

Vliv věku na diastolickou funkci levé komory srdeční

(Effects of age on left ventricular diastolic function)

Jan Pyszko^a, Jan Václavík^a, Tomáš Václavík^b, Eva Kociánová^a,
Monika Kamasová^a, Marie Lazárová^a, Miloš Táborský^a

^a I. interní klinika – kardiologická, Lékařská fakulta Univerzity Palackého a Fakultní nemocnice Olomouc, Olomouc

^b Katedra statistiky a pravděpodobnosti, Fakulta informatiky a statistiky, Vysoká škola ekonomická, Praha

INFORMACE O ČLÁNKU

Historie článku:

Došel do redakce: 13. 2. 2018

Přijat: 24. 10. 2018

Dostupný online: 27. 11. 2018

Klíčová slova:

Arteriální hypertenze
Diastolická funkce levé komory
Echokardiografie
Ischemická choroba srdeční
Věk

Keywords:

Age
Arterial hypertension
Coronary artery disease
Echocardiography
Left ventricular diastolic function

SOUHRN

Úvod: Echokardiografie hraje vedoucí roli v diagnostice diastolické funkce levé komory srdeční. Dosud jsme měli k dispozici pouze omezená data o vlivu věku na různé parametry diastolické funkce.

Metodika: Retrospektivně jsme analyzovali databázi echokardiografických nálezů pacientů vyšetřených na našem pracovišti. Do studie jsme zahrnuli pouze pacienty se sinusovým rytmem, normální ejekční frakcí levé komory, bez chlopenní vady nebo jakékoliv jiné signifikantní echokardiografické patologie. Manuálním prohledáním lékařských záznamů jsme pacienty rozdělili do tří skupin na základě jejich anamnézy – skupina zdravých pacientů, skupina pacientů s arteriální hypertenzí a skupina s ischemickou chorobou srdeční.

Výsledky: Zařazeno bylo celkem 999 pacientů průměrného věku $60,1 \pm 14,4$ roku, 48,5 % byli muži. Skupina zdravých pacientů zahrnovala 363 subjektů, skupina s arteriální hypertenzí 429 subjektů a skupina s ischemickou chorobou srdeční 207 subjektů. Transmitrální poměr E/A vlivem věku postupně klesal z průměru 1,65 u pacientů mladších 30 let na 0,78 u pacientů starších 80 let. Septální a laterální rychlosti mitrálního anulu v dopplerovském tkáňovém zobrazení (e' sep a e' lat) s věkem poklesly, stejně jako septální a laterální e'/a' poměr. Septální, laterální a průměrný poměr E/e' s věkem rostly shodně jako decelerační čas vlny E (DtE). S výjimkou deceleračního času vlny E nebyly χ^2 testem nalezeny žádné statisticky významné rozdíly v měřených parametrech mezi třemi srovnávanými skupinami.

Závěr: Echokardiografické parametry diastolické funkce se s přibývajícím věkem fyziologicky zhoršují. Na základě této studie mohou být určeny přesnější hraniční hodnoty měřených parametrů diastolické funkce pro různé věkové skupiny, než jsou doposud dostupné.

© 2019, ČKS.

ABSTRACT

Introduction: Echocardiography plays a pivotal role in the diagnosis of left ventricular diastolic function. There has been only limited data on effects of age on different parameters of left ventricular diastolic function.

Methods: We retrospectively searched and analysed a computerised echocardiography database data of subjects investigated at our department. We enrolled only subjects with sinus rhythm, normal left ventricular ejection fraction, without any valvular disease or any other significant echocardiographic pathology. By a subsequent manual search of hospital records we divided subjects into three groups based on their clinical history – group of healthy patients, group of patients with arterial hypertension and a group with coronary artery disease.

Results: We enrolled a total of 999 subjects, mean age 60.1 ± 14.4 years, 48.5% were men. There were 363 healthy subjects, 429 subjects with arterial hypertension and 207 subjects with coronary artery disease. Transmitral E/A ratio decreased with age from mean 1.65 in subjects aged under 30 years to 0.78 in subjects over 80 years of age ($p < 0.001$). Tissue doppler velocities of septal and lateral mitral anulus (Em sep and Em lat) decreased with age, as did the septal and lateral e'/a' ratio. The septal, lateral and average E/Em ratio increased with age, as did the E wave deceleration time (DtE) (all parameters with $p < 0.001$). Except for DtE, Chi-square goodness of fit test did not find any statistically significant differences in the measured parameters between the three compared groups.

Conclusions: Echocardiographic parameters of diastolic function physiologically deteriorate with age. Based on this study, more exact cut-off values can be adopted for different age groups and measured diastolic parameters, than are currently available.

Adresa pro korespondenci: MUDr. Jan Pyszko, I. interní klinika – kardiologická, Lékařská fakulta Univerzity Palackého a Fakultní nemocnice Olomouc, I. P. Pavlova 6, 775 20 Olomouc, e-mail: janpyszko@gmail.com

DOI: 10.1016/j.crvasa.2018.10.003

Úvod

Diastolická funkce levé komory srdeční je charakterizována schopností myokardu rychle relaxovat, a tak nasávat a následně pasivně přijímat krev z levé síně.¹

Diastolickou funkci mohou zhoršovat přidružená onemocnění, jako je třeba arteriální hypertenze a s ní spojená hypertrofie myokardu nebo ischemická choroba srdeční.

Na biochemické úrovni je diastolická funkce energeticky náročný děj, při kterém jakákoliv porucha dodávky energie může zapříčinit snížení poddajnosti myokardu.²

Významnou roli hraje také histologická charakteristika tkáně. Pokud například hypertrofie nebo vazivová přestavba zapříčiní zvýšení tuhosti myokardu, může to způsobit diastolickou dysfunkci a dále také zvýšit plnicí tlaky levé komory.³ Toto narušení poddajnosti může vyústit až v levostranné srdeční selhání s dušností různého stupně. Dnes již víme, že až polovina pacientů trpících srdečním selháním má zachovanou systolickou funkci levé komory a jejich dušnost je výsledkem diastolické dysfunkce různého stupně.¹

Nejužívanější metodou analýzy diastolické funkce je echokardiografie, k popisu přítomnosti a její závažnosti užíváme několik parametrů. Nejčastěji užívanými jsou hodnocení transmitrálního průtoku a tkáňová dopplerovská echokardiografie prstence mitrální chlopně.⁴ Z těchto parametrů lze také odhadnout plnicí tlaky levé komory a tím predikovat možnou přítomnost postkapilární plicní hypertenze s možným navazujícím levostranným srdečním selháním.⁵

Dosud jsme měli k dispozici pouze omezená data o vlivu věku na různé parametry diastolické funkce. Vliv věku byl zatím popisován pouze na menších souborech pacientů vyšetřovaných echokardiograficky nebo pomocí magnetické rezonance.^{6–11}

Naším cílem bylo ozřejmit vliv stárnutí na různé parametry diastolické funkce levé komory. Dále jsme chtěli analyzovat, jaké jsou vzájemné vztahy mezi diastolickou funkcí, věkem a přidruženými onemocněními, jako je arteriální hypertenze nebo ischemická choroba srdeční.

Metodika

Retrospektivně jsme analyzovali elektronickou databázi echokardiografických nálezů pacientů vyšetřených na našem pracovišti mezi lednem 2010 a prosincem 2015. Jednalo se o nálezy pacientů hospitalizovaných i ambulantně vyšetřených. Do studie jsme zahrnuli pouze pacienty se sinusovým rytmem, zachovanou ejekční frakcí levé komory $\geq 55\%$, s absencí jakékoliv středně významné nebo významné chlopní vady, bez echokardiografických známek plicní hypertenze, dysfunkce pravé komory či jakékoliv jiné signifikantní echokardiografické abnormality. Takto vybrané pacienty jsme následně na základě manuálního prohledání zdravotnické dokumentace rozdělili do tří skupin dle anamnestických dat – pacienti zdraví, pacienti s arteriální hypertenzí a pacienti s chronickou ischemickou chorobou srdeční.

U všech subjektů byly hodnoceny echokardiografické parametry transmitrálního průtoku: rychlost vlny E, vlny A, decelerační čas vlny E (DtE) a poměr E/A. Dále byly analyzovány diastolické rychlosti pohybu mitrálního anulu pomocí tkáňové dopplerovské echokardiografie: septální a laterální diastolické rychlosti mitrálního anulu (e' sep, a' sep,

e' lat, a' lat) a septální i laterální poměr e'/a' poměr. Byl kalkulován také septální, laterální a průměrný poměr E/e'.

Za fyziologické hodnoty diastolické funkce levé komory jsme dle platných doporučení považovali poměr E/A > 1 a rychlosti mitrální anulu Em mediálně ≥ 7 cm/s a laterálně ≥ 10 cm/s.⁴ Ke kompletnímu popisu diastolické funkce jsme do analýzy zařadili také odhad plnicího tlaku levé komory, který je určen poměrem rychlosti vlny E a průměrné rychlosti mitrální anulu, E/e' avg, pro zpřesnění jsme také zahrnuli jednotlivé poměry, jak pro septální, tak pro laterální okraj mitrálního anulu. Absence vyšších plnicích tlaků levé komory je definována jako poměr E/e' avg < 8 , hodnota > 14 naopak konstatuje přítomnost zvýšených plnicích tlaků. Mezi těmito hodnotami leží šedá zóna.⁴

Ke statistické analýze dat jsme použili MedCalc 18.9.1 a Microsoft Office Excel 365. Byly použity základní metody deskriptivní statistiky, hodnota $p < 0,05$ byla považována za statisticky významnou. K ověření shody mezi třemi hodnocenými skupinami byl použit χ^2 test dobré shody a One Way Anova test.

Výsledky

Zařazeno bylo celkem 999 pacientů, průměrný věk $60,1 \pm 14,4$ roku, 48,5 % byli muži (viz tabulku 1). Skupina zdravých pacientů zahrnovala 363 subjektů, skupina s arteriální hypertenzí 429 subjektů a skupina s ischemickou chorobou srdeční 207 subjektů.

Hlavní výsledky celého souboru jsou uvedeny v tabulce 2. Transmitrální poměr E/A klesal vlivem věku z průměrné hodnoty 1,65 u pacientů mladších 30 let na 0,78 u subjektů starších 80 let. U pacientů ve věku 50 let a starších byly zjištěny průměrné hodnoty E/A < 1 , jež svědčí pro poruchu diastolické funkce závislou na věku.

Septální a laterální rychlosti mitrálního anulu v dopplerovském tkáňovém zobrazení (e' sep a e' lat) s věkem klesaly z průměrných hodnot 13,4 a 17,3 u skupiny pacientů mladších 30 let na průměrné hodnoty 5,7 a 7,4 u skupiny pacientů starších 80 let (tabulka 2). Průměrné anulární rychlosti mitrálního anulu pod fyziologickou mezí se objevovaly u pacientů starších 50 let.

Septální a laterální a průměrný poměr E/e' s věkem rostly, v případě třetího jmenovaného údaje z hodnoty 5,8 ve skupině do 30 let na hodnotu 10,5 v kategorii nad 80 let (tabulka 2). Abychom prokázali závislost parametrů na věku, data byla prověřena analýzou rozptylu (One Way Anova test). Při pozitivitě Leveneova testu homogenity rozptylu ($p < 0,05$) jsme použili také logaritmickou transformaci, protože rozptyl v jednotlivých skupinách byl různý.

Tabulka 1 – Věková stratifikace pacientů v souboru

Věková skupina (roky)	Počet pacientů
Do 30	42
30–40	59
40–50	92
50–60	215
60–70	331
70–80	208
Nad 80	52

Tabulka 2 – Hlavní výsledky – celá studovaná skupina (N = 999)

Věková skupina	Echokardiografické parametry								
	E/A	DtE	e' sept	e' lat	E/e' sept	E/e' lat	E/e' avg	e'/a' sept	e'/a' lat
< 30	1,7 ± 0,4	160,7 ± 63,4	13,4 ± 3,1	17,3 ± 3,8	6,7 ± 1,8	5,2 ± 1,4	5,8 ± 1,4	1,7 ± 0,6	2,2 ± 0,9
30–40	1,4 ± 0,5	173,5 ± 70,4	10,9 ± 3,3	14,1 ± 4,2	7,6 ± 2,4	5,8 ± 1,8	6,5 ± 1,8	1,2 ± 0,5	1,7 ± 0,8
40–50	1,1 ± 0,3	178,1 ± 59,8	8,9 ± 3,1	11,7 ± 3,8	8,6 ± 2,5	6,5 ± 2,0	7,2 ± 1,8	1,0 ± 0,4	1,2 ± 0,6
50–60	0,9 ± 0,2	197,6 ± 68,7	7,3 ± 2,1	9,7 ± 2,9	9,6 ± 2,9	7,4 ± 2,7	8,2 ± 2,5	0,7 ± 0,3	0,9 ± 0,4
60–70	0,9 ± 0,3	207,00 ± 36,6	6,8 ± 2,0	8,7 ± 2,5	10,2 ± 3,3	8,0 ± 2,7	8,8 ± 2,6	0,7 ± 0,3	0,8 ± 0,4
70–80	0,8 ± 0,3	216,5 ± 71,1	6,1 ± 1,9	7,7 ± 2,4	11,8 ± 4,4	9,4 ± 3,5	10,2 ± 3,4	0,7 ± 0,3	0,7 ± 0,3
> 80	0,8 ± 0,3	234,0 ± 77,1	5,7 ± 1,8	7,4 ± 2,0	12,2 ± 3,4	9,5 ± 3,3	10,5 ± 2,9	0,7 ± 0,3	0,7 ± 0,3

Tabulka 3 – Výsledky u zdravých jedinců (N = 363)

Věk	Zdravá populace								
	E/Em sept	E/Em lat	E/Em avg	Em/Am sept	Em/Am lat	Em sept	Em lat	VELe/VELa	DtE
< 30	6,80 ± 1,96	5,24 ± 1,47	5,83 ± 1,43	1,65 ± 0,64	2,18 ± 0,89	13,38 ± 3,30	17,27 ± 3,92	1,64 ± 0,40	156,57 ± 68,80
30–40	7,43 ± 2,33	5,76 ± 1,90	6,40 ± 1,90	1,30 ± 0,50	1,77 ± 0,79	11,18 ± 3,37	14,51 ± 4,30	1,37 ± 0,51	182,59 ± 64,62
40–50	7,89 ± 2,17	6,30 ± 1,66	6,88 ± 1,58	1,06 ± 0,43	1,29 ± 0,54	9,68 ± 2,68	12,14 ± 3,52	1,20 ± 0,33	181,16 ± 65,29
50–60	8,98 ± 2,52	7,11 ± 2,81	7,78 ± 2,39	0,76 ± 0,26	0,94 ± 0,36	7,78 ± 2,06	10,17 ± 2,97	0,92 ± 0,24	191,17 ± 85,13
60–70	9,72 ± 2,83	7,69 ± 2,52	8,44 ± 2,34	0,67 ± 0,23	0,81 ± 0,31	6,97 ± 2,15	8,88 ± 2,57	0,81 ± 0,17	203,06 ± 64,83
70–80	10,67 ± 4,32	8,86 ± 3,78	9,44 ± 3,44	0,64 ± 0,26	0,69 ± 0,24	6,42 ± 1,76	7,86 ± 2,57	0,76 ± 0,21	210,97 ± 110,14
> 80	12,04 ± 3,85	7,46 ± 1,90	9,11 ± 2,25	0,59 ± 0,25	0,62 ± 0,14	4,78 ± 1,20	7,44 ± 1,33	0,66 ± 0,11	244,44 ± 57,14

Tabulka 4 – Výsledky u pacientů s arteriální hypertenzí (N = 429)

Věková skupina	Echokardiografické parametry								
	E/Em sept	E/Em lat	E/Em avg	Em/Am sept	Em/Am lat	Em sept	Em lat	VELe/VELa	DtE
< 30	6,30 ± 0,76	4,99 ± 0,89	5,54 ± 0,68	1,93 ± 0,37	2,13 ± 0,54	13,60 ± 0,55	17,40 ± 2,41	1,70 ± 0,23	191,20 ± 30,44
30–40	8,39 ± 3,07	6,21 ± 1,33	6,97 ± 1,63	0,97 ± 0,24	1,31 ± 0,51	9,78 ± 2,39	12,67 ± 3,28	1,45 ± 0,50	128,89 ± 88,59
40–50	9,64 ± 2,73	6,85 ± 2,44	7,80 ± 2,12	0,75 ± 0,26	1,09 ± 0,55	7,48 ± 2,54	10,81 ± 3,55	1,01 ± 0,33	171,10 ± 59,84
50–60	9,75 ± 2,72	7,18 ± 1,99	8,14 ± 2,06	0,68 ± 0,23	0,92 ± 0,35	7,06 ± 2,09	9,56 ± 2,67	0,88 ± 0,24	199,51 ± 55,98
60–70	10,48 ± 3,52	8,15 ± 2,83	8,99 ± 2,74	0,69 ± 0,33	0,83 ± 0,52	6,73 ± 1,91	8,68 ± 2,58	0,88 ± 0,34	203,55 ± 61,20
70–80	1,37 ± 3,69	9,14 ± 3,13	9,94 ± 2,99	0,66 ± 0,24	0,70 ± 0,25	6,25 ± 2,06	7,77 ± 2,46	0,80 ± 0,28	211,54 ± 57,89
> 80	12,43 ± 3,71	9,83 ± 3,55	10,76 ± 3,13	0,64 ± 0,21	0,66 ± 0,21	5,70 ± 1,43	7,34 ± 1,99	0,79 ± 0,28	238,32 ± 95,42

Tabulka 5 – Výsledky u pacientů s ischemickou chorobou srdeční (N = 207)

Věková skupina	Echokardiografické parametry								
	E/Em sept	E/Em lat	E/Em avg	Em/Am sept	Em/Am lat	Em sept	Em lat	VELe/VELa	DtE
< 30	V této věkové skupině nejsou pacienti s ischemickou chorobou srdeční								
30–40	7,57*	5,89*	6,63*	0,78*	0,82*	7,00*	9,00*	0,73*	127,00*
40–50	8,58 ± 2,03	6,12 ± 1,67	7,08 ± 1,69	1,00 ± 0,56	1,29 ± 0,79	8,91 ± 4,76	12,36 ± 5,41	1,15 ± 0,34	184,27 ± 26,66
50–60	10,80 ± 3,67	8,34 ± 3,76	9,19 ± 3,46	0,70 ± 0,25	0,92 ± 0,34	6,92 ± 2,33	9,14 ± 3,01	0,94 ± 0,24	208,27 ± 50,25
60–70	10,45 ± 3,42	8,28 ± 2,82	9,04 ± 2,58	0,70 ± 0,23	0,83 ± 0,34	6,81 ± 1,84	8,57 ± 2,09	0,83 ± 0,19	221,65 ± 66,48
70–80	12,69 ± 5,13	9,94 ± 3,80	10,85 ± 3,81	0,70 ± 0,35	0,74 ± 0,32	5,88 ± 1,82	7,51 ± 2,20	0,80 ± 0,21	225,56 ± 68,88
> 80	11,97 ± 2,98	10,16 ± 3,27	10,77 ± 2,74	0,74 ± 0,36	0,74 ± 0,38	6,22 ± 2,21	7,33 ± 2,22	0,82 ± 0,28	222,72 ± 56,69

* Směrodatná odchylka není k dispozici pro nízký počet pacientů.

ný (skupiny nebyly homogenní). Všechny testy potvrdily závislost příslušných parametrů na věku, vše s hladinou významnosti $p < 0,001$ (appendix A).

Když jsme pacienty rozdělili do skupin dle přidružených onemocnění, zjistili jsme, že se diastolická funkce zhoršuje s věkem stejnou měrou bez ohledu na přítomnost arteriální hypertenze nebo ischemické choroby srdeční (viz tabulky 3–5). Tento jev jsme potvrdili χ^2 testem dobré shody, který neobjevil žádné statisticky významné rozdíly v distribuci měřených parametrů ve třech srovnávaných skupinách ve srovnání s teoretickou distribucí danou celkovým modelem. Jinými slovy, na pětiprocentní hladině významnosti nejsou parametry ovlivněny přidruženými onemocněními, s výjimkou deceleračního času vlny E.

Diskuse

Výsledky této studie jasně demonstrují postupné zhoršování parametrů diastolické funkce levé komory srdeční s přibývajícím věkem. Postupná deteriorace hodnot je patrná napříč celým spektrem echokardiografických parametrů a kolem věku 50 let již hodnoty spadají do pásma diastolické dysfunkce 1. stupně, tedy poruchy relaxace.

Dále jsme zjistili, že postupný rozvoj diastolické dysfunkce je zcela nezávislý na přidružených onemocněních, jako je arteriální hypertenze nebo ischemická choroba srdeční. Zdá se tedy, že by postupné zhoršování parametrů diastolické funkce levé komory mohlo být fyziologickým projevem stárnutí myokardu.

K podobným závěrům dospěli britští autoři studie z roku 2012,¹² kdy zkoumali vliv věku na diastolickou funkci pomocí magnetické rezonance u 49 zdravých dobrovolníků. Jejich analýza rovněž potvrdila, že diastolická funkce se postupně zhoršuje s přibývajícím věkem, což demonstrovali zejména na změně poměru E/A transmitrálního proudění. Stejně výsledky byly prezentovány stejnou skupinou i ve studii z roku 2016, kdy bylo také prokázáno postupné zhoršování diastolické funkce spojené se stárnutím.¹³

V roce 2017 britští autoři srovnávali vliv věku a hypertenze na diastolickou funkci na souboru 88 pacientů, z nichž 40 trpělo arteriální hypertenzí. Dle jejich zjištění nemá hypertenze aditivní vliv na věkem podmíněné změny poměru E/A, což opět koreluje s našimi výsledky.¹⁴

Italská studie z roku 2007, která zahrnovala 246 zdravých subjektů, echokardiograficky analyzovala působení věku na diastolickou funkci, respektive na dopplerovský záznam rychlostí prstence mitrální chlopně. Stejně jako v naší studii byl i zde věk shledán jako nezávislý faktor, který je zodpovědný za zhoršování diastolické funkce.¹¹

Zatím jsme měli k dispozici pouze omezená data vztahující se k vlivu věku na diastolickou funkci levé komory. Dle našich znalostí je naše studie zatím jediná, která popisuje působení věku na diastolickou funkci levé komory na tak velkém souboru pacientů a s tak širokou škálou měřených parametrů. Tímto přispívá také k dalšímu pochopení funkčních změn kardiovaskulárního systému v průběhu života.

Limitací naší studie je sběr anamnestických dat pacientů ohledně jejich přidružených onemocnění, který je odkázán pouze na databázi Fakultní nemocnice Olomouc. Dalším limitem je retrospektivita naší analýzy.

Naše studie potvrzuje, že by měla být diastolická funkce hodnocena s ohledem na věk. Na základě našich výsledků mohou být určeny přesnější hraniční hodnoty jednotlivých měřených parametrů pro různé věkové skupiny.

Prohlášení autorů o možném střetu zájmů

Žádný střet zájmů.

Financování

Projekt byl podpořen finančním grantem Univerzity Palackého v Olomouci – IGA_LF_2018_050.

Prohlášení autorů o etických aspektech publikace

Autoři prohlašují, že výzkum byl veden v souladu s etickými standardy.

Apendix A – Doplnková data

Doplnková data spojená s tímto článkem lze nalézt v online verzi: doi: 10.1016/j.crvasa.2018.10.003.

Literatura

1. Galiuto L, Badano L, Fox K, et al. The EAE textbook of Echocardiography. New York, Oxford: Oxford University Press, 2011.
2. Ganong WF. Přehled lékařské fyziologie, 20. vydání. Praha: Galén, 2005:890.
3. Janqueira CA, et al. Základy histologie. Jinočany: H & H, 2002:502.
4. Nagueh SF, Smiseth OA, Appleton CO, et al. Recommendations for the evaluation of left ventricular diastolic function by echocardiography: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. J Am Soc Echocardiogr 2016;29:277–314.
5. Owan TE, Hodge PO, Herges RM, et al. Trend in prevalence and outcome of heart failure with preserved ejection fraction. N Engl J Med 2006;355:251–259.
6. Andersen OS, Smiseth OA, Dokainish H, et al. Estimating left ventricular filling pressure by echocardiography. J Am Coll Cardiol 2017;69:1937–1948.
7. Gottbrecht MF, Salerno M, Aurigemma GP. Evolution of diastolic function algorithms: Implications for clinical practice. Echocardiography 2018;35:39–46.
8. Caballero L, Kou S, Dulgheru R, et al. Echocardiographic reference ranges for normal cardiac Doppler data: results from the NORRE Study. Eur Heart J Cardiovasc Imaging 2015;16:1031–1041.
9. Nikitin NP, Witte KK, Thackray SD, et al. Longitudinal ventricular function: normal values of atrioventricular annular and myocardial velocities measured with quantitative two-dimensional color Doppler tissue imaging. J Am Soc Echocardiogr 2003;16:906–921.
10. Henein M, Lindqvist P, Francis D, et al. Tissue Doppler analysis of age-dependency in diastolic ventricular behaviour and filling: a cross-sectional study of healthy hearts (the Umea General Population Heart Study). Eur Heart J 2002;23:162–171.
11. Innelli P, Sanchez R, Marra F, Esposito R, Galderisi M. The impact of aging on left ventricular longitudinal function in healthy subjects: a pulsed tissue Doppler study. Eur J Echocardiogr 2008;9:241–249.
12. Hollingsworth KG, Blamire AM, Keavney BD, Macgowan GA. Left ventricular torsion, energetics, and diastolic function in normal human aging. Am J Physiol Heart Circ Physiol 2012;302:H885–H892.
13. J.D. Parikh, K.G. Hollingsworth, D. Wallace, et al. Normal age-related changes in left ventricular function: Role of afterload and subendocardial dysfunction. Int J Cardiol 2016;223:306–312.
14. Parikh JD, Hollingsworth KG, Wallace D, et al. Left ventricular functional, structural and energetic effects of normal aging: Comparison with hypertension. PLoS One 2017;12:e0177404.