

Echokardiografické hodnocení strukturálních změn levé komory u hypertenze

prof. MUDr. Aleš Linhart, DrSc.

přednosta II. interní kliniky kardiologie a angiologie 1. LF UK a VFN Praha

Typy strukturálních změn

Tlakové přetížení jakéhokoliv původu, včetně systémové arteriální hypertenze (esenciální i sekundární) vede k navození adaptačních změn myokardu a remodelaci levé komory (LK). (1) Nejde však pouze o hypertrofii svalových vláken a nárůst celkové hmotnosti LK. Dochází ke změnám velikosti dutiny levé komory a poměru mezi tloušťkou myokardu a objemem komory. Klasicky je možno pomocí zobrazovacích technik popsat několik typů strukturální remodelace s odlišným prognostickým významem. Ke stratifikaci je využíváno hodnocení celkové hmotnosti levé komory, jejího objemu a dále stanovení relativní tloušťky myokardu (RWT = poměr mezi tloušťkou stěn a poloměrem levé komory). (2, 3, 4) Následně je možno typy remodelace rozdělit, jak je naznačeno na obrázku č. 1. Jedinci s normální hmotností levé komory mohou mít patologické RWT. V tom případě hovoříme o koncentrické remodelaci LK. Ačkoli jde o poměrně malou strukturální změnu, bylo prokázáno, že již tento

typ remodelace je spojen s nárůstem rizika kardiovaskulárních komplikací. V případě přítomnosti hypertrofie je možno rozdělit nemocné podle RWT (zpravidla je používána hranice RWT 0,42 nebo 0,45) na pacienty s disproporcionálním zesílením myokardu (RWT zvýšená), kde hovoříme o koncentrické hypertrofii, a pacienty s normálními hodnotami, u nichž se jedná o hypertrofii excentrickou. Ti mohou mít buď objem komory ještě v mezích normy, nebo navíc již jasně vyjádřenou dilataci komory. Kromě těchto víceméně homogenních typů remodelace můžeme zejména u starších nemocných vidět i hypertrofii lokalizovanou například jen na oblast proximálního interventrikulárního septa. (2,5)

Prognostické dopady hypertrofie LK

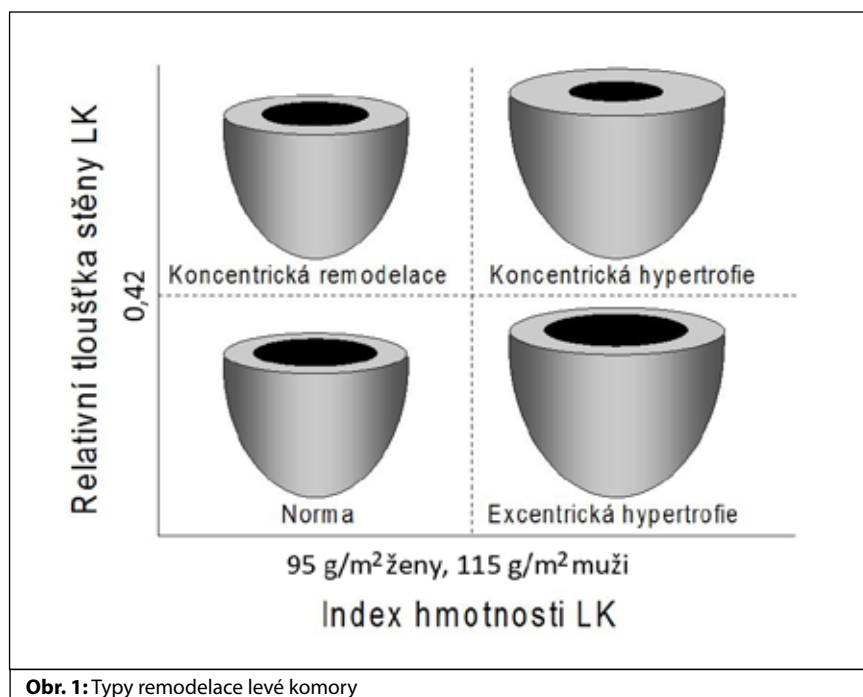
Přítomnost EKG známek hypertrofie LK je spojena s významně vyšším výskytem kardiovaskulárních onemocnění a úmrtí. (6,7) Echokardiograficky stanovená hmotnost LK je rovněž prognostickým faktorem kardiovaskulární morbidity a mortality,

a dokonce mortality ze všech příčin. Přitom je tento ukazatel nezávislý na tradičních rizikových faktorech, jako jsou věk, hodnoty krevního tlaku, hladiny cholesterolu, kouření, přítomnost diabetu, a dokonce i přítomnost EKG známek hypertrofie LK. Incidence kardiovaskulárních příhod, ale i celkové mortality narůstá téměř kontinuálně se zvyšující se hmotností LK. (6) Tento prognostický význam hmotnosti LK byl ověřen celou řadou dalších pozorování. (8–11)

Bylo rovněž prokázáno, že významnou prognostickou roli hraje i geometrie levé komory. Jak bylo uvedeno výše, je s vyšší četností kardiovaskulárních komplikací spojena i poměrně často opomíjená koncentrická remodelace LK. Prognosticky se zdá nejméně příznivým typem remodelace manifestní koncentrická hypertrofie spojená až s 20% rizikem desetiletého rozvoje kardiovaskulárních příhod. Avšak i excentrický typ je spojen s poměrně neblahou prognózou. (12)

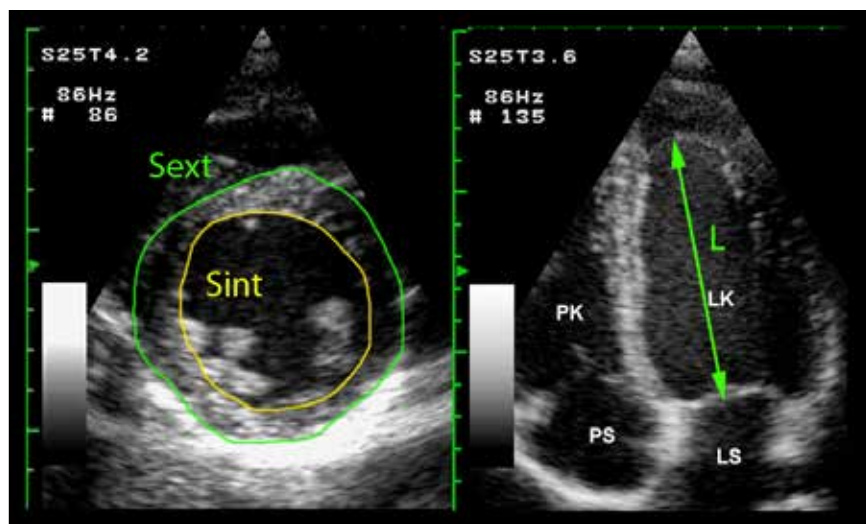
Echokardiografické hodnocení struktury levé komory

Echokardiografické stanovení hmotnosti levé komory vychází z geometrických modelů, jejichž platnost byla ověřena srovnáváním s anatomico-patologickými měřeními. Nejjednodušší rovnice vycházejí z hodnocení velikosti dutiny LK a tloušťky stěn hodnocené tzv. způsobem M (obrázek č. 2). Lineární rozměry tloušťky myokardu a velikosti dutiny LK je možné získat rovněž z dvourozměrných (2D) měření. Komplikovanější modely jsou založeny na dvourozměrném zobrazení s využitím planimetrie endokardiálních a epikardiálních kontur stěn LK (obrázek č. 3).





Obr. 2: Příklad měření rozměrů levé komory ze způsobu M podle ASE konvence.



Obr. 3: Příklad měření nutných k výpočtu hmotnosti levé komory ze 2D zobrazení pomocí rovnice „plocha-délka“. Hmotnost LK = $1,05 \cdot 5/6 \cdot [(Sext \cdot (L + 1)) - (Sint \cdot L)]$

Tabulka 1. Rovnice pro kvantifikaci hmotnosti LK (výsledek výpočtu v gramech) (IVSd = diastolický rozměr interventrikulárního septa, LKd – diastolický rozměr dutiny LK, ZSd – diastolický rozměr zadní stěny LK)

Konvence	Rovnice (parametry v cm)
Penn	$1,04 \cdot [(IVSd + LKd + ZSLKd)^3 - LKd^3] - 13,6 \text{ g}$
ASE	$0,8 \cdot 1,04 \cdot [(IVSd + LKd + ZSd)^3 - LKd^3] + 0,6 \text{ g}$

Kvantifikace způsobem M

Historicky první validovanou konvencí měření byla tzv. Penn konvence. Ta vychází z měření tloušťky stěn, které vylučuje endokardiální echo, které je naopak zahrnuto do měření rozměru komory. Všechna měření jsou realizována v okamžiku vrcholu kmitu R na EKG (obrázek č. 4). Americká společnost pro echokardiografii (ASE) v roce 1978 doporučila nový standard. Při jeho použití vycházejí měření z metody

vedoucího echa, které je vždy zahrnuto do měření příslušné za ním následující struktury. (13) Rovnice ASE je dodnes považována za referenční pro výpočet hmotnosti z lineárních měření levé komory zejména proto, že většina studií, které prokázaly prognostický význam tohoto parametru, byla založena na takto kvantifikovaných tloušťkách myokardu a rozměru LK.

Bohužel od roku 2005, kdy vyšla první společná doporučení Americké

společnosti pro echokardiografii a jejího evropského protipólu Evropské kardiologické společnosti (dříve Evropské asociace pro echokardiografii, dnes Asociace pro kardiovaskulární zobrazovací metody), jsou doporučována měření, která nerespektují ani původní konvence, ani fyzikální principy ultrazvuku. (13) Poslední verze těchto doporučení byla publikována v roce 2015. (14) Podle nich bychom měření měli provádět pouze tak, že se kalipery umístí na rozhraní mezi dutinou srdečních oddílů a septem nebo zadní stěnou a v případě zadní stěny na rozhraní mezi stěnou a perikardem. Navíc obecným doporučením je upřednostnit měření prováděná ve 2D zobrazení, tedy nikoli ze záznamu způsobem M (obrázek č. 5).

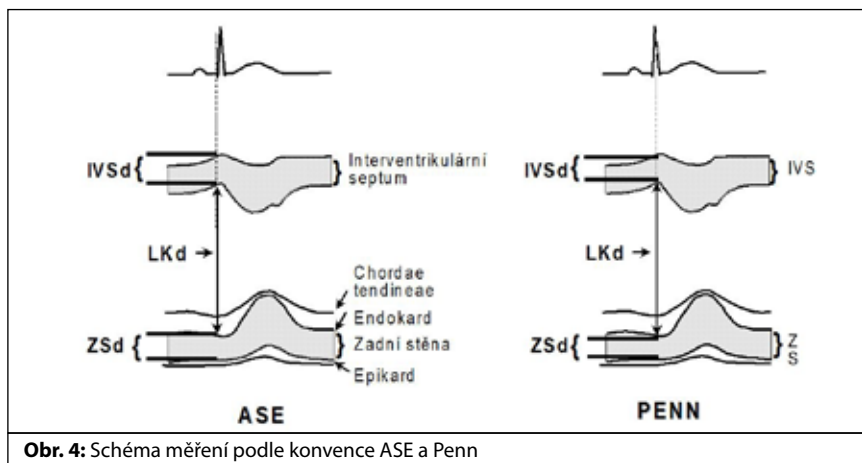
Problém ve vztahu ke kvantifikaci hmotnosti levé komory je hned několiký:

1. Měření získaná na proponovaném principu „změř, co vidíš“ nerespektují výsledky původní studie, které odvodily a validovaly rovnici ASE proti zcela původní rovnici Penn, a jejich závěry nelze přímo srovnávat (obrázek č. 6).

2. Měření získaná ve 2D jsou zpravidla menší než ze způsobu M a jejich dosazení do rovnice určené pro tento způsob může hmotnost podhodnotit.

3. Méně významným zkrácením je současně rozšíření harmonického zobrazování, které tloušťky proti původním studiím využívajícím fundamentální frekvence zpravidla nadhodnocuje.

Kvantifikace hmotnosti LK založená na lineárních měřeních tloušťky myokardu a velikosti dutiny LK má však své významné limity. Geometrická hypotéza uplatněná při výpočtu hmotnosti předpokládá, že komora má eliptický tvar a víceméně homogenní tloušťku stěn. Tato podmínka není splněna v celé řadě případů. S heterogenní tloušťkou stěn se setkáváme například u lokalizované subaortální hypertrofie IVS (septal bulge) (obrázek č. 7). Výpočet rovněž znemožňuje tzv. asymetrická septální hypertrofie, která bývá zpravidla definována jako poměr IVS k ZSLK > 1,5 a nacházíme ji často u nemocných s hypertrofickou kardiomyopatií.



Obr. 4: Schéma měření podle konvence ASE a Penn

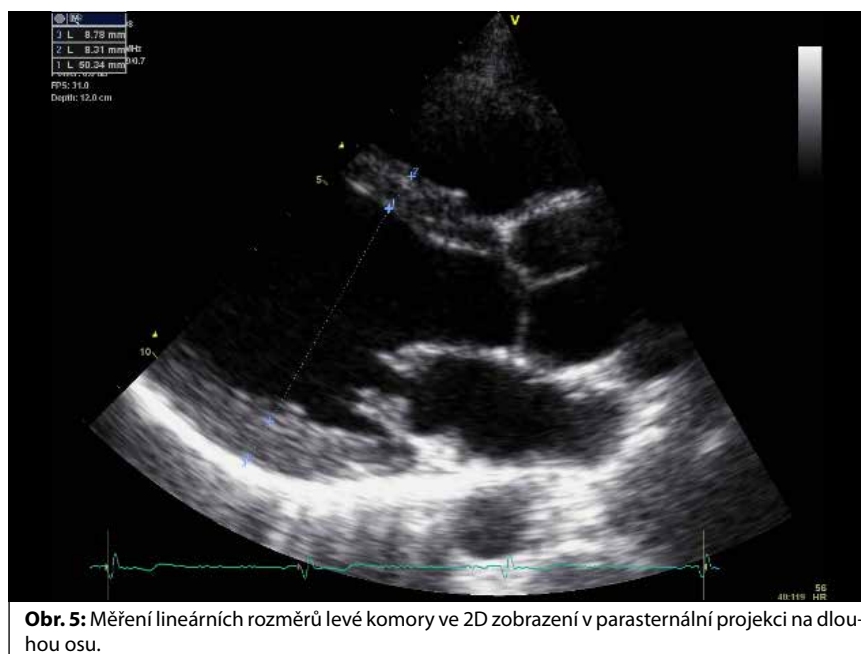
Dvourozměrná kvantifikace hmotnosti LK

Využití dvourozměrného (2D) zobrazení pro stanovení hmotnosti LK představuje jisté teoretické výhody. Je možno je používat u LK, jejichž morfologie není zcela homogenní. Metoda vychází především z měření ploch determinovaných endokardem a epikardem LK.

Geometrické modely, z nichž vychází stanovení hmotnosti LK ze 2D obrazu, byly dosud validovány dva. Jedná se o rovnici seříznutého elipsoidu a o rovnici založenou na modelu válce a hemielipsoidu (někdy označované jako rovnice »plocha–délka«) (obrázek č. 3 a 8).

Do klinické praxe se postupně dostává i 3D echokardiografie. Její využití by mělo umožnit překonat některé zásadní nedostatky 2D zobrazení, zejména pak zlepšit možnost stanovení hmotnosti LK u nemocných s nehomogenní anatomí komory. Bohužel implementace 3D echokardiografie

naráží stále na problémy celkové kva-



Obr. 5: Měření lineárních rozměrů levé komory ve 2D zobrazení v parasternální projekci na dlouhou osu.

lity zobrazení. Využití pro hodnocení hmotnosti LK tak zůstává zatím spíše ve výzkumné oblasti. (15,16)

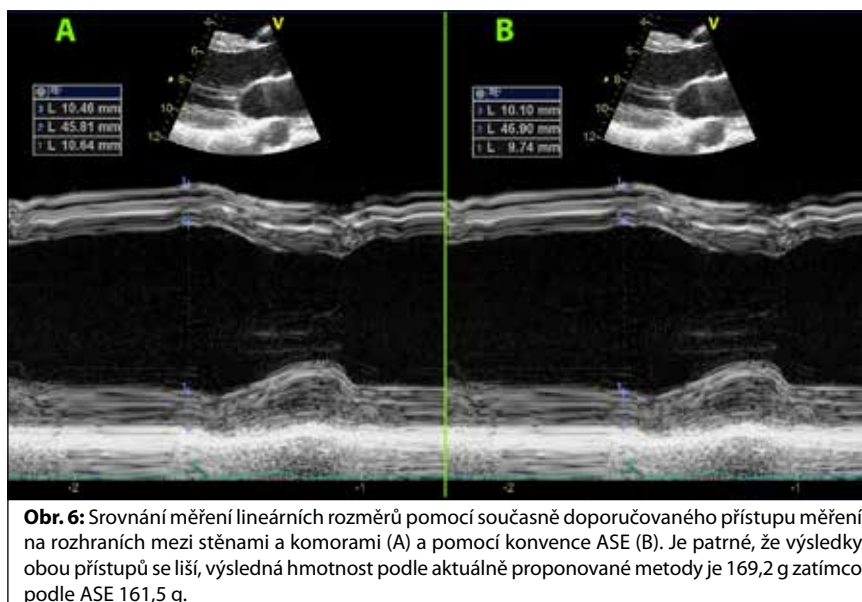
Korekce hmotnosti levé komory antropometrickými ukazateli

Většina autorů koriguje výsledky tak, že hmotnost levé komory je vztažována na tělesný povrch (BSA – body surface area), který je počítán podle vzorce navrženého již v roce 1916: $[BSA (m^2) = váha (kg)^{0,425} \cdot výška (cm)^{0,725} \cdot 71,84 \cdot 10^{-4}]$. (17) Hodnoty hmotnosti LK dělené velikostí tělesného povrchu jsou běžně označovány jako index hmotnosti LK a tato »indexace« se zdá být dobře adaptovaná pro jedince s normální tělesnou hmotností. Korekce tělesným povrchem zde elimi-

nuje rozdíly dané adaptačním fyziologickým zvýšením hmotnosti LK u jedinců s mohutnější tělesnou stavbou, což ovšem již neplatí pro jedince s výraznější nadváhou, kde použití této rovnice výrazně podhodnocuje prevalenci hypertrofie LK. (18,19)

Alternativou do určité míry eliminující tento problém je indexace pomocí různých mocnin výšky, kdy index hmotnosti LK = hmotnost LK / výška^a. (20–23) Dosud nejvíce rozšířená je indexace, kde a = 2,7 nebo 1,7. (20) Podobných výsledků lze dosáhnout také indexací pomocí čisté (netučné) tělesné hmotnosti, avšak její stanovení je pro praktické účely příliš komplikované.

Indexace ukazateli tělesného habitu je pro diagnózu hypertrofie LK zásadním krokem. Ačkoli se některé způsoby indexace jeví výhodnější než jiné, průkaz hypertrofie LK na



Obr. 6: Srovnání měření lineárních rozměrů pomocí současně doporučeného přístupu měření na rozhraní mezi stěnami a komorami (A) a pomocí konvence ASE (B). Je patrné, že výsledky obou přístupů se liší, výsledná hmotnost podle aktuálně proponované metody je 169,2 g zatímco podle ASE 161,5 g.



Obr. 7: Příklad septum sigmoideum, zesílení subaortálního septa znemožňuje využití způsobu M.

základě kteréhokoli indexu je spojen s nárůstem rizika morbidity a mortality. Jednotlivé indexy spolu silně korelují, a není proto příliš překvapivé, že u všech typů indexace je schopnost předpovědět zvýšené riziko v podstatě srovnatelná.

Hraniční hodnoty pro diagnózu hypertrofie LK

V současných doporučeních jsou udávány hodnoty hmotnosti indexované pouze na BSA. Za hranici pro sta-

koncentrickou remodelaci je navržena hranice RWT 0,42 pro obě pohlaví (tabulka č. 2). Vzhledem k relativně omezené reprodukovatelnosti, a tedy i přesnosti echokardiografie se však jeví jako rozumné neopírat

Papilární svaly

Planimetrie v parasternální projekci na krátkou osu

$$b = 2 \cdot \sqrt{\frac{A_1}{\pi}} \quad t = \sqrt{\frac{A_2}{\pi}} - \frac{b}{2}$$

Metoda "Truncated ellipsoid"

Hmotnost LK = $1,05 \cdot \pi \cdot \{(b+t)^2 \cdot [2/3(a+t) + d - d^3/3(a+t)^2] - b^2 \cdot [2/3a + d - d^3/3a^2]\}$

Metoda "Area - Length" = Válec a hemielipsoid

$V_1 = A \cdot L_{1/2}$ $V_2 = \pi/6 \cdot D^2 \cdot L/2 = A \cdot L/3$

$V = V_1 + V_2 = A \cdot L/2 + A \cdot L/3 = 5/6 \cdot A \cdot L$

Hmotnost LK = $1,05 \cdot 5/6 \cdot \{[A_2 \cdot (L+t)] - (A_1 \cdot L)\}$

Obr. 8: Modely využívané pro výpočet hmotnosti LK z měření ve 2D využívající planimetrii endokardiální a epikardiální kontury LK.

Tabulka 2. Normální a abnormální hodnoty pro hmotnost LK dle American society of echocardiography z roku 2005 a z roku 2015 (13, 14); hodnoty uvedené kurzívou jsou dostupné jen jako doplňkový on-line materiál)

Parametr	Ženy				Muži			
	abnormální							
	norma	mírné	středně	výrazně	norma	mírné	středně	výrazně
Hodnoty stanovené lineárními měřeními								
2005 LVMI (g/m ²)	41–99	100 až 115	116 až 128	≥129	52–126	127 až 144	145 až 162	≥163
2015 LVMI (g/m ²)	43–95	<i>96–108</i>	<i>109 až 121</i>	<i>>121</i>	49–115	<i>116 až 131</i>	<i>132 až 148</i>	<i>>148</i>
2005 RWT	0,22 až 0,42	0,43 až 0,47	1,48 až 0,52	≥0,53	0,24 až 0,42	0,43 až 0,46	0,47 až 0,51	≥0,52
2015 RWT	0,22 až 0,42				0,24 až 0,42			
Hodnoty stanovené 2D metodou								
2005 LVMI (g/m ²)	44–88	89–100	101 až 112	≥113	50–102	103 až 116	117 až 130	≥131
2015 LVMI (g/m ²)	44–88	<i>89–100</i>	<i>101 až 112</i>	<i>>112</i>	50–102	<i>103 až 116</i>	<i>117 až 130</i>	<i>>130</i>

novení hypertrofie je považována hodnota 95 g/m² pro ženy a 115 g/m² pro muže (BSA). (24, 25) Tato hodnota je proponována jak současnými doporučeními pro diagnostiku a léčbu hypertenze, tak doporučeními pro echokardiografické hodnocení srdečních oddílů. Za směrodatnou hodnotu pro

se pouze o jedno striktní kritérium, ale odlišovat mírnou, střední a těžkou hypertrofii LK. Tento způsob byl v roce 2005 součástí doporučení, avšak ta aktuální od něj upustila a uvádějí toto dělení jen v doplňkových tabulkách publikovaných on line (tabulka č. 2). Nedávno publikovaná mezinárodní

metaanalýza však odhalila, že tyto hodnoty jsou závislé nejen na pohlaví, ale i etniku a věku. (26) Hodnoty odvozené pro evropskou populaci z lineárních měření zobrazuje tabulka č. 3.

Tabulka 3. Horní hranice normálních hodnot odvozené z dat od 3 038 mužů a 3 463 žen zařazených v metaanalýze EchoNoRMAL. (26).						
	Ženy			Muži		
Věk (roky)	30	50	70	30	50	70
LVMi (g/m ²)	91	94	96	109	113	118
RWT	0,42	0,47	0,52	0,44	0,47	0,51

LITERATURA

- Opie LH, Commerford PJ, Gersh BJ, Pfeffer MA. Controversies in ventricular remodeling. *Lancet* 2006; 367: 356–67.
- Gaasch WH, Zile MR. Left ventricular structural remodeling in health and disease: with special emphasis on volume, mass, and geometry. *J Am Coll Cardiol*. 2011; 58: 1733–40.
- Koren MJ, Devereux RB, Casale PN, Savage DD, Laragh JH. Relation of left ventricular mass and geometry to morbidity and mortality in uncomplicated essential hypertension. *Ann Int Med* 1991; 114: 345–52.
- Devereux RB, Liebson PR, Horan MJ. Recommendations concerning use of echocardiography in hypertension and general population research. *Hypertension* 1987; 9[Suppl II]: II 97–104.
- Ganau A, Devereux RB, Roman MJ et al. Patterns of left ventricular hypertrophy and geometric remodeling in essential hypertension. *J Am Coll Cardiol* 1992; 19:1550–1558.
- Kannel WB, Gordon T, Castelli WP, Margolis JR. Electrocardiographic left ventricular hypertrophy and risk of coronary heart disease: The Framingham Study. *Ann Int Med* 1970; 72: 813–22.
- Levy D, Garrison RJ, Savage DD, Kannel WB, Castelli WP. Prognostic implication of echocardiographically determined left ventricular mass in the Framingham Heart Study. *N Engl J Med* 1990; 322: 1561–6.
- Casale PN, Devereux RB, Milner M et al. Value of echocardiographic measurement of left ventricular mass in predicting cardiovascular morbid events in hypertensive men. *Ann Int Med* 1986; 105: 173–8.
- Levy D, Garrison RJ, Savage DD, Kannel WB, Castelli WP. Left ventricular mass and incidence of coronary heart disease in an elderly cohort: The Framingham Heart Study. *Ann Int Med* 1989; 110: 101–7.
- Ghali JK, Liao Z, Simmons B, Castaner A, Cao G, Cooper RS. The prognostic role of left ventricular hypertrophy in patients with and without coronary artery disease. *Ann Int Med* 1992; 117: 831–6.
- Brown DW, Giles WH, Croft JB. Left ventricular hypertrophy as a predictor of coronary heart disease mortality and the effect of hypertension. *Am Heart J* 2000; 140: 848–56.
- Verdecchia P, Schillaci G, Borgioni C et al. Adverse prognostic significance of concentric remodeling of the left ventricle in hypertensive patients with normal left ventricular mass. *J Am Coll Cardiol* 1995; 25: 871–878.
- Lang RM, Bierig M, Devereux RB, Flachskampf FA, et al.; Chamber Quantification Writing Group; American Society of Echocardiography's Guidelines and Standards Committee; European Association of Echocardiography. 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: 1440–63.
- Lang RM, Badano LP, Mor-Avi V, Afilalo J, 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: 233–70.
- Lenstrup M, Kjaergaard J, Petersen CL, Kjaer A, Hassager C. Evaluation of left ventricular mass measured by 3D echocardiography using magnetic resonance imaging as gold standard. *Scand J Clin Lab Invest*. 2006; 66: 647–57.
- Pacileo G, Castaldi B, Di Salvo G, Limongelli G, Rea A, D'Andrea A, Russo MG, Calabrò R. Assessment of left ventricular mass and remodeling in obese adolescents: M-mode, 2D or 3D echocardiography. *J Cardiovasc Med (Hagerstown)*. 2013; 14: 144–9.
- Du Bois D, Du Bois EF. A formula to estimate the approximative surface area if height and weight be known. *Arch Int Med* 1916; 17: 863–71.
- De Simone G, Devereux RB, Roman MJ, Alderman MH. Relation of obesity and gender to left ventricular hypertrophy in normotensive and hypertensive adults. *Hypertension* 1994; 23: 600–6.
- Levy D, Savage DD, Garrison RJ, Anderson KM, Kannel WB, Castelli WP. Echocardiographic criteria for left ventricular hypertrophy: The Framingham Heart Study. *Am J Cardiol* 1987; 59: 956–60.
- Lauer MS, Anderson KM, Larson MG, Levy D. A new method for indexing left ventricular mass for differences in body size. *Am J Cardiol* 1994; 74: 487–91.
- De Simone G, Daniels SR, Devereux et al. Left ventricular mass and body size in normotensive children and adults: Assessment of allometric relations and impact of overweight. *J Am Coll Cardiol* 1992; 20: 1251–60.
- De Simone G, Devereux RB, Daniels SR, Koren MJ, Meyer RA, Laragh J. Effect of growth on variability of left ventricular mass: assessment of allometric signals in adults and children and their capacity to predict cardiovascular risk. *J Am Coll Cardiol* 1995; 25: 1056–62.
- Daniels SR, Kimball TR, Morrison JA, Khoury P, Meyer RA. Indexing left ventricular mass to account for difference in body size in children and adolescents without cardiovascular disease. *Am J Cardiol* 1995; 76: 699–701.
- 2013 Practice guidelines for the management of arterial hypertension of the European Society of Hypertension (ESH) and the European Society of Cardiology (ESC): ESH/ESC Task Force for the Management of Arterial Hypertension. *ESH/ESC Task Force for the Management of Arterial Hypertension J Hypertens*. 2013; 31: 1925–38.
- Filipovský J., Widimský J Jr., CEARL J et al. Diagnostické a léčebné postupy u arteriální hypertenze – verze 2012. *Doporučení České společnosti pro hypertenzi. Hypertenze a kardiovaskulární prevence* 2012; 3: 1–16
- Echocardiographic Normal Ranges Meta-Analysis of the Left Heart Collaboration. Ethnic-Specific Normative Reference Values for Echocardiographic LA and LV Size, LV Mass, and Systolic Function: The EchoNoRMAL Study. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2015; 8: 656–65.