

Válaszok Nemes Attila Professzor Úr bírálataira

Tisztelt Professzor Úr!

Köszönöm Professzor Úrnak, hogy elvállalta MTA doktori értekezésem bírálatát, valamint hálásan köszönöm építő jellegű észrevételeit és elismerő szavait. Formai megjegyzéseivel mind egyetérték.

Az alábbiakban válaszolok a feltett kérdéseire:

- 1. Milyen mérnöki fejlesztéseket látna szükségesnek, melyek kifejezetten a transzducer technológiát érintik? Az echokardiográfiás adatbegyűjtések során milyen más fejlesztési lehetőségek lennének még szükségesek?*

Köszönöm a fontos és időszerű kérdést! Véleményem szerint az utóbbi évek szoftveres fejlesztései újból „visszadobták a labdát” a hardveres fejlesztések területére. Ugyan a legújabb transthoracalis transzducerek már kielégítő térbeli és időbeli felbontást eredményeznek több szív ciklusból való rekonstrukció nélkül is, ezek minősége még mindig messze elmarad a kétdimenziós felvételekétől. Ez a minőségbeli differencia természetesen hatással van a 3D szoftverek teljesítményére is (automata kontúrdefiníció, speckle tracking, stb.), és ezáltal információvesztéssel is járhat – különös tekintettel a color 3D felvételekre.

Ezen minőségbeli javulásnak kell a transthoracalis transzducer technológiai fejlesztések középpontjában állnia a továbbiakban. Ehhez kapcsolódóan fontos irány lehet a kisebb fizikai méretű, de nagyobb sűrűségű mátrix transzducerek fejlesztése, valamint az adaptív beamforming technológiák bevezetése, amelyek a szöveti jellemzőkhöz igazítják a jelfeldolgozást valós időben.

Az adatgyűjtés szempontjából – különösképpen a jobb kamra vizsgálatánál – nagy előrelépés lenne egy mesterséges intelligencia alapú, valós idejű „guidance” rendszer, amely segít a legoptimálisabb akusztikus ablak és vizsgálati sík kiválasztásában a 3D felvétel rögzítéséhez. Ez nemcsak a képek minőségét javítaná, hanem a szoftveres utófeldolgozás sikerességét is növelné. Hasonló rendszerek egyes 2D echokardiográfiás alkalmazásokban már elérhetőek, de ezek kiterjesztése 3D vizsgálatokra még komoly fejlesztési lehetőséget rejt [1].

- 2. Történtek-e olyan vizsgálatok, melyek kifejezetten a jobb kamrát érintő betegségben szenvedő esetekben történtek? Gondolok pl. kongenitális szívbetegségekre (túl a pulmonális hypertónián).*

Köszönöm a kérdést! Valóban, több vizsgálatunk és együttműködésünk is irányult kongenitális szívbetegségek tanulmányozására. Egy korábbi kutatásunk célja a jobb kamra adaptív mechanikájának elemzése volt Fallot-tetralógiában szenvedő betegek körében, akiknél súlyos pulmonális regurgitáció állt fenn [2]. Eredményeink alapján a longitudinális funkció jelentősen károsodott, míg a radiális és anteroposterior komponensek megőrzöttek maradtak – ez a jobb

kamra kompenzatórikus alkalmazkodását tükrözi. Egy másik vizsgálatunk a szisztémás jobb kamra (SRV) összehúzóási mintázatát vizsgálta nagyér-transzpozíciós (TGA, atrial switch után) és kongenitálisan korrigált TGA-s (ccTGA) betegekben [3]. A TGA-s csoportban az anteroposzterior mozgás dominált, míg a ccTGA-s betegek esetében kiegyensúlyozottabb kontrakciós mintázatot figyeltünk meg.

Ezek a kutatások hozzájárultak ahhoz, hogy a jobb kamrai mozgás három komponensének részletes elemzése – és ezzel együtt a ReVISION szoftver – viszonylag komoly szerepet kapjon az Európai Kardiológiai Társaság (ESC) legutóbbi „scientific statement”-jében [4]. A dokumentum hangsúlyozza a 3D echokardiográfia fontosságát a felnőttkori veleszületett szívhibák értékelésében, külön kiemelve a jobb kamrai longitudinális, radiális és anteroposzterior mozgások kvantitatív vizsgálatát, amelyek hozzájárulhatnak a pontos diagnózis és az optimális terápiás döntések meghozatalához.

3. Van-e jelentősége a nemnek (férfi vs. nő) a kapott eredményekre? (alkati, méretbeli, hormonális stb. hatások)

Köszönöm szépen a kiváló kérdést! Eddigi eredményeink alapján érdekes módon nem, vagy csak elhanyagolható mértékben mutatható ki nemi különbség a jobb kamrai mozgáskomponensek szempontjából. A kisebb esetszámú, jelen tézisben szereplő kétcentrumos normatív vizsgálatunkban – noha a nők esetében alacsonyabb kamrai volumeneket és magasabb globális ejekciós frakciót tapasztaltunk – nem találtunk különbséget a longitudinális, radiális és anteroposzterior mozgásirányok relatív hozzájárulásában [5]. Ezt az eredményt megerősítette a WASE vizsgálat is, amelyben több mint 1000 egészséges önkéntes 3D echokardiográfias felvételeit elemeztük a ReVISION szoftverrel, hat kontinensről származó résztvevők bevonásával [6]. Ugyanakkor fontos megjegyezni, hogy találtunk összefüggést a mozgásmintázat és a testfelszín (BSA), valamint az eltérő etnikai csoportok között. Összességében véleményem szerint ezeknek a tényezőknek a figyelembevétele elengedhetetlen a normatív értékek meghatározásában és a klinikai vizsgálatok értékelésében.

4. Van-e jelentősége a tricuspidális/pulmonáris billentyű méretének, funkciójának a bemutatott eredményekre?

Bizonyosan jelentős hatással van a billentyűk morfológiája és funkciója a jobb kamrai mechanikára – és fordítva is. Ezen összefüggések jövőbeni átfogó vizsgálata rendkívül izgalmas élettani és kórélettani mechanizmusokat tárhat fel.

Technikai szempontból kiemelendő, hogy az általunk használt TomTec szoftver lehetőséget biztosít a tricuspidalis annulus különálló kijelölésére és annak követésére a kezdeti 3D rekonstrukció során. Noha a szoftver jelenleg nem kvantifikál semmilyen annulusra jellemző paramétert – ehhez külön dedikált szoftver szükséges –, tapasztalataink alapján az annulus mozgása például a longitudinális ejekciós frakciót jelentősen befolyásolja. Klinikai szempontból ismert, hogy az atriális típusú, kifejezett annularis dilatációval járó tricuspidalis regurgitációs esetekben a jobb kamrai kontrakciós mintázat eltér a ventrikuláris típusú regurgitációban megfigyelttől [7].

A pulmonális billentyű transthoracalis echokardiográfiával gyakran nehezen vizualizálható anterior elhelyezkedése miatt, így annak pozícióját és mozgását sokszor a szoftveres automatikus predikció alapján hagyjuk jóvá. Ugyanakkor tudjuk, hogy a jobb kamrai kiáramlási pálya szegmentális vizsgálatának prognosztikus jelentősége van például pulmonális hipertóniában [8], ezért feltételezhető, hogy a pulmonális annulus és billentyű funkciója is fontos szerepet játszik akár az adott billentyűt érintő, akár attól független kórfolyamatok esetén is.

5. *Mennyiben befolyásolhatja a bemutatott eredményeket a kamra septum minősége (hypertrophia, fibrosis, stb.)?*

Köszönöm a kiváló és fontos kérdést! Meggyőződésem, hogy a szeptum morfológiájának és struktúrájának jelentős hatása van a jobb kamrai mechanikára, és ezt a kérdéskört érdemes lenne dedikáltan vizsgálni – akár állatkísérletes modellekben, akár megfelelő betegpopulációk bevonásával.

A septalis fibrosis a bal kamrai longitudinális és cirkumferenciális rövidülés csökkenését okozza, ami a ventrikuláris interdependencia révén a jobb kamrai longitudinális és anteroposterior komponensek csökkenéséhez is vezethet. Ilyen esetekben feltételezhető, hogy a radiális rövidülés válik dominánssá – ezt részben alá is támasztotta a jelen tézisben bemutatott vizsgálatunk [9]. A septalis hipertrofia talán még érdekesebb jelenség, mivel gyakran megfigyelhető olyan megvastagodott szeptum, amely nemcsak a bal kamra irányába eredményez radiális kontrakciót, hanem a jobb kamra felé is aktívan hozzájárul a radiális ejekciós frakcióhoz. Ez a jelenség különösen gyakori például szívtranszplantált betegek körében. A septalis eredetű, jobb kamra irányú radiális rövidülés azonban további célzott vizsgálatokat igényel.

Még egyszer köszönöm Professzor Úr alapos munkáját és tisztelettel kérem válaszaim elfogadását!

Budapest, 2025.06.17.


Dr. Kovács Attila

Referenciák

1. Narang, A., et al., *Utility of a Deep-Learning Algorithm to Guide Novices to Acquire Echocardiograms for Limited Diagnostic Use*. JAMA Cardiol, 2021. 6(6): p. 624-632.

2. Bidviene, J., et al., *Global and regional right ventricular mechanics in repaired tetralogy of Fallot with chronic severe pulmonary regurgitation: a three-dimensional echocardiography study*. Cardiovasc Ultrasound, 2021. **19**(1): p. 28.
3. Surkova, E., et al., *Contraction patterns of the systemic right ventricle: a three-dimensional echocardiography study*. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2022. **23**(12): p. 1654-1662.
4. Surkova, E., et al., *Three-Dimensional Echocardiography in Adults with Congenital Heart Disease. A Scientific Statement of the ESC Working Group on Adult Congenital Heart Disease and the European Association of Cardiovascular Imaging of the ESC*. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2025.
5. Lakatos, B.K., et al., *Importance of Nonlongitudinal Motion Components in Right Ventricular Function: Three-Dimensional Echocardiographic Study in Healthy Volunteers*. J Am Soc Echocardiogr, 2020. **33**(8): p. 995-1005 e1.
6. Cotella, J.I., et al., *Three-dimensional echocardiographic evaluation of longitudinal and non-longitudinal components of right ventricular contraction: results from the World Alliance of Societies of Echocardiography study*. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2024. **25**(2): p. 152-160.
7. Ladanyi, Z., et al., *Mechanical Adaptation of the Right Ventricle to Secondary Tricuspid Regurgitation and Its Association With Patient Outcomes*. J Am Soc Echocardiogr, 2025.
8. da Rocha, B.R.B., et al., *Loss of right ventricular outflow function in pulmonary hypertension*. J Heart Lung Transplant, 2025. **44**(2): p. 273-277.
9. Surkova, E., et al., *Contraction Patterns of the Right Ventricle Associated with Different Degrees of Left Ventricular Systolic Dysfunction*. Circ Cardiovasc Imaging, 2021. **14**(10): p. e012774.