

LIETUVOS SVEIKATOS MOKSLŲ UNIVERSITETAS

Aušra Krivickienė

**TRIBURIO VOŽTUVO GEOMETRIJOS,
DEŠINIOJO SKILVELIO MECHANIKOS IR
FUNKCIJOS ĮVERTINIMAS TRIMATĖS
ECHOKARDIOGRAFIJOS METODU, ESANT
FUNKCINIAM TRIBURIO VOŽTUVO
NESANDARUMUI PRIEŠ IR PO VOŽTUVO
CHIRURGINĖS KOREKCIJOS**

Daktaro disertacija
Medicinos ir sveikatos mokslai,
medicina (M 001)

Kaunas, 2026

Disertacija rengta 2017–2025 metais Lietuvos sveikatos mokslų universiteto Medicinos akademijos Kardiologijos instituto Klinikinės kardiologijos laboratorijoje.

Mokslinė vadovė

prof. dr. Eglė Ereminienė (Lietuvos sveikatos mokslų universitetas, medicinos ir sveikatos mokslai, medicina – M 001).

Disertacija ginama Lietuvos sveikatos mokslų universiteto Medicinos mokslo krypties taryboje:

Pirmininkė

prof. dr. Brigita Gradauskienė (Lietuvos sveikatos mokslų universitetas, medicinos ir sveikatos mokslai, medicina – M 001).

Nariai:

prof. dr. Olivija Dobilienė (Lietuvos sveikatos mokslų universitetas, medicinos ir sveikatos mokslai, medicina – M 001);

prof. dr. Gediminas Kiudelis (Lietuvos sveikatos mokslų universitetas, medicinos ir sveikatos mokslai, medicina – M 001);

dr. Vytė Valerija Maneikienė (Vilniaus universitetas, medicinos ir sveikatos mokslai, medicina – M 001);

prof. dr. Evaldas Girdauskas (Hamburgo universiteto Širdies ir kraujagyslių centras, medicinos ir sveikatos mokslai, medicina – M 001).

Disertacija ginama viešajame Medicinos mokslų krypties tarybos posėdyje 2026 m. vasario 9 d. 11 val. Lietuvos sveikatos mokslų universiteto Kauno klinikų Kardiologijos klinikos 356 auditorijoje.

Disertacijos gynimo vietos adresas: Eivenių g. 2, LT- 50161 Kaunas, Lietuva.

LITHUANIAN UNIVERSITY OF HEALTH SCIENCES

Aušra Krivickienė

**CHANGES IN TRICUSPID VALVE GEOMETRY,
RIGHT VENTRICULAR MECHANICS AND
FUNCTION IN FUNCTIONAL TRICUSPID
REGURGITATION BEFORE AND AFTER
SURGICAL REPAIR ASSESSED BY THREE-
DIMENSIONAL ECHOCARDIOGRAPHY**

Doctoral Dissertation
Medical and Health Sciences,
Medicine (M 001)

Kaunas, 2026

Dissertation has been prepared at the Laboratory of Clinical Cardiology of Institute of Cardiology in Medical Academy of Lithuanian University of Health Sciences, during the period of 2017–2025.

Scientific Supervisor

Prof. Dr. Eglė Ereminienė (Lithuanian University of Health Sciences, Medical and Health Sciences, Medicine – M 001).

Dissertation is defended at the Medical Research Council of the Lithuanian University of Health Sciences:

Chairperson

Prof. Dr. Brigita Gradauskienė (Lithuanian University of Health Sciences, Medical and Health Sciences, Medicine – M 001).

Members:

Prof. Dr. Olivija Dobilienė (Lithuanian University of Health Sciences, Medical and Health Sciences, Medicine – M 001);

Prof. Dr. Gediminas Kiudelis (Lithuanian University of Health Sciences, Medical and Health Sciences, Medicine – M 001);

Dr. Vytė Valerija Maneikienė (Vilnius University, Medical and Health Sciences, Medicine – M 001);

Prof. Dr. Evaldas Girდაuskas (University Heart and Vascular Center Hamburg (Germany), Medical and Health Sciences, Medicine – M 001).

Dissertation will be defended at the open session of the Medical Research Council of Lithuanian University of Health Sciences on the 9th of February, 2026 at 11 a.m. in the 356 auditorium, Hospital of Lithuanian University of Health Sciences Kauno Klinikos, Department of Cardiology.
Address: Eivenių 2, LT-50161, Kaunas, Lithuania.

TURINYS

SANTRUMPOS	7
ĮVADAS	9
1. TIKSLAS IR UŽDAVINIAI	11
2. LITERATŪROS APŽVALGA	13
2.1. Triburio vožtuvo anatomija, geometrija ir funkcija fiziologinėmis sąlygomis	13
2.2. Triburio vožtuvo nesandarumas: epidemiologija, priežastys, patofiziologija ir klasifikacija.....	14
2.3. TVN diagnostika	20
2.3.1. Echokardiografija. TVN sunkumo vertinimas.....	21
2.3.2. Diagnostikos sunkumai.....	22
2.3.3. 3D echokardiografijos svarba.....	25
2.4. Triburio vožtuvo nesandarumo prognozė ir gydymo galimybės.....	26
2.4.1. Prognozė	26
2.4.2. Gydymo galimybės.....	28
2.5. Grįžtamasis TVN po TV žiedo plastikos: klinikinės įžvalgos	35
3. DARBO METODIKA.....	37
3.1. Tiriamųjų kontingentas.....	37
3.1.1. KŠP grupės operacinis gydymas ir pooperacinė stebėsena	40
3.2. Echokardiografinio tyrimo metodika	40
3.2.1. Įprastinių echokardiografinių parametrų vertinimas	41
3.2.2. Triburio vožtuvo nesandarumo echokardiografinis vertinimas	43
3.2.3. Sistolinio ir vidutinio spaudimo plaučių arterijoje echokardiografinis vertinimas	44
3.2.4. Dešiniojo skilvelio išilginio miokardo deformavimosi rodiklių matavimas, taikant taškelių žymėjimo echokardiografiją	44
3.2.5. Dešiniojo skilvelio tūrių ir funkcijos vertinimas 3D echokardiografijos metodu.....	45
3.2.6. Triburio vožtuvo geometrijos vertinimas 3D echokardiografijos metodu.....	47
3.3. Statistinė analizė.....	48
4. DARBO REZULTATAI	50
A. Funkcinio TVN vertinimas.....	50
4.1. Tiriamųjų kontingentas, charakteristika	50
4.2. Funkcinio TVN ir kontrolinės grupės tiriamųjų širdies geometrijos ir funkcijos rodiklių palyginimas	52
4.2.1. Kairiosios širdies geometrijos ir funkcijos palyginimas tarp grupių	52
4.2.2. Dešinėsios širdies geometrijos ir funkcijos palyginimas tarp grupių.....	54
4.2.3. Triburio vožtuvo geometrijos palyginimas tarp grupių	58
4.3. Triburio vožtuvo ir dešiniojo skilvelio 3D geometrijos ryšys su fTVN sunkumu	64
4.3.1. TV ir dešiniojo skilvelio 3D geometrijos ryšys su fTVN sunkumu bendroje fTVN imtyje	64
4.3.2. Didelio fTVN prognostiniai rodikliai, esant skirtingai fTVN etiologijai.....	67

B. Funkcinio TVN dėl kairiosios širdies patologijos pooperaciniai rezultatai.....	73
4.4. Grįžtamojo TVN sąsajos su klinikiniais duomenimis, DS bei TV remodeliacija ir funkcija.....	73
4.4.1. Demografiniai, antropometriniai ir klinikiniai KŠP grupės operacinio pogrūpio tiriamųjų duomenys	73
4.4.2. Grįžtamojo TVN rizikos veiksnių analizė	75
4.4.2.1. Ikioperacinių antropometrinių, klinikinių ir kairiosios širdies echokardiografinių rodiklių palyginimas tarp efektyviosios TV plastikos ir grįžtamojo TVN grupių tiriamųjų	75
4.4.2.2. Dešinėsios širdies geometrijos ir funkcijos palyginimas tarp efektyviosios TV plastikos ir grįžtamojo TVN grupių tiriamųjų.....	76
4.4.2.3. Triburio vožtuvo geometrijos palyginimas tarp efektyviosios TV plastikos ir grįžtamojo TVN grupių tiriamųjų	78
4.4.3. Klinikinių veiksnių bei DS ir TV geometrijos pokyčių įtaka grįžtamojo TVN išsivystymui.....	79
4.4.4. Grįžtamojo TVN prognoziniai rodikliai	86
4.5. TV žiedo plastikos įtaka dešinėsios širdies ir TV remodeliacijai	90
4.5.1. Kairiosios ir dešinėsios širdies geometrijos ir funkcijos pokyčiai, esant efektyviajai TV plastikai ir grįžtamajam TVN.....	93
5. REZULTATŲ APTARIMAS	102
5.1. Funkcinio TVN vertinimas.....	102
5.1.1. Dešinėsios širdies ir TV geometrijos palyginimas tarp skirtingos etiologijos fTVN grupių	102
5.1.2. TV geometrijos ryšys su fTVN sunkumu	103
5.1.3. Trimatės analizės svarba vertinant TV	104
5.2. Funkcinio TVN, nulemta kairiosios širdies patologijos, pooperaciniai rezultatai ..	105
5.2.1. Ryšys tarp klinikinių duomenų, dešiniojo ir kairiojo skilvelių geometrinių ir funkcinių rodiklių bei grįžtamojo TVN.....	106
5.2.2. Ryšys tarp TV geometrinių parametrų ir grįžtamojo TVN.....	107
5.2.3. Trimatės analizės svarba grįžtamojo TVN prognozavimui	110
5.2.4. TV žiedo plastikos įtaka dešinėsios širdies ir TV remodeliavimuisi.....	110
5.2.5. Kairiosios ir dešinėsios širdies geometrijos ir funkcijos palyginimas, esant efektyviajai TV plastikai ir grįžtamajam TVN.....	111
TYRIMO RIBOTUMAI	114
IŠVADOS.....	115
PRAKTINĖS REKOMENDACIJOS	116
SUMMARY	117
LITERATŪROS SĄRAŠAS	148
PASKELBTOS PUBLIKACIJOS.....	161
CURRICULUM VITAE	194

SANTRUMPOS

2D	– dvimatė
3D	– trimatė
AKFI	– angiotenziną konvertuojančio fermento inhibitorius
ARB	– angiotenzino receptorių blokatorius
BAB	– beta adrenoreceptorių blokatorius
DS	– dešinysis skilvelis
DP	– dešinysis prieširdis
DVN	– dviburio vožtuvo nesandarumas
EKD	– Europos kardiologų draugija
EKS	– elektrokardiostimuliatorius
ERA	– efektyviosios regurgitacijos anga
FTVN	– funkcinis triburio vožtuvo nesandarumas
FPP	– frakcinis ploto pokytis
IF	– išstūmio frakcija
IĮ	– išilginė įtampa
IKD	– implantuojamas kardioverteris defibriliatorius
IŠL	– išeminė širdies liga
KS	– kairysis skilvelis
KSGDD	– kairiojo skilvelio galinis diastolinis dydis
KSGDT	– kairiojo skilvelio galinis diastolinis tūris
KSGSD	– kairiojo skilvelio galinis sistolinis dydis
KSGDT	– kairiojo skilvelio galinis sistolinis tūris
KP	– kairysis prieširdis
MRT	– magnetinio rezonanso tomografija
PA	– plaučių arterija
PAS	– plaučių arterijos spaudimas
PH	– plautinė hipertenzija
PI	– pasikliautinasis intervalas
PV	– prieširdžių virpėjimas
RT	– regurgitacinis tūris
SSS	– santykinis sienelių storis
ŠN	– širdies nepakankamumas

ŠS	– šansų santykis
TSP	– tarpskilvelinė pertvara
TV	– triburis vožtuvas
TVN	– triburio vožtuvo nesandarumas
TVŽJA	– triburio vožtuvo žiedo judesio amplitudė
VAA	– vainikinių arterijų angiografija
US	– užpakalinė sienelė

IVADAS

Funkcinis triburio vožtuvo nesandarumas (fTVN) – tai sudėtinga ir kliniškai reikšminga dešinėsios širdies patologija, kurią sukelia ne pirminė vožtuvo burių pažaida, bet dešiniųjų širdies dalių geometrijos ir funkcijos pokyčiai, sergant kairiosios širdies vožtuvų ligomis, įgimtomis širdies ydomis ar plautine hipertenzija [1–3]. Anksčiau ši būklė ilgą laiką buvo laikoma antrine ir mažiau svarbia, tačiau pastaraisiais dešimtmečiais vis daugiau tyrimų atskleidžia, kad nediagnozuotas ar nepakankamai koreguotas fTVN lemia progresuojančią dešiniojo skilvelio (DS) remodeliaciją, disfunkciją, širdies nepakankamumą, blogesnę gyvenimo kokybę ir didesnę mirštamumą [4–10]. Funkcinis TVN sudaro iki 90 proc. visų TVN atvejų ir vystosi, kai padidėjus spaudimui ir (ar) atsiradus tūrio perkrovai, DS ima plėstis ir sukelia TV žiedo dilataciją bei sutrikusį burių susiglaudimą (koaptaciją). Įrodyta, kad iki 74 proc. pacientų, kuriems atlikta sėkminga kairiosios širdies vožtuvo operacija, laikui bėgant išsivystys funkcinis TVN [11–14]. Daugelis tyrimų atskleidžia reikšmingą sąsają tarp TVN sunkumo ir blogesnės ligos prognozės: didėjant TVN laipsniui, reikšmingai mažėja pacientų išgyvenamumas [15–18]. Vertinant progresuojantį ligos pobūdį ir funkcinio TVN įtaką pooperaciniams rezultatams esant kairiosios širdies vožtuvų ligai, padidėjo susidomėjimas fTVN patofiziologiniais mechanizmais ir jų ryšiu su DS remodeliavimusi [2–5, 13].

Echokardiografija laikoma TVN diagnostikos „aukso standartu“. Dėl sudėtingos trimatės struktūros ir priekinės vožtuvo padėties tarpuplaučiuje įprasta dvimatė (2D) echokardiografija nėra pakankama, todėl išsamiai anatomijai ir patofiziologijai įvertinti būtina trimatė (3D) echokardiografija [19–22]. 3D echokardiografija padeda išsamiau įvertinti TV struktūrą ir funkciją ir pagal jas parinkti optimalų vožtuvo ydos gydymo metodą. Šiuo metu trūksta tikslių 3D echokardiografija pagrįstų tyrimų, kaip įvairios fTVN etiologijos veikia dešinėsios širdies geometrinę ir funkcinę deformaciją, taip pat kurie echokardiografiniai rodikliai leistų tiksliau prognozuoti ligos eigą ir baigtis.

Neretai fTVN chirurginis gydymas taikomas per vėlai, jau esant įsisekėjusiai pažaidai, negrįžtamiems DS pokyčiams ir tai lemia blogesnę ligos prognozę. TV žiedo plastika, kaip saugi ir veiksminga chirurginė procedūra, dabar rekomenduojama fTVN gydyti kairiosios širdies operacijos metu [19, 23–26]. Didėja susirūpinimas dėl liekamojo / grįžtamojo TVN po TV žiedo plastikos, kurio dažnumas svyruoja tarp 10–30 proc. [10, 24, 27–30]. Įrodyta, kad išgyvenamumas mažėja didėjant liekamojo / grįžtamojo TVN laipsniui, o pakartotinė chirurginė intervencija tokiais atvejais siejama su didele perioperacine rizika ir ribotu efektyvumu, todėl ypač svarbu nustatyti veiksnis,

lemiančius TVN pasikartojimą [31]. Iki šiol publikuota nedaug tyrimų, kuriuose būtų detaliai išanalizuoti TVN pasikartojimo mechanizmai ir nustatyti veiksniai, lemiantys ilgalaikius TV rekonstrukcinės chirurgijos rezultatus bei grįžtamojo nesandarumo išsivystymą.

Todėl šiame darbe, naudodami naujas trimatės echokardiografijos metodus, kompleksiškai įvertinome TV ir DS geometrijos bei funkcijos pokyčius, esant skirtingo sunkumo bei etiologijos funkciniam TVN. Analizavome jų sąsajas su ligos sunkumu ir pooperaciniais rezultatais, bei siekėme nustatyti tikslesnius laiku atliktinos chirurginės korekcijos atrankos kriterijus, pagerinant ilgalaikę pacientų prognozę ir sumažinant pooperacinio grįžtamojo TV nesandarumo dažnumą.

1. TIKSLAS IR UŽDAVINIAI

Tikslas

Trimatės echokardiografijos metodu įvertinti triburio vožtuvo bei dešiniojo skilvelio geometriją, DS mechaniką ir funkciją, esant funkciniam triburio vožtuvo nesandarumui, bei pokyčius po chirurginės TVN korekcijos.

Uždaviniai

1. Nustatyti TV geometrijos ir DS funkcijos pokyčius, esant skirtingos etiologijos funkciniam TV nesandarumui.
2. Įvertinti sąsajas tarp TV geometrijos bei DS funkcijos ir funkcinio TV nesandarumo sunkumo laipsnio.
3. Nustatyti sąsajas tarp klinikinių duomenų, TV ir DS geometrijos, bei DS mechanikos ir funkcijos ir grįžtamojo nesandarumo po chirurginės funkcinio TV nesandarumo korekcijos.
4. Įvertinti grįžtamojo TV nesandarumo įtaką klinikinei eigai, dešiniųjų širdies dalių geometrijos ir funkcijos pokyčiams vėlyvuju pooperaciniu laikotarpiu.

Darbo mokslinis naujumas

Šiame darbe plačiai kompleksiškai įvertinome TV bei DS geometriją ir funkciją esant funkciniam TVN bei jų pokyčius po TV chirurginės korekcijos, naudodami trimatę echokardiografiją ir specialias TV bei DS analizės programas.

Disertacijoje nustatėme TV ir DS ribines vertes grįžtamajam pooperaciniam TVN prognozuoti. Taip pat įvertinome, kaip efektyvi TV žiedo plastika De Vega metodika keičia kairiosios ir dešinėsios širdies geometriją, mechaniką ir funkciją bei nustatėme grįžtamojo TVN įtaką klinikinei eigai, dešiniųjų širdies dalių geometrijos ir funkcijos pokyčiams vėlyvuju pooperaciniu laikotarpiu.

Didėjant susidomėjimui fTVN ir klinicine jo verte, tai yra pirmasis darbas Lietuvoje, kuriame išanalizuota TV ir DS komplekso, kaip vienos struktūros, geometrija, esant dažniausioms patologinėms būklėms, lemiančioms reikšmingą funkcinį TVN. Taip pat pirmą kartą Lietuvoje nustatyti grįžtamąjį pooperacinį TVN prognozuojantys rodikliai, slenkstinės jų ribos, įvertinti chirurginės TV korekcijos De Vega metodika rezultatai bei jų įtaka klinikinei eigai ir dešiniųjų širdies dalių remodeliavimuisi.

Gauti duomenys plečia žinias apie fTVN patofiziologiją ir pagrindžia individualizuotą diagnostikos, gydymo bei pooperacinės stebėsenos strategiją, galinčią optimizuoti pacientų atranką operaciniam / intervenciniam gydymui,

parinkti tinkamiausią chirurginę metodiką bei pagerinti funkcinio TV nesandarumo operacinio gydymo rezultatus.

2. LITERATŪROS APŽVALGA

2.1. Triburio vožtuvo anatomija, geometrija ir funkcija fiziologinėmis sąlygomis

Triburis vožtuvas – tai plono skaidulinio audinio kompleksas, sudarytas iš trijų burių (priekinės, užpakalinės ir pertvarinės), sausgyslinių siūlų (chordų), speninių raumenų ir skaidulinio žiedo, esančio tarp dešiniojo prieširdžio (DP) ir DS [1, 11, 32]. TV nukreipia kraujo tėkmę iš DP į DS ir neleidžia kraujui tekėti atgal skilvelio sistolės metu [22]. Efektyvi TV veikla priklauso nuo struktūrų vientisumo bei darnaus visų vožtuvo dalių (burių, TV žiedo, sausgyslinių siūlų, speninių raumenų ir DS miokardo) funkcionavimo [20, 33]. Trimatė echokardiografija yra neatsiejama mūsų supratimo apie TV anatomiją dalis.

TV žiedas – struktūra, esanti tarp DP ir DS, suteikianti tvirtą atramą TV burių prisitvirtinimui; jis yra elipsės (ovalo), balno formos. TV žiedo plokštuma beveik vertikali, sagitalinėje plokštumoje ji pasvirusi apie 45 laipsnius [32]. TV žiedo aukščiausi taškai yra priekinėje ir užpakalinėje, o žemiausi – medialinėje ir lateralinėje ašyse [12]. Įprastas TV žiedo plotas yra nuo 7 iki 9 cm², ir yra didžiausias iš keturių širdies vožtuvų. Jis platus, o slėgių skirtumas tarp DP ir DS nedidelis, todėl maksimalus greitis per TV diastolės metu dažniausia būna < 1 m/s, gradientas < 2 mmHg [32].

TV žiedas yra dinamiškas, jo forma ir dydis kinta priklausomai nuo apkrovos sąlygų – žiedas labiau išsiplečia skilvelio diastolės metu, prisipildžius DS. Žiedo skersmuo gali keistis apie 30 proc., priklausomai nuo širdies ciklo ir matavimo vietos [11]. Mažiausi TV žiedo matmenys yra sistolėje, didžiausi – diastolės pabaigoje. Sistolės pabaigoje normalaus TV žiedo plotas yra $7,6 \pm 1,8$ cm², perimetras – $9,9 \pm 1,2$ cm. Diastolės pabaigoje – atitinkamai $8,6 \pm 2,0$ cm² ir $10,5 \pm 1,2$ cm [4]. Teigiama, kad TV žiedo matmenys įvairiose amžiaus grupėse nesiskiria, tačiau nustatyti TV žiedo dydžio skirtumai tarp lyčių – neindeksuoti vyrų TV žiedo matmenys yra didesni negu moterų, tuo tarpu TV plotas, indeksuotas atsižvelgiant į kūno paviršiaus plotą, išlieka didesnis vyrų, o indeksuotas TV perimetras ir ilgosios ašies skersmuo didesni moterų. Indeksuotas trumposios ašies skersmuo tarp lyčių nesiskiria [2, 4]. Normalus TV žiedas yra ovalus arba trikampio formos. Esant fTVN, TV žiedas plečiasi, plokštėja ir tampa labiau apskritas [12].

TV susideda iš trijų burių: priekinės, pertvarinės ir užpakalinės. Visos trys burės skiriasi savo forma ir dydžiu (tiek išilginiu, tiek radialiuoju matmeniu). Priekinė burė yra ilgiausia, turinti didžiausią plotą ir labiausiai judri. Pertvarinė burė yra trumpiausia radialiuoju matmeniu ir mažiausiai judri, nes fiksuota tiesiai prie TV žiedo virš tarpskilvelinės pertvaros. Užpakalinėje burėje gali būti keli įskilimai (skalopai), dalijantys burę į segmentus, kurių skaičius ir

dydis gali skirtis. Užpakalinei burei būdingas trumpiausias išilginis matmuo. TV burių skaičius gali varijuoti, tarp pagrindinių gali būti randama papildomų burių. Priekinė ir užpakalinė burės gali būti sudarytos iš keleto segmentų. Pertvarinė burė dažniausiai turi tik vieną segmentą.

Tarp burių yra trys komisūros (įlinkimai) – priekinė pertvarinė, priekinė užpakalinė ir užpakalinė pertvarinė [5]. Kiekvienos burės anatomiciniai orientyrai labai skiriasi priklausomai nuo TV žiedo dydžio ir formos, tačiau priekinė pertvarinė komisūra visada yra išsidėsčiusi ties aortos vožtuvu, o užpakalinė – pertvarinė komisūra dažniausiai yra šalia vainikinio sinuso įėjimo į DP [19, 32].

TV povožtuvinį aparatą sudaro dvi ar trys papiliarinių raumenų grupės (priekinis, užpakalinis ir pertvarinis). Didžiausias paprastai yra priekinis papiliarinis raumuo su prisitvirtinusiomis chordomis, laikančiomis priekinę ir užpakalinę bures. Užpakalinis papiliarinis raumuo dažnai būna dvigalvis arba trigalvis. Nuo jo prisitvirtina chordos, laikančios užpakalinę ir pertvarinę bures. Maždaug 20 proc. sveikų žmonių gali neturėti pertvarinio papiliarinio raumens arba jis gali būti mažas, tuomet pertvarinė burė gali tvirtintis chordomis tiesiai prie tarpškilvelinės pertvaros [32]. Papildomos chordos gali tvirtintis prie laisvosios DS sienelės ir moderatoriaus pluošto [32].

Bet koks TV burių ir / ar žiedo dinaminio mechanizmo pokytis gali sukelti vožtuvo nesandarumą [20].

2.2. Triburio vožtuvo nesandarumas: epidemiologija, priežastys, patofiziologija ir klasifikacija

Triburio vožtuvo nesandarumas – vožtuvo patologija, kai susitraukus dešiniajam skilveliui, TV neužsidaro sandariai ir dalis kraujo teka atgal iš DS į DP [1].

TVN apibūdinamas kaip dažniausiai pasitaikanti širdies vožtuvų patologija [21]. Atliekant echokardiografiją, fiziologinis TVN randamas net iki 60–90 proc. žmonių.

Pastaraisiais metais daugėja mokslinių tyrimų ir straipsnių, susijusių su TVN ir jo klinicine reikšme, o sukauptos žinios – skatina dar labiau domėtis TVN patofiziologija ir detalesniu jo vertinimu [34].

Lietuvoje TV vis dar išlieka „užmirštuju vožtuvu“ – TV nėra plačiai nagrinėjamas, o mokslinių tyrimų ir straipsnių apie šią patologiją trūksta. Didžiausias dėmesys skiriamas kairiosios širdies ydoms. Remiantis užsienio literatūra ir jos įrodymais apie TVN įtaką ligos progresavimui, komplikacijoms ir išeitimams, šiai patologijai reikėtų skirti daugiau dėmesio [32, 34].

Etiologija

Etiopatogenetiškai ilgą laiką TVN skirstytas į pirminį (organinį) ir antrinį (funkcinį) [35]. Pirminis (organinis) TVN yra gana retas, pasitaiko maždaug 8–10 proc. atvejų ir dažniausiai atsiranda dėl reumatinių ligų, įgimtų ydų (pvz., Ebšteino anomalija), infekcijų (infekcinio endokardito), degeneracinių pokyčių, karcinoido, traumų ar medicininių procedūrų (taikytos krūtinės srities radiacijos ar jatrogeninės TV pažaidos po endomiokardo biopsijos) sukeltų pažeidimų [36]. Antrinis (funkcinis) TVN sudaro apie 90 proc. visų atvejų [37–39]. Šiuo metu organinio TVN klasifikacija išplėsta, ją papildė TVN, atsiradęs dėl prietaisų laidų (elektrokardiostimuliatoriaus (EKS), implantuojamojo kardioverterio defibriliatoriaus (IKD)) [40–41]. Taip pat praplėsta ir antrinio (funkcinio) TVN sąvoka, skirstant fTVN į prieširdinį (angl. *atrial*) ir skilvelinį (angl. *ventricular*), atsižvelgiant į fTVN mechanizmą.

Funkcinis (antrinis) TVN – dalies kraujo nutekėjimas atgal pro TV sistolės metu, esant normaliai burių ir chordų struktūrai [1]. Funkcinis TVN yra TV komplekso geometrinių pokyčių (DS išsiplėtimo, TV žiedo dilatacijos) komplikacija.

Pagrindinės skilvelinį (angl. *ventricular*) funkcinį TVN sukeliančios priežastys – kairiosios širdies vožtuvų ydos, plautinė hipertenzija arba miokardo patologija [36–37]. Funkcinio skilvelinio TVN metu nustatomos TV burės be morfologinių pakitimų, išsiplėtęs TV žiedas ar dešinysis skilvelis. Dažniausiai fTVN vystosi dėl remodeliuoto DS ir to pasekoje išsiplėtusio TV žiedo, sumažėjusios burių koaptacijos.

Remiantis literatūros duomenimis, reikšmingas vidutinio sunkumo arba didelis TVN nustatomas maždaug 3–6 proc. visos populiacijos [36, 42]. Kuo vyresnis amžius, tuo didesnė TVN atsiradimo tikimybė [33]. Ryškiai didesnis TVN paplitimas stebimas pacientų, sergančių kairiosios širdies ydomis arba širdies nepakankamumu, grupėje – šiuo atveju jis siekia 10–23 proc. [43]. Dažniausiai fTVN sukelia kairiosios širdies ydos, dažniausiai iš jų – dviburio vožtuvo patologija [22, 29, 36, 44]. Įvairaus laipsnio fTVN nustatomas net trečdaliui pacientų, sergančių dviburio ar aortos vožtuvų ydomis: 8 proc. pacientų diagnozuojamas didelis, 32 proc. – vidutinio sunkumo, o 62 proc. – nedidelis TVN [45]. Reikšmingas TVN nustatytas net iki 50 proc. pacientų, turinčių didelio laipsnio dviburio vožtuvo nesandarumą (DVN), bei daugiau nei ketvirčiui pacientų, sergančių ženklią aortos vožtuvo stenoze [15, 29, 36, 46–47].

Plautinė hipertenzija, palyginti su kairiosios širdies patologija, TVN sukelia rečiau, tačiau apie 60 proc. pacientų, sergančių sunkia, simptomine PH, turi vidutinį ar didelį TVN [22, 48]. Plautinė hipertenzija gali būti idiopatinė arba vystytis dėl plaučių embolijos, lėtinių plaučių ar sisteminių ligų. Visa tai didina spaudimą plaučių arterijoje ir DS [12]. Be to, ligos, tiesiogiai veikian-

čios DS funkciją, pavyzdžiui išemija apatinio ir dešiniojo skilvelio miokardo infarkto metu, ar aritmogeninė DS kardiomiopatija, gali lemti fTVN dėl populiariųjų raumenų remodeliacijos, pasikeitusios TV burių padėties [15].

Literatūroje vis dažniau kaip atskiros etiologijos liga nurodomas izoliuotas TVN [15]. Nesant pirminės TV pažaidos, gretutinės kairiosios širdies patologijos ar plautinės hipertenzijos, diagnozuojamas izoliuotas, kitaip dar vadinamas prieširdinis, TVN [11]. Šis morfologinis tipas dažniausiai pasireiškia vyresnio amžiaus pacientams, sergantiems lėtiniu prieširdžių virpėjimu (PV). Prieširdinio TVN metu stebimas ryškus DP ir TV žiedo išsiplėtimas bei sutrikusi burių koaptacija, tačiau TV burės ir jų judrumas išlieka nepakitę [15, 49–51].

Didėjant TV nesandarumui, galimas abiejų tipų – prieširdinio ir skilvelinio – derinys įvairiomis proporcijomis [52–53]. Pažengusioje ligos stadijoje, kai nustatytas skilvelinis TVN tipas ir atsiranda PV, gali būti sunku išskirti pirminę TVN priežastį, todėl ankstyva diagnostika yra labai svarbi, norint teisingai parinkti tinkamiausią gydymo metodą [52, 54].

Patofiziologija

TVN sunkumas glaudžiai susijęs su DS geometrijos pokyčiais (DS skersmeniu, ilgiu, DS galiniu sistoliniu ir diastoliniu tūriais ir plotais) bei funkcija (DS ploto frakciniu pokyčiu) [1, 55].

Dėl DS perkrovos tūriu ar slėgiu skilvelis didėja ir sukelia neproporcingą išsiplėtimą palei laisvąją DS sienelę (iki pertvaros) ir taip padidina DS sferiškumą. DS ir TVŽ plėtimasis link DS laisvosios sienelės ir pertvarinės TV burės nutempimas – pagrindiniai veiksniai, sunkinantys fTVN [55].

Ryšys tarp TVN ir DS funkcijos yra sudėtingas. Dešinėsios širdies ertmių dilatacija ir DS funkcijos sutrikimas gali būti ne tik TVN pasekmė, bet ir priežastis. Viena vertus, DS disfunkcija, sukeldama DS remodeliaciją, keičia ir TVN sunkumą. Kita vertus, didėjant TVN sunkumui – ryškėja ir DS funkcijos sutrikimas. DS funkcijos sutrikimas gali būti įvairus, priklausomai nuo TVN mechanizmo. Išsaugota DS funkcija, net ir esant dideliame TVN, visuo- met nurodo geresnę ligos prognozę nei sutrikusi DS funkcija [33].

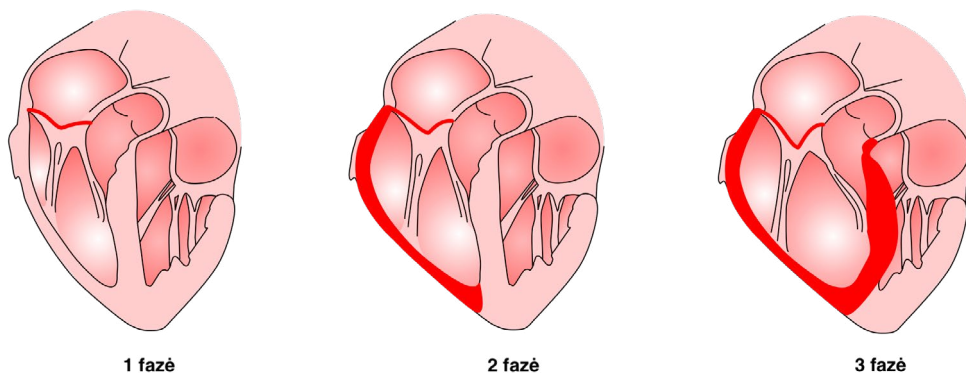
Tiek DP, tiek DS, tiek ir TV komplekso geometrija skiriasi priklausomai nuo etiologijos ir fTVN išsivystymo mechanizmo:

- esant prieširdiniam fTVN, nustatomas ženklus TVŽ ir DS pamatinės dalies išsiplėtimas su minimaliu burių nutempimu. Dilatuojant TV žiedui, mažėja TV burių koaptacijos ploto aukštis ir plotas [38]. Ne visos burės vienodai svarbios TV nesandarumui atsirasti. Vykstant TV žiedo dilatacijai, pirmiausia plečiasi priekinė ir užpakalinė TV žiedo dalis, esanti ties DS laisvąja sienele [15]. Plečiantis žiedui, nuo centrinio burių koaptacijos (susiglaudimo) taško pirmiausia patraukiama priekinė

ir užpakalinė burė, todėl sistolėje burė pilnai nesusiglaudžia [14]. Žiedui plečiantis, pakinta jo geometrija, jis plokštėja ir tampa apskritas [15, 26]. Prieširdiniam fenotipui būdinga kūgiška DS deformacijos forma dėl padidėjusio DS bazinio skersmens ir mažesnio DS ilgio, taip pat mažesnio DS sferiškumo indekso [50–51, 56].

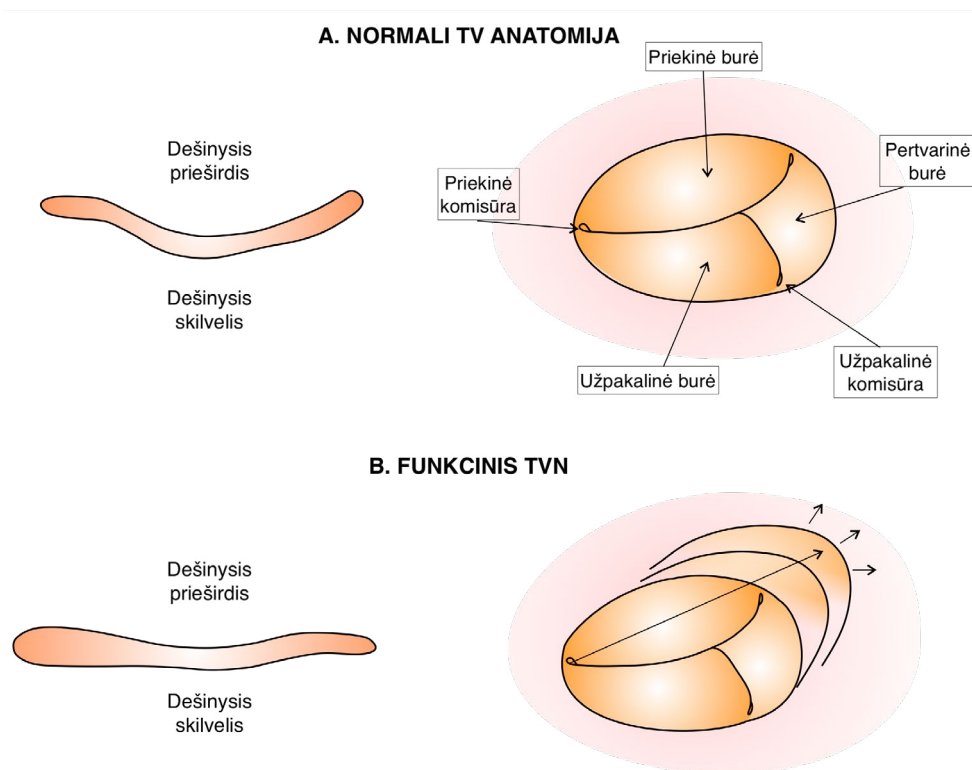
- esant skilveliniam fTVN – būdingas DS ilgėjimas su išreikštu ekscentriškumu, kurie sąlygoja ryškesnį burių nutempimą ir jų judesio sutrikimą, kai TVŽ išsiplečia saikiai [50]. Skilvelinio fTVN patofiziologinius pokyčius galima suskirstyti į tris fazes: 1 fazė – TVŽ dilatacija ligos pradžioje, 2 fazė – pokyčiai progresuoja ir sukelia DS išsiplėtimą, 3 fazė – ryškus TV burių nutempimas, sukeltas DS remodeliacijos (2.2.1 pav.). Nors struktūrinių TV pažeidimų nėra, išsiplėtus DS ir TV žiedui, blogėja TV burių koaptacija, kuri ir sąlygoja regurgitaciją per TV [34, 57–59]. Didėjant TVN laipsniui ir plečiantis žiedui, TVŽ darosi apvalusnis ir plokštesnis (2.2.2 pav.). TVŽ dilatacija ir burių nutempimas, sukeltas DS geometrijos pokyčių, yra 2 pagrindiniai funkcinio skilvelinio TVN mechanizmai [60]. Skilveliniam fTVN būdingas sferinis arba elipsinis DS remodeliavimasis, kai padidėja visi DS skersmenys: DS pamatinis ir vidurinis skersmuo, DS ilgis, bei didesnis sferiškumo indeksas [51, 56, 61]. Vykstant DS dilatacijai, keičiasi DS geometrija, todėl atsiranda papiliarinių raumenų pasislinkimas ir TV burių tempimas sistolės metu, keičiasi burių koaptacijos taško padėtis [14]. DS geriau prisitaiko prie tūrio, o ne slėgio perkrovos. Tūrio perkrovą DS gali toleruoti ilgą laiką, nesant reikšmingo DS sistolinės funkcijos sumažėjimo, tačiau slėgio perkrova dažnai sukelia DS išsiplėtimą ir nepakankamumą [62].

Dešiniojo skilvelio ir prieširdžio remodeliavimasis bei TV pokyčiai, esant prieširdiniam ir skilveliniam fTVN, pavaizduoti 2.2.3 paveiksle.



2.2.1 pav. Triburio vožtuvo žiedo ir DS patofiziologiniai pokyčiai esant fTVN

Anatominiai TV komplekso pokyčiai ligos pradžioje – TVŽ dilatacija (1 fazė). Pokyčiai progresuoja ir sukelia DS išsiplėtimą (2 fazė). DS remodeliacija sukelia TV burių nutempimą (3 fazė).



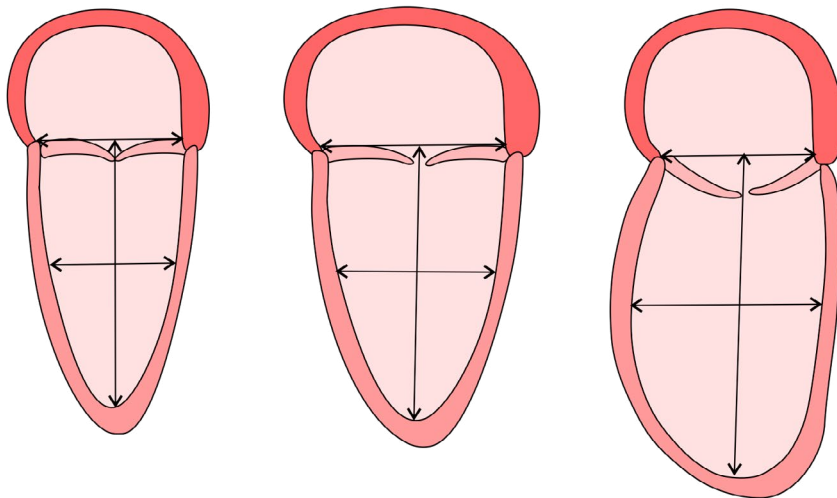
2.2.2 pav. Triburio vožtuvo žiedo patofiziologiniai pokyčiai esant fTVN

A. Normalios anatomijos TV žiedas – neplokščias, balno formos; B. Esant fTVN, TV žiedas tampa plokštesnis, išsiplėčia pertvaros – šonine kryptimi.

Normali DP, TV ir DS anatomija

Prieširdinis fTVN

Skilvelinis fTVN



2.2.3 pav. DP, TV ir DS pokyčiai esant prieširdiniam ir skilveliniam fTVN

Esant prieširdiniam fTVN: ženkliai išsiplečia TV žiedas ir DS pamatinė dalis (DS primena kūgio formą). Esant skilveliniam fTVN: TV žiedo išsiplėtimas mažesnis, ženkliai pailgėjęs DS (DS – elipsės formos).

Funkcinis TVN, sukeltas kairiosios širdies patologijos, lemia DS funkcijos ir geometrijos pokyčius. Pagrindinis šių pokyčių mechanizmas – padidėjęs kairiojo prieširdžio spaudimas, sukeliantis spaudimo padidėjimą plaučių arterijoje – pokapiliarinę PH [60]. Visgi DS funkcijos sutrikimas gali atsirasti ne tik dėl PH, kuri yra kairiosios širdies patologijos komplikacija, bet ir nesant PH [63]. Dėl padidėjusio pokrūvio DS plečiasi, blogėja jo funkcija.

Esant ikikapiliarinės PH sukeltam TVN, DS vidurinėje ir pamatinėje dalyje plečiasi – DS skersmuo didėja dėl padidėjusio plaučių arterijos spaudimo. Pats DS ne tik plėtėja, bet ir ilgėja bei įgauna sferišką / elipsinę deformaciją. Ryškesnė DS deformacija yra susijusi su didesniu burių nutempimu ir kartu su didesniu efektyviosios regurgitacijos angos (ERA) plotu [50]. Išsiplėtęs DS didina mirštamumą pacientams, sergantiems plaučių ligomis ir plautine hipertenzija [64].

Priešingai, esant izoliuotam TVN, nesant PH, DS yra linkęs išsiplėsti daugiausia pamatiniuose segmentuose (kūginė deformacija) su didesniu žiediniu išsiplėtimu ir DP remodeliavimusi. Sergant ikikapiliarine PH, yra įtakojama DS funkcija. DS frakcinis ploto pokytis (FPP) yra tikslesnis DS sistolinės funkcijos vertinimui, palyginus su triburio vožtuvo žiedo judesio amplitude (TVŽJA), ir gali nepriklausomai prognozuoti mirštamumą šiems pacientams [64]. DS dissinchronija, nustatyta taškelių žymėjimo echokardiografijos me-

todu, yra DS mechanikos rodiklis ir nepriklausomas rizikos žymuo, sergant PAH [65].

Mokslinės literatūros, kurioje nagrinėjami specifiniai DS pokyčiai esant skirtingos etiologijos fTVN, trūksta. Mokslininkų straipsniuose nurodoma, jog esant fTVN, vystosi DS geometrijos ir funkcijos sutrikimas, tačiau kokie konkretūs DS geometrijos ir disfunkcijos pokyčiai būdingi – plačiau yra apžvelgta vos keliuose straipsniuose. Pagrindiniai mechanizmai, lemiantys DS pokyčius sergant kairiosios širdies patologija, ir kokie jie yra – toliau išlieka tyrimų objektu [63].

2.3. TVN diagnostika

Kadangi TV pasižymi kompleksiška erdvine struktūra, jo vertinimas vaizdiniais tyrimais nėra lengvas, o tiksli TVN sunkumo analizė vis dar išlieka sudėtinga.

Auksiniu standartu TVN diagnostikoje laikomas echokardiografinis tyrimas [65–66]. Tai pakankamai nebrangus, lengvai prieinamas ir neturintis jonizuojančios spinduliuotės tyrimo metodas [65]. Transtorakalinė echokardiografija leidžia nustatyti TVN etiologiją, įvertinti DS, DP ir TVŽ dydžius, burių koaptaciją, DS funkciją, TV regurgitacinę srovę, apskaičiuoti TVN sunkumą, spaudimą plaučių arterijoje [66–67]. Vertinant funkcinio TVN prognozę, echokardiografijos metu svarbu atlikti dešinėsios širdies ertmių dydžių bei DS funkcijos matavimus [68].

Atliekant perkrūtinkaulinę (transtorakalinę) echokardiografiją (TTE), vizualizuoti visas tris TV bures vienoje 2D plokštumoje yra sudėtinga, todėl rekomenduojama atlikti išsamų TV įvertinimą iš kelių skirtingų projekcijų [32]. Perstemplinė echokardiografija taikoma esant įtariamam endokarditui, elektrokardiostimuliatoriaus sąlygotai infekcijai ar nepakankamai vaizdo kokybei TTE tyrimo metu [68]. Vis dažniau tiek TTE, tiek perstemplinės echokardiografijos metu naudojama trimatė echokardiografija, leidžianti gerokai tiksliau įvertinti TV burių ir susijusių anatominių struktūrų morfologiją bei funkciją [32]. DS tūrių ir funkcijos įvertinimui aukso standartu laikomas širdies magnetinio rezonanso tomografijos (šMRT) tyrimas [23]. Esant TVN, rekomenduojamas ir plautinės hipertenzijos įvertinimas, matuojant intrakardinių sistolinį spaudimą DS ir plaučių arterijoje invazinio hemodinamikos tyrimo metu. Esant dideliame TVN, echokardiografija išmatuojami TVN regurgitaciniai greičiai gali būti mažesni, nei tikimasi PH atveju, ir tikrasis plaučių kraujagyslių pasipriešinimo sunkumas gali būti maskuojamas [68].

TVN sunkumo vertinimas turėtų būti kompleksiškas. Tai padėtų priimant sprendimus dėl fTVN gydymo taktikos.

Pacientus, kuriems nustatytas vidutinio sunkumo arba didelis TVN, reikia reguliariai stebėti kliniškai ir atlikti echokardiografiją bent kas 6 mėnesius.

2.3.1. Echokardiografija. TVN sunkumo vertinimas

Vadovaujantis Amerikos echokardiografijos draugijos ir Europos širdies ir kraujagyslių vaizdinimo asociacijos gairėmis, skiriami trys TVN sunkumo laipsniai: nedidelis, vidutinis ir didelis.

Idealiu atveju TVN sunkumo vertinimas turėtų būti atliekamas esant eu-volemijai, optimizavus plaučių ir sisteminį spaudimus, ir remiantis integruotu požūriu, atsižvelgiant į daugelį kokybinių ir kiekybinių rodiklių [23, 69–70]. TVN sunkumo klasifikacija, remiantis kokybiniais, pusiau kiekybiniais ir kiekybiniais rodikliais, nurodyta 2.3.1.1 lentelėje.

2.3.1.1 lentelė. TVN sunkumo klasifikacija pagal kokybinius, pusiau kiekybinius ir kiekybinius rodiklius

	Mažas TVN	Vidutinis TVN	Didelis TVN
Kokybiniai			
Triburis vožtuvas	Normalus	Normalus / vidutiniškai pakitusios burės	Pakitęs / sutrikusi burių koaptacija / burės prakritimas, burių nutempimas
DS / DP dydžiai	Normalūs	Normalūs ar padidėję	Dažniausiai padidėję
Apatinės tuščiosios vienos skersmuo	Normalus < 2 cm	Normalus ar saikiai padidėjęs 2,1–2,5 cm	Padidėjęs > 2,5 cm
Pusiau kiekybiniai			
Regurgitacinės tėkmės plotas	Maža, siaura, centrinė	Vidutinė centrinė	Didelė centrinė tėkmė arba ekscentrinė įvairaus dydžio
Nuolatinės tėkmės Doplerio kreivė	Silpna, dalinė, parabolinė	Ryški parabolinė arba trikampė	Ryški, dažniausiai trikampė
Vena contracta plotis	< 3 mm	3–6,9 mm	≥ 7 mm
PISA spindulys	≤ 5 mm	6–9 mm	≥ 9 mm
Tėkmė kepenų venose	Dominuoja sistolinė	Sistolinės bangos sumažėjimas	Reversinė sistolinė
Kiekybiniai			
ERA	< 20 mm ²	20–39 mm ²	≥ 40 mm ²
Regurgitacinis tūris	< 30 ml	30–44 ml	≥ 45 ml
Regurgitacinė frakcija			≥ 50 proc.

DS – dešinysis skilvelis; DP – dešinysis prieširdis; ERA – efektyvioji regurgitacijos anga.

Kokybiniai parametrai apima TV morfologijos, burių judrumo, regurgitacinės tėkmės įvertinimą ir Doplerio nuolatinės bangos spektrinio signalo įvertinimą.

Pusiau kiekybinių rodiklių (PISA ar *vena contracta*) matavimas, kaip atskiri metodai, dažnai nėra labai tikslūs, nes yra labiau pritaikyti dviburio vožtuvo nesandarumo vertinimui. Netikslumus lemia regurgitacinės angos forma, kuri esant TVN yra žvaigždės ar plyšio formos ir turi keletą regurgitacinių tėkmių [1, 71].

TVN sunkumas taip pat gali būti įvertintas kiekybiškai – apskaičiavus ERA plotą ir regurgitacinį tūrį. Tai kiekybiniai parametrai, kurie yra mažiau priklausomi nuo hemodinamikos pokyčių ir širdies susitraukimų dažnio [72].

Didelio TVN kriterijais laikoma $ERA \geq 40 \text{ mm}^2$, *vena contracta* $> 7 \text{ mm}$ ir regurgitacinis tūris $\geq 45 \text{ ml}$ [68]. Vertinant TVN, taip pat svarbus apatinės tuščiosios venos išsiplėtimas $\geq 21 \text{ mm}$ bei priešingos kraujo srovės krypties nustatymas kepenų venoje sistolės metu [32].

Nors TVN sunkumas dažniausiai apibūdinamas kaip mažas, vidutinis arba didelis, tyrėjai pasiūlė platesnę TVN sunkumo klasifikaciją, įtraukiant masyvų ir labai didelį (angl. *torrential*) TVN, siekiant dar tiksliau įvertinti TVN laipsnį (2.3.1.2 lentelė). Tuo pačiu ši praplėsta sunkumo vertinimo klasifikacija leidžia patikslinti TVN sumažėjimo vertinimą po kateterinių intervencijų [73–74]. Nors ši penkių sunkumo laipsnių klasifikacija gali būti susijusi su proporcingu simptomų ir susijusių komplikacijų padidėjimu, intervencinį / chirurginį gydymą reikėtų apsvarstyti nedelsiant, kai tik TVN tampa didelis, siekiant sumažinti TVN iki vidutinio ar mažesnio [73–76].

2.3.1.2 lentelė. TVN sunkumo klasifikacija, remiantis apskaičiuotu efektyvios regurgitacijos angos plotu

	Mažas	Vidutinis	Didelis	Masyvus	Labai didelis (angl. <i>torrential</i>)
<i>Vena contracta</i> (<i>biplane</i>)	$< 3 \text{ mm}$	3–6,9 mm	7–13 mm	14–20 mm	$\geq 21 \text{ mm}$
ERA plotas	$< 20 \text{ mm}^2$	20–39 mm ²	40–59 mm ²	60–79 mm ²	$\geq 80 \text{ mm}^2$
Regurgitacinis tūris	$< 30 \text{ ml}$	30–44 ml	45–59 ml	60–74 ml	$\geq 75 \text{ ml}$

ERA – efektyviosios regurgitacijos anga.

2.3.2. Diagnostikos sunkumai

Vadovaujantis dabartinėmis rekomendacijomis, TVN vertinime remiamasi rodikliais, kurie naudojami ir dviburio vožtuvo nesandarumo įvertinimui, tačiau ši rekomendacija išlieka, nepaisant gausėjančių įrodymų, pabrėžiančių

TV skirtumus nuo dviburio vožtuvo, įskaitant TV morfologiją, burių skaičių, angos dydį ir geometriją [11, 77–78].

Vertinant TVN sunkumą susiduriama su dar didesniais iššūkiais, nes TV regurgitacijos sunkumui įtakos turi paciento voleminė būklė, kvėpavimas bei kintanti TV regurgitacinės angos forma [52, 79]. Įkvėpimo metu padidėja prieškrūvis, todėl didėja regurgitacinė anga, regurgitacinis tūris ir TVN [80]. TVŽ dydžio, burių nutempimo, DP ir DS geometrijos ir funkcijos detalus įvertinimas taip pat labai svarbus nustatant TVN sunkumą [77, 81]. Derinant minėtus parametrus, naudojant kiekybinius ir pusiau kiekybinius rodiklius, dabartinėse gairėse rekomenduojama taikyti daugiaparametrinį metodą, siekiant pagerinti TVN diagnostikos tikslumą.

Gairės kiekybiniam TVN įvertinimui rekomenduoja naudoti proksimaliosios vienodo greičio tėkmės paviršiaus (PISA) metodą, kuriuo apskaičiuojamas ERA plotas ir regurgitacinis tūris [77, 81–82]. Metodo trūkumas – sudėtingas regurgitacinės tėkmės įvertinimas. Regurgitacinė anga dėl burių tempimo dažnai yra ne plokščiame paviršiuje, TVN varijuoja laike, o tėkmės per TV greitis mažas. Visa tai lemia nepakankamą fTVN laipsnio įvertinimą [1, 52, 71, 83]. Ypač sudėtingas tikslus TVN sunkumo kiekybinis įvertinimas, esant ekscentrinei regurgitacijos tekmei [78, 82–84].

Siekiant dar tiksliau įvertinti TVN sunkumą, ypač kai ERA yra ribinė – 0,30–0,35 cm² ir būtina apsispręsti dėl tinkamiausios gydymo taktikos, rekomenduojama atlikti išsamesnį TV dydžių ir TVN vertinimą, naudojant 3D matavimus bei įvertinti DS geometriją, funkciją, spaudimus plaučių arterijoje ir dešiniuosiose širdies dalyse.

Dvimačiai TV matmenys varijuoja priklausomai nuo amžiaus, lyties, DS dydžio, išvedimo plokštumos, širdies ciklo [4]. Dvimačiai matmenys yra mažesni, palyginti su trimačiais [2]. Ženkli TV žiedo dilatacija laikomas TV žiedo skersmens padidėjimas ≥ 40 mm ar ≥ 21 mm/m², pamatuotas diastolės pabaigoje keturių širdies ertmių viršūniniuose vaizduose [68]. TV dydis priklauso nuo prieškrūvio ir pokrūvio, taip pat labai kinta kvėpuojant. Įkvėpimo metu prieškrūvis didėja ir tai gali veikti TV matavimus. TV matavimus rekomenduojama atlikti pacientui esant normovoleminės būklės [52, 79]. Vertinant TVN, svarbus ne tik TVŽ skersmens išmatavimas, bet ir burių susiglaudimo tipo įvertinimas [71].

Atnaujintos 2025 m. Europos kardiologų draugijos (EKD) ir Europos širdies ir krūtinės chirurgų draugijos Širdies vožtuvų ligų gydymo rekomendacijos pateikė atnaujintą apibendrintą TVN echokardiografinio ir invazinio įvertinimo algoritmą, kuriame atsižvelgiama ne tik į TV kiekybinius, bet ir DS geometrinius ir funkcinis rodiklius bei invaziniu būdu išmatuotus spaudimus PA [23].

Iš viršūninio keturių ertmių vaizdo galima įvertinti DP trumposios ir ilgosios ašies skersmenis bei DP plotą. Spaudimas DP gali būti įvertintas pamatuojant apatinės tuščiosios venos matmenis ir jų kitimą kvėpuojant pošonkauliniame vaizde. DS dydžių ir funkcijos įvertinimas naudojant 2D echokardiografiją yra sudėtingas ir ne visai tikslus dėl sudėtingos DS pusmėnulio formos geometrijos [85].

2025 m. EKD Širdies vožtuvų ligų gydymo rekomendacijos algoritme pateiktos skirtingų DS geometrinių rodiklių viršutinės normos ribos, siekiant padėti apibrėžti DS išsiplėtimą ir remodeliavimąsi. DS pamatinio skersmens indeksas $> 24 \text{ mm/m}^2$, DS vidurinio skersmens indeksas $> 21 \text{ mm/m}^2$, DS galinio diastolinio tūrio indeksas $> 95 \text{ ml/m}^2$, ir / arba DS galinio sistolinio tūrio indeksas $> 37 \text{ ml/m}^2$ nurodo reikšmingą DS išsiplėtimą [23].

Vertinant DS sistolinę funkciją, rekomenduojama išmatuoti TVŽJA, sistolinį žiedo judesį (S') bei DS frakcinį ploto pokytį (FPP) (angl. *fractional area change, FAC*), kurių sumažėjimas $< 17 \text{ mm}$, $< 10 \text{ cm/s}$ ir $< 35 \text{ proc.}$, atitinkamai, nurodo DS disfunkciją [23, 68, 86]. Dažniausiai matuojami DS funkcijos rodikliai yra S' ir TVŽJA, tačiau abu šie rodikliai priklauso nuo tūrinės perkrovos ir yra matuojami tik izoliuotoje sudėtingos DS trimatės struktūros segmente, todėl nėra tikslūs vertinti bendrąją DS funkciją. Frakcinis DS ploto pokytis išreiškia DS ploto pokyčio procentą tarp diastolės ir sistolės pabaigos. Nuo tūrinės perkrovos mažiau priklausomas DS mechanikos rodiklis yra DS miokardo išilginė įtampa (tai 2D taškelių žymėjimo echokardiografija apskaičiuojamas DS laisvosios sienelės sistolinio sutrumpėjimo nuo pamatinės dalies iki viršūnės procentas, pamatuotas DS viršūniniame keturių ertmių vaizde. $< -21 \text{ proc.}$ DS bendrosios ir $< -23 \text{ proc.}$ laisvosios DS sienelės išilginės įtamos rodikliai yra laikomi sumažėjusiais [23, 85].

Trimačiai vaizdinimo metodai, tokie kaip širdies ir kraujagyslių magnetinio rezonanso tomografija ir 3D echokardiografija, tiesiogiai matuoja DS tūrį, nereikalaujant geometrinių prielaidų ir yra laikomi tikslesniais nei 2D echokardiografija. Šiuo metu širdies MRT yra laikomas auksiniu standartu DS funkcijos vertinime [23]. DS IF $< 50 \text{ proc.}$ yra laikoma sumažėjusia, $< 35 \text{ proc.}$ – ryškios DS disfunkcijos slenkstine reikšme [23].

Esant dideliame TVN, DS funkcija dažnai yra pervertinama, todėl šiuo metu naudojamiems echokardiografiniams rodikliams 2025 m. EKD Širdies vožtuvų ligų gydymo rekomendacijose siūlomos konservatyviausios / atsargiausios ribos, siekiant kuo anksčiau nustatyti DS disfunkciją. Taip pat pateiktos ryškios DS disfunkcijos ribinės vertės (TVŽJA $< 10 \text{ mm}$, $S' < 6 \text{ cm/s}$ ir FPP $\leq 22 \text{ proc.}$, DS IF $< 35 \text{ proc.}$, DS bendroji išilginė įtampa $< -9 \text{ proc.}$, laisvosios DS sienelės $< -11 \text{ proc.}$), siekiant nurodyti didelės rizikos arba galbūt beprasmės intervencijas. Nors dar trūksta patikimų įrodymų, visos šios ribinės vertės parenkamos remiantis dideliais daugiacentriais tyrimais [23, 76, 87–88].

Naudojant modifikuotą Bernulio lygtį, echokardiografija galima apskaičiuoti sistolinį spaudimą PA, kuris atspindi DS pokrūvį. PA spaudimo įvertinimas, esant fTVN, yra labai svarbus, tačiau tikslus echokardiografinis jo pamatavimas yra gana sudėtingas tam tikrais fTVN atvejais. Tiek didelis TVN, tiek ryški DS disfunkcija gali lemti nepakankamą menamo sistolinio spaudimo PA įvertinimą. Esant dideliame TVN, per TV gali nesusiformuoti reikšmingas spaudimo gradientas, nes susilygina DS ir DP spaudimai, o TVN regurgitacinis greitis sumažėja [82]. Tuo tarpu, esant ryškiai DS disfunkcijai, spaudimas PA mažėja, nes DS miokardas nebegali palaikyti aukšto spaudimo plaučių arterijose [89]. Dėl šių priežasčių gali būti nepakankamai įvertintas menamas sistolinis spaudimas PA, atliekant echokardiografiją [90]. Aukso standartu spaudimo PA vertinime laikomas invazinis hemodinamikos (dešinėsios širdies kateterizacijos) tyrimas, leidžiantis tiksliai invaziniu būdu išmatuoti spaudimus DP, DS ir PA [23, 91]. Todėl visiems pacientams, kuriems yra planuojamas intervencinis / chirurginis TV gydymas, rekomenduojama atlikti dešinėsios širdies kateterizaciją, siekiant įvertinti TVN hemodinaminį reikšmingumą, DP ir centrinės venos spaudimus, pamatuoti galinį DS spaudimą ir nustatyti perkrovą tūriu. Spaudimo PA ir plaučių kraujagyslių pasipriešinimo įvertinimas yra labai svarbūs siekiant atmesti sunkią ikikapiliarinę PH [23, 92].

2.3.3. 3D echokardiografijos svarba

Tikslus TV burių morfologijos įvertinimas, naudojant tik 2D echokardiografiją yra sudėtingas, o visas tris TV bures vizualizuoti vienu metu vienoje projekcijoje yra negalima [93]. TV yra erdvinė struktūra, kuri lokalizuojasi tarpuplaučio priekyje, ir kurios anatomija labai kinta širdies ciklo metu, be to TV burės yra plonesnės negu dviburio vožtuvo, jas sunkiau vizualizuoti, todėl 2D echokardiografijos dažnai nepakanka išsamiam TV anatomijos įvertinimui. Detaliai TV burių analizei gairės rekomenduoja kombinuotai vertinti TTE vaizdus derinant su perstempline echokardiografija [77, 81–82, 94].

Atliekant perkrūtinkaulinę echokardiografiją, detaliai TV įvertinimui būtini DS įtekėjimo, pamatinis trumposios ašies, viršūninis keturių ertmių ir pošonkaulinis vaizdai. Tačiau net ir naudojant visus šiuos vaizdus, tikslios TV anatomijos, burių morfologijos ir TVN patofiziologinių mechanizmų įvertinimas gali būti nepakankamas [82, 95].

Kadangi DS ir TV išsidėstę priekiniame tarpuplaučyje ir arti priekinės krūtinės ląstos sienos, 3D echokardiografija leidžia gerai matyti visas tris bures vienmomentiškai toje pačioje projekcijoje. Kartais, esant gerai dvimačių vaizdų kokybei, trimatės TTE vaizdai gali būti geresnės kokybės negu perstemplinės echokardiografijos [93]. 3D echokardiografija leidžia įvertinti tiks-

lią TV anatomiją, vizualizuoti visas tris TV bures vienu metu, nustatyti TVN mechanizmą, išmatuoti TVŽ skersmenis, burių nutempimą, nutempimo tūrį, įvertinti TV santykį su kitomis širdies struktūromis, bei išmatuoti DS ir DP tūrius ir funkciją [62, 82, 95]. Visus TV matmenis galima analizuoti tiek iš DP, tiek ir iš DS paviršiaus [62, 82, 96].

3D echokardiografija taip pat padeda TVN sunkumo vertinime. Tikslinant TVN sunkumo laipsnį prie įprastinių 2D kiekybinių ir pusiau kiekybinių rodiklių, svarbu įvertinti ir 3D vena contracta, 3D konvergencijos (PISA) spindulį, regurgitacinę frakciją (3D PISA ir 3D DS sistolinį tūrį), 3D ERA (2.3.3.1 lentelė).

2.3.3.1 lentelė. TVN sunkumo klasifikacija, remiantis 3D vena contracta plotu

	Mažas	Vidutinis	Didelis	Masyvus	Labai didelis (angl. <i>torrential</i>)
3D vena contracta plotas	< 50 mm ²	50–75 mm ²	75–94 mm ²	95–114 mm ²	≥ 115 mm ²

2.4. Triburio vožtuvo nesandarumo prognozė ir gydymo galimybės

2.4.1. Prognozė

Nors nedidelis arba minimalus TVN dažniausiai yra gerybinės eigos, įrodyta, jog reikšmingas ($\geq$ vidutinio sunkumo) TVN susijęs su ligos komplikacijomis bei blogesne pacientų prognoze [9–10]. Negydomas didelis TVN yra susijęs su dideliu sergamumu, bloga gyvenimo kokybe, padidėjusia ŠN rizika ir sumažėjusiu ilgalaikiu išgyvenamumu nepriklausomai nuo gretutinių ligų, skilvelių funkcijos ir spaudimo plaučių arterijoje [27, 29, 97–98].

Vidutinio sunkumo ir didesnis TVN dažnai nustatomas, sergant visais ŠN potipiais ir reikšmingai įtakoja ŠN paūmėjimus ir ilgalaikį mirštamumą [18, 99].

Atlikus restrospektyvinį tyrimą buvo nustatyta, jog esant dideliame TVN 1-erių metų mirštamumas dėl visų priežasčių buvo 28,3 proc., o per 3 metus padidėjo iki 47,9 proc.. Tarp pacientų, kuriems nustatytas kliniškai reikšmingas didelis TVN, šis rodiklis buvo dar didesnis (atitinkamai 39 ir 58 proc.). Kitų klinikinių baigčių, įskaitant insultą (19,1 proc.) ir naujai pradėtą hemodializę (4,6 proc.), dažnis trejų metų laikotarpiu taip pat buvo didelis. Esant kliniškai reikšmingam dideliame TVN, atitinkamai, insultas nustatytas 22,1 proc., dializės pradėtos 6,2 proc. pacientų [97].

Didelis TVN gali sukelti DS nepakankamumą, dėl kurio pažeidžiami organai (kepenys, inkstai) ir atsiranda sisteminių komplikacijų. Blogos prognozės

veiksniai yra vyresnis amžius, stazinis ŠN, lėtinė plaučių liga, diuretikų poreikis, padidėjusi kreatinino ir kepenų fermentų koncentracija kraujyje [75].

Nepaisant pažangiausių chirurginių galimybių, naujų kateterinio gydymo metodų, fTVN intervencijos atliekamos palyginus retai. Dabartinis fTVN suvokimas yra klaidingas ir nepakankamai įvertintas kaip atskira liga, didinanti mirštamumą. Įvertinus tai, reikėtų pacientus anksčiau nukreipti į specializuotus širdies vožtuvų ligų centrus ir taikyti liberalesnį požiūrį į intervencijas, tiek chirurgines, tiek perkatereterines [99–100].

Daug tyrimų pabrėžia sąsają tarp TVN sunkumo ir blogesnės ligos prognozės: didėjant TVN laipsniui – mažėja išgyvenamumas [15–18]. Didelės kohortos retrospektyviniame tyrime buvo analizuojami 5507 pacientai, kuriems 4 metų laikotarpyje buvo atliktas echokardiografijos tyrimas, ir nustatyta, jog nesant TVN, vienerių metų išgyvenamumas siekė 91,7 proc.; tuo tarpu pacientų, kuriems buvo diagnozuotas nedidelis, vidutinis ir didelis TVN, išgyvenamumas, atitinkamai, buvo 90,3 proc., 78,9 proc. ir 63,9 proc.. Šioje kohortoje mirštamumo tikimybė augo, didėjant TVN, nepriklausomai nuo KS išstūmio frakcijos ir PA spaudimo [101].

Analizuojant kitų tyrimų rezultatus, nustatyta, kad didėjant TVN laipsniui, tiek 5, tiek 10 metų išgyvenamumo rodikliai reikšmingai blogėjo. Kai TVN ERA buvo $< 0,40 \text{ cm}^2$ (vidutinis TVN), 5 metų išgyvenamumas siekė 58 ± 2 proc., tuo tarpu esant dideliui TVN ($\text{ERA} > 0,40 \text{ cm}^2$), šis rodiklis sumažėjo iki 45 ± 2 proc. [102]. Dar ryškesni skirtumai pastebėti vertinant 10 metų išgyvenamumą: jis buvo beveik dvigubai mažesnis tų pacientų, kurių apskaičiuota ERA buvo $> 0,4 \text{ cm}^2$, palyginus su tais pacientais, kurių $\text{ERA} < 0,40 \text{ cm}^2$ (atitinkamai, 39 proc. ir 71 proc.), nepriklausomai nuo įvairių kitų klinikinių veiksnių (DS dydžio ar funkcijos, gretutinių ligų ar spaudimo PA) [1].

Pacientų, kuriems diagnozuotas didelis TVN, prognozė labai skiriasi, priklausomai nuo ERA ir vena contracta (VC) dydžių. Kuo didesnė ERA reikšmė, tuo blogesnės paciento išeitys [73–74]. Nustatyta, kad masyvus ($\text{ERA } 0,6\text{--}0,79 \text{ cm}^2$) ar labai didelis (angl. *torrential*, $\text{ERA} \geq 0,8 \text{ cm}^2$) TVN yra susiję su didesniu vienerių metų mirštamumu ir dažnesnėmis hospitalizacijomis dėl širdies nepakankamumo, palyginti su mažesnio laipsnio dideliu TVN ($\text{ERA } 0,40\text{--}0,59 \text{ cm}^2$) [73, 103]. Analizuojant 10 metų bendrąjį išgyvenamumą tarp skirtingų TVN grupių – vidutinio ($\text{VC} < 7 \text{ mm}$), didelio ($\text{VC} \geq 7 \text{ mm}$, $\text{ERA} < 0,8 \text{ cm}^2$) ir labai didelio nesandarumo ($\text{VC} \geq 7 \text{ mm}$, $\text{ERA} \geq 0,8 \text{ cm}^2$), nustatyta, kad išgyvenamumo rodikliai buvo atitinkamai 53 proc., 45 proc. ir 35 proc. [73]. Šie rezultatai atskleidžia praplėstos TVN vertinimo klasifikacijos reikšmę klinikinėms išeitims prognozuoti.

2.4.2. Gydomo galimybės

TVN gydymo taktika labiausiai priklauso nuo priežasties, sukėlusios TVN (2.4.2.1 lentelė).

2.4.2.1 lentelė. TVN medikamentinio gydymo taktika priklausomai nuo TVN etiologijos

Pirminis TVN	Prieširdinis TVN	Skilvelinis TVN
Gydyti pagrindinę ligą (pvz., antibiotikų skyrimas endokardito atveju)	Ritmo/dažnio kontrolė	Gydyti ŠN su sumažėjusia IF
	Gydyti ŠN su išsaugota IF (MRA, diuretikai)	Gydyti KS pagrindinę ligą
		Gydyti PH
		Gydyti IŠL

TVN – triburio vožtuvo nesandarumas; ŠN – širdies nepakankamumas; IF – išstūmio frakcija; MRA – mineralreceptorių antagonistai; KS – kairysis skilvelis; PH – plautinė hipertenzija; IŠL – išeminė širdies liga.

Prieš svarstant bet kokią intervenciją, rekomenduojama, kad specializuota širdies komanda atidžiai įvertintų TVN etiologiją, ligos stadiją (TVN sunkumą, dešiniojo ir kairiojo skilvelių funkciją, PH), paciento operacijos riziką ir pasveikimo tikimybę [23]. Neseniai aprašyti ir klinikinėje praktikoje pradėti naudoti specialūs pacientų TVN klinikiniai rizikos vertinimo modeliai, kurie patvirtinti ir naujausiose 2025m. EKD Širdies vožtuvų ligų gydymo rekomendacijose [23]. TRI-SCORE ir STS izoliuota TV rizikos skaičiuoklė atsižvelgia į klinikinius ir echokardiografinius DS disfunkcijos požymius bei antrinių organų (ypač kepenų ir inkstų) pažeidimą [75, 104–105]. Abi šios skaičiuoklės leidžia geriau įvertinti periprocedūrinę riziką pacientams, kuriems svarstomas didelio TVN operacinis gydymas, ir jei ši apskaičiuota rizika yra didelė – padeda išvengti pakankamo teigiamo efekto nebesuteikiančių perteklinių intervencijų [106–107].

Rizikos nustatymo svarba buvo įrodyta atliktoje registro analizėje (n = 2413), kurioje buvo lyginama TV intervencijos nauda su skiriamu medikamentiniu gydymu. Ankstyva TV intervencija (TV kateterinis intervencinis gydymas arba operacija) buvo susijusi su pagerėjusiu vidutinės trukmės išgyvenamumu pacientams, kurių TRI-SCORE balas buvo žemas arba vidutinis (iki 5 balų), o pacientams, kurių TRI-SCORE balas buvo aukštas (≥ 6), nebuvo jokios papildomos naudos, palyginti su skiriamu medikamentiniu gydymu [75].

Medikamentinis gydymas

Funkcinio TVN konservatyvaus gydymo galimybės ribotos. Medikamentiniam funkcinio TVN gydymui rekomenduojami diuretikai ir pirminės priežasties, sukėlusios funkcinį TVN, medikamentinis gydymas.

Kol indikacijų operacijai nėra arba laukiama jos atlikimo, simptomus jaučiantiems pacientams turi būti skiriamas adekvatus ŠN gydymas pagal esančias rekomendacijas angiotenziną konvertuojančiojo fermento inhibitoriumi (arba angiotenzino receptorių blokatoriumi), beta-adrenoreceptorių blokatoriumi, aldosterono receptorių antagonistais bei SGLT2 inhibitoriais [108]. Diuretikai skiriami širdies perkrovai turintiems mažinti didelio TVN su dešinėsios širdies nepakankamumo požymiais metu. Esant ŠN simptomams, diuretikų vartojimą reikia pradėti palaipsniui, skiriant kilpinius diuretikus, esant poreikiui pridėdant prie jų aldosterono antagonistus, tiazidinius diuretikus ir (arba) SGLT2 inhibitorius [108]. Diuretikai palengvina simptomus, tačiau tai neturėtų būti priežastis operacijos atidėjimui.

Pacientams, sergantiems PH, papildomai gali būti skiriami vazodilatatoriai [86]. Plautinė hipertenzija taip pat skatina ženklesnę DS disfunkciją ir inotropinių vaistų skyrimo poreikį po TV operacijos.

Kartojantis ritmo sutrikimams labai svarbi ritmo kontrolės taktika. Anti-koaguliantai skirtini, esant PV arba jei pacientui atlikta vožtuvo protezavimo operacija.

Nepaisant taikomo medikamentinio gydymo, daugumos pacientų DS disfunkcija ir nepakankamumas linkę progresuoti dėl skilvelio remodeliavimosi bei išliekančios stazės didžiajame kraujo apytakos rate [109]. Medikamentinis gydymas diuretikais gali pagerinti ir atitolinti simptomų atsiradimą, tačiau medikamentinis gydymas nepadeda išvengti ar atitolinti TVN progresavimo. Vienintelė priemonė sustabdyti TVN progresavimą – TVN korekcija operaciniu arba intervenciniu būdu [26].

Operacinis gydymas

Pastaraisiais metais požiūris į fTVN gydymą reikšmingai pasikeitė – nuo pasyvaus laukimo, tikintis, kad vožtuvo būklė pagerės po kairiosios širdies vožtuvo intervencijos, pereita prie aktyvių chirurginių sprendimų [110–111]. Pacientui laiku atliekamas chirurginis gydymas vis dar lieka iššūkiu, ypač tais atvejais, kai TVN nėra didelis.

Stebėsenos duomenys rodo, kad TV turėtų būti koreguojamas tuo pačiu metu, kai atliekama kairiosios širdies vožtuvų operacija pacientams, kuriems kartu yra nustatomas ir fTVN. Tokia taktika nėra siejama su padidėjusia operacine rizika, tačiau skatina DS grįžtamąjį remodeliavimąsi ir gerina paciento būklę, esant TVŽ dilatacijai, net jei TVN nėra didelis [112–115]. Tačiau jeigu reikšmingas TVN nėra koreguojamas kairios širdies vožtuvų operacijos

metu arba jei po intervencijos jis progresuoja, tai blogina ilgalaikius gydymo rezultatus [116–117]. Pakartotinė fTVN operacija, jau atlikus kairiųjų širdies vožtuvų operaciją, yra didelės rizikos [118]. Svarbu operuoti pakankamai anksti, kol nėra negrįžtamų DS pokyčių. Deja, klinikinėje praktikoje TV intervencijos dažnai atliekamos per retai ir per vėlai [114, 119]. Operacijos laiko parinkimas yra itin svarbus siekiant išvengti negrįžtamų DS pažeidimų ir su tuo susijusios sisteminės organų disfunkcijos, kuri didina chirurginę riziką [68, 100].

Remiantis EKD 2025 m. priimtomis Širdies vožtuvų ligų gydymo rekomendacijomis, chirurginis gydymas rekomenduojamas simptominiams pacientams, turintiems pirminį didelio laipsnio TVN, nesant ryškios DS disfunkcijos ar ryškios PH (I rekomendacijų klasė, C įrodymų lygmuo). Operacinis TV gydymas taip pat gali būti svarstomas esant antriniam simptominiam arba pirminiam besimptomiam TVN pacientams, kuriems nustatyta DS dilatacija ar blogėjanti DS funkcija, tačiau dar nėra ryškios DS ar KS disfunkcijos ar ryškios PH (IIa rekomendacijų klasė, B ir C įrodymų lygmuo) [23]. Tinkamai atrinktiems pacientams laiku skirtas izoliuoto TVN chirurginis gydymas gali būti saugus ir pagerinti ilgalaikį išgyvenamumą [75]. Klinikinėje praktikoje izoliuoto TVN operacijos atliekamos rečiau, nei būtų indikuotina. Viena vertus, tai yra susiję su įsitikinimu, kad TVN yra geros eigos ir prognozės, kita vertus, su dideliu pooperaciniu mirtingumu (8–10 proc.) ir abejonėmis dėl TVN korekcijos naudos [120–123]. Įrodyta, jog su didesniu mirštamumu sietinas ne pats TV operacinis gydymas, bet per vėlai pacientams atlikta operacija, todėl rekomenduojama TV koreguoti anksčiau [100, 118]. Kai liga yra pažengusi ir pacientas yra didelės rizikos (esant DS nepakankamumo požymiams, sutrikusiai inkstų ir kepenų funkcijai), išgyvenamumas yra panašus, nepriklausomai nuo to koks gydymas skiriamas – medikamentinis, operacinis ar kateterinis [75]. Tuo tarpu, kai rizika maža – vidutinė, stebimas teigiamas intervencijos, tiek chirurginės, tiek kateterinės, poveikis išgyvenamumui, palyginti su medikamentiniu gydymu [75, 124]. Taigi, svarbu operuoti pakankamai anksti, kol nėra negrįžtamų DS pokyčių ir su tuo susijusių komplikacijų.

Izoliuoto (prieširdinio) TVN gydymas išlieka kontroversišku, nes nėra pakankamos apimties tyrimų, įrodančių, jog chirurginio gydymo naudos – žalos santykis viršytų medikamentinio [125].

Atliekant kairiosios širdies vožtuvų operaciją, kartu turi būti koreguojamas ir vidutinio – didelio laipsnio TVN. Literatūros duomenimis, atliekant kairiosios širdies operaciją, didelis fTVN chirurginiu būdu koreguojamas dažnai – tai pagrindžia I klasės klinikiniai įrodymai [23, 26]. Tuo tarpu vidutinio sunkumo fTVN korekcija išlieka diskusinis klausimas – klinikinėje praktikoje sprendimai dėl intervencijos dažnai priimami individualiai, o literatūroje nurodomas chirurginės korekcijos dažnis kairiosios širdies operacijų

metu svyruoja nuo 7 iki 65 proc. [126–127]. Nors papildomai atliekama TV chirurginė korekcija susijusi su dažnesniais laidumo sutrikimais, įrodyta, jog ji nepadidina operacijos ir mirštamumo rizikos, ir netgi skatina atvirkštinį DS remodeliavimąsi ir gerina paciento funkcinę būklę [118, 126, 128–131]. Tuo tarpu nekoreguotas vidutinis fTVN lemia DS funkcijos blogėjimą, dėl kurio po operacijos dar padidėja TVN, o tai lemia didesnį pooperacinį mirštamumą bei padidėja poreikis atlikti pakartotinę širdies operaciją, kurios mirštamumas siekia 10–35 proc. [132]. Be to, pažengęs TVN dažnai susijęs su reikšmingu TVŽ išsiplėtimu, dėl kurio pacientui dėl netinkamos anatomijos nebegalima taikyti kateterinio gydymo ar TV žiedo (TVŽ) plastikos, todėl vienintelis galimas gydymo būdas šiems pacientams lieka TV protezavimo operacija, kuri pasižymi didele komplikacijų rizika.

Kairiosios širdies operacijos metu, rekomenduojama koreguoti ir nedidelį TVN, jei 2D echokardiografijos metu nustatomas ženkliai išsiplėtęs TV žiedas (≥ 40 mm, ≥ 21 mm/m²) ar prieš tai buvo diagnozuotas DS nepakankamumas (IIa rekomendacijų klasė, B įrodymų lygmuo) [23]. Įrodyta, kad TV korekcija, pagrįsta TVŽ matmenimis, pagerina funkcinę būklę ir išgyvenamumą, nepriklausomai nuo TVN sunkumo [133–134]. Atliekant kairiosios širdies chirurginį gydymą pacientams, kuriems taip pat nustatytas nedidelis arba vidutinis fTVN, galėtų būti svarstoma agresyvesnė TV chirurginio gydymo strategija, siekiant išvengti TVN progresavimo [115]. Vis dėlto dabartinės fTVN gydymo rekomendacijos grindžiamos tik vienu TVŽ skersmeniu, pamatuotu 2D echokardiografija diastolėje. Tačiau TV yra trimatė struktūra, kintanti širdies ciklo metu, todėl vienas linijinis matmuo negali tinkamai atspindėti jo tikrojo dydžio, ir yra reikalingi tikslesni, trimatė analize pagrįsti, rodikliai operacinio gydymo indikacijų apibrėžimui.

Skirtinos dvi chirurginės TVN gydymo technikos: 1) TV plastika ir 2) TV protezavimas.

EKD Širdies vožtuvų ligų gydymo gairėse rekomenduojama, jei įmanoma, pirmenybę teikti TV plastikai, o ne protezavimui [23]. Taigi, pirmaeilis funkcinio TVN chirurginis gydymas yra TV plastika – vožtuvo žiedo korekcija, išsaugant nuosavą TV. Skiriami du TV plastikos būdai: plastika siūle ir plastika žiedu.

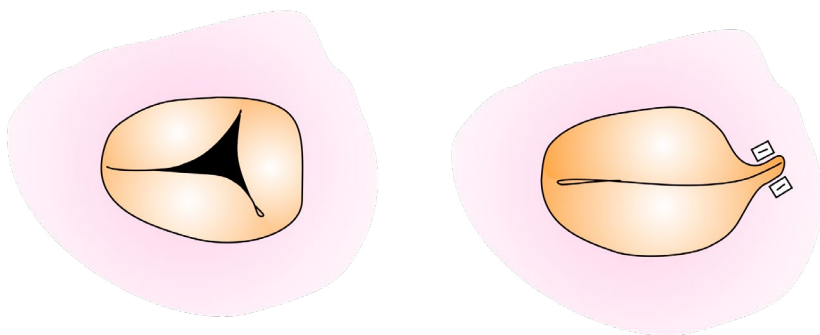
Chirurginės plastikos technikos pasirinkimas (plastika siūle ar žiedu) išlieka prieštaringas, jis susijęs su konkrečios klinikos galimybėmis, chirurgo patirtimi. Chirurginės technikos pasirinkimą lemia ir fTVN tipas. Esant prieširdiniam ir skilveliniam fTVN, TV žiedo plastika tinkamiausia esant didelio laipsnio (bet ne masyviam ar labai dideliu) prieširdinio tipo fTVN [56].

Plastika siūle gali būti atliekama dviklostės siūlės (bikuspidalizacijos), de Vegos ir Kay metodais. Atliekant TV bikuspidalizaciją, siekiama susiaurinti TV žiedo išsiplėtimą, kuris vyksta septaline – lateraline ir posteroseptaline –

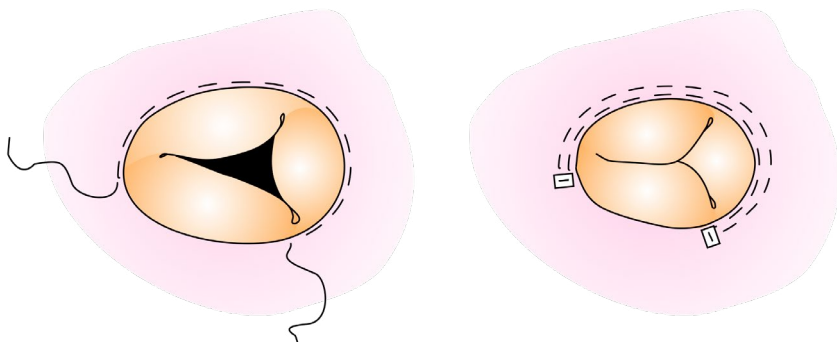
anterolateraline kryptimis [135–136]. Procedūros metu uždedamos siūlės ties priekine užpakaline komisūra ir ties užpakaline septaline komisūra. Siūlės sutraukiamos, todėl TV užpakalinė burė suraukiama, ji išnyksta, o TV tampa „dviburiu“. Analizuojant duomenis pacientų, kuriems atlikta TVŽ plastika bikuspidalizacijos metodu ir plastikuojant dirbtiniu žiedu, stebėjimo rezultatai parodė, kad tiek plastika bikuspidalizacijos metodu, tiek plastika žiedu vienodai efektyviai sumažina TVN, o mirštamumo ir komplikacijų dažnis perioperaciniu laikotarpiu tarp abiejų pacientų grupių nesiskiria, tačiau bikuspidalizuotų pacientų grupėje pakartotinės TV operacijos ir TVN atsinaujinimo dažnis buvo didesnis [137–138].

TV žiedo plastika Kay metodika – gana paprasta technika apimanti užpakalinės burės susiuvimą aštuoniukės formos siūle, siekiant sumažinti TVŽ dydį (2.4.2.1 A pav.). Tuo tarpu DeVega technika apima žiedinę plikaciją, uždedant dvi pusapvales siūles aplink TVŽ. Atsiradusios įcentrinės jėgos veikia priekinį ir užpakalinį TVŽ segmentus, susiaurindamos vožtuvo angą (2.4.2.1 B pav.).

A. TV žiedo plastika Kay metodika



B. TV žiedo plastika De Vega metodika



2.4.2.1 pav. TV žiedo plastika: A. Kay metodika; B. De Vega metodika

Atliekant TV žiedo plastiką de Vega metodika, svarbus TV žiedo sumažinimo laipsnis: sumažinus žiedą, keičiasi jo forma, dydis, ženkliai mažėja ekscentriškumas ir priekinės žiedo dalies kontraktiliškumas [139]. Nagrinėjant duomenis pacientų, kuriems atlikta TVŽ plastika siūlu De Vega metodika ir TV plastika žiedu, ilgalaikiai rezultatai atskleidė, kad TV plastika siūlu susijusi su dažnesniu TVN atsinaujinimu, o plastika žiedu – su geresniu išgyvenamumu [140].

TV plastikai žiedu gali būti naudojami lankstieji arba kietieji žiedai. Lanksčiojo arba kietojo žiedo pasirinkimas taip pat yra diskusinis klausimas. Įrodyta, kad abiejų tipų žiedai vienodai efektyviai sumažina TVN bei visi TVŽ rodikliai reikšmingai sumažėja, implantavus abu žiedus [141–142]. Skirtingos TV plastikos metodikos, apimančios siūlų ar žiedo įsiuvimo, burės didinimo bei „kraštas prie krašto“ principus, taikomos priklausomai nuo TV aparato anatomijos bei funkcijos [143–147].

Nustatyta, kad TV protezavimas, palyginus su TV plastika, susijęs su daug blogesnėmis išeitimis ir mirštamumu [148–149]. Todėl pirmenybė turėtų būti teikiama TV plastikai žiedu, kai tik techniškai įmanoma, ypač mažos rizikos pacientams, turintiems tinkamą anatomiją [104]. Vožtuvo protezavimas turėtų būti svarstomas, esant dideliame žiedo išsiplėtimui ir kartu nustatytam reikšmingam TV burių nutempimui į DS ertmę (palapinės plotas $> 1 \text{ cm}^2$) [23]. Palyginus pacientų duomenis, kai atliekant TV protezavimą naudotas biologinis arba mechaninis TV protezas, atlikta metaanalizė parodė, kad nėra skirtumo, koks protezas implantuotas – pakartotinių operacijų skaičius abiejose grupėse buvo vienodas (pacientų, kuriems implantuotas biologinis vožtuvas – dėl degeneracijos, o pacientų, kuriems pritaikytas mechaninis protezas – dėl trombozės) [150].

Operacijos rezultatai priklauso ne tik nuo TV chirurginio gydymo rūšies, bet net labiau nuo tinkamos pacientų atrankos – būklės prieš operaciją. Pažengusi NYHA funkcinė klasė, ženkli DS dilatacija ir disfunkcija, gretutinės ligos, anemija, inkstų ir kepenų funkcijos sutrikimas susiję su blogesnėmis išeitimis ir didesniu vėlyvuoju mirštamumu [75, 120, 151–152].

Kateterinis intervencinis gydymas

Vystantis minimaliai invazyvių procedūrų metodikoms, didelės operacinės rizikos pacientams atsiranda vis daugiau naujų vožtuvinių širdies ligų gydymo alternatyvų. Dėl didelio mirštamumo, susijusio su izoliuoto pažengusio TVN operacijomis, atsirado kateterinės TV intervencijos [100, 120]. Remiantis EKD 2025 m. priimtomis Širdies vožtuvų ligų gydymo rekomendacijomis, kateterinis fTVN gydymas turėtų būti svarstomas didelio TVN atveju, simptominiams, neoperuotiems pacientams, turintiems tinkamą TV anatomiją, nesant ženklios DS disfunkcijos ar ryškios PH (IIa rekomendacijų

klasė, A įrodymų lygmuo) [23]. Kateterinės TV procedūros, kaip ir įprastos chirurginės, skirstomos į plastiką ir protezavimą [147].

Esant skirtingoms TVN stadijoms bei mechanizmui, rekomenduojamas atitinkamas kateterinio TV plastikos būdo pasirinkimas. Ankstyvoje stadijoje, vyraujant tik TVŽ išsiplėtimui, galima TV žiedo plastika (pvz., Cardioband, TriCinch, Trialign, MIA). Progresuojant TVN ir vystantis burių tempimui, taikomi koaptaciją gerinančių sistemų (pvz., PASCAL, TriClip) ar jų kombinacijos su TV žiedo plastika metodai [153]. Dažniausiai (> 50 proc. atvejų) naudojami burių susiglaudimo (koaptacijos) korekcijos prietaisai, o TVŽ plastikos metodikos sudaro apie 30 proc. visų procedūrų [153].

Esant ryškių TV aparato pakitimų, pradedamos taikyti ir kateterinio protezavimo procedūros. Viena jų – heterotopinis protezavimas, kurio metu, siekiant sumažinti stazę didžiajame kraujo apytakos rate, implantuojami viršutinės ir apatinės tuščiųjų venų protezai [147]. Kateterinių vožtuvų pakeitimo procedūrų sėkmingumas siekia > 90 proc. Su procedūromis susijusių komplikacijų dažnis santykinai mažas (apie 2 proc. – konversija į širdies chirurgiją, apie 6 proc. – prietaiso dislokacija) [111, 114]. Dėl anatomicinio sudėtingumo, kuris dar labiau pakinta TVN metu, tiesioginis kateterinis TV protezavimas kelia daug iššūkių, tačiau vykstančiuose klinikiniuose tyrimuose specialiai pritaikyti vožtuvai atranda savo nišą [147].

Kadangi kateterinis TV intervencinis gydymas plačiau pradėtas taikyti ne taip seniai, duomenys apie jo įtaka pacientų prognozei išlieka prieštaringi. Vieni autoriai teigia, jog pacientams, sergantiems dideliu TVN, kateterinis TV gydymas, lyginant su skiriamu medikamentiniu gydymu, sumažina simptomus bei pagerina gyvenimo kokybę, taip pat pagerina išgyvenamumą ir sumažina pakartotinę hospitalizaciją ne tik esant dideliui, bet ir masyviam arba labai dideliui TVN [103, 154–155]. Vis dėlto atliktame TRILUMINA-TE tyrime, kuriame buvo lyginamas kateterinis TV intervencinis gydymas su medikamentiniu gydymu, pacientams, sergantiems izoliuotu dideliu TVN, po vienerių metų nenustatyta reikšmingos įtakos mirštamumui ar hospitalizacijoms dėl ŠN paūmėjimo, tačiau įrodyta, jog sumažėja TVN sunkumas ir pagerėja pacientų gyvenimo kokybė [156].

Taikant TV kateterinį gydymą, DS disfunkcija ir ryški PH yra susijusios su blogesnėmis išeitimis [90]. Išeitys skiriasi, priklausomai nuo PH tipo (ikikapiliarinė ar pokapiliarinė PH) – didesnis mirštamumas, esant ikikapiliarinei PH, palyginus su pokapiliarine PH (1 metų išgyvenamumas, atitinkamai, 38 proc. ir 78 proc.) [92].

Esant ŠN, fTVN susijęs su amžiumi ir padidėjusiu mirštamumu, nepriklausomai nuo ŠN potipio. Nepaisant to, fTVN retai gydomas chirurginiu ar kateteriniu intervenciniu būdu. Mažos rizikos kateterinio gydymo galimybės galėtų būti tinkama alternatyva šiai pacientų grupei [99].

Įrodyta, jog TV kateterinis intervencinis gydymas yra saugus, tačiau reikšmingas liekamasis TVN išlieka net trečdaliui pacientų po procedūros [23, 156].

2.5. Grįžtamasis TVN po TV žiedo plastikos: klinikinės išvagos

Grįžtamojo TVN problema tampa vis aktualesnė – literatūroje aprašoma iki 30 proc. atvejų, kai reikšmingas TVN pasikartoja po chirurginės vožtuvo korekcijos [10, 24, 27–28, 30]. Pakartotinė chirurginė intervencija šiems pacientams kelia didelę riziką, dažniausiai dėl pažengusios klinikinės būklės ir per vėlai atliekamos operacijos [132, 157]. Todėl būtina geriau suprasti grįžtamojo TVN mechanizmus po TV žiedo plastikos, kad būtų galima optimizuoti pacientų atranką chirurginei vožtuvo korekcijai.

Analizuojant duomenis, kurie veiksniai yra susiję su dažnesniu grįžtamojo TVN, nustatyta, kad trumpesnis visų burių ilgis, didesnis palapinės tūris, TV morfologiniai pakitimai (burių sustorėjimas, kalcifikacija, nejudrumas, povožtuvinio aparato įtraukimas) yra rizikos veiksniai atsirasti grįžtamajam TVN, atlikus TV plastiką žiedu [158].

Vertinant ar grįžtamojo TVN dažnis reikšmingai priklauso nuo taikomos TV plastikos metodikos – rezultatai prieštaringi. Tiriant pacientus, kuriems atlikta TV plastika bikuspidalizacijos metodika arba plastika žiedu, nustatyta, kad perioperacinis mirštamumas ir komplikacijų dažnis buvo vienodi abiejose pacientų grupėse, tačiau bikuspidalizacijos technikos grupėje grįžtamasis TVN buvo dažnesnis (1 m. – 8 proc. ir 2 proc., 5 m. – 23 proc. ir 14 proc., 8 m. – 30 proc. ir 26 proc.) [138]. Kitų tyrėjų duomenimis, grįžtamojo TVN dažnis reikšmingai nesiskiria priklausomai nuo taikomos TV žiedo plastikos metodikos – paėjus 3 metams po operacijos, vidutinis – didelis grįžtamasis TVN buvo nustatytas 31 proc. pacientų, kuriems TV plastika buvo atlikta De Vega metodika, ir 25 proc. pacientų, kuriems TV plastika buvo atlikta Kay metodika [159]. TV plastikos ilgalaikiam efektyvumui įtakos turi ikioperaciniai (burių nutempimas ir TVŽ anatomija) bei pooperaciniai (DS hemodinamika ir spaudimas PA) veiksniai [127, 157]. Pacientams, turintiems šių rizikos veiksnių, gali prireikti atidaus stebėjimo net ir po ankstyvos sėkmingos TV plastikos [127, 157].

TRIGISTRY tyrime buvo vertinta liekamojo / grįžtamojo TVN laipsnio po kateterinės TV korekcijos įtaką pacientų prognozei ir nustatyta, kad išgyvenamumas mažėjo didėjant liekamojo / grįžtamojo TVN laipsniui [31]. 2 metų išgyvenamumas reikšmingai skyrėsi, esant mažam, vidutiniam ir dideliame liekamajam / grįžtamajam TVN (atitinkamai 85 proc., 70 proc. ir 44 proc.). Kai pacientai, kuriems buvo vidutinio sunkumo liekamasis TVN, papildomai buvo suskirstyti į nedidelio – vidutinio ir vidutinio – didelio TVN

grupės, išgyvenamumas taip pat reikšmingai skyrėsi tarp grupių (atitinkamai 85 proc., 80 proc., 55 proc. ir 44 proc.). Išgyvenamumas buvo reikšmingai mažesnis tų pacientų, kuriems nustatytas vidutinis – didelis liekamasis TVN, palyginus su pacientais, kuriems buvo nedidelis – vidutinis liekamasis TVN. Išgyvenamumo rodiklių skirtumo tarp pacientų, kuriems buvo nedidelis ir nedidelis – vidutinis liekamasis TVN, arba tų, kuriems buvo vidutinio sunkumo – didelis ir didelis liekamasis TVN, nepastebėta [31]. Tai patvirtina, jog kliniškai reikšmingu reikėtų laikyti vidutinį – didelį grįžtamąjį TVN, kaip ir buvo pasirinkta mūsų atliktame tyrime.

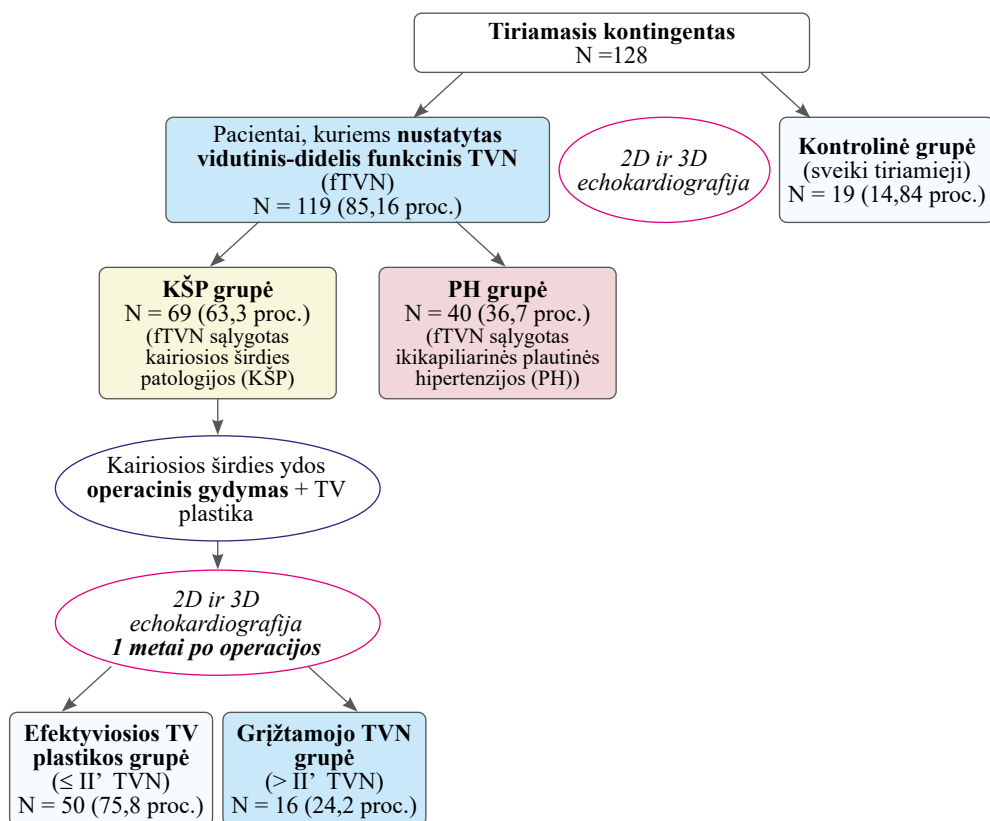
Šiuo metu kuriami ir tiriama nauji alternatyvūs kateteriniai gydymo metodai pacientams, kuriems anksčiau buvo atlikta širdies operacija ir kuriems pasireiškia grįžtamasis / liekamasis TVN [160–161].

3. DARBO METODIKA

3.1. Tiriamųjų kontingentas

Gavus Kauno regioninio biomedicininį tyrimų etikos komiteto leidimą (Nr. BE–2–64./2018), Lietuvos sveikatos mokslų universiteto ligoninės Kauno klinikų (LSMUL KK) Kardiologijos klinikoje atliktas klinikinis perspektyvusis tyrimas. Visi tiriamieji, atitinkantys įtraukimo kriterijus, perskaitę ir išsamiai susipažinę, pasirašė asmens informavimo ir sutikimo formą.

Į tyrimą įtraukti 128 pacientai (109 pacientai su nustatytu vidutiniu ar dideliu funkciniu TVN ir 19 sveikų tiriamųjų (kontrolinė grupė)), tirti ir/ar gydyti LSMUL KK Kardiologijos klinikoje, kuriems atlikta 2D ir 3D echo-kardiografija (3.1.1 pav.).



3.1.1 pav. Tiriamųjų kontingento sudėtis ir jiems atlikti tyrimai

TVN – triburio vožtuvo nesandarumas; KŠP – kairiosios širdies patologija; PH – plautinė hipertenzija; TV – triburis vožtuvas.

Analizuojamą tiriamųjų kontingentą sudarė 128 pacientai. Iš jų 109 (85,16 proc.) buvo nustatytas vidutinis arba didelis funkcinis TVN (TVN grupė), o 19 (14,84 proc.) tiriamųjų buvo be reikšmingos širdies vožtuvų pažaidos (kontrolinė grupė, kuri atrinkta tikslingai pagal amžių ir lytį siekiant kuo panašesnės į TVN grupę).

TVN grupės pacientai smulkiau suskirstyti į du pogrupius, remiantis skirtinga funkcinio TVN etiologija:

- 69 pacientai (63,3 proc.), kuriems funkcinis TVN sąlygotas kairiosios širdies vožtuvo/ų patologijos, dėl kurios numatytas operacinis ydų gydymas (kairiosios širdies patologijos (KŠP) grupė), ir
- 40 pacientų (36,7 proc.), kuriems fTVN sąlygotas ikikapiliarinės plauatinės hipertenzijos (plautinės hipertenzijos (PH) grupė).

Ikikapiliarinės PH grupėje pradinė PH diagnozė visiems pacientams buvo patvirtinta atliekant dešinėsios širdies kateterizaciją (vidutinis spaudimas PA > 20 mmHg, PA pleištinis spaudimas ≤ 15 mmHg ir plaučių kraujagyslių pasipriešinimas > 2 Woodo vienetai).

Pacientų įtraukimo į tyrimą kriterijai:

- suaugę ≥ 18 metų amžiaus asmenys;
- hemodinamiškai stabilūs, nereikalaujantys inotropinio ar mechaninio kraujotakos palaikymo pacientai;
- pacientams taikomas optimizuotas EKD gairėmis ir rekomendacijomis pagrįstas širdies nepakankamumo ir vožtuvinių širdies ligų medikamentinis gydymas;
- numatoma pacientų gyvenimo trukmė ne trumpesnė kaip 12 mėnesių (nėra progresavusios onkologinės ligos ar kitos mirtinos ligos)
- pasirašyta asmens informavimo ir sutikimo forma;

Esant bent vienam iš žemiau išvardintų kriterijų, pacientai į tyrimą įtraukti nebuvo:

- pirminis (organinis) TVN;
- kliniškai reikšminga išeminė širdies liga: persirgtas miokardo infarktas, buvusi perkutaninė vainikinių arterijų intervencija ar aortos ir vainikinių arterijų jungčių suformavimo operacija, nustatytos reikšmingos (> 50 proc.) vainikinių arterijų stenozės, išreikšta krūtinės angina;
- aktyvus onkologinis procesas;
- aktyvus ar 6 mėnesių bėgyje diagnozuotas infekcinis endokarditas;
- astma, obstrukcinė plaučių liga ar kita patvirtinta lėtinė pulmonologinė patologija;
- įgimtos širdies ydos;

- anamnezėje atlikta TV intervencinė ar chirurginė procedūra (plastika ar protezavimas);
- implantuotas EKS;
- prastos kokybės 2D echokardiografijos vaizdai ir 3D echokardiografija būtų neinformatyvi.

Kontrolinę grupę sudarė sveiki tiriamieji, kurie buvo be reikšmingos širdies vožtuvų pažaidos, ŠN ir atitiko šiuos įtraukimo kriterijus:

- nėra širdies ir kraujagyslių ar plaučių ligų bei jų simptomų anamnezėje,
- nėra širdies ir kraujagyslių ligų rizikos veiksnių (arterinė hipertenzija, cukrinis diabetas, rūkymas, dislipidemija),
- nevartoja vaistų skirtų širdies ir kraujagyslių ligoms gydyti,
- normalūs objektyvaus tyrimo duomenys,
- elektrokardiograma ir echokardiografinis tyrimas be patologinių pokyčių,
- echokardiografiškai nėra nustatytų TV ar dešiniųjų širdies dalių pokyčių – vertinama, jog TV normalios geometrijos.

Sveiki tiriamieji, kuriems buvo nustatytas bent vienas iš žemiau išvardytų kriterijų, buvo neįtraukti į tyrimą:

- nėštumas,
- profesionalus sportininkas/ė,
- kūno masės indeksas $> 30 \text{ kg/m}^2$,
- vidutinio sunkumo ar sunki širdies vožtuvų liga.

Klinikinės charakteristikos (lytis, amžius, gretutinės ligos, vartojami medikamentai), antropometriniai rodikliai (ūgis ir svoris) buvo surinkti iš medicininės dokumentacijos. Medicininė dokumentacija (vizitų pas kardiologą LSMUL Kauno klinikose išrašai ar stacionarinio gydymo ligos istorijos) vertinta prieš echokardiografijos atlikimą, siekiant sužinoti, ar nėra neįtraukimo kriterijų – reikšmingų vainikinių arterijų stenozių, nustatytų angiografijos metodu, ar pacientas anksčiau buvo operuotas. Kūno paviršiaus plotas apskaičiuotas pagal Du Bois formulę [162]. Kūno masės indeksas gautas padalinus svorį (kg) iš ūgio (m) kvadrato.

Visiems tiriamiesiems atlikta transtorakalinė dvimatė (2D) ir trimatė (3D) echokardiografija.

TVN sunkumas nustatytas echokardiografiškai, remiantis EKD rekomendacijomis [81].

3.1.1. KŠP grupės operacinis gydymas ir pooperacinė stebėsena

KŠP grupės pacientams, kuriems buvo diagnozuotas vidutinio sunkumo ir didelis funkcinis TVN, susijęs su kairiosios širdies vožtuvine liga (vyraujančia kairiosios širdies yda), kairiosios širdies ydos operacijos metu kartu buvo atlikta ir TV plastika.

TVŽ plastika (anuloplastika) buvo atlikta esant vidutinio sunkumo ar dideliame fTVN ir operacijos indikacijos nuspręstos remiantis 2021 m. EKD vožtuvinių širdies ligų gairėmis [28]. Kairiosios širdies operacijos metu buvo atliekama: dviburio vožtuvo plastika, dviburio vožtuvo protezavimas, aortos vožtuvo protezavimas, dviburio vožtuvo plastika kartu su aortos vožtuvo protezavimu ir dviburio vožtuvo protezavimas kartu su aortos vožtuvo protezavimu. Visiems pacientams TV žiedo plastika buvo atlikta De Vega metodika (2.4.2.1 B pav.).

Visiems pacientams buvo įvertinti ikioperaciniai klinikiniai ir echokardiografiniai duomenys. Po operacijos pacientai buvo stebimi (perspektyvusis stebėjimo kohortos tyrimas,) siekiant nustatyti veiksnius, sąlygojančius grįžtamąjį TVN po chirurginio TV gydymo (TVŽ plastikos). Stebėjimo laikotarpis buvo 15 mėnesių (vidurkis $15,57 \pm 4,19$ mėnesio).

Visiems KŠP grupės pacientams buvo atlikta perkrūtinkaulinė 2D ir 3D echokardiografija praėjus ≥ 1 metams po atliktos širdies vožtuvų operacijos. Pirminė vertinamoji baigtis buvo ≥ 1 metų echokardiografijos metu nustatytas pasikartojantis reikšmingas (vidutinio sunkumo ir didelis) TVN.

Remiantis TV plastikos rezultatais mes suskirstėme pacientus į dvi grupes:

- efektyviosios TV plastikos grupė
- grįžtamojo TVN grupė.

Efektyvioji TV plastika buvo apibrėžta, kai praėjus ≥ 1 metams po operacijos, echokardiografijos metu nenustatoma TVN arba yra lengvas–vidutinis TVN ($\leq 2/4$ laipsnio), o grįžtamojo TVN grupė buvo apibrėžta kaip vidutinio sunkumo, vidutinis–didelis arba didelis TVN ($> 2/4$ laipsnio).

Siekiant nustatyti TV žiedo plastikos įtaką TV ir dešinėsios širdies geometriniais ir funkciniais rodikliais, buvo įvertinti pacientų ikioperaciniai ir pooperaciniai (praėjus ≥ 1 metams po operacijos) echokardiografiniai rodikliai, jų pokytis bei ryšys su grįžtamuuoju TVN ir klinicine eiga pooperaciniu laikotarpiu.

3.2. Echokardiografinio tyrimo metodika

Echokardiografinis tyrimas atliktas visiems tiriamiesiems Vivid E95 (*GE Vingmed, Hortenas, Norvegija*) ultragarso aparatu, naudojant M3S ir 4V 4,0 MHz daviklius, tiriamiesiems gulint ant kairiojo šono. Be standartinio

ištyrimo 2D ir doplerine echokardiografija, pagal tyrimo protokolą išsaugoti ir specialūs 2D ir 3D transtorakalinės echokardiografijos vaizdai. 3D echokardiografija atlikta naudojant 4V ultragarsinį daviklį. Visi įprastiniai 2D DS matavimai atlikti naudojant į DS orientuotą viršūninį 4 širdies ertmių vaizdą pagal Amerikos echokardiografijos asociacijos parengtas rekomendacijas [163]. Visiems pacientams echokardiografiją atliko vienas tyrėjas. Tolesnei echokardiografinių vaizdų analizei išsaugoti skaitmeniniai echokardiografiniai vaizdai, užrašant juos 40–90 kadrų per sekundę greičiu. 2D echokardiografijos vaizdai įrašyti 50–80 kadrų per sekundę greičiu, apimant tris iš eilės einančius širdies susitraukimo ciklus, bei registruojant elektrokardiogramą. Išsaugoti echokardiografiniai vaizdai analizuoti specifinėmis echokardiografinės analizės programomis EchoPac (V.6.0.0 GE Vingmed), TomTec (GE Vingmed, Phillips), 4D Auto TVQ (GE Healthcare, USA).

Analizuojant vaizdus, buvo atlikti šie matavimai:

- įprastiniai echokardiografiniai matavimai;
- DS išilginės miokardo deformacijos matavimas 2D echokardiografija, taškelių žymėjimo metodika;
- DS tūrių ir funkcijos vertinimas naudojant 3D echokardiografiją;
- TV geometrijos vertinimas 3D echokardiografijos metodu.

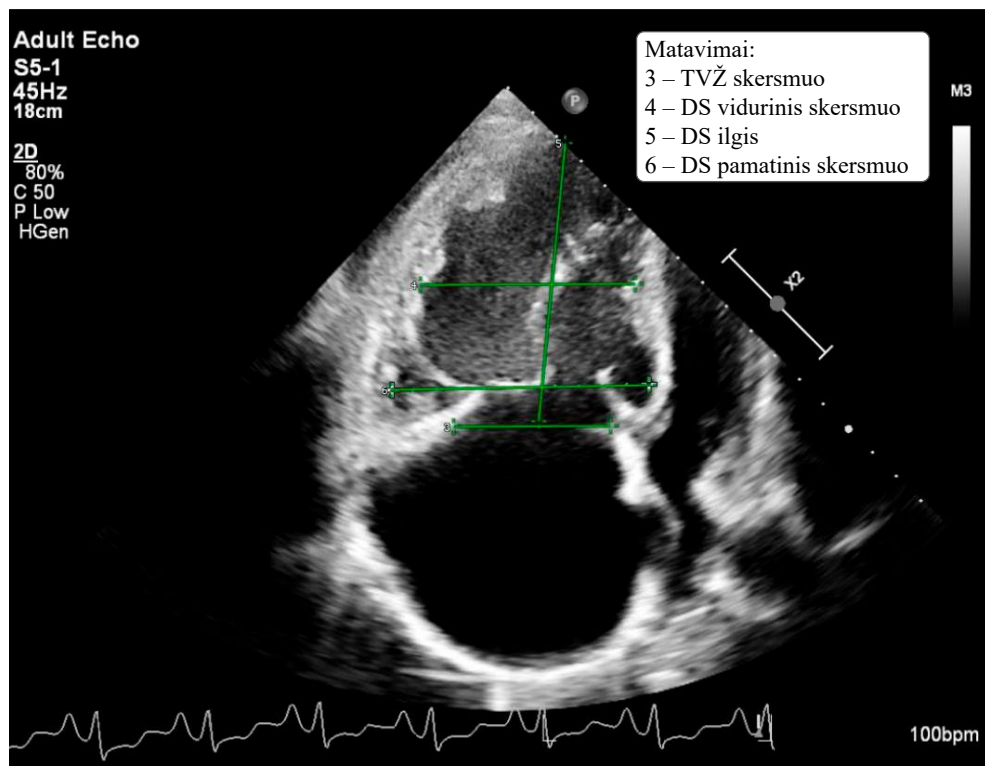
3.2.1. Įprastinių echokardiografinių parametrų vertinimas

Įprastiniai TTE matavimai atlikti pagal 2015 m. Amerikos echokardiografijos draugijos ir Europos širdies vaizdinių tyrimų draugijos rekomendacijas ir Europos širdies ir kraujagyslių vaizdavimo asociacijos gaires [163]. Gauti parametrai indeksuoti pagal kūno paviršiaus plotą (gautą matmenį padalinus iš kūno paviršiaus ploto, m^2).

- Priekrūtinkaulinės padėties vaizduose atlikti matavimai (mm):
 - KS galinis diastolinis dydis (KSGDD),
 - KS galinis sistolinis dydis (KSGSD),
 - tarpskilvelinės pertvaros (TSP) storis,
 - KS užpakalinės sienelės (US) storis,
 - Pagal formules apskaičiuota KS miokardo masė (g) ir jos indeksas (g/m^2) bei santykinis sienelių storis (SSS): $KS \text{ miokardo masė} = 1,04 \times [(TSP + KSGDD + US)^3 - (KSGDD)^3] + 0,6 \text{ g}$ $SSS = (KSUS \times 2)/KSGDD$ arba $(TSP + KSUS)/KSGDD$
 - KP skersmuo sistolės pabaigoje,
 - Priekrūtinkaulinis DS skersmuo diastolėje ir sistolėje
 - Plaučių arterijos skersmuo,
 - PA akceleracijos laikas.

- Viršūninės padėties 4 ir 2 ertmių vaizduose atlikti matavimai: KS galinis diastolinis tūris (KS GDT) ir KS galinis sistolinis tūris (KS GST) (ml),
 - KS IF (proc.), apskaičiuota taikant Simpsono diskų sumavimo metodą pagal formulę:
 - $KS\ IF = (\text{galinis diastolinis tūris} - \text{galinis sistolinis tūris}) / \text{galinis diastolinis tūris}$,
 - KS išstūmio tūris (angl. *stroke volume*) buvo apskaičiuotas kaip KS GDT ir KS GST skirtumas (ml).
 - KP plotas (cm²), KP tūris (ml) sistolėje.
 - DS linijiniai matmenys matuoti viršūniniame į DS orientuotame keturių ertmių vaizde, diastolės pabaigoje (3.2.1.1 pav.). Visi matavimai buvo atliekami po tris kartus kiekvienam matmeniui, vėliau apskaičiuojant vidurkį.
 - Pamatinis DS skersmuo – DS skersmuo bazėje apie 1–2 cm aukščiau TV žiedo (mm),
 - Vidurinis DS skersmuo – DS skersmuo vidurinėje dalyje (mm),
 - DS ilgis (mm) – atstumas (mm) nuo DS viršūnės iki TV žiedo skersmens vidurio.
 - DS diastolinis plotas (cm²), sistolinis plotas (cm²),
 - DS funkcijos vertinimui išmatuota:
 - DS ilgosios ašies funkcijos rodikliai: vienmačiu (M) režimu „pjūvį“ darant ties DS laisvosios šoninės sienelės pamatiniu segmentu išmatuotas TV žiedo judesio amplitudės (TVŽJA; mm) aukštis;
 - audinių dopleriu vertinant DS laisvosios šoninės sienelės judesį gautas sistolinis judesio greitis (S'; cm/s),
 - DS fracinis ploto pokytis (FPP, proc.), apskaičiuotas pagal formulę: $FPP = (\text{DS galinis diastolinis plotas} - \text{DS galinis sistolinis plotas}) / \text{DS galinis diastolinis plotas}$,
 - DS išstūmio frakcija (DS IF)
 - DS mechanikos rodikliai (DS laisvosios sienelės išilginė įtampa ir DS pertvaros išilginė įtampa);
 - DP skersmuo, ilgis, plotas (cm²) ir tūris (ml),
 - TV žiedo 2D geometrijos matavimai (2D (sistolinis ir diastolinis 4 ertmių skersmuo (mm), palapinės aukštis (mm) ir plotas (cm²))
 - Spalviniu ir pastovios tėkmės dopleriu registruota regurgitacinė tėkmė per vožtuvus;
- Pošonkaulinėje pozicijoje matuotas apatinės tuščiosios venos skersmuo iškvėpus ir įkvėpus; skaičiuotas šių skersmenų santykis procentais (vertintas venos kolaptavimas).

- Pastoviosios bangos dopleriu išmatuotas TVN tėkmės didžiausias greitis ir DP spaudimas (įvertintas pagal apatinės tuščiosios venos skersmens dydį ir jo kitimą kvėpuojant) buvo naudojami apskaičiuoti sistoliniam PA spaudimui [163].



3.2.1.1 pav. DS ir TV skersmenų matavimas 2D metodika 4 ertmių viršūniniame vaizde

3.2.2. Triburio vožtuvo nesandarumo echokardiografinis vertinimas

TVN vertintas iš viršūninio 4 ertmių ir trumposios ašies vaizdų, naudojant spalvinį bei pastoviosios bangos doplerį, vadovaujantis Europos echokardiografijos asociacijos rekomendacijomis [95, 163]. Triburio vožtuvo nesandarumo laipsnis buvo nustatomas išmatuojant nesandarumo tėkmės *vena contracta* (VC) ir apskaičiuojant efektyvią regurgitacijos angą (ERA) artimosios vienodo greičio tėkmės paviršiaus ploto metodu (angl. *proximal isovelocity surface area, PISA*). Išmatuojamas vienodo kraujotakos greičio puslankio spindulys (r ; cm) bei regurgitacinės tėkmės didžiausias greitis ($V_{max.}$; m/s); r matuojamas sumažinus spalvos pakeitimo greitį (angl. *V aliasing – Val.*). ERA apskaičiuojama pagal formulę:

$$\text{ERA} = (2\pi r^2 \times \text{Val.}) / \text{regurgitacinis } V_{\text{max}} \text{ (kur } \pi = 3,14)$$

Pagal TVN klasifikavimo schemą TVN vertintas kaip vidutinis, kai VC 3–6,9 mm ir TVN ERA 20–39 mm², didelis – kai VC ≥ 7 mm ir ERA ≥ 40 mm² – dideliu TVN [95].

3.2.3. Sistolinio ir vidutinio spaudimo plaučių arterijoje echokardiografinis vertinimas

Pastoviosios bangos dopleriu išmatuotas TVN tėkmės maksimalus greitis ir dešiniojo prieširdžio spaudimas (įvertintas pagal apatinės tuščiosios venos skersmens dydį ir jo kitimą kvėpuojant) buvo naudojami apskaičiuoti sistoliniam PA spaudimui [163].

Viršūninės pozicijos 4 ertmių vaizde pamatavus pastovios tėkmės dopleriu gautą TV regurgitacinės tėkmės didžiausią greitį (TVN V_{max} ; m/s) apskaičiuotas sistolinis spaudimas DS. Vertinta, jog sistolinis PA spaudimas (PAS) yra lygus sistolinio spaudimo DS ir spaudimo DP sumai. Sistolinis PAS apskaičiuotas pagal Bernoulli lygtį:

$$\text{Sistolinis PAS} = 4 \times (\text{TVN } V_{\text{max}})^2 + \text{spaudimas DP.}$$

Spaudimas DP nustatytas pagal apatinės tuščiosios venos skersmens kitimą kvėpavimo fazių metu (įkvėpus ir iškvėpus). Jeigu apatinė tuščioji vena buvo < 21 mm skersmens ir kolaptavo > 50 proc., DP spaudimas vertintas kaip 5 mm Hg; jeigu ši vena buvo ≥ 21 mm ir kolaptavo < 50 proc. – 15 mm Hg, kitais atvejais (arba vena plati, arba kolaptavo < 50 proc.) – 10 mm Hg [163].

Vidutinis plaučių arterijos spaudimas buvo apskaičiuotas naudojant 80 / (PA akceleracijos laikas/2) formulę.

3.2.4. Dešiniojo skilvelio išilginio miokardo deformavimosi rodiklių matavimas, taikant taškelį žymėjimo echokardiografiją

DS išilginės miokardo įtampos įvertinimui registruoti trys vienas po kito einantys širdies ciklai, užtikrinant kadrų dažnį nuo 40 iki 90 Hz, viršūniniame į DS orientuotame 4 ertmių vaizde. Bendrosios DS ilgosios ašies įtampos, laisvosios DS sienelės ir tarpkilvelinės pertvaros miokardo ilgosios ašies įtampos vertinimas 2D taškelį žymėjimo metodika atliktas naudojant Q-Analizės paketą (*TomTec (GE Vingmed, Phillips)*) pagal naujausias rekomendacijas [165–166].

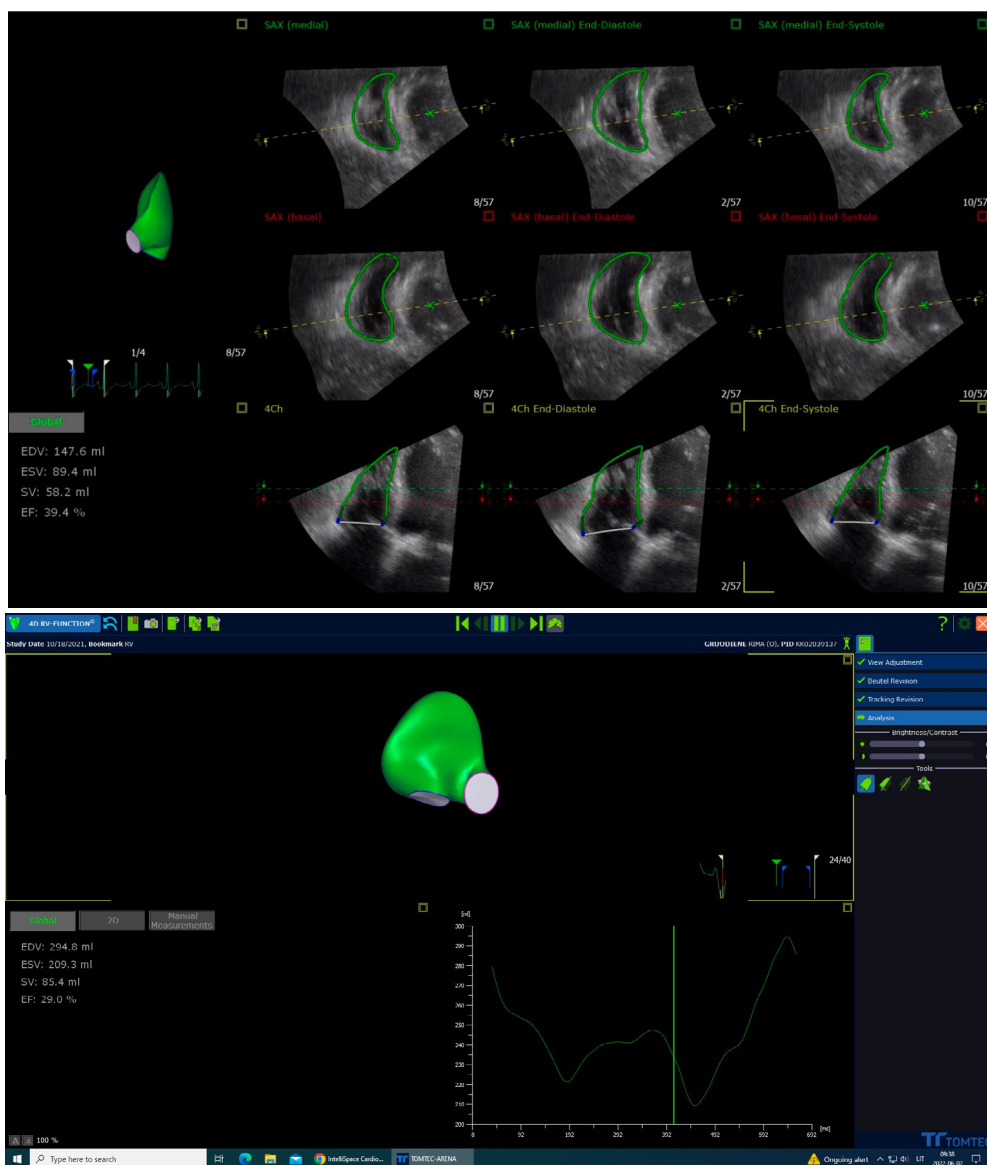
Po DS endokardo kontūro apvedimo rankiniu būdu, programa automatiškai apibrėžia DS miokardą. Vaizdų kokybė ir pažymėtų endokardo kontūrų tinkamas aptikimas vertintas pačios naudotos programos, turinčios kontrolinę funkciją, bei tyrėjo. Esant netinkamai pažymėtiems kontūrams, sužymėtos

vietos koreguotos rankiniu būdu, kol buvo gautas tinkamas kontūrų aptikimas.

3.2.5. Dešiniojo skilvelio tūrių ir funkcijos vertinimas 3D echokardiografijos metodu

DS trimačiams vaizdams gauti naudota viso tūrio metodika sumuojant keturių – šešių širdies ciklų metu gautus dalinius tūrius. Tyrimo metu visas DS buvo įtraukiamas į išsaugomą vaizdą. Norint užtikrinti visų DS dalių įtraukimą į išsaugomą vaizdą, tyrimo metu ekrane buvo naudojamas 12 pjūvių DS vaizdas. Vaizdo gylis ir sektorius buvo optimizuoti, kad kadrų dažnis būtų ≥ 20 Hz. Tyrimas atliktas vaizdų išgavimą sinchronizuojant su elektrokardiograma iškvėpus ir sulaikius kvėpavimą.

Trimačių DS vaizdų analizė buvo atliekama vieno tyrėjo naudojant 3D echokardiografijos programinės įrangos paketą (*4D RV-Analysis, TomTec Imaging Systems, Unterschleissheim, Vokietija*). Pirmiausia, keičiant ilgosios ašies žymeklio padėtį, suformuojami įprastiniai DS viršūniniai 4 ir 2 ertmių vaizdai diastolėje. Tada viršūniniame 3 ertmių vaizde pažymimas aortos vožtuvo žiedo skersmuo. Galiausiai DS trumpos ašies vaizde pažymimos priekinė ir užpakalinė DS laisvosios sienos jungtys su tarpkilveline pertvara bei atstumas nuo tarpkilvelinės pertvaros iki laisvosios sienelės. Tada, naudodama taškelių žymėjimo technologiją, programa automatiškai pažymi DS kontūrus viso širdies ciklo metu ir pateikia automatizuotus DS tūrių ir išstūmio frakcijos matavimus (3.2.5.1 pav.). Visi DS tūriai buvo indeksuoti pagal kūno paviršiaus plotą.



3.2.5.1 pav. Dešiniojo skilvelio tūrių ir išstūmio frakcijos vertinimas TomTec programine įranga

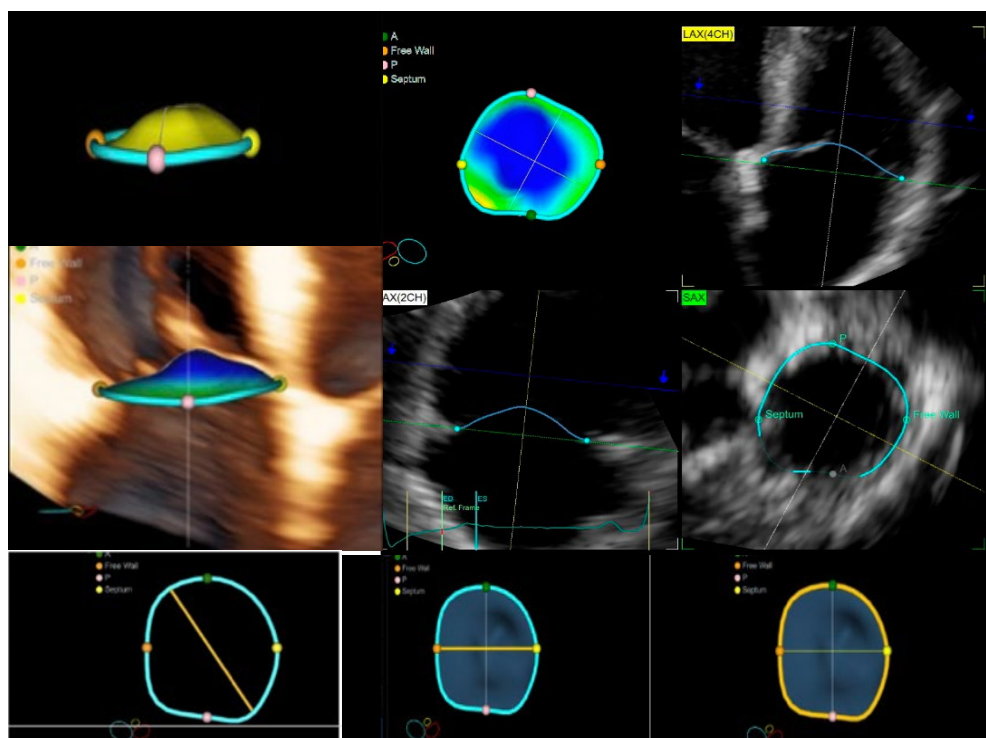
Dinaminė DS rekonstrukcija leidžia apskaičiuoti DS 3D tūrio kreivių (kurios naudojamos apskaičiuojant galinį diastolinį (GDT) ir galinį sistolinį tūrius (GST), išstūmio frakciją (IF) ir sistolinį tūrį (ST)) kitimą širdies ciklo metu.

3.2.6. Triburio vožtuvo geometrijos vertinimas 3D echokardiografijos metodu

Išsaugoti 3D vaizdai buvo perkelti ir analizuoti 4D Auto TVQ „4D Auto TVQ quantification“ programa (*GE Healthcare, JAV*). Šia programine įranga pamatuoti šie 3D TV geometrijos rodikliai (3.2.6.1 pav.):

1. TV žiedo plotas (TV plotas, esantis erdvėje, kurį apibrėžia trimatis TV žiedo kontūras).
2. TV žiedo perimetras (trimačio TV žiedo kontūro ilgis).
3. TV žiedo pertvaros–šoninis skersmuo (atstumas tarp pertvarinės TV burės pagrindo prie skilvelių pertvaros ir priekinės TV burės pagrindo ties DS šonine sienele).
4. TV žiedo priekinis–užpakalinis skersmuo (atstumas tarp priekinės TV burės pagrindo ties DS priekine sienele ir užpakalinės TV burės pagrindo ties DS užpakaline sienele).
5. TV žiedo didžiausios ašies skersmuo (didžiausias atstumas tarp TV žiedo taškų).
6. TV žiedo mažosios ašies skersmuo (mažiausias atstumas tarp TV žiedo taškų).
7. Sferiškumo indeksas (santykis tarp didžiausio ir mažiausio TV žiedo skersmens).
8. Burių nutempimo aukštis (atstumas nuo burių koaptacijos taško iki TV žiedo).
9. Palapinės tūris (tūris tarp TV burių ir TV žiedo paviršiaus).

TV žiedo priekinis–užpakalinis ir pertvaros–šoninis, taip pat didžiausios ir mažiausios ašies skersmenys, TV žiedo plotas, perimetras ir sferiškumo indeksas buvo matuojami sistolės ir diastolės viduryje. Burių nutempimo aukštis ir palapinės tūris buvo matuojami sistolės viduryje vienodai nutolusiose ilgosios ašies plokštumose apvedant susiglaudusias TV bures.



3.2.6.1 pav. Triburio vožtuvo trimatė analizė 4D Auto TVQ „4D Auto TVQ quantification“ (GE Healthcare, JAV) programine įranga

3.3. Statistinė analizė

Statistinė duomenų analizė buvo atlikta naudojant IBM SPSS Statistics (30.0 versiją, IBM Corp., Armonk, NY, JAV). Analizė buvo suplanuota siekiant visapusiškai įvertinti širdies ertmių geometriją, dešiniojo ir kairiojo skilvelio funkciją bei TV morfologiją tarp skirtingų etiologinių grupių, esant įvairiam TVN sunkumui ir pooperaciniams rezultatams.

Tęstiniai kintamieji buvo pateikti kaip medianų ir interkvartilinių (angl. *interquartile, IQR*) reikšmių derinys dėl nenormalios jų sklaidos, o kategoriniai kintamieji – kaip absoliutūs skaičiai ir procentinės dalys. Shapiro–Wilk testas buvo naudojamas duomenų normalumui įvertinti. Skirtumams tarp nepriklausomų grupių (pvz., kairiosios širdies patologijos, ikikapiliarinės plaučtinės hipertenzijos ir kontrolinės grupės) nustatyti taikytas Mann–Whitney U testas arba Kruskal–Wallis testas, esant poreikiui – su poriniais post-hoc palyginimais. Priklausomiems (poriniams) duomenims, pvz., ikioperacinių ir pooperacinių echokardiografinių parametrų palyginimui, naudotas porinių imčių Wilcoxon testas (angl. *Related-Samples Wilcoxon Signed Rank Test*).

Kategorinių kintamųjų sąsajos buvo vertintos naudojant χ^2 testą arba Fisher tikslaus testo metodą, priklausomai nuo duomenų struktūros. Visų testų reikšmingumo lygmuo buvo $p < 0,05$, ir visi testai buvo dvipusiai.

Siekiant nustatyti funkcinio TVN sunkumo sąsajas, atlikta vienaveiksė ir daugiaveiksė logistinės regresijos analizė. Į daugiaveiksnį modelį buvo įtraukti tik tie rodikliai, kurių $p < 0,05$ vienaveiksėje analizėje, taikant „step-wise forward likelihood-ratio“ metodą. Rezultatai pateikti kaip šansų santykiai su 95 proc. pasikliautiniais intervalais. Atskirai buvo atliktos regresinės analizės visai fTVN imčiai ir kiekvienai etiologinei grupei.

Norint nustatyti echokardiografinius rodiklius, geriausiai prognozuojančius didelį fTVN, taikyta imties charakteristikų (ROC) kreivių analizė. Buvo apskaičiuotas plotas po ROC kreive (AUC), apibūdinantis rodiklio diskriminacinę gebą, o optimalios ribinės reikšmės nustatytos pagal Youden indeksą (J), siekiant maksimalaus jautrumo ir specifiškumo. Rodikliai, kurių $AUC > 0,70$, buvo įtraukti į regresinius modelius kaip potencialūs prognostiniai veiksniai.

Pacientų, kuriems buvo atlikta TV žiedo plastika, ikioperaciniai duomenys buvo lyginti tarp efektyviosios TV plastikos ir grįžtamojo TVN grupių. Pooperaciniai širdies remodeliavimosi ir funkcijos pokyčiai buvo vertinti taikant porinių imčių neparametrinius testus. Grįžtamojo TVN ($\geq 2/4$ laipsnio) ≥ 1 metų po operacijos prognostiniai veiksniai buvo nustatyti regresiniais modeliais, kuriuose įtraukti ikioperaciniai DP, DS ir TV geometrijos ir funkcijos rodikliai.

Rezultatai pateikti lentelėse ir paveiksluose, įskaitant ROC kreives bei regresinių koeficientų diagramas, iliustruojančias 2D ir 3D echokardiografinių rodiklių prognostinę vertę.

4. DARBO REZULTATAI

Darbo rezultatus suskirstėme į 2 dalis:

A. Funkcinio TVN vertinimas

B. Funkcinio TVN, sąlygoto kairiosios širdies patologijos, pooperaciniai rezultatai

A. Funkcinio TVN vertinimas

4.1. Tiriamųjų kontingentas, charakteristika

Moksliniame tyrime dalyvavo 128 pacientai, iš kurių 109 (85,16 proc.) buvo nustatytas vidutinis arba didelis funkcinis (antrinis) TVN ir 19 (14,84 proc.) tiriamųjų buvo be reikšmingos širdies vožtuvų pažaidos (kontrolinė grupė).

TVN grupės pacientai smulkiau suskirstyti į du pogrupius, remiantis skirtinga funkcinio TVN etiologija:

- 69 pacientai (63,3 proc.), kuriems funkcinis TVN sąlygotas kairiosios širdies patologijos, dėl kurios numatytas operacinis ydų gydymas (kairiosios širdies patologijos (KŠP) grupė), ir
- 40 pacientų (36,7 proc.), kuriems fTVN sąlygotas ikikapiliarinės plautinės hipertenzijos (plautinės hipertenzijos (PH) grupė).

Bendroje funkcinio TVN imtyje (KŠP ir PH grupėse) didelis TVN buvo nustatytas 34 (31,5 proc.) pacientams, vidutinis – 74 (68,5 proc.) pacientams.

Bendras tiriamųjų amžiaus vidurkis – $62,66 \pm 11,82$ m. Amžius, lytis, antropometriniai rodikliai tarp TVN ir kontrolinės grupių pateikti 4.1.1 lentelėje. 57,8 proc. tiriamųjų buvo moterys.

4.1.1 lentelė. Klinikiniai pacientų duomenys

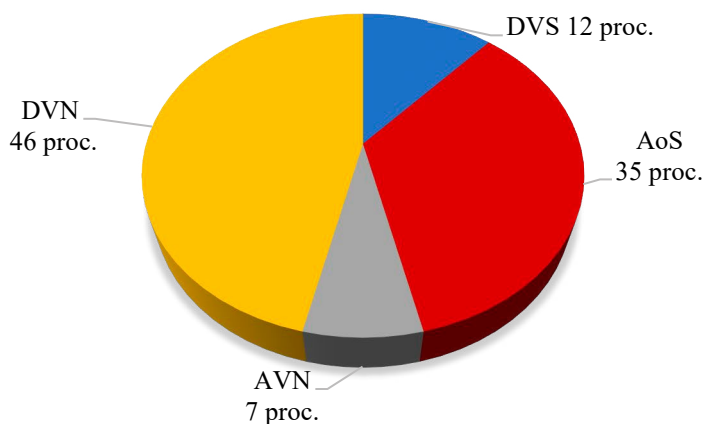
	KŠP	PH	Kontrolinė grupė	p reikšmė tarp KŠP ir PH	p reikšmė tarp KŠP ir kontrolinės grupės	p reikšmė tarp PH ir kontrolinės grupės
Klinikiniai duomenys						
Amžius, metai	68 (8,55)	58 (14,86)	62 (12,05)	0,001	0,029	0,629
Lytis, moterys, proc.	46,4	72,5	52,6	0,026	0,165	0,029
Kūno masės indeksas, kg/m ²	27,9 (5,06)	26,9 (6,14)	27,4 (4,51)	0,374	0,675	0,782

KŠP – kairiosios širdies patologija; PH – plautinė hipertenzija.

PH ir kontrolinės grupės pacientai buvo panašaus amžiaus, tuo tarpu KŠP grupės pacientai buvo vyresni, lyginant su PH ir kontroline grupėmis. PH grupėje buvo daugiau moterų, lyginant su KŠP ir kontroline grupėmis. Kontrolinės grupės pacientai atitiko PH grupę pagal amžių, o KŠP grupę – pagal lytį. Tarp PH, KŠP ir kontrolinės grupės tiriamųjų reikšmingų kūno paviršiaus ploto skirtumų nebuvo.

KŠP grupės tiriamųjų klinikinė charakteristika

Kairiosios širdies patologijos grupę sudarė: 32 pacientai, kuriems nustatytas didelis dviburio vožtuvo nesandarumas (DVN) (dažniausiai dėl DV prolapsu ir chordos plyšimo), 24 pacientams nustatyta didelė aortos vožtuvo stenozė, 8 – dviburio vožtuvo stenozė dėl reumato, ir 5 pacientams nustatytas didelis aortos vožtuvo nesandarumas (4.1.1 pav.).



4.1.1 pav. KŠP grupės tiriamųjų pasiskirstymas pagal vyraujančią kairiosios širdies ydą, dėl kurios numatytas operacinis gydymas

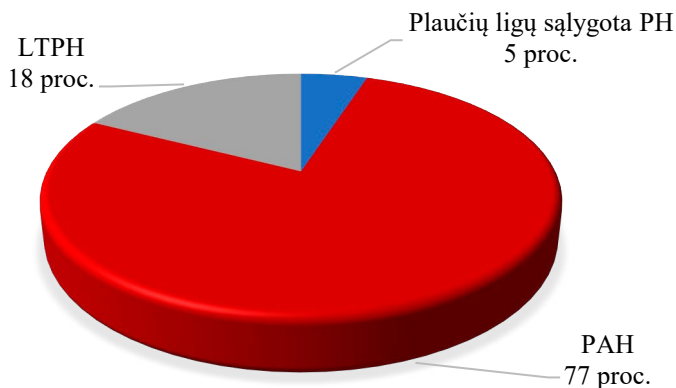
DVN – dviburio vožtuvo nesandarumas; DVS – dviburio vožtuvo stenozė; AoS – aortos vožtuvo stenozė; AVN – aortos vožtuvo nesandarumas.

Didelis TV nesandarumas nustatytas 20 (29 proc.) KŠP grupės pacientų, vidutinis – 49 (71 proc.) pacientams.

PH grupės tiriamųjų klinikinė charakteristika

Plautinės hipertenzijos grupę sudarė: 31 pacientas, kuriam nustatyta I grupės plaučių arterinė hipertenzija (PAH) (iš jų 24 (77,42 proc.) pacientams buvo diagnozuota idiopatinė PAH, 5 (16,13 proc.) – su sklerodermija susijusi PAH, 2 (6,45 proc.) – portopulmoninė PAH), 6 pacientams nustatyta lėtinė tromboembolinė PH, ir 2 – lėtinės obstrukcinės plaučių ligos sukelta PH (4.1.2 pav.).

Didelis TVN nustatytas 14 (35 proc.) PH grupės pacientų, vidutinis – 26 (65 proc.) pacientams.



4.1.2 pav. PH grupės tiriamųjų pasiskirstymas pagal PH priežastį

PAH – plaučių arterinė hipertenzija; LTPH – lėtinė tromboembolinė plautinė hipertenzija.

4.2. Funkcinio TVN ir kontrolinės grupės tiriamųjų širdies geometrijos ir funkcijos rodiklių palyginimas

4.2.1. Kairiosios širdies geometrijos ir funkcijos palyginimas tarp grupių

4.2.1.1 lentelėje pateiktas kairiosios širdies echokardiografinių rodiklių palyginimas tarp grupių. Nepaisant normalizacijos pagal kūno paviršiaus plotą, visi kairiojo skilvelio (KS) ir kairiojo prieširdžio (KP) geometriniai rodikliai (tiek skersmenys, tiek tūriai) sistolėje ir diastolėje buvo didesni KŠP grupėje, palyginus su PH ir kontroline grupėmis. KS išstūmio frakcija buvo reikšmingai mažesnė abiejose fTVN (KŠP ir PH) grupėse, palyginus su kontroline grupe, tačiau KS IF tarp KŠP ir PH grupių tiriamųjų nesiskyrė (52 ir 51 proc., atitinkamai, $p = 0,928$) (4.2.1.1 lentelė).

4.2.1.1 lentelė. Kairiosios širdies geometrijos ir funkcijos rodiklių palyginimas tarp grupių

	KŠP	PH	Kontrolinė grupė	p-reikšmė tarp KŠP ir PH	p reikšmė tarp KŠP ir kontrolinės grupės	p reikšmė tarp PH ir kontrolinės grupės
KS geometrijos ir funkcijos rodikliai						
KSGDD, mm	56 (10,5)	43 (9)	45 (7)	< 0,001	< 0,001	0,54
KSGDDi, mm/m ²	27,92 (5,99)	22,77 (5,16)	23,11 (3,32)	< 0,001	< 0,001	0,91
KS ilgis diastolėje, mm	77 (12,5)	69 (18)	72 (13,25)	< 0,001	0,131	0,193
KS ilgis sistolėje, mm	64 (14)	58,5 (17,5)	58,5 (12,5)	< 0,001	0,008	0,835
KSGDT, ml	135 (65,92)	82 (45,96)	107 (66,32)	< 0,001	0,042	0,042
KSGDTi, ml/m ²	69,96 (27,73)	42,72 (24,61)	57,45 (16,55)	< 0,001	0,019	0,068
KSGST, ml	70 (51,87)	42,4 (24,5)	42,92 (29,54)	< 0,001	0,006	0,361
KSGSTi, ml/m ²	34,38 (24,37)	22,01 (12,99)	22,98 (9,49)	< 0,001	0,002	0,585
IF, proc.	52,23 (18,63)	51,42 (6,44)	56,33 (7,12)	0,841	0,001	0,003
KP geometrijos rodikliai						
KP skersmuo, mm	48 (8)	37,5 (8,5)	37 (7)	< 0,001	< 0,001	0,196
KP ilgis, mm	66 (14,75)	58 (7,75)	55,5 (11)	< 0,001	< 0,001	0,062
KP plotas, cm ²	32 (10,97)	19,61 (9,29)	18,1 (6,5)	< 0,001	< 0,001	0,366
KP tūris, ml	112 (66,74)	52,79 (40,52)	52 (28,5)	< 0,001	< 0,001	0,429
KP tūrio indeksas, ml/m ²	58,82 (32,21)	28,92 (16,53)	26,95 (10,72)	< 0,001	< 0,001	0,268

KŠP – kairiosios širdies patologija; PH – plautinė hipertenzija; KSGDD – kairiojo skilvelio galinis diastolinis skersmuo; KSGDDi – kairiojo skilvelio galinio diastolinio skersmens indeksas; KS – kairysis skilvelis; KSGDT – kairiojo skilvelio galinis diastolinis tūris; KSGDTi – kairiojo skilvelio galinio diastolinio tūrio indeksas; KSGST – kairiojo skilvelio galinis sistolinis tūris; KSGSTi – kairiojo skilvelio galinio sistolinio tūrio indeksas; IF – išstūmio frakcija; KP – kairysis prieširdis.

4.2.2. Dešinėsios širdies geometrijos ir funkcijos palyginimas tarp grupių

Dešinėsios širdies geometrijos ir funkcijos rodikliai, esant skirtingai fTVN etiologijai, pateikti 4.2.2.1 lentelėje ir 4.2.2.1 ir 4.2.2.2 pav. Visi DP ir DS geometrijos rodikliai buvo didesni fTVN grupėse, palyginus su kontrolinės grupės tiriamaisiais.

Nors DP plotas ir tūris bei TVN sunkumas (pamatuotas kiekybiškai) tarp fTVN grupių nesiskyrė (DP ploto $p = 0,484$, DP tūrio $p = 0,286$ ir TVN ERA $p = 0,464$), buvo nustatyti DS geometrijos ir funkcijos rodiklių skirtumai (4.2.2.1 lentelė).

PH susijusi su didesniais DS pamatiniu, viduriniu ir priekrūtinkauliniu skersmenimis, DS ilgiu bei didesniais DS galiniu diastoliniu ir sistoliniu plotu bei tūriu, palyginus su KŠP grupe. DS sferiškumo indeksas taip pat buvo reikšmingai didesnis PH grupėje, palyginus su KŠP grupės tiriamaisiais (4.2.2.1 pav.)

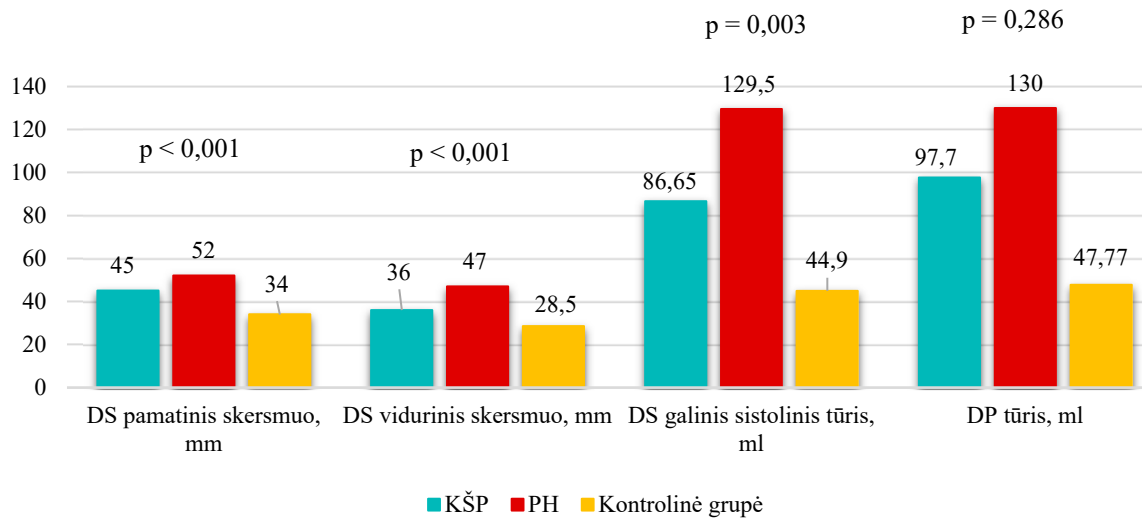
4.2.2.1 lentelė. Dešinėsios širdies geometrijos ir funkcijos echokardiografinių rodiklių palyginimas tarp grupių

	KŠP	PH	Kontrolinė grupė	p reikšmė tarp KŠP ir PH	p reikšmė tarp KŠP ir kontrolinės grupės	p reikšmė tarp PH ir kontrolinės grupės
PA spaudimas (PAS)						
Didžiausias sistolinis PAS, mm Hg	53,44 (23,25)	73,16 (38,48)	24,16 (5,4)	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Vidutinis PAS, mm Hg	38 (11,75)	42 (7,5)	14 (9)	0,001	< 0,001	< 0,001
PA skersmuo, mm	27 (4)	31 (6,5)	21 (4)	< 0,001	< 0,001	< 0,001
DP geometrijos rodikliai						
DP skersmuo, mm	50 (9)	56,5 (15,75)	38 (5)	0,004	< 0,001	< 0,001
DP skersmens indeksas, mm/m ²	25,63 (6,29)	28,49 (12,69)	19,89 (3,53)	0,001	< 0,001	< 0,001
DP ilgis, mm	62 (11,5)	62 (15,75)	52,5 (7,25)	0,409	< 0,001	< 0,001
DP plotas, cm ²	27,8 (10,18)	30,89 (13,17)	17,3 (5,4)	0,484	< 0,001	< 0,001
DP ploto indeksas, cm ² /mm ²	14,44 (5,53)	15,62 (7,64)	8,45 (1,89)	0,235	< 0,001	< 0,001
DP tūris, ml	97,7 (59,26)	130 (70,75)	47,77 (21)	0,286	< 0,001	< 0,001
2D DS geometrijos ir funkcijos rodikliai						
DS priekrūtinkaulinis diastolinis skersmuo, mm	36 (7,5)	40 (8,5)	31 (6,5)	0,019	0,003	< 0,001
DS priekrūtinkaulinis sistolinis skersmuo, mm	27 (8)	33,5 (8,75)	21,5 (8)	0,006	< 0,001	< 0,001
DS pamatinis skersmuo, mm	45 (7)	52 (11,75)	34 (5)	0,001	< 0,001	< 0,001
DS pamatinio skersmens indeksas, mm/m ²	24 (4,59)	27,55 (7,16)	17,96 (3,96)	< 0,001	< 0,001	< 0,001
DS vidurinis skersmuo, mm	36 (9,25)	47 (12,5)	28,5 (3,25)	< 0,001	0,001	< 0,001
DS vidurinio skersmens indeksas, mm/m ²	17,93 (5,02)	26,3 (9,63)	15,34 (1,82)	< 0,001	< 0,001	< 0,001
DS ilgis, mm	63 (17,5)	71 (8,72)	66 (11,5)	< 0,001	0,504	0,043
DS sferiškumo indeksas, proc.	0,57 (0,17)	0,66 (0,19)	0,44 (0,06)	< 0,001	< 0,001	< 0,001

4.2.2.1 lentelės tęsinys

	KŠP	PH	Kontrolinė grupė	p reikšmė tarp KŠP ir PH	p reikšmė tarp KŠP ir kontrolinės grupės	p reikšmė tarp PH ir kontrolinės grupės
DS galinis diastolinis plotas, cm ²	22 (10,44)	31,14 (15,57)	17,6 (4,98)	< 0,001	0,028	< 0,001
DS galinio diastolinio ploto indeksas, cm ² /m ²	11,14 (5,49)	17,67 (8,02)	9,5 (2,08)	< 0,001	0,017	< 0,001
DS galinis sistolinis plotas, cm ²	14 (7,12)	23,1 (14,1)	10 (3,4)	< 0,001	0,002	< 0,001
DS galinio sistolinio ploto indeksas, cm ² /m ²	7,06 (3,63)	12,92 (7,41)	5,14 (1,41)	< 0,001	0,001	< 0,001
FPP, proc.	32 (1)	25 (1)	43 (8)	< 0,001	< 0,001	< 0,001
TVŽJA, mm	17,5 (5,5)	16 (5,25)	24 (7)	0,054	< 0,001	< 0,001
DS S', cm/s	10 (5)	9 (2,75)	12 (4,5)	0,039	0,007	< 0,001
DS pertvaros išilginė įtampa, proc.	– 10,7 (4,75)	– 11 (3,9)	– 21,1 (3,9)	0,909	< 0,001	< 0,001
DS šoninės sienelės išilginė įtampa, proc.	– 20,15 (6,3)	– 16,6 (6,3)	– 25,8 (3,2)	0,028	< 0,001	< 0,001
3D DS geometrijos ir funkcijos rodikliai						
DS galinis diastolinis tūris, ml	147,05 (103,08)	182,75 (105,03)	85,5 (86,75)	0,007	0,003	< 0,001
DS galinis sistolinis tūris, ml	86,65 (65,23)	129,5 (76,68)	44,9 (46,9)	0,003	< 0,001	< 0,001
DS IF, proc.	40,5 (6,73)	30,85 (10,48)	49,8 (5,85)	0,001	< 0,001	< 0,001

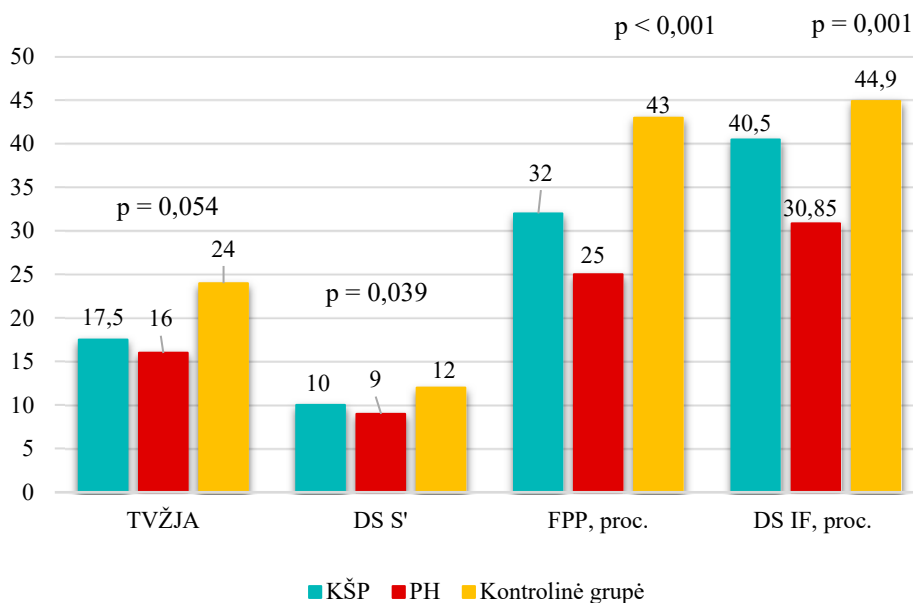
KŠP – kairiosios širdies patologija; PH – plautinė hipertenzija; TV – triburis vožtuvas; PAS – plaučių arterijos spaudimas; PA – plaučių arterija; DP – dešinysis prieširdis; DS – dešinysis skilvelis; FPP – frakcijinis ploto pokytis; TVŽJA – triburio vožtuvo žiedo judesio amplitudė; IF – išstūmio frakcija.



4.2.2.1 pav. Dešinėsios širdies geometrijos rodiklių palyginimas tarp grupių tiriamųjų

Blogesni DS funkciniai rodikliai buvo abiejose fTVN grupėse, palyginus su kontroline grupe.

Lyginant skirtingos etiologijos fTVN grupes, nustatyta, kad ikikapiliarinės PH grupės tiriamiesiems būdingi reikšmingai blogesni DS funkciniai rodikliai (S', FPP, DS IF), mažesnė DS šoninės sienelės išilginė įtampa, taip pat didesnis sistolinis ir vidutinis spaudimas plaučių arterijoje, palyginti su KŠP grupės tiriamaisiais (4.2.2.1 lentelė ir 4.2.2.2 pav.).



4.2.2.2 pav. Dešiniojo skilvelio funkcijos rodiklių palyginimas tarp grupių

TVŽJA – triburio vožtuvo žiedo judesio amplitudė; FPP – frakcijinis ploto pokytis; IF – išstūmio frakcija.

4.2.3. Triburio vožtuvo geometrijos palyginimas tarp grupių

Visi 2D ir 3D TV geometrijos parametrai buvo didesni fTVN grupėse, palyginus su kontrolinės grupės tiriamaisiais (4.2.3.1 lentelė). TVN sunkumas abiejose fTVN grupėse nesiskyrė (TVN ERA $p = 0,464$).

4.2.3.1 lentelė. 2D ir 3D TV geometrijos echokardiografinių rodiklių palyginimas tarp grupių

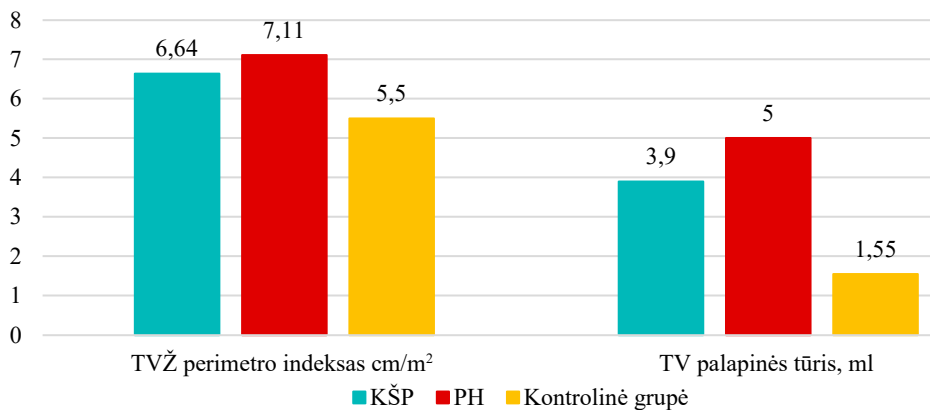
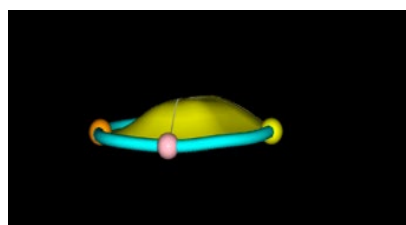
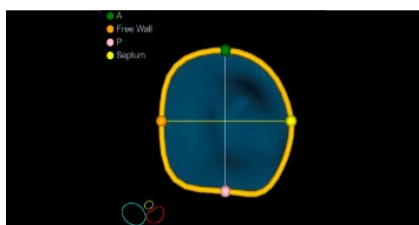
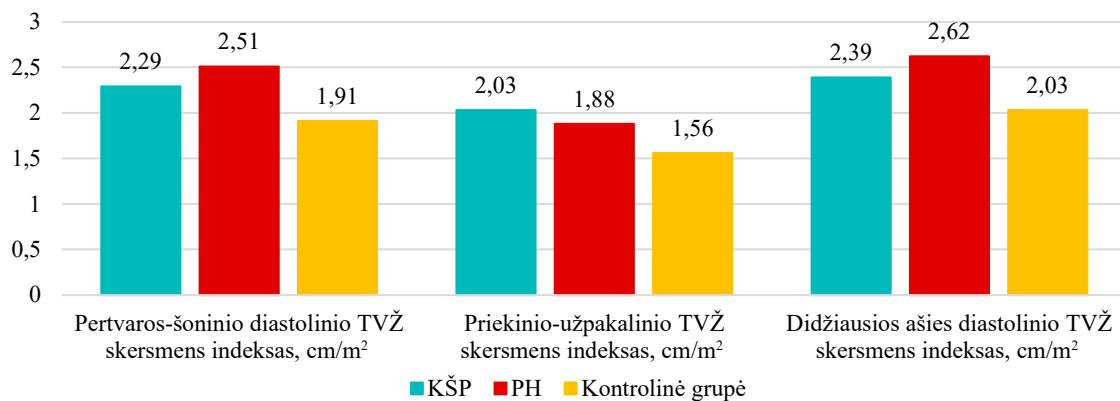
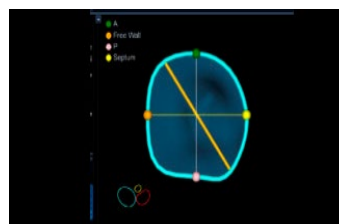
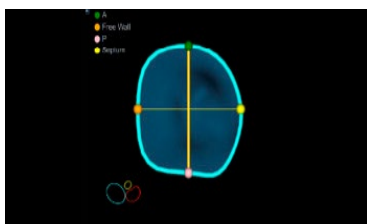
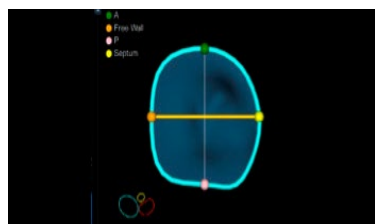
	KŠP	PH	Kontrolinė grupė	p reikšmė tarp KŠP ir PH	p reikšmė tarp KŠP ir kontrolinės grupės	p reikšmė tarp PH ir kontrolinės grupės
2D TV geometrijos rodikliai						
TVŽ diastolinis skersmuo, mm	43 (5)	43 (5,5)	32 (6,25)	0,604	< 0,001	< 0,001
TVŽ diastolinio skersmens indeksas, mm/m ²	21,86 (3,4)	23,22 (5,53)	17,09 (2,95)	0,061	< 0,001	< 0,001
TVŽ sistolinis skersmuo, mm	39 (5,5)	40 (4,75)	29 (6,13)	0,73	< 0,001	< 0,001
TVŽ sistolinio skersmens indeksas, mm/m ²	20 (2,54)	21,25 (5,27)	15,62 (2,42)	0,102	< 0,001	< 0,001
TV burių nutempimo aukštis, mm	5,5 (2,3)	7,8 (3,7)	3,3 (2)	< 0,001	< 0,001	< 0,001
TV palapinės plotas, cm ²	1,25 (0,7)	1,79 (1,04)	0,68 (0,32)	< 0,001	< 0,001	< 0,001
TV ERA, mm ²	28,94 (20,97)	29,96 (23,76)		0,464		
3D TV geometrijos rodikliai						
TVŽ plotas, cm ²	14,3 (4,4)	13,2 (3,4)	8,1 (0,93)	0,649	< 0,001	< 0,001
TVŽ ploto indeksas (cm ² /m ²)	7,13 (2,25)	6,88 (2,17)	4,45 (0,97)	0,713	< 0,001	< 0,001
TVŽ perimetras, mm	130 (23)	133 (17)	102 (7,5)	0,979	< 0,001	< 0,001
TVŽ perimetro indeksas (cm/m ²)	66,4 (15,8)	71,1 (19,3)	55 (9,8)	0,065	0,004	< 0,001
Pertvaros–šoninis sistolinis TVŽ skersmuo, mm	42 (5)	44 (7)	33,5 (4,5)	0,37	< 0,001	< 0,001
Pertvaros–šoninio sistolinio TVŽ skersmens indeksas, cm/m ²	21,5 (3,1)	23,6 (7,1)	18,1 (2,7)	0,021	0,003	< 0,001
Pertvaros–šoninis diastolinis TVŽ skersmuo, mm	45 (5)	46 (7)	36,5 (5,8)	0,329	< 0,001	< 0,001
Pertvaros–šoninio diastolinio TVŽ skersmens indeksas, cm/m ²	22,9 (4)	25,1 (4,9)	19,1 (1,8)	0,023	0,006	< 0,001
Priekinis–užpakalinis TVŽ skersmuo, mm	40 (8)	35 (7)	28 (4,5)	0,037	< 0,001	< 0,001
Priekinio–užpakalinio TVŽ skersmens indeksas, mm/m ²	20,3 (4,7)	18,8 (5,5)	15,6 (4,5)	0,411	< 0,001	0,003

4.2.3.1 lentelės tęsinys

	KŠP	PH	Kontrolinė grupė	p reikšmė tarp KŠP ir PH	p reikšmė tarp KŠP ir kontrolinės grupės	p reikšmė tarp PH ir kontrolinės grupės
Didžiausios ašies sistolinis TVŽ skersmuo, mm	46 (5)	46 (6)	36 (2,8)	0,791	< 0,001	< 0,001
Didžiausios ašies sistolinio TVŽ skersmens indeksas, mm/m ²	23,2 (4,7)	25 (5,2)	20,1 (1,9)	0,074	0,003	< 0,001
Didžiausios ašies diastolinis TVŽ skersmuo, mm	48 (6,5)	48 (8)	39,5 (5)	0,777	< 0,001	< 0,001
Didžiausios ašies diastolinio TVŽ skersmens indeksas, mm/m ²	23,9 (4,4)	26,2 (5,2)	20,3 (2,8)	0,044	0,006	< 0,001
Mažiausios ašies diastolinis TVŽ skersmuo, mm	39 (8)	36 (6)	27 (3,5)	0,222	< 0,001	< 0,001
Mažiausios ašies diastolinio TVŽ skersmens indeksas, mm/m ²	19,8 (4,4)	19,7 (5,9)	15,2 (3,7)	0,908	< 0,001	< 0,001
TV burių koaptacijos taško aukštis, mm	9 (5,5)	13 (3)	6,5 (2)	< 0,001	0,012	< 0,001
TV palapinės tūris, ml	3,9 (2)	5 (2,9)	1,55 (0,25)	0,025	< 0,001	< 0,001
TV sferiškumo indeksas, proc.	83,67 (11,33)	80 (14,04)	73,61 (12,4)	0,04	0,002	0,13

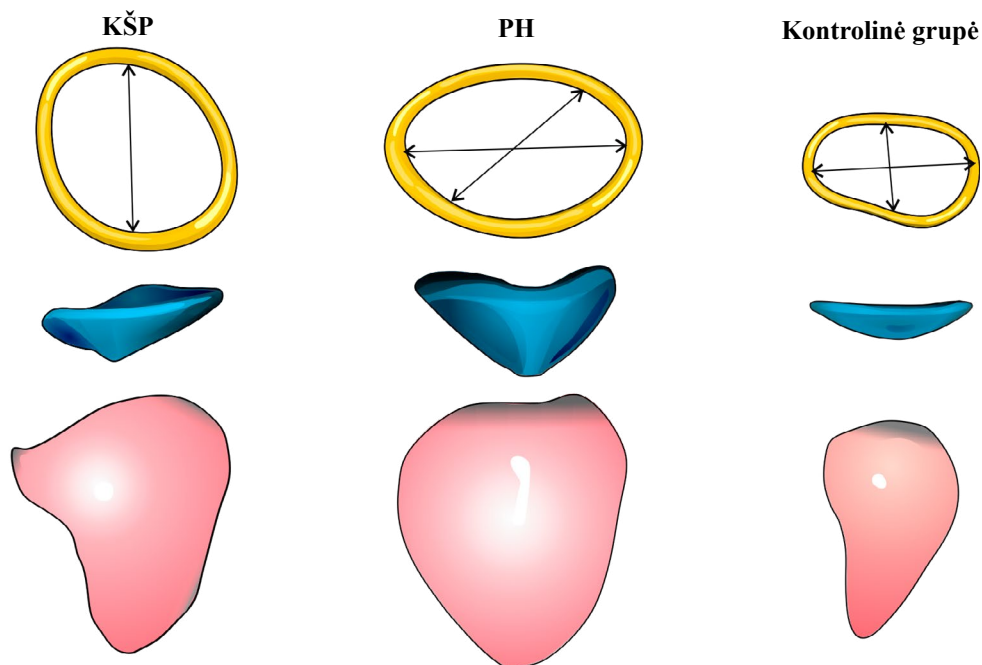
KŠP – kairiosios širdies patologija; PH – plautinė hipertenzija; TV – triburis vožtuvas; TVŽ – triburio vožtuvo žiedas; ERA – efektyvioji regurgitacijos anga.

Abiejose fTVN grupėse TVŽ diastolinis 4 ertmių skersmuo (2D) buvo 34 proc. didesnis nei kontrolinės grupės tiriamųjų (4.2.3.1 lentelė). Atlikus 3D TV geometrijos analizę, nustatyta, kad TVŽ plotas buvo 77 proc. didesnis KŠP ir 63 proc. didesnis PH, o didžiausios ašies TVŽ skersmuo 28 proc. didesnis abiejose fTVN grupėse, palyginus su kontroline grupe. Vertinant TV burių nutempimą, TV palapinės tūris buvo 152 proc. didesnis KŠP ir 222 proc. PH grupėje, palyginus su sveikais kontrolinės grupės tiriamaisiais (4.2.3.1 lentelė ir 4.2.3.1 pav.).



4.2.3.1 pav. TVŽ geometrijos palyginimas tarp grupių

Nors 2D pamatuotas TV žiedo sistolinis ir diastolinis skersmenys tarp fTVN grupių reikšmingai nesiskyrė, 3D echokardiografinė TVŽ analizė atskleidė papildomos ir tikslesnės informacijos. KŠP etiologija buvo susijusi su didesniu priekiniu–užpakaliniu TVŽ skersmenimis ir didesniu TVŽ sferiškumo indeksu, palyginus su PH grupe (4.2.3.1 lentelė). Ikikapiliarinė PH buvo susijusi su didesniu TVŽ sistoliniu ir diastoliniu pertvaros–šoniniu ir didžiausios ašies diastoliniu skersmenimis. PH grupėje taip pat buvo nustatytas didesnis TV burių nutempimas, palapinės plotas ir tūris (4.2.3.2 pav.).



4.2.3.2 pav. DS remodeliacija bei TV pokyčiai tarp fTVN ir kontrolinės grupių

Apibendrinant:

Nors TVN sunkumas tarp KŠP ir PH grupių tiriamųjų nesiskyrė, PH buvo susijusi su didesniais DS skersmenimis, plotais, tūriais, blogesniais DS įtampos ir funkcijos rodikliais bei didesniais TVŽ pertvaros–šoniniu, didžiausios ašies skersmenimis, TV burių nutempimu, palapinės plotu ir tūriu, palyginus su KŠP grupės tiriamaisiais. KŠP etiologija buvo susijusi su didesniu priekiniu–užpakaliniu TVŽ skersmeniu ir didesniu TVŽ sferiškumo indeksu (4.2.3.2 pav.).

4.3. Triburio vožtuvo ir dešiniojo skilvelio 3D geometrijos ryšys su fTVN sunkumu

4.3.1. TV ir dešiniojo skilvelio 3D geometrijos ryšys su fTVN sunkumu bendroje fTVN imtyje

Siekiant įvertinti TVN sunkumo įtaką TV geometrijai ir dešinėsios širdies remodeliavimuisi, buvo atlikta regresinė analizė. Analizuoti 35 (32 proc.) pacientų, kuriems nustatytas didelis fTVN, ir 74 (68 proc.) pacientų, kuriems diagnozuotas vidutinis funkcinis TVN, duomenys, atlikta ROC analizė (4.3.1.1 lentelė).

4.3.1.1 lentelė. Visos fTVN imties TVN sunkumo ROC analizė

Rodikliai	AUC	95 proc. PI	p reikšmė	J indeksas
2D DS geometrijos ir funkcijos rodikliai				
DS pamatinis skersmuo, mm	0,767	0,675–0,860	< 0,001	0,437
DS vidurinis skersmuo, mm	0,744	0,651–0,837	< 0,001	0,392
DS ilgis, mm	0,664	0,554–0,773	0,006	0,258
DS sferiškumo indeksas, proc.	0,645	0,527–0,763	0,016	0,295
DS galinis diastolinis plotas, cm ²	0,724	0,621–0,827	< 0,001	0,407
DS galinis sistolinis plotas, cm ²	0,729	0,629–0,828	< 0,001	0,370
FPP, proc.	0,687	0,579–0,794	0,002	0,375
TVŽJA, mm	0,683	0,574–0,791	0,003	0,304
DS S', cm/s	0,629	0,519–0,739	0,032	0,231
DS pertvaros išilginė įtampa, proc.	0,550	0,276–0,824	0,734	0,200
DS šoninės sienelės išilginė įtampa, proc.	0,450	0,176–0,724	0,734	0,100
2D TV geometrijos rodikliai				
TVŽ diastolinis skersmuo, mm	0,725	0,529–0,821	< 0,001	0,356
TVŽ diastolinio skersmens indeksas, mm/m ²	0,697	0,590–0,805	0,001	0,362
TVŽ sistolinis skersmuo, mm	0,688	0,587–0,789	0,002	0,272
TVŽ sistolinio skersmens indeksas, mm/m ²	0,673	0,562–0,783	0,004	0,301
3D DS geometrijos ir funkcijos rodikliai				
DS galinis diastolinis tūris, ml	0,645	0,525–0,764	0,034	0,288
DS galinis sistolinis tūris, ml	0,666	0,547–0,785	0,015	0,299
DS IF, proc.	0,700	0,581–0,818	0,003	0,379
3D TV geometrijos rodikliai				
TVŽ plotas, cm ²	0,738	0,623–0,854	< 0,001	0,412
TVŽ ploto indeksas (cm ² /m ²)	0,688	0,563–0,812	0,006	0,379
TVŽ perimetras, mm	0,735	0,616–0,854	0,001	0,396
TVŽ perimetro indeksas (cm/m ²)	0,674	0,552–0,797	0,011	0,275

4.3.1.1 lentelės tęsinys

Rodikliai	AUC	95 proc. PI	p reikšmė	J indeksas
Pertvaros–šoninis sistolinis TVŽ skersmuo, mm	0,826	0,734–0,917	< 0,001	0,456
Pertvaros–šoninio sistolinio TVŽ skersmens indeksas, cm/m ²	0,724	0,610–0,837	0,001	0,390
Pertvaros–šoninis diastolinis TVŽ skersmuo, mm	0,805	0,706–0,904	< 0,001	0,440
Pertvaros–šoninio diastolinio TVŽ skersmens indeksas, mm/m ²	0,677	0,556–0,799	0,009	0,352
Priekinis–užpakalinis TVŽ skersmuo, mm	0,691	0,569–0,813	0,005	0,385
Priekinio–užpakalinio TVŽ skersmens indeksas, mm/m ²	0,643	0,52 –0,766	0,035	0,335
Didžiausios ašies sistolinis TVŽ skersmuo, mm	0,816	0,718–0,913	< 0,001	0,533
Didžiausios ašies sistolinio TVŽ skersmens indeksas, mm/m ²	0,679	0,557–0,801	0,008	0,299
Didžiausios ašies diastolinis TVŽ skersmuo, mm	0,812	0,710–0,914	< 0,001	0,574
Didžiausios ašies diastolinio TVŽ skersmens indeksas, mm/m ²	0,682	0,561–0,804	0,007	0,283
Mažiausios ašies TVŽ skersmuo, mm	0,657	0,525–0,788	0,021	0,275
Mažiausios ašies TVŽ skersmens indeksas, mm/m ²	0,609	0,471–0,747	0,111	0,242
TV burių koaptacijos taško aukštis, mm	0,577	0,443–0,712	0,256	0,132
TV palapinės tūris, ml	0,708	0,583–0,833	0,002	0,385
TV sferiškumo indeksas, proc.	0,623	0,499–0,746	0,072	0,294

TV – triburis vožtuvas; TVŽ – triburio vožtuvo žiedas; DS – dešinysis skilvelis; FPP – frakcinis ploto pokytis; TVŽJA – triburio vožtuvo žiedo judesio amplitudė; IF – išstūmio frakcija.

Didžiausia verte, prognozuojant didelį fTVN, pasižymėjo DS pamatinis skersmuo (AUC 0,767), DS vidurinis skersmuo (0,744), DS sistolinis ir diastolinis plotai (atitinkamai jų AUC 0,729 ir 0,724), bei diastolinis ir sistolinis TVŽ skersmenys (AUC 0,725 ir 0,688), išmatuoti dvimatės echokardiografijos metodu. Nustatytos 3D echokardiografija pamatuotų TV geometrijos rodiklių prognozinės vertės didelio fTVN išsivystymui: sistolinio ir diastolinio pertvaros–šoninio TVŽ skersmenų (atitinkamai jų AUC 0,826 ir 0,805), sistolinio ir diastolinio didžiausios ašies TVŽ skersmens (AUC 0,816 ir 0,812), TVŽ ploto ir perimetro (atitinkamai jų AUC 0,738 ir 0,735) bei TVŽ palapinės tūrio (AUC 0,708).

Rodikliai, kurių AUC > 0,7, buvo įtraukti į tolesnę analizę. Vienaveiksnės ir daugiaveiksnės analizės rezultatai pateikti 4.3.1.2 lentelėje.

4.3.1.2 lentelė. Visos fTVN imties DS ir TV geometrijos rodiklių ryšys su fTVN sunkumu (dideliu TVN)

	Vienaveiksnė			Daugiaveiksnė		
	ŠS	95 proc. PI	P reikšmė	ŠS	95 proc. PI	P reikšmė
3D TV geometrijos rodikliai						
TVŽ plotas, cm ²	1,434	1,163–1,769	< 0,001			
TVŽ perimetras, mm	1,058	1,021–1,096	0,002	0,421	0,221–0,975	0,042
Pertvaros–šoninis sistolinis TVŽ skersmuo, mm	1,507	1,233–1,842	< 0,001	1,651	1,042–2,385	0,028
Pertvaros–šoninis diastolinis TVŽ skersmuo, mm	1,431	1,193–1,718	< 0,001			
Didžiausios ašies sistolinis TVŽ skersmuo, mm	1,386	1,176–1,632	< 0,001			
Didžiausios ašies diastolinis TVŽ skersmuo, mm	1,363	1,165–1,594	< 0,001			
TV palapinės tūris, ml	1,580	1,177–2,120	0,002			
2D TV geometrijos rodikliai						
4 ertmių sistolinis skersmuo, mm	1,255	1,106–1,424	< 0,001			
DS geometrijos ir funkcijos rodikliai						
DS pamatinis skersmuo, mm	1,149	1,073–1,230	< 0,001	1,198	1,021–1,409	0,029
DS vidurinis skersmuo, mm	1,083	1,036–1,133	< 0,001			
DS galinis diastolinis plotas, cm ²	1,096	1,042–1,152	< 0,001			
DS galinis sistolinis plotas, cm ²	1,112	1,050–1,178	< 0,001			
DS IF, proc.	0,911	0,855–0,971	0,004			

TV – triburis vožtuvas; TVŽ – triburio vožtuvo žiedas; DS – dešinysis skilvelis; IF – išstūmio frakcija.

Įrodyta, kad tiek TV ploto, tiek ilgio, tiek tūrio parametrai pasižymi prognozinė reikšme fTVN sunkumui nustatyti. Iš visų DS ir TV žiedo rodiklių didžiausia didelio fTVN prognozinė vertė pasižymėjo TVŽ palapinės tūris (ŠS 1,580, PI 1,177–2,120, p = 0,002), sistolinis pertvaros–šoninis TVŽ skersmuo (ŠS 1,507, PI 1,233–1,842, p < 0,001) ir TVŽ plotas (ŠS 1,434, PI 1,163–1,769, p < 0,001) (4.3.1.2 lentelė).

3D echokardiografiniai TVŽ skersmenų pokyčiai geriau prognozavo fTVN sunkumą nei TVŽ skersmenys pamatuoti įprasta 2D – echokardiografija (3D pertvaros–šoninio sistolinio skersmens ŠS 1,507, kai 2D 4 ertmių

sistolinio skersmens ŠS 1,255). Tačiau tik 3D echokardiografija pamatuoti pertvaros–šoninis sistolinis skersmuo (ŠS 1,651, PI 1,042–2,385, $p = 0,028$) ir TVŽ perimetras (ŠS 0,421, PI 0,221–0,975, $p = 0,042$) buvo nepriklausomi TVN sunkumo prognoziniai rodikliai, kai analizė buvo atlikta kartu su dešiniojo skilvelio geometrijos ir funkcijos parametrais. Iš DS echokardiografinių rodiklių daugiaveiksnėje analizėje nepriklausomas TVN sunkumo prognozinis rodmuo buvo tik DS pamatinis skersmuo (ŠS 1,198, PI 1,021–1,409, $p = 0,029$).

4.3.2. Didelio fTVN prognoziniai rodikliai, esant skirtingai fTVN etiologijai

Norėdami įvertinti, kurie TV ir dešinėsios širdies echokardiografiniai rodikliai geriausiai galėjo prognozuoti didelio TVN išsivystymą skirtingos fTVN etiologijos grupėse, atlikome ROC analizę, kurios rezultatai yra pateikti 4.3.2.1 lentelėje ir 4.3.2.1 pav.

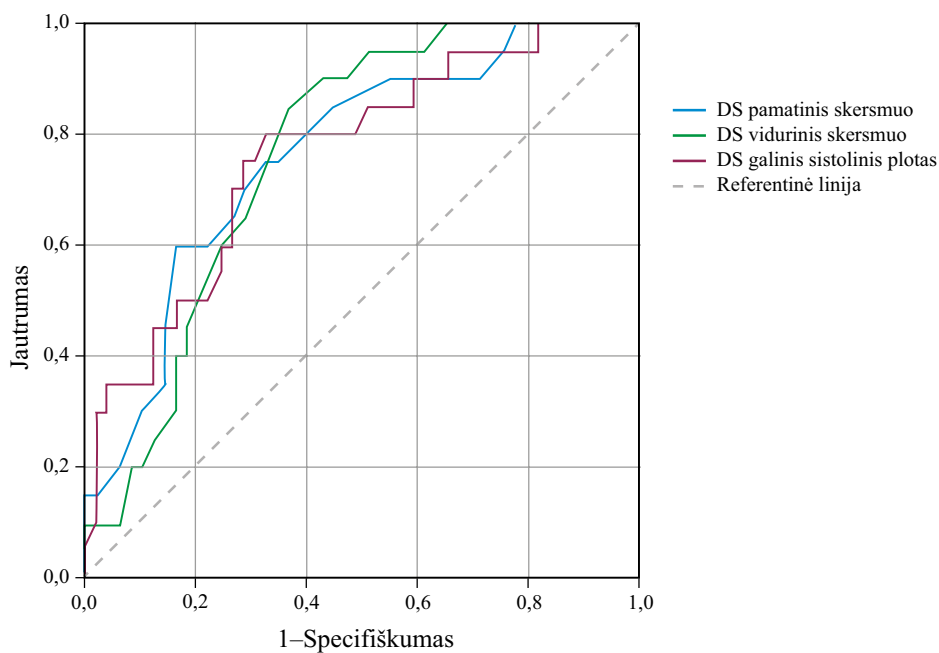
4.3.2.1 lentelė. Didelio fTVN prognoziniai rodikliai, esant skirtingai fTVN etiologijai

KŠP						PH				
Rodikliai	AUC	p reikšmė	Cut-off	Jautrumas	Specifiškumas	AUC	p reikšmė	Cut-off	Jautrumas	Specifiškumas
3D TV geometrijos rodikliai										
TVŽ perimetras, mm	0,653	0,07				0,906	<0,001	134	82	81
TVŽ plotas cm ²	0,678	0,04	14	65	61	0,886	<0,001	13	82	81
TV palapinės tūris, ml	0,627	0,14				0,824	<0,001	4.8	82	63
Pertvaros–šoninis sistolinis TVŽ skersmuo, mm	0,761	<0,001	43	71	61	0,898	<0,001	45	82	81
Pertvaros–šoninis diastolinis TVŽ skersmuo, mm	0,754	<0,001	45	71	56	0,864	<0,001	46	82	69
Priekinis–užpakalinis TVŽ skersmuo, mm	0,676	0,04	40	65	56	0,741	0,04	36	64	63
Didžiausios ašies sistolinis TVŽ skersmuo, mm	0,747	<0,001	47	76	67	0,929	<0,001	47	91	81
Didžiausios ašies diastolinis TVŽ skersmuo, mm	0,738	0,01	49	76	64	0,912	<0,001	50	91	88
2D TV geometrijos rodikliai										
4 ertmių sistolinis TVŽ skersmuo, mm	0,706	0,008	43	70	55	0,741	0,013	44	71	64
4 ertmių diastolinis TVŽ skersmuo, mm	0,656	0,043	39	75	45	0,719	0,025	41	64	64
DS geometrijos ir funkcijos rodikliai										
DS pamatinis skersmuo, mm	0,765	<0,001	46	75	67	0,774	0,005	52	79	60
DS vidurinis skersmuo, mm	0,768	<0,001	36	85	63	0,790	0,003	48	71	64
DS ilgis, mm	0,709	0,01	64	65	61	0,546	0,639			

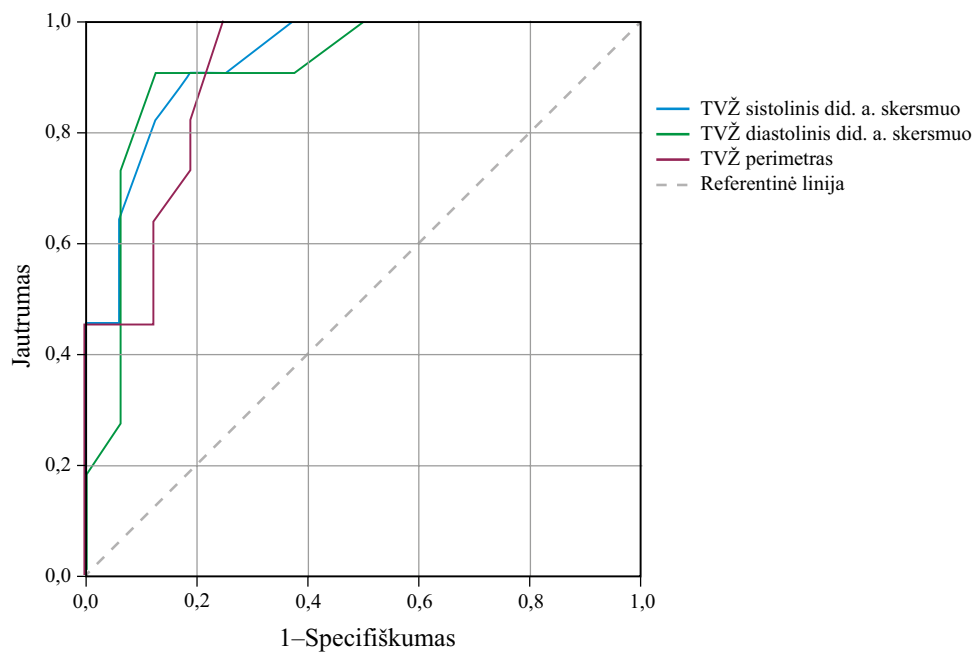
4.3.2.1 lentelės tęsinys

KŠP						PH				
DS galinis sistolinis plotas, cm ²	0,764	<0,001	15	80	67	0,700	0,040	23	79	60
DS IF, proc.	0,636	0,114				0,786	0,012	29	76	73

KŠP – kairiosios širdies patologija; PH – plautinė hipertenzija; TV – triburis vožtuvas; TVŽ – triburio vožtuvo žiedas; DS – dešinysis skilvelis; IF – išstūmio frakcija.



A. KŠP grupė



B. PH grupė

4.3.2.1 pav. Didelio fTVN prognozinių rodiklių ROC analizė, esant skirtingai fTVN etiologijai

Didelio fTVN pasiskirstymas skirtingos etiologijos fTVN grupėse nesiskyrė – KŠP grupės 29 proc. pacientų bei PH grupės 35 proc. pacientų nustatytas didelis funkcinis TV nesandarumas ($p > 0,05$).

Didelio fTVN prognoziniai rodikliai KŠP grupės tiriamiesiems:

Sergantiems KŠP, nustatytos sąsajos tarp didelio fTVN ir DS vidurinio (AUC 0,768) ir pamatinio (AUC 0,765) skersmens, bei DS galinio sistolinio ploto (AUC 0,764), pamatuoto 2D echokardiografijos metodu. Tuo tarpu DS IF šios grupės pacientams neturėjo prognozinės didelio fTVN išsivystymo vertės.

ROC analizės duomenimis, šios grupės pacientams iš visų 3D echokardiografinių TV geometrijos rodiklių geriausiai didelį TVN prognozavo pertvaros–šoninis sistolinis (AUC 0,761; ≥ 43 mm, 71 proc. jautrumu ir 61 proc. specifiškumu) ir diastolinis (AUC 0,754; ≥ 45 mm, 71 proc. jautrumu ir 56 proc. specifiškumu) bei didžiausios ašies sistolinis (AUC 0,747; ≥ 47 mm, 76 proc. jautrumu ir 67 proc. specifiškumu) ir diastolinis (AUC 0,738; ≥ 49 mm, 76 proc. jautrumu ir 64 proc. specifiškumu) TVŽ skersmenys. TV palapinės tūrio prognozinė didelio fTVN vertė nenustatyta.

Nustatyta didesnė TV geometrijos 3D echokardiografinių rodiklių vertė prognozuojant didelį fTVN, lyginant su 2D echokardiografija įvertintais rodikliais (3D pertvaros–šoninio sistolinio ir diastolinio TVŽ skersmens AUC 0,761 ir 0,754, ir, atitinkamai, 2D pamatuoto 4 erdmių sistolinio ir diastolinio TVŽ skersmens AUC 0,706 ir 0,656).

Didelio fTVN prognoziniai rodikliai PH grupės tiriamiesiems:

DS rodiklių analizė parodė, kad DS vidurinis skersmuo (AUC 0,790), DS IF (AUC 0,786) ir DS pamatinis skersmuo (AUC 0,774) turėjo didžiausią prognozinę didelio fTVN vertę, sergantiems PH.

Nustatyta, kad esant PH, didelį fTVN geriausiai prognozavo sistolinis (AUC 0,929) ir diastolinis (AUC 0,912) didžiausios ašies TVŽ skersmenys (atitinkamai, ≥ 47 mm, 91 proc. jautrumu ir 81 proc. specifiškumu; ir ≥ 50 mm, 91 proc. jautrumu ir 81 proc. specifiškumu) ir TVŽ perimetras (AUC 0,906; ≥ 134 mm, 82 proc. jautrumu ir 81 proc. specifiškumu). TV palapinės tūris turėjo prognozinę didelio fTVN vertę, esant PH ($\geq 4,8$ ml, AUC 0,824, 82 proc. jautrumas ir 63 proc. specifiškumas).

3D echokardiografinė TV analizė leido tiksliau prognozuoti didelio fTVN išsivystymą ikikapiliarine PH sergantiems pacientams nei 2D echokardiografija pamatuoti TV rodikliai (3D rodiklių jautrumas svyravo 82–91 proc., tuo tarpu 2D rodiklių – 64–71 proc. ribose).

Tie rodikliai, kurie pasižymėjo didžiausiu jautrumu ir specifiškumu, prognozuojant didelį fTVN PH ir KŠP grupių tiriamiesiems, buvo įtraukti į vienaveiksnę logistinę regresiją (4.3.2.2 lentelė).

4.3.2.2 lentelė. 3D TV geometrijos ir fTVN sunkumo ryšys, esant skirtingai fTVN etiologijai

	KŠP			PH		
	ŠS	95 proc. PI	p reikšmė	ŠS	95 proc. PI	p reikšmė
TVŽ plotas, cm ²	1,282	1,001–1,641	0,05	2,198	1,138–4,244	0,02
TVŽ perimetras, mm	1,032	0,995–1,070	0,09	1,242	1,033–1,495	0,02
Pertvaros–šoninis sistolinis TVŽ skersmuo, mm	1,430	1,123–1,820	< 0,001	1,717	1,149–2,566	0,01
Pertvaros–šoninis diastolinis TVŽ skersmuo, mm	1,394	1,108–1,754	< 0,001	1,498	1,089–2,062	0,01
Priekinis–užpakalinis TVŽ skersmuo, mm	1,147	0,999–1,316	0,051	1,246	1,022–1,518	0,03
Didžiausios ašies sistolinis TVŽ skersmuo, mm	1,268	1,066–1,508	0,01	1,934	1,149–3,256	0,01
Didžiausios ašies diastolinis TVŽ skersmuo, mm	1,253	1,059–1,484	0,01	1,716	1,154–2,550	0,01
Mažiausios ašies TVŽ skersmuo, mm	1,118	0,976–1,281	0,11	1,228	1,009–1,493	0,04
TV palapinės tūris, ml	1,398	0,995–1,965	0,53	2,149	1,143–4,040	0,02

KŠP – kairiosios širdies patologija; PH – plautinė hipertenzija; TV – triburis vožtuvas; TVŽ – triburio vožtuvo žiedas.

Nustatyta, kad esant kairiosios širdies patologijai, didelio fTVN išsivystymą prognozuoja 3D echokardiografija pamatuoti pertvaros–šoninis sistolinis (ŠS 1,430, PI 1,123 – 1,820, $p < 0,001$) ir diastolinis (ŠS 1,394, PI 1,108–1,754, $p < 0,001$) TVŽ skersmenys, o TVŽ ploto rodikliai (TVŽ plotas ir perimetras) ir TV palapinės tūris reikšmingos prognozinės didelio fTVN vertės šios grupės pacientams neturėjo.

Sergantiems ikikapiliarine PH, nustatyta, kad didelio fTVN išsivystymui įtakos turėjo tiek TV žiedo plotas ir perimetras, tiek pertvaros–šoninis, priekinis–užpakalinis, didžiausios ir mažiausios ašies TVŽ skersmenys, tiek TV palapinės tūris. Iš visų 3D TV žiedo geometrijos rodiklių didžiausia didelio fTVN prognozinė vertė pasižymėjo TVŽ plotas (ŠS 2,198, PI 1,138–4,244, $p = 0,02$), TV palapinės tūris (ŠS 2,149, PI 1,143–4,040, $p = 0,02$) ir di-

džiausios ašies sistolinis TVŽ skersmuo (ŠS 1,934, PI 1,149–3,256, $p = 0,01$) (4.3.2.2 lentelė).

Apibendrinant:

Didžiausia prognozinė didelio fTVN verte pasižymėjo šie DS ir TV geometrijos rodikliai: sistolinis ir diastolinis pertvaros–šoninis bei didžiausios ašies TVŽ skersmenys, DS pamatinis ir vidurinis skersmenys, TVŽ plotas ir perimetras.

DS bazinis skersmuo, pertvaros–šoninis sistolinis TVŽ skersmuo ir TVŽ perimetras nustatyti, kaip nepriklausomi TVN sunkumo prognoziniai rodikliai.

Skirtinga fTVN etiologija susijusi su skirtingais TV geometrijos rodikliais, leidžiančiais prognozuoti didelį TVN: didžiausios ašies TVŽ skersmuo, TVŽ perimetras bei burių nutempimo tūris turi didžiausią prognozinę vertę ikikapiliarinė PH sergantiesiems, o pertvaros–šoninis sistolinis TVŽ skersmuo – esant kairiosios širdies patologijai.

B. Funkcinio TVN dėl kairiosios širdies patologijos pooperaciniai rezultatai

KŠP grupės pacientai, kuriems buvo atlikta širdies operacija (vyraujančios kairiosios širdies ydos operacija kartu su TV plastika dėl reikšmingo fTVN), toliau buvo stebimi ≥ 1 metus po atliktos operacijos (žr. 3.1.1. KŠP grupės operacinis gydymas ir pooperacinė stebėseną). Vidutinė stebėjimo laikotarpio trukmė buvo $15,6 \pm 4,2$ mėnesių.

4.4. Grįžtamojo TVN sąsajos su klinikiniais duomenimis, DS bei TV remodeliacija ir funkcija

4.4.1. Demografiniai, antropometriniai ir klinikiniai KŠP grupės operacinio pogrupio tiriamųjų duomenys

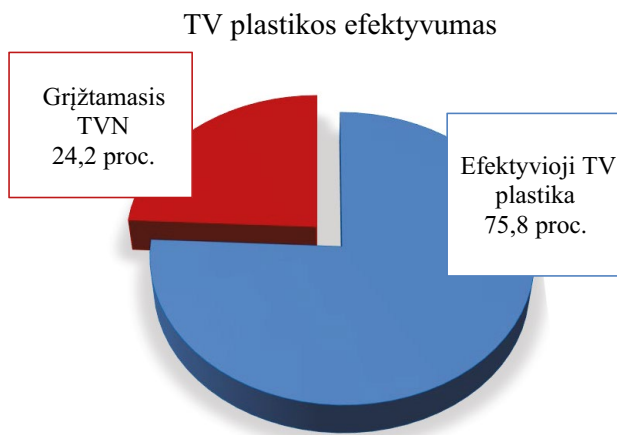
Ši pacientų pogrupį sudarė 69 pacientai. Pooperaciniu laikotarpiu mirė 3 pacientai, kurie buvo pašalinti iš tyrimo. Taigi, galutinę pooperacinės stebėsenos imtį sudarė 66 pacientai, kuriems fTVN buvo sąlygotas vyraujančios kairiosios širdies ydos ir kuriems atlikta TV žiedo plastika kartu su vyraujančios kairiosios širdies ydos chirurginiu gydymu.

Tarp šio pogrupio tiriamųjų 54 proc. buvo vyrai, vidutinis amžius – 68 ± 9 metai. Dauguma pacientų buvo priskirtini NYHA trečiajai (62,3 proc.) arba antrajai (33,3 proc.) funkicinei klasei. 43,9 proc. pacientų turėjo prieširdžių virpėjimą.

53 (80 proc.) pacientams buvo diagnozuotas vidutinio sunkumo ir 13 (18 proc.) pacientų – didelis ikioperacinis fTVN.

Kairiosios širdies operacijos metu buvo atlikta: dviburio vožtuvo plastika (38,9 proc.), dviburio vožtuvo protezavimas (5,9 proc.), aortos vožtuvo protezavimas (23,9 proc.), aortos vožtuvo plastika (1,5 proc.), dviburio vožtuvo plastika kartu su aortos vožtuvo protezavimu (13,4 proc.), dviburio vožtuvo protezavimas kartu su aortos vožtuvo protezavimu (11,9 proc.), dviburio vožtuvo protezavimas kartu su aortos vožtuvo plastika (3 proc.) ir dviburio vožtuvo plastika kartu su aortos vožtuvo plastika (1,5 proc.). Šioje grupėje reikšmingų pasikartojančių / išliekančių po operacijos dviburio vožtuvo ar aortos vožtuvo ydų nebuvo. 7 (10,6 proc.) pacientams po operacijos pasireiškė III laipsnio atrioventrikulinė blokada, 4 (6 proc.) iš jų ankstyvame pooperaciniame laikotarpyje implantuotas širdies stimulatorius. 3 pacientai pooperaciniu laikotarpiu mirė (1 pacientas mirė 4 dienos po operacijos dėl pneumonijos, kiti 2 pacientai mirė vėlyvuju pooperaciniu laikotarpiu – vienas dėl širdies nepakankamumo, kitas – dėl neširdinių priežasčių).

Iš pacientų, stebėtų ilgiau nei 1 metus, 16 (24,2 proc.) tiriamųjų kontrolinėje (≥ 1 metų) širdies echoskopijoje stebėtas vidutinio sunkumo (62,5 proc.) ar didelis TVN (37,5 proc.) (grįžtamojo TVN grupė). Likusiems 50 (75,8 proc.) pacientų nepasireiškė reikšmingas ($> 2/4$ laipsnio) grįžtamasis TVN po atliktos TV žiedo plastikos (efektyviosios TV plastikos grupė) (4.4.1.1 pav.).



4.4.1.1 pav. Tiriamųjų pasiskirstymas pagal TV žiedo plastikos efektyvumą

4.4.2. Grįžtamojo TVN rizikos veiksnių analizė

4.4.2.1. Ikioperacinių antropometrinių, klinikinių ir kairiosios širdies echokardiografinių rodiklių palyginimas tarp efektyviosios TV plastikos ir grįžtamojo TVN grupių tiriamųjų

Tiriamųjų amžius, lytis, kūno masės indeksas, echokardiografiniai KS ir KP geometriniai ir funkciniai rodikliai bei spaudimas PA efektyviosios TV plastikos ir grįžtamojo TVN grupėse prieš operaciją nesiskyrė (4.4.2.1.1 lentelė). Prieširdžių virpėjimo atvejų buvo reikšmingai daugiau grįžtamojo TVN grupėje, tuo tarpu skirtas medikamentinis ŠN gydymas, NYHA funkcinė klasė prieš operaciją ar operacijos trukmė tarp grupių nesiskyrė.

Grįžtamasis TVN buvo susijęs su blogesne ŠN funkicine klase (pagal NYHA) praėjus ≥ 1 metams po taikyto širdies chirurginio gydymo (efektyviosios plastikos grupėje didžioji dalis pacientų buvo II funkcinės klasės, o grįžtamojo TVN grupėje – III funkcinės klasės pagal NYHA).

4.4.2.1.1 lentelė. Grįžtamojo TVN ir efektyviosios TV plastikos grupių tiriamųjų klinikinės ir echokardiografinės charakteristikos

	Efektyviosios TV plastikos grupė N = 50 (75,8 proc.)	Grįžtamojo TVN grupė N = 16 (24,2 proc.)	p reikšmė
Klinikiniai duomenys			
Amžius, metai	67 (14)	73 (14)	0,059
Vyrai, proc.	58	50	0,578
Kūno masės indeksas, kg/m ²	26,6 (6,7)	29,0 (10,6)	0,224
PV, proc.	18 (36 proc.)	11 (69 proc.)	0,013
NYHA prieš operacinį gydymą:			
• II f. kl. (proc.)	19 (38 proc.)	3 (18,8 proc.)	0,081
• III f. kl. (proc.)	28 (56 proc.)	13 (81,2 proc.)	
• IV f. kl. (proc.)	3 (6 proc.)	0 (0 proc.)	
Taikytas medikamentinis gydymas:			
• AKFI/ARB (proc.)	67,3	73,3	0,662
• BAB (proc.)	93,9	86,7	0,363
• Diuretikai (proc.)	89,8	93,3	0,681
• MRA (proc.)	85,7	80	0,594
• antikoagulantai (proc.)	40,81	73,3	0,227
Operaciniai duomenys:			
• Operacijos trukmė (min.)	214,5 (6,6)	219,2 (12,7)	0,721
• 2 laipsnio TVN 7 dienos po operacijos (proc.)	18,4	80	< 0,001
NYHA >1 metai po operacinio gydymo:			
• II f. kl. (proc.)	41 (82 proc.)	2 (12,5 proc.)	< 0,001
• III f. kl. (proc.)	9 (18 proc.)	14 (87,5 proc.)	

4.4.2.1.1 lentelės tęsinys

	Efektyviosios TV plastikos grupė N = 50 (75,8 proc.)	Grižtamojo TVN grupė N = 16 (24,2 proc.)	p reikšmė
III [*] AV blokada	5 (10 proc.)	2 (12,5 proc.)	
EKS implantavimas	3 (6 proc.)	1 (6,25 proc.)	
Mirtys	1 (2 proc.)	2 (12,5 proc.)	
KS geometrijos ir funkcijos rodikliai			
KS galinio diastolinio skersmens indeksas, mm ²	27,5 (5,6)	28,3 (5,3)	0,616
KS galinio diastolinio tūrio indeksas, ml/m ²	70,7 (37,4)	58,9 (28,2)	0,109
KS galinio sistolinio tūrio indeksas, ml/m ²	35,5 (30,2)	30,6 (23,1)	0,302
KS IF, proc.	52,4 (18,8)	50,4 (17,5)	0,811
KP rodikliai			
KP skersmuo, mm	48 (6,3)	53 (12,8)	0,135
KP tūrio indeksas, ml/m ²	57,1 (35,4)	72,1 (33,2)	0,120
PA spaudimas (PAS)			
Didžiausias sistolinis PAS, mm Hg	53 (22)	56 (17)	0,736
Vidutinis PAS, mm Hg	38 (13)	39 (12)	0,319

KŠP – kairiosios širdies patologija; PH – plautinė hipertenzija; PV – prieširdžių virpėjimas; AKFI – angiotenziną konvertuojančio fermento inhibitoriai; ARB – angiotenzino receptorių blokatoriai; BAB – beta adrenoreceptorių blokatoriai; MRA – mineralreceptorių blokatoriai; EKS – elektrokardiostimuliatorius; AV – atrioventrikulinė; KS – kairysis skilvelis; PA – plaučių arterija; IF – išstūmio frakcija.

4.4.2.2. Dešinėsios širdies geometrijos ir funkcijos palyginimas tarp efektyviosios TV plastikos ir grįžtamojo TVN grupių tiriamųjų

Prieš operaciją kiekybiškai pamatuotas TVN sunkumas tarp grupių nesiskyrė (grįžtamojo TVN ir efektyviosios TV plastikos grupėse ERA: 38,37 [32,69] mm² ir 29,45 [14,9] mm², p = 0,117).

Grižtamojo TVN grupės pacientams nustatyti didesni ikioperaciniai DS ir DP dydžiai (DS skersmenys ir plotai, DP skersmuo, ilgis, plotas ir tūris), palyginus su efektyviosios TV plastikos grupe. DS ilgosios ašies ir bendrosios sistolinės funkcijos rodikliai reikšmingai tarp grupių tiriamųjų nesiskyrė (p > 0,05). Išilginės DS įtampos rodikliai taip pat reikšmingai nesiskyrė (pertvaros išilginės įtampos p = 0,373, šoninės sienelės p = 0,673). Duomenys pateikti 4.4.2.2.1 lentelėje.

4.4.2.2.1 lentelė. Grįžtamojo TVN ir efektyviosios TV plastikos grupių tiriamųjų dešiniųjų širdies dalių geometrijos ir funkcijos ikioperaciniai rodikliai

	Efektyviosios TV plastikos grupė N = 50 (75,8 proc.)	Grįžtamojo TVN grupė N = 16 (24,2 proc.)	p reikšmė
DP geometrijos rodikliai			
Skersmuo, mm	49 (9,3)	54 (7,8)	0,005
Skersmens indeksas, mm/m ²	24,8 (5,7)	29,5 (5,0)	0,005
Ilgis, mm	60,5 (11,3)	66,4 (7,6)	0,003
Plotas, cm ²	26,9 (10,6)	30,4 (11,5)	0,008
Ploto indeksas, cm ² /m ²	14,2 (5,2)	17,2 (6,9)	0,002
Tūris, ml	92 (64)	106 (64)	0,026
DS geometrijos ir funkcijos rodikliai			
Priekrūtinkaulinis diastolinis skersmuo, mm	35 (7)	38,6 (6,1)	0,003
Priekrūtinkaulinis sistolinis skersmuo, mm	27 (6,5)	30,5 (7,3)	0,003
Pamatinis skersmuo, mm	44,5 (7)	51 (11,3)	0,002
Pamatinio skersmens indeksas, mm/m ²	23,3 (3,6)	26,8 (5,5)	0,006
Vidurinis skersmuo, mm	35 (7,3)	39 (8,5)	0,012
Vidurinio skersmens indeksas, mm/m ²	17,8 (4,1)	21,5 (6,8)	0,027
Ilgis, mm	63 (18,3)	64 (15)	0,736
Sferiškumo indeksas, proc.	0,55 (0,13)	0,61 (0,26)	0,041
Galinis diastolinis plotas, cm ²	21,2 (9,5)	22,7 (10,6)	0,046
Galinio diastolinio ploto indeksas, cm ² /m ²	10,8 (4,5)	14,2 (4,7)	0,017
Galinis sistolinis plotas, cm ²	13,9 (7,2)	16,3 (10,1)	0,067
Galinio sistolinio ploto indeksas, cm ² /m ²	6,8 (3,5)	9 (4)	0,017
Galinis diastolinis tūris, ml	147 (90)	221 (137)	0,220
Galinis sistolinis tūris, ml	87 (66)	130 (98)	0,176
DS IF, proc.	41 (7)	38 (7)	0,211
FPP, proc.	33 (10)	30 (10)	0,231
TVŽJA, mm	18 (9)	17 (4)	0,346
S', cm/s	10,4 (5)	9,7 (4,8)	0,646
Pertvaros išilginė įtampa, proc.	-11,1 (5,1)	-9,8 (4,8)	0,373
Šoninės sienelės išilginė įtampa, proc.	-20,4 (6,1)	-18,4 (11,9)	0,673

DP – dešinysis prieširdis; DS – dešinysis skilvelis; IF – išstūmio frakcija; FPP – frakcijinis ploto pokytis; TVŽJA – triburio vožtuvo žiedo judesio amplitudė.

4.4.2.3. Triburio vožtuvo geometrijos palyginimas tarp efektyviosios TV plastikos ir grįžtamojo TVN grupių tiriamųjų

4.4.2.3.1 lentelėje pateikti ikioperacinio TVŽ geometrijos skirtumai tarp grupių.

4.4.2.3.1 lentelė. Ikioperaciniai TV geometrijos rodikliai, esant grįžtamajam TVN ir efektyviajai TV plastikai

	Efektyviosios TV plastikos grupė N = 50 (75,8 proc.)	Grįžtamojo TVN grupė N = 16 (24,2 proc.)	p reikšmė
2D TV geometrijos rodikliai			
4 ertmių diastolinis TVŽ skersmuo, mm	41,5 (4)	45,4 (5)	< 0,001
4 ertmių diastolinio TVŽ skersmens indeksas, mm/m ²	21,8 (2,8)	23,9 (6,5)	0,012
4 ertmių sistolinis TVŽ skersmuo, mm	39 (5,5)	42 (5,6)	0,003
4 ertmių sistolinio TVŽ skersmens indeksas, mm/m ²	19,9 (2,4)	22,3 (6,5)	0,026
TV burių nutempimo aukštis, mm	5,3 (2,1)	6,6 (2,4)	0,073
TV palapinės plotas, mm ²	120 (66)	170 (96)	0,012
TVN ERA, mm ²	29,45 (14,9)	38,37 (32,69)	0,17
3D TV geometrijos rodikliai			
TVŽ plotas, cm ²	14,2 (4,0)	16,7 (2,8)	0,010
TVŽ ploto indeksas, cm ² /m ²	6,96 (2,08)	8,79 (2,38)	0,004
TVŽ perimetras, mm	127 (22)	143 (18)	0,005
TVŽ perimetro indeksas, cm/m ²	6,47 (1,35)	7,83 (1,81)	0,007
Pertvaros–šoninis sistolinis TVŽ skersmuo, mm	42 (4)	46 (5)	< 0,001
Pertvaros–šoninio sistolinio TVŽ skersmens indeksas, mm/m ²	21,4 (0,31)	23,7 (0,81)	0,04
Pertvaros–šoninis diastolinis TVŽ skersmuo, mm	44 (5)	48 (5)	< 0,001
Pertvaros–šoninio diastolinio TVŽ skersmens indeksas, cm/m ²	22,6 (0,37)	26,3 (0,87)	0,04
Priekinis–užpakalinis TVŽ skersmuo, mm	40 (7)	44 (6)	0,081
Priekinio–užpakalinio TVŽ skersmens indeksas, mm/m ²	2 (0,48)	2,22 (0,57)	0,045
Didžiausios ašies sistolinis TVŽ skersmuo, mm	46 (5)	49 (7)	0,001
Didžiausios ašies sistolinio TVŽ skersmens indeksas, mm/m ²	22,5 (0,34)	26,8 (0,73)	0,003

4.4.2.3.1 lentelės tęsinys

	Efektyviosios TV plastikos grupė N = 50 (75,8 proc.)	Grižtamojo TVN grupė N = 16 (24,2 proc.)	p reikšmė
Didžiausios ašies diastolinis TVŽ skersmuo, mm	48 (6)	53 (6)	< 0,001
Didžiausios ašies diastolinio TVŽ skersmens indeksas, mm/m ²	23,6 (0,34)	27,9 (0,81)	0,007
TV burių koaptacijos taško aukštis, mm	9 (5)	10 (5)	0,653
TV burių palapinės tūris, ml	3,75 (1,9)	5,3 (2,8)	0,008
TV sferiškumo indeksas, proc.	83 (11)	84 (12)	0,397

TV – triburis vožtuvas; TVŽ – triburio vožtuvo žiedas; TVN – triburio vožtuvo nesandarumas; ERA – efektyvioji regurgitacinė anga.

2D ir 3D analizė parodė, kad tiek 2D 4 ertmių sistolinis ir diastolinis, tiek 3D pertvaros–šoninis sistolinis ir diastolinis, didžiausios ašies sistolinis ir diastolinis TVŽ skersmenys, priekinio–užpakalinio TVŽ skersmens indeksas, taip pat TVŽ plotas ir perimetras buvo didesni grįžtamojo TVN grupės tiriamiesiems, palyginus su efektyviosios TV plastikos grupe. 3D TV rodiklių analizė papildomai atskleidė, kad nors TVŽ sferiškumas ir TV burių nutempimas tarp grupių nesiskyrė, grįžtamasis TVN buvo susijęs su didesniu TV palapinės plotu ir tūriu.

4.4.3. Klinikinių veiksnių bei DS ir TV geometrijos pokyčių įtaka grįžtamojo TVN išsivystymui

Siekiant įvertinti klinikinių veiksnių bei TV geometrijos ir dešinės širdies remodeliavimosi įtaką grįžtamojo TVN išsivystymui, buvo atlikta logistinė regresinė analizė.

Analizuojant klinikinius veiksnius, ikioperacinis PV ir antrojo laipsnio TVN ankstyvuju pooperaciniu laikotarpiu (7 dienos po operacijos) pasižymėjo TVN pasikartojimo prognozinė reikšmė, tačiau ikioperacinė ŠN funkcinė klasė (NYHA) ir diuretikų vartojimas iki operacijos grįžtamojo TVN reikšmingai neįtakoję. Klinikinių veiksnių daugiaveiksniė regresinė analizė atskleidė, kad ikioperacinis PV ir liekamasis antrojo laipsnio TVN ankstyvuju pooperaciniu laikotarpiu nustatyti kaip nepriklausomi grįžtamojo TVN prognoziniai rodikliai (4.4.3.1 lentelė).

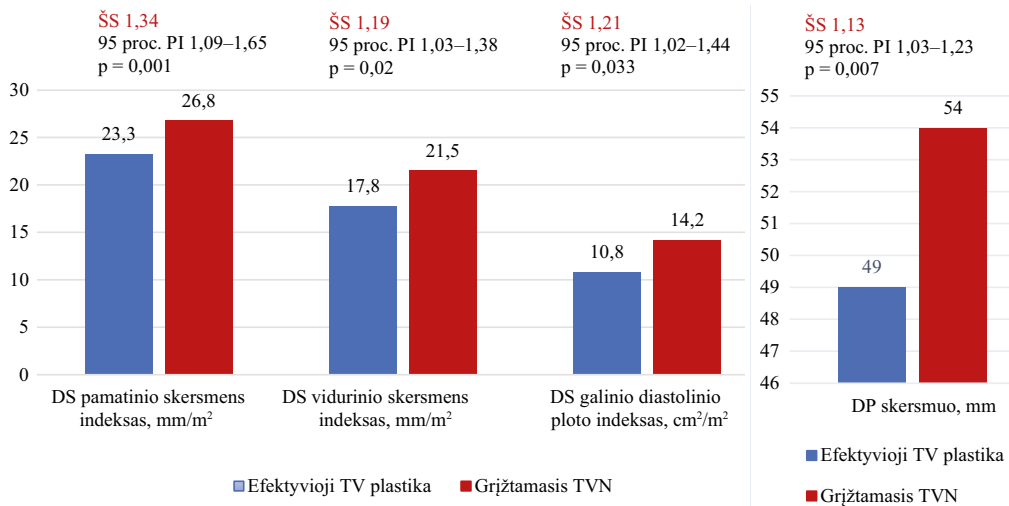
4.4.3.1 lentelė. Klinikinių veiksnių sąsajos su grįžtamoju TVN

	Vienaveiksnė			Daugiaveiksnė		
	ŠS	95 proc. PI	P reikšmė	ŠS	95 proc. PI	P reikšmė
NYHA funkcinė klasė (prieš operacinį gydymą)	4,117	0,835–20,304	0,114			
Prieširdžių virpėjimas (prieš operacinį gydymą)	4,736	1,312–17,091	0,018	6,872	1,257–37,566	0,026
Diuretikų vartojimas (prieš operacinį gydymą)	1,591	0,171–14,790	0,568			
2 laipsnio TVN anks-tyvuojų pooperaciniu laikotarpiu	17,778	4,140–76,337	< 0,001	24,013	4,378–131,702	< 0,001

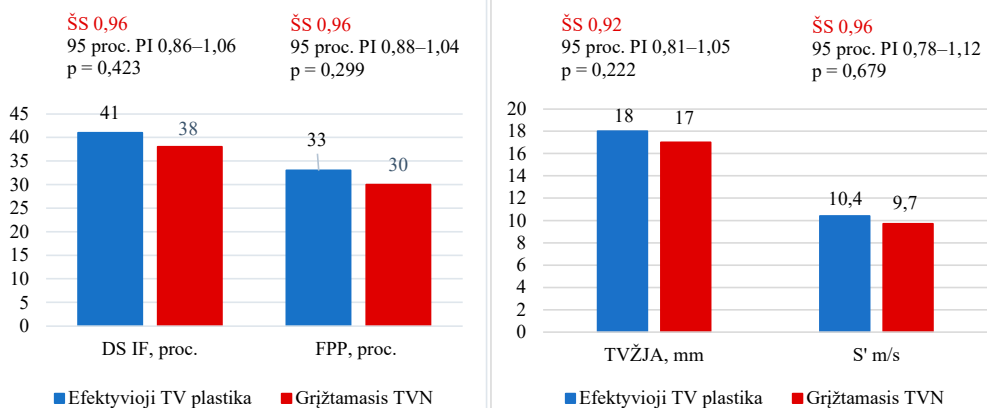
TVN – triburio vožtuvo nesandarumas.

Nei vienas kairiosios širdies echokardiografinis rodiklis neturėjo prognozinių vertės grįžtamojo TVN išsivystymui (KS skersmens ir tūrio bei KP tūrio indeksų ir KS IF $p > 0,05$), tuo tarpu DP rodikliai (DP skersmuo, ilgis, plotas ir tūris) leido prognozuoti TVN pasikartojimą (4.4.3.2 lentelė). Iš visų DP rodiklių DP skersmens prognozinių vertė buvo didžiausia (ŠS 1,13; 95 proc. PI 1,03–1,23, $p = 0,01$).

Lyginant su DP rodikliais, DS dydžiai pasižymėjo dar stipresne prognozinė TVN pasikartojimo verte (4.4.3.1 pav.). DS bazinio skersmuo indeksas (ŠS 1,34; 95 proc. PI 1,09–1,65, $p = 0,005$), DS galinio sistolinio ploto indeksas (ŠS 1,26; 95 proc. PI 1,02–1,56, $p = 0,034$) ir DS priekrūtinkaulinis diastolinis skersmuo (ŠS 1,22; 95 proc. PI 1,06–1,40, $p = 0,006$) geriausiai leido prognozuoti grįžtamojo TVN išsivystymą. Tuo tarpu tiek DS ilgosios ašies (TVŽJA ir audinių S'), tiek bendrosios sistolinės funkcijos (DS FPP ir DS IF), tiek DS išilginės įtampos (pertvaros ir šoninės sienelės) rodikliai neturėjo grįžtamojo TVN išsivystymo prognozinių vertės (visų jų $p > 0,05$).



A. DS geometrijos rodikliai



B. DS funkcijos rodikliai

4.4.3.1 pav. Dešinėsios širdies geometrijos (A) ir funkcijos (B) rodiklių ryšys su grįžtamuoju TVN

4.4.3.2 lentelė. Kairiosios ir dešinėsios širdies echokardiografinių rodiklių sąsajos su grįžtamuju TVN

	Vienaveiksnė			Modelis I		
	ŠS	95 proc. PI	P reikšmė	ŠS	95 proc. PI	P reikšmė
Kairiosios širdies geometrijos ir funkcijos rodikliai						
KS galinis diastolinio skersmens indeksas, mm/m ²	1,02	0,89–1,18	0,773	1,10	0,90–1,35	0,336
KS galinis diastolinio tūrio indeksas, ml/m ²	0,98	0,95–1,01	0,098	0,98	0,95–1,01	0,124
KS IF, proc.	1	0,96–1,05	0,954	0,99	0,94–1,04	0,715
KP tūrio indeksas, ml/m ²	1,02	1–1,04	0,074	1,02	1,01–1,04	0,04
Dešinėsios širdies geometrijos ir funkcijos rodikliai						
DS priekrūtinkaulinis diastolinis skersmuo, mm	1,22	1,06–1,40	0,006	1,25	1,07–1,46	0,508
DS pamatinis skersmuo, mm	1,18	1,06–1,31	0,002	1,19	1,06–1,32	0,002
DS pamatinio skersmens indeksas, mm/m ²	1,34	1,09–1,65	0,005	1,3	1,05–1,6	0,017
DS vidurinis skersmuo, mm	1,09	1,01–1,19	0,033	1,1	1,01–1,12	0,031
DS vidurinio skersmens indeksas, mm/m ²	1,19	1,03–1,38	0,02	1,17	1,01–1,36	0,049
DS sferiškumo indeksas, proc.	1,07	1,01–1,13	0,02	1,06	1,01–1,12	0,048
DS galinis diastolinis plotas, cm ²	1,08	0,99–1,17	0,061	1,12	1,02–1,23	0,019
DS galinio diastolinio ploto indeksas, cm ² /m ²	1,21	1,02–1,44	0,033	1,24	1,35–1,50	0,024
DS galinis sistolinis plotas, cm ²	1,1	0,99–1,21	0,057	1,17	1,03–1,32	0,013
DS galinio sistolinio ploto indeksas, cm ² /m ²	1,26	1,02–1,56	0,034	1,35	1,06–1,72	0,015
FPP, proc.	0,96	0,88–1,04	0,299	0,94	0,86–1,03	0,184
TVŽJA, mm	0,92	0,81–1,05	0,222	0,91	0,79–1,04	0,168
DS S', cm/s	0,96	0,78–1,12	0,672	0,92	0,74–1,15	0,455
DS galinis diastolinis tūris, ml	1,01	0,99–1,02	0,128	1,02	0,99–1,03	0,06
DS galinis sistolinis tūris, ml	1,01	0,98–1,03	0,1	1,02	1–1,05	0,047
DS išstūmio tūris, ml	1,02	0,99–1,05	0,27	1,03	0,99–1,07	0,16
DS IF, proc.	0,96	0,86–1,06	0,423	0,94	0,83–1,06	0,281

4.4.3.2 lentelės tęsinys.

	Vienaveiksnė			Modelis I		
	ŠS	95 proc. PI	P reikšmė	ŠS	95 proc. PI	P reikšmė
DS pertvaros išilginė įtampa, proc.	1,07	0,90–1,27	0,476	1,11	0,91–1,34	0,310
DS šoninės sienelės išilginė įtampa, proc.	1,02	0,87–1,19	0,855	1,11	0,99–1,24	0,073
DP skersmuo, mm	1,13	1,03–1,23	0,007	1,19	1,06–1,33	0,003
DP ilgis, mm	1,11	1,03–1,20	0,01	1,16	1,05–1,28	0,004
DP plotas, cm ²	1,12	1,03–1,23	0,01	1,16	1,04–1,29	0,006
DP tūris, ml	1,02	1,01–1,03	0,015	1,02	1–1,04	0,013

I modelis – vienaveiksnė regresija, pakoreguota pagal amžių ir lytį. KS – kairysis skilvelis; IF – išstūmio frakcija; KP – kairysis prieširdis; DS – dešinysis skilvelis; FPP – frakcijinis ploto pokytis; TVŽJA – triburio vožtuvo žiedo judesio amplitudė.

Iš visų echokardiografinių rodiklių geriausiai TVN pasikartojimą galėjo prognozuoti TVŽ geometrijos rodikliai (4.4.3.3 lentelė).

Analizuoiant 2D TVŽ rodiklius, 4 ertmių sistolinis skersmuo parodė didžiausią prognozinę TVN pasikartojimo reikšmę, tačiau 3D echokardiografijos metodu pamatuotos TVŽ dydžių vertės leido tiksliau prognozuoti grįžtamąjo TVN išsivystymą nei TVŽ skersmenys išmatuoti 2D echokardiografija (3D pertvaros–šoninio sistolinio ir diastolinio skersmenų ŠS 1,62 ir 1,77, kai 2D ertmių sistolinio ir diastolinio skersmenų ŠS 1,44 ir 1,31).

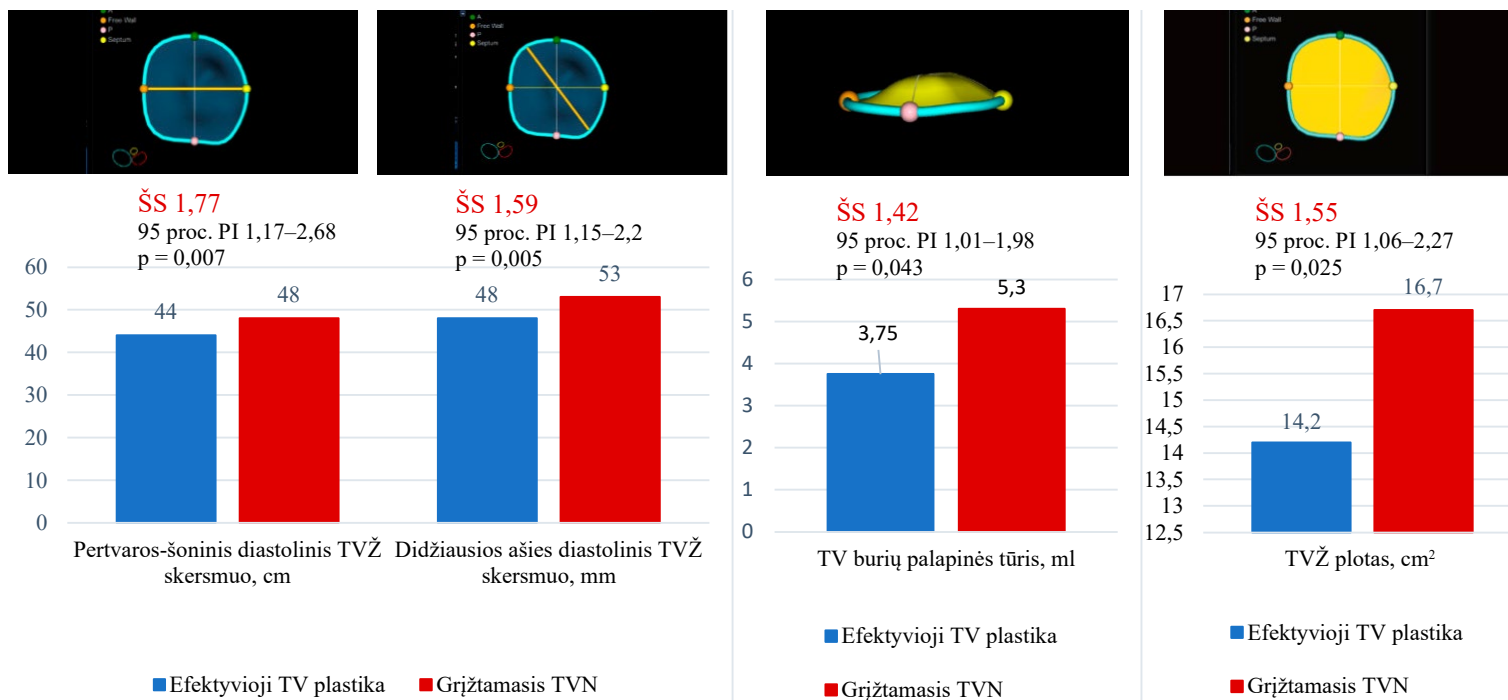
3D echokardiografija apskaičiuoti pertvaros–šoninis diastolinis (ŠS 1,77; 95 proc. PI 1,17–2,68, $p = 0,007$) ir sistolinis (ŠS 1,62; 95 proc. PI 1,14–2,29, $p = 0,007$), didžiausios ašies diastolinis (ŠS 1,59; 95 proc. PI 1,15–2,2, $p = 0,005$) TVŽ skersmenys ir TVŽ plotas (ŠS 1,55, 95 proc. PI 1,06–2,27, $p = 0,025$) pasižymėjo didžiausia prognozinė verte TVN pasikartojimui praėjus daugiau nei vieniems metams po atliktos TV žiedo plastikos (4.4.3.2 pav.).

Siekiant sumažinti galimus trikdančius veiksnus, susijusius su tiriamųjų amžiumi ir lytimi, buvo atlikta I modelio analizė, kuri taip pat pateikta 4.4.3.2 ir 4.4.3.3 lentelėse. I modelio analizės rezultatai parodė anksčiau minėtų rodiklių ŠS padidėjimą, o jų reikšmingumas nebuvo prarastas.

4.4.3.3 lentelė. TV echokardiografinių rodiklių sąsajos su grįžtamuju TVN

	Vienaveiksnė			Modelis I		
	ŠS	95 proc. PI	P reikšmė	ŠS	95 proc. PI	P reikšmė
3D TV geometrijos rodikliai						
TVŽ perimetras, mm	1,07	1,01–1,13	0,024	1,11	1,03–1,21	0,008
TVŽ plotas, cm ²	1,55	1,06–2,27	0,025	2,03	1,16–3,53	0,013
Pertvaros–šoninis sistolinis TVŽ skersmuo, mm	1,62	1,14–2,29	0,007	1,96	1,22–3,14	0,005
Pertvaros–šoninis diastolinis TVŽ skersmuo, mm	1,77	1,17–2,68	0,007	1,99	1,14–3,46	0,015
Priekinis–užpakalinis TVŽ skersmuo, mm	1,17	0,97–1,4	0,097	1,25	0,99–1,57	0,061
Didžiausios ašies sistolinis TVŽ skersmuo, mm	1,51	1,15–1,99	0,003	1,75	1,20–2,55	0,004
Didžiausios ašies diastolinis TVŽ skersmuo, mm	1,59	1,15–2,2	0,005	1,75	1,17–2,6	0,006
TV burių palapinės tūris, ml	1,42	1,01–1,98	0,043	1,41	0,99–1,98	0,052
TV sferiškumo indeksas, proc.	0,92	0,83–1,031	0,155	0,93	0,83–1,05	0,255
2D TV geometrijos rodikliai						
4 ertmių sistolinis TVŽ skersmuo, mm	1,44	1,14–1,83	0,002	1,67	1,22–2,28	0,001
4 ertmių diastolinis TVŽ skersmuo, mm	1,31	1,09–1,58	0,005	1,40	1,1–1,76	0,005
TV burių nutempimo aukštis, mm	1,31	0,93–1,85	0,121	1,38	0,95–1,99	0,093
TV palapinės plotas, mm ²	1,02	1,003–1,03	0,01	1,02	1,004–1,03	0,007
TVN ERA, mm ²	1,03	0,99–1,07	0,058	1,03	0,99–1,07	0,062

I modelis – vienaveiksnė regresija, pakoreguota pagal amžių ir lytį. TV – triburis vožtuvas; TVŽ – triburio vožtuvo žiedas; TVN – triburio vožtuvo nesandarumas; ERA – efektyvioji regurgitacinė anga.



4.4.3.2 pav. 3D TV geometrinių rodiklių ryšys su grįžtamuju TVN

4.4.4. Grįžtamojo TVN prognoziniai rodikliai

Norint nustatyti, kurie parametrai geriausiai galėjo prognozuoti grįžtamąjį TVN praėjus ≥ 1 metams po atliktos TV žiedo plastikos, buvo atlikta ROC analizė. Jos rezultatai pateikti 4.4.4.1 ir 4.4.4.2 lentelėse.

4.4.4.1 lentelė. Grįžtamojo TVN prognoziniai KS ir DS echokardiografiniai rodikliai

Rodikliai	AUC	p reikšmė
Kairiosios širdies rodikliai		
KS galinis diastolinio skersmens indeksas, mm ²	0,542	0,611
KS galinis diastolinio tūrio indeksas, ml/m ²	0,366	0,109
KS IF, proc.	0,480	0,811
KP tūrio indeksas, ml/m ²	0,630	0,120
Dešiniosios širdies rodikliai		
DS priekrūtinkaulinis diastolinis skersmuo, mm	0,747	0,003
DS priekrūtinkaulinis sistolinis skersmuo, mm	0,744	0,004
DS pamatinis skersmuo, mm	0,763	0,002
DS pamatinio skersmens indeksas, mm/m ²	0,737	0,006
DS vidurinis skersmuo, mm	0,709	0,012
DS vidurinio skersmens indeksas, mm/m ²	0,685	0,027
DS sferiškumo indekas, proc.	0,325	0,041
DS galinis diastolinis plotas, cm ²	0,667	0,046
DS galinio diastolinio ploto indeksas, cm ² /m ²	0,699	0,017
DS galinis sistolinis plotas, cm ²	0,653	0,067
DS galinio sistolinio ploto indeksas, cm ² /m ²	0,699	0,017
DS galinis diastolinis tūris, ml	0,634	0,211
FPP, proc.	0,600	0,231
TVŽJA, mm	0,579	0,347
DS S', cm/s	0,538	0,648
DS IF, proc.	0,637	0,202
DS šoninės sienelės išilginė įtampa, proc.	0,546	0,668
DP skersmuo, mm	0,735	0,005
DP ilgis, mm	0,746	0,003
DP plotas, cm ²	0,723	0,008
DP tūris, ml	0,688	0,026

KS – kairysis skilvelis; IF – išstūmio frakcija; KP – kairysis prieširdis; DS – dešinysis skilvelis; FPP – frakcijinis ploto pokytis; TVŽJA – triburio vožtuvo žiedo judesio amplitudė.

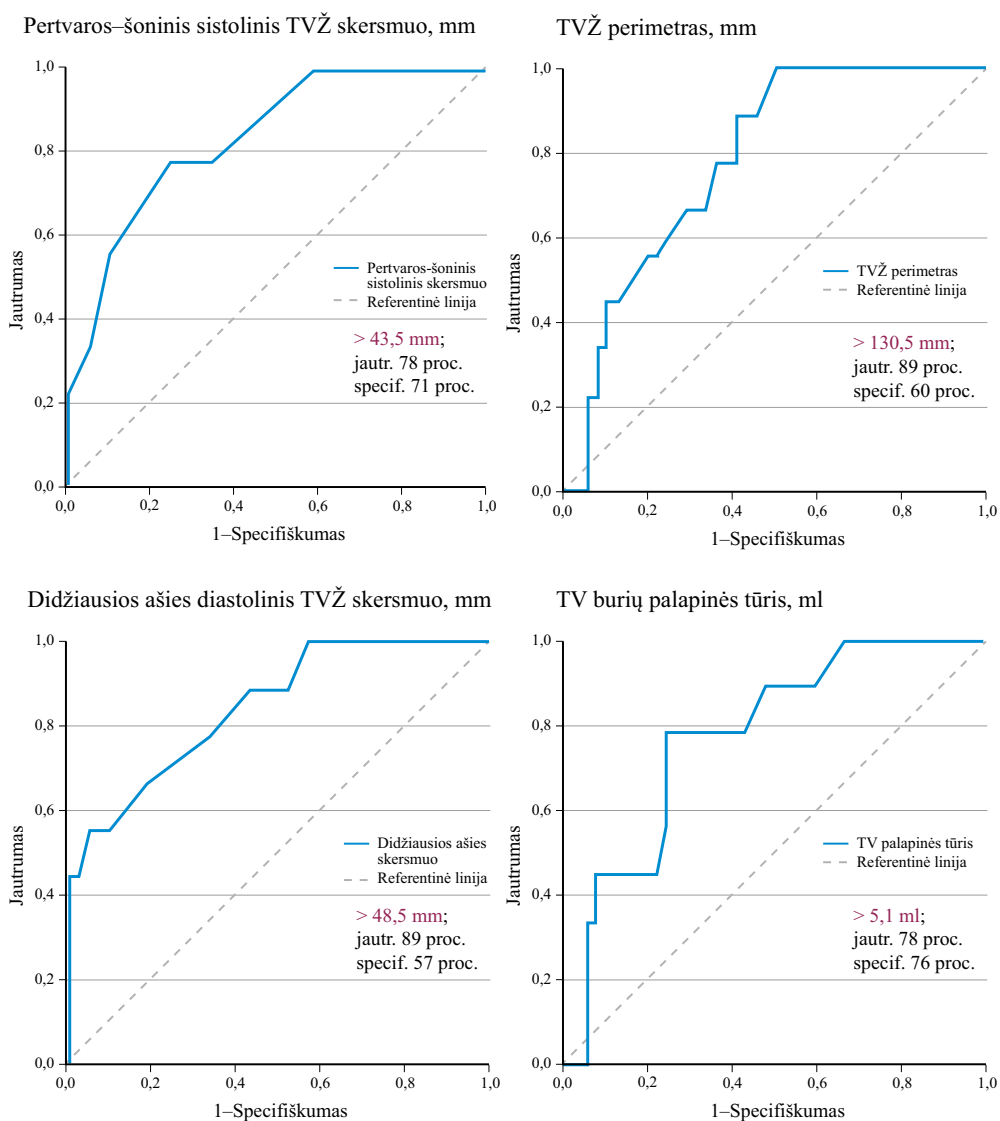
4.4.4.2 lentelė. Grįžtamojo TVN prognoziniai TV geometrijos rodikliai

Rodikliai	AUC	p reikšmė	Ribinė vertė	Jautru- mas	Specifiš- kumas
3D TV geometrijos rodikliai					
TVŽ perimetras, mm	0,790	0,007	130,5	89	60
TVŽ plotas, cm ²	0,770	0,012	14,35	89	60
Pertvaros–šoninis sistolinis TVŽ skersmuo, mm	0,840	0,001	43,5	78	71
Pertvaros–šoninis diastolinis TVŽ skersmuo, mm	0,840	0,002	46,5	78	76
Priekinis–užpakalinis TVŽ skersmuo, mm	0,687	0,082			
Didžiausios ašies sistolinis TVŽ skersmuo, mm	0,833	0,002	47,5	78	71
Didžiausios ašies diastolinis TVŽ skersmuo, mm	0,848	0,001	48,5	89	57
TV burių palapinės tūris, ml	0,778	0,009	5,1	78	76
TV sferiškumo indeksas, proc.	0,592	0,391			
2D TV geometrijos rodikliai					
4 ertmių sistolinis TVŽ skersmuo, mm	0,799	< 0,001	42,5	81	56
4 ertmių diastolinis TVŽ skersmuo, mm	0,746	0,003	38,5	94	46
TV burių nutempimo aukštis, mm	0,650	0,074			
TV palapinės plotas, mm ²	0,711	0,012	127	75	62
TVN ERA, mm ²	0,632	0,117			

TV – triburis vožtuvas; TVŽ – triburio vožtuvo žiedas; TVN – triburio vožtuvo nesandarumas; ERA – efektyvioji regurgitacinė anga.

Iš analizuotų dešinėsios širdies echokardiografinių rodiklių DS pamatinis skersmuo (AUC 0,763; ribinė vertė 44,5 mm), DS priekrūtinkaulinis diastolinis skersmuo (AUC 0,747; ribinė vertė 34,5 mm) ir DP ilgis (AUC 0,746, ribinė vertė 61,5 mm) parodė didžiausią grįžtamojo TVN prognozinę vertę. Tuo tarpu nei vienas iš kairiosios širdies rodiklių prognozinės vertės neturėjo.

Iš visų analizuotų rodiklių didžiausia prognozinė grįžtamojo TVN verte pasižymėjo 3D echokardiografiniai TVŽ matavimai: didžiausios ašies diastolinis TVŽ skersmuo (AUC 0,848; ribinė vertė 48,5 mm), taip pat pertvaros–šoninis sistolinis ir diastolinis TVŽ skersmenys (abiejų AUC 0,840; ribinė vertė, atitinkamai, 43,5 mm ir 46,5 mm) (4.4.4.1 pav.).



4.4.4.1 pav. Grįžtamojo TVN prognozinį rodiklių ROC analizė

Taip pat nustatyta, kad 2D TV žiedo matavimai silpniau prognozuoja TVN pasikartojimą, palyginus su atitinkamais 3D TV rodikliais (4 ertmių sistolinio TVŽ skersmens (2D) ir pertvaros-šoninio sistolinio TVŽ skersmens (3D) AUC buvo, atitinkamai, 0,799 ir 0,840; kaip ir palyginus TV palapinės plotą (2D) ir TV palapinės tūrį (3D), gautos AUC vertės, atitinkamai, 0,711 ir 0,778).

Siekiant detaliau įvertinti iš anksto nustatytų didžiausią prognozinę grįžtamojo TVN reikšmę turinčių TV žiedo ir DS geometrijos rodiklių derinio įtaką grįžtamojo TVN prognozavimui buvo atlikta vienaveiksnė analizė.

Analizė atskleidė, kad kai buvo kartu padidėję didžiausios ašies diastolinis skersmuo ($> 48,5$ mm) bei TV palapinės tūris ($> 5,1$ ml), šansų santykis TVN pasikartojimui išaugo iki 8,5 (PI 1,7–41,5, $p = 0,008$), o pašalinus amžių ir lytį šis ŠS išaugo iki 10,4 (PI 1,7–65,6, $p = 0,012$). Kai buvo kartu padidėję DS pamatinis skersmuo ($> 47,5$ mm) ir 3D TVŽ didžiausios ašies diastolinis skersmuo ($> 48,5$ mm), tuomet ŠS TVN pasikartojimui buvo pats didžiausias – 12,8 (95 proc. PI 2,3–72,8, $p = 0,004$). Ši vertė dar labiau padidėjo pašalinus amžių ir lytį kaip galimus trikdančius veiksnius (ŠS 15,7 (95 proc. PI 2,4–101,7, $p = 0,004$). Prie padidėjusių pamatinio DS skersmens ir didžiausios ašies TVŽ skersmens pridėjus trečią veiksni – padidėjusį TV burių palapinės tūrį, papildomo prognozinio reikšmingumo negauta (ŠS 6,3 (95 proc. PI 1,3–29,3, $p = 0,02$) (4.4.3.4 lentelė).

4.4.3.4 lentelė. Pasikartojančio TVN ikioperacinių echokardiografinių rodiklių prognozinė reikšmė (vienaveiksnė analizė)

	Vienaveiksnė			Modelis I		
	ŠS	95 proc. PI	P reikšmė	ŠS	95 proc. PI	P reikšmė
Didžiausios ašies diastolinis skersmuo * + TV burių palapinės tūris **	8,5	1,7–41,5	0,008	10,4	1,7–65,6	0,012
Didžiausios ašies diastolinis skersmuo * + DS pamatinis skersmuo ***	12,8	2,3–72,8	0,004	15,7	2,4–101,7	0,004
TV burių palapinės tūris ** + DS pamatinis skersmuo ***	8,5	1,7–41,5	0,008	8,7	1,6–47,5	0,012
Didžiausios ašies diastolinis skersmuo * + TV burių palapinės tūris ** + DS pamatinis skersmuo ***	6,3	1,3–29,3	0,02	6,8	1,2–37,4	0,028

I modelis – vienaveiksnė regresija, pakoreguota pagal amžių ir lytį, * Didžiausios ašies diastolinis TVŽ skersmuo $> 48,5$ mm; ** TV burių palapinės tūris $> 5,1$ ml; *** DS pamatinis skersmuo $> 47,5$ mm.

Apibendrinant:

Ikioperacinis PV ir liekamasis antrojo laipsnio TVN ankstyvuoju pooperaciniu laikotarpiu nustatyti kaip nepriklausomi grįžtamojo TVN klinikiniai prognoziniai veiksniai.

Ikioperaciniai TVŽ, DP ir DS geometrijos rodikliai prognozavo grįžtamąjį TVN, tuo tarpu DS mechanikos ir funkcijos rodikliai neturėjo prognozinės vertės TVN pasikartojimui po chirurginės korekcijos.

Didžiausia prognozinė grįžtamojo TVN verte pasižymėjo ikioperaciniai 3D echokardiografiniai TVŽ rodikliai: didžiausios ašies diastolinis TVŽ skersmuo (AUC 0,848; ribinė vertė 48,5 mm), pertvaros–šoninis sistolinis ir diastolinis TVŽ skersmenys (abiejų AUC 0,840; ribinė vertė, atitinkamai, 43,5 mm ir 46,5 mm), TVŽ perimetras (AUC 0,790; ribinė vertė 130,5 mm), TV burių palapinės tūris (AUC 0,778; ribinė vertė 5,1 ml) bei DS pamatinis skersmuo (AUC 0,763; ribinė vertė 47,5 mm). Didžiausią grįžtamojo TVN riziką parodė ikioperacinis DS pamatinio skersmens ir didžiausios ašies TVŽ skersmens derinys (ŠS 15,7 (95 proc. PI 2,4–101,7, $p = 0,004$)) bei didžiausios ašies diastolinio TVŽ skersmens ($> 48,5$ mm) ir TV palapinės tūrio ($> 5,1$ ml) derinys (ŠS 10,4 (95 proc. PI 1,7–65,6, $p = 0,012$)).

4.5. TV žiedo plastikos įtaka dešinėsios širdies ir TV remodeliacijai

Siekiant nustatyti TV žiedo plastikos įtaką TV ir dešinėsios širdies geometriniais ir funkciniais rodikliams, buvo atlikta regresinė analizė, kurios rezultatai pateikti 4.5.1 ir 4.5.2 lentelėse.

1 metai po atliktos širdies operacijos pacientams reikšmingai sumažėjo tiek dešinėsios, tiek kairiosios širdies dydžiai ir tūriai (4.5.1 lentelė).

4.5.1 lentelė. Kairiosios ir dešinėsios širdies geometrijos ir funkcijos pokyčiai pooperaciniu periodu

	Ikioperaciniai rodikliai	Pooperaciniai rodikliai	p reikšmė
DP geometrijos rodikliai			
Skersmuo, mm	50 (9)	46 (9)	< 0,001
Skersmens indeksas, mm/m ²	25,75 (6,16)	23,79 (4,49)	< 0,001
Ilgis, mm	62 (11,5)	58 (14)	0,009
Plotas, cm ²	27,77 (9,87)	22,22 (8,15)	< 0,001
Ploto indeksas, cm ² /mm ²	14,42 (5,35)	11,52 (4,06)	< 0,001
Tūris, ml	94 (61,06)	70 (35,23)	< 0,001
DS geometrijos ir funkcijos rodikliai			
Priekrūtinkaulinis diastolinis skersmuo, mm	35,5 (7,75)	34 (9,5)	0,010
Priekrūtinkaulinis sistolinis skersmuo, mm	27 (7)	25 (9,5)	< 0,001
Pamatinis skersmuo, mm	45 (7)	41 (5,5)	< 0,001
Pamatinio skersmens indeksas, mm/m ²	23,44 (4,21)	21,08 (4,75)	< 0,001
Vidurinis skersmuo, mm	36 (9,25)	32 (8,5)	< 0,001
Vidurinio skersmens indeksas, mm/m ²	17,93 (5,02)	16,18 (4,32)	< 0,001

4.5.1 lentelės tęsinys

	Ikioperaciniai rodikliai	Pooperaciniai rodikliai	p reikšmė
Ilgis, mm	63 (17,5)	69 (12)	0,006
Sferiškumo indeksas, proc.	0,57 (0,17)	0,47 (0,12)	< 0,001
Galinis diastolinis plotas, cm ²	22 (10,44)	20,1 (9,6)	0,104
Galinio diastolinio ploto indeksas, cm ² /m ²	11,14 (5,49)	10,77 (4,13)	0,088
Galinis sistolinis plotas, cm ²	14 (7,12)	12,8 (7,4)	0,024
Galinio sistolinio ploto indeksas, cm ² /m ²	7,06 (3,63)	6,41 (2,95)	0,032
Galinis diastolinis tūris, ml	147,05 (103,08)	134,65 (69,63)	0,013
Galinis sistolinis tūris, ml	86,65 (65,23)	82,4 (48,43)	0,068
DS IF, proc.	40,5 (6,73)	40,9 (8,1)	0,174
FPP, proc.	31,5 (8,55)	33,45 (9,7)	0,044
TVŽJA, mm	17,5 (5,5)	16 (5)	< 0,001
S', cm/s	10 (5)	9 (2,93)	< 0,001
TSP išilginė įtampa, proc.	-10,7 (4,75)	-13,5 (4,65)	0,007
DS laisvosios sienelės išilginė įtampa, proc.	-20,15 (6,3)	-19,4 (5,93)	0,330
Didžiausias sistolinis PAS, mm Hg	53,44 (23,25)	32,16 (12,67)	< 0,001
Vidutinis PAS, mm Hg	38 (11,75)	32,5 (11)	< 0,001
KS geometrijos ir funkcijos rodikliai			
Galinio–diastolinio skersmens indeksas, mm ²	27,92 (5,99)	25,13 (3,95)	< 0,001
Galinio–diastolinio tūrio indeksas, ml/m ²	70 (29,08)	58,76 (18,24)	< 0,001
Galinio–sistolinio tūrio indeksas, ml/m ²	34,38 (24,37)	26,88 (14,05)	< 0,001
KS IF, proc.	50 (15)	50 (10)	0,442
KP geometrijos rodikliai			
Skersmuo, mm	48 (8)	46 (10)	< 0,001
Tūrio indeksas, ml/m ²	58,82 (32,21)	46,45 (30,34)	< 0,001

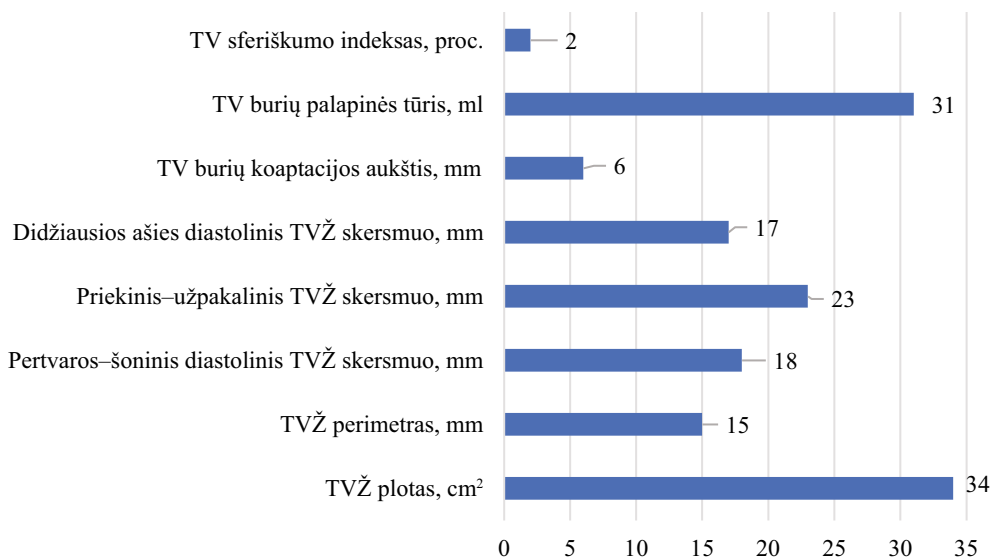
DP – dešinysis prieširdis; DS – dešinysis skilvelis; IF – išstūmio frakcija; FPP – frakcijinis ploto pokytis; TVŽJA – triburio vožtuvo žiedo judesio amplitudė; PAS – plaučių arterijos spaudimas; KP – kairysis prieširdis; KS – kairysis skilvelis.

Po atliktos TV žiedo plastikos DS pamatinio skersmens indeksas sumažėjo 14 proc., DS vidurinio skersmens indeksas sumažėjo 13 proc., DS galinis diastolinis tūris – 11 proc., DS galinis sistolinis tūris – 10 proc. Sferiškumo indeksas sumažėjo nuo $0,55 \pm 0,13$ iki $0,47 \pm 0,11$, o tai parodo, jog praėjus > 1 metams po operacijos DS įgauna labiau elipsinę DS formą. Nors DS galinis diastolinis ir sistolinis tūriai bei plotai reikšmingai sumažėjo, DS IF reikšmingai nepakito, o DS FPP padidėjo ($p=0,044$). DS išilginės ašies rodikliai (TVŽJA, S') po operacijos pablogėjo, palyginus su ikioperaciniais duomenimis. Vertinant regioninius miokardo įtampos pokyčius – tarpiskilvelinės

pertvaros išilginė įtampa pagerėjo, o DS laisvosios sienelės išilginė įtampa sumažėjo.

Kairiojo skilvelio ir prieširdžio dydžiai ir tūriai pooperaciniu periodu sumažėjo, tačiau funkcija reikšmingai nepakito.

Analizuojant TV geometrijos pokyčius, nustatyta, kad po atliktos TV žiedo plastikos reikšmingai sumažėja visi TVŽ skersmenys (pertvaros–šoninis skersmuo 18 proc., priekinis–užpakalinis 23 proc., didžiausios ašies 21 proc.), plotas (34 proc.), perimetras (15 proc.) ir burių nutempimo tūris (31 proc.), tačiau reikšmingai nepakinta TVŽ sferiškumo indeksas ir burių nutempimo aukštis (4.5.1 pav. ir 4.5.2 lentelė).



4.5.1 pav. TVŽ geometrijos pokyčiai (proc.) po atliktos TV žiedo plastikos

4.5.2 lentelė. TV žiedo plastikos poveikis TV žiedo geometrijai

	Ikioperaciniai rodikliai	Pooperaciniai rodikliai	p reikšmė
2D TV žiedo rodikliai			
TVŽ 4 ertmių diastolinis skersmuo, mm	43 (5)	34 (7,5)	< 0,001
TVŽ 4 ertmių diastolinio skersmens indeksas, mm/m ²	21,86 (3,4)	16,92 (5,25)	< 0,001
TVŽ 4 ertmių sistolinis skersmuo, mm	39 (5,5)	29,5 (9)	< 0,001
TVŽ 4 ertmių sistolinio skersmens indeksas, mm/m ²	20 (2,54)	15 (4,28)	< 0,001
TV burių nutempimo aukštis, cm	0,55 (0,22)	0,5 (0,28)	0,313
TV palapinės plotas, mm ²	1,25 (0,7)	1,15 (0,77)	0,184

4.5.2 lentelės tęsinys

	Ikioperaciniai rodikliai	Pooperaciniai rodikliai	p reikšmė
3D TV žiedo rodikliai			
TVŽ plotas, cm ²	14 (4,5)	9,3 (4,7)	< 0,001
TVŽ ploto indeksas, cm ² /m ²	7,02 (2,21)	5,07 (2,17)	< 0,001
TVŽ perimetras, cm	13 (2,3)	11 (2,88)	< 0,001
TVŽ perimetro indeksas, cm/m ²	6,64 (1,58)	5,82 (1,46)	< 0,001
Pertvaros–šoninis sistolinis TVŽ skersmuo, mm	42 (5)	35,5 (7)	< 0,001
Pertvaros–šoninio sistolinio TVŽ skersmens indeksas, mm/m ²	21,5 (3,1)	17,6 (4,4)	< 0,001
Pertvaros–šoninis diastolinis TVŽ skersmuo, mm	45 (5)	37 (6,7)	< 0,001
Pertvaros–šoninio diastolinio TVŽ skersmens indeksas, mm/m ²	22,9 (4)	18,8 (4,8)	< 0,001
Priekinis–užpakalinis TVŽ skersmuo, mm	40 (8)	31 (7)	< 0,001
Priekinio–užpakalinio TVŽ skersmens indeksas, mm/m ²	20,3 (4,7)	16,1 (4,2)	< 0,001
Didžiausios ašies sistolinis TVŽ skersmuo, mm	46 (5)	37 (8)	< 0,001
Didžiausios ašies sistolinio TVŽ skersmens indeksas, mm/m ²	23,2 (4,7)	19,4 (5)	< 0,001
Didžiausios ašies diastolinis TVŽ skersmuo, mm	48 (6,5)	40 (9,5)	< 0,001
Didžiausios ašies diastolinio TVŽ skersmens indeksas, mm/m ²	24 (4,8)	20,2 (5)	< 0,001
TV burių koaptacijos taško aukštis, mm	9 (5,5)	8,5 (3)	0,090
TV burių palapinės tūris, ml	3,9 (2)	2,2 (1,75)	< 0,001
TV sferiškumo indeksas, proc.	83,84 (11,09)	82 (11,75)	0,390

TV – triburis vožtuvas; TVŽ – triburio vožtuvo žiedas; TVN – triburio vožtuvo nesandarumas.

4.5.1. Kairiosios ir dešinėsios širdies geometrijos ir funkcijos pokyčiai, esant efektyviajai TV plastikai ir grįžtamajam TVN

Ikioperacinių ir pooperacinių echokardiografinių rodiklių palyginimas, esant efektyviajai TV plastikai ir grįžtamajam TVN pateiktas 4.5.1.1 ir 4.5.1.2 lentelėse.

Po TV žiedo plastikos stebimas teigiamas DP remodeliavimasis tiek efektyviosios TV plastikos, tiek ir grįžtamojo TVN grupių tiriamiesiems (4.5.1.1 lentelė).

4.5.1.1 lentelė. Kairiosios ir dešinėsios širdies geometrijos ir funkcijos pokyčių palyginimas, esant efektyviajai TV plastikai ir grįžtamajam TVN

	Efektyviosios TV plastikos grupė N = 50 (75,8 proc.)			Grįžtamojo TVN grupė N = 16 (24,2 proc.)		
	Ikioperaciniai rodikliai	Pooperaciniai rodikliai	p reikšmė	Ikioperaciniai rodikliai	Pooperaciniai rodikliai	p reikšmė
DP geometrijos rodikliai						
Skersmuo, mm	49 (9,25)	45 (6,5)	0,007	53,5 (7,75)	49 (9,75)	0,005
Skersmens indeksas, mm/m ²	24,8 (5,71)	22,96 (5,09)	0,012	29,51 (4,97)	25,63 (4,31)	0,004
Ilgis, mm	60,5 (11,25)	58 (11)	0,008	66,41 (7,63)	68 (11,5)	0,480
Plotas, cm ²	26,9 (10,56)	21,67 (6,3)	< 0,001	30,44 (11,47)	28,85 (8,08)	0,010
Ploto indeksas, cm ² /mm ²	14,21 (5,22)	10,75 (3,34)	< 0,001	17,2 (6,92)	14,25 (3,52)	0,019
Tūris, ml	91,5 (63,9)	68 (30,7)	< 0,001	106,38 (64,08)	98,1 (48)	0,005
DS geometrijos ir funkcijos rodikliai						
Priekrūtinkaulinis diastolinis skersmuo, mm	35 (7)	33 (9,5)	0,012	38,58 (6,13)	39 (9,25)	0,582
Priekrūtinkaulinis sistolinis skersmuo, mm	27 (6,5)	24 (6,5)	< 0,001	30,5 (7,25)	31 (7,75)	0,065
Pamatinis skersmuo, mm	44,5 (7)	40 (4,5)	< 0,001	51 (11,25)	45 (9,75)	0,003
Pamatinio skersmens indek- sas, mm/m ²	23,26 (3,57)	20,1 (4,21)	< 0,001	26,82 (5,48)	23,87 (5,2)	0,002
Vidurinis skersmuo, mm	35 (7,25)	31 (7,5)	< 0,001	39 (8,5)	36,5 (8,5)	0,053
Vidurinio skersmens indek- sas, mm/m ²	17,8 (4,12)	15,44 (4,2)	< 0,001	21,53 (6,78)	18,22 (5,47)	0,050
Ilgis, mm	63 (18,25)	68 (12)	0,025	64 (15)	70,5 (14,25)	0,075
Sferiškumo indeksas, proc.	0,55 (0,13)	0,47 (0,11)	< 0,001	0,62 (0,26)	0,53 (0,19)	0,006
Galinis diastolinis plotas, cm ²	21,2 (9,55)	20,1 (6,7)	0,342	22,72 (10,6)	26,6 (12)	0,091

4.5.1.1 lentelės tęsinys

	Efektyviosios TV plastikos grupė N = 50 (75,8 proc.)			Grįžtamojo TVN grupė N = 16 (24,2 proc.)		
	Ikioperaciniai rodikliai	Pooperaciniai rodikliai	p reikšmė	Ikioperaciniai rodikliai	Pooperaciniai rodikliai	p reikšmė
Galinio diastolinio ploto indeksas, cm ² /m ²	10,79 (4,52)	10,27 (3,04)	0,276	14,17 (4,73)	13,23 (6,05)	0,136
Galinis sistolinis plotas, cm ²	13,91 (7,18)	12,3 (5,3)	0,102	16,3 (10,13)	17,01 (9,75)	0,155
Galinis sistolinis ploto indeksas, cm ² /m ²	6,8 (3,46)	6,11 (2,85)	0,108	9,04 (4,04)	8,71 (4,52)	0,182
Galinis diastolinis tūris, ml	146,5 (90,15)	130,85 (54,75)	0,010	220,9 (137,05)	188,2 (76,53)	0,735
Galinis sistolinis tūris, ml	86,6 (65,7)	78,05 (38,48)	0,030	130,4 (97,55)	124,85 (57,13)	0,866
DS IF, proc.	40,8 (6,45)	41,1 (5,95)	0,582	37,8 (7,4)	35,1 (8,85)	0,063
FPP, %	32,1 (8,1)	33,85 (10,53)	0,011	28,3 (8,4)	26,25 (6,03)	0,176
TVŽJA, mm	18 (9)	16 (5,25)	0,003	17 (3,75)	14 (4)	0,035
S', cm/s	10,4 (5)	9 (2)	< 0,001	9,7 (4,75)	7,65 (2,5)	0,005
Pertvaros išilginė įtampa, proc.	-11,1 (5,05)	-14,05 (4,55)	0,002	-9,8 (4,75)	-11,15 (3,13)	0,398
Šoninės sienelės išilginė įtampa, proc.	-20,4 (6,1)	-20,3 (5,48)	0,970	-18,4 (11,9)	-15,85 (5,1)	0,028
Didžiausias sistolinis PAS, mmHg	53,44 (22,29)	30,96 (11,89)	< 0,001	55,48 (29,48)	41,89 (17,71)	0,012
Vidutinis PAS, mmHg	38 (12,75)	30 (9,5)	< 0,001	38,75 (11,88)	40,75 (7,38)	0,638
KS geometrijos ir funkcijos rodikliai						
Galinio diastolinio skersmens indeksas, mm/m ²	27,46 (5,62)	24,86 (3,87)	< 0,001	28,33 (5,3)	25,49 (4,79)	0,005
Galinio diastolinio tūrio indeksas, ml/m ²	70,73 (37,43)	58,12 (16,82)	< 0,001	58,89 (28,18)	64,02 (21,65)	0,424

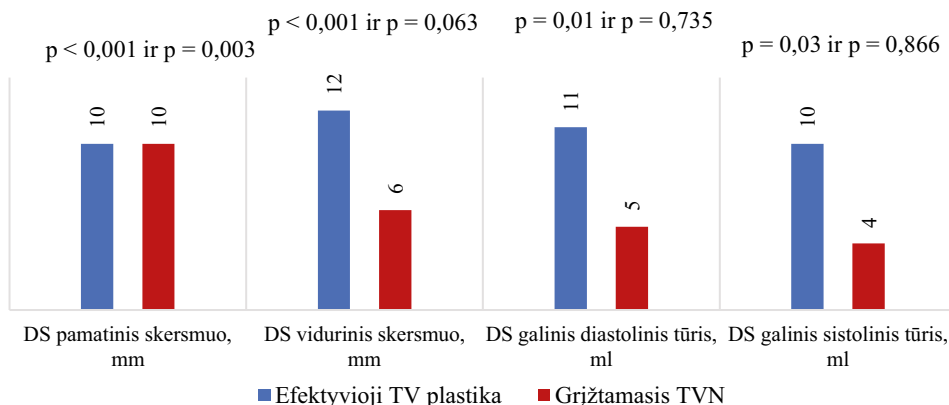
4.5.1.1 lentelės tęsinys

	Efektyviosios TV plastikos grupė N = 50 (75,8 proc.)			Grįžtamojo TVN grupė N = 16 (24,2 proc.)		
	Ikioperaciniai rodikliai	Pooperaciniai rodikliai	p reikšmė	Ikioperaciniai rodikliai	Pooperaciniai rodikliai	p reikšmė
Galinio sistolinio tūrio indeksas, ml/m ²	35,54 (30,15)	26,47 (12,63)	0,001	30,64 (23,05)	32,58 (21,05)	
KS IF, proc.	50 (17)	50 (10)	0,239	45 (12)	45 (15)	0,344
KP geometrijos rodikliai						
Skersmuo, mm	48 (6.25)	44 (10)	< 0,001	53 (12.75)	52.5 (10.75)	0,607
Tūrio indeksas, ml/m ²	57.08 (35.39)	42.7 (31.43)	< 0,001	72.13 (33.17)	64.32 (27.86)	0,534

DP – dešinysis prieširdis; DS – dešinysis skilvelis; IF – išstūmio frakcija; FPP – frakcijinis ploto pokytis; TVŽJA – triburio vožtuvo žiedo judesio amplitudė; PAS – plaučių arterijos spaudimas; KP – kairysis prieširdis; KS – kairysis skilvelis.

Efektyviosios TV plastikos grupės tiriamiesiems sumažėjo ne tik didžiausias sistolinis PAS, bet ir vidutinis PAS, kai grįžtamojo TVN grupėje – vidutinis PAS reikšmingai nesikeitė.

Vertinant DS geometrijos pokyčius, nustatyta, kad abiejose grupėse reikšmingai sumažėjo DS pamatinis skersmuo. Tačiau tik efektyviosios plastikos grupėje stebėtas reikšmingas DS vidurinio skersmens, priekrūtinkaulinių skersmenų ir DS tūrių sumažėjimas, kai grįžtamojo fTVN grupėje šie rodikliai nepakito (4.5.1.1 pav.).



4.5.1.1 pav. DS dydžių ir tūrių pokyčiai (proc.), esant efektyviajai TV plastikai ir grįžtamajam TVN

Analizuojant DS funkcinius rodiklius, efektyviosios TV plastikos grupės tiriamiesiems stebėta DS išstūmio frakcijos gerėjimo tendencija, reikšmingai pagerėjo FPP ($p = 0,011$), nors išilginės ašies funkcijos rodikliai reikšmingai sumažėjo ($p < 0,05$). Esant grįžtamajam TVN, sumažėjo išilginės ašies funkcijos rodikliai, bei stebėta DS bendrosios sistolinės funkcijos blogėjimo tendencija. DS įtampos rodikliai taip pat skyrėsi tarp grupių: efektyviosios TV plastikos grupėje tarpkilvelinės pertvaros išilginė įtampa reikšmingai pagerėjo ($p = 0,002$), o šoninės sienelės reikšmingai nepakito. Grįžtamojo TVN grupėje pertvaros išilginė įtampa nepagerėjo, o DS šoninės sienelės įtampa reikšmingai pablogėjo ($p = 0,028$).

Nors abiejose fTVN grupėse reikšmingo KS sistolinės funkcijos pokyčio nestebėta, efektyviosios TV plastikos grupėje stebimas reikšmingas KS ir KP tūrių sumažėjimas, grįžtamojo TVN grupėje šis pokytis buvo nereikšmingas.

Analizuojant TVŽ rodiklius, 2D TVŽ skersmenys reikšmingai sumažėjo abiejų grupių tiriamiesiems.

Po TV plastikos TV žiedo geometrija reikšmingai pakito, ypač efektyviosios TV plastikos grupėje. Nustatyta, kad šioje grupėje reikšmingai sumažėjo

žiedo dydžiai (TVŽ plotas, perimetras, visi TVŽ skersmenys) ir burių nutempimas (burių koaptacijos aukštis ir TV palapinės tūris) (4.5.1.2 lentelė). Grįžtamojo TVN grupės pacientams 2D TVŽ skersmenys sumažėjo reikšmingai, tačiau 3D echokardiografijos duomenimis nustatyta, kad TVŽ plotas, perimetras, TV žiedo skersmenys, burių nutempimas bei palapinės tūris po operacijos nepakito (4.5.1.2 pav.).

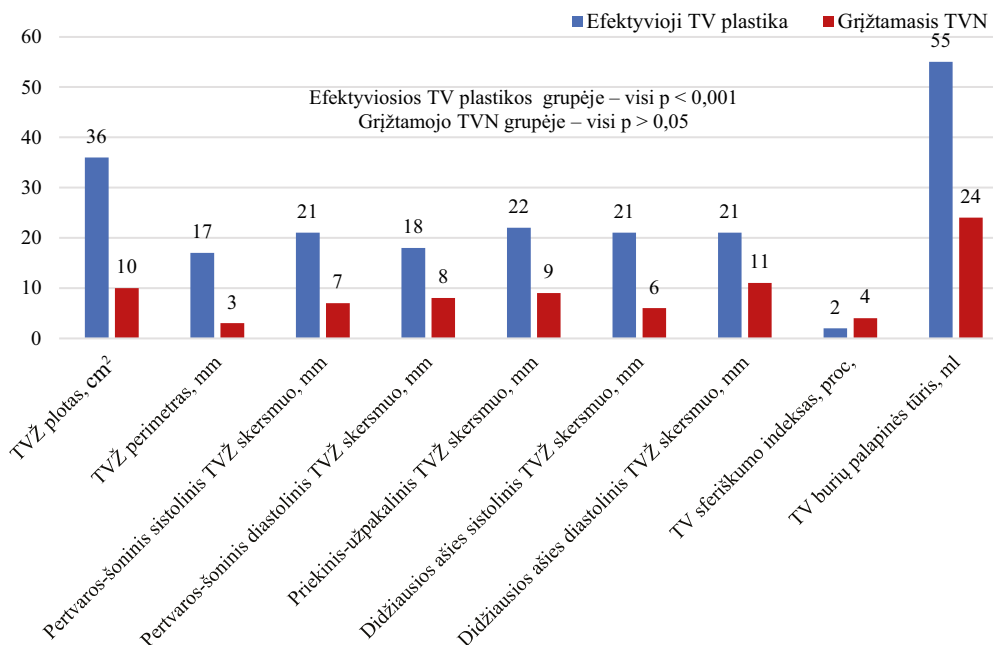
4.5.1.2 lentelė. TV žiedo geometrijos palyginimas, esant efektyviajai TV plastikai ir grįžtamajam TVN

	Efektyviosios TV plastikos grupė N = 50 (75,8 proc.)			Grįžtamojo TVN grupė N = 16 (24,2 proc.)		
	Ikioperaciniai rodikliai	Pooperaciniai rodikliai	p reikšmė	Ikioperaciniai rodikliai	Pooperaciniai rodikliai	p reikšmė
2D TV žiedo geometrijos rodikliai						
TVŽ 4 ertmių diastolinis skersmuo, mm	41,5 (4)	32 (9)	< 0,001	45,35 (5)	40 (7,25)	0,002
TVŽ 4 ertmių diastolinio skersmens indeksas, mm/m ²	21,78 (2,77)	16,51 (4,51)	< 0,001	23,89 (6,49)	21,08 (3,34)	0,002
TVŽ 4 ertmių sistolinis skersmuo, mm	39 (5,5)	28 (8)	< 0,001	42 (5,6)	36 (8)	0,006
TVŽ 4 ertmių sistolinio skersmens indeksas, mm/m ²	19,9 (2,37)	14,16 (3,84)	< 0,001	22,26 (6,51)	17,95 (3,91)	0,004
TV burių nutempimo aukštis, cm	0,53 (0,21)	0,45 (0,29)	0,017	0,66 (0,24)	0,95 (0,2)	0,066
TV palapinės plotas (mm ²)	1,19 (0,66)	0,96 (0,57)	0,116	1,69 (0,96)	2,5 (1,25)	0,893
3D TV žiedo geometrijos rodikliai						
TVŽ plotas, cm ²	13,95 (3,9)	8,9 (3,6)	< 0,001	16,4 (2,6)	14,8 (5,3)	0,352
TVŽ ploto indeksas, cm ² /m ²	6,75 (2,23)	4,27 (1,93)	< 0,001	8,59 (2,24)	7,34 (2,67)	0,310
TVŽ perimetras, cm	12,7 (2,23)	10,6 (1,95)	< 0,001	14,3 (1,85)	13,9 (3)	0,498
TVŽ perimetro indeksas, cm ² /m ²	6,47 (1,35)	5,48 (1,36)	< 0,001	7,83 (1,81)	7,02 (1,39)	0,735
Pertvaros–šoninis sistolinis TVŽ skersmuo, mm	42 (4,3)	33 (6)	< 0,001	46 (4,5)	43 (5)	0,309
Pertvaros–šoninio sistolinio TVŽ skersmens indeksas, mm/m ²	21,4 (3,1)	16,8 (3,5)	< 0,001	23,7 (8,1)	21,6 (3,3)	0,310
Pertvaros–šoninis diastolinis TVŽ skersmuo, mm	44 (4,5)	36 (6)	< 0,001	48 (4,5)	44 (5)	0,203
Pertvaros–šoninio diastolinio TVŽ skersmens indeksas, mm/m ²	22,6 (3,7)	18,5 (4,1)	< 0,001	26,3 (8,7)	22,7 (4)	0,128
Priekinis–užpakalinis TVŽ skersmuo, mm	39,5 (7,3)	31 (7,5)	< 0,001	43 (5,5)	39 (10)	0,149

4.5.1.2 lentelės tęsinys

	Efektyviosios TV plastikos grupė N = 50 (75,8 proc.)			Grįžtamojo TVN grupė N = 16 (24,2 proc.)		
	Ikioperaciniai rodikliai	Pooperaciniai rodikliai	p reikšmė	Ikioperaciniai rodikliai	Pooperaciniai rodikliai	p reikšmė
Priekinio–užpakalinio TVŽ skersmens indeksas, mm/m ²	20 (4,8)	15,1 (4,4)	< 0,001	22,2 (5,7)	19,4 (3,9)	0,176
Didžiausios ašies sistolinis TVŽ skersmuo, mm	45,5 (5,2)	36 (9,5)	< 0,001	49 (7)	46 (9)	0,138
Didžiausios ašies sistolinio TVŽ skersmens indeksas, mm/m ²	22,5 (3,4)	18,8 (4,7)	< 0,001	26,8 (7,3)	23,8 (6,2)	0,075
Didžiausios ašies diastolinis TVŽ skersmuo, mm	48 (6)	38 (7)	< 0,001	53 (6,5)	47 (10)	0,126
Didžiausios ašies diastolinio TVŽ skersmens indeksas, mm/m ²	23,6 (3,4)	19,4 (4,9)	< 0,001	27,9 (8,1)	24,3 (6)	0,043
TV burių koaptacijos taško aukštis, mm	9 (5,3)	8 (3)	0,002	10 (4,5)	8 (2)	0,248
TV burių palapinės tūris, ml	3,75 (1,78)	1,7 (1,3)	< 0,001	5 (3,25)	3,8 (3,2)	0,671
TV sferiškumo indeksas, proc.	83,33 (11,09)	82 (11,5)	0,690	84,44 (11,85)	81 (24)	0,236

TV – triburis vožtuvas; TVŽ – triburio vožtuvo žiedas; TVN – triburio vožtuvo nesandarumas.



4.5.1.2 pav. TV geometrijos pokyčiai (proc.), esant efektyviajai TV plastikai ir grįžtamajam TVN

Apibendrinant:

Pacientams, kuriems atlikta TV žiedo plastika siūlu De Vega metodika, 1 metai po atliktos operacijos reikšmingai sumažėjo dešinėsios širdies dydžiai, gerėjo DS funkcijos ir išilginės įtampos vertės, bei nustatyta TV teigiama remodeliacija.

Grįžtamojo TVN grupės tiriamiesiems pooperaciniu laikotarpiu DS vidurinis skersmuo ir DS tūriai nesumažėjo, bei pablogėjo ne tik DS šoninės sienelės išilginės ašies funkcija ir įtampa, bet ir bendroji DS sistolinė funkcija.

3D echokardiografija įvertinti TVŽ ploto, perimetro, skersmenų matavimai, burių nutempimas bei palapinės tūris grįžtamojo TVN grupės tiriamiesiems po operacijos nepakito. Efektyviai koregavus funkcinę TV nedarumą stebėta teigiama šių rodiklių dinamika.

5. REZULTATŲ APTARIMAS

5.1. Funkcinio TVN vertinimas

Šiame perspektyviajame disertacijos tyrime buvo tiriami 109 pacientų, kuriems diagnozuotas vidutinio sunkumo arba didelis funkcinis (antrinis) TVN, sukeltas skirtingų priežasčių, įskaitant įsisenėjusią kairiosios širdies vožtuvų patologiją ir ikikapiliarinę PH, echokardiografiniai duomenys. Skirtingos etiologijos fTVN echokardiografinius rezultatus galima apibendrinti taip: (a) DS skersmenys, ilgis, plotai ir tūriai buvo didesni ikikapiliarinės PH grupės tiriamųjų, palyginti su KŠP grupe; (b) PH buvo susijusi su didesniu burių nutempimu, palapinės tūriu ir labiau padidėjusiais pertvaros–šoninės ir didžiausios ašies TVŽ skersmenimis; priešingai, KŠP buvo susijusi su didesniu priekiniu – užpakaliniu TVŽ skersmeniu ir sferiškumo indeksu; ir (c) skirtinga skilvelinio fTVN etiologija buvo susijusi su skirtingais dvimačiais ir trimačiais echokardiografiniais rodikliais, leidžiančiais prognozuoti didelį TVN.

5.1.1. Dešinėsios širdies ir TV geometrijos palyginimas tarp skirtingos etiologijos fTVN grupių

Šiuo metu taikoma fTVN klasifikacija pagal TVN etiologiją ir mechanizmą. Skiriami šie funkcinio TVN tipai: prieširdinis funkcinis TVN ir skilvelinis funkcinis TVN [82]. Iki šiol dauguma tyrimų buvo skirti nustatyti dešinėsios širdies geometrijos skirtumams tarp prieširdinio ir skilvelinio funkcinio TVN [32, 48, 60, 167]. Topilsky su kolegomis analizavo pacientus, turinčius izoliuotą (prieširdinį) TVN ir su PH susijusį fTVN ir aprašė TV ir DS būdingus geometrijos pokyčius [50]. Pirmuoju – prieširdinio TVN – atveju TVŽ ir DS pamatinės dalies dilatacija bei DS kūginė deformacija nesukelia ryškesnio burių nutempimo, o atvirkščiai, antruoju – skilvelinio fTVN – atveju ryškus burių nutempimas, susijęs su DS pailgėjimu ir elipsine / sferine deformacija, koreliuoja su TVN sunkumu.

Žinomi ir aprašyti minėti geometriniai pokyčiai skilvelinio ir prieširdinio TVN atveju, tačiau tikslūs patofiziologiniai skirtingos etiologijos skilvelinio fTVN mechanizmai nėra plačiai nagrinėjami. Remiantis Muraru ir kolegų tyrimo išvadomis, nustatyta, kad skirtingos etiologijos fTVN (dėl lėtinio PV, kairiosios širdies patologijos (KŠP), PH ir koreguotos Falo tetrados) susijęs su skirtingo sunkumo TVŽ išsiplėtimu, burių nutempimu ir dešiniųjų širdies dalių remodeliacija [38]. Autoriai įrodė, kad visų fTVN grupių tiriamųjų TVŽ buvo išsiplėtęs. KŠP ir PH grupių pacientų buvo išsiplėtęs tiek DP, tiek ir DS, kurio padidėjimas lėmė reikšmingą burių palapinės tūrio padidėjimą. Tačiau

nurodyto tyrimo tikslas buvo palyginti prieširdinio ir skilvelinio fTVN pokyčius, o ne skirtingos skilvelinio fTVN etiologijos skirtumus. Remiantis mūsų turimais duomenimis, iki šiol nėra atlikta daug tyrimų, kuriuose būtų ištirta, kokie dešinėsios širdies geometrijos ir funkcijos rodikliai yra būdingi skirtingoms skilvelinio fTVN etiologijoms ir kurie dešinėsios širdies parametrai yra susiję su dideliu fTVN skirtingose skilvelinio fTVN grupėse.

Mūsų tyrime buvo analizuojami DS ir TV skirtumai esant įvairios etiologijos skilveliniam funkciniam TVN (skilveliniam fTVN dėl kairiosios širdies patologijos ir skilveliniam fTVN dėl ikikapiliarinės PH). Rezultatai atskleidė, kad ikikapiliarinės PH grupėje, palyginti su KŠP grupe, buvo ne tik didesnė DS dilatacija ir didesnis burių nutempimas, bet ir ryškesnė DS disfunkcija. Gauti rezultatai sutampa su kitų tyrėjų išvadomis, kad DS pailgėjimas ir ekscentriškumas sukelia burių nutempimą, palyginti su nedidele TVŽ dilatacija pacientams, sergantiems fTVN ir PH [50]. Pacientams, turintiems kairiosios širdies patologiją, fTVN gali išsivystyti kaip padidėjusio KPr spaudimo, kuris galiausiai sukelia PH, padarinys. Padidėjęs DS pokrūvis sukelia DS sistolinę disfunkciją ir didina DS dilataciją. DS išsiplėtimas, kaip nustatė Spinner ir kolegos sukelia DS laisvos sienelės išsiplėtimą, kuris lemia šoninių ir viršūninių speninių raumenų poslinkį, dėl kurio ir atsiranda burių nutempimas [168]. Nustatyta, kad sergant PAH, TVN progresavimas yra susijęs tiek su TVŽ išsiplėtimu, tiek su burių nutempimu. TVŽ išsiplėtimas tradiciškai apibūdinamas kaip antrinis DS dilatacijos ir disfunkcijos dėl spaudimo perkrovos rezultatas. Šie pokyčiai savo ruožtu iškreipia normalią burių, speninių raumenų ir chordų geometriją, erdvinius santykius ir sukelia fTVN, kuris dar labiau pablogina DS ir TVŽ remodeliaciją [169–170]. Taip sukuriamas užburtas ratas.

Be to, TVN sunkumas ir dvimate echokardiografija pamatuoti TVŽ skersmenys mūsų tyrime tarp KŠP ir PH grupių nesiskyrė, tačiau trimatė echokardiografija leido nustatyti papildomus TVŽ geometrijos pokyčius, kurie ateityje galėtų padėti diagnozuoti fTVN.

5.1.2. TV geometrijos ryšys su fTVN sunkumu

Tyrimai rodo, kad trimačiai echokardiografiniai parametrai gali padėti prognozuoti TVN sunkumą [171]. Atlikę 3D DS ir TV geometrijos analizę, Song ir kt. priėjo prie išvados, kad pertvaros–šoninis TVŽ skersmuo, pertvaros–šoninis DS pamatinis skersmuo, taip pat pertvaros ir priekinės burės palinkimo kampai buvo nepriklausomi TVN sunkumo veiksniai [35, 39]. TV žiedo plotas tiesiogiai susijęs su fTVN laipsniu ir didėja progresuojant fTVN [12, 17]. Mūsų disertacinis tyrimas leidžia daryti išvadą, kad iš visų rodiklių didžiausią prognozinę didelio fTVN vertę turėjo trimatė echokardiografija pamatuoti

TV analizės rodikliai: sistolinis ir diastolinis pertvaros–šoninis ir didžiausios ašies TVŽ skersmenys bei TVŽ plotas ir perimetras. Daugiaveiksni analizė atskleidė, kad ne tik pamatinis DS ir pertvaros–šoninis TVŽ skersmuo, bet ir TVŽ perimetras buvo nepriklausomi TVN sunkumo prognoziniai veiksniai.

Be to, atlikus skirtingų fTVN etiologijų (KŠP ir PH) pogrupių analizę nustatyta, kad TVŽ skersmenys ir ploto rodikliai, taip pat burių palapinės tūris buvo didelio TVN prognoziniai rodikliai PH grupės tiriamųjų, o KŠP grupės tiriamųjų ploto rodikliai prognozinės reikšmės neturėjo. Mūsų duomenimis, mūsų tyrimas buvo pirmasis, kuriame ištirti didelį fTVN prognozuojantys veiksniai, esant skirtingoms fTVN etiologijoms. Pogrupio analize nustatyta, kad skirtingi TV rodikliai (PH grupės tiriamųjų didžiausios ašies TVŽ skersmuo ir žiedo perimetras bei KŠP grupės tiriamųjų pertvaros–šoninis TVŽ skersmuo) turėjo didžiausią didelio TVN prognozinę vertę.

Iš DS rodiklių – DS vidurinis ir pamatinis skersmenys bei DS galinis sistolinis plotas buvo susiję su dideliu TVN abiejose skilvelinio fTVN grupėse. Šie rezultatai atitinka kitų autorių publikacijas, kuriose analizuotas DS dilatacijos paplitimas skirtingo sunkumo TVN pogrupiuose. Nustatyta, kad progresuojant TVN sunkumui, DS dilatacijos dažnumas reikšmingai didėja: DS dilatacija nustatyta 29,3 proc. pacientų, turintiems vidutinio sunkumo TVN, 55,9 proc. pacientų – turintiems didelį TVN, ir 81,7 proc. – turintiems masyvų / labai didelį TVN [42].

5.1.3. Trimatės analizės svarba vertinant TV

TVŽ yra sudėtinga trimatė struktūra, o tinkamiausias tikslaus TVŽ matmenų įvertinimo vaizdinimo metodas yra trimatė echokardiografija [6, 86, 118]. Dvimatis echokardiografinis TVŽ skersmens pamatavimas nepakankamai tiksliai įvertina tikrąjį TVŽ dydį dėl jo elipsės formos, todėl TVŽ skersmuo, pamatuotas keturių ertmių arba trumposios ašies vaizduose, yra mažesnis už tikrąjį priekinį–užpakalinį skersmenį [7]. Be to, kai TVŽ plečiasi, tai vyksta daugiausia priekine–užpakaline kryptimi, kuri nėra tinkamai įvertinama atliekant įprastinę 2D echokardiografiją viršūniniame keturių ertmių vaizde [8]. Trimatė echokardiografija papildė neinvazinio TV vaizdinimo metodus – atsirado naujų įžvalgų ir geresnis supratimas apie fTVN patofiziologiją [15]. Mūsų tyrimo išvados sutampa su kitų tyrėjų gautais rezultatais, kad 2D TVŽ matmenys yra mažesni nei trimačiai (2D echokardiografija pamatuotas 4 ertmių skersmuo yra mažesnis negu tas pats matmuo, pamatuotas 3D echokardiografija) ir neparodo maksimalių žiedo matmenų [2, 172–173]. Mūsų atliktas tyrimas taip pat įrodė, kad dvimatės echokardiografijos būdu nustatytas 4 ertmių diastolinis TVŽ skersmuo turėjo mažesnę prognozinę vertę, o jautrumas ir specifiškumas buvo blogesni, palyginti su visais trimačiais TVŽ

rodikliais. Nustatėme, kad trimatei TVŽ analizei būdingas net 82–91 proc. jautrumas prognozuojant didelį TVN.

Tikslus TV matmenų nustatymas, naudojant 3D echokardiografiją, gali padėti priimti teisingus sprendimus dėl laiku skirto TV intervencinio / operacinio gydymo.

5.2. Funkcinio TVN, nulemta kairiosios širdies patologijos, pooperaciniai rezultatai

Šiame disertaciniame tyrime buvo analizuoti 66 pacientų, sergančių vidutinio arba didelio laipsnio TVN, sukeltu kairiosios širdies vožtuvų patologijos, echokardiografiniai 2D ir 3D ikioperaciniai ir pooperaciniai duomenys. Visiems šiems pacientams kairiosios širdies operacijos metu buvo atlikta TV žiedo plastika siūlu De Vega metodika. Vienas iš tyrimo uždavinių buvo įvertinti širdies geometrijos ir funkcijos ryšį su grįžtamuoju TVN. Gautus rezultatus galima apibendrinti taip: (a) vidutinio sunkumo ar didelis grįžtamasis TVN po TV žiedo plastikos yra susijęs su ikioperaciniais DP ir DS geometrijos pokyčiais; (b) nenustatyta koreliacijos tarp TVN pasikartojimo ir kairiojo bei dešiniojo skilvelių funkcijos pokyčių; (c) rodikliai, turintys didžiausią prognozinę vertę grįžtamajam TVN, buvo 3D echokardiografija pamatuoti didžiausios ašies diastolinis ir sistolinis TVŽ skersmenys, pertvaros–šoninis sistolinis ir diastolinis TVŽ skersmenys, TVŽ perimetras ir TV burių nutempimo tūris; (d) nustatyta, kad dvimate echokardiografija įvertintų rodiklių prognozinė vertė yra mažesnė, palyginti su atitinkamais trimačiais rodikliais; e) grįžtamasis TVN susijęs su po operacijos išliekančia DS vidurinės dalies dilatacija, sumažėjusia DS sistoline funkcija, reikšmingai nesumažėjusiu TVŽ perimetru bei burių nutempimu.

Literatūroje aprašoma apie 4–30 proc. atvejų, kai reikšmingas TVN pasikartoja po chirurginės vožtuvo korekcijos [10, 24, 27–28, 132, 159, 174–176]. Mūsų tyrime grįžtamasis TVN nustatytas 16 (24,2 proc.) pacientų, kuriems kairiosios širdies ydos operacijos metu kartu buvo atlikta TV žiedo plastika De Vega metodika. Kai kuriuose ankstesniuose tyrimuose TVN pasikartojimo dažnumas buvo mažesnis nei nustatytas mūsų disertacijos tyrime, tačiau nemaža dalis šių tyrimų grįžtamuoju TVN įvertino tik didelį, o ne vidutinį, TVN. Pavyzdžiui, Ito ir bendraautorių tyrime ≥ 3 laipsnio pasikartojantis TVN buvo nustatytas 15 proc. pacientų [176].

Savo tyrime pasirinkome reikšmingu laikyti vidutinį – didelį ir didelį grįžtamąjį TVN, nes atlikti tyrimai įrodė, kad dvejų metų išgyvenamumas buvo reikšmingai mažesnis pacientų, kuriems nustatytas vidutinis – didelis ir didelis liekamasis TVN, palyginti su pacientais, kuriems buvo nedidelis – vidutinis liekamasis TVN. Išgyvenamumo rodiklių skirtumo tarp pacientų,

turinčių nedidelį ir nedidelį – vidutinį liekamąjį TVN (atitinkamai 85 proc. ir 80 proc.), arba pacientų, turinčių vidutinį – didelį ir didelį liekamąjį TVN (55 proc. ir 44 proc.), nepastebėta [31].

5.2.1. Ryšys tarp klinikinių duomenų, dešiniojo ir kairiojo skilvelių geometrinių ir funkcinių rodiklių bei grįžtamojo TVN

Vertindami klinikinius duomenis, mes nustatėme, kad ikioperacinis prieširdžių virpėjimas buvo prognozinis grįžtamojo TVN veiksnys. Šiuos rezultatus patvirtina ir kiti tyrimai [174, 177]. Ankstesni tyrimai įrodė, kad ikioperacinė NYHA funkcinė klasė ir TVN sunkumo laipsnis prieš operaciją buvo susiję su TVN pasikartojimu. Tačiau mūsų disertaciniame darbe šie veiksniai reikšmingai tarp efektyviosios plastikos ir grįžtamojo TVN grupių nesiskyrė [132, 171, 176]. McCarthy su kolegomis nustatė, kad pacientams, kuriems atliekant kairiosios širdies vožtuvų operaciją, kartu nustatomas ir PV, yra labai didelė grįžtamojo TVN rizika, net ir taikant PV abliaciją operacinio gydymo metu [178].

Kitamura su kolegomis, naudodami daugiaveiksnę analizę, atskleidė, kad didesnis DS sistolinis skersmuo buvo pasikartojančio $\geq 2 +$ TVN prognozinis rodiklis [132]. Kitamuros tyrimu nustatyta, kad tiek DS diastolinis, tiek sistolinis skersmuo buvo daug didesnis grįžtamojo TVN grupėje, palyginti su efektyviosios plastikos grupe. Tarp dviejų grupių DS FPP skirtumų nepastebėta. Calafiore ir kt. tyrime nurodoma, kad DS išsiplėtimas buvo pasikartojančio TVN rizikos veiksnys po TV plastikos klasikiniu arba lanksčiuoju žiedu [48]. Maslow su kolegomis nustatė, kad pacientams, kuriems kartu su pirmine kairiosios širdies operacija buvo atlikta ir TV plastika dėl fTVN, ikioperacinis DS skersmuo ir jo prognozinė vertė $> 4,88$ cm buvo susiję su nesėkminga TV korekcija [38]. Mūsų atliktas tyrimas atskleidė, kad lyginant grįžtamojo TVN ir efektyviosios TV plastikos grupes, TVN pasikartojimas buvo susijęs su didesniais DS ir DP linijiniais ir tūriniais rodikliais, tačiau DS funkciniai rodikliai šiose dviejose grupėse nesiskyrė. Naudojant ROC analizę, DS pamatinis skersmuo turi patikimiausią prognozinę grįžtamojo TVN vertę iš DS rodiklių. Nustatyta, kad pamatinis DS skersmuo yra vienas iš trijų rodiklių, turinčių didžiausią prognozinę TVN pasikartojimo vertę. Daugiaveiksnių laipsniška regresinė analizė patvirtino, kad DS pamatinis skersmuo buvo nepriklausomas prognozinis grįžtamojo TVN veiksnys.

Mūsų tyrimo duomenimis, DS funkcijos rodikliai neturėjo reikšmingos grįžtamojo TVN prognozinės vertės. Šie rezultatai sutampa su kitų tyrėjų duomenimis, kurie nurodo, jog DS disfunkcija nėra grįžtamojo TVN rizikos veiksnys [176, 179]. Algarni su kolegomis nustatė, kad didėjanti DS disfunkcija nebuvo susijusi su dažnesniu TVN pasikartojimu po TV žiedo plastikos

(pasikartojantis TVN atsirado 15,1 proc. pacientų, kurių DS funkcija buvo normali (TVŽJA > 20 mm), 38,3 proc. pacientų, kuriems buvo lengva DS disfunkcija (TVŽJA 15–20 mm) ir 18,9 proc. pacientų, esant vidutinio sunkumo arba ryškiai DS disfunkcijai (TVŽJA < 15 mm) [171].

Žinoma, kad grįžtamasis TVN yra susijęs su ryškia KS disfunkcija [15, 55]. KS disfunkcija sukelia spaudimo ir (arba) tūrio perkrovą, dėl kurios išsiplečia KS. Pacientams, sergantiems ryškia KS disfunkcija, dažnai KS tampa elipsės formos. Šie geometriniai KS sutrikimai veikia DS geometriją ir funkciją tiesiogiai per tarpkilvelinę pertvarą arba netiesiogiai prisideda prie PH [55]. Gatti ir kolegos įrodė, kad KSIF < 50 proc., o Kitamura su kolegomis – kad KSIF < 40 proc. buvo ≥ 2 laipsnio grįžtamojo TVN prognozinis veiksnys po TVŽ plastikos žiedu [15, 132]. Nors mūsų tyrime grįžtamojo TVN grupės tiriamųjų KS IF taip pat buvo mažesnė, tačiau reikšmingo ryšio tarp KS funkcijos ir TVN pasikartojimo nenustatyta. Šiuos rezultatus galėjo lemti tai, kad mūsų tyrimo grupėje buvo tik keli pacientai, kurių buvo ryškesnė KS disfunkcija, o Kitamuros ir kolegų tyrime net 32 proc. pacientų grįžtamojo TVN grupėje KS IF buvo < 40 proc..

5.2.2. Ryšys tarp TV geometrinių parametrų ir grįžtamojo TVN

Kaip jau aprašyta anksčiau, fTVN išsivystymui svarbiausi TV geometrijos pokyčiai yra TVŽ išsiplėtimas ir burių nutempimas [55]. Šios TV deformacijos gali apriboti burių judrumą ir sumažinti koaptaciją.

Suaugusiųjų normalus TVŽ skersmuo yra 28 ± 5 mm (keturių ertmių vaizdas diastolėje). 2025 m. EKD Širdies vožtuvų ligų gydymo gairės rekomenduoja TVŽ skersmenį ≥ 40 mm (> 21 mm/m²) laikyti chirurginio gydymo indikacija [23]. Ankstesni tyrimai rodo, kad TVŽ dydis yra grįžtamojo TVN rizikos veiksnys, atliekant TV korekciją 3D formos žiedais [46, 65]. Taip pat buvo atlikta keletas tyrimų, siekiant ištirti ryšį tarp TVŽ perimetro ir pooperacinio TVN. Įrodyta, kad yra glaudus ryšys tarp TVŽ perimetro ir TVN. Jin Guo Xu su kolegomis nustatė, kad TVŽ perimetro indeksas $\geq 7,86$ cm/m² yra pasikartojančio reikšmingo TVN rizikos veiksnys po kartu atliktos TV žiedo plastikos, kai atliekama kairiosios širdies operacija [44]. Zhu ir kolegos ištyrė, kad 83 mm/m² TVŽ perimetro indeksas yra slenkstinė vertė, kai turėtų būti atliekama TV korekcija kairiosios širdies operacijos metu [29]. Remiantis Mohammad Sharif Popal rekomendacija, ši slenkstinė vertė nustatyta dar šiek tiek mažesnė – 80,2 mm/m² [47]. Mūsų tyrimas taip pat patvirtino didelę TVŽ perimetro ir perimetro indekso prognozinę TVN pasikartojimo vertę (AUC 0,790; ribinė vertė 130,5 mm ir AUC 0,780, ribinė vertė 7,8 cm/m²).

Atlikus šio disertacinio darbo analizę nustatyta, kad trimačiu metodu gauti TVŽ skersmenys turėjo dar didesnę grįžtamojo TVN prognozinę vertę.

Naudojant ROC analizę, diastolinis didžiausios ašies skersmuo (ribinė vertė 48,5 mm), taip pat pertvaros–lateralinis sistolinis (ribinė vertė 43,5 mm) ir diastolinis (ribinė vertė 46,5 mm) TVŽ skersmenys turėjo didžiausią grįžtamąjo TVN prognozinę vertę iš visų TVŽ rodiklių. Remiantis tolesne iš anksto nustatytų echokardiografinių verčių vienaveiksne analize, padidėjusio 3D metodu pamatuoto TVŽ didžiausios ašies diastolinio skersmens ($> 48,5$ mm) ir padidėjusio DS pamatinio skersmens ($> 47,5$ mm) bendras poveikis turėjo didžiausią įtaką ŠS – 12,8 (95 % PI 2,3–72,8) TVN pasikartojimui. Panaši prognozinė skersmenų vertė buvo pastebėta ir kituose tyrimuose. Wang ir kolegų atliko tyrimą ir nustatytė tiesinį ryšį tarp pradinio TVŽ skersmens ir TVN progresavimo rizikos – TVŽ skersmens padidėjimas milimetru buvo susijęs su 8 proc. padidėjusia TVN progresavimo rizika, o esant TVŽ skersmeniui ≥ 40 mm TVN progresavimo rizika padidėjo beveik 70 proc. [176]. McCarthy su kolegomis nustatė, kad TVŽ išsiplėtimas nebuvo susijęs su grįžtamuoju TVN, kol TVŽ skersmuo nebuvo didesnis nei 45 mm [178]. Maslow ir kolegų nurodė, kad pacientams, kuriems buvo atlikta pirminė kairiosios širdies operacija, ikioperacinis TVŽ skersmuo buvo operacijos rezultato prognozavimo veiksnys [38]. Jie taip pat nurodė prognozes vertes: ikioperacinis ir intraoperacinis TVŽ diastolinis skersmuo $\geq 4,2$ cm ir ikioperacinis sistolinis TVŽ skersmuo $\geq 3,7$ cm prognozavo neefektyvią TV plastiką. Taigi, TVŽ išsiplėtimas turi didelę įtaką fTVN pasikartojimui, be to, kaip parodė mūsų tyrimas, pertvaros–šoninis sistolinis TVŽ skersmuo yra nepriklausomas pooperacinio grįžtamąjo TVN prognozinis veiksnys.

Po atliktos TV žiedo plastikos, dėl širdies remodeliavimosi atsiradęs neatitikimas tarp pirminės vožtuvo anatomijos ir pakitusios žiedo konfigūracijos gali lemti TVN pasikartojimą arba progresavimą. P. Tensas ir bendraautorai atliko 317 pacientų, operuotų dėl MV ydos, kai kartu buvo atliekama ir TV korekcija (Kay plastikos metodika, kietuoju žiedu arba lanksčiuoju žiedu), intraoperacinius TV žiedo segmentų matavimus [146]. Įrodyta, kad esant fTVN, išsiplečia visi TV žiedo segmentai: užpakalinė TV žiedo dalis išsiplečia apie 17 proc., priekinė – apie 13,4 proc., pertvarinė – apie 11,4 proc. Pertvarinės TV žiedo dalies dilatacija jautriausiai prognozuoja TVN atsinaujinimą po operacijos. Tyrėjai svarsto, kad pertvarinė TV žiedo dalis prisitvirtinusi prie tarpškilvelinės pertvaros ir mažiau linkusi dilatuoti. Tačiau, atsiradus DS remodeliavimuisi ir disfunkcijai, įvyksta ir septalinio TV žiedo segmento dilatacija. Šie pokyčiai prognozuoja dažnesnį TVN atsinaujinimą po atliekamos vožtuvo korekcijos. Remiantis šiais duomenimis, geresniems pooperaciniams rezultatams pasiekti siūloma atlikti pertvarinę TV žiedo klostę [180].

Burių nutempimas atsiranda dėl burių patraukimo DS viršūnės link. Jis yra įvertinamas dvimate echokardiografija: matuojama burių koaptacijos linijos pasislinkimas nuo TVŽ ir palapinės plotas keturių ertmių viršūniniame

vaizde. Jei burių koaptacijos taškas yra > 8 mm žemiau nuo TVŽ, o palapinės plotas yra $> 1,6 \text{ cm}^2$, galima teigti, kad TV burių nutempimas yra reikšmingas [66]. Fukuda ir kolegos parodė, kad ikioperacinis burių koaptacijos aukštis ir plotas prognozavo ankstyvuosius ir vidutinės trukmės (> 1 metų) TV plastikos žiedo rezultatus, o TV plastikos rūšis įtakos šiems rezultatams neturėjo [21, 30, 55]. Daugiaveiksne regresine analize nustatyta, jog TV burių koaptacijos aukštis yra nepriklausomas liekamojo TVN prognozinis veiksnys, o $> 0,76 \text{ cm}$ burių koaptacijos aukštis ir $> 1,63 \text{ cm}^2$ burių koaptacijos plotas, esant dideliame 86 proc. ir 82 proc. jautrumui ir 80 proc. ir 84 proc. specifiskumui, prognozavo vidutinį – didelį liekamąjį TVN [30]. Kitamuros tyrimas nustatė, kad nors vienaveiksnės analizės metu burių nutempimas nebuvo nustatytas kaip grįžtamojo TVN rizikos veiksnys dėl gana nedidelio tyrimo pacientų skaičiaus, burių nutempimo aukštis ir plotas TVN pasikartojimo grupėje buvo reikšmingai didesni, palyginti su efektyvios plastikos grupe [110]. Naudodami 3D echokardiografiją, galime įvertinti papildomą burių nutempimo rodiklį – palapinės tūrį. Mūsų tyrimu nustatyta, kad grįžtamasis TVN buvo susijęs su didesniu palapinės plotu ir tūriu; TV palapinės plotas $> 127 \text{ mm}^2$ ir TV palapinės tūris $> 5,1 \text{ ml}$ buvo grįžtamojo TVN rizikos veiksniai po TV žiedo plastikos siūlu pacientams, kuriems buvo atliekama kairiosios širdies ydos operacija. Vienaveiksnė iš anksto nustatytų echokardiografiinių verčių analizė rodo, kad bendras TV palapinės tūrio, didesnio nei $5,1 \text{ ml}$, ir TVŽ didžiausios ašies diastolinio skersmens, didesnio nei $48,5 \text{ mm}$, poveikis lemia $8,5 \text{ ŠS}$ (95 proc. PI $1,7\text{--}41,5$) TVN pasikartojimui. Chen teigia, kad 3D echokardiografija pamatuojamas TV palapinės tūris yra svarbus ikioperacinis rodiklis, susijęs su nepageidaujamais reiškiniais po atliktos TV žiedo plastikos, o $\geq 3,9 \text{ ml}$ palapinės tūris buvo reikšmingas prognozinis rodiklis (1 metų stebėsenos tyrimas), susijęs su mirtimi dėl visų priežasčių, ŠN paūmėjimais [36]. Šie duomenys, kartu su mūsų gautais rezultatais, rodo, kad TV žiedo plastika siūlu De Vega metodika nėra pakankamai efektyvi esant ryškiam TV burių nutempimui. Dabartinės TV žiedo plastikos siūlu metodikos gali nepakakti atlikti TVN visišką korekciją, jei yra ryškus burių nutempimas. Tokiais atvejais gali prireikti papildomų procedūrų (pvz., korekcijos žiedu, burių padidinimo, DS speninio raumens pakėlimo) bei atidžios pacientų stebėsenos po operacijos [67–68, 71–72].

Ši gauta informacija gali padėti priimti chirurginius sprendimus, pavyzdžiui, apsvarstyti ankstesnes ar išsamesnes TV korekcijos procedūras arba atidžiai stebėti pacientus po operacijos, kuriems yra didesnė TVN pasikartojimo rizika, siekiant pagerinti pacientų rezultatus ir sumažinti pakartotinių operacijų poreikį.

5.2.3. Trimatės analizės svarba grįžtamojo TVN prognozavimui

Naudojant 3D echokardiografiją galima išsamiau įvertinti TV, tačiau ikioperacinės 3D echokardiografijos klinikinė vertė pacientams, kuriems atliekama TV žiedo plastika, nėra visiškai išnagrinėta. Kaip jau minėta, TVŽ dydis yra labai svarbus nustatant, ar pacientams, kuriems atliekama kairiosios širdies vožtuvų operacija, reikia kartu atlikti TV intervencijas. Šiame tyrime naudojome 3D echokardiografiją, o TVŽ rodikliai buvo matuojami daugiaplanės rekonstrukcijos metodu, kuris leidžia daug tiksliau įvertinti TV rodiklius. Atliekant šį disertacinį darbą taip pat nustatyta, kad 2D būdu įvertintų echokardiografinių rodiklių prognozinė vertė TVN pasikartojimui buvo mažesnė, palyginti su atitinkamais 3D rodikliais (keturių ertmių sistolinio skersmens (2D) ir pertvaros–šoninio sistolinio TVŽ skersmens (3D) AUC vertės, atitinkamai, 0,799 ir 0,840; TV koaptacijos palapinės ploto (2D) ir TV palapinės tūrio (3D) AUC vertės, atitinkamai, 0,711 ir 0,778).

5.2.4. TV žiedo plastikos įtaka dešinėsios širdies ir TV remodeliavimuisi

Mūsų disertacinis tyrimas atskleidė, kaip TV žiedo plastika, atlikta De Vega metodika, keičia TV žiedo ir dešiniųjų širdies dalių geometriją. Tyrime, naudojant 2D ir 3D echokardiografiją, įvertinti širdies ertmių ir TVŽ geometriniai ir funkciniai pokyčiai prieš operaciją ir 1 metai po operacijos. Mūsų duomenimis, kol kas nėra atlikta daug tyrimų, tiriančių tikslų operacinės TV žiedo plastikos poveikį TVŽ ir dešiniųjų širdies dalių geometrijai ir funkcijai.

Šio disertacinio darbo rezultatai parodė, kad pacientams po atliktos TV žiedo plastikos sumažėjo visi DP matmenys, DS skersmenys ir tūriai, bei visi TVŽ rodikliai (TV žiedo plotas, perimetras, bei visi TV žiedo skersmenys), išskyrus sferiškumo indeksą ir burių nutempimo aukštį. Po atliktos TV žiedo plastikos stebimas teigiamas DP ir DS atvirkštinis remodeliavimasis – reikšmingas skersmenų, tūrių bei plotų sumažėjimas. Atliktuose kitų tyrėjų darbuose taip pat stebėtas DS geometrinių rodiklių sumažėjimas. Y. Kim atliktame tyrime nustatytas 29 proc. DS galinio diastolinio ploto ir 27 proc. DS tūrių sumažėjimas, J. Chikwe tyrime – 19 proc. DP ploto sumažėjimas [181–182]. Mūsų tyrime DP plotas sumažėjo taip pat 19 proc., o tūris – net 26 proc. Galinis diastolinis DS plotas ir tūris mūsų tyrime sumažėjo šiek tiek mažiau – apie 10 proc., tačiau tai gali būti paaiškinta skirtinga stebėsenos trukme po atliktos TV plastikos (mūsų stebėsenos trukmė buvo vidutiniškai 15 mėnesių, o Y. Kim atliktame tyrime – 32 mėnesiai (12–70 mėnesių)). Mūsų disertaciniame darbe DS bendrosios sistolinės funkcijos rodikliai reikšmingai nepakito, tačiau DS išilginės ašies ir DS laisvosios sienelės išilginės įtampos rodikliai netgi pablogėjo. Šie rezultatai atitinka kelis kitus tyrimus, kuriuose buvo na-

grinėjama chirurginio širdies gydymo įtaka DS funkcijai. Nustatyta, kad po TV žiedo plastikos DS ilgosios ašies funkcijos rodikliai, pvz., TVŽJA arba audinių S', įprastai sumažėja [183]. Priešingai, DS IF ir DS FPP išlieka nepakitę arba net padidėja po širdies operacijos [127, 183–186]. Kaip ir mūsų, taip ir Zhong, tyrime nustatyta, kad po atliktos TVŽ plastikos pagerėjo DS pertvaros išilginė įtampa [183]. M. Donauer su kolegomis nustatė, kad DS skersinis ir radialusis susitraukimas po širdies operacijos reikšmingai nepakinta, tačiau reikšmingai sumažėja išilginė sistolinė DS šoninės sienelės įtampa [71]. Tai galima paaiškinti DS deformacijos analize: DS FPP, apimantis tiek išilginį, tiek skersinį DS šoninės sienelės susitraukimą, po operacijos išlieka. Taip pat nustatyta, kad TV žiedo plastika yra nepriklausomas veiksnys, susijęs su vėlyvu DS funkcijos pagerėjimu net ir pacientams, kuriems iškart po operacijos echokardiografiškai stebima DS disfunkcija [182]. Tikėtina, kad mūsų tyrime DS IF nepagerėjo dėl gana trumpo (1 metai) stebėjimo laikotarpio po atliktos širdies operacijos.

Literatūros duomenimis taikoma kateterinė TV plastika lemia skirtingą TVŽ ploto sumažėjimą (10–30 proc.), atsižvelgiant į taikomos plastikos techniką [187–188]. TV žiedo plastikos metu siekiama TV žiedo dilataciją koreguoti ties priekinės–užpakalinės burės pagrindu, nes būtent šios dalys yra linkusios plėstis esant fTVN [143–145]. Galima teigti, kad TV žiedo plastikos siūlu De Vega metodika metu stipriau TVŽ susiaurinamas per priekinę – užpakalinę ašį, o ši procedūra mažiau pakeičia TVŽ pertvarinį–šoninį skersmenį. Tai patvirtina ir mūsų atliktas darbas, kurio gauti rezultatai rodo, kad TVŽ priekinis–užpakalinis skersmuo sumažėjo 23 proc., o pertvarinis–šoninis skersmuo – 18 proc. Didžiausios ašies ir mažiausios ašies skersmenys sumažėjo vienodai – po 21 proc. Atliktuose kitų tyrėjų darbuose nustatyta, kad po atliktos chirurginės TV žiedo plastikos užpakalinės burės žiedo klostės (bikuspidalizacijos) metodika, TV žiedas sumažėjo trečdaliu, perimetras, TV žiedo didysis ir mažasis matmenys – ketvirtadaliu, tačiau TV žiedo plastika turėjo mažai įtakos TV burių tempimui [136, 189]. Mūsų tyrimo rezultatai taip pat patvirtina, kad TV burių nutempimo aukštis ir palapinės tūris po atliktos TV žiedo plastikos reikšmingai nesumažėja, nors burių nutempimo tūris pakinta reikšmingai.

5.2.5. Kairiosios ir dešinėsios širdies geometrijos ir funkcijos palyginimas, esant efektyviajai TV plastikai ir grįžtamajam TVN

Disertacijoje pristatomas tyrimas yra pirmasis, kuris nagrinėjo grįžtamojo TVN įtaką dešinėsios ir kairiosios širdies remodeliacijai. Palyginti echokardiografiniai ikioperaciniai ir pooperaciniai rodikliai tarp efektyviosios TV plastikos ir grįžtamojo TVN grupių tiriamųjų. Mūsų tyrimu nustatyta, kad

praėjus daugiau nei vieniems metams po operacijos, grįžtamasis TVN buvo susijęs su funkciškai blogesne klinicine būkle ir neigiamu DS ir TVŽ remodeliavimusi (išliekančia DS vidurinės dalies dilatacija, sumažėjusia DS sistoline funkcija bei reikšmingai nepakitusia TVŽ geometrija).

Po TV žiedo plastikos reikšmingai nesumažėjantis ir išliekantis DS vidurinės dalies išsiplėtimas ir burių nutempimas gali būti tiesiogiai siejamas su grįžtamuju TVN, nes plečiantis DS viduriniuose segmentuose įvyksta šoninių ir viršūninių speninių raumenų poslinkis, dėl kurio padidėja burių nutempimas ir TVN [168]. Įrodyta, kad efektyvi TV plastika skatina atvirkštinį DS remodeliavimąsi su pagerėjusia mechanika, o neefektyvi žiedo plastika gali atspindėti neigiamą remodeliavimąsi ir DS disfunkciją [190–191]. Po atliekamos TV žiedo plastikos DS geometrijos pokyčiai nustatomi dažnai, tačiau funkcijos pagerėjimas skiriasi – priklauso nuo intervencijos veiksmingumo. Mūsų tyrimu nustatyta, kad grįžtamojo TVN grupės tiriamiesiems sumažėjo ne tik išilginės ašies funkcijos rodikliai, bet ir DS bendrosios sistolinės funkcijos bei laisvosios sienelės įtampos rodikliai, o efektyviosios plastikos grupėje stebėtas bendrosios sistolinės DS funkcijos pagerėjimas. Gauti rezultatai sutampa su literatūros duomenimis, jog DS funkcijos pagerėjimas dažniausiai pastebimas pacientams, kuriems sėkmingai atlikta korekcija ir nėra liekamojo TVN [133, 191].

Keliais klinikiniais tyrimais nustatyta, kad TV korekcija, ypač kartu atliekant kairiosios širdies vožtuvų operaciją, lemia ne tik dešiniojo, bet ir kairiojo skilvelio atvirkštinį remodeliavimąsi [192–193]. KS dydžiai ir funkcija gali pagerėti dėl sumažėjusios DS tūrio perkrovos ir pasikeitusios tarpkilvelinės pertvaros padėties [194]. Naujaisi Zhang ir kolegų duomenys papildomai išryškino abiejų skilvelių remodeliavimosi prognozinę reikšmę pacientams, sergantiems fTVN [195]. Jų tyrime nustatyta, kad padidėjęs dešiniojo ir kairiojo skilvelių tūrių santykis (DS galinio diastolinio tūrio ir KS galinio diastolinio tūrio santykis $\geq 1,27$) sietinas su DS išsiplėtimu, nepakankamu KS prisipildymu bei blogesniais klinikiniais rezultatais. Šie duomenys pabrėžia detalaus abiejų skilvelių įvertinimo svarbą optimizuojant fTVN gydymą. Bonis ir kolegos įrodė, kad dilatacine kardiomiopatija sergantiems pacientams, kuriems po atliktos MV operacijos įvyko atvirkštinis KS remodeliavimasis, reikšmingas TVN buvo nustatomas retai [71]. Tai rodo, kaip svarbu, pacientams, kurių fTVN, nulemtas kairiosios širdies patologijos ir kartu yra KS disfunkcija, laiku suvaldyti vyraujančią kairiosios širdies ligą ir pasiekti atvirkštinį KS remodeliavimąsi. Mūsų tyrimo metu abiejose fTVN grupėse KS sistolinė funkcija po operacijos reikšmingai nesikeitė, efektyviosios TV plastikos grupėje stebėtas KS ir KP tūrių sumažėjimas ir TSP išilginės įtampos pagerėjimas, o grįžtamojo TVN grupėje šie rodikliai esminiai nesikeitė.

Analizuojant TVŽ rodiklius, 2D ir 3D echokardiografija pamatuoti TVŽ skersmenys reikšmingai sumažėjo efektyviosios TV plastikos grupėje. Trimatės echokardiografijos duomenimis, grįžtamojo TVN grupės pacientams TVŽ plotas, perimetras, skersmenys, burių nutempimas bei palapinės tūris reikšmingai po operacijos nepakito. Remiantis nustatytais rezultatais, galima teigti, kad po atliktos TV žiedo plastikos siūlu De Vega metodika grįžtamasis TVN yra susijęs su nepakitusia TVŽ geometrija ir išliekančiu burių nutempimu, kuris gali būti nulemtas nepakankamo atvirkštinio DS remodeliavimosi, jei DS vidurinė dalis išlieka išsiplėtusi. Renkantis tinkamiausią TV korekcijos metodą, būtina 3D echokardiografija įvertinti visą TV kompleksą, nustatyti detalius TVŽ matmenis bei įvertinti burių nutempimo laipsnį.

Mūsų duomenimis, šis tyrimas buvo pirmasis, kuris įvertino ne tik ikiooperacinių veiksmų įtaką TVN pasikartojimui, bet ir grįžtamojo TVN įtaką dešinėsios ir kairiosios širdies remodeliavimuisi. Nustatėme, kad tiek ikiooperaciniai klinikiniai veiksniai (PV), tiek echokardiografiniai DS ir TVŽ geometrijos pokyčiai sukelia grįžtamąjį TVN, kuris vėlyvuoju pooperaciniu laikotarpiu lemia funkciškai blogesnę klinikinę būklę ir neigiamą DS ir TVŽ remodeliavimąsi.

TYRIMO RIBOTUMAI

Darbo trūkumus galima apibūdinti taip: pirma, vienas iš pagrindinių šio tyrimo trūkumų – atlikta tik viena triburio vožtuvo plastikos technika (plastika siūlu), o tai riboja kitų TV plastikos metodikų rezultatų apibendrinimą. Antra, tai buvo vieno centro tyrimas, kuriame dalyvavo nedidelis pacientų skaičius, o gautų rezultatų reikšmingumas turėtų būti patikrintas daugiacentriuose tyrimuose. Trečia, ne visiems pacientams buvo atliktas invazinis hemodinamikos tyrimas PH patikslinti, ketvirta – buvo gana trumpa stebėsenos trukmė po atliktos TV žiedo plastikos.

IŠVADOS

1. Skirtingos etiologijos funkcinis triburio vožtuvo nesandarumas yra susijęs su skirtinga triburio vožtuvo ir dešiniojo skilvelio geometrija bei funkcija: esant kairiosios širdies vožtuvų patologijai, nustatyta mažesnė dešiniojo skilvelio dilatacija ($p < 0,001$) ir disfunkcija ($p < 0,05$), didesnis priekinis–užpakalinis triburio vožtuvo žiedo skersmuo ($p = 0,037$) ir sferiškumo indeksas ($p = 0,04$), bei mažesni TV povožtuvinio aparato geometrijos pokyčiai (burių nutempimas ($p < 0,001$) ir palapinės tūris ($p = 0,025$)), palyginti su ikikapiliarine PH.
2. Nustatytos sąsajos tarp didelio funkcinio triburio vožtuvo nesandarumo ir pertvaros–šoninio sistolinio triburio vožtuvo žiedo skersmens ($p = 0,028$), triburio vožtuvo žiedo perimetro ($p = 0,042$) bei dešiniojo skilvelio pamatinio skersmens ($p = 0,029$).
3. Reikšmingas grįžtamasis triburio vožtuvo nesandarumas susijęs su ikioperaciniu prieširdžių virpėjimu bei ikioperaciniais dešiniojo skilvelio ir triburio vožtuvo geometrijos pokyčiais: 3D echokardiografija pamatuotu pertvaros–šoniniu sistoliniu ir diastoliniu (ribinė vertė 43,5 mm ir 46,5 mm) bei didžiausios ašies diastoliniu triburio vožtuvo žiedo skersmeniu (ribinė vertė 48,5 mm), triburio vožtuvo žiedo perimetru (ribinė vertė 130,5 mm), triburio vožtuvo burių palapinės tūriu (ribinė vertė 5,1 ml) bei dešiniojo skilvelio pamatiniu skersmeniu (ribinė vertė 47,5 mm). Didžiausia grįžtamojo triburio vožtuvo nesandarumo rizika nustatyta, jei buvo padidėjusių ikioperacinio dešiniojo skilvelio pamatinio skersmens ir didžiausios ašies triburio vožtuvo žiedo skersmens derinys (ŠS 15,7 (95 proc. PI 2,4–101,7, $p = 0,004$)).
4. Tiriamiesiems, kuriems buvo atlikta triburio vožtuvo žiedo plastika De Vega metodika, praėjus vieniems metams po operacijos, grįžtamasis TVN buvo susijęs su funkciškai blogesne klinicine būkle (NYHA funkcinėje klase) ($p < 0,001$), išliekančia dešiniojo skilvelio vidurinės dalies dilatacija ($p = 0,053$) ir disfunkcija ($p = 0,063$), bei nepakitusia triburio vožtuvo žiedo trimatė geometrija ($p > 0,05$).

PRAKTINĖS REKOMENDACIJOS

1. Trimatės echokardiografijos įtraukimas į tyrimo protokolą pacientams, kuriems diagnozuotas kairiosios širdies ydos sukeltas funkcinis triburio vožtuvo nesandarumas, padėtų tiksliau nustatyti operacinio gydymo laiką ir parinkti tinkamiausią metodiką.
2. Mūsų darbe nustatytos triburio vožtuvo ir dešiniojo skilvelio geometrijos ribinės vertės (didžiausios ašies diastolinio triburio vožtuvo žiedo skersmens (48,5 mm), burių palapinės tūrio (5,1 ml) bei dešiniojo skilvelio pamatinio skersmens (47,5 mm)) padėtų tiksliau parinkti chirurginės korekcijos metodiką ir sumažinti grįžtamojo nesandarumo riziką po operacijos, nes triburio vožtuvo žiedo plastika De Vega metodika šiems pacientams nėra pakankama.
3. Esant ikioperaciniam prieširdžių virpėjimui, planuojant operacinį gydymą galima svarstyti papildomų ritmo sutrikimo procedūrų taikymą operacijos metu, nes ikioperacinis prieširdžių virpėjimas nustatytas, kaip nepriklausomas grįžtamojo triburio vožtuvo nesandarumo prognostinis rodmuo vėlyvuju pooperaciniu laikotarpiu.

SUMMARY

ABBREVIATIONS

2D	– two-dimensional
3D	– three-dimensional
AF	– atrial fibrillation
EF	– ejection fraction
EROA	– effective regurgitant orifice area
fTR	– functional tricuspid valve regurgitation
FAC	– fractional area change
LSVP	– left-side valvular pathology
LV	– left ventricle/ventricular
OR	– odds ratio
PAP	– pulmonary artery pressure
PH	– pulmonary hypertension
RA	– right atrium/atrial
RAA	– right atrial area
RV	– right ventricle/ventricular
TA	– tricuspid annulus
TAP	– tricuspid annuloplasty
TAPSE	– tricuspid annular plane systolic excursion
TR	– tricuspid valve regurgitation
TV	– tricuspid valve

INTRODUCTION

Functional tricuspid valve regurgitation (fTR) is a complex and clinically significant pathology of the right heart, frequently accompanying left-sided valvular diseases, congenital heart defects, and pulmonary hypertension. Although this condition was long regarded as secondary and of lesser importance, accumulating evidence over the past decades has revealed that unrecognized or inadequately corrected fTR leads to progressive right ventricular (RV) remodeling and dysfunction, heart failure, reduced quality of life, and increased mortality [1–10]. Functional TR accounts for up to 90% of all tricuspid regurgitation cases and develops as elevated pressure and/or volume overload cause RV dilatation, leading to annular dilation and impaired leaflet coaptation. It has been demonstrated that up to 74% of patients who

undergo successful left-sided valve surgery will eventually develop functional TR over time [11–14]. Numerous studies have shown a strong association between the severity of TR and adverse clinical outcomes: as TR severity increases, patient survival decreases significantly [15–18]. Considering the progressive nature of this disease and the impact of functional TR on postoperative outcomes in left-sided valvular pathology, interest has grown in elucidating the pathophysiological mechanisms of fTR and their relationship with RV remodeling [2–5, 13].

Echocardiography remains the “gold standard” for TR assessment. However, due to the valve’s complex three-dimensional structure and its anterior position within the mediastinum, conventional two-dimensional echocardiography is often insufficient. Thus, three-dimensional (3D) echocardiography is essential for comprehensive evaluation of tricuspid valve anatomy and pathophysiology [19–22]. 3D echocardiography enables detailed assessment of tricuspid valve morphology and function, facilitating selection of the most appropriate treatment strategy. Nonetheless, there is still a lack of robust 3D echocardiography-based studies investigating how different etiologies of fTR affect right heart geometry and function, as well as which echocardiographic parameters most accurately predict disease progression and clinical outcomes.

In many cases, surgical intervention for fTR is performed too late – when irreversible right ventricular damage and structural remodeling have already occurred – resulting in poorer prognosis. Tricuspid valve annuloplasty, recognized as a safe and effective surgical procedure, is currently recommended during left-sided valve surgery for patients with concomitant fTR [19, 23–26]. However, residual or recurrent TR after annuloplasty remains a growing concern, with reported incidence rates ranging from 10% to 30% [10, 24, 27–30]. Evidence indicates that patient survival decreases proportionally with the severity of residual or recurrent TR, while reoperative surgery carries high perioperative risk and limited effectiveness. Therefore, identifying factors that contribute to TR recurrence is of particular importance [31]. To date, few studies have provided a detailed analysis of the mechanisms underlying TR recurrence and the determinants influencing long-term outcomes after tricuspid valve repair.

In this study, we employed advanced echocardiographic techniques to comprehensively assess tricuspid valve and right ventricular geometry and function in patients with varying severity and etiology of functional TR. We analyzed their associations with disease severity and postoperative outcomes, aiming to identify more precise selection criteria for timely surgical correction, thereby improving long-term prognosis and reducing the incidence of recurrent regurgitation.

AIM AND OBJECTIVES

Aim

To evaluate alterations in tricuspid valve geometry and right ventricular geometry, mechanics, and function in patients with functional tricuspid regurgitation before and after surgical correction, and to assess their associations with recurrent TR during long-term postoperative follow-up.

Objectives

- To determine changes in tricuspid valve geometry and right ventricular mechanics and function in patients with functional TR of different etiologies.
- To evaluate the associations between tricuspid valve geometry, right ventricular mechanics and function, and the severity of functional TR.
- To identify the impact of clinical parameters, tricuspid valve and right ventricular geometry, and RV mechanics and function on the development of recurrent regurgitation after surgical correction of functional TR.
- To assess the effect of recurrent TR on the clinical course and on right heart geometry and function during long-term postoperative follow-up.

Scientific novelty of the study

This study provides a comprehensive and integrative assessment of tricuspid valve and right ventricular geometry and function in patients with functional tricuspid regurgitation, as well as their changes after surgical correction, using advanced 3D-echocardiography and specialized software for TV and RV analysis.

In this dissertation, threshold values of TV and RV parameters predictive of recurrent TR were identified. The effects of De Vega tricuspid annuloplasty on left and right heart geometry, mechanics, and function were evaluated, along with the influence of recurrent TR on clinical outcomes and right heart remodeling during long-term postoperative follow-up.

Amid growing scientific interest in functional TR and its clinical relevance, this is the first study in Lithuania to analyze the tricuspid valve–right ventricle complex as a unified structural and functional entity under the most common pathological conditions leading to significant functional TR. Moreover, for the first time in Lithuania, echocardiographic predictors and threshold values of recurrent TR were determined, surgical outcomes after De Vega annuloplasty were evaluated, and their effects on clinical progression and right heart remodeling were established.

The findings of this study expand current understanding of the pathophysiology of fTR and provide a foundation for an individualized approach to diagnosis, treatment, and postoperative monitoring. This approach can optimize patient selection for surgical or interventional therapy, inform the choice of the most appropriate surgical technique, and improve postoperative outcomes in our center.

MATERIALS AND METHODS

Study population

A total of 128 participants were included in the prospective study – 109 patients diagnosed with moderate or severe functional tricuspid regurgitation (fTR) and 19 healthy subjects (control group). All participants were examined and/or treated at the Department of Cardiology, Hospital of the Lithuanian University of Health Sciences Kaunas Clinics, where both 2D and 3D-echocardiographic examinations were performed. FTR patients were divided into two groups according to the different etiologies of fTR: 1. fTR caused by dominant left-sided valvular pathology (LSVP) – 69 patients; 2. fTR caused by precapillary pulmonary hypertension (PH) (invasively measured pulmonary capillary wedge pressure < 15 mmHg) – 40 pts. The inclusion criteria for the study were as follows: age $\geq$ 18 years; signed informed consent form; and hemodynamically stable patient receiving optimal medical therapy. Patients with primary TR, infective endocarditis, ischemic heart disease (assessed by coronary angiography), chronic pulmonary disease, congenital heart disease, or other causes of precapillary pulmonary hypertension were excluded from the study. Additionally, measurements of 3D TV and right heart parameters were obtained from 19 healthy volunteers who have been sent to the echocardiography laboratory as controls. TR or heart failure was ruled out by a physical examination, and echocardiography. No controls had any echocardiographic abnormality including TV or right-sided chambers and thus could be considered as having normal TV geometry.

Surgical treatment and postoperative follow-up of the LSVP group

In the LSVP group, patients diagnosed with moderate or severe fTR secondary to left-sided valvular disease underwent concomitant TV repair during left heart valve surgery. TV repair (annuloplasty) was performed in cases of moderate or severe fTR, and the indications for surgery were based on the ESC Guidelines for the Management of Valvular Heart Disease [10]. The concomitant left-sided procedures included mitral valve repair, mitral valve replacement, aortic valve replacement, combined mitral and aortic valve

replacement, or combined mitral valve repair and aortic valve replacement. In all patients, tricuspid valve annuloplasty was performed using the De Vega technique.

Preoperative clinical and echocardiographic data were collected for all patients. Postoperatively, patients were followed prospectively as part of a cohort observational study to identify factors contributing to recurrent tricuspid regurgitation after surgical TV annuloplasty. The follow-up period was 15 months on average (mean 15.57 ± 4.19 months). All patients in the LSVP group underwent transthoracic two-dimensional (2D) and three-dimensional (3D) echocardiography at least one year after valve surgery. The primary endpoint was the presence of recurrent significant (moderate or severe) TR on echocardiography performed ≥ 1 year postoperatively. Based on the outcomes of TV annuloplasty, patients were divided into two groups: 1) Effective TV repair group, and 2) Recurrent TR group. Effective tricuspid valve repair was defined as the absence of or mild-to-moderate TR ($\leq$ grade 2/4) on echocardiography ≥ 1 year after surgery. The recurrent TR group included patients with moderate, moderate-to-severe, or severe TR ($>$ grade 2/4). To assess the impact of tricuspid annuloplasty on TV and right heart geometry and functional parameters, preoperative and postoperative (≥ 1 year) echocardiographic measurements were compared. Changes in these parameters, as well as their relationship with recurrent TR and postoperative clinical outcomes, were analyzed.

Transthoracic echocardiography

The 2-dimensional and 3-dimensional echocardiography was performed using a GE VingMed VividE95 (GE Vingmed Ultrasound AS, Horten, Norway) imaging system, equipped with a M3S 4.0 MHz transducer, capable of displaying 3D images. Digital loops were stored and analyzed offline (GE Vingmed, Phillips TomTec, Unterschleissheim, Germany). The 3D TV analysis was made using 4D Auto TVQ quantification software package (GE Healthcare, Horten, Norway).

Anatomic and Doppler assessments and measurements were conducted in accordance with the recent American Society of Echocardiography recommendations and European Association of Cardiovascular Imaging (EACVI) guidelines [163]. Both 2D and 3D echocardiography were performed and included the following variables: the left ventricular (LV) and left atrial geometry (diameters and volumes), LV ejection fraction, the RV geometry (RV diameters, areas and volumes), functional indices (tricuspid annulus plane systolic excursion (TAPSE), velocity of the tricuspid annular systolic motion (S'), RV fractional area change (FAC), RV ejection fraction (RVEF),

and deformation parameters (RV septal longitudinal strain (RV SLS) and RV free wall longitudinal strain (RV FWLS)), as well as the tricuspid valve 2D (the systolic and diastolic 4-chambers, leaflet tenting height and area), and 3D (the systolic and diastolic 4-chambers (septal-lateral), 2-chambers (anterior-posterior), major and minor axis TA diameters, TA area, perimeter, leaflet tenting height and volume), and right atrial (RA) (diameter, length, area and volume) parameters. All measurements were indexed to body surface area.

Volume datasets were obtained under breath-hold to prevent stitching artifacts, using a multi-beat full-volume mode in the apical four-chamber view focused on the RV, and a multi-beat 3D zoom mode in the same view focused on the TV. The views were optimized for depth and gain before 3D acquisition, and careful attention was paid to ensure complete inclusion of the entire TV or RV within the sector limits. A multislice display was utilized during acquisition to ensure a complete inclusion of the RV in the dataset. The RV and TV multi-beat 3D datasets were also recorded with the narrowest possible depth under breath-hold to achieve a higher volume rate (exceeding 20 volumes per second). The digitally stored multi-beat full volume dataset in the apical axis four-chamber view was imported into the dedicated software tools (4D RV-Analysis, TomTec Imaging Systems, Unterschleissheim, Germany) to compute RV end-diastolic and end-systolic volumes and RV EF (Figure 2). The stored live 3D zoom dataset was imported into the 4D Auto TVQ quantification workstation (GE Healthcare, Horten, Norway) to evaluate the TV geometry (Figure 1). Anterior-posterior and septal-lateral diameters of TV, along with major and minor axis diameters, the TV annular area, perimeter, and sphericity index, were measured at midsystole and middiastole. The closed leaflets were traced in midsystole on sequential equidistant long-axis planes to determine leaflet tethering height and 3D tenting volume.

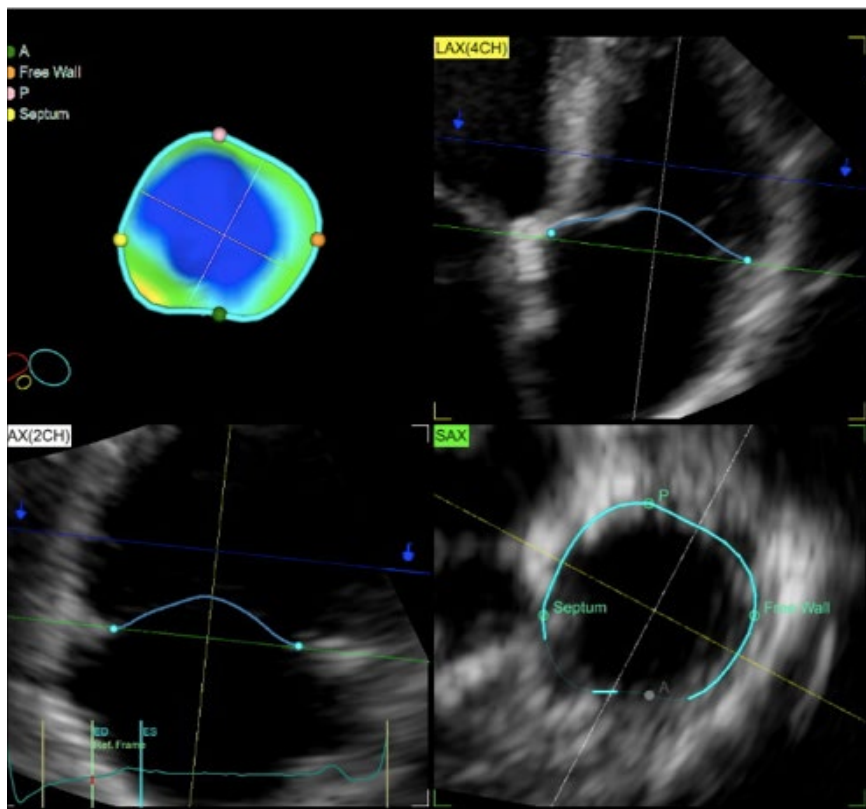


Fig. 1. *The 3D TV echocardiographic measurements*

Continuous-wave Doppler was used to measure the maximal tricuspid regurgitation flow velocity (V) to estimate the systolic pressure gradient ($4V^2$) between the RV and RA. Pulmonary artery systolic pressure was calculated by adding an estimated RA pressure. The mean pulmonary artery pressure was computed using $80 - (\text{PA acceleration time}/2)$ formula. The severity of TR was measured quantitatively according to the recent ESC guidelines, using TR effective regurgitant orifice area (EROA) (PISA method) and biplane TR vena contracta (VC) (the narrowest width of the color jet) from the 2D apical four chamber view.

According to a recently proposed TR grading scheme, patients with a biplane VC 3–6.9 mm and TR EROA 20–39 mm² were classified as having moderate TR, while a VC ≥ 7 mm and EROA ≥ 40 mm² indicated severe TR [95].

Statistical Analysis

Continuous variables were presented as medians with interquartile ranges (IQRs) due to their non-normal distribution, while categorical variables were expressed as absolute numbers and percentages. The Shapiro–Wilk test was used to assess data normality. Differences between independent groups (e.g., left heart disease, precapillary pulmonary hypertension, and control groups) were evaluated using the Mann–Whitney U test or the Kruskal–Wallis test, with post-hoc pairwise comparisons when appropriate. For dependent (paired) data, such as comparisons between preoperative and postoperative echocardiographic parameters, the Wilcoxon signed-rank test (Related-Samples Wilcoxon Signed Rank Test) was applied. Associations between categorical variables were assessed using the χ^2 test or Fisher’s exact test, depending on data distribution.

To identify factors associated with the severity of functional tricuspid regurgitation (fTR), univariate and multivariate logistic regression analyses were performed. Only variables with $p < 0.05$ in univariate analysis were included in the multivariate model, using a *stepwise forward likelihood-ratio* approach. Results were expressed as odds ratios (ORs) with 95% confidence intervals (CIs). Separate regression analyses were conducted for the entire fTR cohort and for each etiological subgroup. To determine echocardiographic parameters best predicting severe fTR, receiver operating characteristic (ROC) curve analysis was performed. The area under the curve (AUC) was calculated to quantify the discriminative ability of each parameter, and optimal cut-off values were identified using Youden’s index (J) to achieve maximal sensitivity and specificity. Parameters with $AUC > 0.70$ were included in regression models as potential prognostic factors. In the subgroup of patients who underwent tricuspid valve annuloplasty, preoperative data were compared between the effective annuloplasty group and the recurrent TR group. Postoperative changes in cardiac remodeling and function were assessed using nonparametric paired-sample tests. Predictors of recurrent TR ($\geq$ grade 2/4) at ≥ 1 year after surgery were identified using regression models incorporating preoperative right atrial, right ventricular, and tricuspid valve morphological parameters.

Statistical analyses were carried out using SPSS version 27 (IBM, Armonk, NY, USA), and a two-tailed p -value of < 0.05 was considered statistically significant for all tests. All results are presented in tables and figures, including ROC curves and regression coefficient plots, illustrating the prognostic value of 2D and 3D echocardiographic parameters.

RESULTS

The results of this study were divided into two main parts:

A. Evaluation of functional tricuspid regurgitation

B. Postoperative outcomes of functional tricuspid regurgitation associated with left-sided valvular pathology

A. Evaluation of functional tricuspid regurgitation

Study population

A total of 128 participants were included in the study, of whom 109 (85.16%) were diagnosed with moderate or severe fTR, and 19 (14.84%) had no significant valvular pathology and served as the control group. The mean age of the study population was 62.66 ± 11.82 years. The majority of participants (57.8%) were female.

Patients in the LSVP group were older, compared to PH and controls and predominantly males. The body mass index did not vary between any of the three groups.

The most common valvular pathology in the LSVP group were severe mitral regurgitation (most commonly due to mitral valve prolapse and chordal rupture) (46%) and severe aortic valve stenosis (35%). The most common cause of fTR in the PH group was pulmonary arterial hypertension (77%).

Comparison and difference in right heart remodelling and TV geometry among different fTR etiologies and controls

Table 1 presents the echocardiographic characteristics of patients with various fTR etiologies. RV geometric parameters as well as 3D TV measurements were elevated in the fTR groups compared with the controls (all $p < 0.01$).

Although the RA area (RAA) and TR severity, assessed quantitatively, did not differ significantly between the fTR groups ($p = 0.484$ for RAA and $p = 0.464$ for TR EROA), notable distinctions in TV and RV geometry and functional indices were observed. PH was associated with greater RV basal and middle diameters, along with larger RV end-diastolic and end-systolic areas and volumes, compared to the LSVP group (Figure 2). More impaired RV functional parameters (S', FAC, RV EF and RV lateral wall strain) were also detected in precapillary PH cohort (Table 1).

Table 1. 2D and 3D RV and TV echocardiographic characteristics of study population

	LVSP	PH	Controls	p-value for LSVP vs. PH	p-value for LSVP vs. Controls	p-value for PH vs. Controls
2D RV parameters						
RV parasternal diastolic diameter, mm	36 (7.5)	40 (8.5)	31 (6.5)	0.019	0.003	<0.001
RV basal diameter, mm	45 (7)	52 (11.75)	34 (5)	0.001	<0.001	<0.001
RV middle diameter, mm	36 (9.25)	47 (12.5)	28.5 (3.25)	<0.001	0.001	<0.001
RV length, mm	63 (17.5)	71 (8.72)	66 (11.5)	<0.001	0.504	0.043
RV sphericity index, %	0.57 (0.17)	0.66 (0.19)	0.44 (0.06)	<0.001	<0.001	<0.001
RV end-diastolic area, cm ²	22 (10.44)	31.14 (15.57)	17.6 (4.98)	<0.001	0.028	<0.001
RV end-systolic area, cm ²	14 (7.12)	23.1 (14.1)	10 (3.4)	<0.001	0.002	<0.001
FAC, %	0.32 (0.1)	0.25 (0.1)	0.43 (0.08)	<0.001	<0.001	<0.001
TAPSE, mm	17.5 (5.5)	16 (5.25)	24 (7)	0.054	<0.001	<0.001
RV S', cm/s	10 (5)	9 (2.75)	12 (4.5)	0.039	0.007	<0.001
RV septal wall strain, %	-10.7 (4.75)	-11 (3.9)	-21.1 (3.9)	0.909	<0.001	<0.001
RV lateral wall strain, %	-20.15 (6.3)	-16.6 (6.3)	-25.8 (3.2)	0.028	<0.001	<0.001
3D RV parameters						
RV end-diastolic volume, mL	147.05 (103.08)	182.75 (105.03)	85.5 (86.75)	0.007	0.003	<0.001
RV end-systolic volume, mL	86.65 (65.23)	129.5 (76.68)	44.9 (46.9)	0.003	<0.001	<0.001
RV EF, %	40.5 (6.73)	30.85 (10.48)	49.8 (5.85)	0.001	<0.001	<0.001
2D TV parameters						
TA diastolic diameter, mm	43 (5)	43 (5.5)	32 (6.25)	0.604	<0.001	<0.001
TA diastolic diameter index, mm/m ²	21.86 (3.4)	23.22 (5.53)	17.09 (2.95)	0.061	<0.001	<0.001
TA systolic diameter, mm	39 (5.5)	40 (4.75)	29 (6.13)	0.73	<0.001	<0.001
TA systolic diameter index, mm/m ²	20 (2.54)	21.25 (5.27)	15.62 (2.42)	0.102	<0.001	<0.001
TV leaflet tethering height, mm	5.5 (2.3)	7.8 (3.7)	3.3 (2)	<0.001	<0.001	<0.001

Table 1 cont.

	LVSP	PH	Controls	p-value for LSVP vs. PH	p-value for LSVP vs. Controls	p-value for PH vs. Controls
TV tenting area (cm ²)	1.25 (0.7)	1.79 (1.04)	0.68 (0.32)	<0.001	<0.001	<0.001
TV EROA, mm ²	28.94 (20.97)	29.96 (23.76)		0.464		
3D TV parameters						
TA area, cm ²	14.3 (4.4)	13.2 (3.4)	8.1 (0.93)	0.649	<0.001	<0.001
TA area index (cm ² /m ²)	7.13 (2.25)	6.88 (2.17)	4.45 (0.97)	0.713	<0.001	<0.001
TA perimeter, mm	130 (23)	133 (17)	102 (7.5)	0.979	<0.001	<0.001
TA perimeter index (cm/m ²)	66.4 (15.8)	71.1 (19.3)	55 (9.8)	0.065	0.004	<0.001
Septal-lateral systolic TA diameter, mm	42 (5)	44 (7)	33.5 (4.5)	0.37	<0.001	<0.001
Septal-lateral systolic TA diameter index, mm/m ²	21.5 (3.1)	23.6 (7.1)	18.1 (2.7)	0.021	0.003	<0.001
Septal-lateral diastolic TA diameter, mm	45 (5)	46 (7)	36.5 (5.8)	0.329	<0.001	<0.001
Septal-lateral diastolic TA diameter index, mm/m ²	22.9 (4)	25.1 (4.9)	19.1 (1.8)	0.023	0.006	<0.001
Anterior-posterior TA diameter, mm	40 (8)	35 (7)	28 (4.5)	0.037	<0.001	<0.001
Anterior-posterior TA diameter index, mm/m ²	20.3 (4.7)	18.8 (5.5)	15.6 (4.5)	0.411	<0.001	0.003
Major axis systolic TA diameter, mm	46 (5)	46 (6)	36 (2.8)	0.791	<0.001	<0.001
Major axis systolic TA diameter index, mm/m ²	23.2 (4.7)	25 (5.2)	20.1 (1.9)	0.074	0.003	<0.001
Major axis diastolic TA diameter, mm	48 (6.5)	48 (8)	39.5 (5)	0.777	<0.001	<0.001
Major axis diastolic TA diameter index, mm/m ²	23.9 (4.4)	26.2 (5.2)	20.3 (2.8)	0.044	0.006	<0.001
Minor axis diastolic TA diameter, mm	39 (8)	36 (6)	27 (3.5)	0.222	<0.001	<0.001
Minor axis diastolic TA diameter Index, mm/m ²	19.8 (4.4)	19.7 (5.9)	15.2 (3.7)	0.908	<0.001	<0.001
TV leaflet coaptation point height, mm	9 (5.5)	13 (3)	6.5 (2)	<0.001	0.012	<0.001
TV leaflet tenting volume, mL	3.9 (2)	5 (2.9)	1.55 (0.25)	0.025	<0.001	<0.001
TV sphericity index, %	83.67 (11.33)	80 (14.04)	73.61 (12.4)	0.04	0.002	0.13

While 2D-derived TA systolic and diastolic diameters did not differ across the fTR groups, the 3D echocardiographic TA assessment provided additional and more detailed insights. Precapillary PH was linked with more pronounced increases in TA systolic and diastolic septal-lateral and major axis diastolic diameters, leaflet tethering, and larger tenting area and volume. In contrast, LVSP etiology was associated with a larger anterior-posterior diameter and a higher TA sphericity index when compared with the PH group (Figure 2).

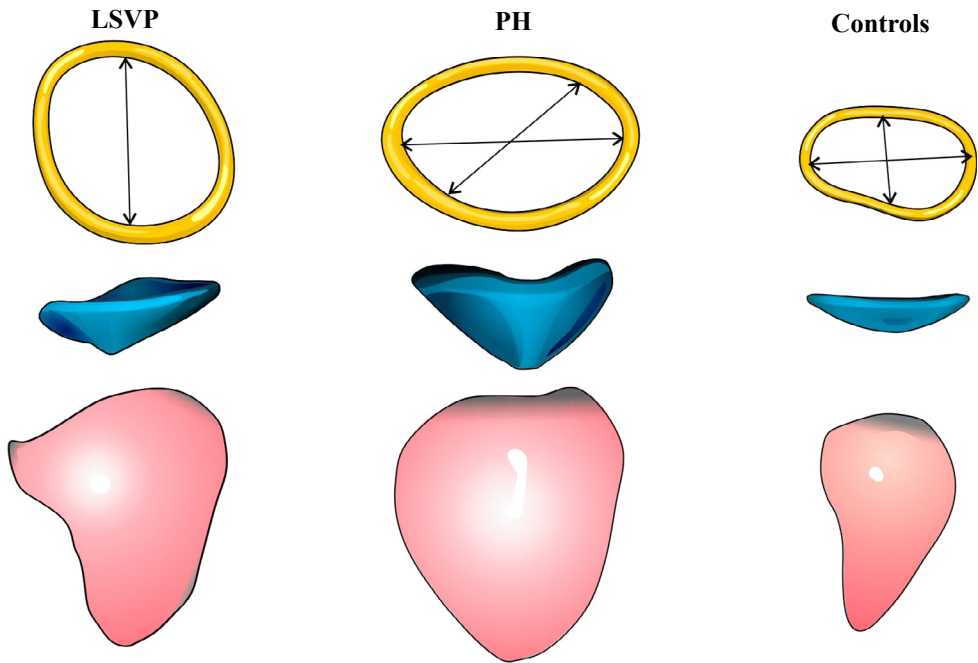


Fig. 2. Right ventricular remodeling and tricuspid valve changes between the functional TR and control groups

Relation of 3D TV and RV geometry and severity of fTR

To evaluate the influence of TR severity on the TV geometry and right heart remodeling, regression analysis was performed. Analysis included 34 patients (31.5%) with severe fTR and 74 patients (68.5%) with moderate fTR. To define which parameters had highest predictive value within the entire cohort, ROC analysis was performed (Table 2). Variables with an AUC > 0,7 were incorporated into the subsequent analysis. The results of univariable and multivariable analyses are presented in Table 3. Both area-based and length-related TV measurements demonstrated predictive value for distinguishing the severity of fTR. Alterations in 3D echocardiographic TA diameters provided a stronger prediction of fTR severity compared with 2D echo-derived TA

diameters (3D septal-lateral systolic diameter OR 1.507 vs. 2D 4-chambers systolic diameter OR 1.255 (Table 3). Multivariate analysis indicated that the 3D-measured septal-lateral systolic diameter, TA perimeter, and RV basal diameter were independent predictors of TR severity.

Table 2. ROC analysis of severe fTR for all cohort

Variables	AUC	95% CI	p-value	J index
2D RV parameters				
RV basal diameter, mm	0.767	0.675–0.860	<0.001	0.437
RV middle diameter, mm	0.744	0.651–0.837	<0.001	0.392
RV length, mm	0.664	0.554–0.773	0.006	0.258
RV sphericity index, %	0.645	0.527–0.763	0.016	0.295
RV end-diastolic area, cm ²	0.724	0.621–0.827	<0.001	0.407
RV end-systolic area, cm ²	0.729	0.629–0.828	<0.001	0.370
FAC, %	0.687	0.579–0.794	0.002	0.375
TAPSE, mm	0.683	0.574–0.791	0.003	0.304
RV S', cm/s	0.629	0.519–0.739	0.032	0.231
RV septal wall strain, %	0.550	0.276–0.824	0.734	0.200
RV lateral wall strain, %	0.450	0.176–0.724	0.734	0.100
2D TV parameters				
TA diastolic diameter, mm	0.725	0.529–0.821	<.001	.356
TA diastolic diameter index, mm/m ²	0.697	0.590–0.805	.001	.362
TA systolic diameter, mm	0.688	0.587–0.789	.002	.272
TA systolic diameter index, mm/m ²	0.673	0.562–0.783	.004	.301
3D RV parameters				
RV end-diastolic volume, mL	0.645	0.525–0.764	0.034	0.288
RV end-systolic volume, mL	0.666	0.547–0.785	0.015	0.299
RV EF, %	0.700	0.581–0.818	0.003	0.379
3D TA parameters				
TA area, cm ²	0.738	0.623–0.854	<0.001	0.412
TA area index, cm ² /m ²	0.688	0.563–0.812	0.006	0.379
TA perimeter, mm	0.735	0.616–0.854	0.001	0.396
TA perimeter index, cm/m ²	0.674	0.552–0.797	0.011	0.275
Septal-lateral systolic TA diameter, mm	0.826	0.734–0.917	<0.001	0.456
Septal-lateral systolic TA diameter index, mm/m ²	0.724	0.610–0.837	0.001	0.390
Septal-lateral diastolic TA diameter, mm	0.805	0.706–0.904	<0.001	0.440
Septal-lateral diastolic TA diameter index, mm/m ²	0.677	0.556–0.799	0.009	0.352
Anterior-posterior TA diameter, mm	0.691	0.569–0.813	0.005	0.385
Anterior-posterior TA diameter index, mm/m ²	0.643	0.521–0.766	0.035	0.335
Major axis systolic TA diameter, mm	0.816	0.718–0.913	<0.001	0.533

Table 2 cont.

Variables	AUC	95% CI	p-value	J index
Major axis systolic TA diameter index, mm/m ²	0.679	0.557–0.801	0.008	0.299
Major axis diastolic TA diameter, mm	0.812	0.710–0.914	<0.001	0.574
Major axis diastolic TA diameter index, mm/m ²	0.682	0.561–0.804	0.007	0.283
Minor axis diastolic TA diameter, mm	0.657	0.525–0.788	0.021	0.275
Minor axis diastolic TA diameter index, mm/m ²	0.609	0.471–0.747	0.111	0.242
TV leaflet coaptation point height, mm	0.577	0.443–0.712	0.256	0.132
TV leaflet tenting volume, mL	0.708	0.583–0.833	0.002	0.385
TV sphericity index, %	0.623	0.499–0.746	0.072	0.294

TA – tricuspid annulus; TV – tricuspid valve; RV – right ventricle; EF – ejection fraction; FAC – fractional area change; TAPSE – tricuspid annulus plane systolic excursion.

Table 3. Relation of RV and TV geometry parameters with severe fTR

	Univariate			Multivariate		
	OR	95% CI	p-value	OR	95% CI	p-value
3D TV parameters						
TA area, cm ²	1.434	1.163–1.769	< 0.001			
TA perimeter, mm	1.058	1.021–1.096	0.002	0.421	0.221–0.975	0.042
Septal-lateral systolic TA diameter, mm	1.507	1.233–1.842	< 0.001	1.651	1.042–2.385	0.028
Septal-lateral diastolic TA diameter, mm	1.431	1.193–1.718	< 0.001			
Major axis systolic TA diameter, mm	1.386	1.176–1.632	< 0.001			
Major axis diastolic TA diameter, mm	1.363	1.165–1.594	< 0.001			
TV leaflet tenting volume, mL	1.580	1.177–2.120	0.002			
2D TV parameters						
4-chambers systolic diameter, mm	1.255	1.106–1.424	< 0.001			
RV parameters						
2D RV basal diameter, mm	1.149	1.073–1.230	< 0.001	1.198	1.021–1.409	0.029
2D RV middle diameter, mm	1.083	1.036–1.133	< 0.001			
RV end-diastolic area, cm ²	1.096	1.042–1.152	< 0.001			
RV end-systolic area, cm ²	1.112	1.050–1.178	< 0.001			
RV EF, %	0.911	0.855–0.997	0.004			

TA – tricuspid annulus; TV – tricuspid valve; RV – right ventricle; EF – ejection fraction.

Different etiologies of fTR were associated with distinct 2D and 3D echocardiographic parameters predictive of severe TR. ROC analysis of the parameters with the highest predictive value within each etiologic subgroup is shown in Figure 3.

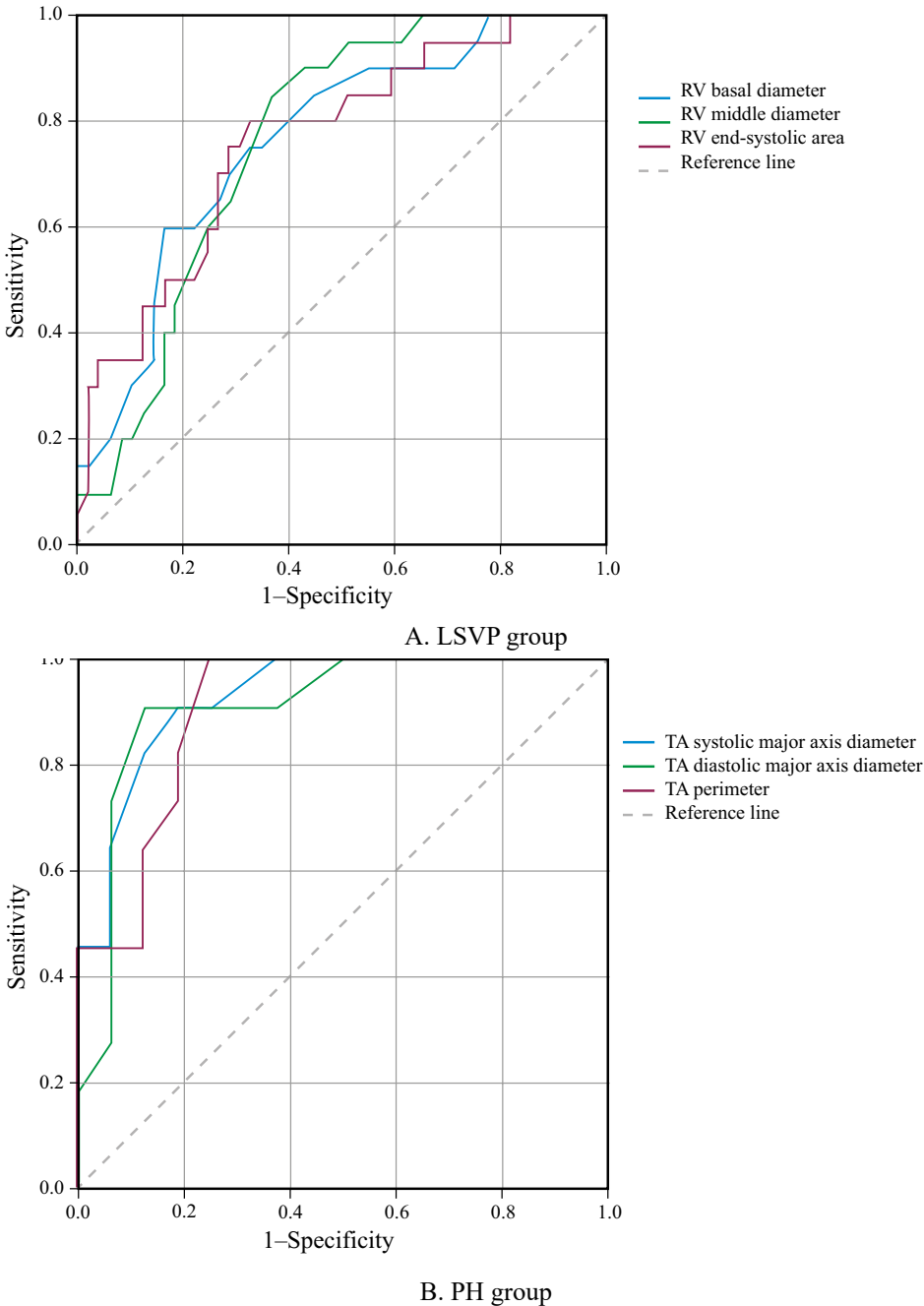


Fig. 3. ROC analysis for prediction of severe fTR

Assessment of RV indices demonstrated that the RV mid-cavity diameter (AUC 0.790) and RVEF (AUC 0.786) provided the highest predictive accuracy for severe fTR in the PH group. Among TV-related parameters, the systolic (AUC 0.929) and diastolic (AUC 0.912) major axis diameters, together with the annular perimeter (AUC 0.906), showed the highest predictive value in the PH group. Leaflet tenting volume was also a meaningful predictor in PH, whereas it did not retain prognostic relevance in the LSVP group.

In the LSVP subgroup, the RV middle (AUC 0.768) and basal (AUC 0.765) diameters, as well as the RV end-systolic area (AUC 0.764), were associated with the presence of severe fTR. 3D echocardiography-derived TV parameters remained predictive for severe fTR in LSVP group, with the septal-lateral systolic TA diameter providing the strongest predictive value (AUC 0.761).

Those parameters demonstrating higher sensitivity and specificity were subsequently included in the univariate logistic regression analysis. In the PH group, diameter-based measurements (septal-lateral, anterior-posterior, major and minor axis TA diameters), in addition to area-related indices (TA area and perimeter) and tenting volume, emerged as significant predictors of severe fTR. Conversely, in the LSVP group, area-related indices and leaflet tenting volume lost their predictive significance.

B. Postoperative outcomes of functional tricuspid regurgitation associated with left-sided valvular pathology

Patients in the LSVP group who underwent cardiac surgery (a corrective procedure for predominant left-sided valvular disease combined with concomitant TV repair due to significant fTR) were followed for at least 1 year after surgery.

Demographic and clinical characteristics of the LSVP surgical subgroup

This subgroup included 69 patients. Three patients died during the post-operative and follow-up period and were excluded from further analysis. The remaining 66 patients were subject to ongoing follow-up. The mean duration of the follow-up period was 15.6 ± 4.2 months. There was no recurrence of moderate or severe mitral or aortic regurgitation and stenosis.

Among these patients, 54% were male, and the mean age was 68 ± 9 years. Most patients were classified as NYHA functional class III (62.3%) or class II (33.3%), and 43.9% had atrial fibrillation. Before surgery, 53 patients (80%) had moderate and 13 patients (18%) had severe fTR. After surgery, 7 patients (10.6%) developed third-degree atrioventricular block, and 4 of them (6%)

required permanent pacemaker implantation during the early postoperative period. Three patients (4.3%) died postoperatively – one on postoperative day 4 due to pneumonia, and two during the late postoperative period (one due to heart failure and one from non-cardiac causes).

Among patients followed for more than 1 year, 16 (24.2%) exhibited recurrent fTR (moderate in 62.5% and severe in 37.5%), forming the recurrent TR group. The remaining 50 patients (75.8%) had no significant ($>2/4$ grade) recurrent fTR after annuloplasty and were classified as the effective annuloplasty group.

Associations between recurrent TR, clinical data, and right heart remodeling and function

The analysis demonstrated that age, sex, body mass index, as well as preoperative transthoracic echocardiography-derived left ventricular and left atrial geometric and functional indices did not differ between the effective TAP and recurrent TR groups.

Atrial fibrillation (AF) was significantly more prevalent in the recurrent TR group, whereas prescribed heart failure medications, preoperative NYHA functional class, and operative duration did not differ significantly between groups. Recurrent TR was associated with a worse functional status according to the NYHA classification ≥ 1 year after surgical treatment: most patients in the effective annuloplasty group were in NYHA class II (82%), while the majority of those in the recurrent TR group were in NYHA class III (87.5%).

Although preoperative effective regurgitant TV orifice area did not differ between the groups (recurrent TR vs. effective TAP: 38.37 [32.69] mm² vs. 29.45 [14.9] mm², $p = 0.117$, respectively), the following additional distinctions in right-heart morphology emerged between the two cohorts, as outlined in Table 4. Recurrent TR was associated with larger RV and RA geometrical and volumetrical parameters; however, RV functional indices did not demonstrate significant differences.

Table 4 also highlights the disparities in TA geometry between the two groups: the septal-lateral and major axis TA diameters, along with TA area and perimeter, were all larger in the recurrent TR group compared with the effective TAP group. Although TV leaflet tethering height and TA sphericity did not vary significantly between groups, recurrent TR was associated with larger tenting area and volume.

Table 4. 2D and 3D right-heart and TV geometry echocardiographic characteristics of study population

	Effective TAP Group <i>n</i> = 50 (75.8%)	Recurrent TR Group <i>n</i> = 16 (24.2%)	p-value
RA parameters			
Diameter, mm	49 (9.3)	54 (7.8)	0.005
Diameter index, mm/m ²	24.8 (5.7)	29.5 (5.0)	0.005
Length, mm	60.5 (11.3)	66.4 (7.6)	0.003
Area, cm ²	26.9 (10.6)	30.4 (11.5)	0.008
Area index, cm ² /mm ²	14.2 (5.2)	17.2 (6.9)	0.002
Volume, mL	92 (64)	106 (64)	0.026
RV parameters			
Parasternal diastolic diameter, mm	35 (7)	38.6 (6.1)	0.003
Parasternal systolic diameter, mm	27 (6.5)	30.5 (7.3)	0.003
Basal diameter, mm	44.5 (7)	51 (11.3)	0.002
Basal diameter index, mm/m ²	23.3 (3.6)	26.8 (5.5)	0.006
Middle diameter, mm	35 (7.3)	39 (8.5)	0.012
Middle diameter index, mm/m ²	17.8 (4.1)	21.5 (6.8)	0.027
Length, mm	63 (18.3)	64 (15)	0.736
Sphericity index, %	0.55 (0.13)	0.61 (0.26)	0.041
End-diastolic area, cm ²	21.2 (9.5)	22.7 (10.6)	0.046
End-diastolic area index, cm ² /m ²	10.8 (4.5)	14.2 (4.7)	0.017
End-systolic area, cm ²	13.9 (7.2)	16.3 (10.1)	0.067
End-systolic area index, cm ² /m ²	6.8 (3.5)	9 (4)	0.017
End-diastolic volume, mL	147 (90)	221 (137)	0.220
End-systolic volume, mL	87 (66)	130 (98)	0.176
RV EF, %	41 (7)	38 (7)	0.211
FAC, %	33 (10)	30 (10)	0.231
TAPSE, mm	18 (9)	17 (4)	0.346
S', cm/s	10.4 (5)	9.7 (4.8)	0.646
Septal wall strain, %	-11.1 (5.1)	-9.8 (4.8)	0.373
Lateral wall strain, %	-20.4 (6.1)	-18.4 (11.9)	0.673
TV 2D parameters			
TA diastolic diameter, mm	41.5 (4)	45.4 (5)	< 0.001
TA diastolic diameter index, mm/m ²	21.8 (2.8)	23.9 (6.5)	0.012
TA systolic diameter, mm	39 (5.5)	42 (5.6)	0.003

Table 4 cont.

	Effective TAP Group <i>n</i> = 50 (75.8%)	Recurrent TR Group <i>n</i> = 16 (24.2%)	p-value
TA systolic diameter index, mm/m ²	19.9 (2.4)	22.3 (6.5)	0.026
TV leaflet tethering height, mm	5.3 (2.1)	6.6 (2.4)	0.073
TV tenting area, mm ²	120 (66)	170 (96)	0.012
TV EROA, mm ²	29.45 (14.9)	38.37 (32.69)	0.117
TV 3D parameters			
TA area, cm ²	14.2 (4.0)	16.7 (2.8)	0.010
TA area index, cm ² /m ²	6.96 (2.08)	8.79 (2.38)	0.004
TA perimeter, mm	127 (22)	143 (18)	0.005
TA perimeter index, cm/m ²	6.47 (1.35)	7.83 (1.81)	0.007
Septal-lateral systolic TA diameter, mm	42 (4)	46 (5)	< 0.001
Septal-lateral systolic TA diameter index, cm/m ²	2.14 (0.31)	2.37 (0.81)	0.04
Septal-lateral diastolic TA diameter, mm	44 (5)	48 (5)	< 0.001
Septal-lateral diastolic TA diameter index, cm/m ²	2.26 (0.37)	2.63 (0.87)	0.04
Anterior-posterior TA diameter, mm	40 (7)	44 (6)	0.081
Anterior-posterior TA diameter index, cm/m ²	2 (0.48)	2.22 (0.57)	0.045
Major axis systolic TA diameter, mm	46 (5)	49 (7)	0.001
Major axis systolic TA diameter index, cm/m ²	2.25 (0.34)	2.68 (0.73)	0.003
Major axis diastolic TA diameter, mm	48 (6)	53 (6)	< 0.001
Major axis diastolic TA diameter index, cm/m ²	2.36 (0.34)	2.79 (0.81)	0.007
TV leaflet coaptation point height, mm	9 (5)	10 (5)	0.653
TV leaflet tenting volume, mL	3.75 (1.9)	5.3 (2.8)	0.008
TV sphericity index, %	83 (11)	84 (12)	0.397

EF – ejection fraction; RV – right ventricle; FAC – fractional area change; TAPSE – tricuspid annular plane systolic excursion; RV S' – tricuspid lateral annular systolic velocity; RA – right atrium; TR – tricuspid regurgitation; TAP – tricuspid annuloplasty; TV – tricuspid valve; TA – tricuspid annulus; EROA – effective regurgitant orifice area.

Relation of TV and RV Geometry and Recurrent Tricuspid Regurgitation

In order to evaluate the influence of clinical data and TV geometry and right-heart remodeling on recurrent TR, a regression analysis was conducted. Univariate analysis was executed, and ORs are presented in Tables 5 and 6.

Analysis of clinical factors showed that preoperative AF and residual mild-to-moderate TR on postoperative day 7 had predictive value for recurrent TR, whereas preoperative NYHA functional class and preoperative diuretic use did not have a significant influence. In the multivariate regression analysis of clinical factors, preoperative AF and residual grade 2 TR detected in the early postoperative period (7 days after surgery) were identified as independent predictors of recurrent TR (Table 5).

Table 5. Associations between clinical factors and recurrent TR

	Univariate			Model I		
	OR	95% CI	p-value	OR	95% CI	p-value
NYHA functional class (before surgery)	4.117	0.835–20.304	0.114			
AF (before surgery)	4.736	1.312–17.091	0.018	6.872	1.257–37.566	0.026
Use of diuretics (before surgery)	1.591	0.171–14.790	0.568			
2-degree TR in the early postoperative period	17.778	4.140–76.337	<0.001	24.013	4,378–131.702	<0.001

AF – atrial fibrillation.

None of the left-heart variables demonstrated meaningful predictive capacity. In contrast, RA indices demonstrated predictive value for recurrent TR after TAP. Among all RA measurements, RA diameter yielded the highest odds ratio (OR 1.13; 95% CI 1.03–1.23). However, RV variables displayed even stronger predictive potential. The RV basal diameter index (OR 1.34; 95% CI 1.09–1.65), RV end-systolic area index (OR 1.26; 95% CI 1.02–1.56), and RV parasternal diastolic diameter (OR 1.22; 95% CI 1.06–1.40) demonstrated the strongest predictive relevance among all RV parameters for recurrent regurgitation.

Although the odds ratios for RV parameters were comparatively high, further analysis showed that TA parameters – derived from both 2D and 3D imaging – possessed the highest predictive value (Table 6). Specifically, both septal-lateral diastolic and systolic TA diameters, as well as the major axis

diastolic diameter, exhibited the highest prognostic value among the 3D-based parameters. To reduce potential confounding influences of age and gender, model I analysis was applied. The findings revealed increased ORs for the aforementioned variables, with their statistical significance fully preserved.

Table 6. Relation of TV geometry parameters with recurrent TR

	Univariate			Model I		
	OR	95% CI	p-value	OR	95% CI	p-value
3D echo-derived TV parameters						
TA perimeter, mm	1.07	1.01–1.13	0.024	1.11	1.03–1.21	0.008
Septal-lateral systolic TA diameter, mm	1.62	1.14–2.29	0.007	1.96	1.22–3.14	0.005
Anterior-posterior TA diameter, mm	1.17	0.97–1.4	0.097	1.25	0.99–1.57	0.061
Major axis systolic TA diameter, mm	1.51	1.15–1.99	0.003	1.75	1.20–2.55	0.004
TV leaflet tenting volume, mL	1.42	1.01–1.98	0.043	1.41	0.99–1.98	0.052
TA area, cm ²	1.55	1.06–2.27	0.025	2.03	1.16–3.53	0.013
Septal-lateral diastolic TA diameter, mm	1.77	1.17–2.68	0.007	1.99	1.14–3.46	0.015
Major axis diastolic TA diameter, mm	1.59	1.15–2.2	0.005	1.75	1.17–2.6	0.006
TV sphericity index, %	0.92	0.83–1.031	0.155	0.93	0.83–1.05	0.255
2D echo-derived TV parameters						
4-chambers systolic diameter, mm	1.44	1.14–1.83	0.002	1.67	1.22–2.28	0.001
4-chambers diastolic diameter, mm	1.31	1.09–1.58	0.005	1.40	1.1–1.76	0.005
TV leaflet tethering height, mm	1.31	0.93–1.85	0.121	1.38	0.95–1.99	0.093
TV tenting area, mm ²	1.02	1.003–1.03	0.01	1.02	1.004–1.03	0.007
TV EROA, mm ²	1.03	0.99–1.07	0.058	1.03	0.99–1.07	0.062

Model I – univariate regression adjusted to age and gender; TA – tricuspid annulus; TV – tricuspid valve; EROA – effective regurgitant orifice area.

Prediction of Recurrent Tricuspid Regurgitation

The ROC analysis of the selected echocardiographic variables, representing those with the highest predictive value in this cohort, is summarized in Table 7 and Figure 4. Among the assessed RV parameters, the RV basal diameter (AUC 0.763; cut-off 44.5 mm) and the RV parasternal diastolic diameter (AUC 0.747; cut-off 34.5 mm) exhibited the most robust predictive value for recurrent TR. Regarding TV-related indices, the diastolic major axis (AUC 0.848; cut-off 48.5 mm), along with the septal-lateral systolic or diastolic TA diameter (both AUC 0.840; cut-off 43.5 mm and 46.5 mm, respectively), the TA perimeter (AUC 0.790; cut-off 130,5 mm) and the TV leaflet tenting volume (cut-off 5,1 mL), exhibited the highest predictive capacity in this subset of patients (Figure 4).

Table 7. Prediction of recurrent TR

Variables	AUC	p-value	Cut-Off	Sensitivity	Specificity
3D echo-derived TV parameters					
TA perimeter, mm	0.790	0.007	130.5	89	60
Septal-lateral systolic TA diameter, cm	0.840	0.001	43.5	78	71
Septal-lateral diastolic TA diameter, cm	0.840	0.002	46.5	78	76
Anterior-posterior TA diameter, cm	0.687	0.082			
Major axis systolic TA diameter, cm	0.833	0.002	47.5	78	71
Major axis diastolic TA diameter, cm	0.848	0.001	48.5	89	57
TV leaflet tenting volume, mL	0.778	0.009	5.1	78	76
TA area, cm ²	0.770	0.012	14.35	89	60
TV sphericity index, %	0.592	0.391			
2D echo-derived TV parameters					
4-chambers systolic diameter, mm	0.799	< 0.001	42.5	81	56
4-chambers diastolic diameter, mm	0.746	0.003	38.5	94	46
TV leaflet tethering height, mm	0.650	0.074			
TV tenting area, mm ²	0.711	0.012	127	75	62
TV EROA, mm ²	0.632	0.117			

TA – tricuspid annulus; TV – tricuspid valve; EROA – effective regurgitant orifice area.

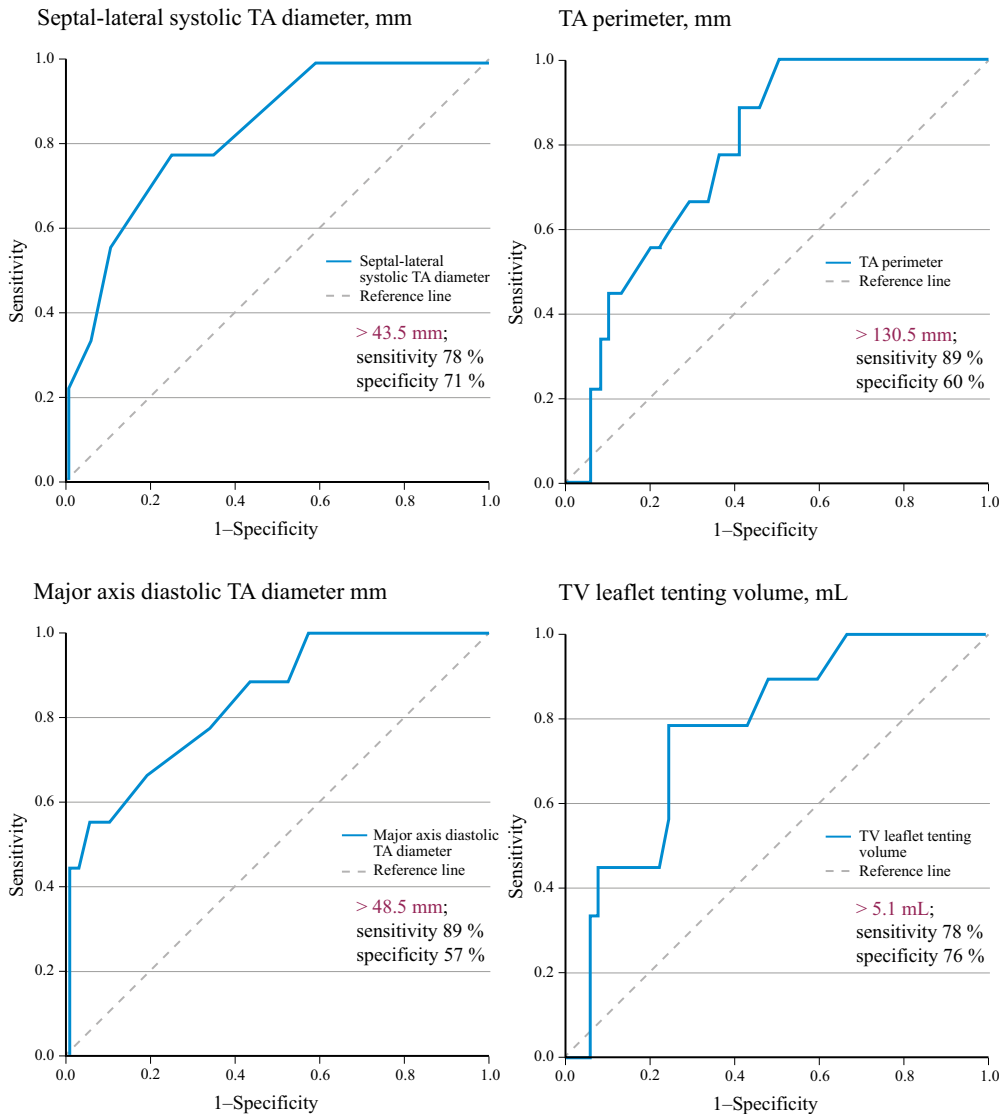


Fig. 4. ROC analysis for prediction of recurrent TR

To further evaluate the predictive capacity of the combined preidentified RV and TV echocardiographic parameters with the highest prognostic significance for recurrent TR, a univariate analysis of predefined echocardiographic values was performed. The association of these cut-off values with recurrent TR is presented in Table 8. The analysis demonstrated that the combined effect of an enlarged RV basal diameter and an increased TA major-axis diastolic diameter derived from 3D imaging produced the highest OR, reaching 12.8 (95% CI

2.3–72.8). This value increased even further after adjusting for age and sex to eliminate their potential confounding influence.

Table 8. *Prognostic value of predefined echocardiographic values of recurrent TR (univariate analysis)*

	Univariate			Model I		
	OR	95% C.I.	p-value	OR	95% C.I.	p-value
Major axis diastolic TA diameter * + TV leaflet tenting volume **	8.5	1.7–41.5	0.008	10.4	1.7–65.6	0.012
Major axis diastolic TA diameter * + RV basal diameter ***	12.8	2.3–72.8	0.004	15.7	2.4–101.7	0.004
TV leaflet tenting volume ** + RV basal diameter ***	8.5	1.7–41.5	0.008	8.7	1.6–47.5	0.012
Major axis diastolic TA diameter * + TV leaflet tenting volume ** + RV basal diameter ***	6.3	1.3–29.3	0.02	6.8	1.2–37.4	0.028

Model I – univariate regression adjusted to age and gender. * Major axis diastolic TA diameter > 48.5 mm; ** TV leaflet tenting volume > 5.1 mL; *** RV basal diameter > 47.5 mm. RV – right ventricle; TA – tricuspid annulus; TV – tricuspid valve.

Echocardiographic changes 1 year after tricuspid annuloplasty

To evaluate the effect of TV annuloplasty using the De Vega suture technique on right heart and TV geometric and functional parameters, the analysis was performed. Using 2D and 3D echocardiography, preoperative and ≥1 year postoperative changes in cardiac chamber geometry and TV annular morphology were assessed.

Comparison of echocardiographic parameters in patients with effective tricuspid valve annuloplasty and recurrent TR

The comparison of preoperative and postoperative echocardiographic parameters between patients with effective TV annuloplasty and those with recurrent TR is presented in Table 9 and Table 10.

Table 9. 2D and 3D right-heart echocardiographic characteristics of study population

	Effective TAP			Recurrent TR		
	Before TAP	After TAP	p-value	Before TAP	After TAP	p-value
RA parameters						
Diameter, mm	49 (9.25)	45 (6.5)	0.007	53.5 (7.75)	49 (9.75)	0.005
Diameter index, mm/m ²	24.8 (5.71)	22.96 (5.09)	0.012	29.51 (4.97)	25.63 (4.31)	0.004
Length, mm	60.5 (11.25)	58 (11)	0.008	66.41 (7.63)	68 (11.5)	0.480
Area, cm ²	26.9 (10.56)	21.67 (6.3)	<0.001	30.44 (11.47)	28.85 (8.08)	0.010
Area index, cm ² /mm ²	14.21 (5.22)	10.75 (3.34)	<0.001	17.2 (6.92)	14.25 (3.52)	0.019
Volume, mL	91.5 (63.9)	68 (30.7)	<0.001	106.38 (64.08)	98.1 (48)	0.005
RV parameters						
Parasternal diastolic diameter, mm	35 (7)	33 (9.5)	0.012	38.58 (6.13)	39 (9.25)	0.582
Parasternal systolic diameter, mm	27 (6.5)	24 (6.5)	<0.001	30.5 (7.25)	31 (7.75)	0.065
Basal diameter, mm	44.5 (7)	40 (4.5)	<0.001	51 (11.25)	45 (9.75)	0.003
Basal diameter index, mm/m ²	23.26 (3.57)	20.1 (4.21)	<0.001	26.82 (5.48)	23.87 (5.2)	0.002
Middle diameter, mm	35 (7.25)	31 (7.5)	<0.001	39 (8.5)	36.5 (8.5)	0.053
Middle diameter index, mm/m ²	17.8 (4.12)	15.44 (4.2)	<0.001	21.53 (6.78)	18.22 (5.47)	0.050
Length, mm	63 (18.25)	68 (12)	0.025	64 (15)	70.5 (14.25)	0.075
Sphericity index, %	0.55 (0.13)	0.47 (0.11)	<0.001	0.62 (0.26)	0.53 (0.19)	0.006
End-diastolic area, cm ²	21.2 (9.55)	20.1 (6.7)	0.342	22.72 (10.6)	26.6 (12)	0.091
End-diastolic area index, cm ² /m ²	10.79 (4.52)	10.27 (3.04)	0.276	14.17 (4.73)	13.23 (6.05)	0.136
End-systolic area, cm ²	13.91 (7.18)	12.3 (5.3)	0.102	16.3 (10.13)	17.01 (9.75)	0.155
End-systolic area index, cm ² /m ²	6.8 (3.46)	6.11 (2.85)	0.108	9.04 (4.04)	8.71 (4.52)	0.182
End-diastolic volume, mL	146.5 (90.15)	130.85 (54.75)	0.010	220.9 (137.05)	188.2 (76.53)	0.735
End-systolic volume, mL	86.6 (65.7)	78.05 (38.48)	0.030	130.4 (97.55)	124.85 (57.13)	0.866
RV EF, %	40.8 (6.45)	41.1 (5.95)	0.582	37.8 (7.4)	35.1 (8.85)	0.063
FAC, %	32.1 (8.1)	33.85 (10.53)	0.011	28.3 (8.4)	26.25 (6.03)	0.176
TAPSE, mm	18 (9)	16 (5.25)	0.003	17 (3.75)	14 (4)	0.035
S', cm/s	10.4 (5)	9 (2)	<0.001	9.7 (4.75)	7.65 (2.5)	0.005
Septal wall strain, %	-11.1 (5.05)	-14.05 (4.55)	0.002	-9.8 (4.75)	-11.15 (3.13)	0.398
Lateral wall strain, %	-20.4 (6.1)	-20.3 (5.48)	0.970	-18.4 (11.9)	-15.85 (5.1)	0.028

Table 10. 2D and 3D TVA echocardiographic characteristics of study population

	Effective TAP			Recurrent TR		
	Before TAP	After TAP	p-value	Before TAP	After TAP	p-value
TV 2D parameters						
TA diastolic diameter, mm	41.5 (4)	32 (9)	<0.001	45.35 (5)	40 (7.25)	0.002
TA diastolic diameter index, mm/m ²	21.78 (2.77)	16.51 (4.51)	<0.001	23.89 (6.49)	21.08 (3.34)	0.002
TA systolic diameter, mm	39 (5.5)	28 (8)	<0.001	42 (5.6)	36 (8)	0.006
TA systolic diameter index, mm/m ²	19.9 (2.37)	14.16 (3.84)	<0.001	22.26 (6.51)	17.95 (3.91)	0.004
TV leaflet tethering height, mm	0.53 (0.21)	0.45 (0.29)	0.017	0.66 (0.24)	0.95 (0.2)	0.066
TV tenting area, mm ²	1.19 (0.66)	0.96 (0.57)	0.116	1.69 (0.96)	2.5 (1.25)	0.893
TV EROA, mm ²						
TV 3D parameters						
TA area, cm ²	13.95 (3.9)	8.9 (3.6)	<0.001	16.4 (2.6)	14.8 (5.3)	0.352
TA area index, cm ² /m ²	6.75 (2.23)	4.27 (1.93)	<0.001	8.59 (2.24)	7.34 (2.67)	0.310
TA perimeter, mm	12.7 (2.23)	10.6 (1.95)	<0.001	14.3 (1.85)	13.9 (3)	0.498
TA perimeter index, cm/m ²	6.47 (1.35)	5.48 (1.36)	<0.001	7.83 (1.81)	7.02 (1.39)	0.735
Septal-lateral systolic TA diameter, mm	4.2 (0.43)	3.3 (0.6)	<0.001	4.6 (0.45)	4.3 (0.5)	0.309
Septal-lateral systolic TA diameter index, cm/m ²	2.14 (0.31)	1.68 (0.35)	<0.001	2.37 (0.81)	2.16 (0.33)	0.310
Septal-lateral diastolic TA diameter, mm	4.4 (0.45)	3.6 (0.6)	<0.001	4.8 (0.45)	4.4 (0.5)	0.203
Septal-lateral diastolic TA diameter index, cm/m ²	2.26 (0.37)	1.85 (0.41)	<0.001	2.63 (0.87)	2.27 (0.4)	0.128
Anterior-posterior TA diameter, mm	3.95 (0.73)	3.1 (0.75)	<0.001	4.3 (0.55)	3.9 (1)	0.149
Anterior-posterior TA diameter index, cm/m ²	2 (0.48)	1.51 (0.44)	<0.001	2.22 (0.57)	1.94 (0.39)	0.176
Major axis systolic TA diameter, mm	4.55 (0.52)	3.6 (0.95)	<0.001	4.9 (0.7)	4.6 (0.9)	0.138
Major axis systolic TA diameter index, cm/m ²	2.25 (0.34)	1.88 (0.47)	<0.001	2.68 (0.73)	2.38 (0.62)	0.075
Major axis diastolic TA diameter, mm	4.8 (0.6)	3.8 (0.7)	<0.001	5.3 (0.65)	4.7 (1)	0.126
Major axis diastolic TA diameter index, cm/m ²	2.36 (0.34)	1.94 (0.49)	<0.001	2.79 (0.81)	2.43 (0.6)	0.043
TV leaflet coaptation point height, cm	0.9 (0.53)	0.8 (0.3)	0.002	1 (0.45)	0.8 (0.2)	0.2480
TV leaflet tenting volume, mL	3.75 (1.78)	1.7 (1.3)	<0.001	5 (3.25)	3.8 (3.2)	0.671
TV sphericity index, %	83.33 (11.09)	82 (11.5)	0.690	84.44 (11.85)	81 (24)	0.236

Following TV annuloplasty, a favorable RA remodeling was observed in both groups. When evaluating RV geometry, a significant reduction in RV basal diameter was found in both groups. However, only in the effective annuloplasty group there was a significant decrease in RV mid-cavity diameter, parasternal diameters, and RV volumes, whereas in the recurrent TR group, these parameters remained unchanged (Figure 5). Regarding RV functional parameters, patients in the effective TV repair group demonstrated a tendency toward improved RV EF and an improvement of FAC ($p = 0.011$), although longitudinal function indices showed a significant decrease ($p < 0.05$). In contrast, patients with recurrent TR exhibited a reduction in longitudinal functional parameters along with a tendency toward worsening global RV systolic performance.

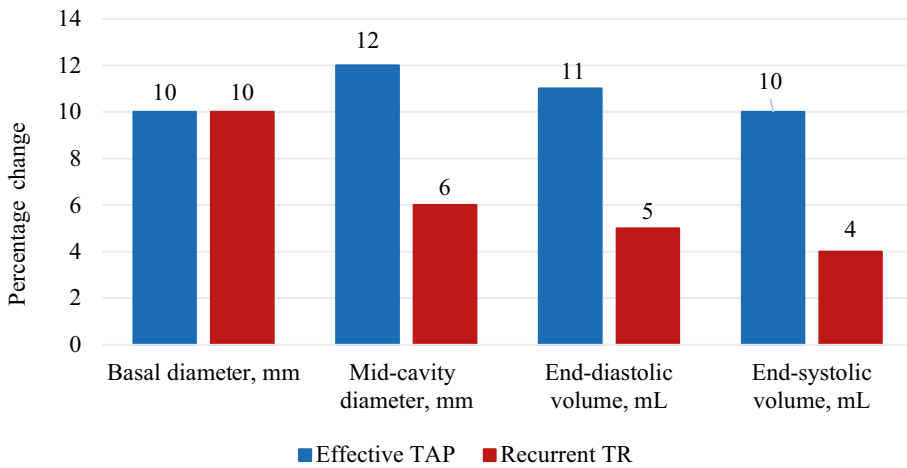


Fig. 5. Percent changes in RV geometry in patients with effective TAP and recurrent TR

RV strain analysis revealed distinct patterns: in the effective annuloplasty group, septal longitudinal strain improved significantly ($p = 0.002$), while the lateral wall strain did not show a significant change. In the recurrent TR group, septal strain did not improve, and lateral RV wall strain deteriorated significantly ($p = 0.028$).

Analysis of TV geometry showed that 2D echocardiographically measured TA diameters significantly decreased in both groups after annuloplasty. However, 3D echocardiography revealed that annular geometry changed more substantially in the effective annuloplasty group, with significant reductions in annular area, perimeter, all diameters, and tenting volume, alongside a slight improvement in coaptation height. In contrast, in the recurrent TR group, although 2D annular diameters decreased, 3D

parameters (annular area, perimeter, diameters, and tenting volume) did not change significantly postoperatively (Figure 6).

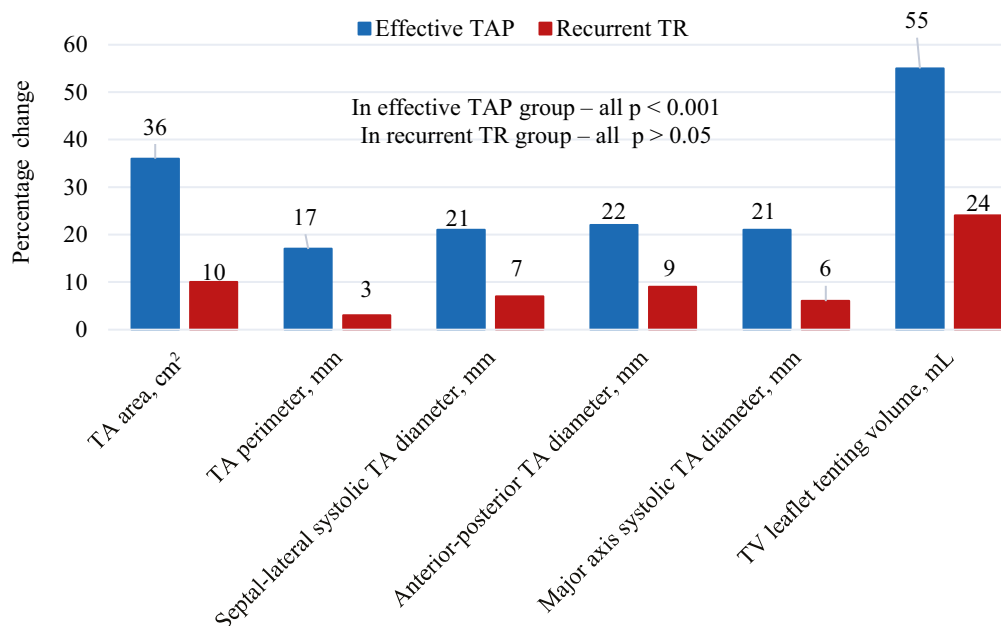


Fig. 6. Percent changes in TV geometry in patients with effective TAP and recurrent TR

STUDY LIMITATIONS

The limitations of this study can be summarized as follows. First, one of the main limitations is that only a single TV repair technique – suture annuloplasty (De Vega method) – was performed. This restricts the ability to generalize the findings to other types of TV repair methods. Second, this was a single-center study with a relatively small sample size, which may limit the statistical power and the generalizability of the results. The findings should therefore be validated in larger, multicenter studies. Third, not all patients underwent invasive hemodynamic assessment to confirm the diagnosis and classification of pulmonary hypertension, which may have influenced the precision of etiological subgrouping. Finally, the follow-up period after TV annuloplasty was relatively short, which may have limited the evaluation of long-term valve function, right heart remodeling, and late recurrence of tricuspid regurgitation.

CONCLUSIONS

1. Functional tricuspid regurgitation of different etiologies is associated with distinct tricuspid valve and right ventricular geometric and functional characteristics. In patients with left-sided valvular heart disease, less pronounced RV dilation ($p < 0.001$) and dysfunction ($p < 0.05$) were observed, together with a larger anterior-posterior tricuspid annular diameter ($p = 0.037$) and a higher sphericity index ($p = 0.04$), but less significant subvalvular geometric alterations (leaflet tethering ($p < 0.001$) and tenting volume ($p = 0.025$)) compared to patients with precapillary pulmonary hypertension.
2. Significant associations were identified between severe fTR and the septal-lateral systolic tricuspid annular diameter ($p = 0.028$), tricuspid annular perimeter ($p = 0.042$), and RV basal diameter ($p = 0.029$).
3. Clinically relevant recurrent TR was associated with preoperative atrial fibrillation and preoperative RV and TV geometric remodeling. The following 3D echocardiographic parameters were identified as predictors of recurrent TR: septal-lateral systolic and diastolic TV annular diameters (cut-off values: 43.5 mm and 46.5 mm, respectively), maximal diastolic TV annular diameter (cut-off value: 48.5 mm), tricuspid annular perimeter (cut-off value: 130.5 mm), leaflet tenting volume (cut-off value: 5.1 mL), and RV basal diameter (cut-off value: 47.5 mm). The combination of preoperative RV basal diameter and maximal TV annular diameter demonstrated the strongest predictive value for recurrent TR (OR 15.7, 95% CI 2.4–101.7, $p = 0.004$).
4. In patients who underwent De Vega tricuspid annuloplasty, recurrent TR one year postoperatively was associated with poorer functional status (higher NYHA functional class ($p < 0.001$)), persistent RV mid-cavity dilation ($p = 0.053$) and dysfunction ($p = 0.063$), and unaltered three-dimensional geometry of the tricuspid annulus ($p > 0.05$).

PRACTICAL RECOMMENDATIONS

1. Incorporating 3D-echocardiography into the diagnostic protocol for patients with functional tricuspid regurgitation secondary to left-sided valvular heart disease may improve the accuracy of determining the optimal timing for surgical intervention and aid in selecting the most appropriate surgical technique.
2. The tricuspid valve and right ventricular geometric cut-off values identified in this study – maximal diastolic tricuspid annular diameter (48.5 mm), leaflet tenting volume (5.1 mL), and right ventricular basal diameter (47.5 mm) – may assist in refining surgical decision-making and reducing the risk of postoperative recurrent regurgitation. In patients exceeding these thresholds, De Vega annuloplasty may be insufficient, and alternative or more durable repair methods should be considered.
3. In patients with preoperative atrial fibrillation, additional rhythm management procedures should be considered during surgery, as preoperative atrial fibrillation was identified as an independent predictor of late recurrent tricuspid regurgitation following annuloplasty.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Huttin O, Voilliot D, Mandry D, Venner C, Juillière Y, Selton–Suty C. All you need to know about the tricuspid valve: Tricuspid valve imaging and tricuspid regurgitation analysis. *Archives of Cardiovascular Diseases*. 2016;109:67–80.
2. K. Addetia et al. 3-Dimensional Echocardiographic Analysis of the Tricuspid Annulus Provides New Insights Into Tricuspid Valve Geometry and Dynamics. *JACC Cardiovasc. Imaging* 2019; 12(3): 401–412. doi: 10.1016/j.jcmg.2017.08.022.
3. D. Muraru et al. Reference ranges of tricuspid annulus geometry in healthy adults using a dedicated three-dimensional echocardiography software package. *Front. Cardiovasc. Med*. 2022; 9.
4. M. H. Miglioranza, S. Mihăilă, D. Muraru, U. Cucchini, S. Iliceto, and L. P. Badano. Dynamic changes in tricuspid annular diameter measurement in relation to the echocardiographic view and timing during the cardiac cycle. *J. Am. Soc. Echocardiogr*. 2015; 28(2): 226–235.
5. M. D. Silver, J. H. Lam, N. Ranganathan, and E. D. Wigle. Morphology of the human tricuspid valve. *Circulation* 1971; 43(3): 333–348. doi: 10.1161/01.CIR.43.3.333.
6. Chancellor WZ, Mehaffey JH, Beller JP, Hawkins RB, Speir AM, Quader MA, et al. Impact of tricuspid regurgitation with and without repair during aortic valve replacement. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2020;162:44 – 50.e2.
7. Amano M, Izumi C, Taniguchi T, Morimoto T, Miyake M, Nishimura S, et al. Impact of concomitant tricuspid regurgitation on long-term outcomes in severe aortic stenosis. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2019;20:353–360.
8. Essayagh B, Antoine C, Benfari G, Maalouf J, Michelena HI, Crestanello JA, et al. Functional tricuspid regurgitation of degenerative mitral valve disease: A crucial determinant of survival. *Eur Heart J* 2020;41:1918–1929.
9. Wang N, Fulcher J, Abey Suriya N, McGrady M, Wilcox I, Celermajer D, et al. Tricuspid regurgitation is associated with increased mortality independent of pulmonary pressures and right heart failure: A systematic review and meta-analysis. *Eur Heart J* 2019;40:476–484.
10. Messika-Zeitoun D, Verta P, Gregson J, Pocock SJ, Boero I, Feldman TE, et al. Impact of tricuspid regurgitation on survival in patients with heart failure: A large electronic health record patient-level database analysis. *Eur J Heart Fail* 2020;22:1803–1813.
11. Lancellotti P, Moura L, Pierard LA, Agricola E, Popescu BA, Tribouilloy C, et al. European Association of Echocardiography recommendations for the assessment of valvular regurgitation. Part 2: mitral and tricuspid regurgitation (native valve disease). *European Journal of Echocardiography*. 2010;11:307–32.
12. T. T. Ton-Nu et al. Geometric determinants of functional tricuspid regurgitation: Insights from 3-dimensional echocardiography. *Circulation* 2006; 114(2): 143–149.
13. Pagnesi M, Riccardi M, Chiarito M, Stolfo D, Baldetti L, Lombardi CM, et al. Characteristics and outcomes of patients with tricuspid regurgitation and advanced heart failure. *J Cardiovasc Med (Hagerstown)*. 2024 Mar 1;25(3):200-209.
14. Pavasini R, Ruggerini S, Grapsa J, Biscaglia S, Tumscitz C, Serenelli M, et al. Role of the tricuspid regurgitation after mitralclip and transcatheter aortic valve implantation: A systematic review and meta-analysis. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2017;19:654 – 659.
15. E. A. Prihadi, V. Delgado, M. B. Leon, M. Enriquez-Sarano, Y. Topilsky, and J. J. Bax. Morphologic Types of Tricuspid Regurgitation: Characteristics and Prognostic Implications. *JACC Cardiovasc. Imaging* 2019; 12(3): 491–499.

16. D. Muraru et al. Functional Regurgitation of Atrioventricular Valves and Atrial Fibrillation: An Elusive Pathophysiological Link Deserving Further Attention. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2020; 33(1): 42–53.
17. A. C. Guta et al. The Pathophysiological Link between Right Atrial Remodeling and Functional Tricuspid Regurgitation in Patients with Atrial Fibrillation: A Three-Dimensional Echocardiography Study. *Journal of the American Society of Echocardiography* 2021; 34(6): 585–594.
18. Adamo, M, Metra, M, Claggett, B. et al. Tricuspid Regurgitation and Clinical Outcomes in Heart Failure With Reduced Ejection Fraction. *J Am Coll Cardiol HF.* 2024 Mar, 12 (3) 552–563.
19. R. T. Hahn et al. Proposal for a Standard Echocardiographic Tricuspid Valve Nomenclature. *JACC Cardiovasc. Imaging* 2021; 14(7): 1299– 1305. doi: 10.1016/j.jcmg.2021.01.012.
20. Khoiy KA, Asgarian KT, Loth F, Amini R. Dilation of tricuspid valve annulus immediately after rupture of chordae tendineae in ex-vivo porcine hearts. :19.
21. Del Forno B, Lapenna E, Dalrymple-Hay M, Taramasso M, Castiglioni A, Alfieri O, et al. Recent advances in managing tricuspid regurgitation. *F1000Res* [Internet]. 2018 [cited 2019 May 3];7. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5865201/>
22. Taramasso M, Vanermen H, Maisano F, Guidotti A, La Canna G, Alfieri O. The Growing Clinical Importance of Secondary Tricuspid Regurgitation. *Journal of the American College of Cardiology.* 2012;59:703–10.
23. Fabien Praz, Michael A Borger, Jonas Lanz, Mateo Marin-Cuartas, Ana Abreu, Marianna Adamo, ESC/EACTS Scientific Document Group, 2025 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease: Developed by the task force for the management of valvular heart disease of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS), *European Heart Journal*, 2025.
24. Gammie JS, Chu MWA, Falk V, Overbey JR, Moskowitz AJ, Gillinov M, et al.; CTSN Investigators. Concomitant tricuspid repair in patients with degenerative mitral regurgitation. *N Engl J Med* 2022;386:327–339.
25. Dreyfus GD, Corbi PJ, Chan KM, Bahrami T. Secondary tricuspid regurgitation or dilatation: Which should be the criteria for surgical repair? *Ann Thorac Surg* 2005;79:127 – 132.
26. Otto CM, Nishimura RA, Bonow RO, Carabello BA, Erwin JP, Gentile F, Jneid H, et al.. 2020 ACC/AHA guideline for the management of patients with valvular heart disease: executive summary: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. *Circulation.* 2021;143(5):e35–71.
27. Izumi, C. Isolated functional tricuspid regurgitation: When should we go to surgical treatment? *J. Cardiol.* 2020, 75, 339–343.
28. Beyersdorf, F.; Vahanian, A.; Milojevic, M.; Praz, F.; Baldus, S.; Bauersachs, J. et al. Erratum to: 2021 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease. *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2022, 61, 964, Erratum in *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2021, 60, 727–800.
29. Dreyfus, J.; Komar, M.; Attias, D.; De Bonis, M.; Ruschitzka, F.; Popescu, B.A.; et al. Tricuspid regurgitation: Frequency, clinical presentation, management and outcome among patients with severe left-sided valvular heart disease in Europe. Insights from the ESC-EORP Valvular Heart Disease II survey. *Eur. J. Heart Fail.* 2024, 26, 994–1003

30. Fukuda S, Song JM, Gillinov AM, McCarthy PM, Daimon M, Kongsarepong V, Thomas JD, Shiota T. Tricuspid valve tethering predicts residual tricuspid regurgitation after tricuspid annuloplasty. *Circulation*. 2005 Mar 1;111(8):975-9.
31. Dreyfus J, Taramasso M, Kresoja KP, Omran H, Iliadis C, Russo G, TRIGISTRY Investigators. Prognostic Implications of Residual Tricuspid Regurgitation Grading After Transcatheter Tricuspid Valve Repair. *JACC Cardiovasc Interv*. 2024 Jun 24;17(12):1485-1495.
32. Hahn RT. State-of-the-Art Review of Echocardiographic Imaging in the Evaluation and Treatment of Functional Tricuspid Regurgitation. *Circulation: Cardiovascular Imaging* [Internet]. 2016 [cited 2018 Nov 8];9.
33. Mangieri A, Montalto C, Pagnesi M, Jabbour RJ, Rodés-Cabau J, Moat N, et al. Mechanism and Implications of the Tricuspid Regurgitation: From the Pathophysiology to the Current and Future Therapeutic Options. *Circulation: Cardiovascular Interventions* [Internet]. 2017 [cited 2019 May 6];10.
34. Muraru D, Surkova E, Badano LP. Revisit of Functional Tricuspid Regurgitation; Current Trends in the Diagnosis and Management. *Korean Circulation Journal*. 2016;46:443.
35. Shah PM, Raney AA. Tricuspid Valve Disease. *Current Problems in Cardiology*. 2008;33:47–84.
36. Topilsky Y, Maltais S, Medina Inojosa J, Oguz D, Michelena H, Maalouf J, Mahoney DW, Enriquez-Sarano M. Burden of Tricuspid Regurgitation in Patients Diagnosed in the Community Setting. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2019 Mar;12(3):433-442.
37. Beckhoff F, Alushi B, Jung C, Navarese E, Franz M, Kretzschmar D, et al. Tricuspid Regurgitation – Medical Management and Evolving Interventional Concepts. *Frontiers in Cardiovascular Medicine* [Internet]. 2018 [cited 2019 May 3];5.
38. Ong K, Yu G, Jue J. Prevalence and Spectrum of Conditions Associated with Severe Tricuspid Regurgitation. *Echocardiography*. 2014;31:558–62.
39. Mutlak D, Aronson D, Lessick J, Reisner SA, Dabbah S, Agmon Y. Functional Tricuspid Regurgitation in Patients With Pulmonary Hypertension. *Chest*. 2009;135:115–21.
40. Höke U, Auger D, Thijssen J, Wolterbeek R, van der Velde ET, Holman ER, Schalij MJ, Bax JJ, Delgado V, Marsan NA. Significant lead-induced tricuspid regurgitation is associated with poor prognosis at long-term follow-up. *Heart*. 2014 Jun;100(12):960-8.
41. Andreas M, Burri H, Praz F, Soliman O, Badano L, Barreiro M, Cavalcante JL, et al.. Tricuspid valve disease and cardiac implantable electronic devices. *Eur Heart J*. 2024 Feb 1;45(5):346-365.
42. Vieitez JM, Monteagudo JM, Mahia P, Perez L, Lopez T, Marco I, et al. New insights of tricuspid regurgitation: a large-scale prospective cohort study. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2021 Jan 22;22(2):196-202.
43. Adamo M, Chioncel O, Benson L, Shahim B, Crespo-Leiro MG, Anker SD, et al. Prevalence, clinical characteristics and outcomes of heart failure patients with or without isolated or combined mitral and tricuspid regurgitation: An analysis from the ESC-HFA Heart Failure Long-Term Registry. *Eur J Heart Fail*. 2023 Jul;25(7):1061-1071.
44. Davide Margonato, Giacomo Ingallina, Martina Belli, Annamaria Tavernese, Gianluca Ricchetti, Francesco Ancona, et al. Tricuspid regurgitation in the context of severe left-sided valvular disease: Patients characteristics and outcome, *Heliyon*, Volume 10, Issue 14, 2024, e34874, ISSN 2405-8440.
45. Shi K, Xuan H, Zhang F, Xu S, Wu J, Cao W, et al. Evolution of tricuspid regurgitation after mitral valve surgery for patients with moderate-or-less functional tricuspid regurgitation. *Heart Surg Forum*. 2012;15(3):E121–126.

46. J Segovia Reyes, P Marquez Camas, M Soler Gonzalez, D F Arroyo Monino, L Garcia Rodriguez, G Alegre Garcia, et al., Functional tricuspid regurgitation associated with left-side valvulopathy: clinical profile and long term evolution based on pulmonary pressure, *European Heart Journal*, Volume 44, Issue Supplement_2, November 2023, ehad655.1765.
47. Benfari, G., Springhetti, P. and Enriquez-Sarano, M. (2024), Combined tricuspid and left-sided valvular heart disease: A frequent and treatable scenario. *Eur J Heart Fail*, 26: 1861-1862.
48. Medvedofsky D, León Jiménez J, Addetia K, Singh A, Lang RM, Mor-Avi V, et al. Multi-parametric quantification of tricuspid regurgitation using cardiovascular magnetic resonance: A comparison to echocardiography. *European Journal of Radiology*. 2017;86:213–20.
49. Mutlak D, Lessick J, Reisner SA, Aronson D, Dabbah S, Agmon Y. Echocardiography-based spectrum of severe tricuspid regurgitation: the frequency of apparently idiopathic tricuspid regurgitation. *J Am Soc Echocardiogr*. 2007;20:405-8.
50. Topilsky Y, Khanna A, Le Tourneau T, Park S, Michelena H, Suri R, Mahoney DW, Enriquez-Sarano M. Clinical context and mechanism of functional tricuspid regurgitation in patients with and without pulmonary hypertension. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2012;5:314-23.
51. Park JH, Shin SH, Lee MJ, Lee MD, Shim HI, Yoon J, Oh S, et al.. Clinical and Echocardiographic Factors Affecting Tricuspid Regurgitation Severity in the Patients with Lone Atrial Fibrillation. *J Cardiovasc Ultrasound*. 2015;23:136-42.
52. R. T. Hahn et al. Tricuspid regurgitation: recent advances in understanding pathophysiology, severity grading and outcome. *Eur. Hear. Journal. Cardiovasc. Imaging* 2022; 23(7): 913–929.
53. X. A. Ortiz-Leon et al. Understanding tricuspid valve remodelling in atrial fibrillation using three-dimensional echocardiography. *Eur . Hear. J. Cardiovasc. Imaging* 2020; 1: 747–755.
54. Galloo X, Dietz MF, Fortuni F, Prihadi EA, Cosyns B, Delgado V, et al. Prognostic implications of atrial vs. ventricular functional tricuspid regurgitation. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2023 May 31;24(6):733-741.
55. Song J–M, Jang M–K, Kim Y–J, Kim D–H, Kang D–H, Song J–K. Right Ventricular Remodeling Determines Tricuspid Valve Geometry and the Severity of Functional Tricuspid Regurgitation: A Real–Time 3–Dimensional Echocardiography Study. *Korean Circ J*. 2010;40:448–53.
56. H.Utsunomiya et al. Tricuspid valve geometry and right heart remodelling: Insights into the mechanism of atrial functional tricuspid regurgitation. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging* 2020; 21(10): 1068– 1078. doi: 10.1093/ehjci/jeaa194.
57. Shiran A, Najjar R, Adawi S, Aronson D. Risk Factors for Progression of Functional Tricuspid Regurgitation. *The American Journal of Cardiology*. 2014;113:995–1000.
58. Hung J. The Pathogenesis of Functional Tricuspid Regurgitation. *Seminars in Thoracic and Cardiovascular Surgery*. 2010;22:76–8.
59. Rogers JH. Functional Tricuspid Regurgitation. *JACC: Cardiovascular Interventions*. 2015;8:492–4.
60. McCartney SL, Taylor BS, Nicoara A. Functional Tricuspid Regurgitation in Mitral Valve Disease. *Seminars in Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*. 2019;23:108-22.
61. Hahn RT, Thomas JD, Khalique OK, Cavalcante JL, Praz F, Zoghbi WA. Imaging Assessment of Tricuspid Regurgitation Severity. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2019 Mar;12(3):469-490.

62. D. Muraru, R. T. Hahn, O. I. Soliman, F. F. Faletra, C. Basso, and L. P. Badano. 3-Dimensional Echocardiography in Imaging the Tricuspid Valve. *JACC Cardiovasc. Imaging* 2019; 12(3): 500–515.
63. Del Rio JM, Grecu L, Nicoara A. Right Ventricular Function in Left Heart Disease. *Seminars in Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*. 2019;23:88–107.
64. Seo HS, Lee H. Assessment of Right Ventricular Function in Pulmonary Hypertension with Multimodality Imaging. *Journal of Cardiovascular Imaging*. 2018;26:189.
65. Smolarek D, Gruchala M, Sobiczewski W. Echocardiographic evaluation of right ventricular systolic function: The traditional and innovative approach. *Cardiology Journal*. 2017;24:563–72.
66. Lin S-I, Miura M, Maisano F, Zuber M, Gavazzoni M, Ho EC, et al. Transcatheter Edge-To-Edge Repair Of Severe Tricuspid Regurgitation. *US Cardiology Review* 2019. 2019;13:35–40.
67. L Elif Sade, Denisa Muraru, Nina Ajmone Marsan, Eustachio Agricola, Ivan Stankovic, Erwan Donal, How to assess severe tricuspid regurgitation by echocardiography?, *European Heart Journal - Cardiovascular Imaging*, Volume 23, Issue 10, October 2022, Pages 1273–1276.
68. Antunes MJ, Rodríguez-Palomares J, Prendergast B, De Bonis M, Rosenhek R, Al-Attar N, ESC Working Groups of Cardio-vascular Surgery and Valvular Heart Disease. Management of tricuspid valve regurgitation: Position statement of the European Society of Cardiology Working Groups of Cardiovascular Surgery and Valvular Heart Disease. *Eur J Cardiothorac Surg* 2017;52(6):1022-1030.
69. F. Ancona et al. Interventional Imaging of the Tricuspid Valve. *Interv. Cardiol. Clin*. 2018; 7(1): 13–29.
70. Adamo M, Chioncel O, Pagnesi M, Bayes-Genis A, Abdelhamid M, Anker SD, et al. Epidemiology, pathophysiology, diagnosis and management of chronic right-sided heart failure and tricuspid regurgitation. A clinical consensus statement of the Heart Failure Association (HFA) and the European Association of Percutaneous Cardiovascular Interventions (EAPCI) of the ESC. *Eur J Heart Fail*. 2024 Jan;26(1):18-33
71. Dreyfus GD, Martin RP, Chan KMJ, Dulguerov F, Alexandrescu C. Functional Tricuspid Regurgitation. *Journal of the American College of Cardiology*. 2015;65:2331–6.
72. Tribouilloy CM, Enriquez-Sarano M, Capps MA, Bailey KR, Tajik AJ. Contrasting effect of similar effective regurgitant orifice area in mitral and tricuspid regurgitation: A quantitative Doppler echocardiographic study. *Journal of the American Society of Echocardiography*. 2002;15:958–65.
73. Fortuni F, Dietz MF, Prihadi EA, van der Bijl P, De Ferrari GM, Knuuti J, Bax JJ, Delgado V, Marsan NA. Prognostic Implications of a Novel Algorithm to Grade Secondary Tricuspid Regurgitation. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2021 Jun;14(6):1085-1095.
74. Peri Y, Sadeh B, Sherez C, Hochstadt A, Biner S, Aviram G, et al. Quantitative assessment of effective regurgitant orifice: impact on risk stratification, and cut-off for severe and torrential tricuspid regurgitation grade. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2020 Jul 1;21(7):768-776.
75. Julien Dreyfus, Xavier Galloo, Maurizio Taramasso, Gregor Heitzinger, Giovanni Benfari, Karl-Patrick Kresoja, TRIGISTRY investigators, TRI-SCORE and benefit of intervention in patients with severe tricuspid regurgitation, *European Heart Journal*, Volume 45, Issue 8, 21 February 2024, Pages 586–597.
76. Hahn RT, Lawlor MK, Davidson CJ, Badhwar V, Sannino A, Spitzer E, et al. Tricuspid Valve Academic Research Consortium Definitions for Tricuspid Regurgitation and Trial Endpoints. *Eur Heart J*. 2023 Nov 14;44(43):4508-4532.

77. W. A. Zoghbi et al. Recommendations for Noninvasive Evaluation of Native Valvular Regurgitation: A Report from the American Society of Echocardiography Developed in Collaboration with the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2017; 30(4): 303–371.
78. Tribouilloy C.M., Enriquez-Sarano M., Bailey K.R., Tajik A.J., Seward J.B. Quantification of tricuspid regurgitation by measuring the width of the vena contracta with Doppler color flow imaging: a clinical study. *J Am Coll Cardiol.* 2000;36:472–478.
79. L. P. Badano, R. Hahn, H. Zanella, D. Araiza Garaygordobil, R. C. Ochoa-Jimenez, and D. Muraru. Morphological Assessment of the Tricuspid Apparatus and Grading Regurgitation Severity in Patients With Functional Tricuspid Regurgitation: Thinking Outside the Box. *JACC Cardiovasc. Imaging* 2019; 12(4): 652–664.
80. Y. Topilsky, C. Tribouilloy, H. I. Michelena, S. Pislaru, D. W. Mahoney, and M. Enriquez-Sarano. Pathophysiology of tricuspid regurgitation: Quantitative doppler echocardiographic assessment of respiratory dependence. *Circulation* 2010; 122(15): 1505–1513.
81. Lancellotti P, Tribouilloy C., Hagendorff A., et al. Recommendations for the echocardiographic assessment of native valvular regurgitation: an executive summary from the European Association of Cardiovascular Imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging.* 2013;14:611–644.
82. Singulane CC, Singh A, Addetia K, Yamat M, Lang RM. Developing Insights Regarding Tricuspid Valve Regurgitation: Morphology, Assessment of Severity, and the Need for a Novel Grading Scheme. *Struct Heart.* 2022 Apr 4;6(1):100026.
83. A. Dahou, G. Ong, N. Hamid, E. Avenatti, J. Yao, and R. T. Hahn. Quantifying Tricuspid Regurgitation Severity: A Comparison of Proximal Isovelocity Surface Area and Novel Quantitative Doppler Methods. *JACC Cardiovasc. Imaging* 2019; 12(3): 560–562.
84. Chen T.E., Kwon S.H., Enriquez-Sarano M., Wong B.F., Mankad S.V. Three-dimensional color Doppler echocardiographic quantification of tricuspid regurgitation orifice area: comparison with conventional two-dimensional measures. *J Am Soc Echocardiogr.* 2013;26:1143–1152.
85. Muraru D, Onciul S, Peluso D, Soriani N, Cucchini U, Aruta P, Romeo G, Cavalli G, Iliceto S, Badano LP. Sex- and Method-Specific Reference Values for Right Ventricular Strain by 2-Dimensional Speckle-Tracking Echocardiography. *Circ Cardiovasc Imaging.* 2016;9:e003866.
86. Arsalan M, Walther T, Smith RL 2nd, Grayburn PA. Tricuspid regurgitation diagnosis and treatment. *Eur Heart J* 2017;38(9):634-638.
87. Addetia K, Miyoshi T, Amuthan V, Citro R, Daimon M, Gutierrez Fajardo P, Kasliwal RR, WASE Investigators. Normal Values of Three-Dimensional Right Ventricular Size and Function Measurements: Results of the World Alliance Societies of Echocardiography Study. *J Am Soc Echocardiogr.* 2023 Aug;36(8):858-866.e1.
88. Eriksen-Volnes T, Grue JF, Hellum Olaisen S, Letnes JM, Nes B, Løvstakken L, Wisløff U, Dalen H. Normalized Echocardiographic Values From Guideline-Directed Dedicated Views for Cardiac Dimensions and Left Ventricular Function. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2023 Dec;16(12):1501-1515.
89. Preda A, Melillo F, Liberale L, Montecucco F, Agricola E. Right ventricle dysfunction assessment for transcatheter tricuspid valve repair: A matter of debate. *Eur J Clin Invest.* 2021 Dec;51(12):e13653.
90. Lurz P, Orban M, Besler C, Braun D, Schlotter F, Noack T, et al. Clinical characteristics, diagnosis, and risk stratification of pulmonary hypertension in severe tricuspid regurgitation and implications for transcatheter tricuspid valve repair. *Eur Heart J.* 2020 Aug 1;41(29):2785-2795.

91. Marc Humbert, Gabor Kovacs, Marius M Hoeper, Roberto Badagliacca, Rolf M F Berger, Margarita Brida, ESC/ERS Scientific Document Group , 2022 ESC/ERS Guidelines for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension: Developed by the task force for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Respiratory Society (ERS). Endorsed by the International Society for Heart and Lung Transplantation (ISHLT) and the European Reference Network on rare respiratory diseases (ERN-LUNG)., *European Heart Journal*, Volume 43, Issue 38, 7 October 2022, Pages 3618–3731,
92. Stocker TJ, Hertell H, Orban M, Braun D, Rommel KP, Ruf T, Ong G, et al. Cardiopulmonary Hemodynamic Profile Predicts Mortality After Transcatheter Tricuspid Valve Repair in Chronic Heart Failure. *JACC Cardiovasc Interv.* 2021 Jan 11;14(1):29-38.
93. Mediratta A, Addetia K, Yamat M, Moss JD, Nayak HM, Burke MC, et al. 3D echocardiographic location of implantable device leads and mechanism of associated tricuspid regurgitation. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2014;7:337-47.
94. Hahn R., Saric M., Faletra F.F., et al. Recommended standards for the performance of transesophageal echocardiographic screening for structural heart intervention: from the American Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr.* 2022;35:1–76.
95. Lancellotti et al. Multi-modality imaging assessment of native valvular regurgitation: an EACVI and ESC council of valvular heart disease position paper. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging* 2022; 23(5): E171–E232.
96. Peters A.C., Gong F.F., Rigolin V.H. Three-dimensional echocardiography for the assessment of the tricuspid valve. *Echocardiography.* 2020;37:758–768.
97. Madhavan MV, Barker CM, Kemp LS, Mollenkopf S, Ryan M, Gunnarsson C, Cohen DJ. Real-World Clinical Outcomes and Health Care Utilization in Patients With Severe Tricuspid Regurgitation. *Struct Heart.* 2025 Mar 27;9(5):100463.
98. Chorin E, Rozenbaum Z, Topilsky Y, Konigstein M, Ziv-Baran T, Richert E, Keren G, Banai S. Tricuspid regurgitation and long-term clinical outcomes. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging.* 2020 Feb 1;21(2):157-165.
99. Heitzinger G, Pavo N, Koschatko S, Jantsch C, Winter MP, Spinka G, Dannenberg V, Kastl S, Prausmüller S, et al. Contemporary insights into the epidemiology, impact and treatment of secondary tricuspid regurgitation across the heart failure spectrum. *Eur J Heart Fail.* 2023 Jun;25(6):857-867.
100. Dreyfus J, Ghalem N, Garbarz E, Cimadevilla C, Nataf P, Vahanian A, Caranhac G, Messika-Zeitoun D. Timing of Referral of Patients With Severe Isolated Tricuspid Valve Regurgitation to Surgeons (from a French Nationwide Database). *Am J Cardiol.* 2018 Jul 15;122(2):323-326.
101. Nath J, Foster E, Heidenreich PA. Impact of tricuspid regurgitation on long-term survival. *Journal of the American College of Cardiology.* 2004;43:405–9.
102. M. G. Benfari, C. Antoine, W. L. Miller, P. Thapa, Y. Topilsky, A. Rossi, H. I. Michelena, et al.. Excess Mortality Associated With Functional Tricuspid Regurgitation Complicating Heart Failure With Reduced Ejection Fraction. *Circulation* 2019; 140: 196–206.
103. M.Miura et al. Impact of Massive or Torrential Tricuspid Regurgitation in Patients Undergoing Transcatheter Tricuspid Valve Intervention. *JACC Cardiovasc. Interv.* 2020; 13(17): 1999–2009.
104. Dreyfus J, Juarez-Casso F, Sala A, Carnero-Alcazar M, Eixerés-Esteve A, Bohbot Y, Bazire B, et al. Benefit of isolated surgical valve repair or replacement for functional tricuspid regurgitation and long-term outcomes stratified by the TRI-SCORE. *Eur Heart J.* 2024 Nov 8;45(42):4512-4522. doi: 10.1093/eurheartj/ehae578. PMID: 39212387.

105. Thourani VH, Bonnell L, Wyler von Ballmoos MC, Mehaffey JH, Bowdish M, Kurlansky P, et al. Outcomes of Isolated Tricuspid Valve Surgery: A Society of Thoracic Surgeons Analysis and Risk Model. *Ann Thorac Surg*. 2024 Oct;118(4):873-881.
106. Dreyfus J, Audureau E, Bohbot Y, Coisne A, Lavie-Badie Y, Bouchery M, et al. TRI-SCORE: a new risk score for in-hospital mortality prediction after isolated tricuspid valve surgery. *Eur Heart J*. 2022 Feb 12;43(7):654-662.
107. Anguita-Gámez M, Giraldo MA, Nombela-Franco L, Eixeres Esteve A, Cuerpo G, Lopez-Menendez J, et al. Validation of the TRI-SCORE in patients undergoing surgery for isolated tricuspid regurgitation. *Heart*. 2023 Aug 24;109(18):1401-1406.
108. Theresa A McDonagh, Marco Metra, Marianna Adamo, Roy S Gardner, Andreas Baumbach, Michael Böhm, ESC Scientific Document Group , 2023 Focused Update of the 2021 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure: Developed by the task force for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure of the European Society of Cardiology (ESC) With the special contribution of the Heart Failure Association (HFA) of the ESC, *European Heart Journal*, Volume 44, Issue 37, 1 October 2023, Pages 3627–3639,
109. Mesnier J, Alperi A, Panagides V, et al. Transcatheter tricuspid valve interventions: Current devices and associated evidence. *133 Prog Cardiovasc Dis* 2021;69:89-100.
110. Kitamura, T.; Obase, K.; NaKaji, S.; Matsumaru, I.; Miura, T.; Eishi, K. Risk factors of recurrent tricuspid regurgitation after valve repair with three-dimensional ring. *Acta Med. Nagasaki*. 2022, 65, 103–109.
111. Bonow RO, Carabello B, de Leon AC, Jr., Edmunds LH, Jr., Fedderly BJ, Freed MD, et al. Guidelines for the management of patients with valvular heart disease: executive summary. A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee on Management of Patients with Valvular Heart Disease). *Circulation*. 1998; 98: 1949–1984.
112. Calafiore, A.M.; Lorusso, R.; Kheirallah, H.; Alsaied, M.M.; Alfonso, J.J.; Di Baldassare, A.; Gallina, S.; Gaudino, M.; Di Mauro, M. Late tricuspid regurgitation and right ventricular remodeling after tricuspid annuloplasty. *J. Card. Surg*. 2020, 35, 1891–1900.
113. Maslow, A.; Abisse, S.; Parikh, L.; Apruzzese, P.; Cilia, L.; Gleason, P.; Singh, A.; Poppas, A. Echocardiographic Predictors of Tricuspid Ring Annuloplasty Repair Failure for Functional Tricuspid Regurgitation. *J. Cardiothorac. Vasc. Anesth*. 2019, 33, 2624–2633.
114. Choi JW, Kim KH, Chang HW, et al. Long-term results of annuloplasty in trivial-to-mild functional tricuspid regurgitation during mitral valve replacement: Should we perform annuloplasty on the tricuspid valve or leave it alone? *Eur J Cardiothorac Surg* 2018;53:756–63.;
115. Kara I, Koksall C, Erkin A, et al. Outcomes of mild to moderate functional tricuspid regurgitation in patients undergoing mitral valve operations: A meta-analysis of 2,488 patients. *Ann Thorac Surg* 2015;100:2398–407.
116. Ruel M, Rubens FD, Masters RG, Pipe AL, Bedard P, Mesana TG. Late incidence and predictors of persistent or recurrent heart failure in patients with mitral prosthetic valves. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2004; 128: 278–283.
117. Song. H, Kim Factors associated with development of late significant tricuspid regurgitation after successful left-sided valve surgery. *Heart* 2009;95:931–6.
118. Vahanian A, Beyersdorf F, Praz F, et al. 2021 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease [published correction appears in *Eur Heart J*. 2022 Feb 18;]. *Eur Heart J* 2022;43(7):561-632.

119. Kadri AN, Menon V, Sammour YM, Gajulapalli RD, Meenakshisundaram C, Nusairat L, et al. Outcomes of patients with severe tricuspid regurgitation and congestive heart failure. *Heart*. 2019 Dec;105(23):1813-1817.
120. Dreyfus J, Flagiello M, Bazire B, Eggenspieler F, Viau F, Riant E, et al. Isolated tricuspid valve surgery: impact of aetiology and clinical presentation on outcomes. *Eur Heart J*. 2020 Dec 1;41(45):4304-4317.
121. Axtell AL, Bhambhani V, Moonsamy P, Healy EW, Picard MH, Sundt TM 3rd, Wasfy JH. Surgery Does Not Improve Survival in Patients With Isolated Severe Tricuspid Regurgitation. *J Am Coll Cardiol*. 2019 Aug 13;74(6):715-725.
122. Taramasso M, Benfari G, van der Bijl P, Alessandrini H, Attinger-Toller A, Biasco L, Lurz P, et al. Transcatheter Versus Medical Treatment of Patients With Symptomatic Severe Tricuspid Regurgitation. *J Am Coll Cardiol*. 2019 Dec 17;74(24):2998-3008.
123. Scotti A, Sturla M, Granada JF, Kodali SK, Coisne A, Mangieri A, et al. Outcomes of isolated tricuspid valve replacement: a systematic review and meta-analysis of 5,316 patients from 35 studies. *EuroIntervention*. 2022 Nov 18;18(10):840-851.
124. Chen Q, Bowdish ME, Malas J, Roach A, Gill G, Rowe G, et al. Isolated Tricuspid Operations: The Society of Thoracic Surgeons Adult Cardiac Surgery Database Analysis. *Ann Thorac Surg*. 2023 May;115(5):1162-1170.
125. Santaló-Corcoy M, Asmarats L, Li CH, Arzamendi D. Catheter-based treatment of tricuspid regurgitation: state of the art. *Ann Transl Med* 2020;8(15):964.
126. Dion RA. Is the air in Toronto, Rochester, and Cleveland different from that in London, Monaco, Leiden, Genk, Milan, and New York? *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2015;150(5):1040–3.
127. Barua, A., Wong, N., Jain, S. et al. Concomitant tricuspid surgery for moderate tricuspid regurgitation improves survival in left-sided valve surgery – a meta-analysis. *J Cardiothorac Surg* 20, 294 (2025).
128. Ragnarsson S, Taha A, Nielsen SJ, Amabile A, Geirsson A, Krane M, Mörtzell D, Sjögren J, Jeppsson A, Martinsson A. Pacemaker implantation following tricuspid valve annuloplasty. *JTCVS Open*. 2023 Sep 9;16:276-289.
129. Ailawadi G, Voisine P, Raymond S, Gelijns AC, Moskowitz AJ, Falk V, Overbey JR, trial investigators. Pacemaker implantation associated with tricuspid repair in the setting of mitral valve surgery: Insights from a Cardiothoracic Surgical Trials Network randomized trial. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2024 Jun;167(6):2104-2116.e5.
130. Calafiore AM, Gallina S, Iacò AL, Contini M, Bivona A, Gagliardi M, Bosco P, Di Mauro M. Mitral valve surgery for functional mitral regurgitation: should moderate-or-more tricuspid regurgitation be treated? a propensity score analysis. *Ann Thorac Surg*. 2009;87(3):698–703.
131. Ordienė R, Orda P, Vaškelytė JJ, Stoškutė N, Kazakauskaitė E, Benetis R, Punjabi PP, Karčiauskas D, Ereminienė E. Changes in right ventricular longitudinal function: primary mitral and concomitant tricuspid valve repair. *Perfusion*. 2019;34(4):310–7.
132. Badhwar V, Rankin JS, He M, Jacobs JP, Furnary AP, Fazzalari FL, O'Brien S, Gammie JS, Shahian DM. Performing concomitant tricuspid valve repair at the time of mitral valve operations is not associated with increased operative mortality. *Ann Thorac Surg*. 2017;103(2):587–93.
133. Dreyfus GD, Corbi PJ, Chan KMJ, Bahrami T. Secondary tricuspid regurgitation or dilatation: which should be the criteria for surgical repair? *Ann Thorac Surg*. 2005;79(1):127–32.
134. Van de Veire NR, Braun J, Delgado V, Versteegh MIM, Dion RA, Klautz RJM, Bax JJ. Tricuspid annuloplasty prevents right ventricular dilatation and progression of tricuspid regurgitation in patients with tricuspid annular dilatation undergoing mitral valve repair. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2011;141(6):1431–9.

135. S. Fukuda et al. Three-dimensional geometry of the tricuspid annulus in healthy subjects and in patients with functional tricuspid regurgitation: Areal-time, 3-dimensional echocardiographic study. *Circulation* 2006; 114(1): 492–498.
136. Piperata A, Van Den Eynde J, Pernot M, Busuttil O, Avesani M, Bottio T, Lafitte S, Modine T, Labrousse L. Long-term outcomes of concomitant suture bicuspidization technique to treat mild or moderate tricuspid regurgitation in patients undergoing mitral valve surgery. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2023;63(6):ezad201. 10.1093/ejcts/ezad201.
137. R. K. Ghanta et al. Suture bicuspidization of the tricuspid valve versus ring annuloplasty for repair of functional tricuspid regurgitation: Midterm results of 237 consecutive patients. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2007; 133(1): 117–126.
138. S. Hirji et al. Outcomes After Tricuspid Valve Repair With Ring Versus Suture Bicuspidization Annuloplasty. *Ann. Thorac. Surg.* 2020; 110(3): 821–828.
139. M. Mathur, W. D. Meador, T. Jazwiec, M. Malinowski, T. A. Timek, and M. K. Rausch. The Effect of Downsizing on the Normal Tricuspid Annulus. *Ann. Biomed. Eng.* 2020; 48(2): 655–668.
140. G. H. L. Tang, T. E. David, S. K. Singh, M. D. Maganti, S. Armstrong, and M. A. Borger. Tricuspid valve repair with an annuloplasty ring results in improved long-term outcomes. *Circulation* 2006; 114(1): 577–581.
141. H. Nishi et al. Tricuspid annular dynamics before and after tricuspid annuloplasty: Three-dimensional transesophageal echocardiography. *Circ. J.* 2015; 79(4): 873–879.
142. G. Gatti et al. Flexible band versus rigid ring annuloplasty for functional tricuspid regurgitation: Two different patterns of right heart reverse remodelling. *Interact. Cardiovasc. Thorac. Surg.* 2016; 23(1): 79–88.
143. Carino, D.; Zancanaro, E.; Lapenna, E.; Ruggeri, S.; Denti, P.; Iaci, G.; Buzzatti, N.; Calabrese, M. C.; Nascimbene, S.; Sala, A.; et al. Long-term results of tricuspid annuloplasty with 3-dimensional-shaped rings: Effective and durable! *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2021, 60, 115–121.
144. Xu, J.; Han, J.; Zhang, H.; Meng, F.; Luo, T.; Tian, B.; Wang, J.; Jiao, Y.; Yu, H.; Meng, X. Risk factors for postoperative recurrent tricuspid regurgitation after concomitant tricuspid annuloplasty during left heart surgery and the association between tricuspid annular circumference and secondary tricuspid regurgitation. *BMC Cardiovasc. Disord.* 2021, 21, 50.
145. Arora L, Krishnan S, Subramani S, et al. Functional Tricuspid Regurgitation: Analysis of Percutaneous Transcatheter Techniques and Current Outcomes. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2021;35(3):921-931.
146. Boyd JH, Edelman JJB, Scoville DH, Woo YJ. Tricuspid leaflet repair: innovative solutions. *Ann Cardiothorac Surg* 2017;6(3):248-254.
147. Simard T, Eleid M. Transcatheter Tricuspid Valve Intervention: Current Perspective. *US Cardiology Review* 2021;15.
148. C. M. Vassileva, J. Shabosky, T. Boley, S. Markwell, and S. Hazelrigg. Tricuspid valve surgery: The past 10 years from the Nationwide Inpatient Sample (NIS) database. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2012; 143(5): 1043–1049.
149. A. Dhoble et al. National 10-year trends and outcomes of isolated and concomitant tricuspid valve surgery. *J. Cardiovasc. Surg. (Torino)* 2019; 60(1): 119–127.
150. B. Kunadian, K. Vijayalakshmi, S. Balasubramanian, and J. Dunning. Should the tricuspid valve be replaced with a mechanical or biological valve? *Interact. Cardiovasc. Thorac. Surg.* 2007; 6(4): 551–557.
151. Y. Topilsky et al. Preoperative factors associated with adverse outcome after tricuspid valve replacement. *Circulation* 2011; 123(18): 1929–1939.
152. H. W. Chang et al. Tricuspid valve replacement vs. repair in severe tricuspid regurgitation. *Circ. J.* 2017; 81(3): 330–338.

153. L. Asmarats, R. Puri, A. Latib, J. L. Navia, and J. Rodés-Cabau. Transcatheter Tricuspid Valve Interventions: Landscape, Challenges, and Future Directions. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2018; 71(25): 2935–2956.
154. Hahn RT, Makkar R, Thourani VH, Makar M, Sharma RP, Haefele C, TRISCEND II Trial Investigators. Transcatheter Valve Replacement in Severe Tricuspid Regurgitation. *N Engl J Med.* 2025 Jan 9;392(2):115-126.
155. Kempny A, McCabe C. Transcatheter Valve Replacement in Severe Tricuspid Regurgitation. *N Engl J Med.* 2025 Mar 27;392(12):1243.
156. Sorajja P, Whisenant B, Hamid N, Naik H, Makkar R, Tadros P, Price MJ, Singh G, TRILUMINATE Pivotal Investigators. Transcatheter Repair for Patients with Tricuspid Regurgitation. *N Engl J Med.* 2023 May 18;388(20):1833-1842.
157. McCarthy PM, Bhudia SK, Rajeswaran J, Hoercher KJ, Lytle BW, Cosgrove DM, Blackstone EH. Tricuspid valve repair: durability and risk factors for failure. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2004 Mar;127(3):674-85.
158. H. Utsunomiya et al. Usefulness of 3D echocardiographic parameters of tricuspid valve morphology to predict residual tricuspid regurgitation after tricuspid annuloplasty. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging* 2017; 18(7): 809–817.
159. Tchanchaleishvili V, Rajab TK, Cohn LH. Posterior suture annuloplasty for functional tricuspid regurgitation. *Ann Cardiothorac Surg.* 2017 May;6(3):262-265.
160. Lu F-L, Ma Y, An Z, Cai C-L, Li B-L, Song Z-G, Han L, Wang J, Qiao F, Xu Z-Y. First-in-man experience of transcatheter tricuspid valve replacement with lux-valve in high-risk tricuspid regurgitation patients. *JACC Cardiovasc Interv.* 2020;13(13):1614–6.
161. Rowse PG, AlJamal Y, Daly RC, Todd A, Arghami A, Crestanello JA, Dearani JA. Is concomitant tricuspid valve repair in patients undergoing robotic mitral valve repair safe and effective? *JTCVS Open.* 2024;1(22):214–21.
162. Gibson S, Numa A. The importance of metabolic rate and the folly of body surface area calculations. *Anaesthesia.* 2003 Jan;58(1):50–5.
163. Lang, R. M. et al. Recommendations for Cardiac Chamber Quantification by Echocardiography in Adults: An Update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *Eur. Hear. J. - Cardiovasc. Imaging* 16, 233–271 (2015).
164. Hahn, R.T.; Zamorano, J.L. The need for a new tricuspid regurgitation grading scheme. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging* 2017, 18, 1342–1343.
165. Badano, L. P. et al. Standardization of left atrial, right ventricular, and right atrial deformation imaging using two-dimensional speckle tracking echocardiography: a consensus document of the EACVI/ASE/Industry Task Force to standardize deformation imaging. *Eur. Hear. J. - Cardiovasc. Imaging* 19, 591–600 (2018).
166. Badano, L. P., Muraru, D., Parati, G., Haugaa, K. & Voigt, J.-U. How to do right ventricular strain. *Eur. Hear. J. - Cardiovasc. Imaging* 21, 825–827 (2020).
167. Badhwar V, Rankin JS, He M, Jacobs JP, Furnary AP, Fazzalari FL, et al. Performing Concomitant Tricuspid Valve Repair at the Time of Mitral Valve Operations Is Not Associated With Increased Operative Mortality. *The Annals of Thoracic Surgery.* 2017;103:587–93.
168. Spinner, E.M.; Lerakis, S.; Higginson, J.; Pernetz, M.; Howell, S.; Veledar, E.; Yoganathan, A.P. Correlates of tricuspid regurgitation as determined by 3D echocardiography: Pulmonary arterial pressure, ventricle geometry, annular dilatation, and papillary muscle displacement. *Circ. Cardiovasc. Imaging* 2012, 5, 43–50; Erratum in *Circ. Cardiovasc. Imaging* 2012, 5, e54.
169. Badano, L.P.; Muraru, D.; Enriquez-Sarano, M. Assessment of functional tricuspid regurgitation. *Eur. Heart J.* 2013, 34, 1875–1885.

170. H.Baumgartner et al. 2017 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease 38(36). 2017.
171. Algarni KD, Arafat A, Algarni AD, Alfonso JJ, Alhossan A, Elsayed A, Kheirallah HM, Albacker TB. Degree of right ventricular dysfunction dictates outcomes after tricuspid valve repair concomitant with left-side valve surgery. *Gen Thorac Cardiovasc Surg*. 2021 Jun;69(6):911-918.
172. A. M. Anwar, M. L. Geleijnse, F. J. Ten Cate, and F. J. Meijboom. Assessment of tricuspid valve annulus size, shape and function using real-time three-dimensional echocardiography. *Interact. Cardiovasc. Thorac. Surg*. 2006; 5(6): 683–687.
173. J. Dreyfus et al. Comparison of 2-dimensional, 3-dimensional, and surgical measurements of the tricuspid annulus size clinical implications. *Circ. Cardiovasc. Imaging* 2015; 8(7): 1–9.
174. Wang C, Hamid N, Bapat V, Cavalcante JL, Lesser JR, Walser-Kuntz E, Stanberry L, Enriquez-Sarano M, Sorajja P. Incidence, predictors and outcomes of tricuspid regurgitation progression after left-sided valvular intervention. *Heart*. 2025 Apr 30:heartjnl-2024-325194.
175. Torres DR, Quintero LT, Rodríguez DS, Jimenez JMG, Molina ME, Martínez FG, et al. Surgical management of tricuspid regurgitation: a new algorithm to minimise recurrent tricuspid regurgitation. *Open Heart*. 2022;9:e002011.
176. Ito H, Mizumoto T, Sawada Y, Fujinaga K, Tempaku H, Shimpo H. Determinants of recurrent tricuspid regurgitation following tricuspid valve annuloplasty during mitral valve surgery. *J Card Surg*. 2017 Apr;32(4):237-244.
177. Hwang HY, Kim KH, Kim KB, Ahn H. Reoperations after tricuspid valve repair: re-repair versus replacement. *J Thorac Dis*. 2016 Jan;8(1):133-9.
178. McCarthy PM, Szlapka M, Kruse J, Kislitsina ON, Thomas JD, Liu M, Andrei AC, Cox JL. The relationship of atrial fibrillation and tricuspid annular dilation to late tricuspid regurgitation in patients with degenerative mitral repair. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2021 Jun;161(6):2030-2040.e3.
179. Sarawy, Emad; Kisho, Maged; and Abdelateif, Wael (2020) “Kay annuloplasty of the tricuspid valve versus ring annuloplasty for repair of functional tricuspid regurgitation,” *Journal of Medicine in Scientific Research*: Vol. 3: Iss. 3, Article 6.
180. P. Teng et al. Tricuspid Annulus Dilation in Patients With Combined Functional Tricuspid Regurgitation and Left-Heart Valvular Disease: Does Septal Annulus Not Dilate? *Front. Cardiovasc. Med*. 2022; 9(4): 1–10.
181. Kim YJ, Kwon DA, Kim HK, Park JS, Hahn S, Kim KH, Kim KB, Sohn DW, Ahn H, Oh BH, Park YB. Determinants of surgical outcome in patients with isolated tricuspid regurgitation. *Circulation*. 2009 Oct 27;120(17):1672-8.
182. Chikwe J, Itagaki S, Anyanwu A, Adams DH. Impact of concomitant tricuspid annuloplasty on tricuspid regurgitation, right ventricular function, and pulmonary artery hypertension after repair of mitral valve prolapse. *J Am Coll Cardiol*. 2015;65(18):1931–8.
183. Zhong Y, Bai W, Wang H, Qian H, Rao L. Impact of concomitant tricuspid annuloplasty on right ventricular remodeling in patients with rheumatic mitral valve disease. *Cardiovasc Ultrasound*. 2021 Mar 4
184. Ordienė R, Orda P, Vaškelytė JJ, Stoškutė N, Kazakauskaitė E, Benetis R, Punjabi PP, Karčiauskas D, Ereminienė E. Changes in right ventricular longitudinal function: primary mitral and concomitant tricuspid valve repair. *Perfusion*. 2019;34(4):310–7.
185. R. T. Hahn. Transcatheter Valve Replacement and Valve Repair: Review of Procedures and Intraprocedural Echocardiographic Imaging. *Circ. Res*. 2016; 119(2): 341–356.
186. E.Agricola et al. Imaging for Tricuspid Valve Repair and Replacement. *JACC Cardiovasc. Imaging* 2020; 14(1): 1–51.

187. R. T. Hahn et al. Early Feasibility Study of a Transcatheter Tricuspid Valve Annuloplasty: SCOUT Trial 30-Day Results. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2017; 69(14): 1795–1806.
188. G. Nickenig et al. Thirty-day outcomes of the Cardioband tricuspid system for patients with symptomatic functional tricuspid regurgitation: The TriBAND study. *EuroIntervention* 2021; 17(10): 809–817.
189. Bieliauskienė G, Kažukauskienė I, Janušauskas V, Zorinas A, Ručinskas K, Mainelis A, Zakarkaitė D. The Early Effects on Tricuspid Annulus and Right Chambers Dimensions in Successful Tricuspid Valve Bicuspidization. *J Clin Med.* 2023 Jun 16;12(12):4093.
190. Pahwa, S.; Saran, N.; Pochettino, A.; Schaff, H.; Stulak, J.; Greason, K.; Daly, R.; Crestanello, J.; King, K.; Dearani, J. Outcomes of tricuspid valve surgery in patients with functional tricuspid regurgitation. *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2021, 59(3), 577–585.
191. Galloo, X.; Meucci, M.C.; Stassen, J.; Dietz, M.F.; Prihadi, E.A.; van der Bijl, P.; Ajmone Marsan, N.; Braun, J.; Bax, J.J.; Delgado, V. Right ventricular reverse remodeling after tricuspid valve surgery for significant tricuspid regurgitation. *Struct. Heart* 2022, 7(1), 100101.
192. Dietz, M.F.; Prihadi, E.A.; van der Bijl, P.; Goedemans, L.; Mertens, B.J.A.; Gursoy, E.; van Genderen, O.S.; Ajmone Marsan, N.; Delgado, V.; Bax, J.J. Prognostic implications of right ventricular remodeling and function in patients with significant secondary tricuspid regurgitation. *Circulation* 2019, 140(10), 836–845.
193. Mangieri, A.; Montalto, C.; Agricola, E.; et al. Tricuspid regurgitation: from pathophysiology to transcatheter treatment. *J. Am. Coll. Cardiol. Cardiovasc. Interv.* 2022, 15(15), 1471–1491.
194. Sakata, T.; Mogi, K.; Sakurai, M.; Nomura, A.; Fujii, M.; Kaneyuki, D.; Matsumiya, G.; Takahara, Y. Effect of tricuspid annuloplasty concomitant with left heart surgery on right heart geometry and function. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2018, 156(3), 1050–1061.
195. Zhang, R.; Villar-Calle, P.; Jin, L.; et al. Prognostic value of the right ventricular-to-left ventricular volume ratio in tricuspid regurgitation. *JACC Adv.* 2025, 4(8).

PASKELBTOS PUBLIKACIJOS

Publikacijos, kuriose skelbti mokslinio darbo rezultatai

Web of Science duomenų bazės referuojamuose leidiniuose su citavimo rodikliu

1. **Krivickienė, A.**, Verikas, D., Krečkauskienė, R., Padervinskienė, L., Hoppenot, D., Miliauskas, S., Vaškelytė, J. J., & Ereminienė, E.. (2023). Different Causes of Functional Tricuspid Valve Regurgitation Are Linked to Differences in Tricuspid Valve and Right-Sided Heart Geometry and Function: 3D Echocardiography Study. *Medicina. Kaunas ; Basel : LSMU ; MDPI, 2023, Vol. 59, No. 1., 1-14.* <https://doi.org/10.3390/medicina59010057> [S1a] [M.kr.: M001] [Citav. rodiklis: 2.4, bendr. cit. rod.: 3.324, kvartilis: Q1 (2023. InCites JCR SCIE)]
2. **Krivickienė, A.**, Verikas, D., Padervinskienė, L., Mizarienė, V., Jakuška, P., Siudikas, A., Vaškelytė, J. J., & Ereminienė, E.. (2024). Preoperative Predictors of Recurrent Tricuspid Regurgitation After Annuloplasty: Insights into the Role of 3D Echocardiography. *Diagnostics (Basel, Switzerland), 14(22), 1-15.* <https://doi.org/10.3390/diagnostics14222515> [S1] [M.kr.: M001] [Citav. rodiklis: 3.3, bendr. cit. rod.: 3.037, kvartilis: Q1 (2024. InCites JCR SCIE)]

Recenzuojamuose mokslo leidiniuose, referuojamuose kitose duomenų bazėse

1. Jakuškaitė, G., Vanagaitė, G., **Krivickienė, A.**, & Ereminienė, E.. (2023). Funkcinis triburio vožtuvo nesandarumas. *Sveikatos Mokslai = Health Sciences in Eastern Europe. Vilnius : Sveikatos Mokslai, 2023, T. 33, Nr. 1., 130-133.* <https://doi.org/10.35988/sm-hs.2023.032> [S4] [M.kr.: M001]

Mokslinės konferencijos, kuriose pristatyti mokslinio darbo rezultatai

Iš disertacinio darbo rezultatų paruošta 11 moderuojamų pranešimų ir 2 žodiniai pranešimai, kurie pristatyti tarptautinėse konferencijose:

1. **Krivickienė, A.**, Verikas, D., Norvilaitė, R., & Ereminienė, E.. (2022, kovo 31). Relationship between right ventricular geometry and function parameters and tricuspid annuloplasty efficacy. *European Heart Journal-Cardiovascular Imaging : EuroEcho 2021 Abstract Supplement : 9-11 December 2021 European Association of Cardiovascular*

- Imaging. European Society of Cardiology. Oxford : Oxford University Press, 2022, Vol. 23, Suppl. 1.* <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeab289.238> [T1a1] [M.kr.: M001] [Citav. rodiklis: 6.3, bendr. cit. rod.: 4.6, kvartilis: Q1 (2022. InCites JCR SCIE)]
2. **Krivickienė, A.**, Verikas, D., Norvilaitė, R., & Ereminienė, E.. (2022, kovo 31). Right ventricular longitudinal strain remains unimpaired in severe primary mitral regurgitation and functional tricuspid regurgitation. *European Heart Journal-Cardiovascular Imaging : EuroEcho 2021 Abstract Supplement : 9-11 December 2021 European Association of Cardiovascular Imaging. European Society of Cardiology. Oxford : Oxford University Press, 2022, Vol. 23, Suppl. 1.* <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeab289.218> [T1a1] [M.kr.: M001] [Citav. rodiklis: 6.3, bendr. cit. rod.: 4.6, kvartilis: Q1 (2022. InCites JCR SCIE)]
 3. Verikas, D., **Krivickienė, A.**, Krečkauskienė, R., Gujytė, G., & Ereminienė, E.. (2022, gegužės 21). Different causes of tricuspid valve regurgitation are linked to differences in right-sided heart geometry and function. *European Journal of Heart Failure : Abstracts of the Heart Failure 2022 and the World Congress on Acute Heart Failure : 21-24 May 2022, Madrid, Spain European Society of Cardiology. Chichester : Wiley, 2022, Vol. 24, Suppl. 2.* <https://doi.org/10.1002/ehf.2569> [T1a1] [M.kr.: M001] [Citav. rodiklis: 18.2, bendr. cit. rod.: 5.2, kvartilis: Q1 (2022. InCites JCR SCIE)]
 4. **Krivickienė, A.**, Verikas, D., Krečkauskienė, R., Gujytė, G., Vaškelytė, J. J., & Ereminienė, E.. (2022, rugpjūčio 26). Tricuspid annulus deformation indices predicting severe functional tricuspid regurgitation: 3D echocardiographic study. *European Heart Journal : ESC Congress 2022 : 26-29 August 2022, Barcelona, Spain : Sessions Presentations : ESC 365 European Society of Cardiology. Oxford : Oxford University Press, 2022, Vol. 43, Suppl. 2.* <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehac544.099> [T1a1] [M.kr.: M001] [Citav. rodiklis: 39.3, bendr. cit. rod.: 5.2, kvartilis: Q1 (2022. InCites JCR SCIE)]
 5. **Krivickienė, A.**, Verikas, D., Krečkauskienė, R., Gujytė, G., Vaškelytė, J. J., & Ereminienė, E.. (2022, rugpjūčio 26). Tricuspid valve geometry alterations in different aetiologies of functional regurgitation: 3D echocardiography study. *European Heart Journal : ESC Congress 2022 : 26-29 August 2022, Barcelona, Spain : Sessions Presentations : ESC 365 European Society of Cardiology. Oxford : Oxford University Press, 2022, Vol. 43, Suppl. 2.* <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehac544.098> [T1a1] [M.kr.: M001] [Citav. rodiklis: 39.3, bendr. cit. rod.: 5.2, kvartilis: Q1 (2022. InCites JCR SCIE)]

6. **Krivickienė, A.,** Verikas, D., Krečkauskienė, R., Gujytė, G., & Ereminienė, E.. (2023). Preoperative predictors of recurrent tricuspid regurgitation after annuloplasty: insights into the role of 3D echocardiography. *European Heart Journal : ESC Congress 2023 : 25-28 August 2023, Amsterdam, Netherlands European Society of Cardiology.*, 44(Suppl. 2), 1-2. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehad655.042> [T1a] [M.kr.: M001] [Citav. rodiklis: 37.6, bendr. cit. rod.: 4.051, kvartilis: Q1 (2023. InCites JCR SCIE)]
7. Verikas, D., **Krivickienė, A.,** Krečkauskienė, R., Gujytė, G., & Ereminienė, E.. (2023). Relation of atrial fibrillation with functional tricuspid regurgitation severity and biventricular function in left-sided valvular pathology patients: 3D echocardiography study. *European Journal of Heart Failure : Abstracts of the Heart Failure 2023 and the World Congress on Acute Heart Failure : May 20-23, 2023, Prague, Czech Republic Heart Failure Association (HFA), European Society of Cardiology (ESC).*, 25(S2), 353-354. <https://doi.org/10.1002/ejhf.2927> [T1a] [M.kr.: M001] [Citav. rodiklis: 16.9, bendr. cit. rod.: 4.051, kvartilis: Q1 (2023. InCites JCR SCIE)]
8. Verikas, D., **Krivickienė, A.,** Krečkauskienė, R., Gujytė, G., & Ereminienė, E.. (2023). Tricuspid valve geometry alterations in different severity of functional regurgitation: 3D echocardiography study. *European Journal of Heart Failure : Abstracts of the Heart Failure 2023 and the World Congress on Acute Heart Failure : May 20-23, 2023, Prague, Czech Republic Heart Failure Association (HFA), European Society of Cardiology (ESC).*, 25(S2), 347-347. <https://doi.org/10.1002/ejhf.2927> [T1a] [M.kr.: M001] [Citav. rodiklis: 16.9, bendr. cit. rod.: 4.051, kvartilis: Q1 (2023. InCites JCR SCIE)]
9. Verikas, D., **Krivickienė, A.,** Jakuška, P., Siudikas, A., Vaškelytė, J. J., & Ereminienė, E.. (2024). Predictive factors for recurrent tricuspid regurgitation after tricuspid annuloplasty: 3D echocardiography study. *European Heart Journal : ESC Congress 2024 30 August – 02 September London, UK : Abstract Supplement*, 45(Suppl. 1), 1-1. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehae666.073> [T1a] [M.kr.: M001] [Citav. rodiklis: 35.6, bendr. cit. rod.: 4.104, kvartilis: Q1 (2024. InCites JCR SCIE)]
10. Verikas, D., **Krivickienė, A.,** Jakuška, P., Siudikas, A., Vaškelytė, J. J., & Ereminienė, E.. (2024). Prognostic preoperative factors for recurrence of tricuspid regurgitation following annuloplasty: examining the influence of 3d echocardiography. *European Heart Journal : ESC Congress 2024 30 August – 02 September London, UK : Abstract Supplement*, 45(Suppl. 1), 1-2. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/>

- eurheartj/ehae666.072 [T1a] [M.kr.: M001] [Citav. rodiklis: 35.6, bendr. cit. rod.: 4.104, kvartilis: Q1 (2024. InCites JCR SCIE)]
11. Verikas, D., **Krivickienė, A.**, Krečkauskienė, R., Gujytė, G., & Ereminienė, E.. (2024). Geometry of tricuspid annulus in functional tricuspid regurgitation patients: differences between aetiologies. 3D echocardiography study. *European Journal of Heart Failure : Abstracts of the Heart Failure 2024, 11-14 May 2024, Lisbon, Portugal*, 26(Suppl. 2), 468-468. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ejhf.3326> [T1a] [M.kr.: M001] [Citav. rodiklis: 10.8, bendr. cit. rod.: 4.104, kvartilis: Q1 (2024. InCites JCR SCIE)]
 12. Daniliauskaitė, I., Gujytė, G., **Krivickienė, A.**, & Ereminienė, E.. (2021). Evaluation of Right Heart Geometry and Function in Functional Tricuspid Regurgitation Patients: Correlation Between Echocardiographic and Cardiovascular Magnetic Resonance Data. *17th International and 59th Polish Conference Juvenes Pro Medicina : 14-16 May, 2021, Łódź, Poland : The Book of Abstracts Medical University of Lodz ; Book Editors: Katarzyna Kwas (Editor-in- Chief), Weronika Gromek, Oliwia Kwaśniewska (Typesetting and Editorial). Łódź : Students' Scientific Association of the Medical University of Lodz, 2021. ISBN 9788394762742.*, 46-46. <https://hdl.handle.net/20.500.12512/110891> [T1e] [M.kr.: M001]
 13. Gujytė, G., Daniliauskaitė, I., **Krivickienė, A.**, & Ereminienė, E.. (2021). Relationship Between Right Ventricular Geometry and Function Parameters and Tricuspid Annuloplasty Efficacy. *IHS [International Health Sciences] Conference : Abstract Book [29-30 April] 2021 Students' Scientific Society of Lithuanian University of Health Sciences ; [Edited by Gabrielė Jakuškaitė]. Kaunas : Lithuanian University of Health Sciences, 2021.*, 43-45. <https://hdl.handle.net/20.500.12512/110379>[T1d] [M.kr.: M001]

Article

Different Causes of Functional Tricuspid Valve Regurgitation Are Linked to Differences in Tricuspid Valve and Right-Sided Heart Geometry and Function: 3D Echocardiography Study

Aušra Krivickienė^{1,2,*}, Dovydas Verikas^{1,2}, Rita Krečkauskienė¹, Lina Padervinskienė³,
Deimantė Hoppenot⁴, Skaidrius Miliuskas⁴, Justina Jolanta Vaškelytė^{1,2} and Eglė Ereminienė^{1,2}

- ¹ Department of Cardiology, Medical Academy, Lithuanian University of Health Sciences, LT-44307 Kaunas, Lithuania
 - ² Institute of Cardiology, Lithuanian University of Health Sciences, LT-50162 Kaunas, Lithuania
 - ³ Department of Radiology, Medical Academy, Lithuanian University of Health Sciences, LT-44307 Kaunas, Lithuania
 - ⁴ Department of Pulmonology, Medical Academy, Lithuanian University of Health Sciences, LT-44307 Kaunas, Lithuania
- * Correspondence: ausra.krivickiene@ismuni.lt

Abstract: *Background and Objectives:* The aim of this study was to clarify the tricuspid valve (TV) and right ventricular (RV) geometry and function characteristics using 3D echocardiography-based analysis and to identify echocardiographic predictors for severe tricuspid regurgitation (TR) in different etiologies of functional TR (fTR). *Methods and Results:* The prospective study included 128 patients (median age 64 years, 57% females): 109 patients with moderate or severe fTR (69-caused by dominant left-sided valvular pathology (LSVP), 40 due to precapillary pulmonary hypertension (PH)), and 19 healthy controls. The 2D and 3D-transthoracic echocardiography analysis included TV, right atrium, RV geometry, and functional parameters. All the RV geometry parameters as well as 3D TV parameters were increased in both fTR groups when compared to controls. Higher RV diameters, length, areas, volumes, and more impaired RV function were in PH group compared to LSVP group. PH was associated with larger leaflet tenting height, volume, and more increased indices of septal-lateral and major axis tricuspid annulus (TA) diameters. LVSP etiology was associated with higher anterior-posterior TA diameter and sphericity index. Univariate and multivariate logistic regression and ROC analyses revealed that different fTR etiologies were associated with various 2D and 3D echocardiographic parameters to predict severe TR: major axis TA diameter and TA perimeter, the leaflet tenting volume had the highest predictive value in PH group, septal-lateral systolic TA diameter-in LSVP group. The 3D TA analysis provided more reliable prediction for severe fTR. *Conclusions:* TV and RV geometry vary in different etiologies of functional TR. Precapillary PH is related to more severe RV remodeling and dysfunction and changes of TV geometry, when compared to LSVP group. The 3D echocardiography helps to determine echocardiographic predictors of severe TR in different fTR etiologies.

Keywords: tricuspid valve; tricuspid regurgitation; 3D-echocardiography



Citation: Krivickienė, A.; Verikas, D.; Krečkauskienė, R.; Padervinskienė, L.; Hoppenot, D.; Miliuskas, S.; Vaškelytė, J.J.; Ereminienė, E. Different Causes of Functional Tricuspid Valve Regurgitation Are Linked to Differences in Tricuspid Valve and Right-Sided Heart Geometry and Function: 3D Echocardiography Study. *Medicina* **2023**, *59*, 57. <https://doi.org/10.3390/medicina59010057>

Academic Editor: Camilla Calvieri

Received: 4 October 2022

Revised: 18 December 2022

Accepted: 20 December 2022

Published: 27 December 2022



Copyright: © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

The most common cause of tricuspid regurgitation (TR) is not a primary TV disease (organic TR) but rather impaired valve coaptation (secondary or functional TR) caused by dilatation of the right ventricle (RV) and/or of the tricuspid annulus (TA) due to left-sided heart valve diseases, pulmonary hypertension, congenital heart defects, atrial fibrillation, and cardiomyopathy [1,2].

Functional TR (fTR) and left-sided cardiac or pulmonary diseases have been linked for a long time. Given this, the link between fTR and excessive afterload in pulmonary hypertension is seen as the core fTR mechanism and is the focus of guidelines for valve

diseases [3,4]. However, fTR remains a frustrating and poorly understood condition that is associated with decreased survival, morbidity, and functional capacity [5–7]. With the recognition of the disease's progressive nature and the impact of secondary TR on outcomes in a variety of patient conditions [5–9], there has been an increase in interest in understanding the pathophysiology and mechanisms of fTR and its association with RV remodeling.

Echocardiography is the first-line imaging modality for assessing TV geometry, the presence, severity, and mechanism of TR, as well as its effects on the RV. Traditional 2D echocardiography is unsuitable for studying the anatomy and pathophysiologic mechanisms of the regurgitant TV due to its complex three-dimensional (3D) geometry and anterior position in the mediastinum. The 3D echo has become an integral and essential tool for assessing TV morphology, defining the mechanism of TR, and assessing volumes and function of the right atrium and ventricle [10–13]. There is currently a scarcity of precise 3-dimensional echo-based research into how the various etiologies of fTR affects right-sided heart geometrical and functional deformation.

The aim of this study was to clarify the TV and RV geometry and function characteristics using 3D echocardiography-based analysis and to identify echocardiographic predictors for severe TR in different etiologies of functional TR.

2. Materials and Methods

2.1. Study Population

In the prospective study, which took place from July 2018 to December 2021, 2D and 3D echocardiographic evaluations were done on 128 patients, 109 of whom had functional moderate or severe TR and 19 of whom were healthy controls. fTR patients were divided into two groups according to the different etiologies of fTR: 1. fTR caused by dominant left-sided valvular pathology (LSVP)—69 patients; 2. fTR caused by precapillary pulmonary hypertension (PH) (invasively measured pulmonary capillary wedge pressure < 15 mmHg)—40 pts. Patients with ischemic heart disease (assessed by coronary angiography), chronic pulmonary disease or congenital heart disease were excluded from the study. Additionally, measurements of 3D TV and right heart parameters were obtained from 19 healthy volunteers who have been sent to the echocardiography laboratory as controls. TR or heart failure was ruled out by a physical examination, and echocardiography. No controls had any echocardiographic abnormality including TV or right-sided chambers and thus could be considered as having normal TV geometry.

The study was approved by Kaunas Regional Biomedical Research Ethics Committee, No. BE-2–64, issued on 24 July 2018. All patients provided informed consent.

2.2. Transthoracic Echocardiography

The 2-dimensional and 3-dimensional echocardiography was performed using a GE VingMed VividE95 (GE Vingmed Ultrasound AS, Horten, Norway) imaging system, equipped with a M3S 4.0 MHz transducer, capable of displaying 3D images. An experienced independent echocardiographer blinded to the patient's clinical data performed the echocardiographic studies. Digital loops were stored and analyzed offline (GE Vingmed, Phillips TomTec, Unterschleissheim, Germany). The 3D TV analysis was made using 4D Auto TVQ quantification software package (GE Healthcare, Horten, Norway).

Anatomic and Doppler examinations and measurements were performed according to recent American Society of Echocardiography recommendations and European Association of Cardiovascular Imaging (EACVI) guidelines [2,14]. The 2D and 3D echocardiography was performed and included the following parameters: the left ventricular (LV) and left atrial geometry (diameters and volumes), LV ejection fraction, the RV geometry (RV diameters, areas and volumes), functional (velocity of the tricuspid annular systolic motion (S'), tricuspid annulus plane systolic excursion (TAPSE), RV fractional area change (FAC), RV ejection fraction (RVEF), and strain (RV free wall longitudinal strain (RV FWLS) and RV septal longitudinal strain (RV SLS)), the tricuspid valve 2D (the systolic and diastolic

4-chambers, leaflet tenting height and area), and 3D (the systolic and diastolic 4-chambers (septal–lateral), 2-chambers (anterior–posterior), major and minor axis TA diameters, TA area, perimeter, leaflet tenting height and volume), right atrium (RA) (diameter, length, area and volume) parameters (Figure 1). Parameters have been indexed to body surface area.

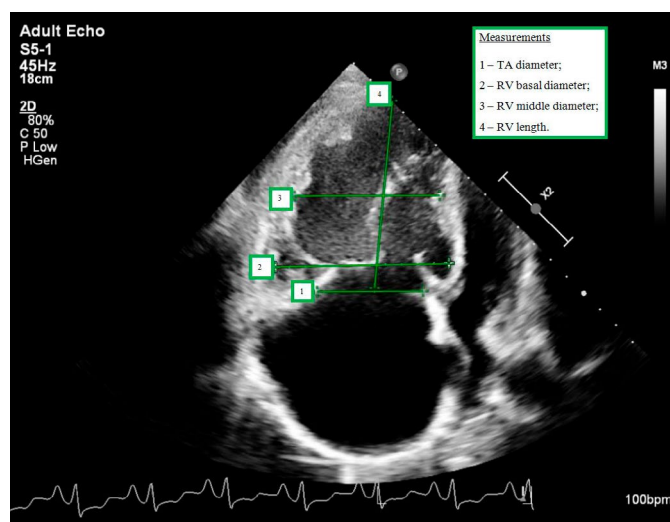


Figure 1. The 2D RV and TV echocardiographic measurements.

Volume datasets were obtained under breath-hold to avoid stitch artifacts using multi-beat full volume model in the four-chamber apical view focused on the RV and using multi-beat 3D zoom mode in the four-chamber apical view focused on the TV. The views were optimized for depth and gain setting before 3D acquisition and close attention was given to including the entire TV or RV in the sector boundaries. A multislice display was used during acquisition to ensure a complete inclusion of the RV in the dataset [15]. The RV and TV multi-beat 3D views dataset was also acquired with the narrowest possible depth under breath-hold to obtain a higher volume rate (higher than 20 volumes per second).

The digitally stored multi-beat full volume dataset in the apical axis four-chamber view was imported into the dedicated software tools (4D RV- Analysis, TomTec Imaging Systems, Unterschleissheim, Germany) to calculate RV end-diastolic and end-systolic volumes and RVEF (Figure 2).

The digitally stored live 3D zoom dataset was imported into the 4D Auto TVQ quantification (GE Healthcare, Horten, Norway) workstation to analyze the TV geometry (Figure 3). Anterior–posterior and septal–lateral diameters of TV as well as major and minor axis diameter, the TV annular area, perimeter, and sphericity index were obtained on a midsystolic and midsystolic frame. The closed leaflets were traced in midsystole on successive equidistant long-axis planes to obtain the leaflet tethering height and 3D tenting volume.

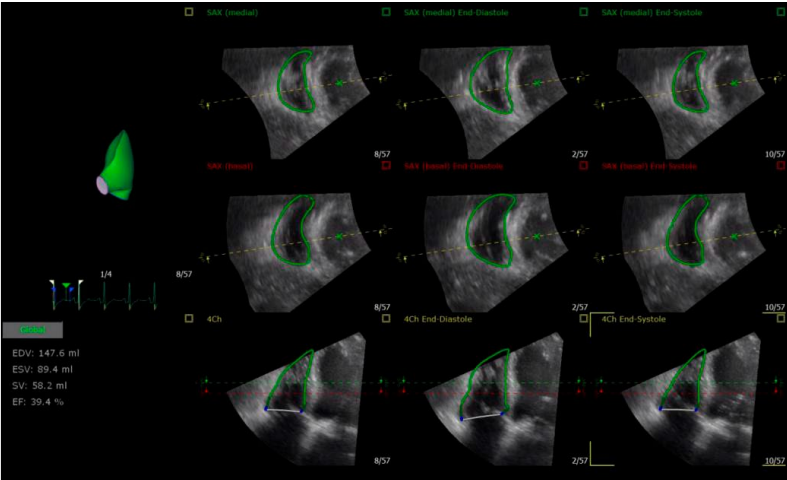


Figure 2. The 3D RV echocardiographic measurements.

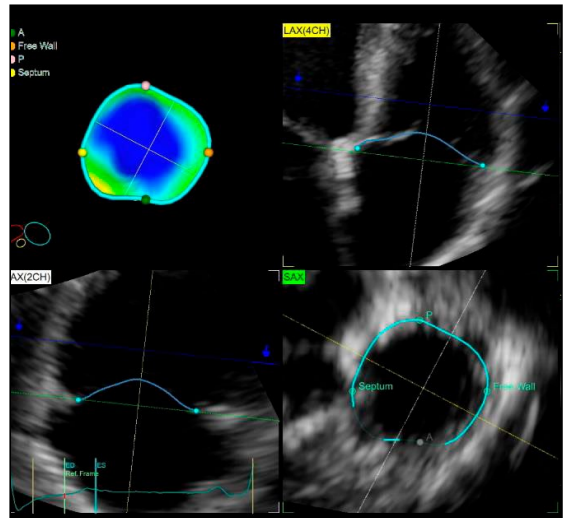


Figure 3. The 3D TV echocardiographic measurements.

Continuous wave Doppler was used to assess maximal tricuspid regurgitation flow velocity (V) to estimate the systolic pressure gradient ($4V^2$) between the RV and RA. Pulmonary artery systolic pressure was calculated by adding an estimated RA pressure. The mean pulmonary artery pressure was calculated using $80 - (PA \text{ acceleration time} / 2)$ formula. The severity of TR was measured quantitatively according to the recent ESC guidelines [4], using TR effective regurgitant orifice area (EROA) (PISA) and biplane TR

vena contracta (VC) (the width of the color jet at its narrowest point) from 2D apical four chamber view.

According to a recently proposed grading scheme for TR, patients with biplane VC 3–6.9 mm and TR EROA 20–39 mm² were considered as moderate and VC $\geq$ 7 mm and EROA $\geq$ 40 mm² were considered as severe TR [4,16,17].

2.3. Statistical Analysis

Continuous variables are expressed as median (interquartile range (IQR)) and were compared by non-parametric Wilcoxon rank-sum tests. Categorical variables are presented as number (percentage). All variables were tested for normality using the Shapiro–Wilk test. Univariable and multivariable logistic regression analyses were performed to identify right heart and TV parameters associated with severe fTR. Variables that demonstrated a significant association with the outcome in the univariate analysis were then included in the multivariable-adjusted analysis to describe how the factors jointly predict severity of TR. Results were expressed as odds ratio (OR), with 95% confidence intervals (95% CI). The optimal model selection involved finding the best compromise between the number of factors to keep and the accuracy of the logistic regression analysis. Receiver-operating characteristic (ROC) analysis was conducted to determine the optimal cut-off value of the 2D and 3D echocardiographic parameters for predicting severe fTR. The accuracy of this cut-off ratio was evaluated using the area under the ROC curve (AUC). Statistical analyses of the data were performed using SPSS version 27 (IBM, Armonk, NY, USA). *p*-values of <0.05 were considered statistically significant.

3. Results

3.1. Study Population

Clinical characteristics of the study population are detailed in Table 1. Patients in the PH group were younger and predominantly female. The body mass index did not vary between any of the three groups.

Table 1. Clinical and 2D echocardiographic characteristics of study population.

	LVSP	PH	Controls	<i>p</i> -Value for LSVP vs. PH	<i>p</i> -Value for LSVP vs. Controls	<i>p</i> -Value for PH vs. Controls
Clinical characteristics						
Age, years	68 (8.55)	58 (14.86)	62 (12.05)	0.001	0.029	0.629
Sex, females %	46.4	72.5	52.6	0.026	0.165	0.029
Body mass index, kg/m ²	27.9 (5.06)	26.9 (6.14)	27.4 (4.51)	0.374	0.675	0.782
PA pressures						
Max. systolic PAP, mmHg	53.44 (23.25)	73.16 (38.48)	24.16 (5.4)	<0.001	<0.001	<0.001
Mean PAP, mmHg	38 (11.75)	42 (7.5)	14 (9)	0.001	<0.001	<0.001
RA parameters						
RA diameter, mm	50 (9)	56.5 (15.75)	38 (5)	0.004	<0.001	<0.001
RA area, cm ²	27.8 (10.18)	30.89 (13.17)	17.3 (5.4)	0.484	<0.001	<0.001
RA volume, mL	97.7 (59.26)	130 (70.75)	47.77 (21)	0.286	<0.001	<0.001
RV parameters						
RV parasternal diastolic diameter, mm	36 (7.5)	40 (8.5)	31 (6.5)	0.019	0.003	<0.001

Table 1. Cont.

	LVSP	PH	Controls	<i>p</i> -Value for LVSP vs. PH	<i>p</i> -Value for LVSP vs. Controls	<i>p</i> -Value for PH vs. Controls
RV basal diameter, mm	45 (7)	52 (11.75)	34 (5)	0.001	<0.001	<0.001
RV middle diameter, mm	36 (9.25)	47 (12.5)	28.5 (3.25)	<0.001	0.001	<0.001
RV length, mm	63 (17.5)	71 (8.72)	66 (11.5)	<0.001	0.504	0.043
RV sphericity index, %	0.57 (0.17)	0.66 (0.19)	0.44 (0.06)	<0.001	<0.001	<0.001
RV end-diastolic area, cm ²	22 (10.44)	31.14 (15.57)	17.6 (4.98)	<0.001	0.028	<0.001
RV end-systolic area, cm ²	14 (7.12)	23.1 (14.1)	10 (3.4)	<0.001	0.002	<0.001
FAC, %	0.32 (0.1)	0.25 (0.1)	0.43 (0.08)	<0.001	<0.001	<0.001
TAPSE, mm	17.5 (5.5)	16 (5.25)	24 (7)	0.054	<0.001	<0.001
RV S', cm/s	10 (5)	9 (2.75)	12 (4.5)	0.039	0.007	<0.001
RV septal wall strain, %	−10.7 (4.75)	−11 (3.9)	−21.1 (3.9)	0.909	<0.001	<0.001
RV lateral wall strain, %	−20.15 (6.3)	−16.6 (6.3)	−25.8 (3.2)	0.028	<0.001	<0.001
TV parameters						
TA diastolic diameter, mm	43 (5)	43 (5.5)	32 (6.25)	0.604	<0.001	<0.001
TA diastolic diameter index, mm/m ²	21.86 (3.4)	23.22 (5.53)	17.09 (2.95)	0.061	<0.001	<0.001
TA systolic diameter, mm	39 (5.5)	40 (4.75)	29 (6.13)	0.73	<0.001	<0.001
TA systolic diameter index, mm/m ²	20 (2.54)	21.25 (5.27)	15.62 (2.42)	0.102	<0.001	<0.001
TV leaflet tethering height, mm	5.5 (2.3)	7.8 (3.7)	3.3 (2)	<0.001	<0.001	<0.001
TV tenting area (cm ²)	1.25 (0.7)	1.79 (1.04)	0.68 (0.32)	<0.001	<0.001	<0.001
TV EROA, mm ²	28.94 (20.97)	29.96 (23.76)		0.464		

EF—ejection fraction, RV—right ventricle, FAC—fractional area change, TAPSE—tricuspid annular plane systolic excursion, RV S'—tricuspid lateral annular systolic velocity, RA—right atrium, PA—pulmonary artery, TA—tricuspid annulus, TV—tricuspid valve, EROA—effective regurgitant orifice area, LVSP—left-sided valvular pathology, PH—pulmonary hypertension.

3.2. Comparison and Difference in 3D TV Geometry and Right Heart Remodelling between Controls and fTR

Tables 1 and 2 display the echocardiographic characteristics of patients from various fTR etiologies. The severity of TR did not differ between both fTR groups. All the RV geometry parameters as well as 3D TV parameters were increased in fTR groups when compared to controls. Larger RV end-diastolic volume and area were found in the LVSP group when compared to normal controls ($p < 0.001$; $p < 0.001$, respectively). LVSP patients experienced a 104% increase in RA volume ($p < 0.001$).

Table 2. The 3D echocardiographic characteristics of study population.

	LVSP	PH	Controls	<i>p</i> -Value for LSVP vs. PH	<i>p</i> -Value for LSVP vs. Controls	<i>p</i> -Value for PH vs. Controls
RV parameters						
RV end-diastolic volume, mL	147.05 (103.08)	182.75 (105.03)	85.5 (86.75)	0.007	0.003	<0.001
RV end-systolic volume, mL	86.65 (65.23)	129.5 (76.68)	44.9 (46.9)	0.003	<0.001	<0.001
RV EF, %	40.5 (6.73)	30.85 (10.48)	49.8 (5.85)	0.001	<0.001	<0.001
TV parameters						
TA area, cm ²	14.3 (4.4)	13.2 (3.4)	8.1 (0.93)	0.649	<0.001	<0.001
TA area index (cm ² /m ²)	7.13 (2.25)	6.88 (2.17)	4.45 (0.97)	0.713	<0.001	<0.001
TA perimeter, mm	130 (23)	133 (17)	102 (7.5)	0.979	<0.001	<0.001
TA perimeter index (cm/m ²)	66.4 (15.8)	71.1 (19.3)	55 (9.8)	0.065	0.004	<0.001
Septal-Lateral Systolic TA Diameter, mm	42 (5)	44 (7)	33.5 (4.5)	0.37	<0.001	<0.001
Septal-Lateral Systolic TA Diameter Index, cm/m ²	21.5 (3.1)	23.6 (7.1)	18.1 (2.7)	0.021	0.003	<0.001
Septal-Lateral Diastolic TA Diameter, mm	45 (5)	46 (7)	36.5 (5.8)	0.329	<0.001	<0.001
Septal-Lateral Diastolic TA Diameter Index, mm/m ²	22.9 (4)	25.1 (4.9)	19.1 (1.8)	0.023	0.006	<0.001
Anterior-Posterior TA Diameter, mm	40 (8)	35 (7)	28 (4.5)	0.037	<0.001	<0.001
Anterior-Posterior TA Diameter Index, mm/m ²	20.3 (4.7)	18.8 (5.5)	15.6 (4.5)	0.411	<0.001	0.003
Major Axis Systolic TA Diameter, mm	46 (5)	46 (6)	36 (2.8)	0.791	<0.001	<0.001
Major Axis Systolic TA Diameter Index, mm/m ²	23.2 (4.7)	25 (5.2)	20.1 (1.9)	0.074	0.003	<0.001
Major Axis Diastolic TA Diameter, mm	48 (6.5)	48 (8)	39.5 (5)	0.777	<0.001	<0.001
Major Axis Diastolic TA Diameter Index, mm/m ²	23.9 (4.4)	26.2 (5.2)	20.3 (2.8)	0.044	0.006	<0.001
Minor Axis Diastolic TA Diameter, mm	39 (8)	36 (6)	27 (3.5)	0.222	<0.001	<0.001
Minor Axis Diastolic TA Diameter Index, mm/m ²	19.8 (4.4)	19.7 (5.9)	15.2 (3.7)	0.908	<0.001	<0.001
TV Leaflet Coaptation point Height, mm	9 (5.5)	13 (3)	6.5 (2)	<0.001	0.012	<0.001

Table 2. Cont.

	LVSP	PH	Controls	p-Value for LVSP vs. PH	p-Value for LVSP vs. Controls	p-Value for PH vs. Controls
TV Leaflet Tenting Volume, mL	3.9 (2)	5 (2.9)	1.55 (0.25)	0.025	<0.001	<0.001
TV Sphericity Index, %	83.67 (11.33)	80 (14.04)	73.61 (12.4)	0.04	0.002	0.13

RV—right ventricle, EF—ejection fraction, TV—tricuspid valve, TA—tricuspid annulus, LVSP—left-sided valvular pathology, PH—pulmonary hypertension.

In comparison to normal controls, PH patients showed a 63% increase in the TV annular area in midsystole, a 31% increase in septal-lateral, 28% in major TA diameter, and a 222% increase in tenting volume (all $p < 0.01$; Table 2).

3.3. Comparison of Left and Right Heart Remodelling and 3D TV Geometry between Different Etiology fTR Groups

The LV ejection fraction did not differ between the fTR groups LVSP and PH groups (52 vs. 51%; respectively, $p = 0.928$), despite the fact that the diameters and volumes of the LV and the left atrium were substantially enlarged in the LVSP group compared with PH (LV end-diastolic diameter index: 27.9 vs. 22.8 mm/m²; respectively, $p < 0.001$; LA volume index: 58.8 vs. 27.0 mL/m²; respectively, $p < 0.001$).

Even though the RA area (RAA) and TR severity, measured quantitatively, did not differ between the fTR groups ($p = 0.484$ for RAA and $p = 0.464$ for TR EROA), the differences of TV and RV geometry and functional parameters were found.

3.4. Comparison of RV Geometry and Function between Different Etiology fTR Groups

PH was associated with larger RV basal and middle diameters, and larger RV end-diastolic and end-systolic area and volume, compared to LVSP group. More impaired RV functional parameters (S', FAC, RVEF and RV lateral wall strain) and higher systolic and mean pulmonary artery pressures were also found in precapillary PH group (Tables 1 and 2).

3.5. Comparison of TV Geometry between Different Etiology fTR Groups

Although the 2D measured TA systolic and diastolic diameters did not differ between fTR groups, the 3D-echo TA analysis revealed additional and more precise information. Precapillary PH was associated with more increased indices of TA systolic and diastolic septal-lateral and major axis diastolic diameters. Meanwhile, LVSP etiology was associated with larger anterior-posterior diameter and higher TA sphericity index compared to PH group. Larger leaflet tethering, tenting area, and volume were found in PH group.

3.6. Relation of 3D TV and RV Geometry and Severity of fTR

To assess the impact of TR severity on the TV geometry and right heart remodeling, regression analysis was performed. Analysis included 34 pts (31.5%) with severe fTR and 74 pts (68.5%) with moderate fTR. To define which parameters had highest predictive value in all cohort, ROC analysis was performed (Supplement Table S1). Parameters with AUC > 0.7 were included in further analysis. Univariable and multivariable analyses are shown in Table 3. Both area and length parameters of TV were shown to have predictive values for identification of fTR severity. The changes of 3D echocardiographic TA diameters had better prediction of fTR severity than 2D echo measured TA diameters (3D septal-lateral systolic diameter OR 1.507 vs. 2D 4-chambers systolic diameter OR 1.255 (Table 3)). However, only 3D measured septal-lateral systolic diameter and TA perimeter were independent predictors of TR severity when analysis was performed together with right heart parameters.

Table 3. Relation of RV and TV geometry parameters with severe fTR.

	Univariate			Multivariate		
	OR	95% CI	p-Value	OR	95% CI	p-Value
3D echo-derived TV parameters						
TA area, cm ²	1.434	1.163–1.769	<0.001			
TA perimeter, mm	1.058	1.021–1.096	0.002	0.421	0.221–0.975	0.042
Septal-Lateral Systolic TA Diameter, mm	1.507	1.233–1.842	<0.001	1.651	1.042–2.385	0.028
Septal-Lateral Diastolic TA Diameter, mm	1.431	1.193–1.718	<0.001			
Major Axis Systolic TA Diameter, mm	1.386	1.176–1.632	<0.001			
Major Axis Diastolic TA Diameter, mm	1.363	1.165–1.594	<0.001			
TV Leaflet Tenting Volume, mL	1.580	1.177–2.120	0.002			
2D echo-derived TV parameter						
4-Chambers Systolic Diameter, mm	1.255	1.106–1.424	<0.001			
RV parameters						
2D RV basal diameter, mm	1.149	1.073–1.230	<0.001	1.198	1.021–1.409	0.029
2D RV middle diameter, mm	1.083	1.036–1.133	<0.001			
RV end-diastolic area, cm ²	1.096	1.042–1.152	<0.001			
RV end-systolic area, cm ²	1.112	1.050–1.178	<0.001			
RV EF, %	0.911	0.855–0.971	0.004			

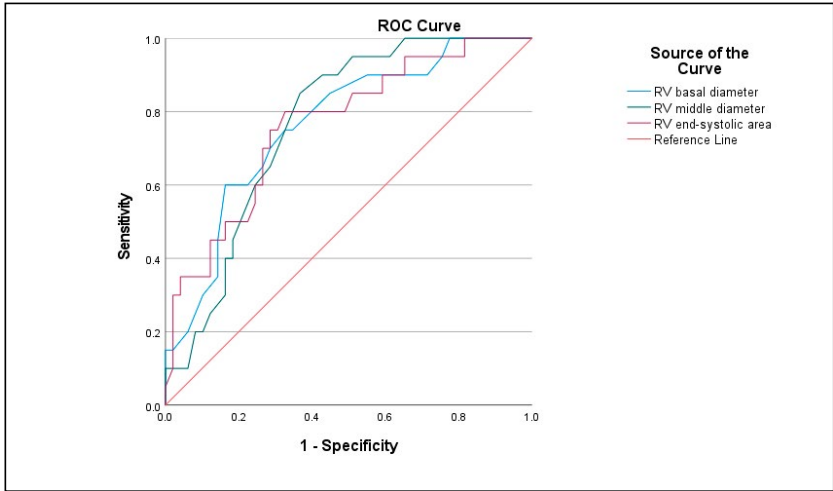
TA—tricuspid annulus, TV—tricuspid valve, RV—right ventricle, EF—ejection fraction.

3.7. Prediction of Severe fTR in Different fTR Etiologies

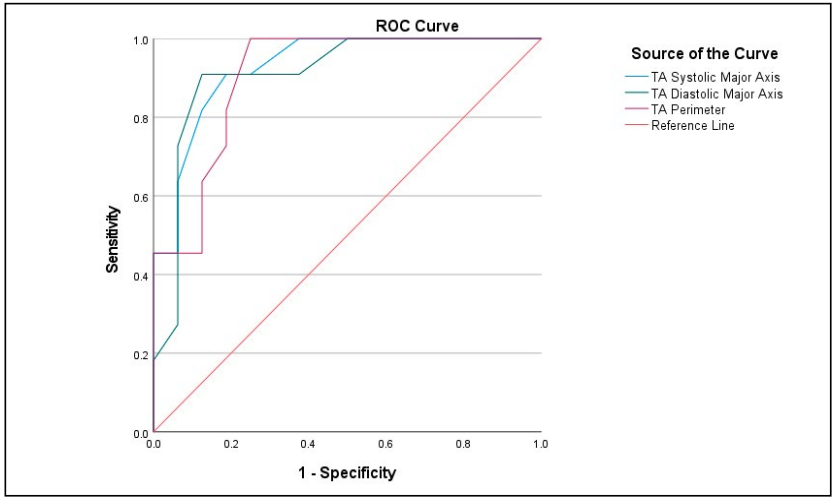
ROC analysis of selected echocardiographic parameters with highest predictive value in different etiology is presented in Supplement Table S2 and Figure 4. Distribution of severe fTR did not differ between the groups (29% in LSVP vs. 35% in PH, $p > 0.05$). RV parameters analysis demonstrated that RV middle diameter (AUC 0.790) and RVEF (AUC 0.786) had the best predictive value for severe fTR in PH group, while, of all TV parameters, systolic (AUC 0.929) and diastolic (AUC 0.912) major axis, and annulus perimeter (AUC 0.906) had the highest predictive value in this group of pts. The 3D TA analysis provided more reliable prediction for defining PH pts with severe fTR than 2D echocardiography (sensitivity 82–91% for 3D vs. 64–71% for 2D). The leaflet tenting volume had the predictive value for severe fTR in PH, but not in LSVP group.

Remarkably, of 2D parameters, RV middle (AUC 0.768) and basal (AUC 0.765) diameter, together with RV end-systolic area (AUC 0.764) were related to severe fTR in LSVP group. Meanwhile, RVEF lost the significance in predicting severe fTR in this group of pts. ROC analysis revealed that 3D echocardiography derived TV parameters still had predictive value for severe fTR in LSVP group, with the highest predictive value (AUC 0.761) for septal-lateral systolic TA diameter.

Those parameters which showed higher sensitivity and specificity were included in univariate logistic regression (Table 4). In the PH group, diameter (septal-lateral, anterior-posterior, major and minor axis diameters) and area (TA area and perimeter) parameters as well as tenting volume were predictors for severe fTR. In LSVP group area parameters and leaflet tenting volume lost their predictive significance.



A. LSPV group



B. PH group

Figure 4. ROC analysis for prediction of severe fTR.

Table 4. Relation of 3D TV geometry and severity of fTR in different TR etiologies.

	LSVP			PH		
	OR	95% CI	p-Value	OR	95% CI	p-Value
TA area, cm ²	1.282	1.001–1.641	0.05	2.198	1.138–4.244	0.02
TA perimeter, mm	1.032	0.995–1.070	0.09	1.242	1.033–1.495	0.02
Septal-Lateral Systolic TA Diameter, mm	1.430	1.123–1.820	<0.001	1.717	1.149–2.566	0.01
Septal-Lateral Diastolic TA Diameter, mm	1.394	1.108–1.754	<0.001	1.498	1.089–2.062	0.01
Anterior-Posterior TA Diameter, mm	1.147	0.999–1.316	0.051	1.246	1.022–1.518	0.03
Major Axis Systolic TA Diameter, mm	1.268	1.066–1.508	0.01	1.934	1.149–3.256	0.01
Major Axis Diastolic TA Diameter, mm	1.253	1.059–1.484	0.01	1.716	1.154–2.550	0.01
Minor Axis Diastolic TA Diameter, mm	1.118	0.976–1.281	0.11	1.228	1.009–1.493	0.04
TV Leaflet Tenting Volume, mL	1.398	0.995–1.965	0.53	2.149	1.143–4.040	0.02

TA—tricuspid annulus, TV—tricuspid valve, LSVP—left-sided valvular pathology, PH—pulmonary hypertension.

4. Discussion

In this prospective study, we analyzed the echocardiographic data of 109 individuals who suffered from fTR due to a variety of different causes (secondary to advanced LSVP and pre-capillary PH). The primary insights gained from our investigation can be summed up as follows: (i) RV diameters, length, areas, and volumes were significantly higher in the pre-capillary PH group compared to LSVP group; (ii) as for 3D TV parameters, PH was associated with larger leaflet tenting height, volume, and more increased indices of septal–lateral and major axis TA diameters; on the contrary, LVSP etiology was associated with higher anterior–posterior TA diameter and sphericity index; and (iii) various etiologies of fTR were associated with different 2D and 3D echocardiographic parameters to predict severe TR.

When left-sided cardiac disease is present, functional TR can develop as a consequence of a raised left atrial pressure that ultimately results in PH. Elevated RV afterload results in a decrease in RV systolic function and associated RV dilation. Significant geometric abnormalities must exist for fTR to occur, but two significant alterations to the normal geometry must be identified: TA dilatation and leaflet tethering [18]. TA dilation has traditionally been described as secondary to RV dilation and dysfunction due to pressure overload, which, in turn, distorts the normal geometry and spatial relationships of leaflets, papillary muscles, and chordae resulting in fTR, which further exacerbates RV and TA remodeling, constituting a vicious circle [19,20].

RV lengthening and eccentricity cause leaflet tethering and tenting with little annular enlargement in patients with fTR and PH [6]. RV dilation, as demonstrated by Spinner et al., results in the displacement of lateral and apical papillary muscles as well as the tethering of leaflets [21]. Using serial echocardiography, it was shown that in PAH, TR progression is associated with both TA dilatation and leaflet tethering, which together contribute to increased tenting area and TV orifice area, which exceeded TV coverage and decreased coaptation area, leading to worsening TR.

Until now, most research has been focused on the differences of right heart geometry between atrial functional (AF-TR) and ventricular functional TR (VF-TR) [1,22–24]. Topilsky et al. analyzed a total of 281 cases with isolated TR (AF-TR) and pulmonary hypertension-related fTR (VF-TR) and reported characteristic TV geometry and RV remodeling [6]. In the former, excess annular and RV-basal enlargement and RV conical deformation did not cause notable valvular tenting, and conversely, in the latter, leaflet tethering with tenting linked to RV elongation and elliptical/spherical deformation correlated with TR severity. Although the different TV geometry characteristic of VF-TR and AF-TR has already been described, the exact pathophysiological mechanism involved in VF-TR due to left valve pathology and VF-TR due to PH remains to be elucidated.

Different fTR etiologies, such as permanent atrial fibrillation, left heart disease (LHD), PH, and corrected tetralogy of Fallot, were found to be associated with varying degrees of TA dilation, leaflet tenting, and right chambers remodeling, according to the findings of Muraru and colleagues [25]. The authors demonstrated that TA was dilated in all fTR patient groups. LHD and particularly PH patients had marked dilation of both RV and RA chambers, as most patients had moderate/severe fTR. Moreover, increased tenting volume was associated with significant RV dilation (PH and LHD). However, the focus of this study was to compare the differences between AF-TR and VF-TR, but not the different etiologies of VF-TR. To date, no study has investigated which right heart geometry and function changes are specific in different etiologies of VF-TR, and which right heart parameters are associated with severe fTR in different etiologies of VF-TR.

Our study analyzed the differences of RV and TV between various etiologies of VF-TR (due to advanced LSVP and pre-capillary PH). Results revealed that not only greater RV dilatation and larger leaflet tethering, but also more impaired RV functional parameters were present in the pre-capillary PH group compared to the LSVP group. Additionally, although TR severity and 2D measured TA diameters did not differ between LSVP and PH groups in our study, 3D echo analysis allowed us to detect subtle TA geometry changes.

By 3D analysis of the RV and TV geometry using dedicated software, Song et al. showed that the septal–lateral annulus diameter, septal–lateral RV basal diameter, as well as the tenting angles of the septal and anterior leaflets were independent determinants of the severity of TR [18,26]. Nevertheless, our study showed that not only basal RV and septal–lateral TA diameter, but also anterior–posterior TA diameter were independent predictors of TR severity. Additionally, the subgroup analysis of different fTR etiology revealed that TA diameter and area parameters as well as tenting volume were determinants of severe TR in PH group, whereas, in LSVP group, area parameters lost the significance.

When quantifying the right-chambers sizes by 2D echocardiography, significant underestimation may occur due to foreshortening or geometrical assumptions. The 3D echocardiography has revolutionized the non-invasive imaging of the TV apparatus, conferring new insights and better understanding of the pathophysiology of fTR [27]. Our study also demonstrated that 2D echo-derived TA 4-chamber diastolic diameter had a lower predictive value with worse sensitivity and specificity, compared to all 3D TA parameters. The 3D TA analysis provides 82–91% sensitivity for defining severe TR in PH group.

Our study was the first to investigate the predictors of severe TR in different etiologies of fTR. The subgroup analysis demonstrated that different TV parameters (major axis TA diameter and annulus perimeter for PH and septal–lateral TA diameter for LSVP group) had the highest predictive value for severe TR. Among RV parameters, RV middle and basal diameter, and RV end-systolic area were associated with the severe TR in both VF-TR groups.

5. Study Limitations

A limitation of our study is that invasive hemodynamic study was not performed in LSVP patients and the pulmonary artery pressures were measured non-invasively in this group of patients. In the precapillary PH group, all patients underwent an invasive hemodynamic study with invasive measurements of mean PAP, systolic PAP, Wedge pressure, and pulmonary vascular resistance.

6. Conclusions

The implementation of 3D echocardiography is useful in the determination of RV and TV geometry changes and might provide valuable insights in the functional TR evaluation. Precapillary PH is related to more severe RV dilatation, dysfunction, and remodeling of TV geometry (larger leaflet tenting volume, more increased indices of septal–lateral and major axis TA diameters, smaller anterior–posterior TA diameter and sphericity index), when compared to the LSVP group. The 2D and 3D echocardiographic parameters help to predict severe TR in different fTR etiologies: major axis TA diameter and annulus perimeter and the

leaflet tenting volume have the highest predictive value in PH group, while septal–lateral systolic TA diameter has the highest predictive value in LSPV group of pts.

Supplementary Materials: The following supporting information can be downloaded at: <https://www.mdpi.com/article/10.3390/medicina59010057/s1>, Table S1: ROC analysis of severe FTR for all cohort; Table S2: Prediction of severe FTR for patients with different aetiologies.

Author Contributions: Conceptualization, A.K. and E.E.; methodology, A.K. and E.E.; software, A.K., D.V. and E.E.; validation, A.K. and E.E.; formal analysis, A.K., D.V., J.J.V. and E.E.; investigation, A.K., R.K. and D.V.; resources, A.K.; data curation, A.K.; writing—original draft preparation, A.K. and D.V.; writing—review and editing, L.P., D.H., S.M., J.J.V. and E.E.; visualization, D.V.; supervision, E.E.; project administration, A.K.; funding acquisition, A.K. and E.E. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: The study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki, and approved by Kaunas Regional Biomedical Research Ethics Committee (protocol code No. BE-2-64, issued on 24 July 2018).

Informed Consent Statement: Informed consent was obtained from all subjects involved in the study.

Data Availability Statement: The data presented in this study are available on request from the corresponding author. The data are not publicly available due to privacy reasons.

Acknowledgments: We thank all those who helped with the research and the anonymous reviewers.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Muraru, D.; Guta, A.-C.; Ochoa-Jimenez, R.C.; Bartos, D.; Aruta, P.; Mihaila, S.; Popescu, B.A.; Iliceto, S.; Basso, C.; Badano, L.P. Functional Regurgitation of Atrioventricular Valves and Atrial Fibrillation: An Elusive Pathophysiological Link Deserving Further Attention. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* **2020**, *33*, 42–53. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
2. Lancellotti, P.; Moura, L.; Pierard, L.A.; Agricola, E.; Popescu, B.A.; Tribouilloy, C.; Hagendorff, A.; Monin, J.-L.; Badano, L.; Zamorano, J.L.; et al. European Association of Echocardiography recommendations for the assessment of valvular regurgitation. Part 2: Mitral and tricuspid regurgitation (native valve disease). *Eur. J. Echocardiogr.* **2010**, *11*, 307–332. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
3. Galiè, N.; Humbert, M.; Vachiery, J.; Gibbs, S.; Lang, I.; Torbicki, A.; Simmonneau, G.; Peacock, A.; Vonk Noordegraaf, A.; Beghetti, M.; et al. 2015 ESC/ERS Guidelines for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension: The Joint Task Force for the Diagnosis and Treatment of Pulmonary Hypertension of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Respiratory Society (ERS): Endorsed by: Association for European Paediatric and Congenital Cardiology (AEPC), International Society for Heart and Lung Transplantation (ISHLT). *Eur. Heart J.* **2016**, *37*, 67–119. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
4. Vahanian, A.; Beyersdorf, F.; Praz, F.; Milojevic, M.; Baldus, S.; Bauersachs, J.; Capodanno, D.; Conradi, L.; De Bonis, M.; De Paulis, R.; et al. 2021 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease. *Eur. Heart J.* **2022**, *43*, 561–632, Erratum in *Eur. Heart J.* **2022**, *43*, 2022. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
5. Nath, J.; Foster, E.; Heidenreich, P.A. Impact of tricuspid regurgitation on long-term survival. *J. Am. Coll. Cardiol.* **2004**, *43*, 405–409. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
6. Topilsky, Y.; Khanna, A.; Le Tourneau, T.; Park, S.; Michelena, H.; Suri, R.; Mahoney, D.W.; Enriquez-Sarano, M. Clinical context, and mechanism of functional tricuspid regurgitation in patients with and without pulmonary hypertension. *Circ. Cardiovasc. Imaging* **2012**, *5*, 314–323. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
7. Shiran, A.; Sagie, A. Tricuspid regurgitation in mitral valve disease incidence, prognostic implications, mechanism, and management. *J. Am. Coll. Cardiol.* **2009**, *53*, 401–408. [\[CrossRef\]](#)
8. Tornos Mas, P.T.; Rodríguez-Palmares, J.F.; Antunes, M.J. Secondary tricuspid valve regurgitation: A forgotten entity. *Heart* **2015**, *101*, 1840–1848. [\[CrossRef\]](#)
9. Neuhold, S.; Huelsmann, M.; Pernicka, E.; Graf, A.; Bonderman, D.; Adlbrecht, C.; Binder, T.; Maurer, G.; Pacher, R.; Mascherbauer, J. Impact of tricuspid regurgitation on survival in patients with chronic heart failure: Unexpected findings of a long-term observational study. *Eur. Heart J.* **2013**, *34*, 844–852. [\[CrossRef\]](#)
10. Badano, L.P.; Agricola, E.; De Isla, L.P.; Gianfagna, P.; Zamorano, J.L. Evaluation of the tricuspid valve morphology and function by transthoracic real-time three-dimensional echocardiography. *Eur. J. Echocardiogr.* **2009**, *10*, 477–484. [\[CrossRef\]](#)
11. Addetia, K.; Yamat, M.; Mediratta, A.; Medvedofsky, D.; Patel, M.; Ferrara, P.; Mor-Avi, V.; Lang, R.M. Comprehensive Two-Dimensional Interrogation of the Tricuspid Valve Using Knowledge Derived from Three-Dimensional Echocardiography. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* **2016**, *29*, 74–82. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)

12. Muraru, D.; Badano, L.P.; Sarais, C.; Soldà, E.; Iliceto, S. Evaluation of tricuspid valve morphology and function by transthoracic three-dimensional echocardiography. *Curr. Cardiol. Rep.* **2011**, *13*, 242–249. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
13. Muraru, D.; Hahn, R.T.; Soliman, O.I.; Faletta, F.F.; Basso, C.; Badano, L.P. 3-Dimensional Echocardiography in Imaging the Tricuspid Valve. *JACC Cardiovasc. Imaging* **2019**, *12*, 500–515. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
14. Lang, R.M.; Badano, L.P.; Mor-Avi, V.; Afalalo, J.; Armstrong, A.; Ernande, L.; Flachskampf, F.A.; Foster, E.; Goldstein, S.A.; Kuznetsova, T.; et al. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: An update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging* **2015**, *16*, 233–271; Erratum in *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging* **2016**, *17*, 412; Erratum in *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging* **2016**, *17*, 969. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
15. Maffessanti, F.; Muraru, D.; Esposito, R.; Gripari, P.; Ermacor, D.; Santoro, C.; Tamborini, G.; Galderisi, M.; Pepi, M.; Badano, L.P. Age-, body size-, and sex-specific reference values for right ventricular volumes and ejection fraction by three-dimensional echocardiography: A multicenter echocardiographic study in 507 healthy volunteers. *Circ. Cardiovasc. Imaging* **2013**, *6*, 700–710. [\[CrossRef\]](#)
16. Hahn, R.T.; Zamorano, J.L. The need for a new tricuspid regurgitation grading scheme. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging* **2017**, *18*, 1342–1343. [\[CrossRef\]](#)
17. Hahn, R.T.; Thomas, J.D.; Khalique, O.K.; Cavalcante, J.L.; Praz, F.; Zoghbi, W.A. Imaging Assessment of Tricuspid Regurgitation Severity. *JACC Cardiovasc. Imaging* **2019**, *12*, 469–490. [\[CrossRef\]](#)
18. Song, J.-M.; Jang, M.-K.; Kim, Y.-J.; Kim, D.-H.; Kang, D.-H.; Song, J.-K. Right ventricular remodeling determines tricuspid valve geometry and the severity of functional tricuspid regurgitation: A real-time 3-dimensional echocardiography study. *Korean Circ. J.* **2010**, *40*, 448–453. [\[CrossRef\]](#)
19. Baumgartner, H.; Falk, V.; Bax, J.J.; De Bonis, M.; Hamm, C.; Holm, P.J.; Iung, B.; Lancellotti, P.; Lansac, E.; Rodriguez Muñoz, D.; et al. 2017 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease. *Eur. Heart J.* **2017**, *38*, 2739–2791. [\[CrossRef\]](#)
20. Badano, L.P.; Muraru, D.; Enriquez-Sarano, M. Assessment of functional tricuspid regurgitation. *Eur. Heart J.* **2013**, *34*, 1875–1885. [\[CrossRef\]](#)
21. Spinner, E.M.; Lerakis, S.; Higginson, J.; Pernetz, M.; Howell, S.; Veledar, E.; Yoganathan, A.P. Correlates of tricuspid regurgitation as determined by 3D echocardiography: Pulmonary arterial pressure, ventricle geometry, annular dilatation, and papillary muscle displacement. *Circ. Cardiovasc. Imaging* **2012**, *5*, 43–50, Erratum in *Circ. Cardiovasc. Imaging* **2012**, *5*, e54. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
22. Utsunomiya, H.; Itabashi, Y.; Mihara, H.; Berdejo, J.; Kobayashi, S.; Siegel, R.J.; Shiota, T. Functional Tricuspid Regurgitation Caused by Chronic Atrial Fibrillation: A Real-Time 3-Dimensional Transesophageal Echocardiography Study. *Circ. Cardiovasc. Imaging* **2017**, *10*, e004897. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
23. Utsunomiya, H.; Harada, Y.; Susawa, H.; Ueda, Y.; Izumi, K.; Itakura, K.; Hidaka, T.; Shiota, T.; Nakano, Y.; Kihara, Y. Tricuspid valve geometry and right heart remodelling: Insights into the mechanism of atrial functional tricuspid regurgitation. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging* **2020**, *21*, 1068–1078. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
24. Florescu, D.-R.; Figliozzi, S.; Guta, A.; Vicini, S.; Tomaselli, M.; Târtea, G.C.; Istrătoae, O.; Parati, G.; Badano, L.; Muraru, D. Atrial functional tricuspid regurgitation: A novel and underappreciated clinical entity. *Rom. J. Cardiol.* **2021**, *31*, 27–35. [\[CrossRef\]](#)
25. Muraru, D.; Addetia, K.; Guta, A.C.; Ochoa-Jimenez, R.C.; Genovese, D.; Veronesi, F.; Basso, C.; Iliceto, S.; Badano, L.P.; Lang, R.M. Right atrial volume is a major determinant of tricuspid annulus area in functional tricuspid regurgitation: A three-dimensional echocardiographic study. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging* **2021**, *22*, 660–669, Erratum in *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging* **2021**, *22*, 669. [\[CrossRef\]](#)
26. Hai, T.; Amador, Y.; Mahmood, F.; Jeganathan, J.; Khamooshian, A.; Knio, Z.O.; Matyal, R.; Nicoara, A.; Liu, D.C.; Senthilnathan, V.; et al. Changes in Tricuspid Annular Geometry in Patients with Functional Tricuspid Regurgitation. *J. Cardiothorac. Vasc. Anesthesia* **2017**, *31*, 2106–2114. [\[CrossRef\]](#)
27. Caravita, S.; Figliozzi, S.; Florescu, D.-R.; Volpato, V.; Oliverio, G.; Tomaselli, M.; Torlasco, C.; Muscogiuri, G.; Cernigliaro, F.; Parati, G.; et al. Recent advances in multimodality imaging of the tricuspid valve. *Expert Rev. Med. Devices* **2021**, *18*, 1069–1081. [\[CrossRef\]](#)

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

Article

Preoperative Predictors of Recurrent Tricuspid Regurgitation After Annuloplasty: Insights into the Role of 3D Echocardiography

Aušra Krivickienė ^{1,2,*} , Dovydas Verikas ^{1,2} , Lina Padervinskiene ³ , Vaida Mizarienė ¹, Adakrius Siudikas ⁴, Povilas Jakuška ⁴, Jolanta Justina Vaškelytė ^{1,2} and Eglė Ereminienė ^{1,2}

¹ Department of Cardiology, Medical Academy, Lithuanian University of Health Sciences, LT-44307 Kaunas, Lithuania

² Institute of Cardiology, Lithuanian University of Health Sciences, LT-50162 Kaunas, Lithuania

³ Department of Radiology, Medical Academy, Lithuanian University of Health Sciences, LT-44307 Kaunas, Lithuania

⁴ Department of Cardiac, Thoracic and Vascular Surgery, Medical Academy, Lithuanian University of Health Sciences, LT-44307 Kaunas, Lithuania

* Correspondence: ausra.krivickiene@lsmuni.lt



Citation: Krivickienė, A.; Verikas, D.; Padervinskiene, L.; Mizarienė, V.; Siudikas, A.; Jakuška, P.; Vaškelytė, J.J.; Ereminienė, E. Preoperative Predictors of Recurrent Tricuspid Regurgitation After Annuloplasty: Insights into the Role of 3D Echocardiography. *Diagnostics* **2024**, *14*, 2515. <https://doi.org/10.3390/diagnostics14222515>

Academic Editor: Grazia Cancelli

Received: 27 September 2024

Revised: 3 November 2024

Accepted: 7 November 2024

Published: 10 November 2024



Copyright: © 2024 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: Background: While tricuspid annuloplasty (TAP) is an effective treatment option for tricuspid regurgitation (TR), understanding the echocardiographic factors contributing to recurrent TR can help in developing more effective preventive measures to reduce the rate of recurrent TR after TAP. Methods: This study was designed as a prospective observational cohort study to investigate factors contributing to recurrent TR following surgical tricuspid valve (TV) repair in patients with moderate or severe functional TR caused by left heart valvular disease, with severe mitral regurgitation as the dominant pathology. The study included 66 patients who underwent preoperative two-dimensional (2D) and three-dimensional (3D) echocardiographic assessments. Patients were divided into two groups based on TAP outcomes: the effective TAP group and the recurrent TR group. Results: The analysis revealed that 3D-derived both septal–lateral diastolic and systolic tricuspid annulus (TA) diameter (odds ratio (OR) 1.77; 95% confidence interval (CI) 1.17–2.68 and OR 1.62; 95% CI 1.14–2.29, respectively), and major axis diastolic TA diameter (OR 1.59; 95% CI 1.15–2.2) had the highest OR among all echocardiographic parameters. The further univariate analysis of predefined echocardiographic values unveiled that the combined effect of heightened 3D-measured TA major axis diastolic diameter and increased right ventricle (RV) basal diameter exhibited the highest OR at 12.8 (95% CI 2.3–72.8) for a recurrent TR. Using ROC analysis, diastolic major axis (area under the curve (AUC) 0.848; cut-off 48.5 mm), septal–lateral systolic (AUC 0.840; cut-off 43.5 mm) and diastolic (AUC 0.840; cut-off 46.5 mm) TA diameter demonstrated the highest predictive value for recurrent TR from all TV parameters. Conclusions: Recurrent moderate or severe TR after TAP is associated with preoperative TA size, right atrium and RV geometry, but not with changes of RV function. The predictive capacity of 2D-assessed echocardiographic parameters was found to be lower when compared to their corresponding 3D parameters.

Keywords: tricuspid valve; tricuspid regurgitation; 3D-echocardiography; recurrent tricuspid regurgitation; tricuspid annuloplasty

1. Introduction

Secondary tricuspid regurgitation (TR), known as functional tricuspid regurgitation (FTR), is a common tricuspid dysfunction mainly caused by left heart diseases and is a significant clinical challenge that has gained increased attention in recent years. The etiology of TR is secondary in ≥90% of cases due to impaired valve coaptation caused by dilatation of the right ventricle (RV) and/or of the tricuspid annulus (TA).

The prevalence of TR is 15% overall, and it is the most frequent complication of mitral disease [1]. In instances of heart failure (HF), a prevalence of moderate to severe FTR has been documented at an overall rate of 35%. Specifically, severe mitral regurgitation is associated with a 30% incidence, while patients undergoing mitral valve surgery exhibit a higher prevalence of 50% [1,2]. It has been proven in many studies that up to 74% of patients who undergo successful left-sided valve surgery will develop FTR over time [3–5]. Late severe TR often leads to poor outcomes and high mortality [2,6–9].

Tricuspid annuloplasty (TAP), as a safe and effective surgical procedure, is now recommended for the treatment of FTR at the time of left heart surgery [10]. There is increasing concern regarding the residual/recurrent TR after TAP in patients with FTR, with an incidence ranging from 10% to 30% [11–16]. Unfortunately, the mechanism and determinants of recurrent TR after tricuspid valve (TV) repair have not been fully investigated and determined. Therefore, it is particularly important to accurately assess the preoperative severity of TR and predict postoperative outcomes.

TA dilatation is known to be a preoperative predictor of recurrent TR. However, there is no consensus on other potential predictors, including the presence of right ventricular HF, pulmonary hypertension, marked RV remodeling/dysfunction, or other TV geometrical alterations. The TA, due to its complex three-dimensional (3D) form, presents several difficulties in its evaluation; however, the use of 3D analysis of the TA remains relatively uncommon. While TAP is an effective treatment option, understanding the echocardiographic factors contributing to recurrent TR can help in developing more effective preventive measures to reduce the rate of recurrent TR after TV repair.

The purpose of this study is to investigate the relationship between TV, right heart geometry, function parameters, and recurrent TR after TAP.

2. Materials and Methods

2.1. Study Population and Study Design

This study was designed as a prospective observational cohort study to investigate factors contributing to recurrent TR following surgical TV repair in patients with moderate or severe FTR caused by left heart valvular disease.

From July 2018 to December 2021, 67 patients were diagnosed with moderate-severe functional TR associated with left heart valvular disease and underwent concomitant TAP during left heart surgery. TV repair (annuloplasty) was always performed in patients with moderate-to-severe or severe TR. Indication of TV repair was followed according to the 2021 ESC Guidelines [10]. TV repair using suture annuloplasty by De Vega was the technique of choice in all patients. Baseline characteristics, preoperative 2D and 3D echocardiographic data, and clinical outcomes were evaluated for all patients.

Patients with primary TR, ischemic heart disease (assessed by coronary angiography), infective endocarditis, chronic pulmonary disease, congenital heart disease, or other causes of precapillary pulmonary hypertension were excluded from the study. Patients who underwent re-do TV repair were also excluded (detailed inclusion and exclusion criteria are presented in Table S1).

Surgical procedures of the left heart included the following: mitral valve repair, mitral valve replacement, aortic valve replacement, mitral valve repair combined with aortic valve replacement, and mitral valve replacement combined with aortic valve replacement.

The follow-up period is 15 months (mean 15.57 ± 4.19 months). All patients were followed up with transthoracic 2-dimensional (2D) and 3D echocardiography ≥ 1 -year after TAP. The primary endpoint was the recurrence of significant TR (defined as moderate and severe regurgitation).

We divided the patients into two groups based on the outcomes of TAP: effective TAP and recurrent TR group. Effective TAP was defined as mild TR ($\leq 2/4$ grade) 1-year after surgery, while recurrent TR group was defined as moderate, moderate-severe, or severe TR ($> 2/4$ grade).

The study was approved by the Kaunas Regional Biomedical Research Ethics Committee, No. BE-2-64, issued on 24 July 2018. All patients provided informed consent.

2.2. Transthoracic Echocardiography

The 2D and 3D preoperative transthoracic echocardiography was performed using a GE VingMed Vivide95 (GE Vingmed Ultrasound AS, Horten, Norway) imaging system, equipped with a M3S 4.0 MHz transducer, capable of displaying 3D images. An experienced independent echocardiographer blinded to the patient's clinical data performed the echocardiographic studies. Digital loops were stored and analyzed offline (GE Vingmed, Phillips TomTec, Unterschleissheim, Germany). The 3D TV analysis was made using the 4D Auto TVQ quantification software package (EchoPac v204, GE Healthcare, Horten, Norway).

Anatomic and Doppler examinations and measurements were performed according to recent American Society of Echocardiography recommendations and European Association of Cardiovascular Imaging (EACVI) guidelines [17,18]. The 2D and 3D echocardiography was performed and included the following parameters: the left ventricular (LV) and left atrial (LA) geometry (diameters and volumes), LV ejection fraction, the RV geometry (RV diameters, areas and volumes), functional (velocity of the tricuspid annular systolic motion (S'), tricuspid annulus plane systolic excursion (TAPSE), RV fractional area change (FAC), RV ejection fraction (RVEF), and strain (RV free wall longitudinal strain (RV FWLS) and RV septal longitudinal strain (RV SLS)), the tricuspid valve 2D (the systolic and diastolic four-chambers diameters), the leaflet tenting height (the distance between the coaptation of the septal and anterior leaflets and the TA plane) and area (the area enclosed by the annular plane and septal and anterior leaflets), and 3D (the systolic and diastolic four-chambers (septal–lateral), two-chambers (anterior–posterior), major axis TA diameters, TA area, perimeter, leaflet tenting height and volume (the volume enclosed between the plane of the TA and TV leaflets)), right atrium (RA) (diameter, length, area and volume) parameters. Parameters have been indexed to body surface area.

Volume datasets were obtained under breath-hold to avoid stitch artifacts using a multi-beat full-volume model in the four-chamber apical view focused on the RV and multi-beat 3D zoom mode in the four-chamber apical view focused on the TV. The views were optimized for depth and gain setting before 3D acquisition and close attention was given to including the entire TV or RV in the sector boundaries. A multi-slice display was used during acquisition to ensure a complete inclusion of the RV in the dataset [19]. The RV and TV multi-beat 3D views dataset was also acquired with the narrowest possible depth under breath-hold to obtain a higher volume rate (higher than 20 volumes per second).

The digitally stored multi-beat full volume dataset in the apical axis four-chamber view was imported into the dedicated software tools (4D RV-Analysis 2.0, TomTec Imaging Systems, Unterschleissheim, Germany) to calculate RV end-diastolic and end-systolic volumes and RVEF.

The digitally stored live 3D zoom dataset was imported into the 4D Auto TVQ quantification (GE Healthcare, Horten, Norway) workstation to analyze the TV geometry (Figure 1). Anterior–posterior and septal–lateral diameters of the TV, as well as major and minor axis diameter, the TV annular area, perimeter, and sphericity index, were obtained on a mid-systolic and mid-diastolic frame. The closed leaflets were traced in mid-systole on successive equidistant long-axis planes to obtain the leaflet tethering height and 3D tenting volume.

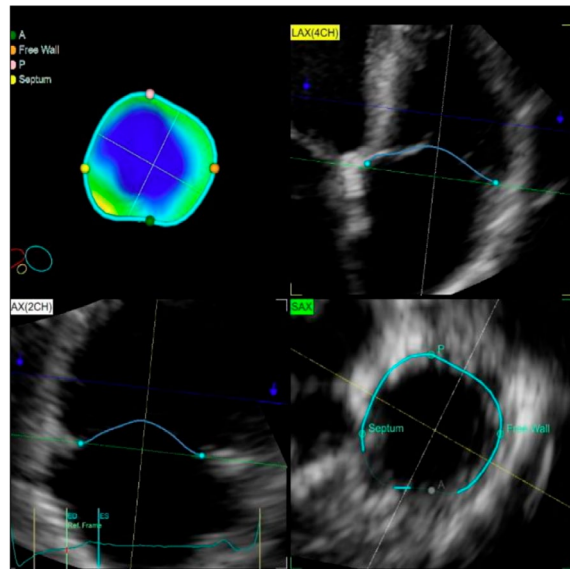


Figure 1. Three-dimensional TV echocardiographic measurements.

The severity of TR was measured quantitatively according to the recent ESC guidelines [20], using TR effective regurgitant orifice area (EROA) (PISA) and biplane TR vena contracta (VC) (the width of the color jet at its narrowest point) from the 2D apical four-chamber view. According to a recently proposed grading scheme for TR, patients with biplane VC 3–6.9 mm and TR EROA 20–39 mm² were considered moderate, and VC ≥ 7 mm and EROA ≥ 40 mm² were considered severe TR [20–22].

2.3. Statistical Analysis

Continuous variables were represented as median values with interquartile ranges (IQR) and compared using non-parametric Wilcoxon rank-sum tests. Categorical variables were presented as counts and percentages. Prior to analysis, all variables underwent normality testing using the Shapiro–Wilk test. Univariate and multivariate logistic regression analyses were conducted to identify associations between right heart and TV parameters and moderate-severe recurrent FTR. Variables demonstrating significance in the univariate analysis were subsequently included in the multivariable-adjusted analysis to elucidate their collective predictive capacity for the recurrent TR. Results were expressed as odds ratios (ORs) with corresponding 95% confidence intervals (CIs). The optimal model was selected by balancing the inclusion of factors with the accuracy of logistic regression analysis. Receiver operating characteristic (ROC) analysis was performed to determine the optimal cut-off values for 2D and 3D echocardiographic parameters in predicting recurrent TR. The accuracy of these cut-off values was assessed using the area under the ROC curve (AUC). Statistical analyses were carried out using SPSS version 27 (IBM, Armonk, NY, USA), and *p*-values < 0.05 were deemed statistically significant.

3. Results

Among the study cohort, 54% were male, and the mean age was 68 ± 9 years. Following surgery, one patient experienced a fatal outcome due to pneumonia after a 4-day

postoperative period and was subsequently excluded from the study. The remaining patients were subject to ongoing follow-up, during which no instances of mortality were observed. The mean duration of the follow-up period was 15.6 ± 4.2 months. There were 53 patients (80%) diagnosed with moderate FTR and 13 patients (18%) with severe FTR. There was no recurrence of moderate or severe mitral or aortic regurgitation and stenosis. None of the patients had a postoperative pacemaker implanted. Out of the patients monitored for more than 1 year, 16 individuals (24.2%) experienced a recurrence of moderate or severe TR. The remaining 50 patients (75.8%) did not exhibit significant ($>2/4$ grade) recurrent TR following TAP.

3.1. Analysis of Risk Factors of Recurrent Tricuspid Regurgitation

The distribution of baseline characteristics and echocardiographic parameters among the study groups are shown in Tables 1 and S2.

Table 1. Two-dimensional and three-dimensional right-heart echocardiographic characteristics of study population.

	Effective TAP Group <i>n</i> = 50 (75.8%)	Recurrent TR Group <i>n</i> = 16 (24.2%)	<i>p</i> -Value
RA parameters			
Diameter, mm	49 (9.3)	54 (7.8)	0.005
Diameter index, mm/m ²	24.8 (5.7)	29.5 (5.0)	0.005
Length, mm	60.5 (11.3)	66.4 (7.6)	0.003
Area, cm ²	26.9 (10.6)	30.4 (11.5)	0.008
Area index, cm ² /mm ²	14.2 (5.2)	17.2 (6.9)	0.002
Volume, mL	92 (64)	106 (64)	0.026
RV parameters			
Parasternal diastolic diameter, mm	35 (7)	38.6 (6.1)	0.003
Parasternal systolic diameter, mm	27 (6.5)	30.5 (7.3)	0.003
Basal diameter, mm	44.5 (7)	51 (11.3)	0.002
Basal diameter index, mm/m ²	23.3 (3.6)	26.8 (5.5)	0.006
Middle diameter, mm	35 (7.3)	39 (8.5)	0.012
Middle diameter index, mm/m ²	17.8 (4.1)	21.5 (6.8)	0.027
Length, mm	63 (18.3)	64 (15)	0.736
Sphericity index, %	0.55 (0.13)	0.61 (0.26)	0.041
End-diastolic area, cm ²	21.2 (9.5)	22.7 (10.6)	0.046
End-diastolic area index, cm ² /m ²	10.8 (4.5)	14.2 (4.7)	0.017
End-systolic area, cm ²	13.9 (7.2)	16.3 (10.1)	0.067
End-systolic area index, cm ² /m ²	6.8 (3.5)	9 (4)	0.017
End-diastolic volume, mL	147 (90)	221 (137)	0.220
End-systolic volume, mL	87 (66)	130 (98)	0.176
RV EF, %	41 (7)	38 (7)	0.211
FAC, %	33 (10)	30 (10)	0.231
TAPSE, mm	18 (9)	17 (4)	0.346
<i>S'</i> , cm/s	10.4 (5)	9.7 (4.8)	0.646
Septal wall strain, %	−11.1 (5.1)	−9.8 (4.8)	0.373
Lateral wall strain, %	−20.4 (6.1)	−18.4 (11.9)	0.673

EF—ejection fraction, RV—right ventricle, FAC—fractional area change, TAPSE—tricuspid annular plane systolic excursion, *S'*—tricuspid lateral annular systolic velocity, RA—right atrium, TR—tricuspid regurgitation, TAP—tricuspid annuloplasty.

Analysis revealed that age, gender, body mass index, preoperative transthoracic echocardiography-based left ventricular and atrial geometrical and functional parameters

or pulmonary artery pressure did not differ between effective TAP and recurrent TR groups (Table S2). Although preoperative effective regurgitant TV orifice area did not differ between the groups (recurrent TR vs. effective TAP: 38.37 [32.69] mm² vs. 29.45 [14.9] mm², $p = 0.117$, respectively), the following differences of right heart parameters were identified between these two groups and are detailed in Table 1. Recurrent TR was associated with larger RV and RA geometrical and volumetrical parameters; however, RV functional parameters did not show significant associations.

Table 2 shows the differences in TA geometry between the two groups: the septal–lateral and major axis TA diameters, as well as TA area and perimeter, were increased in the recurrent TR group when compared to the effective TAP group. Even though the TA sphericity and TV leaflet tethering did not differ between the groups, recurrent TR was associated with larger tenting area and volume.

Table 2. Two-dimensional and three-dimensional TV echocardiographic characteristics of study population.

	Effective TAP Group <i>n</i> = 50 (75.8%)	Recurrent TR Group <i>n</i> = 16 (24.2%)	<i>p</i> -Value
TV 2D parameters			
TA diastolic diameter, mm	41.5 (4)	45.4 (5)	<0.001
TA diastolic diameter index, mm/m ²	21.8 (2.8)	23.9 (6.5)	0.012
TA systolic diameter, mm	39 (5.5)	42 (5.6)	0.003
TA systolic diameter index, mm/m ²	19.9 (2.4)	22.3 (6.5)	0.026
TV leaflet tethering height, mm	5.3 (2.1)	6.6 (2.4)	0.073
TV tenting area (mm ²)	120 (66)	170 (96)	0.012
TV EROA, mm ²	29.45 (14.9)	38.37 (32.69)	0.117
TV 3D parameters			
TA area, cm ²	14.2 (4.0)	16.7 (2.8)	0.010
TA area index (cm ² /m ²)	6.96 (2.08)	8.79 (2.38)	0.004
TA perimeter, mm	127 (22)	143 (18)	0.005
TA perimeter index (cm/m ²)	6.47 (1.35)	7.83 (1.81)	0.007
Septal–Lateral Systolic TA Diameter, mm	42 (4)	46 (5)	<0.001
Septal–Lateral Systolic TA Diameter Index, cm/m ²	2.14 (0.31)	2.37 (0.81)	0.04
Septal–Lateral Diastolic TA Diameter, mm	44 (5)	48 (5)	<0.001
Septal–Lateral Diastolic TA Diameter Index, cm/m ²	2.26 (0.37)	2.63 (0.87)	0.04
Anterior–Posterior TA Diameter, mm	40 (7)	44 (6)	0.081
Anterior–Posterior TA Diameter Index, cm/m ²	2 (0.48)	2.22 (0.57)	0.045
Major Axis Systolic TA Diameter, mm	46 (5)	49 (7)	0.001
Major Axis Systolic TA Diameter Index, cm/m ²	2.25 (0.34)	2.68 (0.73)	0.003
Major Axis Diastolic TA Diameter, mm	48 (6)	53 (6)	<0.001
Major Axis Diastolic TA Diameter Index, cm/m ²	2.36 (0.34)	2.79 (0.81)	0.007
TV Leaflet Coaptation point Height, mm	9 (5)	10 (5)	0.653
TV Leaflet Tenting Volume, mL	3.75 (1.9)	5.3 (2.8)	0.008
TV Sphericity Index, %	83 (11)	84 (12)	0.397

TV—tricuspid valve, TA—tricuspid annulus, EROA—effective regurgitant orifice area, TAP—tricuspid annuloplasty.

3.2. Relation of TV and RV Geometry and Recurrent Tricuspid Regurgitation

In order to evaluate the influence of TV geometry and right-heart remodeling on recurrent TR, a regression analysis was conducted. Univariate analysis was executed, and ORs are presented in Tables 3 and S3. None of the left-heart parameters exhibited predictive value. Conversely, RA parameters demonstrated predictive value for recurrent regurgitation after TAP. Among all RA parameters, RA diameter exhibited the highest odds ratio (OR 1.13; 95% CI 1.03–1.23). However, RV parameters demonstrated even greater predictive value. RV basal diameter index (OR 1.34; 95% CI 1.09–1.65), RV end-systolic area index (OR 1.26; 95% CI 1.02–1.56), and RV parasternal diastolic diameter (OR 1.22; 95% CI 1.06–1.40) exhibited the highest predictive value among all RV parameters for recurrent regurgitation.

Table 3. Relation of TV parameters with recurrent TR.

	Univariate			Model I		
	OR	95% CI.	p-Value	OR	95% CI.	p-Value
3D echo-derived TV parameters						
TA perimeter, mm	1.07	1.01–1.13	0.024	1.11	1.03–1.21	0.008
Septal–Lateral Systolic TA Diameter, mm	1.62	1.14–2.29	0.007	1.96	1.22–3.14	0.005
Anterior–Posterior TA Diameter, mm	1.17	0.97–1.4	0.097	1.25	0.99–1.57	0.061
Major Axis Systolic TA Diameter, mm	1.51	1.15–1.99	0.003	1.75	1.20–2.55	0.004
TV Leaflet Tenting Volume, mL	1.42	1.01–1.98	0.043	1.41	0.99–1.98	0.052
TA area, cm ²	1.55	1.06–2.27	0.025	2.03	1.16–3.53	0.013
Septal–Lateral Diastolic TA Diameter, mm	1.77	1.17–2.68	0.007	1.99	1.14–3.46	0.015
Major Axis Diastolic TA Diameter, mm	1.59	1.15–2.2	0.005	1.75	1.17–2.6	0.006
TV Sphericity Index, %	0.92	0.83–1.031	0.155	0.93	0.83–1.05	0.255
2D echo-derived TV parameters						
4-Chambers Systolic Diameter, mm	1.44	1.14–1.83	0.002	1.67	1.22–2.28	0.001
4-Chambers Diastolic Diameter, mm	1.31	1.09–1.58	0.005	1.40	1.1–1.76	0.005
TV leaflet tethering height, mm	1.31	0.93–1.85	0.121	1.38	0.95–1.99	0.093
TV tenting area (mm ²)	1.02	1.003–1.03	0.01	1.02	1.004–1.03	0.007
TV EROA, mm ²	1.03	0.99–1.07	0.058	1.03	0.99–1.07	0.062

Model I—univariate regression adjusted to age and gender, TA—tricuspid annulus, TV—tricuspid valve, EROA—effective regurgitant orifice area.

Despite the high odds ratios for RV parameters, further analysis revealed that TA parameters, both 2D and 3D, possessed the highest predictive value (Table 3). Specifically, both septal–lateral diastolic and systolic TA and major axis diastolic diameters demonstrated the highest prognostic value among 3D parameters. In the analysis of 2D TA parameters, the four-chamber systolic diameter exhibited the highest predictive value (OR 1.44; 95% CI 1.14–1.83). To mitigate potential confounding factors related to age and gender, model I analysis was conducted. The results indicated an increase in OR for the previously mentioned parameters, while no significance was lost.

To further assess the diagnostic efficacy of 2D and 3D echocardiographic right-heart parameters, univariate analysis of predefined echocardiographic values was conducted. Utilizing ROC analysis, parameters with the highest predictive value were identified: major axis diastolic TA diameter (AUC 0.848; cut-off 48.5 mm), TV leaflet tenting volume (AUC 0.778; cut-off 5.1 mL), and RV basal diameter (AUC 0.763; cut-off 47.5 mm). The interrelation of these cut-off values with recurrent regurgitation is revealed in Table 4. The analysis unveiled that the combined effect of increased RV basal diameter and heightened

TA major axis diastolic diameter derived from 3D analysis exhibited the highest OR at 12.8 (95% CI 2.3–72.8). This value further increased upon the elimination of age and gender as potential confounding factors.

Table 4. Prognostic value of predefined echocardiographic values of recurrent TR (univariate analysis).

	Univariate			Model I		
	OR	95% CI.	p-Value	OR	95% CI.	p-Value
Major Axis Diastolic TA Diameter * + TV Leaflet Tenting Volume **	8.5	1.7–41.5	0.008	10.4	1.7–65.6	0.012
Major Axis Diastolic TA Diameter * + RV basal diameter ***	12.8	2.3–72.8	0.004	15.7	2.4–101.7	0.004
TV Leaflet Tenting Volume ** + RV basal diameter ***	8.5	1.7–41.5	0.008	8.7	1.6–47.5	0.012
Major Axis Diastolic TA Diameter * + TV Leaflet Tenting Volume ** + RV basal diameter ***	6.3	1.3–29.3	0.02	6.8	1.2–37.4	0.028

Model I—univariate regression adjusted to age and gender. * Major Axis Diastolic TA Diameter > 48.5 mm; ** TV Leaflet Tenting Volume > 5.1 mL; *** RV basal diameter > 47.5 mm. RV—right ventricle, TA—tricuspid annulus, TV—tricuspid valve.

Multivariate stepwise regression analysis was conducted, and the results are presented in Table 5. Notably, among all parameters considered, only FAC, RV basal diameter, and septal–lateral systolic TA diameter retained statistical significance. Intriguingly, during the multivariate analysis, an increase in septal–lateral systolic TA diameter exhibited a lower OR, while the predictive value trend for RV basal diameter persisted. Additionally, the multivariate analysis identified a new parameter: FAC, whose higher value was associated with a lower OR for recurrent regurgitation.

Table 5. Prognostic value of predefined echocardiographic values of recurrent TR (multivariate analysis).

	Multivariate			Model I		
	OR	95% CI.	p-Value	OR	95% CI.	p-Value
Septal–Lateral Systolic TA Diameter, mm	0.75	0.59–0.99	0.048	0.64	0.43–0.96	0.03
TV Leaflet Tenting Volume, mL	1.15	0.77–1.71	0.505	1.17	0.77–1.78	0.466
RV basal diameter, mm	1.42	1.04–1.94	0.027	1.44	1.02–2.01	0.036
FAC, %	0.87	0.76–0.99	0.035	0.84	0.71–0.98	0.031
RA diameter, mm	0.96	0.79–1.15	0.647	0.99	0.81–1.23	0.976

Model I—multivariate regression adjusted to age and gender. TA—tricuspid annulus, TV—tricuspid valve, RV—right ventricle, FAC—fractional area change, RA—right atrium.

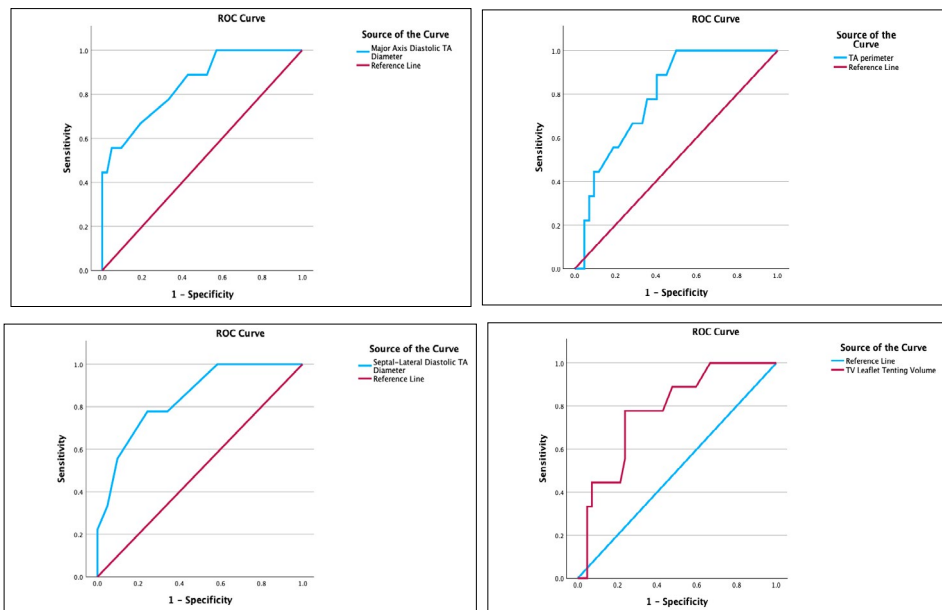
3.3. Prediction of Recurrent Tricuspid Regurgitation

The ROC analysis of selected echocardiographic parameters, displaying the highest predictive value in this patient cohort, is presented in Tables 6 and S4. Among the analyzed RV parameters, RV basal diameter (AUC 0.763; cut-off 44.5 mm) and RV parasternal diastolic diameter (AUC 0.747; cut-off 34.5 mm) exhibited the most robust predictive value for recurrent TR. Regarding TV parameters, the diastolic major axis (AUC 0.848; cut-off 48.5 mm), as well as septal–lateral systolic or diastolic TA diameter (both AUC 0.840; cut-off 43.5 mm and 46.5 mm, respectively), demonstrated the highest predictive value in this particular group of patients (Figure 2).

Table 6. Prediction of recurrent TR.

Variables	AUC	p-Value	Cut-Off	Sensitivity	Specificity
3D echo-derived TV parameters					
TA perimeter, mm	0.790	0.007	130.5	89	60
Septal–Lateral Systolic TA Diameter, cm	0.840	0.001	43.5	78	71
Septal–Lateral Diastolic TA Diameter, cm	0.840	0.002	46.5	78	76
Anterior–Posterior TA Diameter, cm	0.687	0.082			
Major Axis Systolic TA Diameter, cm	0.833	0.002	47.5	78	71
Major Axis Diastolic TA Diameter, cm	0.848	0.001	48.5	89	57
TV Leaflet Tenting Volume, ml	0.778	0.009	5.1	78	76
TA area, cm ²	0.770	0.012	14.35	89	60
TV Sphericity Index, %	0.592	0.391			
2D echo-derived TV parameters					
4-Chambers Systolic Diameter, mm	0.799	< 0.001	42.5	81	56
4-Chambers Diastolic Diameter, mm	0.746	0.003	38.5	94	46
TV leaflet tethering height, mm	0.650	0.074			
TV tenting area (mm ²)	0.711	0.012	127	75	62
TV EROA, mm ²	0.632	0.117			

TA—tricuspid annulus, TV—tricuspid valve, EROA—effective regurgitant orifice area.

**Figure 2.** ROC analysis for prediction of recurrent TR.

Conversely, the predictive capacity of 2D-assessed echocardiographic parameters was found to be lower when compared to their corresponding 3D parameters. Specifically, the comparison between the four-chamber systolic diameter (2D) and septal–lateral systolic TA diameter (3D) yielded AUC values of 0.799 and 0.840, respectively. Similarly, the comparison between TV tenting area (2D) and TV leaflet tenting volume (3D) resulted in AUC values of 0.711 and 0.778, respectively.

4. Discussion

In this prospective study, we analyzed the preoperative echocardiographic 2D and 3D data of 66 individuals with moderate or severe FTR due to left-heart valvular disease who underwent concomitant TAP during left heart surgery. The main insights gained from our study can be summarized as follows: (a) the recurrence of moderate-severe FTR following TAP is linked to the geometry of the RA and RV before surgery; (b) no correlation was identified between the recurrence of TR and alterations in LV and RV function; (c) parameters with the highest predictive value for recurrent TR were 3D-derived major axis diastolic and systolic TA diameter, both septal–lateral systolic and diastolic TA diameter, TA perimeter and TV tenting volume; (d) the predictive capacity of 2D-assessed echocardiographic parameters was found to be lower when compared to their corresponding 3D parameter.

4.1. The Association Between the RV and LV Geometrical and Functional Parameters and Recurrent TR

Kitamura et al., using multivariate analysis, showed that a larger RV systolic diameter was a predictor of recurrent $\geq 2+$ TR [23]. Kitamura's study demonstrated that both RV diastolic and systolic diameters were significantly larger in the recurrence TR group compared to the non-recurrence group, and no differences were observed between the two groups in RV FAC. Calafiore et al. reported that RV dilatation was a risk factor of recurrent TR after TAP, including the result of TV repair with a classic ring or flexible ring [24]. Maslow et al. reported that for patients with FTR undergoing primary left heart surgery, preoperative RV width and the predictive value of RV width > 4.88 cm were associated with TV repair failure [25]. RV dilatation causes free wall dilatation and extends the length between papillary muscles [26], resulting in TR. Our study showed that comparing recurrent TR and effective TAP groups, recurrent TR was associated with larger RV and RA geometrical and volumetrical parameters; however, RV functional parameters did not differ between these two groups. Using ROC analysis, RV basal diameter showed the most reliable predictive value for recurrent TR from RV parameters and was identified as one of the three parameters with the highest predictive value for TR recurrence in our study. Multivariate stepwise regression analysis confirmed that RV basal diameter was an independent predictor of recurrent TR.

It is known that recurrent TR is associated with severe LV dysfunction [27,28]. LV dysfunction causes pressure and/or volume overload, resulting in LV dilatation. In addition, elliptical change in shape is frequently encountered in patients with severe LV dysfunction. These geometric LV abnormalities affect RV geometry and function directly through the interventricular septum or indirectly contributing to pulmonary hypertension [28]. Gatti and colleagues showed that LVEF $< 50\%$, whereas Kitamura et al. reported that LVEF $< 40\%$ was a predictor of grade $\geq 2+$ recurrent TR after device annuloplasty [23,27]. Although, in our study, LV EF was also lower in the recurrent TR group, there was no significant association between LV function and recurrence of TR. This may have been due to the fact that there were only a few patients with severe LV dysfunction in our study group, while in Kitamura and colleagues' study, even 32% of patients had LV EF $< 40\%$ in the recurrence TR group.

4.2. The Association Between TV Geometrical Parameters and Recurrent TR

In adults, the normal TA diameter is 28 ± 5 mm (four-chamber view in diastole). Current ESC/EACTS guidelines suggest a threshold diameter ≥ 40 mm (>21 mm/m²) as an indicator for surgery [10]. Several echocardiographic studies have suggested important changes in the TV geometry in patients with FTR, including annular dilatation and tethering of the leaflets [29–31]. These TV deformations may restrict the motion of the leaflets and decrease coaptation.

Previous studies showed TA size is a risk factor for recurrent TR in TV repair with 3D-shaped rings [32,33]. Several studies also have been conducted with the aim of exploring the association between TA circumference and postoperative TR and as a result, there is a close association between the circumference and TR. Jin Guo Xu et al. found that TA circumference index ≥ 7.86 cm/m² is the risk factor of recurrent significant TR after concomitant TAP during left heart surgery [34]. Zhu et al. have recommended that a TA circumference index of 83 mm/m² is the threshold of prophylactic TAP [35]. Based on Mohammad Sharif Popal's recommendation, the threshold is set as 80.2 mm/m² [36]. Our study also confirmed the high predictive value of TA perimeter and TA perimeter index for TR recurrence (AUC 0.790; cut-off 130.5 mm and AUC 0.780, cut-off 7.8 cm/m², respectively). However, analysis revealed that 3D-derived TA diameters showed even higher predictive value for TR recurrence. Using ROC analysis, the diastolic major axis (cut-off 48.5 mm), as well as septal–lateral systolic (cut-off 43.5 mm) and diastolic (cut-off 46.5 mm) TA diameters demonstrated the highest predictive value for recurrent TR from all TA parameters. The further univariate analysis of predefined echocardiographic values unveiled that the combined effect of heightened 3D-measured TA major axis diastolic diameter (>48.5 mm) and increased RV basal diameter (>47.5 mm) exhibited the highest OR at 12.8 (95% CI 2.3–72.8) for a recurrent TA. Similar prognostic importance of diameters was seen in other studies. Maslow and colleagues reported that for patients with FTR undergoing primary left heart surgery, preoperative TA diameter was a predictor of repair outcome [25]. They also found prognostic values: preoperative and intraoperative TA diastolic diameter ≥ 4.2 cm and preoperative systolic TA diameter ≥ 3.7 cm predicted repair failure. Dilated TA may accompany severe damage of the TV lesion, which is attributed to the presence of recurrent regurgitation. Once TA is dilated, RV remodeling will occur. After TAP, original TV mismatches altered annulus due to heart remodeling, which leads to possible regurgitation. Thus, the dilatation of TA plays an important role in the recurrence of FTR, and furthermore, as our study showed, septal–lateral systolic TA diameter is an independent predictor of postoperative recurrent TR.

Increased apical displacement of the tricuspid leaflets (tethering) is evaluated by 2D-echocardiography by measuring the tenting area and coaptation distance in the four-chamber view. If the tethering distance is >8 mm and the tethering area is >1.6 cm², it can be defined that the tethering extent of tricuspid leaflets is significant [37]. Using 3D echocardiography, we can evaluate another tethering parameter–tenting volume. Fukuda and colleagues showed that preoperative leaflet tethering height and area predicted early and mid-term (>1 year) outcomes of annuloplasty [12,28]. Our study demonstrated that recurrent TR was associated with larger tenting area and volume; TV tenting area > 127 mm² and TV tenting volume > 5.1 mL were the risk factors of recurrent TR after concomitant TAP during left heart valvular surgery. The univariate analysis of predefined echocardiographic values unveiled that the combined effect of TV tenting volume of more than 5.1 mL and TA major axis diastolic diameter of more than 48.5 mm displayed the OR at 8.5 (95% CI 1.7–41.5). Chen suggests that 3D-derived TV tethering volume is an important preoperative parameter associated with adverse events (occurrence of heart failure requiring hospital admission or all-cause mortality) in patients undergoing TAP, and the ≥ 3.9 mL tethering volume provides important predictive value at 1-year follow-up [38]. Including our result, these reports indicate the limitation of suture annuloplasty by De Vega for severe tethered TV. Current suture annuloplasty techniques might not be adequate to correct TR in patients with severe

tethering, and an additional procedure (e.g., repair with ring, leaflet augmentation, clover technique, right ventricular papillary muscle approximation) may be required [39–42].

4.3. The Importance of 3D Analysis for TV Evaluation

Another question that arises is whether 3D analysis is important in TV evaluation. TA is a complex three-dimensional structure, and the most suitable echocardiographic technique to obtain accurate measurements of TA size is 3D echocardiography [43–45]. Moreover, the size of the TA is critical in determining the need for concomitant TV interventions in patients undergoing left-sided valve surgery. Two-dimensional echocardiographic evaluation of the TA diameter underestimates the actual size due to its elliptical shape. Consequently, the annular diameter measured in a four-chamber (septal–lateral) view or a short-axis view (oblique) is less than the true anteroposterior diameter [46]. Moreover, when the TA dilates, it does so mostly in the anteroposterior direction, a direction that is not explored in the conventional 2D echocardiography apical four-chamber view [47]. The advent of 3D echocardiography enables detailed evaluation of the TV apparatus; nonetheless, the clinical value of preoperative 3D echocardiography is unknown in patients undergoing TAP. In our study, we used 3D echocardiography, and TA parameters were measured by the multiplanar reconstruction method, which allows for a much more accurate assessment of TV parameters. Our study demonstrated that the predictive capacity of 2D-assessed echocardiographic parameters was found to be lower when compared to their corresponding 3D parameters (four-chamber systolic diameter (2D) and septal–lateral systolic TA diameter (3D) yielded AUC values of 0.799 and 0.840; and TV tenting area (2D) and TV tenting volume (3D) resulted in AUC values of 0.711 and 0.778, respectively).

4.4. Study Limitations

The limitations of our study can be described as follows: first, one of the main limitations of this study was that a single tricuspid valve repair technique (suture annuloplasty) was used, which limits generalizability to other forms of tricuspid valve repair. Second, this was a single-center study with a small number of patients ($n = 66$), and the significance should be tested in a multi-center cohort.

5. Conclusions

Recurrent moderate or severe TR after TAP is associated with preoperative TA size, RA, and RV geometry but not with changes in RV function. Key predictors, including 3D echocardiography measured septal–lateral systolic (cut-off value 43.5 mm) and diastolic (cut-off value 46.5 mm) TA diameters, major axis diastolic TA diameter (cut-off value 52.5 mm), TA perimeter (cut-off value 130.5 mm), TV leaflet tenting volume (cut-off value 5.1 mL), and RV basal diameter (cut-off value 47.5 mm) were identified, emphasizing their significance in predicting TR recurrence. The combination of predefined RV basal diameter and major axis diastolic TA diameter showed the highest odds ratio for recurrent TR. This information can guide surgical decision-making, such as considering earlier or more extensive TV repair procedures or the need for close postoperative monitoring in patients at higher risk of recurrence in order to improve patient outcomes and reduce the need for reoperations.

Supplementary Materials: The following supporting information can be downloaded at: <https://www.mdpi.com/article/10.3390/diagnostics14222515/s1>, Table S1: Inclusion and exclusion criteria; Table S2: Clinical and echocardiographic characteristics of study population; Table S3: Relation of conventional echocardiographic parameters with recurrent TR; Table S4: Prediction of recurrent TR.

Author Contributions: Conceptualization, A.K. and E.E.; methodology, A.K., D.V., L.P., J.J.V. and E.E.; software, A.K. and D.V.; validation, A.K., D.V. and E.E.; formal analysis, A.K., D.V., V.M. and E.E.; investigation, A.K.; resources, A.K. and E.E.; data curation, A.K. and D.V.; writing—original draft preparation, A.K.; writing—review and editing, D.V., V.M., P.J., A.S., J.J.V. and E.E.; visualization,

A.K., D.V. and L.P.; supervision, E.E., V.M. and P.J.; project administration, A.K. and E.E. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: The study was approved by Kaunas Regional Biomedical Research Ethics Committee, No. BE-2-64, issued on 24 July 2018.

Informed Consent Statement: Informed consent was obtained from all subjects involved in the study.

Data Availability Statement: The original contributions presented in the study are included in the article/Supplementary Materials, further inquiries can be directed to the corresponding author.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflicts of interest.

References

1. Singh, J.P.; Evans, J.C.; Levy, D.; Larson, M.G.; Freed, L.A.; Fuller, D.L.; Lehman, B.; Benjamin, E.J. Prevalence and clinical determinants of mitral, tricuspid, and aortic regurgitation (the Framingham Heart Study). *Am. J. Cardiol.* **1999**, *83*, 897–902, Erratum in *Am. J. Cardiol.* **1999**, *84*, 1143. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
2. Dreyfus, J.; Komar, M.; Attias, D.; De Bonis, M.; Ruschitzka, F.; Popescu, B.A.; Laroche, C.; Tribouilloy, C.; Bogachev Prokophiev, A.; Mizariene, V.; et al. Tricuspid regurgitation: Frequency, clinical presentation, management and outcome among patients with severe left-sided valvular heart disease in Europe. Insights from the ESC-EORP Valvular Heart Disease II survey. *Eur. J. Heart Fail.* **2024**, *26*, 994–1003. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
3. Song, H.; Kim, M.J.; Chung, C.H.; Choo, S.J.; Song, M.G.; Song, J.M.; Kang, D.H.; Lee, J.W.; Song, J.K. Factors associated with development of late significant tricuspid regurgitation after successful left-sided valve surgery. *Heart* **2009**, *95*, 931–936. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
4. Van de Veire, N.R.; Braun, J.; Delgado, V.; Versteegh, M.I.; Dion, R.A.; Klautz, R.J.; Bax, J.J. Tricuspid annuloplasty prevents right ventricular dilatation and progression of tricuspid regurgitation in patients with tricuspid annular dilatation undergoing mitral valve repair. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* **2011**, *141*, 1431–1439. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
5. Gammie, J.S.; Chu, M.W.A.; Falk, V.; Overbey, J.R.; Moskowitz, A.J.; Gillinov, M.; Mack, M.J.; Voisine, P.; Krane, M.; Yerokun, B.; et al. Concomitant Tricuspid Repair in Patients with Degenerative Mitral Regurgitation. *N. Engl. J. Med.* **2022**, *386*, 327–339. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#) [\[PubMed Central\]](#)
6. Izumi, C. Isolated functional tricuspid regurgitation: When should we go to surgical treatment? *J. Cardiol.* **2020**, *75*, 339–343. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
7. Katsi, V.; Raftopoulos, L.; Aggeli, C.; Vlaseros, I.; Felekos, I.; Tousoulis, D.; Stefanadis, C.; Kalikazaros, I. Tricuspid regurgitation after successful mitral valve surgery. *Interact. Cardiovasc. Thorac. Surg.* **2012**, *15*, 102–108. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#) [\[PubMed Central\]](#)
8. Wang, N.; Fulcher, J.; Abeyasuriya, N.; McGrady, M.; Wilcox, I.; Celermajer, D.; Lal, S. Tricuspid regurgitation is associated with increased mortality independent of pulmonary pressures and right heart failure: A systematic review and meta-analysis. *Eur. Heart J.* **2019**, *40*, 476–484. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
9. Messika-Zeitoun, D.; Verta, P.; Gregson, J.; Pocock, S.J.; Boero, I.; Feldman, T.E.; Abraham, W.T.; Lindenfeld, J.; Bax, J.; Leon, M.; et al. Impact of tricuspid regurgitation on survival in patients with heart failure: A large electronic health record patient-level database analysis. *Eur. J. Heart Fail.* **2020**, *22*, 1803–1813. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
10. Beyersdorf, F.; Vahanian, A.; Milojevic, M.; Praz, F.; Baldus, S.; Bauersachs, J.; Capodanno, D.; Conradi, L.; De Bonis, M.; De Paulis, R.; et al. Erratum to: 2021 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease. *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* **2022**, *61*, 964, Erratum in *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* **2021**, *60*, 727–800. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
11. McCarthy, P.M.; Bhudia, S.K.; Rajeswaran, J.; Hoercher, K.J.; Lytle, B.W.; Cosgrove, D.M.; Blackstone, E.H. Tricuspid valve repair: Durability and risk factors for failure. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* **2004**, *127*, 674–685. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
12. Fukuda, S.; Song, J.M.; Gillinov, A.M.; McCarthy, P.M.; Daimon, M.; Kongsarepong, V.; Thomas, J.D.; Shiota, T. Tricuspid valve tethering predicts residual tricuspid regurgitation after tricuspid annuloplasty. *Circulation* **2005**, *111*, 975–979. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
13. Matsunaga, A.; Duran, C.M. Progression of tricuspid regurgitation after repaired functional ischemic mitral regurgitation. *Circulation* **2005**, *112* (Suppl. S9), I453–I457. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
14. Rodriguez Torres, D.; Torres Quintero, L.; Segura Rodriguez, D.; Garrido Jimenez, J.M.; Esteban Molina, M.; Gomera Martinez, F.; Moreno Escobar, E.; Garcia Orta, R. Surgical management of tricuspid regurgitation: A new algorithm to minimise recurrent tricuspid regurgitation. *Open Heart* **2022**, *9*, e002011. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#) [\[PubMed Central\]](#)
15. Mahesh, B.; Wells, F.; Nashef, S.; Nair, S. Role of concomitant tricuspid surgery in moderate functional tricuspid regurgitation in patients undergoing left heart valve surgery. *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* **2013**, *43*, 2–8. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
16. Chikwe, J.; Anyanwu, A.C. Surgical strategies for functional tricuspid regurgitation. *Semin. Thorac. Cardiovasc. Surg.* **2010**, *22*, 90–96. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)

17. Lancellotti, P.; Moura, L.; Pierard, L.A.; Agricola, E.; Popescu, B.A.; Tribouilloy, C.; Hagendorff, A.; Monin, J.L.; Badano, L.; Zamorano, J.L.; et al. European Association of Echocardiography recommendations for the assessment of valvular regurgitation. Part 2: Mitral and tricuspid regurgitation (native valve disease). *Eur. J. Echocardiogr.* **2010**, *11*, 307–332. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
18. Lang, R.M.; Badano, L.P.; Mor-Avi, V.; Afilalo, J.; Armstrong, A.; Ernande, L.; Flachskampf, F.A.; Foster, E.; Goldstein, S.A.; Kuznetsova, T.; et al. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: An update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging* **2015**, *16*, 233–270; Erratum in *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging* **2016**, *17*, 412; Erratum in *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging* **2016**, *17*, 969. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
19. Maffessanti, F.; Muraru, D.; Esposito, R.; Gripari, P.; Ermacora, D.; Santoro, C.; Tamborini, G.; Galderisi, M.; Pepi, M.; Badano, L.P. Age-, body size-, and sex-specific reference values for right ventricular volumes and ejection fraction by three-dimensional echocardiography: A multicenter echocardiographic study in 507 healthy volunteers. *Circ. Cardiovasc. Imaging* **2013**, *6*, 700–710. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
20. Hahn, R.T.; Zamorano, J.L. The need for a new tricuspid regurgitation grading scheme. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging* **2017**, *18*, 1342–1343. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
21. Hahn, R.T.; Thomas, J.D.; Khaliq, O.K.; Cavalcante, J.L.; Praz, F.; Zoghbi, W.A. Imaging Assessment of Tricuspid Regurgitation Severity. *JACC Cardiovasc. Imaging* **2019**, *12*, 469–490. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
22. Vahanian, A.; Beyersdorf, F.; Praz, F.; Milojevic, M.; Baldus, S.; Bauersachs, J.; Capodanno, D.; Conradi, L.; De Bonis, M.; De Paulis, R.; et al. 2021 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease. *Eur. Heart J.* **2022**, *43*, 561–632; Erratum in *Eur. Heart J.* **2022**, *43*, 2022. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
23. Kitamura, T.; Obase, K.; Nakaji, S.; Matsumaru, I.; Miura, T.; Eishi, K. Risk factors of recurrent tricuspid regurgitation after valve repair with three-dimensional ring. *Acta Med. Nagasaki.* **2022**, *65*, 103–109.
24. Calafiore, A.M.; Lorusso, R.; Kheirallah, H.; Alsaied, M.M.; Alfonso, J.J.; Di Baldassare, A.; Gallina, S.; Gaudino, M.; Di Mauro, M. Late tricuspid regurgitation and right ventricular remodeling after tricuspid annuloplasty. *J. Card. Surg.* **2020**, *35*, 1891–1900. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
25. Maslow, A.; Abisse, S.; Parikh, L.; Apruzzese, P.; Cilia, L.; Gleason, P.; Singh, A.; Poppas, A. Echocardiographic Predictors of Tricuspid Ring Annuloplasty Repair Failure for Functional Tricuspid Regurgitation. *J. Cardiothorac. Vasc. Anesth.* **2019**, *33*, 2624–2633. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
26. Yiu, K.H.; Wong, A.; Pu, L.; Chiang, M.F.; Sit, K.Y.; Chan, D.; Lee, H.Y.; Lam, Y.M.; Chen, Y.; Siu, C.W.; et al. Prognostic value of preoperative right ventricular geometry and tricuspid valve tethering area in patients undergoing tricuspid annuloplasty. *Circulation* **2014**, *129*, 87–92. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
27. Gatti, G.; Dell'Angela, L.; Morosin, M.; Maschietto, L.; Pinamonti, B.; Forti, G.; Benussi, B.; Nicolosi, G.L.; Sinagra, G.; Pappalardo, A. Tricuspid Annuloplasty for Tricuspid Regurgitation Secondary to Left-Sided Heart Valve Disease: Immediate Outcomes and Risk Factors for Late Failure. *Can. J. Cardiol.* **2016**, *32*, 760–766. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
28. Fukuda, S.; Gillinov, A.M.; McCarthy, P.M.; Stewart, W.J.; Song, J.M.; Kihara, T.; Daimon, M.; Shin, M.S.; Thomas, J.D.; Shiota, T. Determinants of recurrent or residual functional tricuspid regurgitation after tricuspid annuloplasty. *Circulation* **2006**, *114* (Suppl. S1), I582–I587. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
29. Topilsky, Y.; Khanna, A.; Le Tourneau, T.; Park, S.; Michelena, H.; Suri, R.; Mahoney, D.W.; Enriquez-Sarano, M. Clinical context and mechanism of functional tricuspid regurgitation in patients with and without pulmonary hypertension. *Circ. Cardiovasc. Imaging* **2012**, *5*, 314–323. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
30. Badano, L.P.; Muraru, D.; Enriquez-Sarano, M. Assessment of functional tricuspid regurgitation. *Eur. Heart J.* **2013**, *34*, 1875–1885. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
31. Song, J.M.; Jang, M.K.; Kim, Y.J.; Kim, D.H.; Kang, D.H.; Song, J.K. Right ventricular remodeling determines tricuspid valve geometry and the severity of functional tricuspid regurgitation: A real-time 3-dimensional echocardiography study. *Korean Circ. J.* **2010**, *40*, 448–453. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#) [\[PubMed Central\]](#)
32. Choi, J.W.; Kim, K.H.; Kim, S.H.; Yeom, S.Y.; Hwang, H.Y.; Kim, K.B. Long-Term Results of Tricuspid Annuloplasty Using MC3 Ring for Functional Tricuspid Regurgitation. *Circ. J.* **2018**, *82*, 2358–2363. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
33. Carino, D.; Zancanaro, E.; Lapenna, E.; Ruggeri, S.; Denti, P.; Iaci, G.; Buzzatti, N.; Calabrese, M.C.; Nascimbene, S.; Sala, A.; et al. Long-term results of tricuspid annuloplasty with 3-dimensional-shaped rings: Effective and durable! *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* **2021**, *60*, 115–121. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
34. Xu, J.; Han, J.; Zhang, H.; Meng, F.; Luo, T.; Tian, B.; Wang, J.; Jiao, Y.; Yu, H.; Meng, X. Risk factors for postoperative recurrent tricuspid regurgitation after concomitant tricuspid annuloplasty during left heart surgery and the association between tricuspid annular circumference and secondary tricuspid regurgitation. *BMC Cardiovasc. Disord.* **2021**, *21*, 50. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#) [\[PubMed Central\]](#)
35. Zhu, T.Y.; Meng, X.; Han, J.; Li, Y.; Ma, N. An alternative intraoperative method based on annular circumference for the decision-making of prophylactic tricuspid annuloplasty. *J. Heart Valve Dis.* **2014**, *23*, 370–376. [\[PubMed\]](#)
36. Popal, M.S.; Fu, J.T.; Hu, Q.M.; Luo, T.G.; Zheng, S.; Meng, X. Intraoperative method based on tricuspid annular circumference in patients with mild or no tricuspid regurgitation during left-sided cardiac valve surgery for the prophylactic tricuspid annuloplasty. *J. Thorac. Dis.* **2018**, *10*, 3670–3678. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#) [\[PubMed Central\]](#)

37. Dreyfus, G.D.; Martin, R.P.; Chan, K.M.; Dulguerov, F.; Alexandrescu, C. Functional tricuspid regurgitation: A need to revise our understanding. *J. Am. Coll. Cardiol.* **2015**, *65*, 2331–2336. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
38. Chen, Y.; Liu, Y.X.; Yu, Y.J.; Wu, M.Z.; Lam, Y.M.; Sit, K.Y.; Chan, D.T.; Ho, C.K.; Ho, L.M.; Fang, L.G.; et al. Prognostic Value of Tricuspid Valve Geometry and Leaflet Coaptation Status in Patients Undergoing Tricuspid Annuloplasty: A Three-Dimensional Echocardiography Study. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* **2019**, *32*, 1516–1525. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
39. Dreyfus, G.D.; Raja, S.G.; John Chan, K.M. Tricuspid leaflet augmentation to address severe tethering in functional tricuspid regurgitation. *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* **2008**, *34*, 908–910. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
40. Lapenna, E.; De Bonis, M.; Verzini, A.; La Canna, G.; Ferrara, D.; Calabrese, M.C.; Taramasso, M.; Alfieri, O. The clover technique for the treatment of complex tricuspid valve insufficiency: Midterm clinical and echocardiographic results in 66 patients. *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* **2010**, *37*, 1297–1303. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
41. Kappert, U.; Tugtekin, S.M.; Ouda, A.; Alexiou, K.; Schmeisser, A.; Schoen, S.; Matschke, K. Right ventricular reduction as an adjunct procedure in tricuspid valve repair. *Ann. Thorac. Surg.* **2008**, *85*, e27–e29. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
42. Matsumiya, G.; Kohno, H.; Matsuura, K.; Sakata, T.; Tamura, Y.; Watanabe, M.; Ueda, H. Right ventricular papillary muscle approximation for functional tricuspid regurgitation associated with severe leaflet tethering. *Interact. Cardiovasc. Thorac. Surg.* **2018**, *26*, 700–702. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
43. Muraru, D.; Hahn, R.T.; Soliman, O.I.; Faletta, F.F.; Basso, C.; Badano, L.P. 3-Dimensional Echocardiography in Imaging the Tricuspid Valve. *JACC Cardiovasc. Imaging* **2019**, *12*, 500–515. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
44. Badano, L.P.; Hahn, R.; Rodriguez-Zanella, H.; Araiza Garaygordobil, D.; Ochoa-Jimenez, R.C.; Muraru, D. Morphological Assessment of the Tricuspid Apparatus and Grading Regurgitation Severity in Patients With Functional Tricuspid Regurgitation: Thinking Outside the Box. *JACC Cardiovasc. Imaging* **2019**, *12*, 652–664, Erratum in *JACC Cardiovasc. Imaging* **2019**, *12*, 953. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
45. Muraru, D.; Gavazzoni, M.; Heilbron, F.; Mihalcea, D.J.; Guta, A.C.; Radu, N.; Muscogiuri, G.; Tomaselli, M.; Sironi, S.; Parati, G.; et al. Reference ranges of tricuspid annulus geometry in healthy adults using a dedicated three-dimensional echocardiography software package. *Front. Cardiovasc. Med.* **2022**, *9*, 1011931. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#) [\[PubMed Central\]](#)
46. Anwar, A.M.; Geleijnse, M.L.; Soliman, O.I.; McGhie, J.S.; Frowijn, R.; Nemes, A.; van den Bosch, A.E.; Galema, T.W.; Ten Cate, F.J. Assessment of normal tricuspid valve anatomy in adults by real-time three-dimensional echocardiography. *Int. J. Cardiovasc. Imaging* **2007**, *23*, 717–724. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#) [\[PubMed Central\]](#)
47. Knio, Z.O.; Montealegre-Gallegos, M.; Yeh, L.; Chaudary, B.; Jeganathan, J.; Matyal, R.; Khabbaz, K.R.; Liu, D.C.; Senthilnathan, V.; Mahmood, F. Tricuspid annulus: A spatial and temporal analysis. *Ann. Card. Anaesth.* **2016**, *19*, 599–605. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#) [\[PubMed Central\]](#)

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

CURRICULUM VITAE

Name, Surname: Aušra Krivickienė
Address: Lithuanian University of Health Sciences, A. Mickevičiaus 9, LT 44307, Kaunas, Lithuania
E-mail: ausra.krivickiene@lsmu.lt
Mobile phone: +370 67784121
Work phone: +370 37 326547

Education:

2013–2017 Resident of Cardiology at Lithuanian University of Health Sciences, Kaunas, Lithuania
2012–2013 Resident of Internal medicine at Kaunas Hospital of Lithuanian University of Health Sciences, Kaunas, Lithuania
2007–2013 Studies at Lithuanian University of Health Sciences
Medical doctor diploma at Lithuanian University of Health Sciences, Kaunas, Lithuania

Postgraduate education:

01/09/2017 – until now PhD student at Lithuanian University of Health Sciences, Kaunas, Lithuania

Professional experience:

01/10/2024 – until now Project researcher in project “ELR SCAR_A novel multi-functional elastin (SB3001)” at Lithuanian University of Health Sciences, Kaunas, Lithuania
01/09/2017 – until now Cardiologist at Cardiology Department of Lithuanian University of Health Sciences Hospital Kauno klinikos, Kaunas, Lithuania

Membership of professional societies:

2013–until now Member of Kaunas Regional Lithuanian Society of Cardiology and Lithuanian Society of Cardiology
2014–until now Member of European Society of Cardiology (ESC)
Member of European Association of Cardiovascular Imaging (EACVI)