

CHYBY, KTORÝCH SA PRI MERANÍ AORTÁLNEJ STENÓZY MÔŽEME DOPUSTIŤ

Kirschová A., Valočik G.

I. kardiologická klinika UPJŠ LF a VÚSCH, a.s., Košice

Úvod Echokardiografia je u pacientov s aortálnou stenózou základným diagnostickým vyšetrením. Služi na stratifikáciu závažnosti tejto chlopňovej chyby. Umožňuje zobrazenie anatómie aortálnej chlopne, jej cípov a hodnotí rozsah kalcifikácie chlopne.

Cieľ Cieľom práce je rozbor možných chýb, ktorých sa pri meraní aortálnej stenózy môžeme dopustiť.

Kontext Aj pri precíznom vyšetrení echokardiografom však môže akýmkoľvek nedopatrením dôjsť ku chybe merania, ktorá môže výrazným spôsobom zasiahnuť do manažmentu pacienta. Dôsledný echokardiografický nález preto tvorí základný pilier pre stratifikáciu závažnosti valvulopatie a následnú indikáciu pacienta k chirurgickej či intervenčnej liečbe.

Záver Tento článok pojednáva o možných chybách, ktorých sa pri echokardiografickom vyšetrení môžeme dopustiť aortálnej stenózy.

Kľúčové slová: aortálna stenóza, echokardiografia, kvantifikácia, chyby

Úvod

Aortálna stenóza (AS) je najčastejším chlopňovým ochorením srdca v rozvinutých krajinách a jej prevalencia sa zvyšuje so starnutím populácie [4]. Medzi kalcifikáciou aortálnej chlopne a stupňom AS existuje priama patologická súvislosť, keďže kalcifikácia je integrálnou súčasťou degeneratívneho procesu. Hodnotenie ex-vivo aortálnej chlopne na začiatku 90. rokov minulého storočia zaznamenalo dôkaz aterosklerózy, dokonca aj vo veľmi skorých štádiách ochorenia aortálnej chlopne [11]. Neliečená symptomatická AS je spojená s významnou morbiditou a mortalitou [13].

Hemodynamická závažnosť aortálnej stenózy sa hodnotí pomocou troch základných parametrov, a to veľkosti plochy aortálneho ústia, stanovením stredného tlakového gradientu medzi aortou a ľavou komorou a určením maximálnej rýchlosti toku cez aortálnu chlopňu.

Aktuálne medzinárodné odporúčania [12] pre klasifikáciu hemodynamickej závažnosti AS sú uvedené v tabuľke 1. Ktorékoľvek z troch kritérií, plocha aortálnej chlopne $< 1,0 \text{ cm}^2$, maximálna rýchlosť $\geq 4,0 \text{ m/s}$ alebo stredný tlakový gradient $\geq 40 \text{ mmHg}$, možno považovať za ukazovateľ závažnej aortálnej stenózy. V ideálnom prípade by mala existovať zhoda vo všetkých parametroch spĺňajúcich kritériá závažnosti. V prípade ak existuje nesúlad medzi týmito kritériami, je dôležité integrovať tieto parametre s dodatočnými nálezmi ako je výpočet vývrhového objemu (SV, stroke volume), ejekčnej frakcie ľavej komory, či klinickými údajmi pred konečným posúdením závažnosti [1].

Table 1 Basic criteria for the assessment of aortic stenosis

Stages of severity of AS	Vmax	PG mean	AVA
Mild AS	2.0-2.9 m/s	$< 25 \text{ mmHg}$	$> 1.5 \text{ cm}^2$
Moderate AS	3.0-3.9 m/s	25-39 mmHg	10-1.5 cm ²
Severe AS	$> 4.0 \text{ m/s}$	$> 40 \text{ mmHg}$	$< 1 \text{ cm}^2$

AS – aortic stenosis, AVA – aortic valve area, Vmax – maximal velocity of aortic valve flow, PG mean – mean pressure gradient

Echokardiografické hodnotenie aortálnej stenózy

Meranie maximálnej transvalvulárnej rýchlosti

Rýchlosť toku cez aortálnu chlopňu meriame pomocou kontinuálneho dopplerovského vyšetrenia (continual wave, CW), najčastejšie v apikálnej projekcii. Incidenčný uhol, ktorý zvierá línia dopplerovského kurzora s prietokom, by mal byť čo najmenší. Ak sa prekročí jeho hodnota o viac ako 15° , dochádza k významnému podhodnoteniu nameranej rýchlosti, a tým k podhodnoteniu závažnosti chyby. Vzhľadom k anatomickým pomerom, a to blízkosti mitrálnej a aortálnej chlopne, možno pri mitrálnej regurgitácii zaznamenať miesto toku cez aortánu chlopňu práve mitrálnej regurgitačný tok. Rovnako pri nepravidelnom srdcovom rytme je dôležité minimalizovať chyby, a to vyhodnotením a priemerovaním viacerých sťahov. Pri predčasnom sťahu budú namerané hodnoty nižšie vzhľadom k nižšiemu preloadu a naopak [5].

Meranie stredného tlakového gradientu

Z rýchlosti prúdenia cez aortálnu chlopňu možno pomocou zjednodušenej Bernoulliho rovnice $\Delta P = 4 \times V^2$ vypočítať tlakový gradient (peak gradient, PG) medzi ľavou komorou a aortou [5]. Výpovednú hodnotu nám poskytuje až stredný tlakový gradient, ktorý predstavuje priemer okamžitých gradientov počas systoly. Vypočítava sa automaticky prístrojom po obkreslení rýchlostnej krivky [12]. Nepresnosti, ktorých sa pri hodnotení tlakového gradientu môžeme dopustiť, sú zhodné s nepresnosťami uvedenými pri hodnotení rýchlostného toku. Sú ale zvýraznené vzhľadom na to, že nameraná rýchlosť toku je pri výpočte tlakového gradientu umocnená na druhú [5].

Obe merania sú závislé na toku cez aortálnu chlopňu, preto sú ovplyvnené aj náplňou cievného riečiska, či funkciou ľavej komory. Rovnako v dôsledku suboptimálneho zarovnania Dopplerovského kurzora môže dôjsť k podhodnoteniu závažnosti AS [9].

U pacientov, ktorých plocha aortálneho ústia je $\leq 1 \text{ cm}^2$, ale tlakové gradienty sú nižšie, PG mean $\leq 40 \text{ mmHg}$, je dôležité vylúčiť možnú chybu v meraní, či už pri podhodnotení šírky LVOT alebo nesprávnom zaznamenaní prietokovej rýchlosti. Pokiaľ sú tieto chyby mera-

nia vylúčené, u týchto pacientov hovoríme o významnej aortálnej stenóze s nízkym gradientom a nízkym prietokom (LF/LG, low flow/low gradient). U pacientov s klasickou LF/LG aortálnou stenózou sa ďalej odporúča realizovať záťažové dobutaminové echokardiografické vyšetrenie (DZE), naopak u pacientov s paradoxnou LF/LG aortálnou stenózou pri zachovanej systolickej funkcii sa môže použiť multi-detektorová komputrová tomografia (MDCT) za účelom potvrdenia závažnosti aortálnej stenózy, vďaka výpočtu kalciového skóre [12].

Meranie plochy aortálneho ústia

Plocha aortálneho ústia (aortic valve area, AVA) je parameter, ktorý na rozdiel od tlakových gradientov nie je závislý od veľkosti prietoku cez chlopňu [8]. Je základným parametrom pri komplexnom echokardiografickom hodnotení AS [9]. Pre výpočet AVA sa využíva rovnica continuity, ktorá sa stala najpoužívanejšou metódou, pretože je neinvazívna, praktická a ľahko použiteľná. Poukazuje na skutočnosť, že objem krvi pretekajúcej cez LVOT je rovnaký ako objem krvi prúdiaci cez aortálnu chlopňu. Preto podľa tohto zákona zachovania energie sa tepový objem (stroke volume, SV) vypočíta ako súčin integrálu rýchlosť-čas (velocity time integral, VTI) v priebehu jeho trvania s plochou prierezu v mieste vedenia [8].

$$SV_{Ao} = SV_{LVOT}$$

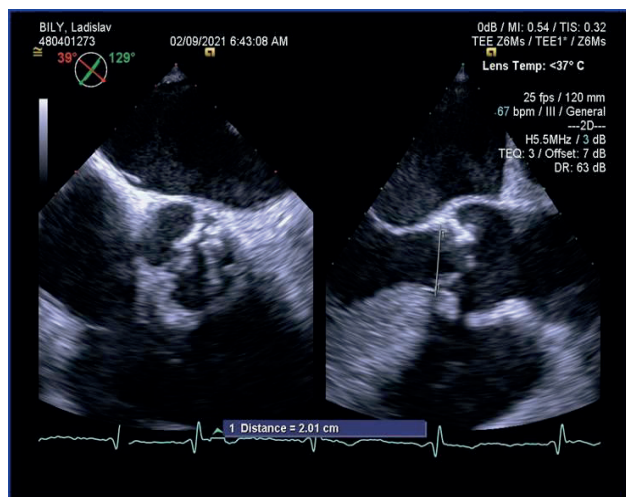
Vzhľadom k danému, na výpočet AVA je potrebné zistiť tri parametre. Rýchlosť toku cez aortálnu chlopňu, rýchlosť toku vo výtokovom trakte ľavej komory (LVOT) a plochu LVOT. Tento vzťah môžeme následne vyjadriť rovnicou:

$$AVA \times AV VTI = \text{plocha LVOT} \times LVOT VTI$$

Plocha LVOT celkovo podlieha dynamickým zmenám počas srdcového cyklu [6]. Priemer LVOT meriame v parasternálnej projekcii v strednej fáze systoly, v mieste medzi predným cípom mitrálnej chlopne a endokardom septa, čo najbližšie k aortálnemu anulu (Obr. 1). Pri jeho výpočte predpokladáme kruhovitý tvar, preto plochu LVOT vypočítame podľa vzorca [5]:

$$\text{Plocha LVOT} = \pi \times \left(\frac{LVOT \text{ diameter}}{2} \right)^2$$

Figure 1 LVOT diameter in 2D imaging (VÚSCH, a.s.)



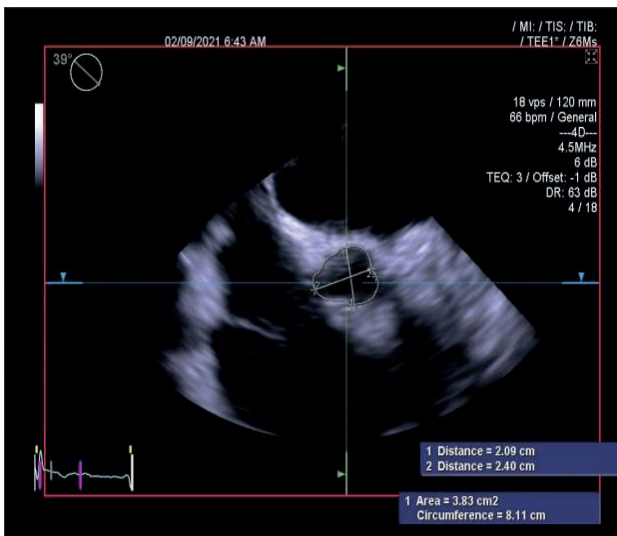
Rýchlosť toku v LVOT meriame pomocou pulzného Dopplera (PW) v rovnakom mieste, v ktorom bol zmeraný priemer LVOT. Rýchlosť toku cez aortálnu chlopňu meriame pomocou kontinuálneho Dopplera (CW) a to v apikálnej projekcii. Z nameraných veličín potom plochu aortálneho ústia vypočítame podľa vzorca [5]:

$$AVA = \frac{\text{plocha LVOT} \times LVOT VTI}{AV VTI}$$

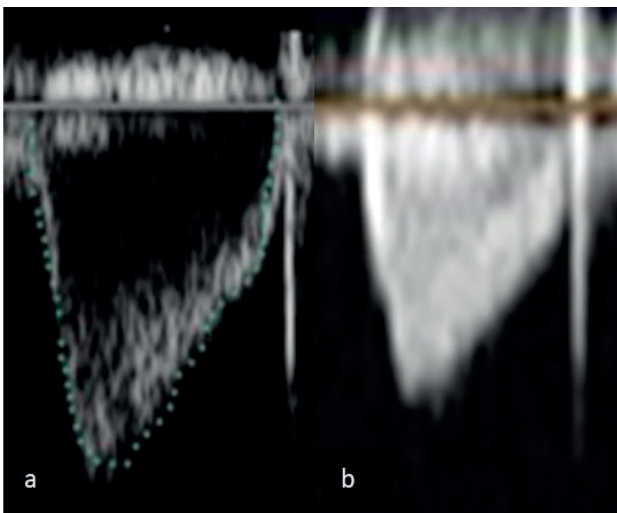
Celková chyba pri výpočte je závislá na chybe vykonanej pri každom meraní, pričom najnáročnejšie sa javí správne určenie plochy LVOT. Priemer LVOT je potrebné merať v rovnakom mieste, v ktorom bol zmeraný rýchlostný tok pulzným Dopplerom, ideálne v oblasti aortálneho anulu. Presnosť merania rýchlosti PW Dopplerom predpokladá laminárne prúdenie, čo oblasť aortálneho anulu vo väčšine prípadov nespĺňa. Prietok krvi v LVOT sa zrýchľuje pred stenotickou chlopňou v takzvanej zóne zrýchlenia, ktorá môže siahť až do 1 cm od aortálneho prstenca [9]. Meranie je teda nutné posunúť viac apikálne, smerom do ľavej komory. Tu sa však okrúhly tvar LVOT stáva viac eliptickým, čo môže ovplyvniť výsledok výpočtu v zmysle podhodnotenia závažnosti stenózy. Zistená hodnota priemeru LVOT je následne podľa vzorca umocnená na druhú. Pokiaľ bola zmeraná nepresne, chyba v kalkulácii sa tým ďalej zvyšuje. Ak je kurzor posunutý príliš apikálne do dutiny ľavej komory, nameraná hodnota LVOT VTI môže podhodnotiť skutočný vývrhový objem, čo vedie k nadhodnoteniu závažnosti AS. Naopak ak je kurzor umiestnený príliš blízko aortálnej chlopne, bude pri meraní započítaná vyššia rýchlosť zo zóny zrýchlenia, čo vedie k podhodnoteniu závažnosti AS [9].

Podhodnotenie plochy prierezu LVOT je často v dôsledku prítomnosti excentrickej kalcifikácie, ktorá priamo vedie k nadhodnoteniu závažnosti aortálnej stenózy. V týchto prípadoch možno presnosť zlepšiť priamou planimetriou plochy prierezu LVOT (Obr. 2).

Na našom pracovisku sme sledovali 50 pacientov so stredne závažnou až závažnou aortálnou stenózou. U týchto pacientov sme sledovali plochu LVOT pomocou dvojrozmernej (2D) transtorakálnej a trojrozmernej (3D) transezofageálnej echokardiografie. Veľkosť plochy LVOT meraná 2D echokardiografiou bola u týchto pacientov v priemernej hodnote $3,6 \pm 0,92 \text{ cm}^2$ a priemerná plocha LVOT meraná 3D echokardiografiou činila hodnoty $3,99 \pm 0,79 \text{ cm}^2$. Výsledkom nášho sledovania bol významný rozdiel v meraní plochy LVOT týmito dvoma modalitami. 2D echokardiografia zohľadňuje pri meraní plochy LVOT len predozadný rozmer s predpokladom jeho kruhovitosti. 3D echokardiografia poskytuje lepšiu priestorovú orientáciu, pri meraní plochy LVOT berie do úvahy skutočný tvar LVOT, a to s ohľadom aj na jeho mediolaterálny priemer. Meranie plochy LVOT pomocou 3D transezofageálnej echokardiografie by sa mohlo stať preferovanou metódou sériového sledovania pacientov s aortálnou stenózou, ktorá by mohla byť užitočná a prospešná aj pri plánovaní náhrad aortálnych chlopni (TAVI).

Figure 2 LVOT diameter and area in 3D trans-esophageal imaging (VÚSCH, a.s.)

LVOT VTI sa získa obkreslením krivky systolického prietoku v LVOT z apikálneho päťkomorového alebo trojkomorového zobrazenia pomocou pulznej vlny Dopplera, s kurzorom umiestneným v LVOT, približne vo vzdialenosti 1 cm od aortálnej chlopne [7]. Optimálna VTI sa meria, keď je zarovnanie kurzora paralelné so subaortálnym prúdom a je dosiahnuté minimálne spektrálne rozšírenie, ako je to znázornené na Obr. 3 [2].

Figure 3 a) correct delineation of the flow curve in the LVOT with a narrow velocity spectrum b) incorrect delineation of the flow curve in the LVOT with a wide velocity spectrum

Do úvahy je dôležité vziať aj pridružené srdcové abnormality, ktoré môžu merania ovplyvniť. Pri významnej aortálnej regurgitácii sa vplyvom návratu určitého objemu z aorty do ľavej komory zvyšujú toky cez aortálnu chlopňu, čo následne vedie k zvýšeniu rýchlostných tokov a tlakových gradientov. Naopak pri súčasnej mitrálnej regurgitácii sa pri systole časť náplne ľavej komory vracia späť do ľavej predsene, tok cez aortálnu chlopňu je znížený a závažnosť aortálnej stenózy môže byť podhodnotená [8].

Ďalšie faktory prispievajúce k možným chybám merania zahŕňajú kvalitu obrazu, možnú prítomnosť kalcifikácie prstenca a prítomnosť hypertrofiie hornej časti septa [8].

Aj keď je plocha chlopne teoreticky ideálnym meradlom na posúdenie závažnosti, existujú mnohé technické obmedzenia. Klinické rozhodovanie v nezhodných prípadoch by preto malo brať do úvahy ďalšie parametre: funkčný stav, tepový objem, stupeň kalcifikácie chlopne, funkciu EK, prítomnosť alebo neprítomnosť hypertrofiie EK, prietokové podmienky a primeranosť kontroly TK [1].

Doplňkové echokardiografické parametre

Indexovaná plocha aortálnej chlopne

Keďže rýchlosti a gradienty závisia od prietoku krvi cez aortálnu chlopňu, niektorí pacienti s nízkym objemovým prietokom môžu mať závažnú aortálnu stenózu, i keď transvalvulárny prietok či stredný gradient nedosahujú hodnoty svedčiace pre závažnú stenózu. U týchto pacientov s malou plochou aortálneho ústia sa vypočítava indexovaná AVA na plochu povrchu tela. Pre závažnú aortálnu stenózu svedčí hraničná hodnota 0,6 cm²/m². Niektorých pacientov s malým telesným habitom, ktorých BSA <1,7 m², môžeme vďaka AVAi preklasifikovať na osoby so stredne závažnou aortálnou stenózou. Indexovaná AVA sa neodporúča prepočítavať u pacientov s nadváhou, pretože oblasť aortálnej chlopne sa nezvyšuje s nadmernou telesnou hmotnosťou. V danom prípade by AVAi mohla nadhodnotiť závažnosť aortálnej stenózy. Táto indexácia je dôležitá u detí, dospievajúcich a mladých dospelých [12].

Index permeability

Ak nevieme presne odmerať priemer LVOT je možné použiť index permeability (DVI, doppler velocity index, dopplerovský index rýchlosti), ktorý vyjadříme ako pomer VTI výtokového traktu ľavej komory k pomeru prúdu cez aortálnu chlopňu [3]:

$$DVI = \frac{LVOT\ VTI}{AV\ VTI}$$

Index permeability môže dopomôcť pri hodnotení závažnosti stenózy, pokiaľ sú iné parametre nejednoznačné. Hodnota menšia ako 0,25 naznačuje vysokú pravdepodobnosť závažnej aortálnej stenózy [10].

Planimetria

Planimetria je technika, pri ktorej sa priamo sleduje anatomický otvor aortálnej chlopne a to za pomoci transezofageálnej echokardiografie. Vďaka správne zarovnaní rovín, dokážeme merať najmenší anatomický otvor aortálnej chlopne v systole. Táto technika má viacero úskalí. Zobrazovacia rovina musí byť zarovnaná s bodom maximálnej stenózy chlopne. Identifikácia aortálneho otvoru je náročná v silne kalcifikovaných chlopniach, v ktorých prítomný kalcifikát môže mať za následok potenciálne nadhodnotenie závažnosti aortálnej chyby. Planimetria nie je úplne spoľahlivá v stave nízkeho prietoku, pretože chlopňa nie je dostatočne otvorená (Obr. 4) [10].

Figure 4 3D transesophageal imaging of LVOT (source VÚSCH, a.s.)



Záver

Echokardiografia je kľúčovým nástrojom pre diagnostiku a hodnotenie aortálnej stenózy. Každé klinické rozhodovanie o manažmente pacienta je založené na echokardiografickom posúdení jeho závažnosti. Diagnostika závažnosti aortálnej stenózy je náročná a vyžaduje si starostlivé vylúčenie chýb merania. Preto sme sa zamerali na poukázanie možných nepresností pri meraní a pre následnú lepšiu optimalizáciu jej hodnotenia. Neustále sa vzdelávanie v ultrazvukovom vyšetrení hrá kľúčovú úlohu pri diagnostike a správnom manažmente pacientov s aortálnou stenózou.

Literatúra

1. Baumgartner, H., Bermejo, J., Hung, J. et al.: Recommendations on the echocardiographic assessment of aortic valve stenosis: a focused update from the European Association of Cardiovascular Imaging and the American Society of Echocardiography. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 18, 2017, (3):254-75.
2. Blanco, P.: Rationale for using the velocity-time integral and the minute distance for assessing the stroke volume and cardiac output in point-of-care settings. *Ultrasound J.* 12, 2020, (1):21. doi: 10.1186/s13089-020-00170-x.
3. Hlubocká, Z.: Echokardiografie u aortální stenózy. *Kardiol. Prax.* 16, 2018, (2):65-71.
4. Khanji, MY., Ricci, F., Galusko, V. et al.: Management of aortic stenosis: a systematic review of clinical practice guidelines and recommendations. *ur Heart J Qual Care Clin Outcomes.* 7, 2021, (4):340-53. doi: 10.1093/ehjqcco/qcab016.
5. Koc, L., Zatočil, T., Špinar, J.: Role echokardiografie v hodnocení aortální stenózy a mitrální regurgitace. *Kardiol Rev Int Med*, 17, 2015, (2):136-40.
6. Kurečko, M., Valočik, G., Kollárová, A., et al.: Vplyv dynamických zmien výtokového traktu ľavej komory na kvantifikáciu aortálnej stenózy. *Ateroskleróza*, 23, 2019, (3-4):1323-331.
7. Novaro, G.M., Mishra, M., Griffin, B.P.: Incidence and echocardiographic features of congenital unicuspid aortic valve in an adult population. *J Heart Valve Dis.* 12, 2003, (6):674-
8. Poh, K.K., Levine, R.A., Solis, J. et al.: Assessing aortic valve area in aortic stenosis by continuity equation: a novel approach using real-time three-dimensional echocardiography. *Eur Heart J*, 29, 2008, (20):2526-535.
9. Ring, L., Shah, B.N., Bhattacharyya, S. et al.: Echocardiographic assessment of aortic stenosis: a practical guideline from the British Society of Echocardiography. *Echo Res Pract.* 8, 2021, (1):G19-G59. doi: 10.1530/ERP-20-0035.
10. Rusinaru, D., Malaquin, D., Marechaux, S. et al.: Relation of dimensionless index to long-term outcome in aortic stenosis with preserved LVEF. *JACC Cardiovasc Imaging.* 8, 2015, (7):766-75. doi: 10.1016/j.jcmg.2015.01.023.
11. Scalia, I.G., Farina, J.M., Padang, R. et al.: Aortic Valve Calcium Score by Computed Tomography as an Adjunct to Echocardiographic Assessment- A Review of Clinical Utility and Applications. *J Imaging.* 9, 2023, (11):250. doi: 10.3390/jimaging9110250.
12. Vahanian, A., Beyersdorf, F., Praz, F. et al.: 2021 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease. *Eur Heart J.*, 43, 2022, (7):561-632.
13. Wald, D.S., Williams, S., Bangash, F., Bestwick, J.P.: Watchful waiting in aortic stenosis: the problem of acute decompensation. *Am J Med.* 131, 2018, (2):173-77.

ERRORS THAT CAN BE MADE DURING MEASURING OF AORTIC STENOSIS

Kirschová A., Valočik G.

Introduction Echocardiography is one of the basic diagnostic tools in patients with aortic stenosis. Its main task is a stratification of the severity of this valvular defect. It enables the visualization of the anatomy of the aortic valve, its leaflets and values of the extent of valve calcification.

Aim The aim of the work is the analysis of possible errors that can be made when measuring aortic stenosis.

Context However, even during a precise examination by an echocardiographer, a measurement error can occur due to any oversight, which can significantly affect the patient's management. A consistent echocardiographic examination is therefore the basic pillar for stratifying the severity of valvulopathy and subsequent indication of the patient for surgical or interventional treatment

Conclusion This article discusses possible mistakes that can be made during echocardiographic examination of aortic stenosis.

Key words: Aortic stenosis Echocardiography, Quantification

Žiadny z autorov nemá potencionálny konflikt záujmov.

MUDr. Andrea Kirschová
1.kardiologická klinika VUSCH a UPJS LF,
VUSCH a.s.
Trieda SNP 3, 040 11 Košice
E-mail: apavlikova@vuschi.sk