

左心室压力-应变环评价缺铁性贫血患者左室收缩功能的研究

景 萌, 崔秀秀, 侯焯宁, 宋庆飞, 王小艳
(长治医学院附属和平医院超声医学科, 山西 长治 046000)

[摘要] 目的:应用无创性左室压力应变环技术(LV-PSL)定量评估缺铁性贫血(IDA)患者左室收缩功能的早期改变。方法:选取 2022 年 3 月—2023 年 2 月我医院确诊的 IDA 患者 62 例作为病例组,按照血红蛋白(Hb)浓度的高低分为两组:B 组 Hb>9 g/dL,C 组 Hb >6~9 g/dL。同期 33 例健康人作为对照 A 组。收集相关临床资料数据,对三组均进行超声心动图检查并采集常规超声参数,利用二维斑点追踪技术和 LV-PSL 分析得出左室整体纵向应变(GLS)、整体做功指数(GWI)、整体有用功(GCW)、整体无用功(GWW)、整体做功率(GWE)。比较三组间 GLS 及心肌做功参数的变化,分析心肌做功参数与 GLS 的相关性。结果:与 A 组比较,B 组 GWI、GCW 均减低(均 $P<0.01$)。与 A 组、B 组比较,C 组 GLS、GWI、GCW 和 GWE、E/A 均减低,GWW、LVEDV、LVESV、meanE/e' 均增加(均 $P<0.01$)。相关性分析结果显示,GLS 与 GWI、GCW、GWE 呈正相关关系($r=0.697$ 、 0.681 、 0.447 ,均 $P<0.01$),与 GWW 呈负相关关系($r=-0.411$,均 $P<0.01$)。结论:LV-PSL 可无创定量评估长期不同程度 IDA 患者早期左室收缩功能受损情况,且左室收缩功能随着贫血程度的加重逐步降低。

[关键词] 心室功能,左;贫血;超声心动描记术

[中图分类号] R556;R331.31;R540.45 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1008-1062(2024)05-0333-05

DOI:10.12117/jccmi.2024.05.007

Evaluation of left ventricular systolic function in patients with iron deficiency anemia by left ventricular pressure-strain loop

JING Meng, CUI Xiu-xiu, HOU Xuan-ning, SONG Qing-fei, WANG Xiao-yan

(Department of Ultrasound, Heping Hospital Affiliated to Changzhi Medical College, Changzhi Shanxi 046000, China)

Abstract: Objective: To apply non-invasive left ventricular pressure-strain loop (LV-PSL) to quantitatively assess early changes in left ventricular systolic function in patients with iron deficiency anemia (IDA). **Methods:** Sixty-two patients with IDA diagnosed at the Heping Hospital Affiliated to Changzhi Medical College from March 2022 to February 2023 were selected as the case group and divided into two groups according to the concentration of hemoglobin (Hb): group B with Hb>9 g/dL and group C with Hb>6~9 g/dL. In addition, 33 healthy individuals were used as control group A during the same period. Relevant clinical data were collected, echocardiography was performed and conventional ultrasound parameters were collected in all three groups, while global longitudinal strain(GLS), global work index(GWI), global constructive work(GCW), global waste work (GWW), global work efficiency (GWE) were obtained using 2D speckle tracking technique and LV-PSL analysis. The changes in GLS and myocardial work parameters were compared among the three groups, and the correlation between myocardial work parameters and GLS was analyzed. **Results:** Compared with group A, GWI and GCW were reduced in group B(both $P<0.01$). Compared with groups B and A, GLS, GWI, GCW and GWE, and E/A were all decreased, and GWW, LVEDV, LVESV, and meanE/e' were all increased in group C (all $P<0.01$). Correlation analysis showed that GLS was positively correlated with GWI, GCW and GWE ($r=0.697$, 0.681 , and 0.447 , all $P<0.01$), and negatively correlated with GWW ($r=-0.411$, all $P<0.01$). **Conclusion:** LV-PSL can provide noninvasive quantitative assessment of early impaired left ventricular systolic function in patients with varying degrees of long-term IDA, and left ventricular systolic function progressively decreases with increasing degrees of anemia.

Key words: Ventricular Function, Left; Anemia; Echocardiography

贫血是全球健康领域的一个重大问题,在 0~5 岁儿童和年轻育龄妇女中尤为常见^[1-2]。缺铁是大多数贫血的根本原因,目前全球约有 16 亿人受其影响,占 24.8%^[3],因此,缺铁性贫血(Iron deficiency

anemia,IDA)是全球最主要的贫血类型之一^[4]。由于 IDA 导致机体缺乏铁元素,导致血红蛋白合成减少,进而降低红细胞携带氧气的的能力,造成心脏肌肉组织缺氧,心血管系统对缺氧较为敏感。为了弥补其氧

[收稿日期] 2023-09-13;**[修回日期]** 2023-11-11

[作者简介] 景萌(1998-),女,山西临汾人,在读硕士研究生。E-mail:492827320@qq.com

[通信作者] 王小艳,长治医学院附属和平医院超声医学科,046000。E-mail:sxwxxyy@163.com

[基金项目] “四个一批”科技兴医创新计划项目(2022XM19)。

供应不足,心脏结构和血流动力学会做出相应改变。所以,IDA 对心脏产生的影响表现为心血管功能异常^[5]。长期高血流动力学改变,使大量血液射入主动脉,增加心脏后负荷,加重心肌纤维化,严重导致贫血性心肌病,若 IDA 仍得不到纠正,则病情继续加重,最终使左室收缩功能减低而进展为充血性心力衰竭。故及早诊断和治疗 IDA 引起的左室收缩功能损伤至关重要。无创性左室压力-应变环(Left ventricular pressure-strain loop, LV-PSL)是近年来出现的一种无创定量评估左心室心肌力学功能的新技术,与传统的左室射血分数(LVEF)及二维斑点追踪技术得到的整体纵向应变(GLS)相比更具有优势,它可以排除左心室压力影响,更客观、精确且敏感地检测左心室收缩功能的细微变化^[6]。它的可靠性已在健康人群及不同心血管疾病人群中得到证实,而在 IDA 中研究甚少^[7-9]。本研究旨在探讨应用无创 LV-PSL 技术定量评估长期不同程度 IDA 患者左心室收缩功能的早期变化。

1 资料与方法

1.1 研究对象

收集 2022 年 3 月—2023 年 2 月我院确诊的 62 例 IDA 患者(男女比例 1:4.2;年龄 25~76 岁;病程 1~20 年)。纳入标准:①血红蛋白(Hb):成年男性 Hb<13 g/dL,成年女性 Hb<12 g/dL;②红细胞平均体积(MCV)<80 fL、红细胞血红蛋白平均含量(MCH)<27 pg、MHC 浓度(MCHC)<32%;③具有缺铁性贫血的临床表现;④LVEF 均>50%;⑤贫血时间均>1 年。根据多学科专家共识《铁缺乏症和缺铁性贫血诊治和预防》(2022)中的诊断准则^[10],将 62 例患者分为两组:B 组轻度 IDA(30 例 Hb>9 g/dL;平均年龄(44.4±9.1)岁;病程 1~20 年),C 组中度 IDA(32 例>6~9 g/dL;平均年龄(44.8±8.1)岁;病程 1~15 年),所有受试者各项体格检查均正常。排除标准:既往有高血压,冠状动脉粥样硬化,心肌梗死,先天性心脏病,明显的心脏瓣膜病(瓣膜狭窄或大于轻度功能性反流);高脂血症、糖尿病、甲亢、肝硬化等代谢性疾病引起的心脏损伤;房颤、房扑等心律不齐的患者。同时将各项检查均正常的 33 例健康体检人(男女比例 1:2.3;平均年龄(43.9±15.2)岁)作为对照 A 组。所有研究对象均知情同意参与本研究,签署知情同意书,并协调配合各项检查。记录所有研究对象的一般临床资料:性别、年龄、IDA 病程、收缩压、舒张压、心率、身高、体质量,并计算体质量指数(BMI)、体表面积(BSA)。

1.2 仪器与方法

1.2.1 仪器

应用配备有 M5Sc-D 心脏探头的 GE Vivid E95 型彩色多普勒超声诊断仪进行完整的标准超声心动图采集。

1.2.2 图像采集

在平稳静息状态下所有研究对象均取左侧卧位,同时连接心电图,按照超声心动图标准规范化切面进行检查,待图像稳定显示后,动态采集并储存连续 3~5 个心动周期的心尖四腔、三腔和两腔图像;在胸骨旁左室长轴切面上测左室舒张末期前后径(LVDd)、左室收缩末期前后径(LVDs)、室间隔舒张末期厚度(IVSD)、左室后壁舒张末期厚度(LVPWD),使用多普勒超声在心尖四腔心切面上测量舒张早期二尖瓣血流速度(E)峰值、舒张晚期二尖瓣血流速度(A)峰值,以及舒张早期组织运动速度在左心室间隔和侧壁二尖瓣环速度,并计算 E/A 和平均 E/e'(meanE/e')。

1.2.3 图像分析

左室舒张末期容积(LVEDV)、左室收缩末期容积(LVESV)和左室射血分数(LVEF)通过改良双平面 Simpson 法测得。心肌做功参数采用 Echopac version 203(GE Vingmed 超声诊断仪 AS, Horten 公司,挪威)进行图像分析,依次选择心尖三切面图像进入自动功能成像(AFI)分析模式,软件可以自动跟踪,对跟踪不满意的地方,可以手动略微调整其跟踪点,系统即可自动提供左室 GLS,该值是 17 节段峰值应变的平均值,如果 2 个及以上节段被剔除,则 GLS 将无法估计。在无左心室流出道梗阻的情况下,根据平卧位安静状态下肱动脉无创测量的收缩压估算出左心室收缩压峰值,并在心尖三腔心切面上确定瓣膜事件时间:主动脉瓣闭合时间(AVC),主动脉瓣开合时间(AVO),二尖瓣开合时间(MVO)和二尖瓣闭合时间(MVC)。点选“Approve”,软件自动构建 LV-PSL 曲线及整体心肌做功指数(GWI)、整体有用功(GCW)、整体无用功(GWW)、整体做功效率(GWE)。

1.2.4 重复性检验

两名经验丰富的超声医师对 25 例研究对象的心肌做功参数进行重复性检验,评估观察者间差异。此外,同一观测者间隔 7 天重复测量评估观察者内差异。

1.3 统计学分析

使用 SPSS 26.0 软件进行数据分析。正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示。对比三组间差异采用单因素方差分析,组间两两比较方差齐时采用 LSD-t 法,方差不齐时则采用 Dunnett's-t 法。不符合正态

分布的计量资料以四分位数法表示，并采用 Kruskal-Wallis *H* 检验进行多组间比较，两两比较采用 Bonferroni 法进行校正。分类资料使用 χ^2 检验。自变量之间的相关性使用 Pearson 分析检验， $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般临床资料比较

三组间临床基本资料比较中性别、年龄、心率、收缩压、舒张压、BMI、BSA 均无统计学意义(均 $P > 0.05$)。

2.2 常规超声心动图参数比较

与 A 组及 B 组比较，C 组 LVEDV、LVESV、meanE/e' 均增加，E/A 减低，差异均具有统计学意义(均 $P < 0.01$)，而常规超声心动图参数在 A 组与 B 组比较中差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$)，三组间 LVEF 均无统计学意义(均 $P > 0.05$)，见表 1。

2.3 应变参数与心肌做功参数比较

与 A 组比较，B 组 GWI、GCW 减低，C 组 GLS、GWI、GCW、GWE 均明显减低、GWW 明显增加，差异具有统计学意义(均 $P < 0.01$)；B 组 GWW 有增加趋势，GLS、GWE 有减低趋势，但差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$)。

与 B 组比较，C 组 GLS、GWI、GCW、GWE 均减低、GWW 增加，差异具有统计学意义(均 $P < 0.01$)。见表 2，图 1~3。

2.4 心肌做功参数与 GLS 的相关性分析

GLS 与 GWI、GCW、GWE 呈正相关关系 ($r = 0.697, 0.681, 0.447$, 均 $P < 0.01$)，与 GWW 呈负相关关系 ($r = -0.411, P < 0.01$)。

2.5 重复性检验结果

左室 GLS 和 GWI、GCW、GWW、GWE 同一观察者组内相关系数 (ICC) 分别为 0.905、0.913、0.924、0.943、0.896，不同观察者组间 ICC 分别为 0.843、0.917、0.911、0.939、0.878，见表 3。

表 1 各 IDA 组与对照组常规超声心动图参数比较

	A 组(n=33)	B 组(n=30)	C 组(n=32)	H/F 值	P 值
LVDd(mm)	42.65±3.89	43.00±3.70	44.32±3.51	1.79	0.17
LVDs(mm)	27.85±2.70	27.92±3.36	28.02±2.20	0.32	0.97
IVSD(mm)	8.82±0.88	8.85±1.11	9.11±0.98	0.79	0.46
LVPWD(mm)	8.23±1.18	8.35±1.10	8.86±1.17	2.60	0.80
LVEDV (mL)	91.85±14.30	92.03±11.74	112.61±22.48 ^{1,2}	15.73	<0.001
LVESV (mL)	33.85±6.58	34.00±6.15	43.97±10.30 ^{1,2}	16.85	<0.001
LVEF (%)	63.09±4.74	62.90±5.06	61.03±4.10	1.88	0.16
E/A	1.30±0.39	1.21±0.41	0.86±0.21 ^{1,2}	14.20	<0.001
meanE/e'	8.32(6.94, 9.12)	8.49(6.99, 9.72)	9.88(8.48, 12.00) ^{1,2}	13.03	<0.001

注：1：与对照组比较， $P < 0.05$ ；2：与病例 B 组比较， $P < 0.05$ 。

表 2 各 IDA 组与对照组心肌做功参数比较

	A 组(n=33)	B 组(n=30)	C 组(n=32)	F 值	P 值
GLS (%)	-20.48±1.58	-19.60±2.24	-17.47±1.88 ^{1,2}	21.28	<0.001
GWI (mmHg%)	1 890.03±174.77	1 752.80±220.99 ¹	1 554.25±237.48 ^{1,2}	20.52	<0.001
GCW (mmHg%)	2 246.15±163.31	2 136.00±170.28 ¹	1 964.00±261.51 ^{1,2}	15.24	<0.001
GWW (mmHg%)	96.88±42.41	118.03±48.24	155.94±64.61 ^{1,2}	10.48	<0.001
GWE (%)	94.91±1.76	94.43±1.87	92.53±2.85 ^{1,2}	10.36	<0.001

注：1：与对照组比较， $P < 0.05$ ；2：与病例 B 组比较， $P < 0.05$ 。

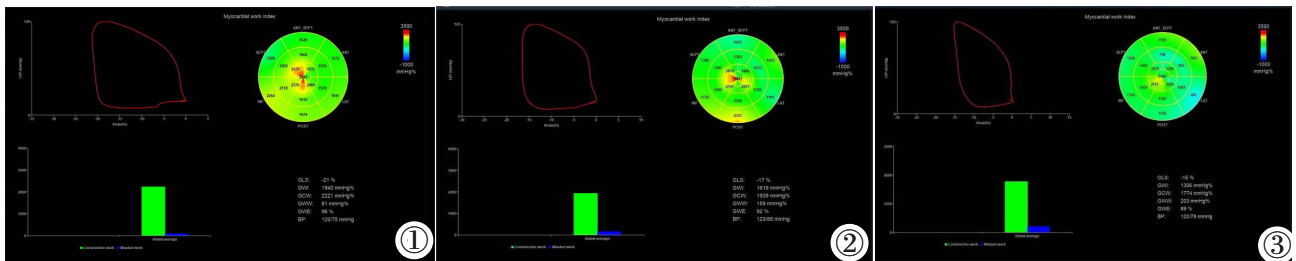


图 1 对照组 LV-PSL 分析图(GWI 1 940 mmHg%, GCW 2 221 mmHg%, GWW 81 mmHg%, GWE 96%)。图 2 轻度贫血组 LV-PSL 分析图(GWI 1 619 mmHg%, GCW 1 939 mmHg%, GWW 159 mmHg%, GWE 92%)。图 3 中度贫血组 LV-PSL 分析图(GWI 1 306 mmHg%, GCW 1 774 mmHg%, GWW 203 mmHg%, GWE 89%)。

Figure 1. LV-PSL analysis of the control group (GWI 1 940 mmHg%, GCW 2 221 mmHg%, GWW 81 mmHg%, GWE 96%). Figure 2. LV-PSL analysis graph for mild anemia group (GWI 1 619 mmHg%, GCW 1 939 mmHg%, GWW 159 mmHg%, GWE 92%). Figure 3. LV-PSL analysis graph for moderate anemia group (GWI 1 306 mmHg%, GCW 1 774 mmHg%, GWW 203 mmHg%, GWE 89%).

表 3 GLS 及左室心肌做功各项参数的重复性检验

	观察者组内		观察者组间	
	<i>r</i>	95%CI	<i>r</i>	95%CI
GLS	0.905	0.783~0.958	0.843	0.645~0.931
GWI	0.913	0.802~0.962	0.917	0.811~0.963
GCW	0.924	0.827~0.966	0.911	0.797~0.961
GWV	0.943	0.872~0.975	0.939	0.861~0.973
GWE	0.896	0.764~0.954	0.878	0.723~0.946

3 讨论

3.1 IDA 的心脏损害

IDA 在日常临床实践中十分常见,临床症状主要有乏力、活动后气短、心悸及心绞痛等,这些症状一开始都较为轻微,因此患者往往不会注意到。随着缺铁和贫血程度的加重,这些症状也会逐渐加重。多项观察性研究显示,在一般人群中,缺铁和贫血被视为心血管疾病(CVD)的独立危险因素,会导致更高的发病率和死亡率。此外,IDA 是心力衰竭患者中容易被忽视的并发症^[11-13]。故早期评估 IDA 患者的心脏变化趋势有助于指导临床治疗和预防心血管事件。

3.2 心肌功能评估

超声心动图对于定量和早期检测各种心血管疾病的左心室结构异常至关重要。临床中主要通过 LVEF 评估左心室收缩功能,但 LVEF 受到前负荷、后负荷和心率的影响,以及心肌边缘运动和代偿功能的影响,使得该参数在疾病早期并不敏感^[14],二维斑点追踪技术近年来快速发展。相较于 LVEF 不受声束和室壁运动方向之间夹角的影响,能够更早检测出各种疾病导致的亚临床心肌功能障碍^[15-16]。然而,该技术仍然是一种负荷依赖性的左心室功能指标,无法客观准确反映心肌代谢需求和耗氧量,存在一定不足。由 LV-PSL 导出的心肌做功(MW)指数组合了左室应变和压力,排除后负荷影响,较单独应变值更全面地了解左心室心肌收缩功能,进而增加对心脏力学和疾病状态病理生理的理解^[17]。Russell 等^[18]研究显示无创 LV-PSL 测量心肌做功值与有创测量值及心肌葡萄糖代谢均具有良好相关性。

3.3 3 组常规超声心动图及 GLS 的评价

本研究显示,与 A 组、B 组比较,C 组 LVEDV、LVEDS、meanE/e' 均增加,E/A 均减低(均 $P<0.05$),说明在长期中度贫血的作用下左心室结构重塑及舒张功能下降。三组间 LVEF 无明显差异,且均 $>60\%$,而 C 组与 A 组及 B 组比较 GLS 降低,差异有统计学意义(均 $P<0.01$)。与 Zhou 等^[19]研究结果相同,说明中度 IDA 患者在 LVEF 保持正常时,心肌收缩功能就已存在一定损害。可能的原因是 GLS 主要受以

冠状动脉末端小血管供血为主的心内膜纵向心肌纤维支配,更易受缺血缺氧的影响,在反映左心室纵向收缩功能方面较敏感。另外 IDA 使心脏长期处于高心排血量的状态,左心室前、后负荷增加,导致心肌收缩功能逐渐减弱,GLS 下降。

3.4 LV-PSL 对 IDA 患者左心室收缩功能评价

GWV 代表左室射血期间 PSL 区域下的面积,是反映心肌耗氧量的一个新指数。GCW 表示对左心室射血所做的有效功,是左心室心肌主动收缩的标志。本研究心肌做功参数结果显示 IDA 患者 GWI、GCW 均较对照组减低,差异具有统计学意义,提示 IDA 患者存在亚临床左心室收缩功能障碍。此外,在 GLS 未改变的 B 组轻度 IDA 中 GWI、GCW 就已发生减低,更加说明 GWI、GCW 比 GLS 及 LVEF 等评估心肌收缩功能更为敏感。可能的原因是早期铁缺乏会导致心肌细胞胶原合成减少引起压力-容积关系的改变,心肌的弹性降低^[20]。Eliolu 等^[21]研究也发现无论是否贫血,低铁蛋白水平的年轻女性早期可表现出左心室收缩功能减低。再者低血红蛋白水平使机体处于缺氧状态,氧在心肌细胞线粒体的利用效率降低,无氧代谢增加,乳酸生成增加,细胞内酸碱平衡失调,导致细胞肿胀、细微结构发生变化,逐渐失去正常收缩能力而造成心脏整体功能下降。与此同时 C 组较 B 组 GWI、GCW 进一步减低,表明随着贫血程度的加重,患者的心肌收缩功能进一步减低。GWV 表示对左心室射血所做的无效功,是左心室心肌做功能量损失的标志。GWE 表示左心室心肌做功效率,即 $GCW/(GCW+GWV)$ 。本研究显示 C 组与 A 组及 B 组比较,GWV 升高,GWE 降低,差异具有统计学意义。说明由于缺血缺氧的进一步加重,中度 IDA 患者左心室整体心肌做功效率减低,无用功增加。Schneider 等^[22]研究表明贫血是心肌缺血的危险因素,严重的 IDA 会导致冠状动脉系统血供不足以及加快冠状动脉粥样硬化,从而诱发心绞痛、胸闷等症状,导致心肌损伤,影响心肌组织的形变和协调性,致使左心室收缩同步性降低,心脏在大量射血过程中损耗的能量增多。Hiemstra 等^[23]研究发现 GWV 对心肌非同步化运动更为敏感。对于 C 组患者,GWV 的升高可能预示着中度 IDA 患者心肌收缩不同步的变化。本研究还进行了 GLS 与心肌做功参数的相关性分析,结果显示 GLS 与 GWI、GCW、GWE 呈正相关关系($r=0.697, 0.681, 0.447$, 均 $P<0.01$),与 GWV 呈负相关关系($r=-0.411, P<0.01$),说明心肌做功参数在评估左室收缩功能方面与 GLS 具有较高的一致性,与以往的研究报道相符^[24]。此外本研究显示 GWI、GCW、GWV、GWE 在观察者组内和观察

者组间 ICC 均 >0.8 , 表明 LV-PSL 重复性和可信度均良好。

3.5 局限性

本研究存在一定局限性: ①本研究入组病例数相对较少, 后期有待扩大样本数量进一步研究, 细化病程分组明确研究结果; ②IDA 由于大部分患者群体为年轻女性, 我们得到的结果可能无法推广到所有年龄段和男性个体; ③LV-PSL 测得的参数是基于二维层面得到的, 而心肌运动是由三维层面的多向心肌纤维构成的运动, 具有一定的空间局限性。

综上所述, 无创 LV-PSL 可早期发现 LVEF 保留的不同程度长期 IDA 患者心肌做功改变, 相比 LVEF 和 GLS 技术, 它更为敏感、准确且重复性良好, 为早期诊断和疗效评估提供了一种新的更全面的影像学技术。

[参考文献]

- [1]Safiri S, Kolahi AA, Noori M, et al. Burden of anemia and its underlying causes in 204 countries and territories, 1990–2019: results from the Global Burden of Disease Study 2019 [J]. *J Hematol Oncol*, 2021, 14(1): 185.
- [2]Kumar SB, Arnipalli SR, Mehta P, et al. Iron deficiency anemia: efficacy and limitations of nutritional and comprehensive mitigation strategies[J]. *Nutrients*, 2022, 14(14): 2976.
- [3]McLean E, Cogswell M, Egli I, et al. Worldwide prevalence of anemia, WHO Vitamin and Mineral Nutrition Information System, 1993–2005[J]. *Public Health Nutr*, 2009, 12(4): 444–454.
- [4]Myles PS, Richards T, Klein A, et al. Rationale and design of the intravenous iron for treatment of anemia before cardiac surgery trial[J]. *Am Heart J*, 2021, 239: 64–72.
- [5]Dereli S, Bayramolu A, Zer N, et al. Evaluation of left atrial volume and function by real time three-dimensional echocardiography in anemic patients without overt heart disease before and after anemia correction [J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2019, 35(9): 1619–1626.
- [6]Cui C, Li Y, Liu Y, et al. Association between echocardiographic non-invasive myocardial work indices and myocardial fibrosis in patients with dilated cardiomyopathy [J]. *Front Cardiovasc Med*, 2021, 8: 704251.
- [7]胡萍, 解翔, 伍婷婷, 等. 左室压力-应变环评价和预测 EF 减低急性心肌梗死患者左室收缩功能变化 [J]. *中国超声医学杂志*, 2022, 38(3): 354–357.
- [8]Luo X, Ge Q, Su J, et al. Normal ranges of non-invasive left ventricular myocardial work indices in healthy young people[J]. *Front Pediatr*, 2022, 10: 1000556.
- [9]王岩, 鲁洪涛, 尹璐瑶, 等. 超声心肌做功技术对左前降支狭窄患者左室收缩功能的诊断价值[J]. *中国医学影像学杂志*, 2023, 31(4): 349–355.
- [10]中华医学会血液学分会红细胞疾病(贫血)学组. 铁缺乏症和缺铁性贫血诊治和预防的多学科专家共识(2022年版)[J]. *中华医学杂志*, 2018, 98(28): 2233.
- [11]Paolillo S, Scardovi AB, Campodonico J, et al. Role of comorbidities in heart failure prognosis Part I: Anemia, iron deficiency, diabetes, atrial fibrillation [J]. *Eur J Prev Cardiol*, 2020, 27(2_suppl): 27–34.
- [12]Siddiqui SW, Ashok T, Patni N, et al. Anemia and heart failure: A narrative review[J]. *Cureus*, 2022, 14(7): e27167.
- [13]Manceau H, Ausseil J, Masson D, et al. Neglected comorbidity of chronic heart failure: Iron deficiency [J]. *Nutrients*, 2022, 14(15): 3214.
- [14]Halliday BP, Senior R, Pennell DJ, et al. Assessing left ventricular systolic function: from ejection fraction to strain analysis[J]. *Eur Heart J*, 2021, 42(7): 789–797.
- [15]曹思奇, 龚敏, 王艳丽, 等. 应用二维斑点追踪技术评估慢性中重度主动脉瓣反流患者主动脉窦部的纵向应变 [J]. *中国临床医学影像杂志*, 2023, 34(5): 340–343; 348.
- [16]Li W, Li Z, Liu W, et al. Two-dimensional speckle tracking echocardiography in assessing the subclinical myocardial dysfunction in patients with gestational diabetes mellitus [J]. *Cardiovasc Ultrasound*, 2022, 20(1): 21.
- [17]He W, Li J, Zhang P, et al. Non-invasive left ventricular myocardial work identifies subclinical myocardial involvement in patients with systemic lupus erythematosus [J]. *Int J Cardiol*, 2023, 381: 145–152.
- [18]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[J]. *Eur Heart J*, 2012, 33(6): 724–733.
- [19]Zhou Q, Shen J, Liu Y, et al. Assessment of left ventricular systolic function in patients with iron deficiency anemia by three-dimensional speckle-tracking echocardiography[J]. *Anatol J Cardiol*, 2017, 18(3): 194–199.
- [20]Chvapil M, Hurych J, Ehrlichova E, et al. The effect of iron deficiency on the synthesis of collagenous and non-collagenous proteins in wound granulation tissue and in the heart of rats[J]. *Exp Med Surg*, 1968, 26(1–2): 52–60.
- [21]Eliolu BC, Baydar O, Kilic A, et al. Effects of iron deficiency on left ventricular functions in young women regardless of anemia: A speckle tracking echocardiography study [J]. *Turk J Med Sci*, 2022, 52(3): 754–761.
- [22]Schneider AL, Jonassaint C, Sharrett AR, et al. Hemoglobin, anemia, and cognitive function: the atherosclerosis risk in communities study [J]. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 2016, 71(6): 772–779.
- [23]Hiemstra YL, vander Bijl P, El Mahdoui M, et al. Myocardial work in nonobstructive hypertrophic cardiomyopathy: implications for outcome [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2020, 33(10): 1201–1208.
- [24]张鹏英, 薛婷, 陈允安, 等. 无创左室压力-应变环定量评估经皮冠状动脉介入治疗患者心肌做功情况 [J]. *临床超声医学杂志*, 2021, 23(5): 337–341.