nutrūkstantis VT epizodai; 0 iškrovų; 0 antitachikardinės stimuliacijos epizodų

4 paveikslas. Implantuojamų kardioverterių-defibriliatorių patikros duomenys.



5 paveikslas. Laikas iki pirmojo savaime nutrūkstancio SkT atkryčio po abliacijos procedūros. Savaime nutrūkstancio SkT atkryčio išgyvenamumo tikimybė per stebėjimo laikotarpį sudarė maždaug 50 %.

2 lentelė. Įtrauktų pacientų bendrieji duomenys.

	Parametras	Vidutinė reikšmė arba %	Standartinis nuokrypis
Demografija ir baziniai rodikliai	Amžius (metai)	69.25	4.35
	Ūgis (cm)	182.5	7.14
	Svoris (kg)	96.5	11.09
	Kūno masės indeksas	27.23	2.49
	Lytis (vyrai) (%)	100	-
Gretutinės ligos	Cukrinis diabetas / hiperglikemija (%)	50	-
	Hiperlipidemija (%)	100	-
	Metabolinis sindromas (%)	50	-
	Širdies nepakankamumas su sumažėjusia IF (HFrEF) (%)	100	-
	Vainikinių arterijų liga (reikšminga stenozė >50 %) (%)	75	-
	Lėtinė inkstų liga (bet kokia LIL anamnezė) (%)	50	-
	Insultas / praeinantis smegenų išemijos priepuolis	25	-
Vaistų vartojimas	Antihipertenzinių vaistų skaičius	2.5	1
	Antiaritminių vaistų skaičius	2.5	0.58
	Beta adrenoblokatoriaus vartojančių dalis (%)	100	-
	Amjodaroną vartojančių dalis (%)	75	-
	Sotalolį vartojančių dalis (%)	25	-
	Meksiletiną vartojančių dalis (%)	50	-
	ŠN vaistų skaičius	4.25	0.5
Echokardiografija	KS išstūmimo frakcija (%)	32.25	10.84
	KS galinis diastolinis skersmuo (cm)	6.83	0.57
	Tarpuskilvelinės pertvaros storis (cm)	0.98	0.14
	KS užpakalinės sienelės storis (cm)	0.83	0.05
Laboratoriniai rodikliai	Kalio (K ⁺), mmol/l	4.23	0.39
	NT-proBNP, ng/l	710.8	399.7
	BNP, ng/l	225.8	218.9
	Kreatininas, μmol/l	135	35.07
	eGFR, mL/min/1.73 m ²	49	14.52
Priešprocedūrinė rizika	PAINESD balas	14.75	5.12

3 lentelė. Procedūrų ir IKD patikros duomenys.

	Parametras	Vidutinė reikšmė arba %	Standartinis nuokrypis
Prieš abliaciją: klinikiniai įvykiai ir IKD	SkT dažnis (6 mėn. prieš)	2.67	2.87
	IKD iškrovos (6 mėn. prieš)	13.67	18.93
	IKD antitachikardinės stimuliacijos (ATS) epizodai (6 mėn. prieš)	7	10.82
	Klinikinės tachikardijos ciklo ilgis (TCI) – prieš (ms)	372.5	58.69
	Elektrinės audros atvejai (≤ 1 sav. prieš abliaciją) (%)	25	-
	Hemodinamiškai netoleruojamos SkT (%)	50	-
Procedūra ir žemėlapių kūrimas	Procedūros su InHeart 3D žemėlapių kūrimu (%)	100	-
	Procedūros su KS abliacija (%)	100	-
	Procedūros su pertvaros abliacija (%)	75	-
	Procedūros su KSIT abliacija (%)	25	-
	Atvejai, kai nustatytas <i>re-entry</i> mechanizmas (%)	100	-
	Atvejai su išemine kardiomiopatija (IKMP) (%)	100	-
	Substrato žemėlapių sudarymo trukmė (min)	50	9.54
	Abliacijos trukmė (min)	45.85	7.78
	Bendra procedūros trukmė (min)	277.7	6.4
	Fluoroskopijos trukmė (min)	43.7	25.3
	Fluoroskopijos dozė ($\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2$)	693.25	485.6
	Surinktų substrato taškų skaičius	2203.5	1071.2
	Pirminių SkT morfologijų skaičius	2	1.41
	Nustatytų sąsmaukų skaičius	10.5	5.72
	Rando tūris	26.59	6.96

4. APTARIMAS

4.1. Kateterinė abliacija skilvelinių tachikardijų intervenciniame gydyme

Poinfarktinė (išeminė) skilvelinė tachikardija dažniausiai yra negyvybingo miokardo rando sąlygota „*re-entry*“ aritmija, kai tankus randas ir jo nulemtos ribinės įvairaus storio zonos sudaro lėto laidumo kanalus. Jie leidžia susiformuoti ir išlikti cirkuliacinei aktyvacijos kilpai, o klinikinė SkT gali pasireikšti skirtingomis dauginėmis monomorfinėmis morfologijomis dėl skirtingų išėjimo vietų tame pačiame arba gretimuose kanaluose. Dėl šios priežasties net ir po trumpalaikio laikotarpio sėkmingos procedūros daliai pacientų išlieka atkryčių rizika. Išskirtinai tai pasireiškia, kai substratas yra trimatis, apimantis endokardinį, intramuralinį ir kai kuriais atvejais epikardinį komponentą. Pacientams kartu progresuoja širdies nepakankamumas ir didėja aritmijų sukeliama našta. Šiuolaikiniais kardiologų draugijos standartais kateterinė abliacija įtvirtinta kaip svarbi, kliniškai veiksminga išeminiu randu susijusios SkT gydymo strategija. Tokia strategija išskirtinai naudinga pacientams, sergantiems išemine kardiomiopatija ir patiriantiems pasikartojančius simptominius epizodus, SkT audrą ar dažnas IKD terapijas. Dažniausiai tokiais atvejais antiaritminiai vaistai yra nepakankamai veiksmingi ar netoleruojami ir siekiama sumažinti iškrovų naštą bei pagerinti gyvenimo kokybę (1,10). Sprendimas dėl abliacijos turi būti priimtas, atsižvelgiant į bendrą paciento rizikos ir gydymo planą, įvertinant kairiojo skilvelio funkciją, struktūrinės širdies ligos apimtį, hemodinaminį SkT toleravimą, gretutines būkles ir tikėtiną procedūrinę riziką. Taip pat ne mažiau svarbu detalai įvertinti pacientų atrankos, procedūros technikos, peri- ir pooperacinės priežiūros principus, siekiant maksimaliai saugiai ir efektyviai sumažinti SkT sukeliamus simptomus ir atkryčio riziką (1,10).

Priešprocedūrinis ištyrimas išeminės SkT atveju turi būti sisteminis ir orientuotas į du praktinius tikslus: pirma, tiksliai apibrėžti aritmogeninį substratą ir galimą SkT grandinės anatomiją, pasirenkant geriausią procedūrinę taktiką (prieigą, žemėlapių sudarymo metodus, tikslus ir galimus „atsarginius“ scenarijus), antra, įvertinti hemodinaminės dekomensacijos ir komplikacijų riziką, suplanuoti anestezijos ir stabilios hemodinaminės būklės palaikymo strategiją. Elektrofiziologinių intervencijų metu vis svarbesnę vietą užima multimodalinis vaizdinimas, nes vien elektroanatominis žemėlapis nevisada atspindi trimatę rando architektūrą ir laidumo kanalų trajektorijas. Tai yra ypatingai aktualu, kai klinikinė SkT yra hemodinamiškai netoleruojama ir riboja ilgalaikį tachikardijos lokalsios aktyvacijos laiko žemėlapių sudarymą. Bendras tarptautinis ekspertų nutarimas dėl prieš- ir poprocedūrinio širdies vaizdinimo pabrėžia KT ir MRT reikšmę anatomijos ir rando lokalizacijos apibrėžimui, integracijos į elektroanatominę sistemą vertei ir procedūros komplikacijų diagnostikai. Tuomet struktūruotas diagnostikos vaizdinimo planas tampa ne komplikauta procedūra, o procedūrinės kokybės ir saugumo dalimi (6). Praktikoje MRT tyrimas su vėlyvąja (uždelsa)

gadolinio kontrastavimo faze suteikia aukštos raiškos informaciją apie rando apimtį, ribinę zoną ir galimus laidumo kanalus, tačiau KT daugelyje centrų yra lengviau prieinama. KT taip pat mažiau jautri prietaisų artefaktams ir yra naudinga pacientams su IKD, nes leidžia įvertinti sienelės suplonėjimą, aneurizmas, trombus, vožtuvų ir vainikinių arterijų anatomiją. Vaizdinimo duomenų integraciją į abliacijos planavimą ir intraoperacinį sprendimų priėmimą akcentuojama per intrakardinę echokardiografiją, KT, MRT ir PET kaip komplementarias priemones substrato identifikavimui ir procedūros saugumo gerinimui (5). Būtina pabrėžti, kad vaizdinimo tikslas nėra tik paprastos rekonstrukcijos sukūrimas. Tai tikslinga procedūros planavimo dalis, kur tikėtini laidumo kanalai apibrėžia didžiausią „*re-entry*“ grandinės tikimybę. Rekonstrukcija vizualizuoja tokias zonas, kaip laidžioji sistema, papiliariniai raumenys ar plonos tarpšilvelinės pertvaros, kurių abliacija yra susijusi su padidinta intraprocedūrine komplikacijų rizika. Taip pat DI paremtas vaizdinimas padeda geriausiai suplanuoti aukštos skiriamosios gebos žemėlapių sudarymą.

Intraprocedūrinė strategija išeminės SkT atveju remiasi dviem klasikinėmis strategijomis, kurios dažnai derinamos vienoje procedūroje. SkT metu aktyvacijos ir „*entrainment*“ žemėlapių kūrimas atliekamas tada, kai tachikardija yra hemodinamiškai toleruojama. Sinusinio ritmo (arba stimuliuojamo ritmo) substrato žemėlapių sudarymas pasirenkamas, kai SkT yra netoleruojama arba greitai reindukojasi po greitų tachikardijos nutrūkimų. Pilnas „*re-entry*“ kelio žemėlapių sukūrimas tampa labai sudėtingas (10). Kai SkT yra stabili, aktyvacijos žemėlapis leidžia pavaizduoti išėjimo vietą, vėlyvuosius diastolinius signalus, kritinę kanalo dalį (*isthmus*) ir kryptingai taikyti abliaciją. Tačiau vien išėjimo vietos abliacija gali būti nepakankama, jei kanalas turi kelis išėjimus arba egzistuoja alternatyvūs laidumo keliai. Daugelyje šiuolaikinių intervencinio gydymo protokolų vis dažniau taikoma substrato modifikacijos strategija, kai siekiama nutraukti vieną ar kelias konkrečias SkT ir sumažinti viso rando ar ribinės zonos aritmogeninį potencialą. Abliacijos taikiniai yra parenkami pagal elektrogramas (vėlyvieji, fragmentuoti potencialai, lokalaus patologinio šilvelinio aktyvumo požymiai), pagal laidumo kanalų „*dechanneling*“ koncepciją arba pagal funkcinį substrato išryškinimą stimuliacijos manevrais (10).

4.2. DSP žemėlapių sudarymas, derinamas su dirbtinio intelekto konstruotu vaizdinimu

Sėkminga ilgalaikė šilvelinė tachikardijos abliacija iš esmės priklauso nuo tikslaus erdvinio kritinio aritmogeninio substrato identifikavimo procedūros metu, nes būtent šie elementai yra atsakingi už SkT inicijavimą ir palaikymą. Konkrečiai kritinio kanalo arba šilvelinės tachikardijos išėjimo vietos. Vis dėlto, tikslus ryšys tarp uždelsto laidumo sričių ir esminių „*re-entry*“ grandinės komponentų, taip pat šių sričių vertė apibrėžiant optimalius abliacijos taikinius, išlieka ne iki galo supраста. Vien tik anatominiu substrato žemėlapių sudarymu paremta intervencinio gydymo taktika nėra pakankama SkT morfologijų eliminavimui, nes ji nepatikimai identifikuoja kritines

aritmogenines vietas, palaikančias išeminės kilmės SkT mechanizmą (11). Įprastinės strategijos, įskaitant lokalių pataloginių elektrogramų ir lokalaus pataloginio skilvelinio aktyvumo (LPSA) identifikavimą, derinant su „*pacemap*“ ir substrato žemėlapių kūrimu, daugiausia apibrėžia fiksuotas rando sritis, tačiau nepakankamai tiksliai charakterizuoja funkcinį substratą. Konceptiją pagrindžiančiame tyrime įtampos heterogeniškumo žemėlapiai, sukurti SkT metu, atskleidė visus nuo SkT priklausomus kanalus tankaus pofinfarktinių rando ribose. Pažymėtina, kad tik 16% šių požymių buvo aptinkami sinusinio ritmo metu, kas rodo nuo dažnio priklausomo funkcinio substrato buvimą 84% nuo SkT priklausomų kritinių kanalų (12). Dekrementinių sužadintų potencialų žemėlapių kūrimas leidžia aptikti artimojo lauko (*near-field*) potencialus, kuriems būdingas laidumo uždelsimas atsakant į dekrementinį ekstrastimulą (papildomą stimulą su trumpesniu ciklu). Paprastai laidumo uždelsimas ties kritinio kanalo įėjimo zona ir per diastolinę sąsmauką (*isthmus*), kartu su laidumo bloku SkT išėjimo vietoje, sudaro palankias sąlygas „*re-entry*“ grandinei inicijuotis ir išlikti. Taikant skilvelių stimuliacijos protokolą, buvo anotuojami vėliausi artimojo lauko potencialai iš bipolinių elektrogramų bazinės stimuliacijos eilės (S1) ir vėlesnio ekstrastimulo (S2) metu. Iš anksto apibrėžtas aktyvacijos laiko pailgėjimas tarp S1 ir S2 buvo klasifikuojamas kaip DSP ir atitinkamai pažymimas (6 pav.). Parodyta, kad DSP žemėlapių sudarymas, taikant papildomus ekstrastimulus, prognozuoja SkT kritinių kanalų lokalizaciją ir jų vaidmenį SkT inicijavime, kai stebimas iš anksto apibrėžtas bent ≥ 10 ms laidumo dekrementas. Kituose tyrimuose stimuliacijos protokolai buvo taikomi kiekvieną kartą, kai substrato žemėlapių sudarymo metu buvo identifikuoti vėlyvieji potencialai, dvigubi potencialai arba LPSA signalai (13).

Pateikiame pažangų SkT lokalizacijos metodą, integruojantį dirbtinio intelekto (DI) įgalintą ir vaizdinimu paremtą aritmogeninių kritinių kanalų kombinaciją su didelės skiriamosios gebos DSP žemėlapių kūrimu, taip sujungiant komplementarią anatominę ir funkcinę aritmijos substrato informaciją. Vaizdinimo ir funkcinio žemėlapių kūrimo kombinacija tampa vis labiau tikslinės abliacijos pagrindu, kai vaizdinių tyrimų pagalba gauta informacija padeda nustatyti tikėtiną kanalų topografiją. Kartu integruojami funkciniai testai patvirtina, kurios zonos iš tiesų yra kritinės. Ši strategija ypač aktuali šiuolaikinėje praktikoje, nes ankstyva ir efektyvi revaskuliarizacija išeminiams pofinfarktiniams pacientams dažnai lemia dalinai išsaugotą miokardo funkciją, persipynusią su heterogenišku randu ir miokardo suplonėjimo zonomis. DI įgalintos sistemos analizuoja ir rekonstruoja KT arba MRT duomenų rinkinius, siekdamos identifikuoti potencialiai proaritmines sąsmaukas ir SkT kritinius kanalus. Tokios zonos apibrėžiamos kaip gyvybingas miokardo audinys, suplonėjęs nuo 3 iki 1 mm, atitinkantis ribines rando sritis ir gebantis prognozuoti SkT kritinius kanalus. Įprasti EKG derivacijomis grįsti metodai gali identifikuoti išeminį pažeidimą, apribotą maždaug iki 1 mm endokardo paviršiuje, tuo tarpu KT integruotas vaizdinimas leidžia tiksliau taikyti

vidinį miokardo („*mid-myocardial*“) substratą (7). Ši galimybė reikšmingai padidina sėkmingo aritmijos pašalinimo tikimybę. Nors įprasti metodai turi jiems būdingų ribotumų, dirbtiniu intelektu valdomo taikinių parinkimo integravimas pagerina kliniškai reikšmingo anatominio substrato, galimų SkT kritinių kanalų ir su aritmijos atkryčiu susijusių vietų identifikavimą (14).

Ankstesni tyrimai parodė, kad <5 mm miokardo sienelės suplonėjimas, apibrėžtas KT vaizdinimu, stipriai koreliuoja su endokardiniu randu, kuriam būdinga maža įtampa „*pacemap*“ ir „*entrainment*“ žemėlapių sudarymo metu (15,16). Viena tyrimo SkT abliacija buvo vykdoma vien remiantis KT išvestu sienelės storio heterogeniškumu SkT kritinių kanalų identifikavimui, ir beveik pusei pacientų po pirminės abliacijos taktikos nepavyko sukelti nei vienos SkT morfologijos, kas patvirtina šios kombinuotos taktikos įgyvendinamumą išeminės kilmės SkT intervenciniam gydymui (17). DI pagrįstos sistemos taip pat integruoja su kontrastinėmis medžiagomis analizuojamus vaizdus, išskirtinai vėlyvosios fazės vaizdų analizę ir perfuzinės KT metodikas. Kadangi sveikas miokardas pasižymi homogenišku kontrasto pasisavinimu ir išplovimu, randinės sritys kontrastą išlaiko ilgiau, todėl galima tiksliai atskirti pataloginį audinį. Šios miokardo suplonėjimo sritys glaudžiai atitinka DSP žemėlapių nustatytas funkcinio substrato sritis (6 pav.), kas dera su ankstesnėmis išvadomis apie stiprią anatominę koreliaciją tarp SkT kritinių kanalų arba deceleracijos zonų ir miokardo ribinių zonų, apibrėžiamų įtampos žemėlapių arba vėlyvų elektrogramų pagrindu sudaromų aktyvacijos žemėlapių (18,19). Pacientams, sergantiems išemine kardiomiopatija, KT apibrėžti laidumo kanalai glaudžiai koreliuoja su SkT diastoliniais keliais, todėl ši populiacija yra ypač tinkama vaizdinimu įgalintai abliacijai. Be to, maždaug du trečdaliai deceleracijos zonų atitinka laidžius kanalus ir rodo, jog miokardo sienelės suplonėjimas yra labai jautrus funkcinio substrato identifikavimo žymuo išeminėje kardiomiopatijoje. KT angiografijos tyrimo pavaizduotas sienelės suplonėjimas gali koreliuoti su funkcinio substrato žymenimis, nustatoma funkcinio substrato žemėlapių kūrimo metodais. Šiuo atveju suteikiama galimybė iš anksto nukreipti aukštos raiškos kateterius žemėlapių sudarymui į pažeistas endokardo zonas, kuriose tikėtinos deceleracijos zonos ir laidumo kanalai (20). Taip pat vis dar trūksta integruotų platformų, galinčių patikimai analizuoti paviršinės EKG įrašus ir implantuojamų kardioverterių-defibriliatorių intrakardines elektrogramas, siekiant patikimai neinvaziškai apibrėžti SkT morfologijų išėjimo vietas (21). Tokių integruotų sistemų įgyvendinimas galėtų dar labiau palengvinti tikslią SkT išėjimų lokalizaciją ir sumažinti priklausomybę nuo subjektyvios interpretacijos (6 pav.).

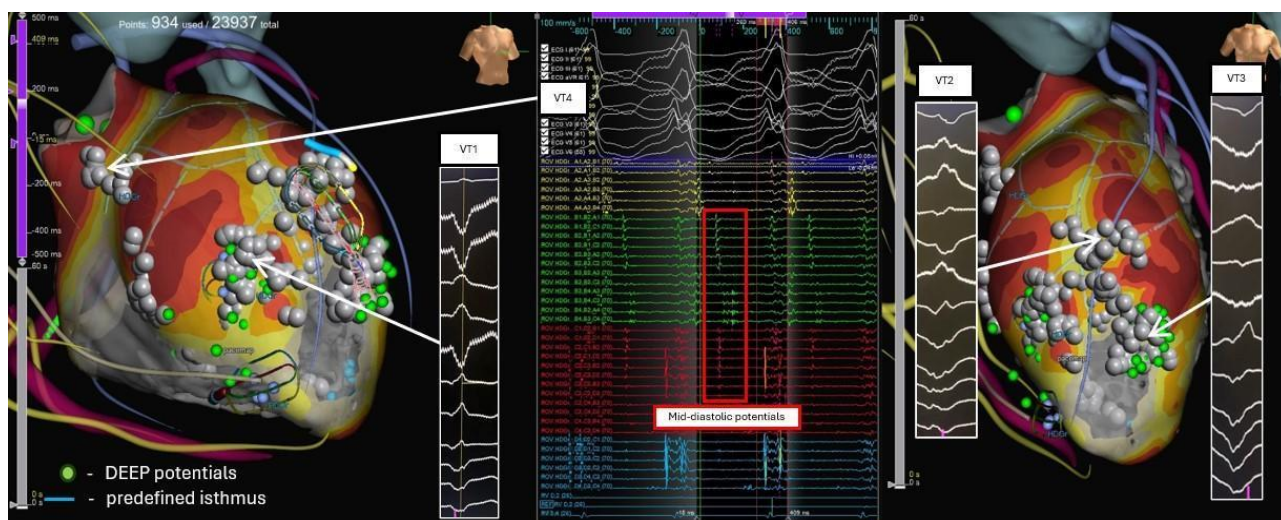
Istoriškai daugelis SkT abliacijos strategijų rėmėsi SkT indukuojamumu procedūros metu, nepaisant to, kad bent penktadaliui pacientų klinikinė SkT nėra indukuojama procedūrų metu (22). Indukuojama SkT siejama su padidėjusia hemodinaminio nestabilumo rizika, dėl ko gali nepavykti iki galo sužymėti diastolinio kelio arba tachikardija gali būti pastoviai išnykstanti atliekant

„*entrainment*“ manevrą širdies stimuliacijos metu. Be to, nestabilios sąlygos gali riboti patikimų aktyvacijos žemėlapių sudarymą dėl nepastovios stimuliacijos („*capture*“). Esminis DSP žemėlapių kūrimo privalumas yra gebėjimas identifikuoti abliacijos taikinius nereikalaujant SkT indukcijos (13). Svarbu tai, kad DSP žemėlapiai identifikuoja būtent SkT inicijavimui kritines sritis, o ne vien tradiciškai su SkT kanalais siejamas lėto laidumo zonas (8). Mūsų tyrime vaizdinimu išvesti taikiniai ir DSP potencialai buvo sieti su vidurinės arba galinės diastolės dalies potencialais didelės skiriamosios gebos aktyvacijos žemėlapių sudarymo metu, kai SkT buvo hemodinamiškai toleruojama bent 30 sekundžių, taip sumažinant procedūrinę riziką ir komplikacijas (6 pav.). Funkcinio substrato žemėlapių sudarymas išeminės kilmės SkT yra svarbus dėl dalies kritinių kanalo dalių laidumo savybių, kurios yra priklausomos nuo dažnio. Sinusinio ritmo metu gali būti menkai matomos. Tuomet „*re-entry*“ grandinė gali atsiverti tik taikant įvairius stimuliacijos manevrus. Dekrementinių sužadintų potencialų žemėlapių sudarymo metodika būtent ir remiasi tuo, kad ekstrastimulas gali išprovokuoti lokalų sklindančio elektrinio potencialo laidumo vėlavimą. Tokia dinaminė žemėlapių kūrimo strategija labiau atspindi SkT inicijavimo mechanizmą nei vien statiški vėlyvieji potencialai. DSP gali būti specifiskesnis kritinių taikinių identifikavimui nei vien vėlyvųjų potencialų žemėlapis, nes dekrementinis vėlavimas atspindi laidumo atsistatymą ir „zigzaginį“ laidumą randiniuose kanaluose (13). DSP pagrįsta funkcinė substrato modifikacija išeminės SkT populiacijoje patvirtino, kad fiziologiniu principu paremtas taikinių parinkimas yra kliniškai įgyvendinamas ir gali sumažinti SkT naštą. DSP padeda lokalizuoti funkciškai reikšmingas kanalo dalis ir ne vien statiškas elektrogramų anomalijas (23). Praktikoje DSP dažniausiai atliekamas didelės skiriamosios gebos kateteriais ir aiškiai apibrėžtais kriterijais. Sprendimas dėl papildomų ekstrastimulų skaičiaus turi būti individualizuotas, nes intensyvesnės protokolo schemos gali didinti procedūros trukmę, stimuliacijos sukeltą nestabilumą ir žemėlapių kūrimo naštą. Tačiau kartu gali atskleisti ir papildomus aritmogeninius regionus. Kita svarbi funkcinio substrato sąvoka išeminės SkT atveju yra nematomas substratas, kuris nėra akivaizdus baziniame sinusinio ritmo žemėlapyje. Toks aritmologinis substratas gali būti demaskuotas dešiniojo skilvelio ekstrastimuliacija. Nukreipta į substratą abliacija, kuri išryškėja taikant dešiniojo skilvelio ekstrastimuliaciją, gali pagerinti rezultatą pacientams po miokardo infarkto (MI). Išsiskiria pacientai, kurių randas yra mažas arba netransmuralinis. Kitaip sakant, kai klasikinis žemos įtampos žemėlapių plotas nebūtinai atspindi visą funkciškai pavojingą laidumo struktūrą (24). Šis pastebėjimas praktinė prasme yra kritinis. Jis paaiškina dalį atkryčių mechanizmų pacientams, kurių anatomicinis statiškas randas atrodo ribotas, tačiau klinikinė SkT kartoja. Taip pat kartu pagrindžia stimuliacijos manevrų taikymą kaip diagnostikos įrankį, mažinantį tikimybę praleisti neabliuotus funkcinius kanalus.

DSP identifikavimui pasirinkome konservatyvų stimuliacijos protokolą, taikant vieną ekstrastimulą, siekiant sumažinti pakartotinių SkT indukcijų tikimybę ir pernelyg didelę žemėlapių kūrimo našą. Nors dviejų ekstrastimulų protokolai gali pailginti procedūros trukmę, jie reikšmingai išplečia aptinkamo funkcinio substrato plotą ir leidžia vidutiniškai identifikuoti bent vieną papildomą aritmogeninę deceleracijos zoną arba kritinę SkT sritį, reikalingą aritmijos iniciavimui. Didelės apimties funkcinio žemėlapių sudarymo protokolas su viso skilvelio dvigubos ekstrastimuliacijos strategija yra alternatyvi funkcinio substrato vaizdavimo strategija. Intensyvesnis funkcinis „skanavimas“ gali atskleisti papildomas aritmogenines zonas ir kartu lokalizuotis su laidžiais kanalais, identifikuojamais vaizdiniais tyrimais (25). Vis dėlto, padidėjęs identifikuotų laidumo kanalų skaičius ir jų ilgis gali apsunkinti taikinių prioritizavimą ir reikalauti kruopštaus klinikinio sprendimo, siekiant sumažinti nereikalingos abliacijos apimtį. Tiek laidumo kanalų skaičius, tiek jų ilgis siejami su didesniu aritmogeniniu potencialu, dar labiau komplikuojant abliacijos strategijos parinkimą. Toks metodas reikalauja gerai organizuotos darbo eigos ir patirties. Tokiu būdu įmanoma išlaikyti procedūros saugumą ir efektyvumą (26). Mokliškai pagrįsta taktika intervenciniu būdu gydyti išeminės kilmės SkT vis dažniau remiasi keliais universaliais metodais. Tai labiau primena algoritmą, kuriame integruojama vaizdinimo analizė apie substratą, aukštos skiriamosios gebos elektroanatominis žemėlapis, funkcinis substrato demaskavimas stimuliacijos manevrais ir individualizuota terminų pažeidimų strategija.

KT vaizdinimo integracija į SkT abliacijos procedūras yra plačiai pritaikoma įvairiuose centruose ir nesukelia reikšmingų artefaktų pacientams su implantuotais IKD. Širdies MRT vis dažniau taikomas pažangiuose centruose dėl geresnės erdvinės skiriamosios gebos ir galimybės tiksliai apibrėžti randą, deceleracijos zonas ir ribines zonas (27). MRT pagrįstos neinvazinės vaizdinimo strategijos pasižymi panašiomis galimybėmis kaip dirbtinio intelekto išvestinė vaizdinimo programinė įranga. Individualizuoti MRT pagrįsti skaitmeniniai širdies modeliai ir kūno paviršiaus elektrokardiografinis vaizdinimas (EKGv) gali pagerinti aritmogeninio substrato identifikavimą ir taikymą išeminės pofarktinės SkT atvejais. Personalizuoti modeliai, sukurti iš vėlyvo gadolinio kontrastavimo širdies MRT, gali simuliuoti indukuojamas SkT grandines, vizualizuoti „re-entry“ kelius ir prognozuoti abliacijos taikinius. Tokie taikiniai turi potencialo koreliuoti su invazinių elektrogramų anomalijomis (28). EKGv suteikia komplementarią funkcinio substrato informaciją sinusinio ritmo metu, vertindamas laidumo greitį ir aktyvacijos dispersiją, ir leidžia diferencijuoti randinį bei sveiką miokardą. Plačiai registruojant kūno paviršiaus signalus, EKGv gali generuoti detalius epikardinius aktyvacijos žemėlapius nereikalaujant invazinio substrato žemėlapių generavimo (14). Be to, EKGv gali identifikuoti deceleracijos zonas, todėl yra vertingas papildymas MRT substrato charakterizacijai ir operacijos rizikos stratifikacijai (29). Tokios

besiformuojančios technologijos kaip kompiuterinis mechanistinis modeliavimas, EKGV pagrįstas neinvazinis žemėlapių sudarymas ir DI išvestinis vaizdinimas suteikia komplementarių ir sinergistinių įžvalgų apie aritmogeninį substratą. Šie integruoti metodai turi potencialą pagerinti abliacijos taikinių parinkimą, optimizuoti pacientų atranką ir pagerinti procedūrinius rezultatus.



6 paveikslas. Substrato žemėlapis su DI įgalintu priešprocedūriniu vaizdinimu, paremtu gyvybingo audinio sienelės suplonėjimu KT tyrimuose vėlyvosios kontrasto fazės metu. Žemėlapyje rodyklėmis pažymėtos skirtingų EKG morfologijų tikėtinų SkT išėjimo lokalizacijos. Intrakardiniai kateterio signalai vaizduoja vidurinės diastolės potencialus kairiojo skilvelio ištekėjimo trakte SkT4 metu. DSP potencialai atitinka indukuotų SkT kritinius kanalus.

4.3. Populiacijos ir procedūrų duomenų palyginimas

Visiems į šį tyrimą įtrauktiems pacientams buvo diagnozuota išeminė kardiomiopatija. Nors išeminė kardiomiopatija šioje pacientų populiacijoje sudaro dominuojančią kardiomiopatijos formą, palyginti nedaug tyrimų yra specifiskai nagrinėję abliacijos rezultatus būtent šiame pogrupyje. *Englert* ir bendraautoriai inHEART populiacijoje pacientus stratifikavo į dilatacinės kardiomiopatijos, persirgusius miokarditu ir išeminės kardiomiopatijos pogrupius (7). Dirbtiniu intelektu valdomose SkT abliacijos procedūrose išemine kardiomiopatija sergantiems pacientams nustatyti geresni procedūrinės sėkmės, skilvelinių tachikardijų nesukėlimo po abliacijos rodikliai. Vis dėlto, statistinis reikšmingumas daugiausia buvo stebimas lyginant bendrus tiriamosios inHEART ir konvencinės abliacijos grupių rezultatus. Palankūs rezultatai inHEART tiriamųjų grupėje buvo pasiekti maždaug 86% išemine kardiomiopatija sergantiems pacientams. Panašiai *Sacristan* ir bendraautoriai parodė, kad po pirmos eilės abliacijos, kuri buvo atliekama išimtinai DI pagrįstomis sistemomis, neindukuojamumas gali būti pasiektas beveik pusei išemine kardiomiopatija sergančių pacientų (17).

Visiems įtrauktiems pacientams abliacijos taikiniai buvo lokalizuoti kairiajame skilvelyje, daugiausia viršūninėje srityje, dažnai įtraukiant pertvarinį segmentą (75 % pacientų). Nepaisant palankių procedūrinių rezultatų, vienam pacientui išsivystė kairės Hiso pluošto kojytės blokada, kurios atsiradimas buvo tikėtinas dėl ypač sudėtingos SkT kritinių kanalų lokalizacijos. Pertvarinė sritis yra viena techniškai sudėtingiausių abliacijai sričių, todėl mūsų tiriamoji populiacija skiriasi nuo anksčiau publikuotų tyrimų populiacijų. Priekinės pertvaros (anteroseptalinis) substratas siejamas su prastesniais ilgalaikiais rezultatais, nes jis dažnai apima intramuralines „re-entry“ grandines, greitas ir sunkiai vizualizuojamas SkT sudarant elektroanatominius žemėlapius ir priešlaikinius skilvelinius kompleksus, galinčius sukelti skilvelių virpėjimą (30). Vienas svarbus intervencinės elektrofiziologijos praktinių aspektų yra supratimas, kad procedūrinis rezultatas priklauso nuo substrato topografijos ir jo santykio su laidžiąja sistema. Išskirtinai su periprocedūrinėmis komplikacijomis susijusi abliacijos lokacija apima pertvarinį randą. Pertvarinio substrato buvimas pacientams, atvykusiems dėl SkT abliacijos po elektrinės audros, siejamas su nepalankesne ilgalaikė kardiovaskuline prognoze. SkT atkryčio dažnis gali būti panašus į pacientų be pertvarinio substrato, tačiau ūminė procedūrinė sėkmė turi būti interpretuojama platesniame kontekste. Tokiems pacientams kyla didesnė rizika širdies nepakankamumo progresijai, laidumo sutrikimų atsiradimui ar transplantacijos poreikiui (31). Abliacija šiuo metu jau yra kaip intervencinė sprendimų grandinė, apimanti aritmijos kontrolę, hemodinaminės būklės stabilizavimą ir ilgalaikės priežiūros planavimą. Priešingai, kitame tyrime dominavo substrato lokalizacija apatinėje skilvelio sienelėje (84,6 %), o priekinės ar pertvarinės srities įtraukimas nustatytas tik 38,5 % atvejų, o viršūninės srities – 7,7 % atvejų, kas rodo, kad pertvarinis substratas toje populiacijoje nebuvo dominuojantis taikiny (17). Sėkminga priekinio ar viršūninio pertvarinio substrato abliacija išlieka ypač sudėtinga dėl rando architektūros kompleksiško ir iš anksto apibrėžtų aritmogeninių susiaurėjimų ar kritinių kanalų buvimo.

Visi į šį tyrimą įtraukti pacientai turėjo vaistams atsparios poinfarktinės SkT anamnezę, o DI išvestinė inHEART analizė parodė vidutinį rando tūrį $26,59 \pm 6,96$ ml. Substrato sudėtingumą galima kiekybiškai įvertinti pagal identifikuotų SkT kritinių kanalų skaičių; mūsų kohortoje vidutiniškai nustatyta $10,5 \pm 5,72$ nuo SkT priklausomų kanalų, kas atspindi reikšmingą procedūrinį kompleksumą. DSP žemėlapių integracija leido tiksliai identifikuoti funkcinį substratą, patvirtinant dekrementinį laidumą pirminės abliacijos taktikos taikyme, ir taip pagerino taikinių parinkimo tikslumą. Palyginimui, kitame tyrime, remiantis vien KT pagrįsta DI analize, vidutiniškai buvo identifikuota $3,6 \pm 1,8$ sąsmaukų (17). Detaliai identifikuotų sąsmaukų skaičius leidžia taikyti tikslingas abliacijos strategijas ir sumažinti bendrą abliacijos naštą, nes taikomasi tik į vizualiai apibrėžtą DI prognozuotą aritmogeninį substratą.

Procedūros darbo seka visiems pacientams buvo standartizuota. Vidutinė „skin-to-skin“ procedūros trukmė buvo $277,7 \pm 6,4$ min, įskaitant $50,0 \pm 9,54$ min, skirtas substrato žemėlapiu sudarymui. Palyginimui, *Berte* ir bendraautorių, *Englert* ir bendraautorių bei *Sacher* ir bendraautorių nurodytos bendros procedūrų trukmės buvo atitinkamai $196,5 \pm 58,7$ min, $158,4 \pm 71,1$ min ir 120 ± 50 min (7,17,31). Šios trumpesnės trukmės atspindi procedūras, kurios buvo valdomos išimtinai DI išvestu anatominiu vaizdinimu, neintegruojant funkcinio substrato žemėlapių. Priešingai, mūsų tyrime buvo integruoti DSP žemėlapiai, siekiant pagerinti funkcinio substrato charakterizaciją, kas prisidėjo prie ilgesnės procedūros trukmės, tačiau padidino aritmogeninio taikinio preciziškumą abliacijos metu. Be to, mūsų kohortoje kairiojo skilvelio disfunkcijos sunkumą atspindi vidutinė kairiojo skilvelio išstūmimo frakcija $32,25 \pm 10,84$ %, kas rodo pažengusį ir sudėtingesnį substratą, palyginti su *Englert* ir bendraautorių kohorta, kurioje vidutinė KSIF buvo $39,8 \pm 12,4$ % (7). Vidutinė radiodažninė abliacijos trukmė mūsų tyrime buvo $45,85 \pm 7,78$ min, ir ji viršijo *Englert* ir bendraautorių nurodytą $25,3 \pm 14,9$ min trukmę (7). Šis skirtumas tikėtina atspindi mažesnių galios parametrų taikymą, mažesnę kontaktinę jėgą ir sudėtingesnio aritmogeninio substrato buvimą. Kituose tyrimuose radiodažninės abliacijos trukmės buvo panašios - $40,0 \pm 21,4$ min ir $44,0 \pm 19,0$ min - daugiausia dėl papildomų abliacinių pažaidos židinių poreikio už pirminių taikinių ribų, siekiant pasiekti SkT morfologijų pašalinimą po abliacijos arba įvykdyti procedūrinius tikslus (17,31). Transseptalinė prieširdžių punkcija buvo pagrindinis prieigos būdas visiems pacientams. Tik vienai SkT morfologijai, kilusiai iš kairiojo skilvelio ištekėjimo trakto, buvo reikalinga arterinė prieiga per aortą. Epikardinė prieiga nebuvo taikyta, nes <5 mm kairiojo skilvelio sienelės suplonėjimas stipriau koreliuoja su endokardiniais, o ne epikardiniais įtampos pakitimais (15). Vis dėlto trimatė miokardo rando architektūra gali tęstis epikardo kryptimi, todėl pakartotinėse procedūrose gali prireikti epikardinės abliacijos. Epikardinė prieiga dažniau reikalinga ne išeminės kilmės SkT atvejais, ypač esant inferolateraliniam ar anteroseptaliniam rando substratui (5).

Išgyvenamumo analizė buvo atlikta remiantis savaime nutrūkstančios SkT atkryčiais, nes ankstyvuoju laikotarpiu po abliacijos iki vienerių metų nebuvo stebėta ilgalaikės (savaime nenutrūkstančios) SkT epizodų. Tikimybė pacientui išlikti be SkT recidyvuojančių epizodų maždaug po septynių mėnesių buvo 50 %, vertinant tik savaime nutrūkstančios SkT atkrytį. Palyginimui, kitame tyrime išgyvenamumo analizėje ilgalaikės SkT atkrytis po vieno metų siekė 82 %, o maždaug 62 % pacientų išliko be SkT per vidutiniškai 47,8 mėn. stebėjimo laikotarpį (17). Funkcinio substrato žemėlapių kūrimo taikymas, derinant DSP su DI įgalintu vaizdinimu, gali užtikrinti ilgalaikį laikotarpį nuo recidyvuojančios nenutrūkstančios SkT, tačiau šiai hipotezei patvirtinti reikalingas ilgesnis pacientų stebėjimas. *Englert* ir bendraautoriai taip pat nurodė mažesnę SkT atkryčių dažnį inHEART tiriamojoje grupėje lyginant su įprastine konservatyvia abliacija, nors skirtumas nepasiekė

statistinio reikšmingumo, nepaisant didesnio sėkmės dažnio išemine kardiomiopatija sergantiems pacientams (7). Šios išvados pabrėžia didesnių ir detalizuotų tyrimų poreikį, siekiant toliau įvertinti klinikinę naudą integruojant DI valdomą vaizdinimą su funkciniu elektrofiziologiniu žemėlapių sudarymu.

4.4. Dauginės monomorfinės skilvelinės tachikardijos

Daugelio monomorfinių skilvelių tachikardijų abliacija, nepriklausomai nuo to, ar jos yra hemodinamiškai stabilios, ar sukelia paciento hemodinaminį nestabilumą, vis dar išlieka reikšmingas iššūkis. Taikymasis į SkT kritinių kanalų išėjimo vietą, kai vidutinis SkT skaičius vienam pacientui siekia $2 \pm 1,41$, sudėtingiems pacientams reikalauja ypač preciziško ir kiek įmanoma minimalaus abliacijos masto. Tyrime, kuriame SkT abliacija buvo paremta kritinių kanalų vaizdavimu taikant „*entrainment*“ arba „*pace-mapping*“, SkT stabilumas ir pirminių morfologijų skaičius rezultatams įtakos neturėjo (32). Jei diagnostinė ištyrimo dalis identifikuodavo vienos SkT kritinį kanalą, pirminė abliacijos linija buvo taikoma per kanalą - tai leido eliminuoti kelias monomorfines SkT 44 % pacientų. Likusiems pacientams reikšmingi linijos pratęsimai buvo abliuojami, siekiant panaikinti indukuojamas ar kitas naujai atsiradusias SkT. Galima daryti prielaidą, kad skirtingos SkT linkusios grupuotis ir dalintis bendra išėjimo lokalizacija. Vis dėlto, tai nėra preciziškas taikymo metodas, ką iliustruoja vienas mūsų pacientas, kuriam nustatytos keturios skirtingos pirminės poinfarktinės (*post-MI*) SkT, kilusios iš skirtingų vietų (6 pav.). Tik taikant funkciniu substratu paremtą DSP žemėlapių sudarymą, procedūra buvo atlikta sėkmingai, maksimaliai sumažinant abliacijos apimtį. Visos poinfarktinės SkT dažniausiai kyla „*re-entry*“ mechanizmu, tuo tarpu neišeminės kilmės SkT atvejais greita skirtingų morfologijų reindukcija ir negebėjimas atlikti „*entrainment*“ manevro gali atskleisti židininę ritmo sutrikimo aktyvaciją. Idiopatinėms SkT vienai išėjimo vietai gali būti priskiriamos skirtingos morfologijos, kylančios iš žinomos srities (33). Randu sąlygotą substratą tikriausiai yra gerokai sudėtingiau taikyti, ypač kai rando tūris yra didelis (>25 ml). Dėl daugelio galimų kritinių kanalų, išsidėsčiusių apie randuotą miokardo sritį, susijusios poinfarktinės SkT gali formuoti atskiras morfologijas, kurių kiekviena išeina per skirtingas vietas.

Yra nedaug tyrimų, kurie būtų specifiskai orientuoti į daugelio monomorfinių skilvelinių tachikardijų gydymą kateterine abliacija. Ankstesniame tyrime kritinė ribinė zona buvo apibrėžta kaip miokardo sritis, kurioje yra keli skilvelių tachikardijos išėjimai, lokalizuoti arti mažos įtampos (randinės) srities periferijos. Nustačius tokią kritinę ribą, kelių SkT abliacija buvo įgyvendinama vienu metu suformuojant išplėstinę radiodažninės abliacijos pažaidos liniją. Ši pažaida buvo suplanuota taip, kad integruotame elektroanatominiame žemėlapyje sektų tą patį identifikuojamą kontūrą ir taip apimtų visas lokalizuotas SkT išėjimo vietas. Tokia abliacijos taktika, siekiant eliminuoti visas SkT nepriklausomai nuo ciklo ilgio, pasiekė 77% neindukuojamumą (34).

Kontaktiniu būdu atliekamas bipolinis įtampos žemėlapių sudarymas neparodo galimų substratų taip giliai, kaip DI išvestiniu vaizdinimu pagrįsta segmentacija. Kadangi dalis pacientų išliko indukuojami, tai greičiausiai buvo susiję su tuo, jog SkT kilmė buvo gilesniuose audiniuose. Daugelio morfologijų taikymas vien tik linijos pratęsimais riboja abliacijos sėkmę, nors vienam pacientui mūsų kohortoje buvo atlikti papildomi pratęsimai, sujungiant skirtingų SkT išėjimo vietas, siekiant pasiekti neindukuojamumą.

Abliacijos strategijų spektras išeminės SkT atveju yra platus ir turi būti parenkamas pagal klinikinę individualizuotą situaciją, substrato topografiją, hemodinaminį paciento toleravimą ir procedūrinę riziką. Kai kritinė kanalo dalis aiškiai identifikuojama SkT metu aktyvacijos ir „*entrainment*“ kriterijais, racionaliausia yra kryptingai abliuoti kanalą. Kuomet SkT netoleruojama, dažnai pasirenkamas substrato modifikavimas, nukreiptas į laidžius kanalus, vėlyvuosius potencialus, funkciškai reikšmingus DSP taškus (10,13,23,24). Svarbu, kad pernelyg plati rando homogenizacija gali didinti procedūros trukmę, pažeidimų apimtį ir komplikacijų riziką. Todėl klinikinėje praktikoje dažnai pasirenkami metodai, kurie padeda sumažinti perteklinę abliaciją ir koncentruotis į taikinius, turinčius didžiausią aitmogeninę reikšmę. Vaizdinimo ir funkcinių metodų integracija šį tikslą palengvina (5,6,20,25). Procedūriniai tikslai dažniausiai apima savaime nenutrūkstancios monomorfinės SkT neindukuojamumą pagal programuotos stimuliacijos protokolus. Lygiagrečiai siekiama pašalinti funkcinius ir anatominius patologinių signalų taikinius. Procedūros baigtis turi būti interpretuojama individualiai, nes neindukuojamumas nėra absoliutus gydymo sėkmės garantas. Procedūrinio saugumo sumetimais esant progresuojančiai širdies ligai, išimtiniais atvejais gali būti priimtinas kompromisas tarp abliacijos apimties ir stabilaus SkT morfologijų neindukuojamumo siekio (1,10).

4.5. Specifinė populiacija ir abliacijos procedūros rizikos įvertinimas

Praktinė kateterinės abliacijos reikšmė vertinama ne tik visišku aritmijos pašalinimu, bet ir kaip kompleksinės paciento priežiūros dalis. Toks individualizuotas gydymas apima svarbius rizikos stratifikavimo, procedūros saugos ir hemodinaminės būklės priežiūros sprendimus. Didžiausias iššūkis struktūrinės širdies ligos kontekste yra ūminė hemodinaminė dekompensacija procedūros metu. Atsiranda poreikis dar prieš procedūrą prognozuoti riziką ir individualizuoti taktiką. Tai yra anestezijos gylis, stimuliacijos intensyvumas, žemėlapių kūrimo strategija ir galima mechaninė kraujotakos parama. Priešprocedūrinis substrato vaizdinimas (pvz., rando apimties/heterogeniškumo ir anatominių ypatybių įvertinimas) gali būti panaudotas rizikos prognozavimui dėl ūminės hemodinaminės dekompensacijos, papildant klinikinius balus ir suteikiant praktinę vertę sprendžiant dėl procedūros saugumo (35). Klinikinėje praktikoje dominuoja substratu pagrįsta SkT abliacija sinusinio ritmo metu kartu su sąmoninga sedacija. Vietoj agresyvaus bandymo sukelti SkT ir didelių

laiko sąnaudų žemėlapių sudarymui tachikardijos metu, ūminės hemodinaminės dekomensacijos dažnis gali būti mažesnis. Tačiau tradiciniai rizikos balai gali turėti ribotą prognostinę galią, todėl išryškinama būtinybė nuolat atnaujinti rizikos modelius pagal vis atsinaujinančias procedūrines strategijas (36). Dar vienas praktinis aspektas apima pacientus, patiriančius elektrinę audrą. Jiems abliacija dažnai atliekama rizikingose ar sąlyginai pavojingose situacijose. Tačiau SkT abliacija elektrinės audros kontekste gali būti susijusi su mažesniu 1 metų mirtingumu tiek mažesnės, tiek didesnės rizikos pacientų profiluose. Taip pabrėžiamas abliacijos aktualumas simptomų kontrolei ir potencialiai prognozei. Dažniausiai intervencinis gydymo būdas pasirenkamas, kai konservatyvūs metodai tampa neefektyvūs (37).

Pacientams, kuriems pasireiškia su pofinfartine būkle susijusi skilvelinė tachikardija, dėl pasikartojančių aritmijos epizodų padidėja staigios kardialinės mirties (SKM) ir progresuojančio širdies nepakankamumo rizika. Į mūsų tyrimą įtraukti pacientai pasižymėjo tipiškomis didelės rizikos klinikinėmis charakteristikomis, įskaitant ankstesnį miokardo infarktą, sumažėjusią kairiojo skilvelio išstūmimo frakciją, kuri vidutiniškai siekė 32%, vidutinį 70 metų amžių ir ne mažesnę kaip 27 ml miokardo rando tūrį. Viena tyrimo 73% pacientų, kurių KSIF buvo >35% ir kuriems SkT buvo hemodinamiškai toleruojama, po abliacijos pasiekė visų SkT morfologijų sėkmingą pašalinimą. Pažymėtina, kad šiems pacientams ilgalaikio stebėjimo metu nebuvo nustatyta nei SKM, nei SkT atkryčių (38). Šie duomenys leidžia daryti prielaidą, kad tikslinės abliacijos strategijos, pritaikytos specifinėms pacientų populiacijoms, kurioms būdingas sudėtingas substratas, daug prognozuojamų kritinių kanalų ir kelios indukuojamos SkT morfologijos, gali pagerinti tiek ūminius procedūrinius, tiek ilgalaikius rezultatus. Ypač tokia kombinuota abliacijos taktika gali sumažinti naujų SkT morfologijų atsiradimą, kas yra aktualu pacientams, turintiems sudėtingą aritmogeninį substratą. Dažnos gretutinės būklės, įskaitant arterinę hipertenziją, cukrinį diabetą, hipercholesterolemiją ir gretutines aritmijas, papildomai apibrėžia pacientų populiaciją, kuri gali gauti naudos iš ankstyvos ir tikslinės SkT abliacijos. DSP žemėlapių integracija su DI pagrįsta substrato analize gali būti ypač naudinga šiems kliniškai komplikuotiems pacientams, nes ji leidžia tiksliai aptikti aritmogenines sritis, tuo pačiu sumažinant nereikalingos abliacijos apimtį ir procedūros invazyvumą.

Siekiant įvertinti procedūrinę riziką pacientams, kuriems atliekama SkT abliacija, išskirtinai turintiems daug gretutinių ligų, buvo sukurti keli rizikos stratifikacijos įrankiai. Dideliuose klinikiniuose tyrimuose nustatyti nepriklausomi procedūrinių komplikacijų prediktoriai apima vyresnį amžių, lėtinę inkstų ligą, sutrikusį KSIF, hemodinamiškai nestabilią SkT ir negebėjimą sėkmingai pašalinti SkT morfologijų po abliacijos. Viena didelės apimties tyrimo buvo sukurta priešprocedūrinė rizikos skalė, į kurią įtraukti papildomi rizikos veiksniai, tokie kaip skubus hospitalizavimas, vainikinių arterijų liga, koagulopatija, cerebrovaskulinis įvykis, lėtinė kepenų liga,

periferinių kraujagyslių liga ir moteriška lytis (39). Nepaisant kelių rizikos vertinimo įrankių prieinamumo, nė viena balų sistema neužtikrina visiškai tikslaus procedūrinės rizikos prognozavimo.

Mūsų tyrime visi pacientai buvo įvertinti taikant PAINESD balą – vieną plačiausiai validuotų priešprocedūrinės rizikos stratifikacijos įrankių SkT abliacijai. Vidutinis PAINESD balas mūsų pacientų imtyje buvo $14,75 \pm 5,12$. PAINESD balas prognozuoja sunkių komplikacijų, įskaitant ūminę hemodinaminę dekomensaciją ir mirtingumą, riziką, remiantis tokiais klinikiniais kintamaisiais kaip lėtinė obstrukcinė plaučių liga, amžius >60 metų, išeminė kardiomiopatija, *New York Heart Association (NYHA)* funkcinė klasė $>II$, KSIF $<25\%$, SkT audra ir cukrinis diabetas (10). Pusei mūsų pacientų PAINESD balas viršijo 15 taškų, kas rodo padidėjusią procedūrinę riziką. Kitame tyrime pacientų, kuriems per vieną mėnesį po SkT abliacijos pasireiškė ankstyvas mirtingumas, vidutinis PAINESD balas buvo 20 ± 4 , o pasikartojanti SkT buvo nustatyta kaip vyraujanti mirties priežastis (40). Tai dažnai buvo lydima dekomensuoto širdies nepakankamumo. Nors PAINESD balas yra patikimas mirtingumo ir ūminės hemodinaminės dekomensacijos prediktorius, jo prognozinė vertė SkT atkryčiui arba pakartotinės abliacijos procedūros poreikiui yra ribota (41).

Komplikacijų ir hemodinaminės dekomensacijos rizikos įvertinimas pofarktinės SkT abliacijoje yra neatsiejama sprendimų priėmimo dalis, nes šie pacientai dažnai turi ryškiai sumažėjusią kairiojo skilvelio funkciją, lėtinę inkstų ligą, išplitusią vainikinių arterijų ligą ir kitas gretutines būkles. SkT indukcija ir ilgas žemėlapių kūrimas gali destabilizuoti hemodinamiką. Dėl to iš anksto verta suplanuoti anestezijos lygį, vazopresorių ar mechaninės kraujotakos palaikymo galimybę ir aiškų intervencinio gydymo stabdymo kriterijų, kai rizika ima viršyti tikėtiną naudą (10). Rizikos vertinimui gali būti naudingi ir didesnių duomenų bazių pagrindu sukurti modeliai. Priešprocedūrinis rizikos stratifikavimas gali padėti prognozuoti komplikacijas ir stacionarinį mirtingumą. Tai praktiškai padeda identifikuoti pacientus, kuriems reikalinga didesnė perioperacinė priežiūra ir išplėstinė hemodinaminė parama (39). Po procedūros pacientų stebėjimas turi apimti IKD patikrą, širdies nepakankamumo valdymo optimizavimą, vaizdinimo priemonėmis paremtą peržiūrą (pvz., trombo, perikardo efuzijos ar kitos komplikacijos atmetimą). Priežiūros metu struktūruotas atkryčių registravimas yra individualizuotos medicinos dalis, padedanti įvertinti pacientų išeitis. SkT atkryptis nebūtinai reiškia nesėkmingą procedūros pasekmę. Kartais gali atspindėti naują morfologijos išėjimo vietą, intramuralinę SkT mechanizmo grandinę arba progresuojantį substratą, kuriam reikalinga pakartotinė intervencija.

Šie duomenys pabrėžia poreikį toliau tobulinti SkT abliacijos strategijas, remiantis tęstiniais tyrimais ir technologinėmis inovacijomis. DI valdomo anatomicinio substrato identifikavimo integracija su funkcinio elektrofiziologinio žemėlapių sudarymo metodais, tokiais kaip DSP manevro

taikymas sudarant žemėlapius, yra perspektyvi siekiant pagerinti procedūros saugumą, padidinti taikymo preciziškumą ir pasiekti patvaresnius ilgalaikius rezultatus pacientams, sergantiems sudėtinga išemine SkT.

4.6. Radiodažninė kateterinė abliacija, antiaritminiai vaistai ir IKD

Implantuojami kardioverteriai-defibriliatoriai daugiau nei dešimtmetį atlieka kritiškai svarbų vaidmenį antrinėje aritminės mirties prevencijoje ir yra aiškiai pranašesni už vien antiaritminių vaistų (AAV) terapiją (42). Tinkamai suprogramuoti IKD yra labai veiksmingi nutraukiant skilvelių tachikardijos epizodus. Tačiau, būtina įvertinti kelis ribotumus, įskaitant netinkamas arba dažnas iškrovas, su pasikartojančiomis IKD terapijomis susijusį padidėjusį mirtingumą, procedūrines ir ilgalaikes sveikatos priežiūros sistemos sąnaudas bei nuolatinės stebėsenos poreikį. Pacientams, turintiems sudėtingą elektrofiziologinį substratą, hemodinamiškai netoleruojamą SkT, ryškiai sumažėjusią kairiojo skilvelio išstūmimo frakciją arba pasikartojančias ir naujai atsirandančias SkT morfologijas, dabartinės gydymo strategijos prioritetą teikia kateterinei abliacijai ir (arba) IKD implantacijai. Pažangių metodų, tokių kaip dirbtinio intelekto išvestinis vaizdinimas, derinamas su dekrementinių sužadintų potencialų žemėlapių sudarymu, integracija gali dar labiau pagerinti procedūros efektyvumą ir stabilumą, potencialiai suformuodama kertinę terapinę strategiją sudėtingiems pacientams kartu su IKD terapija.

Kateterinė abliacija tapo pranašesnė terapiniu požiūriu, palyginti su tradiciniu modeliu, kuris pacientams, sergantiems struktūrine širdies liga ir pasikartojančia SkT, remiasi vien IKD terapija ir AAV skyrimu (43,44). *VANISH* tyrimas pateikė esminių įrodymų kateterinės abliacijos naudai. Tyrime palyginamas jos veiksmingumas su suintensyvinta AAV terapija, daugiausia amjodarono skyrimu, papildomai skiriant meksiletiną. Šių antiaritminių vaistų fone abliacijos nauda didelė pacientams su IKD, kuriems SkT tęsėsi nepaisant pirmos eilės AAV gydymo. Kateterinė abliacija reikšmingai sumažino kombinuotą baigtį, apimančią mirtį, SkT audrą ir IKD iškrovas, taip patvirtindama jos efektyvumą mažinant aritmijų atkryčių našą. Mūsų imtyje pacientai patyrė daug IKD iškrovų, įskaitant vieną pacientą, kuris hospitalizacijos metu patyrė elektrinės audros kliniką - apibrėžiama kaip trys ar daugiau atskirų ilgalaikės skilvelių tachikardijos ar skilvelių virpėjimo epizodų per 24-ių valandų laikotarpį. Svarbu, kad kateterinė abliacija užtikrino geresnę aritmijų kontrolę nedidindama mirties ar hospitalizacijos rizikos, pabrėždama proaktyvios aritmijos slopinimo svarbą, o ne vien pasikliovimą IKD iškrovų terapija (43).

Papildomų įrodymų ankstyvų abliacijos strategijų naudai pateikė atsitiktinių imčių klinikiniai tyrimai, nagrinėję optimalų intervencijos laiką. Šie tyrimai parodė, kad kateterinę abliaciją atlikus po pirmosios tinkamos IKD iškrovos, reikšmingai sumažėja vėlesnė mirties ir su širdies nepakankamumu susijusios hospitalizacijos rizika (ne atidedant intervenciją iki pasikartojančių SkT

epizodų ar SkT audros nepaisant AAV terapijos) (44). Mūsų kohortoje kateterinė abliacija daugiausia buvo atlikta pacientams, turintiems vaistams atsparią SkT ir daugybinių IKD iškrovų anamnezėje. Tai atspindi įprastinę reaktyvią gydymo strategiją, o ne ankstyvą profilaktinę intervenciją. Šie duomenys pabrėžia, kad nors IKD išlieka būtini staigios kardialinės mirties prevencijai, jie funkcionuoja kaip reaktyvūs, paliatyvūs prietaisai, kurie nepašalina pagrindinio aritmogeninio substrato.

AAV terapija, ypač amjodaronas, dažnai pasižymi ribotu ilgalaikiu veiksmingumu ir yra susijęs su reikšmingu sisteminiu toksiškumu. Priešingai, kateterinė abliacija tiesiogiai taiko ir modifikuoja rando nulemtą aritmogeninį substratą, atsakingą už SkT inicijavimą ir palaikymą, taip eliminuodama pagrindinį aritmijos mechanizmą. Šis substratu paremtas gydymo metodas mažina aritmijų atkryčius ir gerina pacientų gyvenimo kokybę. Taip pat gali prisidėti prie išgyvenamumo rodiklių gerėjimo (7,17,44). Parodyta, kad ankstyvas siuntimas kateterinei abliacijai, taip pat pakartotinės abliacijos procedūros veiksmingai sumažina IKD iškrovų naštą ir SkT atkryčius. Deja, kai kuriais atvejais ilgalaikė procedūrinė sėkmė išlieka ribota, o atkryčiai ir procedūrinės komplikacijos dažnai siejami su nepilnu aritmogeninio substrato identifikavimu (30). Vis didesnė pažangių priešprocedūrinių vaizdinimo metodų, įskaitant DI pagrįstą substrato rekonstrukciją ir funkcinio elektrofiziologinio žemėlapių sudarymo techniką, integracija gali būti esminis žingsnis gerinant ilgalaikius abliacijos rezultatus.

SkT abliacija kaip pirmos eilės gydymas galėtų būti alternatyva, pakeičianti IKD, iš anksto apibrėžtose populiacijose, kurioms būdinga stabili SkT, nėra hemodinaminės būklės pablogėjimo požymių ir išsaugota ($>35\%$) KSIF (38). Panašiai, mūsų tyrime buvo analizuoti atrinkti pofinfarktiniai pacientai, kurių KSIF vidutiniškai siekė $32 \pm 13,2\%$ ($<35\%$), hemodinaminė būklė buvo stabili, tačiau SkT – simptominė. Svarbu pažymėti, kad, skirtingai nei ankstesniuose tyrimuose, pacientai, kuriems pasireiškė ryškūs skilvelinės tachikardijos simptomai, buvo laikomi tinkamais implantuojamo kardioverterio-defibriliatoriaus implantacijai nepriklausomai nuo abliacijos procedūros baigčių (45). Šiame specifiniame pogrupyje vienam iš septynių pacientų, nepaisant sėkmingos abliacijos, buvo nustatytas SkT atkrytis. Taikant tokią gydymo taktiką daugumai pacientų, turinčių stabilią SkT ir kairiojo skilvelio išstūmimo frakciją $>35\%$, buvo sėkmingai pašalintos visos sukeliamos SkT. Be to, pacientai buvo sistemingai vertinami ir gydomi dėl likutinės išemijos, kas galėjo prisidėti prie bendro metinio mirtingumo sumažėjimo (38). Mūsų imtyje likutinei išemijai nustatyti buvo atlikti KT tyrimai. Per pirmuosius 6 mėn. stebėjimo po procedūros laikotarpius nebuvo nustatyta nei SKM, nei SkT atkryčių. Vienas pacientas vėlesniu laikotarpiu mirė dėl galvos traumos; pagrindai galima manyti, kad mirties priežastis nebuvo susijusi su širdies patologija. Visiems pacientams IKD buvo implantuoti prieš abliaciją. Reguliariai atliekant IKD patikras prieš ir po procedūros ir lyginant SkT atkryčių

dažnį, buvo sudarytos sąlygos objektyviai įvertinti baigtis ir pasiekti sėkmingus rezultatus SkT atkryčių kontrolei palaikyti.

Pakartotinė (*redo*) SkT abliacija struktūrinės širdies ligos kontekste yra dažnas klinikinis scenarijus pacientams su anteroseptaliniu substratu, sunkesne NYHA funkcinė klase ar patirtomis periprocedūrinėmis komplikacijomis. Visiškas ilgalaikis SkT pašalinimas po pakartotinės procedūros ne visada pasiekiamas, tačiau pakartotinė abliacija gali reikšmingai sumažinti tiek SkT, tiek IKD iškrovų našą. Praktiniu požiūriu tai dažnai yra pagrindinis paciento gerovę ir prognozę lemiantis tikslas (30). Modernus išeminės SkT gydymo modelis įprasminamas kaip ilgalaikės priežiūros strategija, kai abliacija yra vienas iš kelių nuoseklių terapijos žingsnių. Kartu su optimalia širdies nepakankamumo terapija, išemijos progresavimo valdymu, IKD programavimu ir pakartotinėmis intervencijomis galima sumažinti SkT atkryčių našą ir pagerinti bendrą paciento būklę. Technologinė raida, apimanti aukštos skiriamosios gebos kateterius, pažangius funkcinis protokolus, KT/MRT integraciją ir procedūrinį vaizdinimą įgalina šiuos žingsnius atlikti tikslingiau ir saugiau (1,5,6,10,20,25,30).

4.7. Baigiamojo darbo privalumai ir trūkumai

Privalumai:

- Pirmas originalus pilotinio pobūdžio mažos apimties analitinis skerspjuvio tyrimas, sujungiantis dirbtinio intelekto analizuojamus rekonstruotus vaizdus su intrakardiniais stimuliacijos manevrais. Toks diagnostinis metodas papildė šiuolaikinį skilvelinių tachikardijų intervencinį gydymą, detalizuojant aritmijų substrato modifikacijos metodą.
- Tyrimas nuosekliai remiasi vėlyviausiomis ir naujausiomis Europos kardiologų draugijos ir pasaulinės skilvelinės tachikardijos abliacijos konsensuso rekomendacijomis.
- Tyrimas apibrėžia svarbiausius randomizuotų kontrolės tyrimų įrodymais ir pabrėžia, kad anksčiau atliekama abliacijos procedūra pacientams mažina SkT ir IKD terapijų našą. Taip pat sumažėja mirtingumo ir progresuojančio širdies nepakankamumo rodikliai. Pacientų priešprocedūrinis rizikos įvertinimas paremtas didelių registru duomenimis.
- Aiškiai atskirta procedūros metodinė strategija pagal SkT hemodinaminį toleravimą.

Trūkumai:

- Tyrimas sudarytas iš mažos tiriamųjų imties dėl pakankamai neseniai integruoto metodo į klinikinę praktiką ir techniškai sunkių procedūrų. Reikalingas daugiadisciplininis pacientų priešprocedūrinis rizikos įvertinimas, todėl pacientų atranka reikalauja didesnių laiko sąnaudų.
- Tyrime nebuvo suplanuota kontrolinė lyginamoji grupė, norint palyginti gautus rezultatus su naujo metodo takymu komplikuotiems atvejams.

- Tyrimas apima tik tiriamuosius su išeminės kilmės kardiomiopatija, neįtraukiant pacientų su kitos etiologijos kardiomiopatijomis.
- Neaprašytas detalus poprocedūrinės priežiūros ir sekimo protokolas: IKD perprogramavimas, AAV testinumas ar nutraukimas, ankstyvo recidyvo stebėsenos ir vizitų kontrolė.
- Tyrimas apima neilgalaikį pacientų sekimą pooperaciniu laikotarpiu. Reikalinga ilgesnė tyrimo trukmė, norint įvertinti laikotarpį be reikšmingų savaime nenutrūkstančių SkT atkryčių ir kitų baigčių išgyvenamumo rodiklius.

5. IŠVADOS

- Visų pacientų IKD patikros pooperaciniu laikotarpiu be iškrovų ar antitachikardinės stimuliacijos epizodų. Visi pacientai neturėjo registruotų nenutrūkstančių, kliniškai reikšmingų SkT epizodų stebėjimo laikotarpiu.
- Specifinei pacientų populiacijai būdingas vyresnis amžius, atsvoris, didelė kardiovaskulinių ir gretutinių ligų našta, žymiai sumažėjusi kairiojo skilvelio sistolinė funkcija su dominuojančiu pertvariniu aritmogeniniu substratu ir padidinta klinikinė procedūrinė rizika abliacijos procedūrai. Specifinei pacientų imčiai savaime nutrūkstančio SkT atkryčio išgyvenamumo tikimybė per stebėjimo laikotarpį sudarė maždaug 50 %.
- Išeminės SkT kateterinė abliacija yra fiziologiniais mechanizmais pagrįsta ir klinikiškai veiksminga intervencija, kurios rezultatus labiausiai lemia gebėjimas tiksliai identifikuoti trimatį randinį - funkcinį substratą. Sinergistinis metodų taikymas turi potencialo pagerinti tiek ūminius procedūrinius, tiek ilgalaikius rezultatus, sumažindamas naujų SkT morfologijų atsiradimo dažnį.
- Dirbtiniu intelektu įgalinto, rekonstruoto vaizdinimu valdomo prognozuojamų skilvelinės tachikardijos kritinių kanalų integracija su didelės skiriamosios gebos DSP žemėlapiais tiksliai sujungia komplementarius anatominius ir funkcinius substrato duomenis.

6. BAIGIAMOJO DARBO PRAKTINĖS REKOMENDACIJOS

- Visiems su išemine kardiomiopatija (patyrusiems MI) pacientams reikia įvertinti priešprocedūrinę riziką daugiadisciplininėje komandoje ir naudoti validuotas skales.
- Visiems su išemine kardiomiopatija (patyrusiems MI) pacientams prieš planuojamą ventrikulinės tachikardijos abliacijos procedūrą rekomenduotina atlikti multimodalinį substrato vaizdinimą ir integruoti vaizdus į intraprocedūrinius sudarytus žemėlapius.
- Pasirinkti žemėlapių sudarymo strategiją pagal hemodinaminį paciento toleravimą ventrikulinės tachikardijos metu. Prioretizuoti substrato modifikacijos naujausius metodus, kombinuojant su funkcinio substrato vaizdinimu.

- Įvertinus didelę IKD terapijos (iškrovų) naštą pacientams individualizuotai, siųsti juos ankstyvai abliacijos procedūrai. Taip sumažinama ankstyvos mirties ir progresuojančio širdies nepakankamumo rizika.
- SkT abliacijos procedūra turėtų būti svarstoma kaip strategija mažinti SkT recidyvus ar daugines IKD terapijas.
- Refrakterinė ar pasikartojanti išeminės randinės SkT neturėtų būti valdoma vien AAV eskalacija. Ankstyvas siuntimas į SkT abliacijos centrą yra pranašesnis už vaistų dozių didinimą sudėtinėse pacientų baigtyse (dauginės iškrovos ar SkT elektrinė audra).
- Refrakteriniams substratams turėti eskalacijos algoritmą: įtariant epikardinį substratą planuoti epikardinę prieigą iš anksto. Reikalinga praktinė patirtis.

Literatūros sąrašas:

1. Zeppenfeld K, Tfelt-Hansen J, De Riva M, Winkel BG, Behr ER, Blom NA, et al. 2022 ESC Guidelines for the management of patients with ventricular arrhythmias and the prevention of sudden cardiac death. *Eur Heart J*. 2022 Oct 21;43(40):3997–4126. doi:10.1093/eurheartj/ehac262
2. Stevenson WG, Richardson TD, Kanagasundram AN, Tandri H. State of the Art: Mapping Strategies to Guide Ablation in Ischemic Heart Disease. *JACC Clin Electrophysiol*. 2024 Dec;10(12):2744–61. doi:10.1016/j.jacep.2024.09.016
3. Hadjis A, Frontera A, Limite LR, Bisceglia C, Bognoni L, Foppoli L, et al. Complete Electroanatomic Imaging of the Diastolic Pathway Is Associated With Improved Freedom From Ventricular Tachycardia Recurrence. *Circ Arrhythm Electrophysiol*. 2020 Sep;13(9):e008651. doi:10.1161/CIRCEP.120.008651
4. Okubo K, Frontera A, Bisceglia C, Paglino G, Radinovic A, Foppoli L, et al. Grid Mapping Catheter for Ventricular Tachycardia Ablation. *Circ Arrhythm Electrophysiol*. 2019 Sep;12(9):e007500. doi:10.1161/CIRCEP.119.007500
5. Chery G, Khoshknab M, Nazarian S. Imaging to Facilitate Ventricular Tachycardia Ablation. *JACC Clin Electrophysiol*. 2024 Oct;10(10):2277–92. doi:10.1016/j.jacep.2024.08.003
6. Deneke T, Kutyla V, Hindricks G, Sommer P, Zeppenfeld K, Carbucicchio C, et al. Pre- and post-procedural cardiac imaging (computed tomography and magnetic resonance imaging) in electrophysiology: a clinical consensus statement of the European Heart Rhythm Association and European Association of Cardiovascular Imaging of the European Society of Cardiology. *Europace*. 2024 May 2;26(5):euae108. doi:10.1093/europace/euae108
7. Englert F, Bahlke F, Erhard N, Krafft H, Popa MA, Risse E, et al. VT ablation based on CT imaging substrate visualization: results from a large cohort of ischemic and non-ischemic cardiomyopathy patients. *Clin Res Cardiol*. 2023 Dec 19. doi:10.1007/s00392-023-02321-1
8. Bhaskaran A, Fitzgerald J, Jackson N, Gizurarson S, Nanthakumar K, Porta-Sánchez A. Decrement Evoked Potential Mapping to Guide Ventricular Tachycardia Ablation: Elucidating the Functional Substrate. *Arrhythmia Electrophysiol Rev*. 2020 Dec 24;9(4):211–8. doi:10.15420/aer.2020.25
9. Wilnes B, Castello-Branco B, Martins Pereira EM, Lopes LM, Santos VB, Bicalho AC, et al. Extrastimuli-assisted functional mapping improves ventricular tachycardia ablation outcomes: A systematic review, meta-analysis, and meta-regression. *Heart Rhythm*. 2025 Apr;S1547527125023045. doi:10.1016/j.hrthm.2025.03.2000
10. Cronin EM, Bogun FM, Maury P, Peichl P, Chen M, Namboodiri N, et al. 2019 HRS/EHRA/APHRS/LAHRS expert consensus statement on catheter ablation of ventricular

- arrhythmias: Executive summary. *Heart Rhythm*. 2020 Jan;17(1):e155–205. doi:10.1016/j.hrthm.2019.03.014
11. Jaïs P, Maury P, Khairy P, Sacher F, Nault I, Komatsu Y, et al. Elimination of Local Abnormal Ventricular Activities: A New End Point for Substrate Modification in Patients With Scar-Related Ventricular Tachycardia. *Circulation*. 2012 May 8;125(18):2184–96. doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.111.043216
12. Carta-Bergaz A, Ríos-Muñoz GR, Crisóstomo V, Báez C, Blanco V, Sánchez-Margallo FM, et al. Scar Voltage Mapping in Fast Ventricular Tachycardia for Identifying Functional Substrates of Tachycardia Isthmuses: A Proof-of-Concept Study. *Circ Arrhythm Electrophysiol*. 2025 Sep;18(9). doi:10.1161/CIRCEP.125.013793
13. Jackson N, Gizurason S, Viswanathan K, King B, Massé S, Kusha M, et al. Decrement Evoked Potential Mapping: Basis of a Mechanistic Strategy for Ventricular Tachycardia Ablation. *Circ Arrhythm Electrophysiol*. 2015 Dec;8(6):1433–42. doi:10.1161/CIRCEP.115.003083
14. Mahida S, Sacher F, Dubois R, Sermesant M, Bogun F, Haïssaguerre M, et al. Cardiac Imaging in Patients With Ventricular Tachycardia. *Circulation*. 2017 Dec 19;136(25):2491–507. doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.117.029349
15. Komatsu Y, Cochet H, Jadidi A, Sacher F, Shah A, Derval N, et al. Regional Myocardial Wall Thinning at Multidetector Computed Tomography Correlates to Arrhythmogenic Substrate in Postinfarction Ventricular Tachycardia: Assessment of Structural and Electrical Substrate. *Circ Arrhythm Electrophysiol*. 2013 Apr;6(2):342–50. doi:10.1161/CIRCEP.112.000191
16. Ghannam M, Cochet H, Jais P, Sermesant M, Patel S, Siontis KC, et al. Correlation between computer tomography-derived scar topography and critical ablation sites in postinfarction ventricular tachycardia. *J Cardiovasc Electrophysiol*. 2018 Mar;29(3):438–45. doi:10.1111/jce.13441
17. Sacristan B, Cochet H, Bouyer B, Tixier R, Duchateau J, Derval N, et al. Imaging-Aided VT Ablation. Long-Term Results From a Pilot Study. *J Cardiovasc Electrophysiol*. 2025 Aug;36(8):1841–8. doi:10.1111/jce.16741
18. Cabrera Borrego E, Sanchez Millan P, Constan De La Revilla E, Tercedor Sanchez L, Alvarez Lopez M. New imaging techniques in ventricular tachycardia ablation: integration of myocardial thickness analysis software in computed tomography with omnipolar mapping. *Europace*. 2023 May 24;25(Supplement_1):euad122.310. doi:10.1093/europace/euad122.310
19. Esposito A, Palmisano A, Antunes S, Maccabelli G, Colantoni C, Rancoita PMV, et al. Cardiac CT With Delayed Enhancement in the Characterization of Ventricular Tachycardia Structural Substrate. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2016 Jul;9(7):822–32. doi:10.1016/j.jcmg.2015.10.024

20. Maher TR, Freedman BL, Locke AH, Tracey M, Waks JW, Litmanovich D, et al. Correlation Between Functional Substrate Mapping and Cardiac Computed Tomography–Derived Wall Thinning for Ventricular Tachycardia Ablation. *JACC Clin Electrophysiol.* 2023 Sep;9(9):1878–89. doi:10.1016/j.jacep.2023.05.018
21. Monaci S, Qian S, Gillette K, Puyol-Antón E, Mukherjee R, Elliott MK, et al. Non-invasive localization of post-infarct ventricular tachycardia exit sites to guide ablation planning: a computational deep learning platform utilizing the 12-lead electrocardiogram and intracardiac electrograms from implanted devices. *EP Eur.* 2023 Feb 16;25(2):469–77. doi:10.1093/europace/euac178
22. Yokokawa M, Desjardins B, Crawford T, Good E, Morady F, Bogun F. Reasons for Recurrent Ventricular Tachycardia After Catheter Ablation of Post-Infarction Ventricular Tachycardia. *J Am Coll Cardiol.* 2013 Jan;61(1):66–73. doi:10.1016/j.jacc.2012.07.059
23. Porta-Sánchez A, Jackson N, Lukac P, Kristiansen SB, Nielsen JM, Gizurarson S, et al. Multicenter Study of Ischemic Ventricular Tachycardia Ablation With Decrement-Evoked Potential (DEEP) Mapping With Extra Stimulus. *JACC Clin Electrophysiol.* 2018 Mar;4(3):307–15. doi:10.1016/j.jacep.2017.12.005
24. De Riva M, Naruse Y, Ebert M, Androulakis AFA, Tao Q, Watanabe M, et al. Targeting the Hidden Substrate Unmasked by Right Ventricular Extrastimulation Improves Ventricular Tachycardia Ablation Outcome After Myocardial Infarction. *JACC Clin Electrophysiol.* 2018 Mar;4(3):316–27. doi:10.1016/j.jacep.2018.01.013
25. Guichard JB, Regany-Closa M, Vázquez-Calvo S, Zazu B, Pellicer Sendra B, Serrano-Campaner J, et al. Substrate Mapping for Ventricular Tachycardia Ablation Through High-Density Whole-Chamber Double Extra Stimuli. *JACC Clin Electrophysiol.* 2024 Jul;10(7):1534–47. doi:10.1016/j.jacep.2024.04.023
26. Sanchez-Somonte P, Garre P, Vázquez-Calvo S, Quinto L, Borràs R, Prat S, et al. Scar conducting channel characterization to predict arrhythmogenicity during ventricular tachycardia ablation. *EP Eur.* 2023 Mar 30;25(3):989–99. doi:10.1093/europace/euac257
27. Sultan A, Futyma P, Metzner A, Anic A, Richter S, Roten L, et al. Management of ventricular tachycardias: insights on centre settings, procedural workflow, endpoints, and implementation of guidelines—results from an EHRA survey. *Europace.* 2024 Feb 1;26(2):euac030. doi:10.1093/europace/euac030
28. Waight MC, Prakosa A, Li AC, Bunce N, Marciniak A, Trayanova NA, et al. Personalized Heart Digital Twins Detect Substrate Abnormalities in Scar-Dependent Ventricular Tachycardia. *Circulation.* 2025 Feb 25;151(8):521–33. doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.124.070526

29. Reventos-Presmanes J, Hernández-Romero I, Pellicer-Sendra B, Guillen-Buisan E, Serrano-Campaner J, Invers-Rubio E, et al. Noninvasive assessment of the ventricular arrhythmogenic substrate using electrocardiographic imaging during sinus rhythm: The NIAVAS study. *Heart Rhythm*. 2025 Jul;S1547527125026529. doi:10.1016/j.hrthm.2025.07.020
30. Garcia Garcia J, Arya A, Dinov B, Bollmann A, Ter Bekke RMA, Vernooij K, et al. Impact of repeat ablation of ventricular tachycardia in patients with structural heart disease. *Europace*. 2023 Dec 28;26(1):euad367. doi:10.1093/europace/euad367
31. Mueller J, Chakarov I, Halbfass P, Nentwich K, Ene E, Berkovitz A, et al. Adverse Prognosis of Patients With Septal Substrate After VT Ablation Due to Electrical Storm. *JACC Clin Electrophysiol*. 2023 Jun;9(6):790–804. doi:10.1016/j.jacep.2023.01.012
32. Sacher F, Reichlin T, Le Bloa M, Massoulie G, Waintraub X, Maury P, et al. Computed tomography-guided vs conventional catheter ablation for ventricular tachycardia: the InEurHeart trial. *Eur Heart J*. 2026 Feb 11;ehag052. doi:10.1093/eurheartj/ehag052
33. Soejima K, Suzuki M, Maisel WH, Brunckhorst CB, Delacretaz E, Blier L, et al. Catheter Ablation in Patients With Multiple and Unstable Ventricular Tachycardias After Myocardial Infarction: Short Ablation Lines Guided by Reentry Circuit Isthmuses and Sinus Rhythm Mapping. *Circulation*. 2001 Aug 7;104(6):664–9. doi:10.1161/hc3101.093764
34. Saggu DK, Shah M, Shelke A, Narasimhan C. Multiple monomorphic ventricular tachycardias in a structurally normal heart: A case report. *Heart Case Rep*. 2015 May;1(3):114–6. doi:10.1016/j.hrcr.2014.12.013
35. Klemm HU, Ventura R, Steven D, Johnsen C, Rostock T, Lutomskey B, et al. Catheter Ablation of Multiple Ventricular Tachycardias After Myocardial Infarction Guided by Combined Contact and Noncontact Mapping. *Circulation*. 2007 May 29;115(21):2697–704. doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.106.668673
36. John LA, John II, Tedford RJ, Gregoski MJ, Gold MR, Field ME, et al. Substrate Imaging Before Catheter Ablation of Ventricular Tachycardia. *JACC Clin Electrophysiol*. 2023 Aug;9(8):1684–93. doi:10.1016/j.jacep.2023.03.023
37. Stojadinović P, Wichterle D, Peichl P, Čihák R, Aldhoon B, Borišincová E, et al. Periprocedural acute haemodynamic decompensation during substrate-based ablation of scar-related ventricular tachycardia: a rare and unpredictable event. *Europace*. 2024 Jun 3;26(6):euae145. doi:10.1093/europace/euae145
38. Ninni S, Guenancia C, Bourdrel O, Mohammed R, Decaudin D, Klein C, et al. Impact of ventricular tachycardia ablation in the setting of electrical storm based on patient risk profile. *Europace*. 2025 Sep 1;27(9):euaf188. doi:10.1093/europace/euaf188

39. Rademaker R, De Riva M, Piers SRD, Wijnmaalen AP, Zeppenfeld K. Excellent Outcomes After First-Line Ablation in Post-MI Patients With Tolerated VT and LVEF >35%. *JACC Clin Electrophysiol.* 2024 Nov;10(11):2303–11. doi:10.1016/j.jacep.2024.06.027
40. Gunda S, Padala SK, Saini A, Kang L, Ellenbogen KA, Koneru JN. Risk score model for predicting complications in patients undergoing ventricular tachycardia ablation: insights from the National Inpatient Sample database. *EP Eur.* 2019 Mar 1;21(3):475–83. doi:10.1093/europace/euy213
41. Lee JZ, Tan MC, Karikalan S, Deshmukh AJ, Srivathsan K, Shen WK, et al. Causes of Early Mortality After Ventricular Tachycardia Ablation in Patients With Reduced Ejection Fraction. *JACC Clin Electrophysiol.* 2023 Jun;9(6):824–32. doi:10.1016/j.jacep.2022.10.024
42. Woelber T, Futela P, Arunachalam Karikalan S, Poddar A, Heybati K, Pradeep A, et al. Abstract 4147907: Validation of PAINESD Score to Predict Outcomes of Catheter ablation of Structural Ventricular Tachycardia. *Circulation.* 2024 Nov 12;150(Suppl_1). doi:10.1161/circ.150.suppl_1.4147907
43. Kuck KH, Cappato R, Siebels J, R  ppel R. Randomized Comparison of Antiarrhythmic Drug Therapy With Implantable Defibrillators in Patients Resuscitated From Cardiac Arrest: The Cardiac Arrest Study Hamburg (CASH). *Circulation.* 2000 Aug 15;102(7):748–54. doi:10.1161/01.CIR.102.7.748
44. Sapp JL, Wells GA, Parkash R, Stevenson WG, Blier L, Sarrazin JF, et al. Ventricular Tachycardia Ablation versus Escalation of Antiarrhythmic Drugs. *N Engl J Med.* 2016 Jul 14;375(2):111–21. doi:10.1056/NEJMoa1513614
45. Della Bella P, Baratto F, Vergara P, Bertocchi P, Santamaria M, Notarstefano P, et al. Does Timing of Ventricular Tachycardia Ablation Affect Prognosis in Patients With an Implantable Cardioverter Defibrillator? Results From the Multicenter Randomized PARTITA Trial. *Circulation.* 2022 Jun 21;145(25):1829–38. doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.122.059598
46. Clemens M, Peichl P, Wichterle D, Pavl   L,   ih  k R, Aldhoon B, et al. Catheter Ablation of Ventricular Tachycardia as the First-Line Therapy in Patients With Coronary Artery Disease and Preserved Left Ventricular Systolic Function: Long-Term Results. *J Cardiovasc Electrophysiol.* 2015 Oct;26(10):1105–10. doi:10.1111/jce.12751