

二维斑点追踪技术对正常成人主动脉根部生物力学的评估价值

裴勇凯 吴娟 王艳丽 龚敏 冀加美 武俊

摘要 **目的** 应用二维斑点追踪技术评估正常成人主动脉根部运动力学的特征。**方法** 将 208 例健康志愿者按年龄分为:20~30 岁组(53 例)、>30~40 岁组(54 例)、>40~50 岁组(49 例)、>50 岁组(52 例)。分析其主动脉窦及升主动脉管壁的纵向应变(LS)及应变率(LSR)曲线特点,比较各组 LS、LSR 的差异,分析其与年龄、左室整体纵向应变(LVGLS)、每搏量指数(SVI)及血压(收缩压、舒张压、脉压)的相关性。**结果** 正常成人主动脉窦瓣环侧与窦管交界侧 LS、LSR 曲线图不同。各组主动脉窦整体 LS 和升主动脉整体 LS 比较差异均有统计学意义(均 $P < 0.001$),其中 20~30 岁组与 >30~40 岁组、>40~50 岁组、>50 岁组比较差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$),>30~40 岁组与 >40~50 岁组、>50 岁组比较差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$);>40~50 岁组与 >50 岁组主动脉窦部 LS 比较差异有统计学意义($P < 0.001$)。主动脉窦整体 LS 及升主动脉整体 LS 均随着年龄的增加而降低,且均与年龄呈负相关($r = -0.614, -0.507$, 均 $P < 0.001$),与 LVGLS 呈正相关($r = 0.487, 0.313$, 均 $P < 0.001$),与 SVI 呈正相关($r = 0.321, 0.336$, 均 $P < 0.001$)。正常成人主动脉窦 LS 及 LSR 与血压之间无相关性。主动脉窦瓣环侧及窦管交界侧收缩期 LSR 均与 LVGLS 呈正相关($r = 0.512, 0.541$, 均 $P < 0.001$),与 SVI 无相关性。**结论** 正常成人主动脉根部 LS 和 LSR 曲线波形具有节段性特征。主动脉窦部 LS 随着年龄的增加而降低,且与 SVI 及 LVGLS 呈正相关。主动脉窦部 LS 及收缩期 LSR 体现了左室-主动脉耦联关系。

关键词 斑点追踪,二维;主动脉根部;纵向应变;正常成人

[中图分类号]R540.45;R318.01

[文献标识码]A

Evaluation value of biomechanics of aortic root in normal adults by two-dimensional speckle tracking technique

PEI Yongkai, WU Juan, WANG Yanli, GONG Min, JI Jiamei, WU Jun

Department of Echocardiography, the Second Affiliated Hospital of Dalian Medical University, Liaoning 116027, China

ABSTRACT **Objective** To evaluate the biomechanics of aorta root in normal adults by two-dimensional speckle tracing.**Methods** A total of 208 healthy volunteers were divided into 4 groups by age: 20~30 years old group ($n=53$), >30~40 years old group ($n=54$), >40~50 years old group ($n=49$) and >50 years old group ($n=52$). The longitudinal strain (LS) and LS rate (LSR) curve characteristics of aortic sinus and ascending aorta wall were analyzed. The differences of LS and LSR of each group were compared. The correlation between LS, LSR and age, left ventricular global LS (LVGLS), stroke volume index (SVI), blood pressure (systolic, diastolic and pulse pressure) were analyzed.**Results** The LS, LSR curves of the annular side of the aortic sinus valve and the junction side of the sinus canal were different in normal adults. There were statistically significant differences in the overall LS of the aortic sinus and the overall LS of the ascending aorta among all group (all $P < 0.001$). There were statistically significant differences between 20~30 years old group and >30~40 years old group, >40~50 years old group and >50 years old group (all $P < 0.05$). There were statistically significant differences between >30~40 years old group and >40~50 years old group, >50 years old group (both $P < 0.05$). There were statistically significant differences between >40~50 years old group and >50 years old group ($P < 0.001$). The overall LS of the aortic sinus and the ascending aorta were decreased with the age increased, and negatively correlated with age ($r = -0.614, -0.507$, both $P < 0.001$), positively correlated with LVGLS ($r = 0.487$,

基金项目:辽宁省自然科学基金面上项目(2019-MS-093)

作者单位:116027 辽宁省大连市,大连医科大学附属第二医院心血管超声科

通讯作者:武俊,Email:wujun108@sina.com

0.313, both $P < 0.001$), and positively correlated with SVI ($r = 0.321, 0.336$, both $P < 0.001$). There were no significant correlation between LS, LSR and blood pressure in normal adult aortic sinus. The peak value of systolic LSR in the annulus side of the aortic sinus valve and the junction side of the sinus canal were positively correlated with LVGLS ($r = 0.512, 0.541$, both $P < 0.001$), but not correlated with SVI. **Conclusion** The LS and LSR curves of normal adult aortic root showed segmentary characteristics. The LS in aortic sinus is decreased with age increased, and positively correlated with SVI and LVGLS. Aortic sinus LS and systolic LSR reflect the left ventricle-aorta coupling relationship.

KEY WORDS Speckle tracking; two-dimensional; Aortic root; Longitudinal strain; Normal adult

主动脉根部包括主动脉瓣环、主动脉窦和主动脉瓣叶^[1]。主动脉根部具有强大的生物力学功能,每年可有效地承载超过 3000 万次的心脏容量循环^[2],承受着巨大的压力和应力。在这样的血流动力学基础上,主动脉壁胶原纤维的疲劳和断裂会引起主动脉根部不同程度的变性与硬化,严重时将导致主动脉疾病的发生,危及患者生命。近年来,主动脉疾病的发病率及死亡率逐步升高,严重威胁着人类的生活质量及健康。许多累及主动脉根部的外科手术及微创治疗均取缔了主动脉窦部,改变了人工主动脉瓣膜周围的血流动力学,与人工瓣膜的衰败密切相关^[3]。因此,研究正常成人主动脉根部与左室的耦联作用对探究病理状态下主动脉根部疾病的发生与转归、主动脉根部手术方式的改良及人工瓣膜的设计具有重要意义。目前,有多种影像学手段可以对主动脉根部进行生物力学评估,其中二维斑点追踪(2D-STE)技术可以对心肌运动和形变变量进行计算,且无角度依赖性,目前已逐渐用于血管壁应变评估。本研究应用 2D-STE 评估正常成人主动脉根部的纵向应变(LS)、纵向应变率(LSR)及其曲线的波形特征,分析其与年龄、每搏量、血压(收缩压、舒张压、脉压)和左室功能的相关性。

资料与方法

一、研究对象

收集 2019 年 3 月至 2020 年 11 月在我院体检的健康志愿者 208 例,其中男 109 例,女 99 例,平均(41.2±12.7)岁。按年龄分为 20~30 岁组(53 例)、>30~40 岁组(54 例)、>40~50 岁组(49 例)、>50 岁组(52 例)。排除标准:①现在或既往接受心脏药物治疗;②有心血管危险因素;③缺血性心肌病或心脏瓣膜病、脑血管或外周血管疾病、心律失常、慢性肺疾病;④超声图像质量不佳者。本研究经我院医学伦理委员会批准,所有研究对象均签署知情同意书。

二、仪器与方法

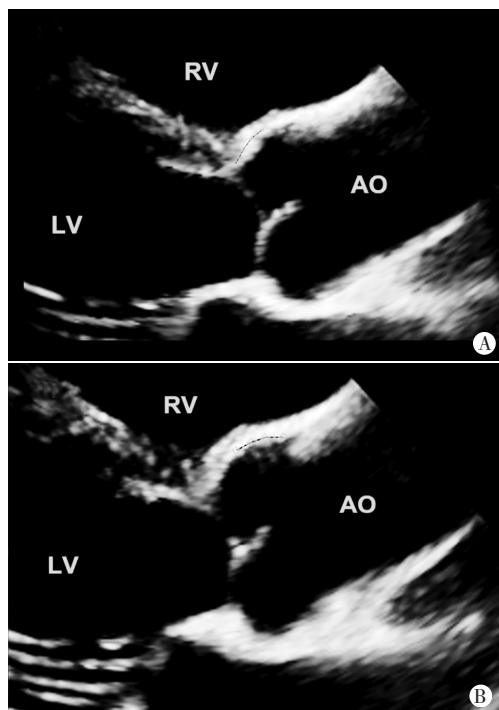
1. 超声检查:使用 Philips EPIQ 7C 彩色多普勒超声诊断仪, X5-1 探头,频率 1~5 MHz。受检者取左侧卧位,并连接同步心电图。分别于胸骨旁左室长轴切面,以及心尖两腔、三腔和四腔切面采集超声图像;于胸骨旁左室长轴切面测量主动脉窦各径线,于舒张末期测量主动脉窦最大高度、收缩末期测量主动脉窦最小高度。应用双平面 Simpson 法测定左室射血分数(LVEF)和每搏量(SV),计算每搏量指数(SVI)。以上操作均由同一超声医师完成。

2. 图像分析:使用 QLAB 10.5 脱机分析软件,分别于心尖两腔、三腔及四腔切面测量左室整体纵向应变(LVGLS)。由于主动脉窦部的非线性特点,为了使其 LS 测量更为精确,首次将主动脉窦部分为 4 节段进行测量:即主动脉窦部前壁瓣环侧(从主动脉前壁瓣环处到主动脉前壁窦部顶点)、主动脉窦部前壁窦管交界侧(从主动脉前壁窦部顶点到主动脉前壁窦管交界处)、主动脉窦部后壁瓣环侧(从主动脉后壁瓣环处到主动脉后壁窦部顶点)、主动脉窦部后壁窦管交界侧(从主动脉后壁窦部顶点到主动脉后壁窦管交界处)。对主动脉窦部各分段进行手动描记,将取样点放在主动脉壁的内膜面并手动进行调整,以确保感兴趣区(ROI)正确跟踪管壁,见图 1。系统自动分析生成相应节段 LS 及 LSR 曲线,测定主动脉窦 4 个节段的 LS。所有数据均重复测量 3 次取其均值。

3. 重复性检测:每组随机选择 10 例参与者,由同一观察者在初始测量 14 d 后重复测量进行观察者内重复性检验;另选一对先前测量结果不知情的观察者进行再次测量,进行观察者间重复性检验。

三、统计学处理

应用 SPSS 24.0 统计软件,计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,组间比较采用单因素方差分析;计数资料以例或率表示,组间比较行 χ^2 检验。LVGLS、SVI、血压与收缩期 LSR 值的相关性分析采用 Pearson 相关分析法。LS 和 LSR 的观察者间和观察者内重复性检验采用 Bland-Altman 法。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。



A:用户自定义的ROI线性轮廓追踪主动脉瓣前壁瓣环侧;B:用户自定义的ROI线性轮廓追踪主动脉瓣前壁窦管交界侧
图1 选择用户自定义的ROI线性轮廓追踪主动脉壁。LV:左室;RV:右室;AO:主动脉

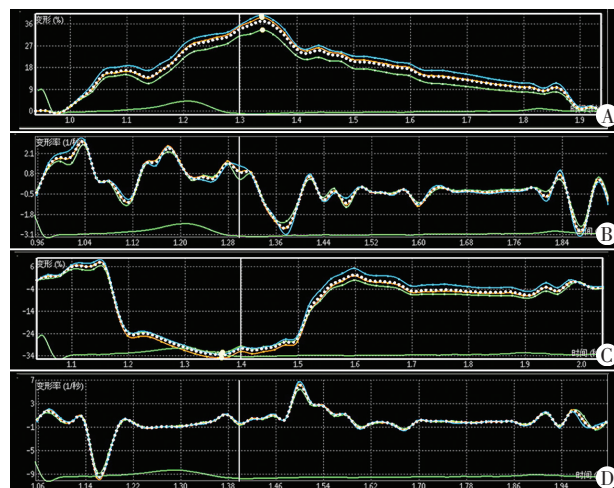
结 果

一、正常成人主动脉窦部LS及LSR曲线特征

1. 主动脉窦瓣环侧前、后壁的LS曲线趋势相似(图2A),曲线位于基线上方,LS峰值为正值。等容收缩期和快速射血期表现为急剧上升,随后出现相对缓慢的上升分支,直到等容舒张期结束时出现峰值;在快速充盈期波形呈下降趋势,在减慢充盈期波形呈缓慢下降趋势。此外,在心房收缩期可见一个小峰值的切迹。其对应的LSR图见图2B。

2. 主动脉窦窦管交界侧前、后壁的LS曲线趋势相似(图2C),曲线基本位于基线下方,LS峰值为负值。等容收缩期和快速射血期波形均呈短暂上升趋势,随后于减慢收缩期迅速下降,直至主动脉瓣关闭前达最低点。在舒张早期再次上升,之后缓慢下降。此外,

在心房收缩期也有一个小切迹。其对应的LSR图见图2D。



A、B:主动脉窦瓣环侧前壁LS、LSR曲线图;C、D:主动脉窦管交界侧前壁LS、LSR曲线图

图2 20~30岁组主动脉窦局部LS和LSR曲线图

二、各组一般资料比较

各组性别、体表面积及血压比较差异均无统计学意义;仅年龄比较差异有统计学意义($P<0.001$)。见表1。

三、各组常规超声参数及主动脉根部LS、LSR比较

正常成人各组间主动脉窦整体LS和升主动脉整体LS比较差异均有统计学意义(均 $P<0.001$),其中20~30岁组与>30~40岁组、>40~50岁组、>50岁组比较差异均有统计学意义(均 $P<0.05$),>30~40岁组与>40~50岁组、>50岁组比较差异均有统计学意义(均 $P<0.05$),>40~50岁组与>50岁组比较差异有统计学意义(均 $P<0.001$);各组收缩期、舒张期LSR比较均无统计学意义(均 $P<0.001$)。见表2。

四、相关性分析

主动脉窦部整体LS、升主动脉整体LS均与年龄呈负相关($r=-0.614$ 、 -0.507 ,均 $P<0.001$),与LVGLS呈正相关($r=0.487$ 、 0.313 ,均 $P<0.001$),与SVI呈正相关($r=0.321$ 、 0.336 ,均 $P<0.001$)。主动脉窦部LS及

表1 各组一般资料比较

组别	年龄(岁)	男/女(例)	体表面积(m ²)	收缩压(mm Hg)	舒张压(mm Hg)	脉压(mm Hg)
20~30岁组(53)	24.53±2.31	29/24	1.77±0.21	122.85±5.38	81.50±3.82	42.34±6.61
>30~40岁组(54)	35.52±2.83	28/26	1.81±0.18	122.32±4.96	81.40±4.54	42.37±5.77
>40~50岁组(49)	45.00±2.69	25/24	1.82±0.20	122.96±7.49	79.17±6.33	43.02±6.30
>50岁组(52)	56.60±4.85	27/25	1.76±0.15	120.88±9.53	78.82±6.90	42.85±6.35
P值	<0.001	0.983	0.451	0.642	0.120	0.928

1 mm Hg=0.133 kPa

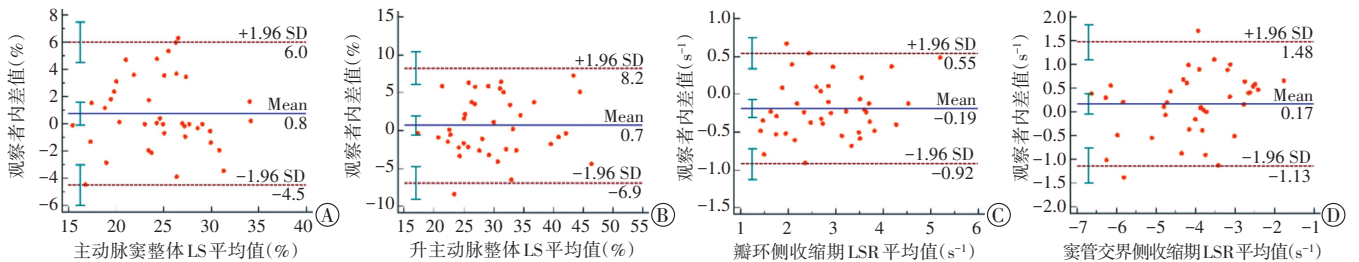
LSR均与血压(收缩压、舒张压、脉压)无相关性。主动脉窦、窦管交界侧收缩期LSR峰值均与LVGLS呈正相关($r=0.512、0.541$,均 $P<0.001$),与SVI无相关性。

五、重复性分析
主动脉根部LS和LSR在观察者内和观察者间重复性均较好,见图3,4。

表2 各组常规超声参数及主动脉根部LS、LSR比较($\bar{x}\pm s$)

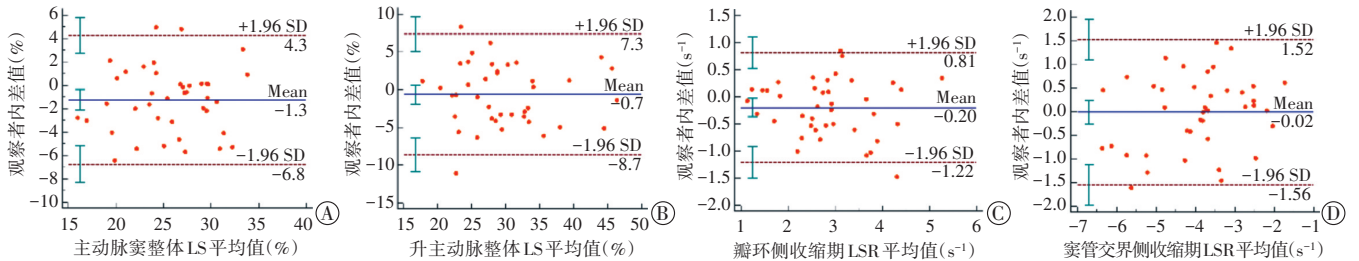
组别	LVEF (%)	LVGLS (%)	SVI (ml/m ²)	LS(%)		主动脉窦 LSR(s ⁻¹)			
				主动脉窦整体	升主动脉整体	瓣环侧收缩期	瓣环侧舒张期	窦管交界侧收缩期	窦管交界侧舒张期
20~30岁组	62.2±3.39	21.5±2.06*	39.1±1.55	27.19±2.37**&	32.85±8.34*&	2.87±0.72	-2.30±0.49	-4.50±0.85	4.42±1.57
>30~40岁组	61.8±2.19	21.4±1.89	39.0±1.71	25.50±2.77*&	31.18±5.77*&	2.68±0.73	-2.08±0.44	-4.06±1.05	4.39±1.19
>40~50岁组	61.4±2.09	20.7±1.41	38.8±1.40	24.06±2.77&	25.16±4.84	2.62±0.77	-2.17±0.58	-4.12±0.67	4.03±1.27
>50岁组	60.9±3.25	20.5±1.77	39.0±1.21	21.35±3.07	24.13±5.15	2.60±0.70	-2.12±0.45	-4.01±0.82	3.93±1.40
P值	0.315	0.102	0.909	<0.001	<0.001	0.406	0.247	0.069	0.379

与>30~40岁组比较,* $P<0.05$;与>40~50岁组比较,** $P<0.05$;与>50岁组比较,& $P<0.05$ 。LVEF:左室射血分数;LVGLS:左室整体纵向应变;SVI:每搏量指数;LS:纵向应变;LSR:纵向应变率



A: 主动脉窦整体LS观察者内重复性Bland-Altman图; B: 升主动脉整体LS观察者内重复性Bland-Altman图; C: 瓣环侧收缩期LSR观察者内重复性Bland-Altman图; D: 窦管交界侧收缩期LSR观察者内重复性Bland-Altman图

图3 主动脉根部LS和LSR在观察者内重复性Bland-Altman图



A: 主动脉窦整体LS观察者间重复性Bland-Altman图; B: 升主动脉整体LS观察者间重复性Bland-Altman图; C: 瓣环侧收缩期LSR观察者间重复性Bland-Altman图; D: 窦管交界侧收缩期LSR观察者间重复性Bland-Altman图

图4 主动脉根部LS和LSR在观察者间重复性Bland-Altman图

讨 论

主动脉壁由内膜、中膜、外膜三层结构组成,其主要特征及功能性结构是中膜层。中膜层的生物力学功能主要取决于胶原蛋白和弹性蛋白的数量。随着年龄的增长,主动脉中层发生变性导致主动脉进行性硬化^[4],使主动脉LS减小。本研究发现正常成人随着年龄的增长,管壁LS逐步减小,主动脉窦、升主动脉管壁LS均与年龄呈负相关($r=-0.614、-0.507$,均 $P<0.001$)。与以往文献^[5-7]报道的腹主动脉、降主动脉及主动脉弓的管壁老化特征一致。研究^[8]表明,在健康人群中,动

脉近端至远端的扩张能力是逐渐减弱的,也被称为僵硬梯度。同样,主动脉同一横断面各个方向上的弹性特性也存在区域异质性^[9]。根据以往研究^[10]报道,升主动脉壁的应力在不同位置发生变化,升主动脉大弯侧的应力通常高于小弯侧,在左室胸骨旁长轴切面上,升主动脉小弯侧即升主动脉前壁与主动脉窦前壁相连,升主动脉大弯侧即升主动脉后壁与主动脉窦后壁相连。因此,主动脉窦部具有与升主动脉类似的前、后壁力学差异,充分验证了主动脉窦和升主动脉前、后壁的区域异质性。此外,本研究结果显示正常成人主动脉窦瓣环侧和窦管交界侧LS曲线不同,也验证了主动脉窦各节段的区域异质性。

Safar^[11]研究表明,高血压病患者主动脉LS与血压间具有密切联系,但本研究结果显示,LS及LSR与血压(收缩压、舒张压、脉压)间缺乏相关性,这可能是因为本研究对象均为健康成人,血压波动范围有限,因此限制了临床对血管力学与患者血流动力学关系的研究。此外,本研究还发现,主动脉窦部LS与SVI、LVGLS均呈正相关($r=0.487, 0.336$, 均 $P<0.001$),主动脉窦部收缩期LSR与LVGLS呈正相关($r=0.512, P<0.001$)。研究^[12]表明,主动脉根部LS与心室收缩期的牵拉作用密切相关。心室收缩能力越强,主动脉窦所受到的牵拉作用越大,应变增加的速度即应变率越大,LS值也相应增加,同时,正常成人SVI也与左室收缩能力密切相关,这些指标均证明了左室-主动脉耦联作用。但是,主动脉窦部收缩期LSR与SVI无明显相关性,这可能是由于收缩早期血流通过缩短的主动脉窦由左室直接射入升主动脉,主动脉窦内仅存在较少的涡流血流,其对主动脉窦管壁的压力并不显著。

本研究局限性:样本量少,所使用的脱机软件最初是为测量左室应变设计,无法对主动脉管壁ROI制定标准参考点,测量结果可能会受影响;此外,本研究仅研究了纵向的应变,缺乏对圆周方向的研究,今后将结合圆周应变方向进一步探究。

综上所述,应用2D-STE技术评估主动脉根部血管生物力学具有一定的可行性和重复性。主动脉窦部LS随着年龄的增加而降低,且与SVI及LVGLS呈正相关。主动脉窦部LS及收缩期LSR体现了左室-主动脉耦联关系,对维持血流动力学稳定有一定作用。

参考文献

[1] Kunihara T. Anatomy of the aortic root: implications for aortic root

- reconstruction[J]. Gen Thorac Cardiovasc Surg, 2017, 65(9): 488-499.
- [2] Fletcher AJ, Syed MJB, Aitman TJ, et al. Inherited thoracic aortic disease: new insights and translational targets[J]. Circulation, 2020, 141(19): 1570-1587.
- [3] Pisani G, Scaffa R, Ieropoli O, et al. Role of the sinuses of Valsalva on the opening of the aortic valve[J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 2013, 145(4): 999-1003.
- [4] Jacob MP. Extracellular matrix remodeling and matrix metalloproteinases in the vascular wall during aging and in pathological conditions[J]. Biomed Pharmacother, 2003, 57(5-6): 195-202.
- [5] Ganten M, Krautter U, Hosch W, et al. Age related changes of human aortic distensibility: evaluation with ECG-gated CT[J]. Eur Radiol, 2007, 17(3): 701-708.
- [6] Hickson SS, Butlin M, Graves M, et al. The relationship of age with regional aortic stiffness and diameter[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2010, 3(12): 1247-1255.
- [7] Taviani V, Hickson SS, Hardy CJ, et al. Age-related changes of regional pulse wave velocity in the descending aorta using Fourier velocity encoded M-mode[J]. Magn Reson Med, 2011, 65(1): 261-268.
- [8] Laurent S, Boutouyrie P. The structural factor of hypertension: large and small artery alterations[J]. Circ Res, 2015, 116(6): 1007-1021.
- [9] Wilson JS, Taylor WR, Oshinski J. Assessment of the regional distribution of normalized circumferential strain in the thoracic and abdominal aorta using DENSE cardiovascular magnetic resonance[J]. J Cardiovasc Magn Reson, 2019, 21(1): 59.
- [10] Choudhury N, Bouchot O, Rouleau L, et al. Local mechanical and structural properties of healthy and diseased human ascending aorta tissue[J]. Cardiovasc Pathol, 2009, 18(2): 83-91.
- [11] Safar ME. Arterial stiffness as a risk factor for clinical hypertension[J]. Nat Rev Cardiol, 2018, 15(2): 97-105.
- [12] Ahmed MK, EL-Shafey WE, Adam KF. Assessment of aortic root mechanics in hypertensive patients by speckle tracking echocardiography[J]. World J Cardiovasc Dis, 2019, 9(3): 212-222.

(收稿日期: 2021-03-13)

超声及影像学专业常用术语中英文对照

CDFI (color Doppler flow imaging) —— 彩色多普勒血流成像
 CT (computed tomography) —— 计算机断层成像
 CTA —— CT血管造影
 PET (positron emission tomography) —— 正电子发射计算机断层显像
 DSA (digital subtraction angiography) —— 数字减影血管造影技术
 MRI (magnetic resonance imaging) —— 磁共振成像
 MRA (magnetic resonance angiography) —— 磁共振血管造影
 今后本刊将在文中直接使用以上专业术语的英文缩写,不再注明英文全称。

本刊编辑部