

A jobb kamrai kontrakciós mintázat változása élsportolóknál: háromdimenziós echokardiográfiás vizsgálat

Fábián Alexandra, Lakatos Bálint Károly, Kiss Orsolya, Sydó Nóra, Vágó Hajnalka, Czibalmos Csilla, Tokodi Márton, Kántor Zoltán, Bognár Csaba, Major Dávid, Kovács Attila, Merkely Béla

Semmelweis Egyetem, Városmajori Szív- és Érgyógyászati Klinika, Budapest

Levelezési cím:

Dr. Lakatos Bálint Károly, 1122 Budapest, Városmajor u. 68.

E-mail: lakatosbalintka@gmail.com

Célkitűzés: A sportszív jobb kamrájának alaki és működési jellegzetességeiről jelenleg korlátozott mennyiségű információval rendelkezünk. Jelen vizsgálatban célunk a jobb kamrai funkció és mechanika részletes jellemzése volt 3D-echokardiográfia segítségével.

Betegek és módszerek: Vizsgálatunk alanyai fiatal versenysportoló egyének voltak (n=111, átlagéletkor: 19±4 év), hozzájuk korban és nemből illesztett egészséges, rendszeresen nem sportoló önkénteseket válogattunk kontrollcsoportnak (n=32). 3D-echokardiográfia segítségével meghatároztuk a bal- és jobb kamrai térfogatokat és ejekciós frakciókat. Saját fejlesztésű szoftverünket használva a jobb kamra mozgása felbontható az anatómiailag releváns tengelyek mentén, így úgynevezett longitudinális és radiális ejekciós frakciót számítottunk, amelyek a jobb kamra „dugattyú”, illetve „fűjtató” működését reprezentálják.

Eredmények: A bal- és jobb kamrai volumenek szignifikánsan magasabbak voltak a sportoló csoportban (sportoló vs. kontroll; LVEDVi: 86±32 vs. 65±8 ml/m², RVEDVi: 87±11 vs. 66±10 ml/m²). A bal- és jobb kamrai ejekciós frakció a normál tartományban volt a sportolóknál, ám értékük alacsonyabb volt a kontrollokhoz viszonyítva (LVEF: 57±4 vs. 62±3%, RVEF: 56±5 vs. 61±5%). A jobb kamrai mechanika esetében a sportolók lényeges eltéréseket mutattak: a hosszanti (longitudinális) rövidülés arányaiban nagyobb, míg a fűjtató (radiális) kontrakció arányaiban alacsonyabb mértékű volt a sportoló csoportban a nem sportoló egyénekhez viszonyítva (LEF/RVEF: 0,5±0,07 vs. 0,42±0,07, REF/RVEF: 0,33±0,08 vs. 0,45±0,09).

Következtetések: Eredményeink alapján a sportszív jobb kamrája komplex morfológiai és funkcionális jellegzetességeket mutat. A jelentős dilatáció mellett alacsonyabb nyugalmi globális funkció jellemző. A jobb kamrai longitudinális funkció arányaiban magasabb, míg a radiális funkció arányaiban csökkent ebben a populációban.

Kulcsszavak: sportszív, jobb kamra, echokardiográfia

Functional shift of right ventricular mechanics in athletes: a three-dimensional echocardiography study

Aims: Data is limited regarding right ventricular adaptation in athlete's heart. In this study, our aim was to characterize right ventricular morphology and function in athletes.

Materials and methods: Our study group consisted of young elite athletes (n=111, age: 19±4 years). 32 age- and gender matched healthy sedentary volunteers served as the control group. 3D echocardiography was performed to measure left- and right ventricular volumes and ejection fractions. Using our custom method we have decomposed the motion of the right ventricle to determine so-called longitudinal and radial ejection fractions for detailed characterization of right ventricular mechanics.

Results: Left- and right ventricular volumes were significantly higher in athletes (athlete vs. control; LVEDVi: 86±32 vs. 65±8 ml/m², RVEDVi: 87±11 vs. 66±10 ml/m²). The left- and right ventricular ejection fraction were in the normal range in every athlete, however, they were significantly lower compared to controls (LVEF:57±4 vs. 62±3%, RVEF: 56±5 vs. 61±5%). In-depth assessment of right ventricular mechanics revealed characteristic features of athlete's heart: the relative contribution of longitudinal motion to global function was significantly higher, while the relative contribution of radial motion was significantly lower in athletes compared to the sedentary group (LEF/RVEF: 0.5±0.07 vs. 0.42±0.07, REF/RVEF: 0.33±0.08 vs. 0.45±0.09).

Conclusions: According to our results marked changes in right ventricular morphology and function are found in athletes. Along with the higher volumes and lower resting global function, right ventricular mechanics also differ from sedentary controls by increased relative contribution of longitudinal and decreased relative contribution of radial function.

Keywords: athlete's heart, right ventricle, echocardiography

Bevezetés

A rendszeres fizikai terhelés a szív jellegzetes alak és működési adaptációját indukálja, amely változásokat sportszívnek nevezzük. A különféle sportágak változatos terhelési sajátosságainak megfelelően a morfológiai és funkcionális változások széles skálája észlelhető. *Morganroth* és *munkatársainak* klasszikus elmélete alapján a dinamikus terhelés (pl. hosszútávfutás, kérekpár) a szívüregek excentrikus hipertrófiájával és következményes dilatációval jár, míg statikus sportágak (pl. súlyemelés, birkózás) esetén a nyomásterhelésre válaszul dominálónan koncentrikus bal kamrai (BK) hipertrófia várható (1). Mindez csak részlegesen ültethető a gyakorlatba, lévén a legtöbb esetben sportágtól függetlenül az edzésterv mind dinamikus, mind statikus gyakorlatokat tartalmaz, ám az elgondolás alapjaiban máig érvényes. A morfológiai változásokon felül jellemző eltérés a normál tartomány alsó felében lévő nyugalmi szisztolés bal- és jobb kamra funkciós paraméterek, amelyek leginkább a párhuzamos üregi dilatáció következménye (2).

A sportkardiológia immáron egy évszázados történelme folyamán a kutatás középpontjában döntően a BK adaptáció állt, ám napjainkban egyre inkább előtérbe kerül a jobb szívfél vizsgálata. Komplex anatómiája és kontrakciós mintázata folytán a jobb kamra (JK) jóval nehezebben karakterizálható a bal szívfélhez képest (3). A mindennapi klinikai gyakorlatban döntően egyszerű lineáris átmérőkkel írjuk le a JK-geometriát, míg globális funkcióját hosszanti rövidülésének különféle paramétereivel jellemezzük. A kardiovaszkuláris képalkotás korszerű módszerei, pl. 3D-echokardiográfia lehetőséget adnak a JK-morfológia és funkció jelentősen pontosabb jellemzésére (4, 5). Mindez a sportolók vizsgálatában igen releváns kérdés, mivel több nagy ívű európai vizsgálat igazolta, hogy régióknál az Aritmogén Jobb Kamrai Cardiomyopathia Diszplázia (ARVC/D) a sportolói hirtelen szívhalál leggyakoribb etiológiai faktora (6). Újabb eredmények alapján a JK arányaiban nagyobb terhelésnek van kitéve sporttevékenység alatt, amely új kontextusba helyezi a terhelés-indukálta JK-diszfunkció/károsodás jelenleg igen vitatott jelenségét (7, 8).

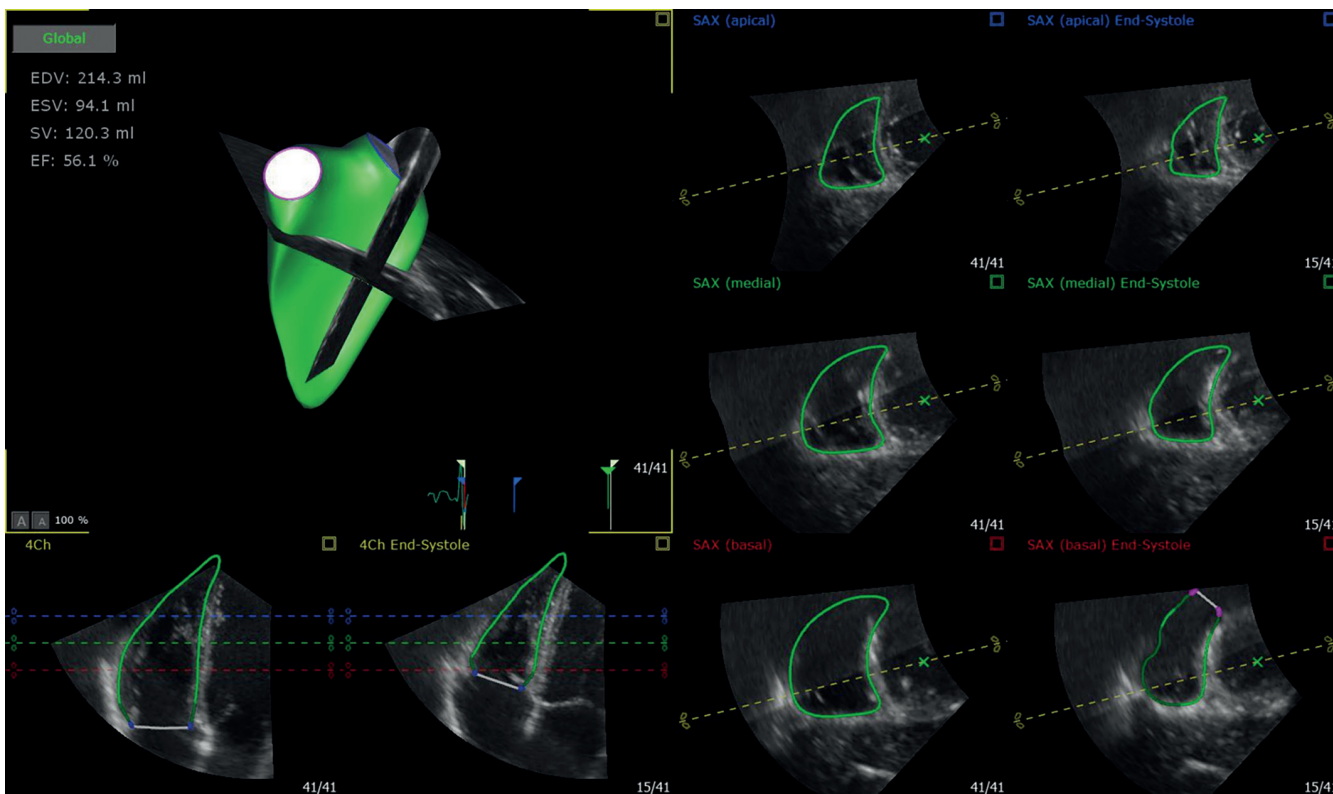
Jelen vizsgálatunk célja a JK morfológiai és funkcionális adaptáció vizsgálata volt fiatal élsportolóknál és egészséges kontrolloknál.

Módszerek

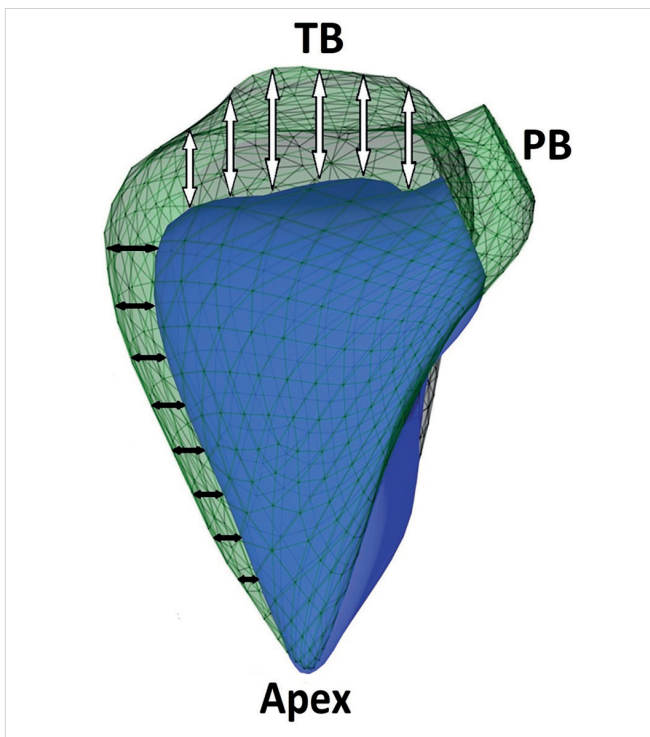
Vizsgálati populációnk tagjai fiatal labdarúgó és vízilabdás élsportolók voltak ($n=111$, labdarúgás: 35, vízilabda: 76), akikhez korban és nemből illesztett egészséges, rendszeresen nem sportoló egyénekből válogattunk kontrollcsoportot. Minden résztvevő írásos beleegyezését adta a vizsgálathoz. Rutin fizikális vizsgálatot, test-

súly- és testmagasságmérést, illetve vérnyomásmérést végeztünk, ezen felül nyugalmi 12 elvezetéses EKG-regisztrátumot rögzítettünk az alanyokról. Kizárási kritériumot képzett a bármilyen korábban már ismert illetőleg újonnan felfedezett szív- és érrendszeri megbetegedés, szuboptimális képminőség, illetve sportolóknál tartósabb kihagyás az edzésben a vizsgálatot megelőző 6 hónapban. A transztorakális echokardiográfiát a páciens bal oldalfekvésében végeztük folyamatos EKG-regisztrálás mellett (Phillips EPIQ 7G ultrahang készülék, X5-1 transzducer, Phillips Healthcare, Best, Hollandia). A 2D-echokardiográfias üregméreti mérések a jelenlegi irányelveknek megfelelően történtek (9). A bal kamrai végdiasztolés átmérőket, a végdiasztolés szeptális és hátsó fali vastagságokat paraszternális hosszszelvényből határoztuk meg a mitralis billentyű koaptációs szintje alatt közvetlenül. Ezen paramétereket felhasználva a bal kamrai izomtömeget a Devereux-formula segítségével becsültük (10). A jobb kamrai bazális átmérőt jobb kamrára fókuszált apikális négyüregi nézetből végdiasztolés mértük. A bal-, illetve jobb pitvari volumeneket pitvarra optimalizált apikális négyüregi metszvényből végszisztolés határoztuk meg Simpson-módszer segítségével. A tricuspidalis anulus szisztolés csúcsmozdulását (TAPSE) 2D-vezérelt M-mód felvétel segítségével számítottuk. A mitralis billentyű diasztolés beáramlás paramétereit PW Doppler segítségével határoztuk meg. Szöveti Doppler (PW TDI) módszer használatával a laterális és szeptális mitralis anuluson, valamint a tricuspidalis anuluson szisztolés (S), kora (e') és késődiasztolés (a') miokardiális longitudinális sebességeket mértünk. A billentyűbetegségek súlyosságát az aktuális irányelveknek megfelelően határoztuk meg (11). A résztvevők testfelszínét (BSA) a Mosteller-formula segítségével számítottuk (12).

A rutin echokardiográfias vizsgálaton felül a BK és JK-ra fókuszált „multi-beat” 3D-felvételeket rögzítettünk későbbi offline analízis céljából. A felvételeket TomTec Image Arena rendszeren archiváltuk (TomTec Imaging Systems, Unterschleissheim, Németország). A 3D BK végdiasztolés-, végszisztolés volumeneket, verővolumeneket, ejekciós frakciót (EF), illetve BK-izomtömeget 4D LV Function 3 szoftver segítségével határoztuk meg. A JK végdiasztolés-, végszisztolés- és verővolumeneket, illetve ejekciós frakció számításához 4D RV Function 2 szoftvert használtunk, amely a 3D-paramétereken felül automatikusan meghatározza a frakcionális terület változást (FAC), illetve a szabad fali és szeptális jobb kamrai longitudinális strain értékeket is (1. ábra). A jobb kamrai mechanika részletes elemzéséhez saját fejlesztésű módszerünket (ReVISION Method) alkalmaztuk (5). A szoftver lebontja a JK mozgását az anatómiailag releváns tengelyek mentén, így a kizárólag longitudinális, illetve radiális rövidülés által kilökött vér mennyisége számszerűsíthető (2. ábra). Ennek segítségével ún. longitudinális (LEF) és radiális ejekciós frakció (REF) számítható, amelyek a JK hosszanti, illetve „fújtató”



1. ÁBRA. Jobb kamrai 3D-echokardiográfiás analízis. A megfelelő anatómiai pontokat megadva a szoftver automatikusan meghatározza az endokardiális kontúr, amelyet manuálisan finomítva a üreg belfelszíne meghatározható, így pontos jobb kamrai térfogatok és ejekciós frakció számítható



2. ÁBRA. A jobb kamrai mechanika (végdiasztolé: zöld háló, végszisztolé: kék modell). A prominens longitudinális (fehér nyíl) rövidülés mellett a körkörös rostok radiális (fekete nyíl) kontrakciója is lényeges tényező. PB: pulmonalis billentyű; TB: tricuspidalis billentyű

működését reprezentáló paraméterek, míg ezen paraméterek a globális funkcióval fajlagosítva (LEF/RVEF és REF/RVEF) a longitudinális és radiális funkció relatív jelentőségét adják meg.

A mért paramétereket átlag±standard deviáció formájában tüntettük fel. A változók normalitását Shapiro–Wilk-tesztel ellenőriztük, majd a csoportok összehasonlítására eloszlástól függően Student-féle kétmintás t-próbát illetve Mann–Whitney U-tesztet alkalmaztunk. A vizsgált csoportok nemi eloszlását χ^2 -próba segítségével ellenőriztük. A statisztikai analízisnél $p < 0,05$ értéket tekintettünk szignifikánsnak.

Eredmények

A két csoport az illesztésnek megfelelően életkorban és a nemek arányában nem különbözött egymástól szignifikánsan. A sportolói csoport testmagassága, testsúlya és testfelszíne szignifikánsan magasabb volt a kontrollhoz viszonyítva. A két csoport vérnyomásértékek tekintetében nem különbözött, míg a sportolói adaptációnak megfelelően a szívfrekvencia sportolóknban szignifikánsan alacsonyabb volt. A sportolói csoport intenzív edzésprogramjuknak megfelelően átlagosan 16 órát edzettek hetente és átlagosan 11 éve sportolnak versenyszerűen (1. táblázat).

1. TÁBLÁZAT. A sportolói és a kontrollcsoport alapvető demográfiai és hemodinamikai paramétereinek összehasonlítása

	Sportoló (n=111)	Kontroll (n=32)	P
Életkor (év)	18,8±3,9	19,3±2,2	0,51
Nő/férfi	42/69	13/19	0,78
Testmagasság (cm)	181,1±9,2	170,5±9,7	<0,0001
Testsúly (kg)	75,7±12,4	62,7±13,6	<0,0001
Testfelszín (m ²)	1,9±0,2	1,7±0,2	<0,0001
Szisztolés vérnyomás (Hgmm)	136,3±15,1	129,0±11,1	0,11
Diasztolés vérnyomás (Hgmm)	71,6±9,7	73,1±8,8	0,76
Szívfrekvencia (/perc)	70,9±12,9	79,1±11,1	<0,05
Edzéssel töltött órák száma (/hét)	15,7±7,8		
Versenyszerű edzéssel töltött évek száma	10,6±4,3		

A konvencionális echokardiográfiás paraméterek tekintetében számos különbség mutatkozott a csoportok között. Mind a szeptális, mind a hátsó fali vastagságok szignifikánsan magasabbak voltak a sportolói csoportnál. A bal kamrai végdiasztolés átmérő magasabb, míg a végszisztolés átmérő összemérhető volt a két csoport között (2. táblázat). A testfelszínre indexált jobb kamrai bazális átmérő összemérhető volt a két csoport között. Az M-mód echokardiográfiával meghatározott TAPSE nem különbözött a két csoport között (2. táblázat). Mind a bal- mind a jobb pitvar volumenek és azok testfelszínre indexált értékei szignifikánsan magasabbak voltak sportolóknál. A diasztolés funkciót jellemző koradiasztolés és atriális mitralis beáramlási hullám szignifikánsan alacsonyabb volt sportolóknál, ám a kettő aránya nem különbözött a csoportok között. A mitralis anulus mediális és laterális szisztolés elmozdulási sebesség megegyezett a csoportok között. A mitralis kora- és késődiasztolés elmozdulási sebességek, illetve a tricuspidalis anulus elmozdulási sebességei szignifikánsan alacsonyabbak voltak sportolóknál, ám a mitralis E/e' arány nem különbözött a kontrolloktól (2. táblázat). Egyik csoportban sem találtunk klinikailag szignifikáns billentyűelégtelenséget.

A 3D-echokardiográfiás elemzés eredményeit tekintve a csoportok közötti különbség igen markáns. A sportolói csoport jelentős morfológiai adaptációját a bal- és jobb kamrai végdiasztolés, végszisztolés és verővolumenek, illetve azok testfelszínre indexált értékeinek jelentősen magasabb volta jelzi. A bal kamrai izomtömeg és izomtömeg-index szintén magasabb volt sportolóknál. Mind a bal- mind a jobb kamrai ejekciós frakció szignifikánsan alacsonyabb volt a kontrollcsoporthoz viszonyítva, ám a normál tartományban maradt minden sportoló esetében. A FAC szintén alacsonyabb volt a sportolóknál, míg

2. TÁBLÁZAT. A sportolói és a kontrollcsoport hagyományos echokardiográfiás paramétereinek összehasonlítása

	Sportoló (n=111)	Kontroll (n=32)	p
IVSd (mm)	10±1,6	8,4±1,3	<0,0001
LVPWd (mm)	9,1±1,2	7,6±1,8	<0,0001
LVIDd (mm)	50,5±4,2	45,3±4,5	<0,0001
LVIDs (mm)	33,4±3,5	29,8±3,2	0,09
LV mass index Devereux (g/m ²)	98,0±22,0	75,4±19,6	<0,0001
RV bazális átmérő-index (mm/m ²)	17,7±2,4	17,6±2,0	0,33
TAPSE (mm)	24,7±3,3	24,9±4,1	0,57
LA-volumen (ml)	50,0±16,5	36,1±12,7	<0,01
LA-volumenindex (ml/m ²)	27,3±7,6	22,7±6,6	<0,05
RA-volumen (ml)	53,8±18,3	40,8±12,8	<0,0001
RA-volumenindex (ml/m ²)	25,7±8,0	20,4±6,4	<0,01
Mitralis E-hullám (cm/s)	85,8±14,6	95,7±18,5	<0,01
Mitralis A-hullám (cm/s)	53,0±12,4	61,0±16,7	<0,01
Mitralis E/A arány	1,7±0,4	1,7±0,5	0,68
Decelerációs idő (ms)	177,1±43,6	158,7±25,5	<0,01
Mitralis laterális anulus S (cm/s)	11,5±2,2	11,2±2,5	0,43
Mitralis laterális anulus e' (cm/s)	17,7±2,8	19,2±2,8	<0,05
Mitralis laterális anulus a' (cm/s)	6,3±1,9	7,6±1,9	<0,01
Mitralis szeptális anulus S (cm/s)	9,0±1,1	8,8±1,1	0,28
Mitralis szeptális anulus e' (cm/s)	13,2±2,3	14,2±1,9	<0,05
Mitralis szeptális anulus a' (cm/s)	6,7±1,5	7,1±2,2	0,29
Átlagos E/e'	5,6±0,8	5,9±1,3	0,18
Tricuspidalis anulus S (cm/s)	12,4±1,8	13,3±2,2	<0,05
Tricuspidalis anulus e' (cm/s)	14,2±2,8	15,9±3,1	<0,01
Tricuspidalis anulus a' (cm/s)	7,7±2,2	8,9±2,4	<0,05

LV: bal kamrai, RV: jobb kamrai, LA: bal pitvari, RA: jobb pitvari, „d”: végdiasztolés, „s”: végszisztolés, IVS: interventrikuláris szeptum, PW: hátsó fal, ID: belső átmérő, TAPSE: a tricuspidalis anulus szisztolés csúcsemozdulás

a jobb kamrai szeptális és szabad fali longitudinális straineinek esetében nem mutatkozott különbség (3. táblázat).

A jobb kamrai mechanika részletes elemzése szintén jelentős sajátosságokat tárt fel sportolók esetén. A hosszanti rövidülést jellemző LEF nem különbözött a csoportok között, míg a „fújtató” működést reprezentáló REF jelentősen alacsonyabb volt sportolóknál. A LEF/RVEF szignifikánsan magasabb, ezzel szemben a

3. TÁBLÁZAT. A sportolói és a kontrollcsoport 3D-echokardiográfiás paramétereinek összehasonlítása

	Sportoló (n=111)	Kontroll (n=32)	p
LVEDV (ml)	168,6±31,6	115,0±17,5	<0,0001
LVEDVi (ml/m ²)	86,3±10,9	65,0±7,6	<0,0001
LVESV (ml)	71,6±17,6	42,9±8,8	<0,0001
LVESVi (ml/m ²)	36,6±7,2	24,4±3,6	<0,0001
LVSV (ml)	95,4±19,2	71,6±10,5	<0,0001
LVSVi (ml/m ²)	48,9±7,6	40,7±5,4	<0,0001
LVEF (%)	57,2±4,5	62,4±3,3	<0,0001
LVM (g)	179,9±38,8	115,8±22,7	<0,0001
LVMi (g/m ²)	91,8±12,9	64,5±10,3	<0,0001
RVEDV (ml)	170,3±31,9	116,9±19,5	<0,0001
RVEDVi (ml/m ²)	86,9±11,4	65,8±9,6	<0,0001
RVESV (ml)	76,0±18,2	46,3±11,8	<0,0001
RVESVi (ml/m ²)	38,8±7,5	25,6±6,3	<0,0001
RVSV (ml)	94,2±16,6	70,6±10,1	<0,0001
RVSVi (ml/m ²)	48,1±5,9	40,1±5,0	<0,0001
RVEF (%)	55,6±4,5	60,9±5,2	<0,0001
FAC (%)	46,8±6,2	51,5±5,9	<0,0001
RV szeptális LS (%)	-25,1±4,8	-24,9±4,4	0,86
RV szabad fali LS (%)	-30,6±4,6	-31,9±4,2	0,16
REF (%)	18,1±5,3	27,4±7,3	<0,0001
REF/RVEF	0,33±0,08	0,45±0,09	<0,0001
LEF (%)	27,2±5,3	25,5±5,7	0,12
LEF/RVEF	0,50±0,07	0,42±0,07	<0,0001

LV: bal kamrai, RV: jobb kamrai, EDV: végdiasztolés térfogat, ESV: vég-szisztolés térfogat, SV: verőtérfogat, M: izomtömeg, i: testfelszínre indexált érték, EF: ejekciós frakció, FAC: frakcionált területváltozás, LS: longitudinális strain, REF: radiális ejekciós frakció, LEF: longitudinális ejekciós frakció

REF/RVEF szignifikánsan alacsonyabb volt a sportolói csoportban (3. táblázat).

Megbeszélés

Eredményeink alapján a rendszeres fizikai aktivitás a JK jelentős morfológiai és funkcionális remodellációjával jár. A megnövekedett üregi térfogatok mellett a globális funkciót jellemző JK EF szignifikánsan alacsonyabb kontrollokhoz viszonyítva. A JK mechanika részletesebb elemzése a sportszív eddig kevésbé karakterizált sajátosságait fedi fel: élsportolóknál az arányaiban jelentősebb longitudinális rövidülés arányaiban csökkent radiális funkcióval társul.

A sportszívvvel kapcsolatos vizsgálatok rendszerint a BK-adaptációt hangsúlyozzák, ám újabb eredmények alapján a JK alakváltozásai gyakran még kifejezettebbek, különösen idősebb és magas intenzitású „ultraendurance” sportolóknál (13, 14). A markáns üregi tágulat mellett egyéb eltérések, mint pl. a lekerekített JK-csúcs,

fokozott trabekularizáció vagy hiperreflektív moderátor band is gyakran megtalálható (15). Ezen morfológiai jellegzetességek és a gyakran alacsony-normális vagy enyhén csökkent nyugalmi funkció folytán az élsportoló populáció egy jelentős hányada teljesíti az ARVD diagnosztikus kritériumait JK-volumen és/vagy globális funkció tekintetében, így a szubklinikus megbetegedéssel bíró egyének azonosítása komplikált feladat (15). Mindezt komplikálja a rutin ultrahangvizsgálat limitált érzékenysége: a JK-morfológia 2D-echokardiográfiával korlátozottan jellemezhető, amelyet a vizsgált csoportjainkban összemérhető bazális JK-átmérőindex, ám szignifikánsan eltérő 3D JK-volumenindexek jól demonstrálnak.

A komplex kontrakciós mintázat folytán a JK mechanika változásairól kevés adat áll rendelkezésre. A mindennapi klinikai gyakorlatban használt echokardiográfiás paraméterek döntően a subendocardialis hosszanti rostok rövidülését jellemzik, és a subepicardium körkörös rostjai által generált „fújtató” effektus kvantifikációjára lényegében egy paraméter sem szolgál (16). Eredményeink alapján az élsportolók jellegzetesen eltérő JK kontrakciós mintázattal bírnak a longitudinális és radiális rövidülés tekintetében, ami tovább hangsúlyozza a JK részletes elemzésének jelentőségét (2. ábra).

Az észlelt funkcionális változásokat több, sporttevékenységgel összefüggő jelenség magyarázhatja. A rendszeres magas intenzitású edzés jelentős hemodinamikai terhet ró a szívre (8). A klasszikus felfogás szerint a JK csak volumenterhelt sportolás alatt, ám újabb eredmények alapján jelentékeny nyomásterhelés tárgya is. A pulmonalis artériás nyomás a perctérfogattal párhuzamosan emelkedik, így a csúcsteljesítmény alatti akár 30-40 l/perces áramlások esetén a JK jelentős nyomásterhelés ellen dolgozik (17, 18). Mindezek alapján elmondható, hogy kevert terhelésű élsportolók esetén a BK-hoz hasonlóan a JK volumen- és nyomásterhelt is.

A sportolói JK működési sajátosságai érdekes párhuzamot mutatnak a JK különböző kórállapotaival. Jobb kamrai volumenterhelésnél, pl. pitvari sövény defektus esetén korábbi vizsgálatok emelkedett TAPSE-t és JK GLS-t írtak le megtartott FAC mellett ami a longitudinális rövidülés dominanciájára utal (19). Élsportolók esetében hasonló működési jellegzetességekről számoltak magasabb TAPSE- és GLS-értékekkel (20, 21), bár a BK-i strain analízis inkonzisztens eredményeihez hasonlóan változatlan, illetve csökkent JK GLS-ről beszámoló közlemények is ismertek (22). Ebben fontos tényező a vizsgált sportolói csoportok heterogenitása, lévén ezen funkcionális „shiftet” az életkor, nem, sportág és intenzitás jelentősen befolyásolhatja. Jelen vizsgálatunkban a sportoló csoport alacsonyabb nyugalmi FAC és JK EF mellett megtartott TAPSE, illetve 2D JK longitudinális strain értékei arra utalnak, hogy a JK hosszanti rövidülése arányaiban kifejezettebb, amelyet a 3D-analízis eredményei is alátámasztanak. Minde-

mellett lényeges figyelembe venni, hogy a 2D funkcionális paraméterek korlátozottabban írják le az összetett felépítésű JK működési sajátosságait a 3D-paraméterekhez viszonyítva.

A jobb szívfél nyomásterhelésével járó állapotok esetén a JK-i mechanika más természetű változásairól számoltak be: pulmonalis hipertenzió esetén a radiális kontrakció csökkenése a jobb kamrai diszfunkció egy korai és érzékeny jelének tűnik, amely diagnosztikus és prognosztikus erejében felülmúlja a longitudinális funkció paramétereit (23). Élsportolóink esetén ezzel analóg módon arányaiban csökkent radiális funkció mutatkozott, így összességében elmondható, hogy JK-i kontrakciós mintázatukban mind a volumen-, mind a nyomásterhelés karakterisztikáját hordozzák. A patológiás eltérésekhez hasonló funkcionális változások ellenére mindezen jelenségek nem feltétlenül károsodás jelei és elsősorban fiziológiás adaptáció markerei is lehetnek. Kísérletes eredmények alapján a limitált nyomás- és volumenterhelés nem vezet maladaptív változásokhoz, sőt megnövekedett JK-kontraktilitással társul (24). Jelen ismereteink szerint az ARVD kialakulásában a genetikai hajlam mellett az intenzív fizikai terhelés is fontos etiológiai tényező, ám az előbbi hiányában a manifeszt JK-diszfunkció kialakulása is késleltetett vagy gátolt lehet (8). Genetikai predispozíció és/vagy igen kifejezett rendszeres terhelés (túledzés) esetén azonban a jobb szívfél adaptív tartalékai kifogynak, amely a terhelés-indukálta JK-károsodás kialakulásához vezethet (25, 26).

Fontos hangsúlyozni a sportolók autonóm regulációs változásait: a megnövekedett paraszimpatikus nyugalmi tónus kifejezett funkcionális hatásokat fejthet ki a gazdagon innervált JK-i izomzaton (27). A párhuzamos BK-i remodelláció szintén lényeges faktor lehet, lévén a BK az ún. ventrikuláris interdependencia jelenségén keresztül a JK-funkciót is befolyásolja (28).

Következtetések

Élsportolóknál a JK jelentős morfológiai és funkcionális változásokat mutat. A megnövekedett térfogatok mellett a globális JK-funkció szignifikánsan alacsonyabb egészséges, nem sportoló kontrollokhoz viszonyítva. A JK mechanika elemzésével a kontrakciós mintázat karakterisztikus változásai figyelhetők meg arányaiban kifejezettebb longitudinális rövidüléssel és ezzel párhuzamosan csökkent radiális kontrakcióval. Ezen funkcionális „shift” a sportszív új nyugalmi markere lehet, potenciális diagnosztikus értékkel a terhelés-indukálta JK-diszfunkció vonatkozásában ám mindez természetesen további vizsgálatokat igényel.

Limitációk

Jelen vizsgálatunk egyik fontos limitáló tényezője a vizsgálati populáció heterogenitása sportág és nemek

tekintetében. Sportolóink azonban kétséget kizáróan intenzív edzésprogramot folytatnak, relatíve fiatalok és a komplex sportkardiológiai kivizsgálás keretében a lehetséges szubklinikus kardiovaszkuláris megbetegedések kizárásra kerültek. Fontos tényező továbbá, hogy kizárólag nyugalmi echokardiográfiás vizsgálatot végeztünk. A JK-mechanika változásai terhelésre nagy jelentőséggel bírhatnak, ám jelen vizsgálatunkban terhelés echokardiográfiára nem volt módunk.

Irodalom

- Morganroth J, Maron BJ, Henry WL, Epstein SE. Comparative left ventricular dimensions in trained athletes. *Ann Intern Med* 1975; 82(4): 521–4.
- Utomi V, Oxborough D, Whyte GP, Somauroo J, Sharma S, Shave R, et al. Systematic review and meta-analysis of training mode, imaging modality and body size influences on the morphology and function of the male athlete's heart. *Heart* 2013; 99(23): 1727–33. doi: 10.1136/heartjnl-2012-303465
- Haddad F, Hunt SA, Rosenthal DN, Murphy DJ. Right ventricular function in cardiovascular disease, part I: Anatomy, physiology, aging, and functional assessment of the right ventricle. *Circulation* 2008; 117(11): 1436–48. doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.107.653576
- Maffessanti F, Muraru D, Esposito R, Gripari P, Ermacora D, Santoro C, et al. 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(5): 700–10. doi:10.1161/CIRCIMAGING.113.000706
- Lakatos B, Toser Z, Tokodi M, Doronina A, Kosztin A, Muraru D, et al. Quantification of the relative contribution of the different right ventricular wall motion components to right ventricular ejection fraction: the ReVISION method. *Cardiovasc Ultrasound* 2017; 15(1): 8. doi: 10.1186/s12947-017-0100-0
- Mont L, Pelliccia A, Sharma S, Biffi A, Borjesson M, Brugada Teradellas J, et al. Pre-participation cardiovascular evaluation for athletic participants to prevent sudden death: Position paper from the EHRA and the EACPR, branches of the ESC. Endorsed by APHRS, HRS, and SOLAECE. *Eur J Prev Cardiol* 2017; 24(1): 41–69. doi: 10.1177/2047487316676042
- La Gerche A, Burns AT, Mooney DJ, Inder WJ, Taylor AJ, Bogaert J, et al. Exercise-induced right ventricular dysfunction and structural remodelling in endurance athletes. *Eur Heart J* 2012; 33(8): 998–1006. doi: 10.1093/eurheartj/ehr397
- La Gerche A, Rakhit DJ, Claessen G. Exercise and the right ventricle: a potential Achilles' heel. *Cardiovasc Res* 2017; 113(12): 1499–508. doi: 10.1093/cvr/cvx156
- Lang RM, Badano LP, Mor-Avi V, Afilalo J, Armstrong A, Ernande L, 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(3): 233–70. doi: 10.1016/j.echo.2014.10.003
- Devereux RB, Reichek N. Echocardiographic determination of left ventricular mass in man. Anatomic validation of the method. *Circulation* 1977; 55(4): 613–8.
- Lancellotti P, Tribouilloy C, Hagendorff A, Popescu BA, Edvardsson T, Pierard LA, 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(7): 611–44. doi: 10.1093/ehjci/jet105
12. Mosteller RD. Simplified calculation of body-surface area. *N Engl J Med* 1987; 317(17): 1098. doi: 10.1056/NEJM198710223171717
13. Bohm P, Schneider G, Linneweber L, Rentzsch A, Kramer N, Abdul-Khaliq H, et al. Right and Left Ventricular Function and Mass in Male Elite Master Athletes: A Controlled Contrast-Enhanced Cardiovascular Magnetic Resonance Study. *Circulation* 2016; 133(20): 1927–35. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.115.020975
14. Major Z, Csajagi E, Kneffel Z, Kovats T, Szauder I, Sido Z, et al. Comparison of left and right ventricular adaptation in endurance-trained male athletes. *Acta Physiol Hung* 2015; 102(1): 23–33. doi: 10.1556/APhysiol.102.2015.1.2
15. D'Ascenzi F, Pisicchio C, Caselli S, Di Paolo FM, Spataro A, Pelliccia A. RV Remodeling in Olympic Athletes. *JACC Cardiovasc Imaging* 2017; 10(4): 385–93. doi: 10.1016/j.jcmg.2016.03.017
16. Ho SY, Nihoyannopoulos P. Anatomy, echocardiography, and normal right ventricular dimensions. *Heart* 2006; 92 Suppl 1: i2–13. doi: 10.1136/hrt.2005.077875
17. Naeije R, Vanderpool R, Dhakal BP, Saggarr R, Saggarr R, Vachery JL, et al. Exercise-induced pulmonary hypertension: physiological basis and methodological concerns. *Am J Respir Crit Care Med* 2013; 187(6): 576–83. doi: 10.1164/rccm.201211-2090CI
18. La Gerche A, Claessen G, Van de Bruaene A, Pattyn N, Van Cleemput J, Gewillig M, et al. Cardiac MRI: a new gold standard for ventricular volume quantification during high-intensity exercise. *Circ Cardiovasc Imaging* 2013; 6(2): 329–38. doi: 10.1161/CIRCIMAGING.112.980037
19. Vitarelli A, Sardella G, Roma AD, Capotosto L, De Curtis G, D'Orazio S, et al. Assessment of right ventricular function by three-dimensional echocardiography and myocardial strain imaging in adult atrial septal defect before and after percutaneous closure. *Int J Cardiovasc Imaging* 2012; 28(8): 1905–16. doi: 10.1007/s10554-012-0022-8
20. Ujka K, Bastiani L, D'Angelo G, Catuzzo B, Tonacci A, Mraic-Sposta S, et al. Enhanced Right-Chamber Remodeling in Endurance Ultra-Trail Athletes Compared to Marathon Runners Detected by Standard and Speckle-Tracking Echocardiography. *Front Physiol* 2017; 8: 527. doi: 10.3389/fphys.2017.00527
21. Esposito R, Galderisi M, Schiano-Lomoriello V, Santoro A, De Palma D, Ippolito R, et al. Nonsymmetric myocardial contribution to supranormal right ventricular function in the athlete's heart: combined assessment by speckle tracking and real time three-dimensional echocardiography. *Echocardiography* 2014; 31(8): 996–1004. doi: 10.1111/echo.12499
22. Teske AJ, Prakken NH, De Boeck BW, Velthuis BK, Martens EP, Doevendans PA, et al. Echocardiographic tissue deformation imaging of right ventricular systolic function in endurance athletes. *Eur Heart J* 2009; 30(8): 969–77. doi: 10.1093/eurheartj/ehp040
23. Swift AJ, Rajaram S, Capener D, Elliot C, Condliffe R, Wild JM, et al. Longitudinal and transverse right ventricular function in pulmonary hypertension: cardiovascular magnetic resonance imaging study from the ASPIRE registry. *Pulm Circ* 2015; 5(3): 557–64. doi: 10.1086/682428
24. Borgdorff MA, Bartelds B, Dickinson MG, Steendijk P, de Vroomen M, Berger RM. Distinct loading conditions reveal various patterns of right ventricular adaptation. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 2013; 305(3): H354–64. doi: 10.1152/ajpheart.00180.2013
25. Kirchhof P, Fabritz L, Zwiener M, Witt H, Schafers M, Zellerhoff S, et al. Age- and training-dependent development of arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy in heterozygous plakoglobin-deficient mice. *Circulation* 2006; 114(17): 1799–806. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.106.624502
26. Sanz-de la Garza M, Rubies C, Battle M, Bijmens BH, Mont L, Sitges M, et al. Severity of structural and functional right ventricular remodeling depends on training load in an experimental model of endurance exercise. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 2017; 313(3): H459–H68. doi: 10.1152/ajpheart.00763.2016
27. Machhada A, Trapp S, Marina N, Stephens RCM, Whittle J, Lythgoe MF, et al. Vagal determinants of exercise capacity. *Nat Commun* 2017; 8: 15097. doi: 10.1038/ncomms15097
28. Buckberg G, Hoffman JI. Right ventricular architecture responsible for mechanical performance: unifying role of ventricular septum. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2014; 148(6): 3166–71 e1–4. doi: 10.1016/j.jtcvs.2014.05.044