

Neinvazivní hodnocení myokardiální práce: od teorie k praxi

(Non-invasive evaluation of myocardial work efficiency: from theory to practice)

Tereza Hadžić, Olena Iurchenko, Jan Kovanda, Michal Vrbík, Miroslav Ložek, Jan Janoušek

Dětské kardiocentrum, 2. lékařská fakulta Univerzity Karlovy a Fakultní nemocnice Motol, Praha, Česká republika

INFORMACE O ČLÁNKU

Historie článku:

Vložen do systému: 29. 1. 2024

Přepřeván: 15. 3. 2024

Přijat: 30. 3. 2024

Dostupný online: 19. 8. 2024

Klíčová slova:

Echokardiografie

Myokardiální práce

Speckle-tracking

Strain

SOUHRN

Funkce srdečních komor je v klinické praxi zásadním parametrem rozhodujícím o prognóze, indikaci k léčbě a hodnocení efektivity terapie u řady kardiovaskulárních onemocnění. Ačkoliv již existuje celá řada invazivních a neinvazivních metod jejího hodnocení, tyto metody mají své limity. Jedním z možných způsobů hodnocení srdeční funkce je také měření myokardiální práce, které lépe odráží efektivitu práce komory, pokud ji vztáhneme např. k srdečnímu výdeji. Toto měření nicméně dříve vyžadovalo provedení invazivního katetrizačního vyšetření. V nedávné době ale byla vyvinuta nová metoda hodnocení myokardiální práce pomocí spojení echokardiografického deformačního zobrazení a neinvazivního měření krevního tlaku.¹ Tato metoda vychází z poznatků ze studie autorů Suga a spol., kde je pro hodnocení práce levé komory využívána tlakově-objemová křivka. Tu lze získat pomocí invazivního měření a v minulosti se již prokázala být vhodnou metodou k hodnocení celkové mechanické energie srdeční komory.² Zmíněná nová echokardiografická metoda nahrazuje invazivně získané hodnoty tlaku a objemu veličinami měřenými pomocí neinvazivních vyšetřovacích metod. Hodnocení myokardiální práce touto metodou bylo doposud publikováno u celé řady získaných srdečních onemocnění, kde se prokázala být stejně spolehlivou v hodnocení srdeční funkce jako jiné metody, včetně invazivního měření.^{1,3-7}

© 2024, ČKS.

ABSTRACT

Ventricular function is a fundamental parameter in clinical practice when it comes to prognosis, indication for treatment, and evaluation of effectiveness of applied therapy in a variety of cardiovascular diseases. Even though there already exists a whole range of invasive and non-invasive methods of its evaluation, all these methods have their limitations. One of the possible means of evaluation of ventricular function is the measurement of myocardial work which enables to assess myocardial work efficiency if related, for example, to cardiac output. This has, however, required performing an invasive study in the past. Recently, a new method of myocardial work evaluation was introduced using a combination of echocardiographic deformation imaging and non-invasive blood pressure measurement.¹ This method follows the findings from a study by Suga et al., where a pressure-volume loop was used for evaluating left ventricular work. This loop can be acquired by invasive measurements, and it has proven itself to be a feasible method to evaluate total mechanical energy of the ventricle.² The new echocardiographic method replaces invasively acquired values of pressure and volume by variables measured using non-invasive techniques. Evaluation of myocardial work by this method has already been published in many acquired heart diseases, where it has proven itself to be just as reliable in evaluating heart function as other methods, including invasive measurement.^{1,3-7}

Keywords:

Echocardiography

Myocardial work

Speckle-tracking

Strain

Adresa pro korespondenci: MUDr. Tereza Hadžić, Dětské kardiocentrum, 2. lékařská fakulta Univerzity Karlovy a Fakultní nemocnice Motol, V Úvalu 84, 150 06 Praha 5, Česká republika, e-mail: tereza.hadzic@fnmotol.cz, terezmat@email.cz

DOI: 10.33678/cor.2024.030

Úvod

Srdeční práce je definována jako síla nutná k přemístění určitého objemu krve proti určitému odporu, jenž je vyjádřen tlakem nutným k jeho překonání. Tuto práci lze proto vyjádřit součinem tlaku a přemístěného objemu.⁸ Kardiální energetikou, specificky energetikou srdečních komor, se zabýval Hiroyuki Suga, který ve své práci z roku 1990 představil a revidoval koncept umožňující přímé hodnocení celkové mechanické energie kontrakce levé komory a její kvantifikaci pomocí výpočtu plochy tlakově-objemové křivky.² Měření vycházející z tohoto konceptu, založené na modelu elastance měnící se v čase (modelu srdeční komory), ale v praxi u člověka vyžaduje provedení invazivního katetrizačního vyšetření s cílem měřit změny tlaku a objemu levé komory v čase.^{2,9} V nedávné době byla vyvinuta metoda vycházející z téhož konceptu, eliminující nevýhodu v podobě invazivity, založená na kombinaci deformačního echokardiografického vyšetření (speckle-tracking echokardiografie) a neinvazivního měření krevního tlaku pomocí manžety.⁹ Využití této metody bylo poprvé popsáno v práci dr. Russella a spol. z roku 2012, na niž navázali další autoři s možností jejího využití v různých oblastech klinické praxe.¹ V tomto článku se zaměříme na podstatu nového konceptu měření myokardiální práce a shrneme dosavadní dokumentované poznatky o využití této metody v praxi.

Hodnocení myokardiální práce dříve

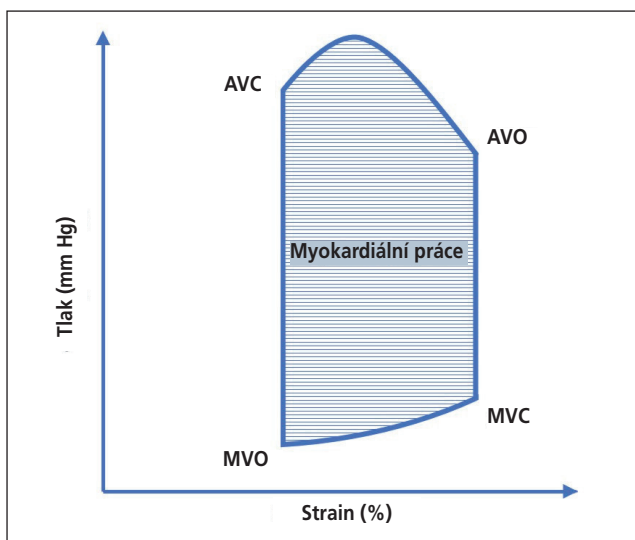
Ve své práci zaměřené na energetiku srdeční komory popsal Suga na základě modelu elastance měnící se v čase (zastupující srdeční komoru) možnost výpočtu srdeční práce, respektive celkové mechanické energie srdeční komory, jako plochy tlakově-objemové křivky. Svě výsledky potvrdil mimo jiné také korelací s myokardiální spotřebou kyslíku.² Tlakově-objemovou křivku lze získat invazivním katetrizačním vyšetřením s měřením změn tlaku a objemu srdeční komory v reálném čase. Mimoto existují také metody hodnotící myokardiální práci nepřímou na základě hodnocení systolické a diastolické funkce srdce – např. ejekční frakce. Tyto metody mají ovšem svoje limity. Ejekční frakce, jejíž spolehlivost se odvíjí od kvality měření konkrétním vyšetřujícím, je zatížena vysokou interobservační variabilitou. Použití samotné speckle-tracking echokardiografie zase nezohledňuje ve svém hodnocení dotížení (afterload).⁹

Nová metoda hodnocení myokardiální práce

Kvůli výše zmíněným nevýhodám ostatních metod hodnocení práce srdeční komory byla v roce 2012 vyvinuta Russellem nová metoda, která tyto nevýhody eliminovala.^{1,9} V roce 2013 byla tato metoda stejným týmem poprvé použita k měření promarněné práce u dyssynchronie levé komory při kompletní blokádě levého Tawarova raménka.¹⁰

Princip

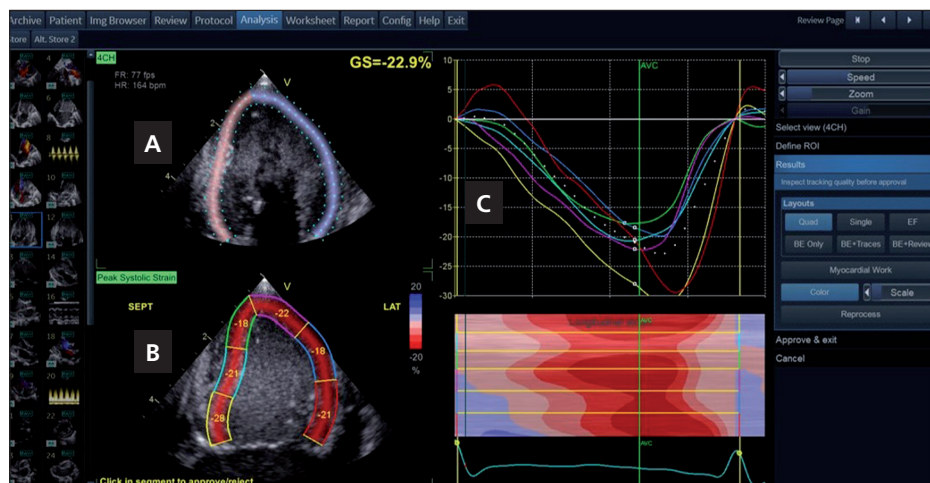
Neinvazivní metoda hodnocení myokardiální práce v sobě spojuje dvě vyšetřovací metody – speckle-tracking echokardiografii a neinvazivní měření krevního tlaku.¹



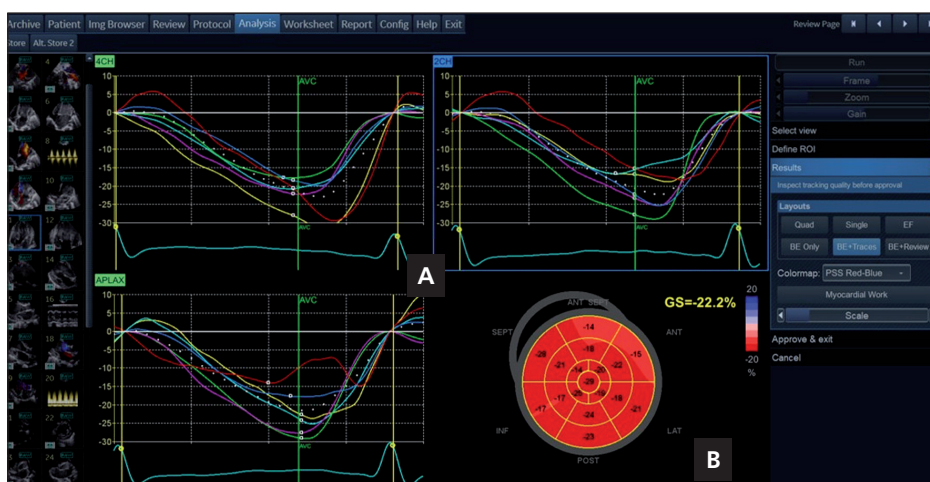
Obr. 1 – Schéma tlakově-strainové křivky LK.⁹ AVC – uzavěr aortální chlopně; AVO – otevření aortální chlopně; MVC – uzavěr mitrální chlopně; MVO – otevření mitrální chlopně.

Metoda vychází z poznatků o tlakově-objemových křivkách a jejich využití k výpočtu srdeční práce, kdy jsou ale invazivně získané veličiny nahrazeny veličinami získanými neinvazivně.^{1,2} Základem pro neinvazivní hodnocení myokardiální práce je sestavení tlakově-strainové křivky (obr. 1), která je obdobou tlakově-objemové křivky. Udává vztah těchto dvou veličin v čase v průběhu srdečního cyklu a její plocha odpovídá hodnotě myokardiální práce. Tato křivka je sestavena na základě empirické referenční tlakové křivky, vytvořené podle dat o tlaku v levé komoře získaných z řady invazivních měření a normalizované podle doby trvání jednotlivých fází srdeční revoluce. Horní hranice tlakové amplitudy křivky se odhaduje z neinvazivně naměřené hodnoty systolického krevního tlaku, která zastupuje maximální tlak v levé komoře. Předpokladem přesného měření myokardiální práce je absence gradientu na výtokovém traktu levé komory a aortální chlopní. Dále je křivka u konkrétního pacienta při analýze rovněž adjustována podle délky trvání jednotlivých fází srdečního cyklu, získané z časování uzavěru a otevření mitrální a aortální chlopně pomocí echokardiografie. Data o strainu vyplývají ze speckle-tracking analýzy.^{1,9}

Speckle-tracking echokardiografie je ultrazvuková metoda spočívající ve sledování specifických ultrazvukových vzorů v myokardu (tzv. speckles) a analýze jejich pohybu v čase. Takto lze získat data o rychlosti deformace myokardu komory během srdečního cyklu (strain rate), ze kterých lze integrací plochy pod křivkou hodnotit strain rate vypočítat strain, tedy poměrnou míru deformace v procentech. Deformační parametry lze hodnotit ve čtyřech základních směrech – longitudinálním, cirkumferenciálním, transversálním a radiálním, z nichž při hodnocení myokardiální práce používáme strain ve směru longitudinálním. Na základě této analýzy jsou následně sestaveny křivky závislosti strainu na čase v jednotlivých segmentech komory, vyjadřující míru zkrácení či prodloužení kardiomyocytů daného segmentu během srdeční revoluce. Segmenty myokardu, které se během systoly zkracují, mají



Obr. 2 – Speckle-tracking analýza ve čtyřdutinové projekci. Ohraničená oblast pohybujícího se myokardu levé komory. (A) Myokard levé komory rozdělený na jednotlivé segmenty s číselnou hodnotou strainu v každém z nich. (B) Křivka vyobrazující hodnoty strainu pro jednotlivé segmenty. (C) Analýza byla provedena v systému GE EchoPAC verze 204.57.0.745.



Obr. 3 – Křivky zobrazující hodnoty strainu pro jednotlivé segmenty myokardu levé komory ve všech třech projekcích potřebných pro analýzu myokardiální práce. (A) Diagram bull's eye plot zobrazující hodnoty strainu v jednotlivých segmentech levé komory. (B) Analýza byla provedena v systému GE EchoPAC verze 204.57.0.745.

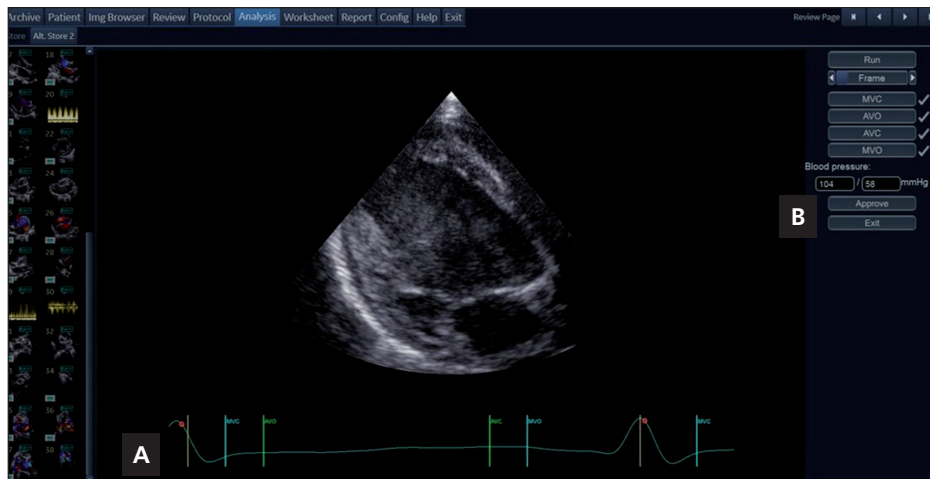
negativní hodnotu longitudinálního strainu, na rozdíl od prodlužujících se segmentů s hodnotou pozitivní.^{9,11–13}

Metodologie

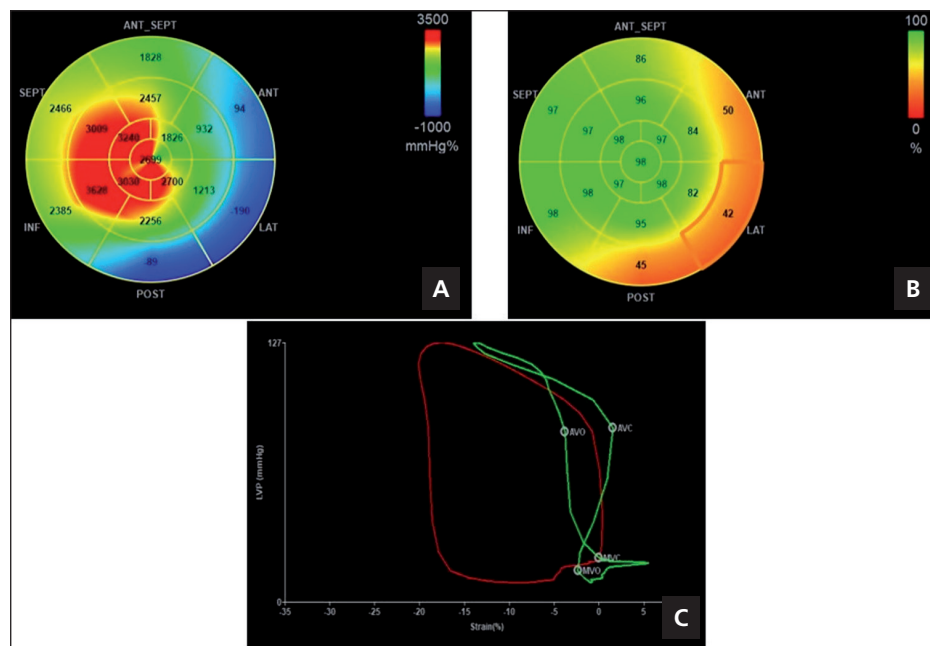
Samotná analýza začíná provedením běžného echokardiografického vyšetření na přístroji disponujícím zabudovaným speciálním softwarem pro měření myokardiální práce. Základem je echokardiografický záznam ve třech projekcích – apikální čtyřdutinová a dvoudutinová projekce a projekce v apikální dlouhé ose, z nichž v každé provedeme speckle-tracking analýzu. Prvním krokem je ohraničení oblasti zájmu (obr. 2) – tedy pohybujícího se myokardu levé komory, od septa po volnou stěnu, který je následně rozčleněn do jednotlivých segmentů myokardu levé komory. Software sám nabídne možné ohraničení ob-

lasti zájmu, které lze pak upravovat tak, aby bylo měření co nejpřesnější. V projekci v dlouhé ose by měly být z oblasti zájmu vyřazeny papilární svaly a výtokový trakt levé komory. Do analyzované oblasti by rovněž neměl být zahrnut perikard.^{9,13,14} V ohraničené oblasti je poté provedena analýza, jejímž výstupem jsou křivky vyjadřující závislost strainu, tedy míry deformace, v daném segmentu na čas, a také tzv. bull's eye plot, tedy diagram vyobrazující levou komoru rozdělenou do jednotlivých segmentů a hodnoty strainu v každém z nich (obr. 2, 3). Výsledný strain v longitudinálním směru (globální longitudinální strain, GLS) se poté využije ve výpočtu myokardiální práce.^{9,13}

Následně je nutné podle echokardiografického 2D záznamu označit dobu otevření a uzávěru jednotlivých chlopní (obr. 4). V případě levé komory se jedná o označení otevření a uzávěru mitrální a aortální chlopně v projekci v apikální dlouhé ose.⁹



Obr. 4 – Proces označení načasování otevírání a uzavírání jednotlivých chlopní. (A) Kolonka pro doplnění hodnoty krevního tlaku. (B) Analýza byla provedena v systému GE EchoPAC verze 204.57.0.745.



Obr. 5 – Diagram bull's eye plot zobrazující hodnoty myokardiální práce (A), efektivity myokardiální práce (B) a tlakově-strainová křivka (C) u pacienta s Wolffovým-Parkinsonovým-Whiteovým syndromem s levou laterální přídavnou spojkou před provedenou katetrizační ablací. V případě tlakově-strainové křivky odpovídá zelená křivka pouze vybranému segmentu (v tomto případě segmentu v místě komorové inserce spojky) a červená křivka všem segmentům současně. Zelená segmentální křivka je zcela patologická a odpovídá časné aktivaci komorového myokardu v místě spojky s vysokým podílem promarněné práce s nízkou efektivitou 42 % (viz dále v textu) na rozdíl od segmentů vzdálených od spojky, které mají efektivitu myokardiální práce vyšší než 90 %. Analýza byla provedena v systému GE EchoPAC verze 204.57.0.745.

Posledním krokem je vložení neinvazivně naměřeného krevního tlaku do softwaru (obr. 4).⁹ V případě přítomnosti obstrukce výtokového traktu levé komory, např. u aortální stenózy, kdy nelze nahradit systolický tlak v levé komoře neinvazivním systolickým arteriálním tlakem, je nutné k neinvazivně změřenému krevnímu tlaku připočítat také střední gradient na aortální chlopní.⁴

Veškeré záznamy echokardiografického vyšetření by měly být zaznamenány s ohledem na dostatečné časové rozlišení speckle-tracking analýzy s frekvencí 40–80 snímků za sekundu (frames per second, fps).^{9,14}

Výstupem analýzy je opět diagram „bull's eye plot“, tedy diagram vyobrazující levou komoru rozdělenou do jednotlivých segmentů, tentokrát zobrazující hodnoty myokardiální práce (myocardial work index) a efektivity

myokardiální práce (myocardial work efficiency) v jednotlivých segmentech, a dále také tlakově-strainovou křivku, jejíž plocha odpovídá vykonané myokardiální práci levé komory (**obr. 5**). Tuto křivku je opět možno zobrazit globálně pro celou komoru nebo pro jednotlivé segmenty.⁹

V rámci analýzy je možné vypočítat i další veličiny mimo samotnou myokardiální práci (global work index, GWI). Mezi nejvýznamnější patří celková konstruktivní (global constructive work, GCW) a promarněná práce (global wasted work, GWW) a z nich odvozená, již zmíněná efektivita myokardiální práce (global work efficiency, GWE). Definice jednotlivých veličin jsou popsány v **tabulce 1**.⁹

Referenční hodnoty

Za účelem stanovení referenčních hodnot myokardiální práce a přidružených veličin byla provedena již řada studií, z nichž první evropskou velkou multicentrickou prospektivní studií byla studie NORRE (Normal Reference Ranges for Echocardiography), publikovaná v *European Heart Journal* v roce 2019. Do studie bylo zařazeno 226 zdravých subjektů, účastnilo se celkem 23 pracovišť a cílem bylo vymezit normální hodnoty GWI, GCW, GWW a GWE u zdravých dospělých a zkoumat vliv věku a pohlaví na tyto hodnoty.¹⁵ Výsledné referenční hodnoty z této studie zobrazuje **tabulka 2** níže.

Další studie, publikovaná v časopise *Circulation*, analyzovala myokardiální práci u celkem 1 827 zdravých subjektů, se zaměřením na stanovení referenčních hodnot pro GWI, GCW, GWW a GWE, jejich závislost na věku a pohlaví a jejich hodnoty s ohledem na míru kardiovaskulárního rizika u konkrétního subjektu. Výsledné referenční hodnoty ukazuje **tabulka 3**.¹⁶

Co se týče pediatrických norem, v roce 2021 byla publikována monocentrická prospektivní studie zabývající se echokardiografickými referenčními hodnotami neinvazivně měřené myokardiální práce u dětí a také sledováním závislosti těchto hodnot na věku, pohlaví a dalších klinických faktorech. Do studie bylo zařazeno 212 zdravých jedinců s normální systolickou a diastolickou funkcí (maximálně s mírnou valvulární regurgitací) a jinak normálním fyzikálním nálezem a EKG, bez kardiovaskulárních rizikových faktorů, u nichž byla měřena GWI, GCW, GWW a GWE pomocí tlakově-strainových křivek. V souboru nebyl zaznamenán signifikantní rozdíl v myokardiální práci napříč věkovými skupinami nebo mezi pohlavími. Výsledek studie shrnuje **tabulka 4**.¹⁷

Výhody a nevýhody

Hlavní výhodou nové metody stanovení myokardiální práce je její neinvazivita. Vyšetření je tedy pro pacienty šetrnější, lze jej dle potřeby opakovat a sledovat dyna-

Tabulka 1 – Základní měřené veličiny v analýze myokardiální práce, jejich definice a jednotky⁹

Název veličiny	Definice	Jednotka
Myokardiální práce / index myokardiální práce (<i>global work index = GWI = myocardial work index = MWI</i>)	Celková práce odvedená v době od uzavěru po otevření mitrální chlopně, odpovídající ploše tlakově-strainové křivky	mmHg%
Konstruktivní práce (<i>global constructive work = GCW = myocardial constructive work = MCW</i>)	Celková práce přispívající k ejekci krve, tedy práce kardiomyocytů, které se zkracují během systoly a prodlužují během izovolumické relaxace	mmHg%
Promarněná práce (<i>global wasted work = GWW = myocardial wasted work = MWW</i>)	Celková práce, která nepřispívá k ejekci krve, tedy práce kardiomyocytů, které se prodlužují během systoly a zkracují proti uzavřené aortální chlopni	mmHg%
Efektivita myokardiální práce (<i>global work efficiency = GWE = myocardial work efficiency = MWE</i>)	Poměr celkové konstruktivní práce ku součtu celkové konstruktivní a promarněné práce GWE = GCW / (GCW + GWW)	%

Tabulka 2 – Referenční hodnoty pro dospělé u jednotlivých parametrů myokardiální práce stanovené ve studii NORRE¹⁵

	Obě pohlaví (<i>n</i> = 226)	Muži (<i>n</i> = 85)	Ženy (<i>n</i> = 141)	<i>p</i> -hodnota
GWI (mmHg%) <i>Průměr ± SD</i>	1 896 ± 308	1 849 ± 295	1 924 ± 313	0,07
GCW (mmHg%) <i>Průměr ± SD</i>	2 232 ± 331	2 228 ± 295	2 234 ± 352	0,9
GWW (mmHg%) <i>Medián (IQR)</i>	78,5 (53–122,2)	94 (61,5–130,5)	74 (49,5–111)	0,013
GWE (%) <i>Medián (IQR)</i>	96 (94–97)	95 (94–97)	96 (94–97)	0,026

GCW – celková konstruktivní práce (global constructive work); GWE – celková efektivita myokardiální práce (global work efficiency); GWI – index myokardiální práce (global work index); GWW – celková promarněná práce (global wasted work); IQR – mezikvartilové rozpětí; SD – směrodatná odchylka.

Tabulka 3 – Referenční hodnoty pro dospělé u jednotlivých parametrů myokardiální práce a jejich rozdíly u jednotlivých pohlaví publikované v roce 2022¹⁶

	Obě pohlaví (n = 1 827)	Muži (n = 711)	Ženy (n = 1 116)	p-hodnota
GWI (mmHg%) Průměr ± SD	2 118 ± 277	2 062 ± 269	2 155 ± 275	< 0,001
GCW (mmHg%) Průměr ± SD	2 262 ± 283	2 229 ± 275	2 283 ± 286	< 0,001
GWW (mmHg%) Medián (IQR)	64 (47–89)	60 (42–84)	68 (49–93)	< 0,001
GWE (%) Medián (IQR)	97,1 (96,0–97,9)	97,2 (96,0–98,0)	97,0 (95,9–97,9)	< 0,001

GCW – celková konstruktivní práce (global constructive work); GWE – celková efektivita myokardiální práce (global work efficiency); GWI – index myokardiální práce (global work index); GWW – celková promarněná práce (global wasted work); IQR – mezikvartilové rozpětí; SD – směrodatná odchylka.

Tabulka 4 – Referenční hodnoty parametrů myokardiální práce u dětí¹⁷

	Obě pohlaví (n = 212)	Muži (n = 100)	Ženy (n = 112)	p-hodnota
Věk (roky) Medián (IQR)	9 (6–12)	8 (6–12)	9 (7–15)	0,03
Hmotnost (kg) Průměr ± SD	33,6 ± 12,8	33,2 ± 14,0	34,0 ± 11,7	0,64
Výška (cm) Průměr ± SD	134,2 ± 19,5	133,1 ± 20,9	135,2 ± 18,2	0,44
EF LK (%) Průměr ± SD	64 ± 3	64 ± 4	64 ± 3	0,58
GLS (%) Průměr ± SD	–21,3 ± 1,5	–21,3 ± 1,5	–21,4 ± 1,6	0,57
Systolický tlak (mm Hg) Průměr ± SD	103 ± 9	104 ± 10	102 ± 8	0,14
GWI (mmHg%) Průměr ± SD	1 688 ± 219	1 699 ± 211	1 679 ± 226	0,51
GCW (mmHg%) Průměr ± SD	1 959 ± 207	1 961 ± 206	1 958 ± 210	0,93
GWW (mmHg%) Průměr ± SD	61,1 ± 30,9	60,4 ± 31,9	61,6 ± 30,1	0,77
GWE (%) Průměr ± SD	96,5 ± 1,4	96,5 ± 1,4	96,4 ± 1,4	0,60

EF – ejekční frakce; GCW – celková konstruktivní práce (global constructive work); GLS – globální longitudinální strain; GWE – celková efektivita myokardiální práce (global work efficiency); GWI – index myokardiální práce (global work index); GWW – celková promarněná práce (global wasted work); IQR – mezikvartilové rozpětí; LK – levá komora; SD – směrodatná odchylka.

miku vývoje myokardiální práce v souvislosti s terapeutickými zásahy. Na rozdíl od samotné speckle-tracking echokardiografie zohledňuje také afterload zastoupený neinvazivně měřeným krevním tlakem.⁹

Hlavní nevýhodou této metody, zmíněnou už Russellem, je, že se nejedná o přímé měření myokardiální práce, ale pouze o odhad založený na výpočtu plochy křivky odvozené z empirické standardizované referenční křivky. Dalším problémem přispívajícím k nepřesnosti měření myokardiální práce je absence zakřivení a tloušťky stěny, případně jiných anatomických variací,

ve výpočtu.^{5,9,10} Podobně je nevýhodou i fakt, že metoda nezohledňuje absolutní změnu end-diastolického objemu komory, např. po intervenčním odstranění objemové zátěže. Hodí se tedy ke srovnání stavu před intervencí a po intervenci pouze tehdy, pokud nedošlo ke změně objemu komory.

Další limitací této metody je nezbytnost vysoké kvality echokardiografického vyšetření pro zachování přesnosti následného měření, jakož i možné ovlivnění výsledku manuálním výběrem oblasti zájmu pro speckle-tracking analýzu.¹⁸

Dosavadní studie

Popsaná nová metoda hodnocení myokardiální práce byla zatím využita k hodnocení srdeční funkce u řady získaných srdečních onemocnění u dospělých pacientů, kde se jevila jako užitečná a srovnatelná s jinými běžně užívanými metodami. Například studie autorů Jain a spol. z roku 2020 se zabývala hodnocením myokardiální práce u pacientů s těžkou aortální stenózou podstupujících katetrizační náhradu aortální chlopně. Tato studie se zaměřila také na problém s hodnocením tlaku v levé komoře u těchto pacientů, s navrhovaným řešením v podobě připočítání středního gradientu na aortální chlopně k neinvazivně naměřenému systolickému tlaku pro zvýšení přesnosti analýzy.⁴ Práce autorů Vecera a spol., publikovaná v roce 2016, se zaměřila na predikci odpovědi na resynchronizační terapii pomocí parametrů myokardiální práce.³ Boe a spol. se zase ve své studii zaměřili na využití analýzy k identifikaci pacientů s akutním koronárním okluzí při akutním koronárním syndromu bez elevací úseku ST.⁵

Samostatnou kapitolou je hodnocení myokardiální práce pravé komory, která má zcela odlišné vlastnosti než komora levá. Pravá komora má kupříkladu tenčí stěnu a nižší komorovou elastanci. Touto problematikou se zabývali například Butcher a spol. ve studii publikované v roce 2020, která si kladla za cíl prozkoumat vztah mezi neinvazivním odhadem myokardiální práce pravé komory a invazivními hodnotami získanými z pravostranné srdeční katetrizace. Ačkoliv studie zaznamenala nižší hodnoty celkové myokardiální práce, konstruktivní myokardiální práce i efektivity myokardiální práce pravé komory u pacientů se srdečním selháním, a naopak vyšší hodnoty promarněné práce pravé komory, byla to pouze globální konstruktivní práce pravé komory, která korelovala s invazivními měřeními.⁷

Myokardiální práce v dětské kardiologii

I v dětské kardiologii již našla tato nová neinvazivní metoda své uplatnění. Například Aly a spol. se ve své studii z roku 2021 zabývali využitím hodnocení myokardiální práce pomocí této metody u dětských pacientů s dilatační a hypertrofickou kardiomyopatií.¹⁹ Další studie kolektivu z Univerzity Johnse Hopkinse z roku 2022 srovnávala použitelnost neinvazivního hodnocení myokardiální práce v hodnocení funkce levé komory s konvenčními markery srdeční funkce u dětských pacientů s hypertenzí.²⁰ Studie autorů Borrelli a spol. prokázala signifikantně snížené parametry myokardiální práce u pacientů s Wolffovým–Parkinsonovým–Whiteovým (WPW) syndromem, a to i v případě normální ejekční frakce a globálního longitudinálního strainu levé komory. Dále také prokázala negativní korelaci délky trvání komplexu QRS s celkovou efektivitou myokardiální práce (myocardial work efficiency, MWE) a pozitivní korelaci s celkovou promarněnou prací (myocardial wasted work, MWW). Tato studie proto podpořila systematické použití myokardiální práce ve sledování dětských pacientů s WPW syndromem.²¹ Studie zaměřená na dětské pacienty po transplantaci srdce, publikovaná autory Pradhan a spol. v roce 2021, prokázala u těchto pacientů negativní korelaci mezi účinností myokar-

diální práce a přítomností koronární vaskulopatie, která se standardně diagnostikuje pomocí koronární angiografie.²² Studie autorů Sabatino a spol. se zaměřila na pacienty s Kawasakiho chorobou, u nichž prokázala snížení parametrů myokardiální práce (index myokardiální práce [myocardial work index, MWI], celková konstruktivní práce [myocardial constructive work, MCW] a MWE) navzdory normální ejekční frakci levé komory a normálnímu GLS, a považuje proto hodnotu myokardiální práce za senzitivnější indikátor myokardiální dysfunkce u pacientů s Kawasakiho chorobou se zachovanou ejekční frakcí a GLS levé komory.²³

Obecně věříme, že nová metoda neinvazivního stanovení myokardiální práce může v dětské kardiologii v budoucnu pomoci hodnotit efektivitu provedených intervencí u pacientů s vrozenou srdeční vadou a za pomoci kardiiovaskulárního modelování také predikovat efektivitu plánovaných intervencí, ještě před jejich uskutečněním.²⁴ Například u pacientů s asymptomatickou komorovou preexcitací by mohla pomoci při rozhodování o indikaci profylaktické ablace s ohledem na riziko rozvoje patologické remodelace levé komory. Potenciál má také výzkum v oblasti využití měření myokardiální práce v kvantifikaci míry dyssynchronie pravé komory.

Diskuse

Popsaná nová metoda neinvazivního stanovení myokardiální práce má potenciál zařadit se mezi další hojně používané neinvazivní metody hodnocení srdeční funkce pomocí echokardiografie. V budoucnu lze navíc očekávat další zjednodušení analýzy pomocí automatizace jednotlivých kroků. Nesmíme ale zapomínat na její výše zmíněné limitace. Problém vyvstává mimo jiné v souvislosti se situacemi, kdy dochází po provedené intervenci ke změně objemu komory, která při klasickém měření pomocí tlakově-objemové křivky logicky ovlivní velikost vypočtené myokardiální práce. Při použití strainu však není objem komory zohledněn a faktické snížení myokardiální práce např. po zmenšení objemu komory při zachování stejné míry deformace myokardu nebude zohledněno. V tomto směru by mohla pomoci indexace vypočtené práce pomocí echokardiograficky změřených objemů komor před intervencí a po intervenci. Data k takovému postupu však zatím chybějí.

Také nutno zmínit, že studie zabývající se hodnocením myokardiální práce se zaměřovaly doposud především na dospělé pacienty se získanými onemocněními srdce a v menší míře na pediatrickou populaci s vrozenými srdečními vadami. Bylo by proto vhodné rozšíření analýzy také na tuto skupinu pacientů.

Další specifickou situací je již zmíněné hodnocení myokardiální práce pravé komory. Jak již bylo uvedeno, vzhledem k rozdílům v geometrii pravé komory oproti komoře levé může být hodnocení myokardiální práce pravé komory nepřesné. Přestože již existují studie zabývající se touto problematikou (například uvedená práce Butchera a spol., kde je spolehlivost metody prokazována korelací s tepovým objemem), dostatečné důkazy o využitelnosti této metody pro hodnocení práce pravé komory zatím dostupné nejsou.⁷

Co se týče rozdílů v referenčních hodnotách u zmíněných dvou studií u dospělých pacientů, odlišnosti mohou mít hned několik příčin. Rozdíly mohou být vysvětleny např. odlišnostmi v metodologii (rozdílný software pro analýzu myokardiální práce, rozdíly mezi odhady načasování otevírání a uzavírání chlopní). Studie NORRE navíc aplikovala přísnější kritéria při definování zdravého subjektu. U jedinců zařazených do studie NORRE také byly zaznamenány celkově nižší hodnoty krevního tlaku (systolický tlak 116 ± 12 vs. $124 [116-131]$ mm Hg, diastolický tlak 73 ± 8 vs. $74 [69-79]$ mm Hg), což mohlo přispět k nižším hodnotám GWI a GCW pozorovaným ve studii NORRE. Rozdíly mohly být ovlivněny také dalšími faktory na straně pacientů (např. srdeční frekvence atd.).¹⁶

Závěr

Neinvazivní analýza myokardiální práce je nová metoda hodnocení srdeční funkce kombinující speckle-tracking echokardiografii a neinvazivní měření krevního tlaku. Výhodou této metody je především absence nutnosti invazivního vyšetření a zohlednění afterloadu. Nevýhodou je především vysoká náročnost z hlediska kvality vyšetření, možná interobservační ale i intraobservační variabilita výsledků, kterou by také bylo v budoucnu vhodné u této metody vyhodnotit. Další nevýhodou je chybějící zohlednění případné změny objemu při měření myokardiální práce před srdeční intervencí a po srdeční intervenci. Zajímavou se do budoucna jeví simulace myokardiální práce pomocí počítačového modelování v predikci efektu plánovaných intervencí. Nová metoda má proto potenciál zařadit se do běžně užívaného echokardiografického instrumentária a v budoucnu se stát nedílným nástrojem diagnostiky a eventuálně i predikce vývoje stavu myokardu u celé řady pacientů.

Prohlášení autorů o možném střetu zájmů

Autoři prohlašují, že nejsou ve střetu zájmů.

Financování

Výzkum zaměřený na myokardiální práci, v rámci něhož byl sepsán tento článek, je podporován prostředky z Institucionální podpory – Interní granty FNM: MZ ČR – RVO, FN v Motole 00064203.

Literatura

- Russell K, Eriksen M, Aaberge L, et al. A novel clinical method for quantification of regional left ventricular pressure – strain loop area: a non-invasive index of myocardial work. *Eur Heart J* 2012;33:724–733.
- Suga H. Ventricular energetics. *Physiol Rev* 1990;70:247–277.
- Vecera J, Penicka M, Eriksen M, et al. Wasted septal work in left ventricular dyssynchrony: a novel principle to predict response to cardiac resynchronization therapy. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2016;17:624–632.
- Jain R, Bajwa T, Roemer S, et al. Myocardial work assessment in severe aortic stenosis undergoing transcatheter aortic valve replacement. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2021;22:715–721.
- Boe E, Russell K, Eek C, et al. Non-invasive myocardial work index identifies acute coronary occlusion in patients with non-ST-segment elevation-acute coronary syndrome. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2015;16:1247–1255.
- Taconne M, Le Rolle V, Panis V, et al. How myocardial work could be relevant in patients with an aortic valve stenosis? *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2022;24:119–129.
- Butcher SC, Fortuni F, Montero-Cabezas JM, et al. Right ventricular myocardial work: proof-of-concept for non-invasive assessment of right ventricular function. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2021;22:142–152.
- Kittnar O. Lékařská fyziologie. 2., přepracované a doplněné vydání. Praha: Grada Publishing, 2020:752.
- Papadopoulos K, Özden Tok Ö, Mitrousi K, Ikonomidis I. Myocardial Work: Methodology and Clinical Applications. *Diagnostics* 2021;11:573.
- Russell K, Eriksen M, Aaberge L, et al. Assessment of wasted myocardial work: a novel method to quantify energy loss due to uncoordinated left ventricular contractions. *Am J Physiol Heart Circ* 2013;305:H996–H1003.
- Marwick TH. Measurement of Strain and Strain Rate by Echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 2006;47:1313–1327.
- Hutrya M, Skála T, Kamínek M, et al. Speckle tracking echokardiografie – nová ultrazvuková metoda hodnocení globální a regionální funkce myokardu. *Kardiolog Rev* 2008;2008:8–13.
- Bansal M, Kasliwal RR. How do I do it? Speckle-tracking echocardiography. *Indian Heart J* 2013;65:117–123.
- Smiseth OA, Donal E, Penicka M, Sletten OJ. How to measure left ventricular myocardial work by pressure–strain loops. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2021;22:259–261.
- Manganaro R, Marchetta S, Dulgheru R, et al. Echocardiographic reference ranges for normal non-invasive myocardial work indices: results from the EACVI NORRE study. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2019;20:582–590.
- Olsen FJ, Skaarup KG, Lassen MCH, et al. Normal Values for Myocardial Work Indices Derived From Pressure-Strain Loop Analyses: From the CCHS. *Circ Cardiovasc Imaging* 2022;15:e013712.
- Pham TTM, Truong VT, Vu PN, et al. Echocardiographic Reference Ranges of Non-invasive Myocardial Work Indices in Children. *Pediatr Cardiol* 2022;43:82–91.
- Roemer S, Jaglan A, Santos D, et al. The Utility of Myocardial Work in Clinical Practice. *J Am Soc Echocardiogr* 2021;34:807–818.
- Aly DM, Nguyen M, Auerbach S, et al. Pressure–Strain Loops, a Novel Non-invasive Approach for Assessment of Children with Cardiomyopathy. *Pediatr Cardiol* 2022;43:1704–1715.
- Zhan J, Van Den Eynde J, Ozdemir E, et al. Left ventricular myocardial work indices in pediatric hypertension: correlations with conventional echocardiographic assessment and subphenotyping. *Eur J Pediatr* 2022;181:2643–2654.
- Borrelli N, Di Salvo G, Ciriello GD, et al. Myocardial work in children with Wolff-Parkinson-White syndrome. *Int J Cardiovasc Imaging* 2023;39:1697–1705.
- Pradhan S, Mullikin A, Zang H, et al. Decreased Global Myocardial Work Efficiency Correlates with Coronary Vasculopathy in Pediatric Heart Transplant Patients. *Pediatr Cardiol* 2022;43:515–524.
- Sabatino J, Borrelli N, Fraise A, et al. Abnormal myocardial work in children with Kawasaki disease. *Sci Rep* 2021;11:7974.
- Walmsley J, Arts T, Derval N, et al. Fast Simulation of Mechanical Heterogeneity in the Electrically Asynchronous Heart Using the MultiPatch Module. *PLoS Comput Biol* 2015;11:e1004284.