

A bal pitvari méretek és funkció vizsgálata – az M-módtól a 3D speckle-tracking echokardiográfiáig

Nemes Attila dr. ■ Forster Tamás dr.

Szegedi Tudományegyetem, Általános Orvostudományi Kar, Szent-Györgyi Albert Klinikai Központ,
II. Belgyógyászati Klinika és Kardiológiai Központ, Szeged

A bal pitvar nem egy passzív szívüreg, mivel a szív ciklusnak megfelelően dinamikus mozgást végez és feszülésének megfelelően pitvari natriureticus peptideket is elválaszt. Bizonyos invazív beavatkozások során a bal pitvar mérete lényegesen változhat, így annak pontos mérése és funkciójának jellemzése esszenciális fontosságú. A jelen összefoglaló közlemény célja a bal pitvari méretek és funkcionális paraméterek mérésére jelenleg alkalmazott echokardiográfiai módszerek bemutatása. *Orv. Hetil.*, 2014. 155(41), 1624–1631.

Kulcsszavak: bal pitvar, funkció, echokardiográfia

Evaluation of left atrial size and function – from M-mode to 3D speckle-tracking echocardiography

Left atrium is not a passive heart chamber, because it has a dynamic motion respecting heart cycle and, in accordance with its stretching, it releases atrial natriuretic peptides. Since in the course of certain invasive procedures the size of left atrium may change substantially, its exact measurement and functional characterization are essential. The aim of the present review is to summarize echocardiographic methods for the assessment of left atrial size and functional parameters.

Keywords: left atrium, function, echocardiography

Nemes, A., Forster, T. [Evaluation of left atrial size and function – from M-mode to 3D speckle-tracking echocardiography]. *Orv. Hetil.*, 2014, 155(41), 1624–1631.

(Beérkezett: 2014. augusztus 25.; elfogadva: 2014. szeptember 17.)

Rövidítések

2DE = kétdimenziós echokardiográfia; 2DSTE = kétdimenziós speckle-tracking echokardiográfia; 3DSTE = háromdimenziós speckle-tracking echokardiográfia; AP = anteroposterior; AP2CH = apical 2-chamber view; AP4CH = apical 4-chamber view; BK = bal kamra; BP = bal pitvar; CSI = bal pitvari kontrakciós strain index; DE = Doppler-echokardiográfia; LAEF = left atrial ejection force; LAKE = left atrial kinetic energy; MA = mitralis anulus; MME = M-mód echokardiográfia; PACS = peak atrial contraction strain; PALS = peak atrial longitudinal strain; RT3DE = real-time háromdimenziós echokardiográfia; SV = stroke volume; TDI = szöveti Doppler-echokardiográfia; TPLS = time-to-peak longitudinal strain; TVI = time-velocity-integral

A bal pitvar

A bal pitvar (BP) a szív bal oldalán, a truncus pulmonalis mögött elhelyezkedő szívüreg, amely a bal kamrával (BK) a mitralis billentyűn keresztül közlekedik [1]. Telődése a két jobb és két bal pulmonalis vénán keresztül valósul meg. A BP nem egy passzív üreg, mivel a szív ciklusnak megfelelően dinamikus mozgást végez és feszülésének megfelelően pitvari natriureticus peptideket is elválaszt [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8]. Utóbbiak hatására natriuresis, vasodilatatio, valamint a szimpatikus idegrendszer és a renin-angiotenzin-aldoszteron rendszer gátlása jön létre [9]. Mindemellett a pitvarokban cardiopulmonalis bar-

oreceptorok is elhelyezkednek, amelyeknek szerepük van a vénás visszafolyás, a pulmonalis artériás és vénás nyomás, valamint a pulmonalis kapillárisáramlás szabályozásában, a vazopresszin szintjének kontrolljában [10].

Mivel bizonyos invazív beavatkozások során (például a mitralis billentyű percutan ballonvalvuloplasticája vagy műtete, a pitvarfibrilláció ablatiója stb.) a BP mérete és funkciója lényegesen változhat, így annak egzakt jellemzése esszenciális fontosságú. Fontos annak ismerete, hogy a BP aktív szerepet játszik a szív munkafunkciójában [10]:

1. Rezervoárként működik a bal kamrai (BK) szisztolés során, ilyenkor a mitralis gyűrű a szívcsúcs fele mozdul el, a BP ürege megnő, a BP-i nyomás csökken és vér áramlik a pulmonalis vénák felől a BP-ba.

2. Kora diasztolében a rezervoár fázisban a BP-ben tárolt vér a BK-ba áramlik, vagyis a BP egy „csatornaként” (conduit) működik. Ilyenkor a pitvar-kamrai nyomásgradiens a véráramlás legfontosabb meghatározója. A pulmonalis vénák felől a BK felé a BP-n keresztüli direkt áramlás is ekkor történik.

3. A BP késő diasztolében egy aktív kontraktilis üreg, amely elősegíti a BK telődését. A kontrakció során a BP-i nyomás emelkedik, a pitvar-kamrai nyomásgradiens emelkedik, amely elősegíti a véráramlást a BP felől a BK felé. A BP-nek ezt a funkcióját a diasztolés myocardialis szálak hossza, az afterload és a myocardialis kontraktilitás befolyásolja. Egészségesekben a BP-i kontrakció a BK-i stroke volume (SV) körülbelül 15-30%-áért felelős [2].

A BP fent részletezett komplex mozgásának jellemzésére jelenleg az echokardiográfia a legszélesebb körben alkalmazott noninvazív diagnosztikus eljárás. A BP-re vonatkoztatott echokardiográfias méretek normális és patológiás értékeit az 1. táblázatban tüntettük fel [11]. A BP-i méretek szoros összefüggést mutatnak a telődési nyomással, a pitvarfibrilláció és a stroke incidenciájával, a myocardialis infarktust követő mortalitás és a dilatatív cardiomyopathiás betegek halálozásának és hospitalizációjának rizikójával stb. [11]. Ma már számos echokardiográfias módszer érhető el a BP-i morfológia és funkció jellemzésére, így azok pontos ismerete lényegesen segítheti a klinikusok munkáját. A jelen munka célja ezeknek az echokardiográfias módszereknek a rövid bemutatása.

1. táblázat | Echokardiográfias bal pitvari normálértékek

Bal pitvari dimenziók	Normális	Enyhén dilatált	Közepesen dilatált	Súlyosan dilatált
Átmérő (mm)				
Nők	27–38	39–42	43–46	≥47
Férfiak	30–40	41–46	47–52	≥52
Area (cm ²)				
Nők	≤20	20–30	30–40	>40
Férfiak	≤20	20–30	30–40	>40
Térfogat (ml)				
Nők	22–52	53–62	63–72	≥73
Férfiak	18–58	59–68	69–78	≥79

M-mód echokardiográfia (MME)

Az MME során a szív egy adott üregéről egy síkban az idő függvényében, akár EKG-kapuzás mellett tudunk felvételt készíteni. Parasternalis nézetben MME segítségével a BP szív ciklusnak megfelelő mozgása követhető, átmérője lemérhető. Az American Society of Echocardiography ajánlása alapján a BP legnagyobb átmérője a BK-i végszisztolés idején mérhető az aorta posterior falától (első fehér vonaltól) a BP posterior faláig (első fehér vonalig) (leading-edge to leading edge method) [11].

Kétdimenziós echokardiográfia (2DE)

A pitvari átmérők mérése

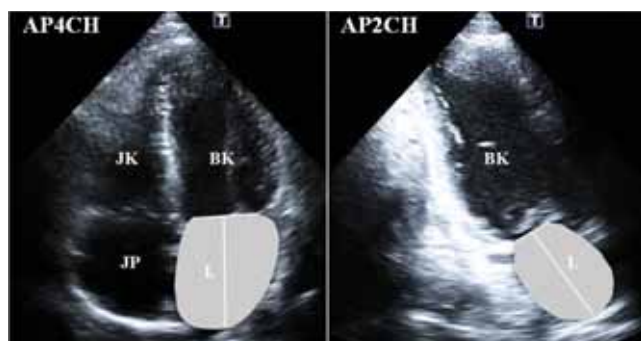
2DE során mind parasternalis nézetben, mind a szívcsúcs felől a BP-i átmérők lemérhetőek, a transzducer mozgásával a legnagyobb üregi átmérő elvileg kiválasztható (1. ábra). A BP anteroposterior (AP) átmérőjének mérése parasternalis hossz tengelyi metszetben a leggyakrabban alkalmazott mérési hely. Ilyenkor a mérés szöge merőleges a BP falára, és a mérés az MME-nél leírtak szerint történik [11]. Tekintettel arra, hogy a BP méretének változása, deformálódása nem biztos, hogy ugyanolyan mértékben megy végbe AP irányban, mint medialis-lateralis és superior-inferior irányokban, így csak az AP-átmérő megadása félrevezető lehet. A 2DE lehetővé teszi jó minőségű kép készítését apicalis 4-üregi vagy 2-üregi képeken (apical 4-chamber view, AP4CH; apical 2-chamber view, AP2CH), így ilyenkor több síkban is megadhatók a BP-i átmérő adatok.

A pitvari area és térfogatok mérése

Ismert tény, hogy a különböző cardiovascularis betegségek kapcsolata a BP-i térfogatértékekkel szorosabb, mint a BP-i átmérőértékekkel [12]. Ennek megfelelően a szív ciklust is figyelembe vevő térfogatértékek számítása esszenciális fontosságú. A BP-i térfogatértékek számításához Simpson-módszernek megfelelően az alábbi paramétereket kell lemérni (1. ábra):

- A BP-i area mérése AP4CH-ban a BP-i endocardialis (belső) határ körberajzolásával (A1). A BP-i fülcsét és a pulmonalis vénákat az analíziskor nem szoktuk figyelembe venni.
- A BP-i area mérése az AP2CH-ban hasonló módon (A2).
- Az AP4CH-ban és az AP2CH-ban mért BP-i hossz tengelyi távolság (L), amelyet a mitralis anulus (MA) síkjában, annak közepétől húzott merőleges vonal és a BP-i „csúcs” között definiálunk. (A BP deformitása esetén a merőleges meghúzása és a korrekt BP-i csúcs kiválasztása nehézségekbe ütközhet.)

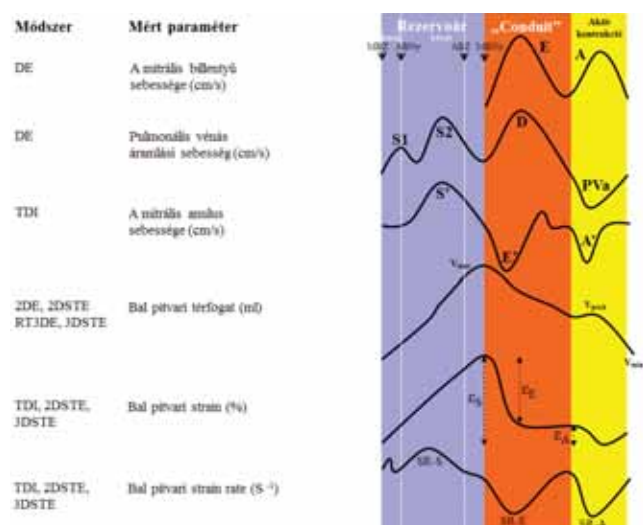
2DE során a BP-i térfogatok a szív ciklus három fázisának megfelelően az alábbi formula segítségével számíthatók.



1. ábra

A csúcsi négyüregi (AP4CH) és kétüregi (AP2CH) nézetben a bal pitvari area (A1 és A2), valamint a bal pitvari hosszúság (L) mérése kétdimenziós echokardiográfia során

JK = jobb karma; JP = jobb pitvar; BK = bal kamra; BP = bal pitvar



2. ábra

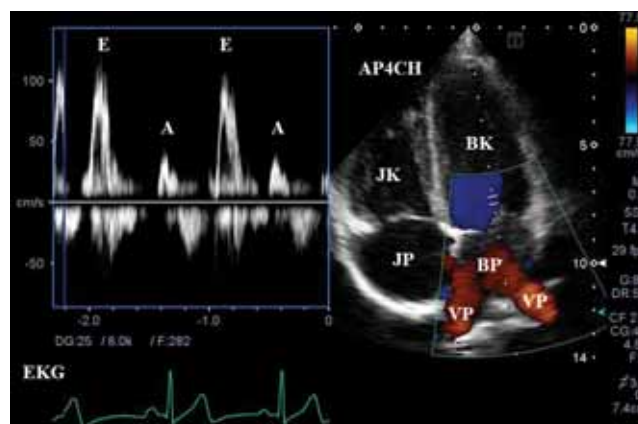
A bal pitvari funkciót jellemző paraméterek és a számításukra jelenleg alkalmazható módszerek

ABNy = aortabillentyű nyitódása; ABZ = aortabillentyű záródása; DE = Doppler-echokardiográfia; MBNy = mitralis billentyű nyitódása; MBZ = mitralis billentyű záródása; TDI = szöveti Doppler-echokardiográfia; 2DSTE = kétdimenziós speckle-tracking echokardiográfia; RT2DE = real-time háromdimenziós echokardiográfia; 3DSTE = háromdimenziós speckle-tracking echokardiográfia

hatók (biplane area-length formula) [11]: $Térfogat = 8(A_1)(A_2)/3\pi(L)$

- Maximális térfogat (V_{max}) végszisztolében, amikor a BP-i térfogat a legnagyobb, mielőtt a mitralis billentyű kinyílik.
- Minimális térfogat (V_{min}) végdiasztolében, amikor a BP-i térfogat a legkisebb, mielőtt a mitralis billentyű becsukódik.
- A pitvari kontrakció előtti térfogat (V_{preA}), az utolsó képkocka, mielőtt a mitralis billentyű újra kinyílik vagy az EKG-n a P-hullám idején.

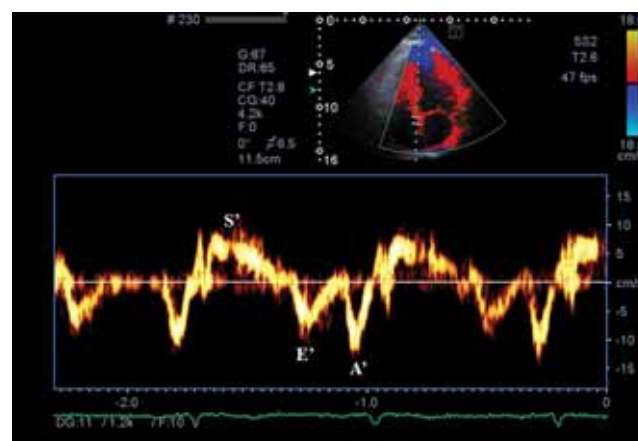
A három térfogatértékből a BP különböző funkcióit (rezervoár, conduit és aktív kontrakció) jellemző stroke volume és ürülési frakció paraméterei számíthatók (2. táblázat) [2, 3].



3. ábra

A pulzális Doppler-echokardiográfia során a mitralis billentyű csúcsán mért transmitralis áramlást jellemző E- és A-hullámok láthatók

JK = jobb karma; JP = jobb pitvar; BK = bal kamra; BP = bal pitvar; VP = vena pulmonalis; AP4CH = csúcsi 4 üregi kép



4. ábra

Szöveti Doppler-echokardiográfia segítségével a mitralis anulus bal pitvar felőli septális részén rögzített típusos áramlási minta a jellemző hullámokkal

Doppler-echokardiográfia (DE)

A mitralis billentyű vizsgálata

A BP-i funkció jellegzetessége a pitvari ürülést jellemző, a mitralis billentyű vitorláinak csúcsán pulzális Doppler segítségével mért korai (mitralis E) és a késői (mitralis A) BK-i diasztolés telődési hullám (2. és 3. ábra, 3. táblázat). A csúcs A sebességet a BP-i mechanikus funkció jellemzőjének tartják, fiatal egészségesekben értéke $0,8 \pm 0,2$ m/s [13], pitvarfibrilláció fennállása esetén hiányzik, értékét jelentősen befolyásolhatja a szívfrekvencia, a kor, a BK telődési jellemzői stb. [2]. Egy további lehetőség a BP-i funkció jellemzésére, hogy meghatározzuk, milyen a pitvari szisztolé hozzájárulása a teljes mitralis beáramláshoz: (mitralis A time-velocity-integral [TVI])/(mitralis E TVI+mitralis A TVI) [14].

A pulmonalis vénás áramlás jellemzése

A BP-i funkciót a pulmonalis vénás áramlás segítségével is jellemezhetjük (2. ábra, 3. táblázat). Pitvari kontrakció alatt a (reverz) pulmonalis vénás visszaáramlás nagysága és időtartama használható paraméter a BP-i kontraktilitás és BK-i diasztolés nyomás jellemzésére [15]. A leggyakrabban használt mérési hely a kilégzés végén apicalis ablakból a jobb felső pulmonalis véna.

A bal pitvari ejekciós erő és kinetikus energia számítása

A BP-i kontraktilis funkció úgy is jellemezhető, hogy kiszámítjuk a BP-i ejekciós erő (left atrial ejection force – LAEF) [16] és kinetikus energia (left atrial kinetic energy – LAKE) nagyságát [17].

- A LAEF azt jellemzi, milyen a BP hozzájárulása a diasztolés teljesítményhez, vagyis a BP pitvari szisztolés során milyen erővel továbbítja a vért a BK-ba. Manning szerint a $LAEF = 0,53 \times 1,06 \text{ g/cm}^3 \times (\text{MA diameter vagy MA area}) \times \text{transmitralis A-hullám sebessége}$, ahol az $1,06 \text{ g/cm}^3$ a vér denzitásértéke [16]. Ha az MA-t cirkulárisnak tekintjük, átmérője az AP4CH-képen mérhető (1. ábra). A LAEF értéke jól korrelál a korrall, a hypertóniával, a testtömegindexszel, a szérumkreatinin-értékkel, a glükóz- és inzulinszinttel, és a cardiovascularis események független prediktora [18].
- A kinetikus energia nagyságát hasonló módon számíthatjuk [17]: $LAKE = \frac{1}{2} (\text{BP-SV} \times 1,06 \text{ g/cm}^3 \times \text{transmitralis A-hullám sebessége})$, ahol $\text{BP-SV} = V_{\text{preA}} - V_{\text{min}}$. Ezeknek a paramétereknek a klinikai használhatósága és variabilitása az irodalomban megfelelő tudományos igényvel még nem volt kellően vizsgálva.

Szöveti Doppler-echokardiográfia (TDI)

A mitralis annulus elmozdulási sebességértékeinek mérése

A szöveti Doppler-echokardiográfia (tissue Doppler imaging – TDI) alkalmas módszernek tűnik az alacsony sebességű, nagy amplitúdójú, hossztengetlyi intrinszik myocardialis sebességértékek mérésére mind szisztolében, mind diasztolében [4, 19] (2. és 4. ábra, 3. táblázat). TDI során az MA-ról jellegzetes hármass deflektió detektálható: kamrai csúcs szisztolés sebesség (S' vagy S_m), korai kamrai csúcs diasztolés sebesség (E' vagy E_m) és a pitvari kontrakció sebességértéke (A' vagy A_m). A TDI-méréseket a kilégzés végén három sinusütés átlagaként kell számítani, a mintát pedig az AP4CH-képen az MA BP-i oldalán a basalis atrialis septumon az endocardialis határon kell venni [20]. A basalis septalis és a basalis lateralis falon mért A' között szignifikáns eltérés nincs, értéke az életkorral nő, de a BP-i diszfunkcióval járó kór-

2. táblázat | A bal pitvar szív ciklusos funkcióját jellemző térfogatérték-alapú funkcionális paraméterek

	Rezervoár	„Conduit funkció”	Aktív kontrakció
Stroke volume (ml)	Total (teljes) SV = $V_{\text{max}} - V_{\text{min}}$	Passzív SV = $V_{\text{max}} - V_{\text{preA}}$	Aktív SV = $V_{\text{preA}} - V_{\text{min}}$
Ürülési frakció (%)	Total (teljes) EF = $\text{Total SV} / V_{\text{max}}$	Passzív EF = $\text{Passzív SV} / V_{\text{max}}$	Aktív EF = $\text{Aktív SV} / V_{\text{preA}}$
Egyéb	Expansion index = $\text{Total SV} / V_{\text{min}}$	„Conduit” térfogat = $[\text{BK-i SV}] - (V_{\text{max}} - V_{\text{min}})$	

BK = bal kamra; EF = (emptying fraction) ürülési frakció; SV = stroke volume; V_{max} = végszisztolében mért maximális bal pitvari térfogat; V_{min} = végdiasztolében mért minimális bal pitvari térfogat; V_{preA} = a pitvari kontrakció előtt mért bal pitvari térfogat

3. táblázat | A balpitvar-funkciót jellemző spektrális és szöveti Doppler-paraméterek [6]

	Rezervoár	„Conduit funkció”	Aktív kontrakció
Transmitralis áramlás		E sebesség, E/A	A sebesség, E/A AFF
Pulmonalis vénás áramlás	S sebesség	D sebesség	PVa
Szöveti sebesség	S'	E'	A'
Strain	ϵS	ϵE	ϵA
Strain rate	SR-S	SR-E	SR-A

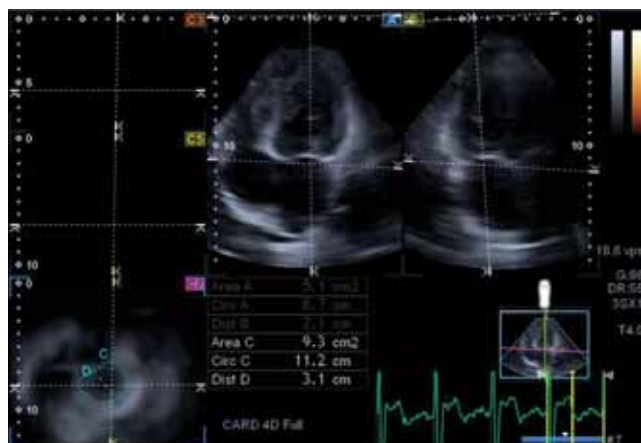
AFF = (atrial filling fraction) pitvari telődési frakció; PVa = pulmonalis vénás reverz sebesség; SR = strain rate; ϵ = strain

képekben az A' értéke csökkent [4]. Jó korrelációt mutat a BP-i ejekciós frakció a LAEF és LAKE értékével [2]. Mind a három TDI-paraméter prognosztikus jelentősége igazolást nyert [21]. Fontos azonban annak ismerete, hogy a TDI során mért paraméterek szögfüggőek és a szomszédos myocardialis szövetek lényegesen befolyásolhatják.

TDI-alapú strain és strain rate képalkotás

Az echokardiográfiában használt „strain” fogalom egy adott szívüreg egészére (globális) vagy egy adott falrészlet regionális/szegmentális deformációjára használt kifejezés, amelynek célja a hosszabbodás, rövidülés, vastagodás jellemzése a szív ciklus során. A strain értékét a $\text{strain} = \Delta L / L_0$ képlet segítségével jellemezhetjük, ahol a ΔL a hosszban bekövetkező változást jelenti, míg az L_0 az eredeti hosszúságot jelöli. Figyelembe kell azonban venni, hogy a falmozgások 3 dimenziósak és komplexek, és az echokardiográfias mérések során egyszerűsített modelleket alkalmazunk [22].

Az echokardiográfias strainmérések első leírása TDI-vizsgálatok során történt [23] (3. táblázat). Mivel a



5. ábra

A bal pitvari ejekciós erő (left atrial ejection force – LAEF) számításához meg kell határozni a mitralis anulus (MA) átmérőjét/areáját, és a Doppler-echokardiográfia során a (4. ábrán bemutatott módon) mért transmitralis A-hullám csússsebességét. Az egyik lehetséges mód, hogy a háromdimenziós (3D) speckle-tracking echokardiográfia során begyűjtött 3D adatbázisból (echókódból) a speciális szoftver által létrehozott csúcsi négyüregi (A) és kétüregi (B) nézetben a hosszanti síkokat a bal kamra hossz tengelyéhez optimalizáljuk, majd egy tetszőleges keresztmetszeti síkot (például a C7-et) az MA végpontjaira helyezzük mindkét nézetben. A keresztmetszeti képen (C7) az MA szemből („en-face”) ábrázolódik, ahol planimetria segítségével az MA-areát és -kerületet lemérhetjük, és a legnagyobb MA- (kereszt)átmérőt kiválaszthatjuk. A LAEF értéke az alábbi képlet alapján számítható:

$$\text{LAEF} = 0,53 \times 1,06 \text{ g/cm}^3 \times (\text{MA-diameter vagy MA-areát}) \times \text{transmitralis A-hullám sebessége}$$

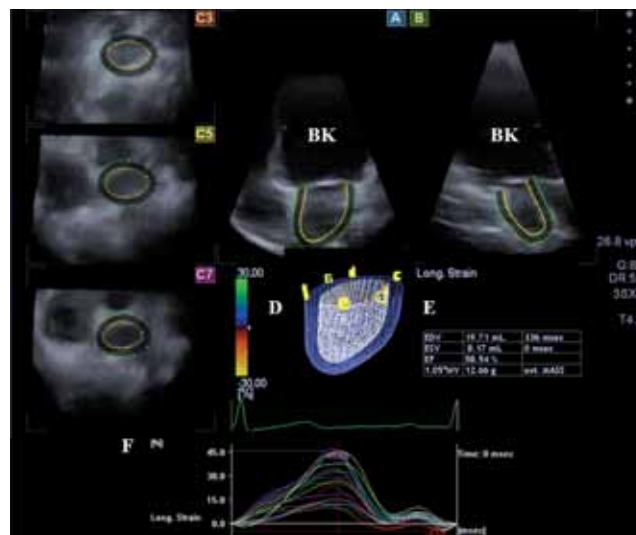
area = mitralis anulus area; Circ = mitralis anulus kerülete; Dist = mitralis anulus átmérője

TDI-vel sebességértékeket mérünk, így a strain rate (strain/idő) értékek számítása az alábbi képlet segítségével történik: $\text{strain rate} = (V1 - V2)/L$, ahol a V1 és a V2 két különböző pontban mért sebességérték, amelyek távolsága L (általában 10 mm). Strain és strain rate mérések során a myocardialis falmozgás irányának az ultrahangnyaláb irányával egybe kell esnie. Például a longitudinális rövidülés jellemzésekor az apicalis ablak használata javasolt vagy a parasternalis nézet használata a relatív transmuralis sebességváltozás mérésére. Mivel TDI során a méréseket a szög befolyásolhatja, így Doppler-szögkorrekciós programokat fejlesztettek ki. Ennek ellenére amennyiben a szög közel 90°, a falmozgást TDI-vel jellemezni nem lehet [22, 23, 24].

Tekintettel a TDI-alapú strain és strain rate képalkotás technikai limitációira és a 2D speckle-tracking echokardiográfia gyors elterjedésére, a klinikai gyakorlatban utóbbi módszer tűnik preferáltabbnak a falmozgászavarok strainalapú kvantitatív jellemzésére.

Kétdimenziós speckle-tracking echokardiográfia (2DSTE)

A speckle-tracking echokardiográfia (STE) lényege, hogy a szívizomszövetről visszaverődő szóródásos echók blokkjait – más szóval természetes akusztikus



6. ábra

A bal pitvarról készített háromdimenziós (3D) speckle-tracking echokardiográfias felvétel. A teljes 3D „echókódból” a készülék automatikusan csúcsi négyüregi (A) és kétüregi (B) nézetnek megfelelő metszeteket készít, valamint az általunk definiált síkokban (a bal pitvar basális [C3], midatriális [C5] és superior síkjában [C7]) keresztmetszeti képeket. A készülék alkalmas a bal pitvarról térbeli modell (D) létrehozására, valamint volumetrikus adatok (EDV = bal pitvari maximális térfogat; ESV = bal pitvari minimális térfogat), a bal pitvari ejekciós frakció (EF), valamint a becült bal pitvari izomtömeg kiszámítására (E). Emellett a szoftver az általunk kiválasztott funkcionális paraméter (jelen esetben a longitudinális strain) szegmentális értékeit is bemutatja (F)

BK = bal kamra

markereket, amelyek az ultrahang és a myocardialis szövet interakciója révén jönnek létre – speciális szoftverek segítségével detektálni, majd képről képre követni tudjuk [3]. Amennyiben ez az analízis 2D echokardiográfia során rögzített AP4CH és AP2CH képeken történik, akkor 2DSTE-ről beszélünk. Ilyenkor a mozgóképeket ideálisan 50–70 kép/s mellett rögzítjük optimális képminőség mellett kilégzéskor [25]. A BP elemzése a módszerrel nehezebb és időigényesebb, mint a BK vizsgálata, mivel a BP „messzebb-távolabb van”, fala vékonyabb, valamint a BP-i fülcsé és a pulmonalis vénák jelenléte nehézséget jelenthetnek az elemzések során. A módszer legfontosabb limitációja azonban, hogy mivel egy elmozdulás általában háromdimenziós, így a vizsgálati síkból kilépő mozgás esetén nem pontos értékeket kapunk (teoretikusan ezt a problémát a 3DSTE kiküszöböli, mivel a követés 3D-ben történik; lásd később). A 2DSTE nagy előnye viszont, hogy kiküszöböli a myocardialis mozgások megítélésében rejlő szubjektivitást és variabilitást, a számított paraméterek értékét a szög nem befolyásolja stb.

Volumetrikus adatok számítása

A fent leírt módszertan segítségével a BP-ről idő-BP-i térfogatgörbét lehet létrehozni az apicalis nézetekben

a szív ciklusnak megfelelően [26] (2. ábra). A térfogatértékekből pedig funkcionális paraméterek számíthatók a korábban leírtak szerint (2. táblázat).

Strainparaméterek számítása

A fentiekhez hasonlóan longitudinális szegmentális idő-strain (ϵ) és idő-strain rate (SR) görbék is nyerhetők a bal pitvar falairól (septális, laterális, posterior, anterior és inferior falakról AP4CH és AP2CH nézetekben), majd a BP hármaskörének megfelelően ϵ - és SR-értékek számíthatók [27] (2. ábra). Ismert és az irodalomban használt fogalmak [8]:

- PALS = (peak atrial longitudinal strain) bal pitvari csúcs longitudinális strain, a rezervoár fázisban mérjük.
- PACS = (peak atrial contraction strain) bal pitvari kontrakció során mért strain.
- CSI = BP-i kontrakciós strain index = $(\text{PACS} / \text{globális PALS}) \times 100$ (a BP-i aktív kontrakció hozzájárulását jellemzi a BK-i telődéshez százalékban).
- TPLS = (time-to-peak longitudinal strain) a longitudinális strain eléréséhez szükséges idő.

Real-time háromdimenziós echokardiográfia (RT3DE)

A real-time háromdimenziós (3D) echokardiográfia (RT3DE) egy új, alig több mint 10 évre visszatekintő echokardiográfiai módszer, amely teljesen új lehetőségeket nyújt a szív és üregeinek volumetrikus vizsgálatára. A módszer 2003-ban lett bemutatva [28], első hazai leírása 2007-ből származik [29]. RT3DE során a vizsgálni kívánt szívüreget (jelen esetben a BP-t) is tartalmazó, piramis alakú 3D adatbázist („echókód”) gyűjtünk be digitálisan EKG-kapuzás mellett egy speciális, úgynevezett mátrixtranszducer és az ehhez csatlakoztatott speciális ultrahangkészülék segítségével. Ezt a 3D adatbázist az erre a célra kifejlesztett speciális szoftverek segítségével lehet online vagy offline elemezni. A módszer alkalmas arra, hogy a szívüreget (például BP) endokardiális és epikardiális felszínének körberajzolását követően (vagy szövet-vér határfelismerő programok segítségével igénybe véve) az adott üregről egy 3D modellet hozzunk létre.

Volumetrikus adatok számítása

A módszer nagy előnye, hogy a valós üregi, a szív ciklust is figyelembe vevő volumetrikus adatokat méri a mágneses rezonanciás vizsgálathoz mérhető pontossággal [30, 31] (2. ábra). Mivel a vizsgálatok EKG-kapuzás mellett történnek, a digitálisan rögzített képsorozatokból („loop”-okból) a legnagyobb (V_{\max}) és legkisebb (V_{\min}) BP-i térfogat kiválasztható, a pitvari szisztolés előtti képen („frame”-n) a V_{preA} térfogata is pontosan lemérhető,

és a 2DE-nél leírt BP-i funkcionális paraméterek is kiszámíthatók (2. táblázat). A módszer klinikai használhatósága és pontossága igazolást nyert [32, 33].

A bal pitvari ejekciós erő számítása

RT3DE során egy másik lehetőség is fennáll a BP funkciójának jellemzésére. Mivel a módszer lehetőséget nyújt arra, hogy tetszőleges síkú metszeteket („anyplane”) készítsünk a 3D adatbázisban, így a billentyűk és azok anulusai akár „en-face” (szemből) is vizsgálhatók, méreteik (átmérő, area stb.) pontosan lemérhetők [29] (5. ábra). A LAEF az előzőekben leírtaknak megfelelően RT3DE segítségével is számítható, ilyenkor az MA diameter/area nagyságát kell a korábban megadott egyenletbe írni [34, 35]. Egyelőre a módszerrel szerzett klinikai tapasztalat minimális.

Háromdimenziós speckle-tracking echokardiográfia (3DSTE)

A háromdimenziós speckle-tracking echokardiográfia (3DSTE) egy új, az RT3DE-hez hasonló 3D echokardiográfiai eljárás. A 3DSTE képes ötvözni az STE és a 3D echokardiográfia előnyeit, mivel a szívet egy 3D szervnek tekinti és a myocardium „speckle”-jeinek (echómin-táinak) követecek a tér mindhárom irányát figyelembe veszi (mivel a 3D „piramisban” követi az adott képpontok elmozdulásait). A 3DSTE kivitelezése az RT3DE-nél leírtakhoz hasonló módon történik, azonban az ilyenkor alkalmazott szoftver a digitálisan begyűjtött adatokat egy speciális algoritmus segítségével elemzi. Ez pedig a 3DSTE-t alkalmassá teszi nemcsak volumetrikus, de funkcionális paraméterek (strain, displacement, rotáció, csavarodás/twist stb.) és a LAEF egyidejű számítására is, lehetővé téve a BP-i funkció széles körű elemzését egy vizsgálat alatt. A módszert Magyarországon 2012-ben mutattuk be [36].

Volumetrikus adatok számítása

A módszer használhatóságát eleinte a BK volumetrikus adatainak mérésében igazolták [37] (2. ábra). A későbbiekben elvégzett validációs tanulmányokban igazolást nyert, hogy a 3DSTE pontosabb és reprodukálhatóbb eljárás a BP-i térfogatok mérésében a 2DSTE-hez képest, és a komputertomográfiai eredményekkel is szoros összefüggést mutatott [26]. Kleijn és mtsai voltak az elsők, akik a két ismert és elterjedt 3D echokardiográfiai módszert, a volumetrikus RT3DE és a strainalapú 3DSTE hasonlították össze. A két módszer egymással kicserélhetőnek és reprodukálhatónak bizonyult a BK-i és BP-i térfogatok és funkció vizsgálatában [38]. A 3DSTE során mért BP-i térfogatok és volumetrikus adatokon nyugvó funkcionális paraméterek hasonlóan bizonyultak a széles körben használt 2DE-vel mért ér-

tékekhez képest is (2. táblázat) [39]. Egy saját közleményünkben igazoltuk, hogy összefüggés mutatható ki a mitralis anulus és 3DSTE segítségével számított volumetrikus és térfogatérték-alapú funkcionális paraméterek között már egészségesekben is [40].

Strainparaméterek számítása

A BK vizsgálatához hasonlóan a 3DSTE alkalmas a BP-ről létrehozott 3D modell segítségével különböző globális és egyes szegmentumokra vonatkoztatott szegmentális BP-i strainparaméterek számítására is [41, 42, 43] (2. és 6. ábra). A gyakorlatban leggyakrabban használt paraméterek a radiális (RS), longitudinális (LS), circumferenciális (CS), 3D (3DS) és area (AS) strainértékek [36]. Nemcsak a rezervoárfunkciót jellemző csúcsstrain-értékek, hanem a pitvari kontrakciót jellemző „pre-atrial contraction” strainértékek is kiszámíthatók, mivel a straingörbe egészségesekben „kétpúpú” (hasonlóan a 2DSTE-nél leírtakhoz) [41]. Egy közelmúltban megjelent tanulmányban a 3DSTE alkalmasnak bizonyult a BP-i strainparaméterek számítására a 2DSTE-hez hasonlóan [41]. A módszerrel végzett klinikai tanulmányok száma azonban egyelőre limitált, mindenesetre pitvarfibrilláció [41, 42] és hypertrophiás cardiomyopathia [43] fennállása esetén lényeges eltérések voltak igazolhatók 3DSTE során. A módszer alkalmasnak tűnik BP-i rotációs és szinkronia/diszinkronia paraméterek számítására is, azonban ennek irodalmi háttere nem tisztázott.

A bal pitvari ejekciós erő számítása

A 3DSTE alkalmasnak tűnik az RT3DE-hez hasonlóan a LAEF számítására is, ahogy ezt egy eset kapcsán bemutattuk [44] (5. ábra).

Következtetések

Összefoglalásként megállapítható, hogy ma már számos noninvazív echokardiográfias módszer érhető el a napi klinikai gyakorlatban a BP méretének pontos meghatározására, illetve funkciójának jellemzésére. A jelen közleményben csak a transthoracalis eljárásokat részleteztük, azonban ma már elérhető a 2D transoesophagealis echokardiográfia mellett a 3D-s eljárás is. Fontos továbbá kiemelnünk, hogy a bal pitvari fülcséről, annak vizsgálati lehetőségéről jelen közleményben eltekintettünk. Általánosságban elmondható, hogy a 3D-s eljárások, valamint a falmozgások és azok deformitásának kvantitatív jellemzésére alkalmas STE elterjedésével (3DSTE) lehetőségünk van a BP-i méretek és funkció szívciklust is figyelembe vevő még részletesebb vizsgálatára, amely teoretikusan tovább segítheti a terápiás beavatkozások eredményességének további javítását.

Anyagi támogatás: A közlemény a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj (MTA, Budapest) támogatásával készült.

Szerzői munkamegosztás: N. A., F. T.: A kézirat és az irodalom átolvasása, szövegezése. A cikk végleges változatát mindkét szerző elolvasta és jóváhagyta.

Érdekltségek: A szerzőknek nincsenek érdekltségeik.

Irodalom

- [1] Seward, J. B., Hebl, V.B.: Left atrial anatomy and physiology: echo/Doppler assessment. *Curr. Opin. Cardiol.*, 2014, 29(5), 403–407.
- [2] Blume, G. G., McLeod C. J., Barnes M. E., et al.: Left atrial function: physiology, assessment, and clinical implications. *Eur. J. Echocardiogr.*, 2011, 12(6), 421–430.
- [3] Hoit, B. D.: Left atrial size and function: role in prognosis. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 2014, 63(6), 493–505.
- [4] Leung, D. Y., Boyd, A., Ng, A. A., et al.: Echocardiographic evaluation of left atrial size and function: Current understanding, pathophysiologic correlates, and prognostic implications. *Am. Heart J.*, 2008, 156(6), 1056–1064.
- [5] Vieira, M. J., Teixeira, R., Golçalves, L., et al.: Left atrial mechanics: echocardiographic assessment and clinical implications. *J. Am. Soc. Echocardiogr.*, 2014, 27(5), 463–478.
- [6] Badano, L. P., Nour, A., Muraru, D.: Left atrium as a dynamic three-dimensional entity: Implications for echocardiographic assessment. *Rev. Esp. Cardiol.*, 2013, 66(1), 1–4.
- [7] Todaro, M. C., Choudhuri, I., Belohlavek, M., et al.: New echocardiographic techniques for evaluation of left atrial mechanics. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging*, 2012, 13(12), 973–984.
- [8] Cameli, M., Lisi, M., Righini F. M., et al.: Novel echocardiographic techniques to assess left atrial size, anatomy and function. *Cardiovasc. Ultrasound.*, 2012, 10, 4.
- [9] Potter, L. R., Yoder, A. R., Flora, D. R., et al.: Natriuretic peptides: their structures, receptors, physiologic functions and therapeutic applications. *Handb. Exp. Pharmacol.*, 2009, 191, 341–366.
- [10] Boudoulas, K. D., Paraskevidis, I. A., Boudoulas, H., et al.: The left atrium: from the research laboratory to the clinic. *Cardiology*, 2014, 129(1), 1–17.
- [11] Lang, R. M., Bierig, M., Devereux, R. B., et al.: Recommendations for chamber quantification: a report from the American Society of Echocardiography’s Guidelines and 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(12), 1440–1463.
- [12] Pritchett, A. M., Jacobsen, S. J., Mahoney, D. W., et al.: Left atrial volume as an index of left atrial size: a population-based study. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 2003, 41(6), 1036–1043.
- [13] Vasan, R. S., Larson, M. G., Levy, D., et al.: Doppler transmitral flow indexes and risk of atrial fibrillation (the Framingham Heart Study). *Am. J. Cardiol.*, 2003, 91(9), 1079–1083.
- [14] Mattioli, A. V., Tarabini Castellani, E., Vivoli, D., et al.: Restoration of atrial function after atrial fibrillation of different etiological origins. *Cardiology*, 1996, 87(3), 205–211.
- [15] Appleton, C. P., Galloway, J. M., Gonzalez, M. S., et al.: Estimation of left ventricular filling pressures using two-dimensional and Doppler echocardiography in adult patients with cardiac disease: Additional value of analyzing left atrial size, left atrial ejection fraction and the difference in duration of pulmonary venous and mitral flow velocity at atrial contraction. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 1993, 22(7), 1972–1982.

- [16] Manning, W. J., Silverman, D. I., Katz, S. E., et al.: Atrial ejection force: a noninvasive assessment of atrial systolic function. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 1993, 22(1), 221–225.
- [17] Boudoulas, K. D., Sparks, E. A., Rittgers, S. E., et al.: Factors determining left atrial kinetic energy in patients with chronic mitral valve disease. *Herz*, 2003, 28(5), 437–444.
- [18] Chinai, M., de Simone, G., Roman, M. J., et al.: Left atrial systolic force and cardiovascular outcome: The Strong Heart Study. *Am. J. Hypertens.*, 2005, 18(12 Pt. 1), 1570–1576.
- [19] Solm, D. W., Chai, I. H., Lee, D. J., et al.: Assessment of mitral annulus velocity by Doppler tissue imaging in the evaluation of left ventricular diastolic function. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 1997, 30(2), 474–480.
- [20] Nagueh, S. F., Middleton, K. J., Kopelen, H. A., et al.: Doppler tissue imaging: a noninvasive technique for evaluation of left ventricular relaxation and estimation of filling pressures. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 1997, 30(6), 1527–1533.
- [21] Yu, C. M., Sanderson, J. E., Marwick, T. H., et al.: Tissue Doppler imaging: a new prognosticator for cardiovascular diseases. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 2007, 49(19), 1903–1914.
- [22] Gorcsan, J. 3rd., Tanaka, H.: Echocardiographic assessment of myocardial strain. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 2011, 58(14), 1401–1413.
- [23] Heimdal, A., Støylen, A., Torp, H., et al.: Real-time strain rate imaging of the left ventricle by ultrasound. *J. Am. Soc. Echocardiogr.*, 1998, 11(11), 1013–1019.
- [24] Urheim, S., Edvardsen, T., Torp, H., et al.: Myocardial strain by Doppler echocardiography. Validation of a new method to quantify regional myocardial function. *Circulation*, 2000, 102(10), 1158–1164.
- [25] Vianna-Pinton, R., Moreno, C. A., Baxter, C. M., et al.: Two-dimensional speckle-tracking echocardiography of the left atrium: feasibility and regional contraction and relaxation differences in normal subjects. *J. Am. Soc. Echocardiogr.*, 2009, 22(3), 299–305.
- [26] Nagaya, M., Kawasaki, M., Tanaka, R., et al.: Quantitative validation of left atrial structure and function by two-dimensional and three-dimensional speckle tracking echocardiography: A comparative study with three-dimensional computed tomography. *J. Cardiol.*, 2013, 62(3), 188–194.
- [27] Saraiva, R. M., Demirkol, S., Buakhamsri, A., et al.: Left atrial strain measured by two-dimensional speckle tracking represents a new tool to evaluate left atrial function. *J. Am. Soc. Echocardiogr.*, 2010, 23(2), 172–180.
- [28] Franke, A., Kühl, H. P.: Second-generation real-time 3D echocardiography: a revolutionary new technology. *Medica Mundi*, 2003, 47, 34–40.
- [29] Nemes, A., Geleijnse, M. L., Soliman, O. I., et al.: Real-time 3-dimensional echocardiography – can there be one more dimension? [Real-time 3 dimenziós echokardiográfia – lehet egy dimenzióval több?] *Orv. Hetil.* 2007, 148(52), 2451–2460. [Hungarian]
- [30] Soliman, O. I., Krenning, B. J., Geleijnse, M. L., et al.: Quantification of left ventricular volumes and function in patients with cardiomyopathies by real-time three-dimensional echocardiography: A head-to-head comparison between two different semiautomated endocardial border detection algorithms. *J. Am. Soc. Echocardiogr.*, 2007, 20(9), 1042–1049.
- [31] Soliman, O. I., Krenning, B. J., Geleijnse, M. L., et al.: A comparison between QLAB and TomTec full volume reconstruction for real time three-dimensional echocardiographic quantification of left ventricular volumes. *Echocardiography*, 2007, 24(9), 967–974.
- [32] Anwar, A. M., Geleijnse, M. L., Soliman, O. I., et al.: Left atrial Frank-Starling law assessed by real-time, three-dimensional echocardiographic left atrial volume changes. *Heart*, 2007, 93(11), 1393–1397.
- [33] Anwar, A. M., Soliman, O. I., Geleijnse, M. L., et al.: Assessment of left atrial volume and function by real-time three-dimensional echocardiography. *Int. J. Cardiol.* 2008, 123(2), 155–161.
- [34] Anwar, A. M., Soliman, O. I., Geleijnse, M. L., et al.: Assessment of left atrial ejection force in hypertrophic cardiomyopathy using real-time three-dimensional echocardiography. *J. Am. Soc. Echocardiogr.*, 2007, 20(6), 744–748.
- [35] Nemes, A., Anwar, A. M., Caliskan, K., et al.: Evaluation of left atrial systolic function in noncompaction cardiomyopathy by real-time three-dimensional echocardiography. *Int. J. Cardiovasc. Imaging*. 2008, 24(3), 237–242.
- [36] Nemes, A., Kalapos, A., Domsik, P., et al.: Three-dimensional speckle-tracking echocardiography – a further step in non-invasive three-dimensional cardiac imaging [Háromdimenziós speckle-tracking echokardiográfia – egy újabb lépés a noninvazív háromdimenziós kardiális képalkotásban]. *Orv. Hetil.*, 2012, 153(40), 1570–1577. [Hungarian]
- [37] Nesser, H. J., Mor-Avi, V., Gorissen, W., et al.: Quantification of left ventricular volumes using three-dimensional echocardiographic speckle tracking: comparison with MRI. *Eur. Heart J.*, 2009, 30(13), 1565–1573.
- [38] Kleijn, S. A., Aly, M. F., Terwee, C. B., et al.: Comparison between direct volumetric and speckle tracking methodologies for left ventricular and left atrial chamber quantification by three-dimensional echocardiography. *Am. J. Cardiol.*, 2011, 108(7), 1038–1044.
- [39] Nemes, A., Domsik, P., Kalapos, A., et al.: Comparison of three-dimensional speckle-tracking echocardiography and two-dimensional echocardiography for evaluation of left atrial size and function in healthy volunteers. (Results from the MAGYAR-Healthy Study). *Echocardiography*, 2014, 31(7), 865–871.
- [40] Domsik, P., Kalapos, A., Lengyel, C., et al.: Relationship between mitral annular and left atrial function as assessed by three-dimensional speckle-tracking echocardiography in healthy volunteers Results from the MAGYAR-Healthy Study [A mitralis anulus és a bal pitvar funkciója közötti összefüggések vizsgálata háromdimenziós speckle-tracking echokardiográfia segítségével egészséges önkéntesekben. Eredmények a MAGYAR-Healthy Tanulmányból.] *Orv. Hetil.*, 2014, 155(38), 1517–1523. [Hungarian]
- [41] Mochizuki, A., Yuda, S., Oi, Y., et al.: Assessment of left atrial deformation and synchrony by three-dimensional speckle-tracking echocardiography: Comparative studies in healthy subjects and patients with atrial fibrillation. *J. Am. Soc. Echocardiogr.*, 2013, 26(2), 165–174.
- [42] Chadaide, S., Domsik, P., Kalapos, A., et al.: Three-dimensional speckle tracking echocardiography-derived left atrial strain parameters are reduced in patients with atrial fibrillation (results from the MAGYAR-Path Study). *Echocardiography*, 2013, 30(9), 1078–1083.
- [43] Nemes, A., Kalapos, A., Chadaide, S., et al.: Three-dimensional speckle tracking echocardiography allows detailed evaluation of left atrial function in hypertrophic cardiomyopathy – Insights from the MAGYAR-Path Study. *Echocardiography*. (In press.)
- [44] Nemes, A., Hausinger, P., Kalapos, A., et al.: Alternative ways to assess left atrial function in noncompaction cardiomyopathy by three-dimensional speckle-tracking echocardiography: (a case from the MAGYAR-Path study). *Int. J. Cardiol.*, 2012, 158(1), 105–107.

(Nemes Attila dr.,
Szeged, Korányi fasor 6., 6720
e-mail: nemes.attila@med.u-szeged.hu)