

Impedanskardiografijos metodo galimybės diagnozuojant plaučių hipertenziją

Saulius Sadauskas¹, Albinas Naudžiūnas¹, Alvydas Unikauskas¹, Liudas Gargasas², Rimtautas Ruseckas², Rūta Jurkonienė²

¹Lietuvos sveikatos mokslų universiteto Medicinos akademijos Vidaus ligų klinika,

²Lietuvos sveikatos mokslų universiteto Medicinos akademijos Kardiologijos institutas

Raktažodžiai: plaučių hipertenzija, echokardioskopija, impedanskardiografija.

Santrauka. Tyrimo tikslas. Ištirti klinikinių, impedanskardiografijos, echokardioskopijos, krūtinės ląstos rentgenografijos duomenų sąsajas diagnozuojant plaučių hipertenziją sergantiesiems širdies ir kraujagyslių arba kvėpavimo sistemų ligomis.

Tyrimo medžiaga ir metodai. 181 pacientui (80 pacientų, sergančių širdies ir kraujagyslių sistemos patologija, kai echokardioskopiškai nustatyta plaučių arterijos hipertenzija; 69 pacientams, sergantiems širdies ir kraujagyslių sistemos patologija, kai echokardioskopiškai plaučių arterijos hipertenzijos nerasta; 19 pacientų, sergančių plaučių patologija, kai echokardioskopiškai plaučių arterijos hipertenzijos rasta; 13 pacientų, sergančių plaučių patologija, kai plaučių arterijos hipertenzijos nerasta) ištirti buvo taikomi klinikiniai, doimatinės širdies echoskopijos, impedanskardiografijos, kiti instrumentiniai tyrimai siekiant įvertinti, sergančiųjų plaučių hipertenzija duomenų pokyčius.

Rezultatai. Impedanskardiografijos metodo jautrumas, diagnozuojant plaučių hipertenziją pagal vidutinį kraujo spaudimą plaučių arterijoje, 72 proc., specifiškumas – 90 proc., pagal sistolinį kraujo spaudimą plaučių arterijoje jautrumas – 96 proc., specifiškumas – 90 proc. Sudarytas matematinis dvejetainės logistinės regresijos modelis, pagal kurį 96,7 proc. tikslumu galima diagnozuoti plaučių hipertenziją. Svarbiausi impedanskardiografijos duomenys: sistolinis spaudimas plaučių arterijoje bei sistolinio laiko indeksas.

Išvados. Impedanskardiografijos tyrimo metu nustatomi vidutinio ir sistolinio kraujo spaudimo plaučių arterijoje parametrai yra informatyvi. Plaučių hipertenzijos diagnostikos algoritmuose galima būtų naudoti šiuos požymius: prieširdžių virpėjimas, giliųjų venų trombozė, dusulys, cianozė, II tono akcentas plaučių arterijos vožtuvo išklauskymo taške, sistolinis užšesys ties triburiu vožtuvu, plaučių rentgenografijoje rastas padidėjęs plaučių arterijos spindis ≥ 18 mm, padidėjęs dešiniojo skilvelio diametras, impedanskardiografijos metodu apskaičiuotas sistolinis spaudimas plaučių arterijoje bei sistolinio laiko indeksas.

Įvadas

Plaučių hipertenzija – tai plaučių kraujagyslėse padidėjęs kraujo spaudimas, kai dėl įvairių priežasčių progresuoja plaučių kraujagyslių pasipriešinimas, atsiradus dešinėsios širdies nepakankamumui, kurio baigtis letali. Plaučių hipertenzija (PH) yra nereta patologija. Pasaulyje atlikta daug mokslinių tyrinėjimų ir klinikinių studijų siekiant išanalizuoti PH patogenezės, diagnostikos bei gydymo problemas. Klinikinėje praktikoje diagnozuoti PH dažniausiai naudojama: transtorakalinė dvimatė echokardioskopija (EC), elektrokardiografija (EKG), krūtinės ląstos rentgenografija (RO), klinikiniai anamnezės, apžiūros duomenys ir tiksliausias (auksinis standartas) širdies kateterizacijos metodas. Tačiau širdies kateterizacija yra invazinis, brangus tyrimas, todėl PH diagnozuoti naudojamas tik išimtiniais atvejais. Kiti tyrimai yra neinvaziniai, todėl svarbu įvertinti

jų diagnostinį informatyvumą, galimas tarpusavio sąsajas. Minėtos aplinkybės skatina ieškoti pigaus, lengvai atliekamo, neinvazinio, neprastesnio už EC (tiksliausio iš neinvazinių tyrimų), tyrimo metodo PH įvertinti. Toks tyrimas galėtų būti impedanskardiografija (IKG). Palyginus IKG duomenis su kitų, medicinos praktikoje naudojamų tyrimų duomenimis, įvertinus centrinę hemodinamiką, nustatyta aukšta koreliacija, $r=0,64-0,96$ (1–24). Tačiau šiuolaikinėse kompiuterinėse IKG analizės programose nevertinama PH.

Šio tyrimo tikslas – ištirti klinikinių duomenų, IKG rodiklių, echokardioskopijos, krūtinės ląstos rentgenografijos, EKG duomenų sąsajas diagnozuojant plaučių hipertenziją sergantiesiems širdies ir kraujagyslių ar kvėpavimo sistemų ligomis. Tam buvo sukurta IKG aparatūra, kompiuterinės programos duomenims analizuoti, pritaikant anksčiau

Correspondence to S. Sadauskas, Department of Internal Diseases, Medical Academy, Lithuanian University of Health Sciences, Jospvainių 2, 47144 Kaunas, Lithuania
E-mail: ssadauskas@gmail.com

Adresas susirašinėti: S. Sadauskas, LSMU MA Vidaus ligų klinika, Jospvainių 2, 47144 Kaunas
El. paštas: ssadauskas@gmail.com

naudotų fonokardiografijos, pletizmografijos metodų modifikuotas formules spaudimui plaučių arterijoje apskaičiuoti. Tyrimo metu iš naujo apžvelgti PH diagnostikos parametrai, įtraukiant IKG duomenis, jų tarpusavio sąsajos bei vertė.

Tiriamųjų kontingentas ir tyrimo metodai

Į tyrimą buvo įtraukti pacientai, kuriems dažniausiai yra diagnozuojama plaučių hipertenzija, t. y. sergantys pulmonologine ar kardiologine patologija, galinčia sukelti PH. Sveiki asmenys į tyrimą nebuvo traukiami, siekiant sudaryti kiek įmanoma panašesnes tiriamųjų ir kontrolines grupes. Atlikus klinikinius ir instrumentinius tyrimus, pacientai buvo suskirstyti į grupes:

Grupė PP: tiriamieji, kuriems kliniškai ir kardioechoskopiškai diagnozuota plaučių hipertenzija, sąlygota pulmonologinės patologijos, pvz., plaučių parenchimos ligos, lėtinės obstrukcinės plaučių ligos (LOPL), astmos, intersticinės plaučių ligos ir (ar) plaučių arterijos trombembolijos.

Grupė KK: tiriamieji, kuriems kliniškai ir kardioechoskopiškai diagnozuota plaučių hipertenzija, sąlygota kardiologinės patologijos, pvz., mitralinio, aortos vožtuvų patologijos, lėtinės kairiojo skilvelio disfunkcijos, arterinės hipertenzijos.

Grupė P: kontrolinė grupė: sergantieji pirmos grupės ligomis (pulmonologinė patologija, pvz., plaučių parenchimos ligos, lėtinė obstrukcinė plaučių liga (LOPL), astma, intersticinės plaučių ligos ir (ar) plaučių arterijos trombembolija), kuriems kliniškai ir kardioechoskopiškai plaučių hipertenzijos nenustatyta.

Grupė K: kontrolinė grupė: sergantieji antros grupės ligomis (kardiologinė patologija, pvz., mitralinio, aortos vožtuvų patologija, lėtinė kairiojo skilvelio disfunkcija, arterinė hipertenzija ir kt.), kuriems kliniškai ir kardioechoskopiškai plaučių hipertenzijos nenustatyta.

Duomenys buvo renkami gavus Bioetikos komiteto leidimą Nr. 91/2003, 2003 m. spalio 28 d. ir pagal LSMU Vidaus ligų klinikoje patvirtintą protokolą (2003 m. spalio 6 d. Nr. 1).

Atsitiktinės atrankos būdu buvo atrinktas 181 tiriamasis (110 vyrų ir 71 moterų), kurie buvo suskirstyti pagal numatytas tyrimo grupes: grupė PP – 19 tirtųjų; grupė KK – 80 tirtųjų; grupė P – 13 tirtųjų; grupė K – 69 tirtųjų. Tiriamųjų amžius – nuo 18 iki 91 metų. Moterų amžius – nuo 29 iki 91 metų, vidurkis – $64,7 \pm 13,0$ metų. Vyrų amžius – nuo 18 iki 84 metų, vidurkis – $55,9 \pm 16,2$ metų. Plaučių hipertenzija kliniškai ir kardioechoskopiškai buvo patvirtinta (grupės PP ir KK) 99 (55 proc.) pacientams, 82 (45 proc.) pacientams (grupės P ir K) PH nerasta.

Pacientų ištyrimui buvo taikomi klinikinio tyrimo (apklausa, apžiūra, apčiuopa, širdies auskultacija, arterinio kraujospūdžio matavimas), dvimatės širdies echoskopijos ir doplerio tyrimas, impedanskardiogra-

fijos, kiti instrumentiniai (pagal galimybę) tyrimai.

Klinikinio tyrimo metu buvo vertinama: dokumentinė dalis, lytis, amžius (metais), svoris (kilogramais), diagnozė (pagrindinė, gretutinė, komplikacijos); apklausa: anamnezė, dusulys, galvos svaigimas, greitas nuovargis, nebūdingo pobūdžio skausmai krūtinėje, kosulys, nerimas, depresija; objektyvus tyrimas: cianozė, II tono akcentas ties plaučių arterijos vožtuvo išklausymo vieta, epigastriumo pulsacija, kaklo venų persipildymas, diastolinis Graham-Steel ūžesys, sistolinis ūžesys ties triburio vožtuvo išklausymo vieta, edemos, arterinis kraujo spaudimas (AKS).

Dvimatė širdies echoskopija ir doplerio tyrimas

Dvimatės širdies echoskopija bei doplerio tyrimas buvo atliekamas dvimačiu echokardioskopu su spalvotu dopleriu. Tyrimo metu pagal visuotinai patvirtintas metodikas buvo vertinama (25–27):

- Plaučių arterijos (PA) kraujotaka (vidutinis kraujospūdis (VSPA), kraujotaka per triburį vožtuvą (TV), sistolinis kraujospūdis (SSPA), plaučių arterijos diametras (PA)).
- Kraujospūdis dešiniajame prieširdyje.
- Kairiojo skilvelio galinis diastolinis diametras (KSGDD).
- Kairiojo prieširdžio ilgasis matmuo (KPIM) ir trumpasis matmuo (KPTM).
- Dešiniojo prieširdžio ilgasis matmuo (DPIM) ir trumpasis matmuo (DPTM).
- Dešiniojo skilvelio diametras (DS).
- Masės indeksas (MMI).
- Išstūmio frakcija (IF).

Elektrokardiografija (EKG)

Elektrokardiografijos metu buvo ieškoma požymių, pagal kuriuos galima įtarti esant plaučių hipertenziją (ieškota dešinėsios širdies patologijos požymių):

- Dešinėsios širdies hipertrofijos požymiai ($Rv1 > 0,7$; $R/S > 1$; $Sv5,6 > 0,7$ mV).
- Sokolovo indeksas ($Rv1 + Sv5 \geq 1,05$ mV).
- Dešiniojo skilvelio repoliarizacijos sutrikimai (suplokštėjęs arba neigiamas T dantelis V2–V3, ST depresija II, III, AVF).
- P pulmonale ($P_{II} \geq 0,25$ mV).
- Dešinėsios Hiso pluošto kojytės blokada.

Krūtinės ląstos rentgenografija

Krūtinės ląstos rentgenografijos metu buvo ieškoma požymių, pagal kuriuos galima įtarti esant plaučių hipertenziją:

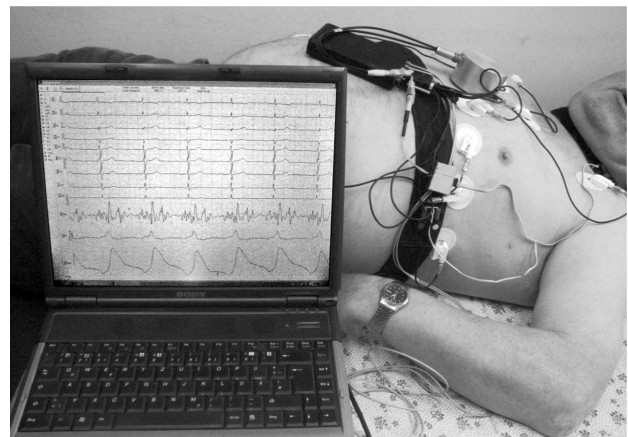
- Padidėjęs plautinio kamieno lankas.
- Dešinėsios plaučių arterijos spindis tarpinio broncho lygmenyje ≥ 18 mm.
- Padidėjęs dešinysis prieširdis ir dešinysis skilvelis.

- Plaučių šaknų amputacijos požymis.
- Periferijoje išnykęs plaučių piešinys (šviesūs laukai).

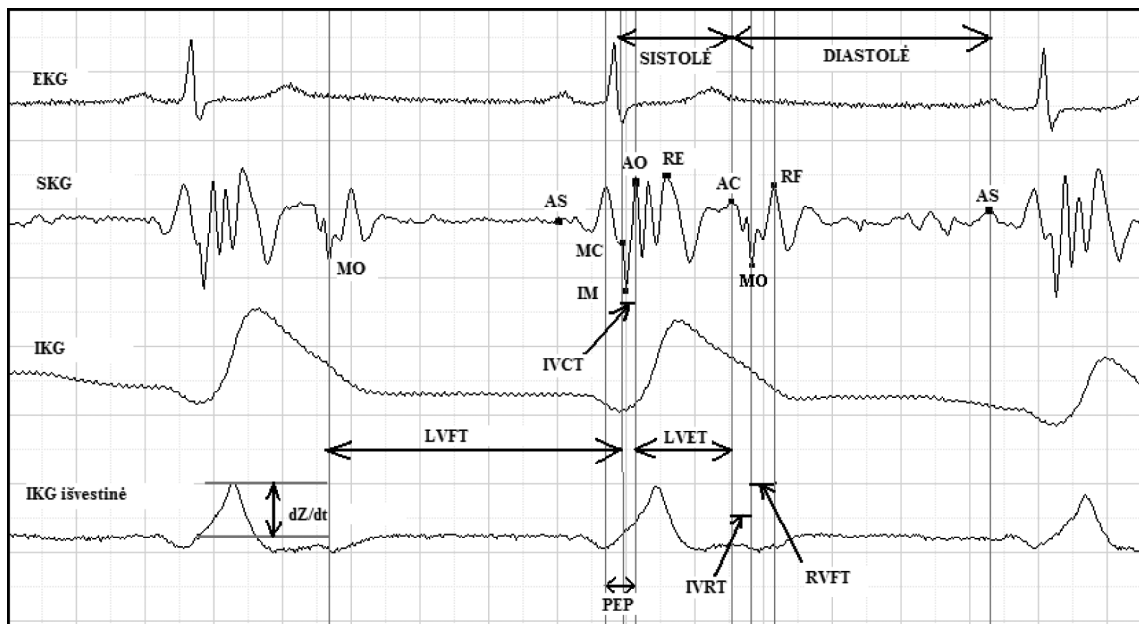
Impedanskardiogramos parametrų apskaičiavimas ir įvertinimas

Impedanskardiografija yra neinvazinis kraujo tekėjimo kurio nors organo ar srities kraujagyslėmis tyrimas, pagrįstas audinių pasipriešinimo (varžos) per juos tekančiai didelio dažnio elektros srovei kitimo nustatymu. Impedanskardiograma – tai grafinis kūno audinių pasipriešinimo (varžos) per juos tekančiai elektros srovei vaizdas, įrašytas atvirkščio poliariškumo principu, tai yra įrašė pateikiamas ne varžos, bet atvirkštinio dydžio – elektrinio laidumo kitimas, sukeltas kraujo kiekio kitimu krūtinėje esančiose kraujagyslėse, tarp kurių ir plaučių arterijoje širdies sistolės bei diastolės metu. Tyrimui atlikti buvo naudojama tetrapoliarinės impedanskardiogramos registravimo metodika pagal Kubičeką, kai dvi poros elektrodų uždedamos ant paciento kaklo ir apatinėje krūtinės dalyje. Išoriniais elektrodais leidžiama žemos įtampos, aukšto dažnio 50 kHz elektrosrovė, o potencialų skirtumas registruojamas vidiniais elektrodais. Tyrimas atliktas naudojant LSMU MA Kardiologijos instituto Kardiologinių tyrimų automatizacijos laboratorijoje sukurtą polikardiosignalų kompiuterinės analizės sistemą, susidedančią iš techninės įrangos bei kardiosignalų analizei skirtų algoritmų ir programų paketo. Sistemos techninę įrangą sudaro kompiuteris, 15 kanalų

mikroprocesorinis signalų registratorius ir jutikliai, skirti įprastinės 12-kos atvadų elektrokardiogramos (EKG), impedanskardiogramos (IKG) bei seismokardiogramos (SKG) registravimui (1 pav.). Užregistruoti analoginiai kardiosignalai diskretizuojami 2000 Hz kvantavimo dažniu ir įrašomi į kompiuterį. SKG, kuri rodo širdies mechaninę veiklą ir registruojama piezoelektriniu jutikliu, padeda gana tiksliai nustatyti įvairius širdies veiklos momentus, pvz., širdies vožtuvų atsідarymas ir užsidarymas, o tai savo ruožtu sudaro galimybę tiksliau identifikuoti būdingus IKG taškus bei išmatuoti joje plaučių hipertenzijos diagnostikai svarbius laiko intervalus: laikotarpį prieš išstūmimą arba išstūmimo iš kairiojo skilvelio laikotarpį (2 pav.).



1 pav. EKG, IKG ir SKG registravimas



2 pav. Charakteringi taškai bei laiko intervalai, nustatomi sinchroniškai registruotose EKG, SKG, IKG bei IKG išvestinėje

AS – prieširdžių sistolė; MC – mitralinio vožtuvo užsidarymas; IM – izotūrinis judesys; AO – aortos vožtuvo atsідarymas; RE – greitas sistolinis kraujo išstūmimas; AC – aortos vožtuvo užsidarymas; MO – mitralinio vožtuvo atsідarymas; RF – ankstyvas greitas prisipildymas; PEP – priešišstūmimo laikotarpis (QRSo–AO); LVET – išstūmimo laikas iš kairiojo skilvelio (AO–AC); LVFT – kairiojo skilvelio prisipildymo laikas (MO–MC); IVCT – izotūrinės kontrakcijos laikas (MC–AO); IVTR – izotūrinės relaksacijos laikas (AC–MO); RVFT – greito skilvelių prisipildymo laikas (MO–RF), dZ/dt – impedanso pokytis.

Polikardiosignalų kompiuterinės analizės sistemos programų paketas atlieka šias funkcijas: registruoja signalus kompiuteryje, filtruoja signalus nuo įvairaus dažnio triukšmų, atpažįsta signalų būdingus taškus, atlieka amplitudžių ir intervalų matavimą (2 pav.), skaičiuoja širdies hemodinaminę veiklą nusakančius parametrus, atlieka surastų parametrų diagnostinę interpretaciją.

Taikant IKG metodikose naudojamas formules ir metodus, apskaičiuoti šie parametrai (28–40):

- Širdies išstūmio tūris (sistolinis tūris (SV)).
- Širdies išstūmio tūrio indeksas (sistolinis indeksas (SI)).
- Širdies minutinis tūris (CO).
- Širdies indeksas (CI).
- Sisteminis kraujagyslių pasipriešinimas (SVR).
- Vidutinis arterinis kraujo spaudimas (MAP).
- SVR indeksas (SVRI).
- Bendra arterijų compliancija (stangrumas) (TAC).
- TAC indeksas (TACI).
- Greičio indeksas (VI).
- Kontraktiliškumo indeksas (KI).
- Sistolinio laiko santykis (STR).
- STR indeksas (STRI).
- Kairiosios širdies darbas (LCW).
- LCW indeksas (LCWI).
- Kairiosios širdies smūginio darbo indeksas (LSWI).
- Krūtinės skysčio talpa (TFC).
- TFC indeksas (TFCI).
- Rezervo koeficientas (RK).
- Sistolinis spaudimas plaučių arterijoje (SSPAIKG), apskaičiuotas pagal tyrimo metu pakoreguotą Burstin formulės Novoderiožkinos modifikaciją:

$$\text{SSPAIKG (mm Hg)} = 702 \times \text{PEP} - 52,8, \quad (1)$$

čia: PEP – laikas iki skilvelių susitraukimo.

- Diastolinis spaudimas plaučių arterijoje (DSPAIKG), apskaičiuotas pagal šio darbo metu pakoreguotą Burstin formulės Novoderiožkinos modifikaciją:

$$\text{DSPAIKG (mm Hg)} = 345 \times \text{PEP} - 26,7, \quad (2)$$

čia: PEP – laikas iki skilvelių susitraukimo.

- Vidutinis spaudimas plaučių arterijoje (VSPAIKG):

$$\text{VSPAIKG (mm Hg)} = (\text{SSPAIKG} - \text{DSPAIKG}) / 3 + \text{DSPAIKG}, \quad (3)$$

čia: SSPAIKG – sistolinis kraujo spaudimas plaučių arterijoje IKG; DSPAIKG – diastolinis kraujo spaudimas plaučių arterijoje IKG.

Bendras pasipriešinimas plaučių kraujagyslėse (BPPK):

$$\text{BPPK (din s/cm}^{-5}\text{)} = (0,42 \times \text{SSPAIKG} + 0,58 \times \text{DSPAIKG}) \times 80 / \text{CO}, \quad (4)$$

čia: SSPAIKG – sistolinis kraujo spaudimas plaučių ar-

terijoje IKG; DSPAIKG – diastolinis kraujo spaudimas plaučių arterijoje IKG; CO – širdies minutinis tūris.

Statistinis duomenų įvertinimas

Duomenų kaupimas ir statistinė analizė atlikta kompiuterine „Windows“ operacinės sistemos paketų rinkinio „Microsoft Office 2003“ skaičiuokle „Excel“ ir „SPSS 13“ paketu (Statistical Package for Social Sciences 13.0 for Windows).

Tyrimo metu vertinti parametrai pagal jų pobūdį suskirstyti į dvi grupes: 1) kokybiniai dydžiai (atsakymas – yra/nėra); 2) kiekybiniai dydžiai (duotas tikslus atsakymas skaičiais).

Kokybinių duomenų analizė. Vertinama, ar kokybiniai duomenys turi įtakos plaučių hipertenzijos diagnostikai. Norint nustatyti priklausomybę tarp tiriamojo požymio ir PH, taikomas asimptominis chi kvadrato (χ^2) arba tikslusis Fisherio kriterijai, kuriuos taikant H_0 hipotezė teigia, kad požymiai yra nepriklausomi (taigi, kad tiriamasis požymis turėtų įtakos PH diagnostikai, H_0 turi būti atmesta ($p < 0,05$)). Norint įvertinti tiriamųjų požymių koreliaciją su PH, taikytas Pirsono kontingencijos koeficientas (r_p), taikant šį testą, H_0 hipotezė teigia, kad koreliacijos nėra, jei $p > 0,05$.

Kitų etapų metu tirti kiekybiniai duomenys, įvertinti jų statistiniai duomenys, esant ir nesant PH. Norint nustatyti, ar yra statistiškai patikimas skirtumas tarp sergančiųjų ir nesergančiųjų PAH, analizei buvo taikytas neparametrinis kriterijus – Mann-Whitney U testas. Taikant šį testą, H_0 hipotezė teigia, kad skirtiniai nesisiria, jei $p > 0,05$.

Logistinės regresijos metodu nustatėme, kurie požymiai turėjo didžiausią įtaką (reikšmę) diagnozuojant PH. Taikytas pažingsninis maksimalaus tikėtimumo metodas, pagal kurį atrinkti tie požymiai, kurie statistiškai patikimai susiję su PH diagnostika. Kadangi priklausomas kintamasis yra dvejetainis (0 – neserga, 1 – serga), tai tokiame modeliui sudaryti pritaikyta dvejetainė logistinė regresija. Koeficientai buvo parenkami taip, kad duomenys būtų labiausiai tikėtini. Kadangi logistinės regresijos modelis yra netiesinis, tai parametrams vertinti naudoti iteraciniai algoritmai. Kiekviename žingsnyje apskaičiuotas Nagelkerke R^2 pseudodeterminacijos koeficientas (kuo koeficientas didesnis, tuo geriau logistinė regresija suderinta su duomenimis). Modelio suderinamumas su duomenimis patikrintas taikant chi kvadrato (χ^2) kriterijų (modelis tinka, kai $p < 0,05$) ir Hosmer-Lemeshow testą (modelis tinka, kai $p > 0,05$). Kitų etapų metu apskaičiuoti modelio atrinktų tiriamųjų duomenų požymių logistinės regresijos koeficientai β , statistinis jų patikimumas (tikimybė, kad gautos parametrų reikšmės nėra lygios nuliui – Wald kriterijus, modelis tinka, kaip $< 0,05$), šansų santykis (OR – angl. *odds ratio*, galimybė įvykti įvykiui) ir jų 95 proc. pasikliautiniai intervalai apskaičiuoti kiekvienam analizuojamam požymiui. Pagal gautus koeficientus sudaryta logistinės regresijos modelio lygtis.

Įvertinti IKG metodo naudą, pritaikant medicinos praktikoje, buvo apskaičiuotas metodo jautrumas ir specifiškumas (lyginant jį su echokardioskopijos duomenimis).

Rezultatai

Kokybinių duomenų analizė. Buvo vertinama, ar kokybiniai duomenys turi įtakos plaučių arterijos hi-

pertenzijos (PH) diagnostikai (pagrindiniai duomenys pateikiami 1 lentelėje).

Kito etapo metu buvo tiriami kiekybiniai duomenys, įvertinti jų statistiniai duomenys, esant ir nesant PH (pagrindiniai duomenys pateikiami 2 lentelėje).

Kito etapo metu įvertintas impedanskardiografijos (IKG) metodo, lyginant su kardioechoskopija (EC), jautrumas ir specifiškumas, nustatant krau-

1 lentelė. Tiriamųjų požymių – plaučių hipertenzijos priklausomybė ir koreliacija

Požymis		PH		χ^2 , p	Pirsono kontingencijos koeficientas
		nerasta	rasta		
Lytis	Moterys	26	45	0,032	$r_p=0,147$, $p=0,049$
	Vyrai	57	53		
Prieširdžių virpėjimas	Rasta	5	33	<0,001	$r_p = 0,32$, $p<0,001$
	Nerasta	78	65		
Lėtinis širdies nepakankamumas	Rasta	62	85	0,03	$r_p=0,152$, $p=0,055$
	Nerasta	21	13		
Arterinė hipertenzija	Rasta	52	47	0,034	$r_p=0,145$, $p=0,053$
	Nerasta	31	51		
Giliųjų venų trombozė	Rasta	7	28	<0,001	$r_p=0,246$, $p<0,001$
	Nerasta	76	70		
Lėtinė obstrukcinė plaučių liga	Rasta	13	10	0,191	$r_p=0,081$, $p=0,371$
	Nerasta	70	88		
Astma	Rasta	3	4	0,592	$r_p=0,012$, $p=1,000$
	Nerasta	80	94		
Dusulys	Rasta	49	85	<0,001	$r_p=0,3$, $p<0,001$
	Nerasta	34	13		
Netipinio pobūdžio skausmai krūtinėje	Rasta	29	51	0,015	$r_p=0,169$, $p=0,025$
	Nerasta	54	47		
Kosulys	Rasta	20	31	0,169	$r_p=0,083$, $p=0,32$
	Nerasta	63	67		
Cianozė	Rasta	16	43	<0,001	$r_p=0,253$, $p<0,001$
	Nerasta	67	55		
II tono akcentas plaučių arterijos vožtuvo išklaušymo taške	Rasta	29	75	<0,001	$r_p=0,387$, $p<0,001$
	Nerasta	54	23		
Epigastriumo pulsacija	Rasta	13	40	<0,001	$r_p=0,266$, $p<0,001$
	Nerasta	70	58		
Kaklo venų sistolinis prisipildymas	Rasta	9	28	0,002	$r_p=0,214$, $p=0,005$
	Nerasta	74	70		
Sistolinis užšesys ties triburiu vožtuvu	Rasta	43	88	<0,001	$r_p=0,39$, $p<0,001$
	Nerasta	40	10		
Rentgenologiškai plaučių arterijos spindis ≥ 18 mm	Rasta	22	87	<0,001	$r_p=0,35$, $p<0,001$
	Nerasta	60	22		

2 lentelė. Duomenų statistiniai parametrai, pagrindinių rodiklių Mann-Whitney U testas, vertinant tiriamųjų požymių vidurkius plaučių hipertenzijai diagnozuoti

Požymis	PH	Vidurkis	Standartinis nuokrypis	Vidurkio vidutinė kvadratinė paklaida	Mann-Whitney U testas, p
STR	Rasta	0,5305	0,0928	0,00937	
	Nerasta	0,3488	0,08791	0,00965	
STRI	Rasta	0,709	0,2425	0,0245	<0,001
	Nerasta	0,413	0,1429	0,0157	
LCW	Rasta	5,993	3,5072	0,3543	
	Nerasta	7,372	3,8929	0,4273	
LCWI	Rasta	3,199	1,8356	0,1854	
	Nerasta	3,801	1,8071	0,1984	
LSWI	Rasta	42,203	24,4885	2,4737	0,012
	Nerasta	54,841	25,7543	2,8269	

2 lentelės tęsinys

TFCI	Rasta	22,29	6,0522	0,6114	
	Nerasta	21,771	4,3317	0,4755	
RK	Rasta	0,9858	0,46902	0,04738	0,043
	Nerasta	1,1446	0,51282	0,05629	
BPPK	Rasta	648,49	355,627	35,924	<0,001
	Nerasta	309,04	177,677	19,503	
KSGDD	Rasta	54,68	9,139	0,923	<0,001
	Nerasta	49,81	7,53	0,826	
KPIM	Rasta	63,8	13,781	1,392	
	Nerasta	54,04	10,137	1,113	
KPTM	Rasta	47,35	10,278	1,038	
	Nerasta	40,14	7,849	0,862	
DPIM	Rasta	57,73	12,663	1,279	
	Nerasta	49,16	8,177	0,898	
DPTM	Rasta	43,35	9,656	0,975	
	Nerasta	36,14	5,178	0,568	
DS	Rasta	39,02	8,811	0,89	<0,001
	Nerasta	31,45	4,714	0,517	
MMI	Rasta	144,41	31,112	3,143	<0,001
	Nerasta	124,87	35,365	3,882	
IF	Rasta	38,38	12,133	1,226	<0,001
	Nerasta	48,35	8,61	0,945	
PA	Rasta	26,15	3,665	0,37	<0,001
	Nerasta	23,69	2,758	0,303	
PEP	Rasta	138,2	21,147	2,136	<0,001
	Nerasta	92,94	21,992	2,414	
LVET	Rasta	263,17	52,222	5,275	0,042
	Nerasta	275,47	38,603	4,237	
BSA	Rasta	1,876	0,2317	0,0234	
	Nerasta	1,914	0,2374	0,0261	
SV	Rasta	63,7	31,828	3,215	
	Nerasta	84,92	41,422	4,547	
SI	Rasta	34,13	16,295	1,646	<0,001
	Nerasta	44,02	19,74	2,167	
CO	Rasta	4,88	2,4025	0,2427	0,015
	Nerasta	5,967	3,0775	0,3378	
CI	Rasta	2,618	1,2427	0,1255	0,021
	Nerasta	3,101	1,4225	0,1561	
SVR	Rasta	1789,8	801,719	80,986	
	Nerasta	1580,46	810,31	88,943	
SVRI	Rasta	3371,44	1691,331	170,85	
	Nerasta	2928,27	1449,177	159,068	
TAC	Rasta	12,263	6,5996	0,6667	
	Nerasta	17,214	10,4896	1,1514	
TACI	Rasta	6,603	3,4775	0,3513	<0,001
	Nerasta	9,346	6,105	0,6701	
VI	Rasta	38,68	19,141	1,934	0,018
	Nerasta	45,33	19,753	2,168	
KI	Rasta	0,5645	0,32521	0,03285	
	Nerasta	0,7111	0,40609	0,04457	

STR – sistolinio laiko santykis, STRI – STR indeksas (/s), LCW – kairiosios širdies darbas (kg m), LCWI – LCW indeksas (kg m/m²), LSWI – kairiosios širdies smūginio darbo indeksas (g m/m²), TFCI – krūtinės skysčio talpos indeksas (/kOhm/m²), RK – rezervo koeficientas, BPPK – bendras pasipriešinimas plaučių kraujagyslėse (din s/cm²), KSGDD – kairiojo skilvelio galinis diastolinis diametras (mm), KPIM – kairiojo prieširdžio ilgis matmuo (mm), KPTM – kairiojo prieširdžio trumpasis matmuo (mm), DPIM – dešiniojo prieširdžio ilgis matmuo (mm), DPTM – dešiniojo prieširdžio trumpasis matmuo (mm), DS – dešiniojo skilvelio diametras (mm), MMI – miokardo masės indeksas (g/m²), IF – išstūmio frakcija (proc.), PA – plaučių arterijos diametras (mm), PEP – priešišstūmio periodas (msec), LVET – kairiojo skilvelio išvavimo laikas (msec), BSA – kūno paviršiaus plotas (m²), SV – sistolinis tūris (ml), SI – sistolinis indeksas (ml/m²), CO – minutinis tūris (l/min), CI – širdies indeksas (l/min/m²), SVR – sisteminis kraujagyslių pasipriešinimas (dyne s cm⁻⁵), SVRI – SVR indeksas (dyne s cm⁻⁵ m²), TAC – bendroji arterijų kompliancija (stangrumas) (ml/mm Hg¹), TACI – TAC indeksas (ml/m²/mm Hg), VI – greičio indeksas (/1000⁻¹ sec⁻¹), KI – kontraktiškumo indeksas.

3 lentelė. Impedanskardiografijos metodo jautrumas ir specifiškumas diagnozuojant plaučių hipertenziją

Tyrimas	Jautrumas (proc.)	Specifiškumas (proc.)
Vidutinis spaudimas plaučių arterijoje	73	90
Sistolinis spaudimas plaučių arterijoje	96	90

jo spaudimą plaučių arterijoje (duomenys pateikti 3 lentelėje).

Logistinės regresijos metodu nustatėme, kurie požymiai turėjo didžiausią įtaką (reikšmę) diagnozuojant PH. Sudarius požymių klasifikacijos lentelę, pasirinktas reikiamas logistinės regresijos žingsnis, konkrečiu atveju penktasis (pageidautina, kad spėjimų teisingų atsakymų būtų >50 proc.). Kito etapo metu apskaičiuoti modelio atrinktų tiriamųjų duomenų požymių logistinės regresijos koeficientai β , statistinis jų patikimumas (tikimybė, kad parametru reikšmės nėra lygios nuliui – Wald kriterijus, šansų santykis (OR – odds ratio, įvykio galimybė) ir jų 95 proc. pasikliautinieji intervalai, apskaičiuoti kiekvienam analizuojamam požymiui (duomenys pateikiami 4 lentelėje).

Pagal gautus koeficientus sudaryta logistinės regresijos modelio lygtis (žr. formulę Nr. 5):

$$PH (l.r) = -2,534 \times AH + 4,834 \times ROAP + 0,306 \times DS + 0,359 \times SSPAIG + 11,04 \times STRI - 30,716, \quad (5)$$

čia: PH (l.r) – plaučių arterijos hipertenzijos diagnostikos regresijos modelio lygties atsakymas; AH – arterinė hipertenzija; ROAP – rentgenologiškai plaučių arterijos spindis ≥ 18 mm; DS – dešiniojo skilvelio diametras (mm); SSPAIG – sistolinis spaudimas plaučių arterijoje, apskaičiuotas impedanskardiografijos metodu; STRI – sistolinio laiko indeksas (/s).

Rezultatų aptarimas

Tyrimo tikslas – įvertinti impedanskardiografijos (IKG), kaip saugaus, neinvazinio, pigaus, paprastai atliekamo, nereikalaujančio specialaus personalo paruošimo, diagnostikos metodo efektyvumą ieškant plaučių hipertenzijos, papildomų IKG parametru sąlyčio taškų su kitais, medicinos praktikoje naudojamais tyrimų metodais pacientams, sergantiems širdies ir kraujagyslių, kvėpavimo sistemos ligomis. Literatūroje kompiuterinės IKG analizės klausimais (28–31) nepavyko rasti duomenų, kad šiuo metu klinikinėje praktikoje naudojamose kompiuterinėse IKG analizės sistemose būtų programos, skirtos plaučių arterijos hipertenzijai diagnozuoti arba sistoliniam spaudimui plaučių arterijoje matuoti. Naudojant šiuolaikines technologijas, LSMU MA Kardiologijos institute buvo sukurta sinchroninio 15 kanalų polikardiosignalų – 12-kos atvadų EKG, impedanskardiogramos, impedanskardiogramos pirmosios išvestinės, seismokardiogramos registravimo bei kompiuterinės šių signalų analizės sistema, kuri naudojant buvo atliktas šis tyrimas, atskleidžiantis naujas IKG galimybes nustatant kraujo spaudimą plaučių arterijoje bei įvertinant kitus hemodinaminis plaučių arterijos hipertenzijos diagnostikos parametrus.

Tiriamųjų grupės sudarytos siekiant, kad kontrolinė grupė visomis charakteristikomis, išskyrus plaučių hipertenziją, būtų kiek įmanoma panaši į testavimo grupę. Tirti pacientai, kuriems dažniausiai medicinos praktikoje diagnozuojama plaučių hipertenzija, t. y. širdies ir kraujagyslių bei kvėpavimo sistemų ligomis sergantys pacientai ir kontrolinių grupių pacientams spaudimas plaučių arterijoje buvo normalus. Taip pat nagrinėjome amžiaus, širdies kardioechoskopinių duomenų, tiriamųjų skundų, rentgenologinių, EKG duomenų įtaką plaučių arterijos hipertenzijai. Dėl šių priežasčių į kontrolines grupes neįtraukti sveiki asmenys.

4 lentelė. Logistinės regresijos modelio lygties koeficientai ir šansų santykis

Žingsnio numeris	Tiriamieji duomenys	Beta koeficientas	Beta vidutinė kvadratinė paklaida	Wald kriterijus, p	Šansų santykis (exp(B))	Šansų santykio 95 proc. pasikliautinieji intervalai	
						apatinė riba	viršutinė riba
5	AH	-2,534	1,386	0,068	0,079	0,005	1,2
	ROAP	4,834	1,626	0,003	125,655	5,189	3042,584
	DS	0,306	0,126	0,016	1,357	1,06	1,739
	SSPAIG	0,359	0,095	<0,001	1,432	1,188	1,725
	STRI \times 10 konstanta	1,104 -30,716	0,448 8,687	0,014 <0,001	3,016 0	1,253	7,261

AH – arterinė hipertenzija; ROAP – rentgenologiškai plaučių arterijos spindis ≥ 18 mm; DS – dešiniojo skilvelio diametras (mm); SSPAIG – sistolinis spaudimas plaučių arterijoje, apskaičiuotas impedanskardiografijos metodu; STRI – sistolinio laiko indeksas (/s).

Įvertinus duomenis, rasta, kad iš kokybinių požymių PH diagnostikai didžiausios įtakos turėjo (pagal chi kvadrato (χ^2) kriterijų, $p < 0,05$, 1 lentelė): anamnezėje rastas prieširdžių virpėjimas, giliųjų venų trombozė, apžiūros metu rastas dusulys, nebūdingo pobūdžio skausmai krūtinėje, cianozė, II tono akcentas plaučių arterijos vožtuvo išklausymo taške, epigastriumo pulsacija, kaklo venų sistolinis prisipildymas, sistolinis ūžesys ties triburiumu vožtuvu, plaučių rentgenografijoje rastas padidėjęs plaučių arterijos spindis. O stipri koreliacija tarp požymio ir PH diagnostikos rasta tiriant šiuos požymius: anamnezėje rastas prieširdžių virpėjimas, giliųjų venų trombozė, apžiūros metu rastas dusulys, cianozė, II tono akcentas plaučių arterijos vožtuvo išklausymo taške, sistolinis ūžesys ties triburiumu vožtuvu, plaučių rentgenografijoje rastas padidėjęs plaučių arterijos spindis. Taigi, šiuos požymius reikėtų įtraukti į PH diagnostikos algoritmus. Įvertinus kiekybinius duomenis, rasta, kad sergančiųjų PH kardioechoskopiniai parametrai blogesni (padidėjęs kairiojo skilvelio galinis diastolinis diametras, kairiojo prieširdžio ilgasis matmuo, kairiojo prieširdžio trumpasis matmuo, dešiniojo prieširdžio ilgasis matmuo, dešiniojo prieširdžio trumpasis matmuo, dešiniojo skilvelio diametras, plaučių arterijos diametras, sumažėjusi išstūmio frakcija) ir impedanskardiografijos parametrai (sumažėjęs sistolinis tūris, sistolinis indeksas, minutinis tūris, širdies indeksas; padidėjęs sisteminis kraujagyslių pasipriešinimas, bendras pasipriešinimas plaučių kraujagyslėse, sisteminio kraujagyslių pasipriešinimo indeksas; sumažėjusi bendra arterijų compliacija (stangrumas), compliacijos indeksas, greičio indeksas, kontraktiškumo indeksas, rezervo koeficientas; padidėjęs sistolinio laiko santykis, sistolinio laiko santykio indeksas; sumažėjęs kairiosios širdies darbas, širdies darbo indeksas, kairiosios širdies smūginio darbo indeksas. Patikrinus pagrindinių rodiklių (sistolinio laiko santykio indekso, kairiosios širdies smūginio darbo indekso, rezervo koeficiento, bendrojo pasipriešinimo plaučių kraujagyslėse, kairiojo skilvelio galinio diastolinio diametro, dešiniojo skilvelio diametro, masės indekso, išstūmio frakcijos, plaučių arterijos diametro, priešišstūmio laikotarpio, kairiojo skilvelio išstūmio laiko, sistolinio indekso, minutinio tūrio, širdies indekso, arterijų compliacijos indekso, greičio indekso) skirtumus (pagal Mann-Whitney U testą, $p < 0,05$), nustatyti statistškai patikimi duomenų skirtumai tarp sergančiųjų ir nesergančiųjų plaučių hipertenzija (2 lentelė). Gauti duomenys neprieštaruoja medicininei logikai, tai yra pagal patogenezę rodiklių dinamika atitinka patologinius procesus, vykstančius širdies ir kraujagyslių bei plaučių sistemose.

Norint įvertinti papildomų duomenų reikšmę, diagnozuojant PH, naudotas logistinės regresijos

metodas (4 lentelė). Rasta, kad didžiausią vertę (pagal šansų santykį) PH diagnostikai pagal logistinės regresijos modelį turėjo šie tiriamieji požymiai: arterinė hipertenzija; rentgenologiškai rastas plaučių arterijos spindis ≥ 18 mm; dešiniojo skilvelio diametras; sistolinis spaudimas plaučių arterijoje, apskaičiuotas impedanskardiografijos metodu; sistolinio laiko indeksas. Šiuos duomenis galima būtų panaudoti plaučių hipertenzijos diagnostikos algoritmuose, taikant logistinės regresijos formules, apskaičiuojant kompiuterinėmis programomis plaučių arterijos hipertenzijos galimybę.

Tyrimo metodą pritaikant medicinos praktikoje, labai svarbu žinoti jo jautrumą ir specifiškumą. Laikoma, kad metodas yra tinkamas, kai abu šie rodikliai viršija 80 proc. Apžvelgus gautus duomenis, nustatyta, kad vertinant bendrai visus tiriamuosius, IKG metodo jautrumas, nustatant plaučių hipertenziją pagal vidutinį kraujo spaudimą plaučių arterijoje – 72 proc., specifiškumas – 90 proc., vertinant bendrai visus tiriamuosius, nustatant plaučių hipertenziją pagal sistolinį kraujo spaudimą plaučių arterijoje, jautrumas – 96 proc., specifiškumas – 90 proc. (3 lentelė). Galima teigti, kad IKG metodas yra pakankamai jautrus ir specifiškas diagnozuojant PH.

Tyrimo duomenys rodo, kad IKG metodas gali būti naudingas tyrimas siekiant atskirti sergančius ir nesergančius PH pacientus. Norint įvertinti tikslų spaudimą plaučių arterijoje, PH laipsnį šiuo metodu reikalingi tolesni tyrimai, apimant didesnes tiriamųjų grupes. Žinoma, būtų geriau IKG duomenis lyginti su invaziniais, tiesioginiais tyrimo metodais, pvz., širdies kateterizacija, tačiau dėl nedidelio šios procedūros skaičiaus ir dėl pacientų saugumo šio tyrimo metu nuspręsta lyginti IKG su EC – dažniausiai medicinos praktikoje naudojamu ir patvirtintu metodu nustatyti spaudimą plaučių arterijoje. Todėl, vertinant tyrimo duomenis, būtina atsižvelgti į EC metodo diagnostinį informatyvumą, lyginant su širdies kateterizacijos metodu, nes koreliacijos koeficientas, lyginant šiuos metodus, įvairių autorių duomenimis, svyruoja intervalu $r = 0,57 - 0,93$ (41–42).

Išvados

Impedanskardiografijos tyrimo metu nustatomi vidutinio ir sistolinio kraujo spaudimo plaučių arterijoje parametrai diagnostikai yra informatyvūs: nustatant plaučių hipertenziją pagal vidutinį kraujo spaudimą plaučių arterijoje jautrumas yra 72 proc., specifiškumas – 90 proc., pagal sistolinį kraujo spaudimą plaučių arterijoje, jautrumas yra 96 proc., specifiškumas – 90 proc. Todėl, diagnozuojant plaučių hipertenziją impedanskardiografijos metodu, geriau naudoti sistolinį spaudimą.

Sudarytas matematinis dvejetainės logistinės regresijos modelis, kurį naudojant galima 96,7 proc. tikslumu diagnozuoti plaučių hipertenziją. Rentge-

nologiškai rastas plaučių arterijos spindis ≥ 18 mm – 126 karto, dešiniojo skilvelio diametras – 1,4 karto, sistolinis spaudimas plaučių arterijoje, apskaičiuotas impedansskardiografijos metodu – 1,4 karto, sistolinio laiko indeksas tris kartus padidina plaučių hipertenzijos diagnostikos galimybę, šių dydžių reikšmėms padidėjus vienetu.

Plaučių hipertenzijos diagnostikos algoritmuose tikslinga naudoti logistinės regresijos metodu pa-

tikslintus šiuos papildomus požymius: prieširdžių virpėjimą, giliųjų venų trombozę, dusulį, cianozę, II tono akcentą plaučių arterijos vožtuvo išklausymo taške, sistolinį ūžesį ties triburiu vožtuvu, plaučių rentgenografijoje padidėjusį plaučių arterijos spindį ≥ 18 mm, padidėjusį dešiniojo skilvelio diametrą, impedansskardiografijos metodu apskaičiuotą sistolinį spaudimą plaučių arterijoje bei sistolinio laiko indeksą.

Diagnostic capabilities of impedance cardiography method in pulmonary hypertension

Saulius Sadauskas¹, Albinas Naudžiūnas¹, Alvydas Unikauskas¹, Liudas Gargasas², Rimtautas Ruseckas², Rūta Jurkonienė²

¹Department of Internal Diseases, Medical Academy, Lithuanian University of Health Sciences,

²Institute of Cardiology, Medical Academy, Lithuanian University of Health Sciences, Lithuania

Key words: pulmonary hypertension; echocardiography; impedance cardiography.

Summary. *The objective of this study* was to investigate the associations among clinical, impedance cardiography, echocardiography, and chest roentgenography data in diagnosis of pulmonary hypertension for patients with cardiovascular and pulmonary diseases.

Material and methods. Pulmonary artery pressure was measured by impedance cardiography method in 181 patients: 80 patients with cardiovascular pathology when pulmonary hypertension was determined by echocardiography, 69 patients with cardiovascular pathology when pulmonary hypertension was not observed using echocardiography, 19 patients with pulmonary pathology when pulmonary hypertension was determined by echocardiography, and 13 patients with pulmonary pathology when pulmonary hypertension was not observed using echocardiography. Clinical data, parameters of impedance cardiography, echocardiography, and chest roentgenography were evaluated.

Results. Pulmonary hypertension (impedance cardiography) was diagnosed by computed mean blood pressure in pulmonary artery with a sensitivity and specificity of 72% and 90%, respectively, and by systolic blood pressure with a sensitivity and specificity of 96% and 90%, respectively. A mathematical model of binary regression was developed with a 96.7% accuracy to diagnose pulmonary hypertension. The most important parameters of impedance cardiography were systolic blood pressure in pulmonary artery and systolic time index.

Conclusions. Mean and systolic blood pressures in the pulmonary artery, assessed by a computerized impedance cardiogram, are diagnostically valuable parameters. In diagnostic algorithms of pulmonary hypertension, the following features can be used: atrial fibrillation; thrombosis of deep veins; dyspnea; cyanosis; accent of II tone at the auscultation point of the pulmonary valve; systolic murmur at the tricuspid valve area; increased diameter of the pulmonary artery more than ≥ 18 mm on chest x-ray; increased diameter of the right ventricle; systolic blood pressure in the pulmonary artery and systolic time index measured by impedance cardiography method.

Literatūra

1. Woltjer HH, Bogaard HJ, de Vries PMJM. The technique of impedance cardiography. *Eur Heart J* 1997;18:1396-403.
2. Drazner MH, Thompson B, Rosenberg PB, Kaiser PA, Boehrer JD, Baldwin BJ. Comparison of impedance cardiography with invasive hemodynamic measurements in patients with heart failure secondary to ischemic or non-ischemic cardiomyopathy. *Am J Cardiol* 2002;89(8):993-5.
3. Braždžionytė J, Žaliūnas R, Macas A, Bakšytė G, Mickevičienė A. Non-invasive monitoring of central hemodynamics in acute myocardial infarction: a comparison of hemodynamic indices obtained by two different methods – impedance cardiography and transthoracic echocardiography. *Sem Cardiol* 2004;10(1):25-32. Available from: URL: <http://www.heart.lt/default.asp?DL=E&TopicID=51&Code>
4. Nishimura RA, Tajik A. Measurement of intracardiac pressures. *State of the art – 1986.* *Herz* 1986;11(5):283-90.
5. Stevenson JG. Comparison of several noninvasive methods for estimation of pulmonary artery pressure. *J Am Soc Echocardiogr* 1989;2(3):157-71.
6. Spiering W, van Es PN, de Leeuw PW. Comparison of impedance cardiography and dye dilution method for measuring cardiac output. *Heart* 1998;79:437-41.
7. Kubicek WG, Kottke FJ, Ramous MU, Patterson RP, Witsoe DA, Labree JW, et al. The Minnesota impedance cardiograph – theory and applications. *Biomed Eng* 1974;9:410-6.

8. Tsadok S. The historical evolution of bioimpedance. *AACN Clinical Issues* 1999;10(3):371-84.
9. Osypka MJ, Bernstein DP. Electrophysiologic principles and theory of stroke volume determination by thoracic electrical bioimpedance. *AACN Clinical Issues* 1999;10(3):385-99.
10. Northridge DB, Findlay IN, Wilson J, Henderson E, Dargie HJ. Non-invasive determination of cardiac output by Doppler echocardiography and electrical bioimpedance. *Br Heart J* 1990;63:93-7.
11. Van De Water JM, Miller TW. Impedance cardiography (the next vital sign technology?). *Chest* 2003;123: 2028-33.
12. Karnegis JN, Kubicek WG. Physiological correlates of the cardiac impedance waveform. *Amer Heart J* 1970;79:519-23.
13. Kubicek WG, Patterson RP, Witsoe DA. Impedance cardiography as a non-invasive method of monitoring cardiac function and other parameters of the cardiovascular system. *Ann NY Acad Sci* 1970;170:724-32.
14. Wang X, Sun H, Van de Water JM. An advanced signal processing technique for impedance cardiography. *IEEE Trans Biomed Eng* 1995;42:224-30.
15. Muzi M, Ebert TJ, Tristani FE. Determination of cardiac output using ensemble averaged impedance cardiograms. *J Applied Physiol* 1985;58:200-5.
16. Fuller H. The validity of cardiac output measurement by thoracic impedance: a meta-analysis. *Clin Invest Med* 1992; 15:103-12.
17. Thomas SHL. Impedance cardiography using the Sramek-Bernstein method: accuracy and variability at rest and during exercise. *Br J Clin Pharmacol* 1992;34:467-76.
18. Jensen L, Yakimets J, Teo KK. A review of impedance cardiography. *Heart Lung* 1995;24:183-93.
19. Kööbi T, Kaukinen S, Turjanmaa VM, Uusitalo AJ. Whole-body impedance cardiography in the measurement of cardiac output. *Crit Care Med* 1997;25:779-85.
20. Kauppinen PK, Hyttinen J, Kööbi T, Malmivuo J. Lead field theoretical approach in bio-impedance measurements – towards more controlled measurement sensitivity. *Ann N Y Acad Sci* 1999;873:135-42.
21. Raaijmakers E, Faes TJC, Scholten RJPM. A metaanalysis of three decades of validating thoracic impedance cardiography. *Crit Care Med* 1999;27:1203-13.
22. Dharani JB, Jindal GD, Tahilkar KI, Deshpande AK, Parulkar GB. Physiological correlates of impedance plethysmographic waveform. *J Postgrad Med* 1990; 36(2):71-9.
23. Bernstein DP. Continuous noninvasive real-time monitoring of stroke volume and cardiac output by thoracic electrical bioimpedance. *Crit Care Med* 1986;14:898-901.
24. Pelosi P, Gattimoni L, Malacrida R. Thoracic bioimpedance: a work in progress. *Crit Care Med* 1999;27:2848-9.
25. Naudžiūnas A. Plaučių arterijos trombinė embolija. (Thromboembolism of pulmonary artery.) Vilnius: Charibdė; 1998.
26. Lang RM, Biering M, Devereux RB, Flachskampf FA, Foster E, Pellikka PA, et al. Recommendations for chamber quantification: a report from the American Society of Echocardiography's Guidelines and the Standards Committee and the Chamber Quantification Writing Group, developed in conjunction with the European Association of Echocardiography, a branch of the European Society of Cardiology. *J Am Soc Echocardiogr* 2005;18:1440-63.
27. Vaškelytė J, Jurkevičius R, Ereminienė E ir kt. Echokardiografiniai tyrimai. (Echocardiographic investigations.) Kaunas: KMU; 2000. p. 16, 36-7.
28. Deborah R, Alvater RN. Mentor resource guide. Impedance cardiography. Noninvasive hemodynamic monitoring: impedance cardiography. 2002 Fort Walton Beach Medical Center. Available from: URL: www.impedancecardiography.com/PDF/FWB_ICGMenGuideII.pdf
29. Cardiodynamics International Corporation. Impedance cardiography (ICG) technology parameters. Available from: URL: <http://www.cardionynamics.com/cdprod41.html>
30. ICG measured and calculated parameters. Available from: URL: <http://www.impedancecardiography.com/PDF/ParametersChart.pdf>
31. Lasater M. Impedance cardiography: a method of noninvasive cardiac output monitoring. Continuing education. Available from: URL: <http://www.impedancecardiography.com/icgCME10.html>
32. Paleev NR. Radiokardiografija i reografija legochnoj arterii v diagnostike narushenii khemodinamiki i sokratitelnoj funkcii pravovo zheludka y bolnykh khronicheskim obstruktyvnykh bronkhitom. (Radiocardiography and rheography of the pulmonary artery in the diagnosis of disorders of hemodynamics and right-ventricular contractility in patients with chronic obstructive bronchitis.) *Kardiologia* 1990;30(7):64-7.
33. Novoderiozskina LB, Baklikova CN, Cereiskaja NK, Uribe EE. Novyje metody diagnostiki i reabilitacii bolnykh nespetsificheskimi zabolevanijami legkikh. (New methods of diagnostics and rehabilitation for chronic nonspecific pulmonary diseases.) Moskva; 1985. Vol. 1. p. 129-30.
34. Paleev NR, Carkova LN, Cereiskaja NK. Bolezni organov dykhanija: rukovodstvo dlia vrachej. (Respiratory diseases: reference book for doctors.) Moskva; 1990. Vol. 3. p. 252-5.
35. Gargasas L, Janušauskas A, Lukoševičius A, Vainoras A, Ruseckas R, Korsakas S, et al. Development of methods for monitoring of electrocardiograms, impedance cardiograms and seismocardiograms. *Stud Health Technol Inform* 2004;105:131-41.
36. Keršulytė G, Navickas, Blužas J, Gargasas L, Vainoras A, Ruseckas R, et al. Policardiosignals coherence evaluation results for patients with cardiopulmonary diseases. *Electronics and Electrical Engineering (Kaunas)* 2007;5(77): 41-4.
37. Sadauskas S, Naudžiūnas A, Gargasas L, Ruseckas R, Jurkonienė R. Evaluation of systolic and mean pressure in pulmonary artery by using impedance cardiography method. *Electronics and Electrical Engineering (Kaunas)* 2006; 4(68):87-90.
38. Sadauskas S, Naudžiūnas A, Gargasas L, Ruseckas R, Jurkonienė R. Sistolinio spaudimo plaučių arterijoje vertinimas impedanskardiografijos metodu. (Evaluation of systolic pressure in pulmonary artery by using impedance cardiography method.) *Medicina (Kaunas)* 2006;42(6):464-71.
39. Metropolitan life insurance table. Available from: URL: <http://www.halls.md/ideal-weight/body.htm>
40. Yakimets J, Jensen L. Evaluation of impedance cardiography: comparison of NCCOM3-R7 with Fick and thermodilution methods. *Heart Lung* 1995;24(3):194-206.
41. Denton CP, Cailles JB, Phillips GD. Comparison of Doppler echocardiography and right heart catheterization to assess pulmonary hypertension in systemic sclerosis. *Br J Rheumatol* 1997;36:239-43.
42. Samuel Z. Goldhaber MD. Echocardiography in the management of pulmonary embolism. *Ann Intern Med* 2002; 136:691-700.

*Straipsnis gautas 2009 10 15, priimtas 2010 10 05
Received 15 October 2009, accepted 2 October 2010*