

❖ 心脏、血管影像学

Assessment of the changing characteristics of left ventricular twist-displacement loop in children with velocity vector imaging

ZHANG Yi*, CHEN Hong-tian, LONG Xiang-dang, AO Kun, XIE Juan-juan

(Department of Ultrasound, the People's Hospital of Hunan Province, Changsha 410005, China)

[Abstract] **Objective** To assess the changing characteristics of left ventricular (LV) twist-displacement loop of children with velocity vector imaging (VVI). **Methods** Basal and apical LV short-axis images were acquired in 73 healthy children (aged 3 to 14 year-old) with 2-dimensional echocardiography. Then VVI software was used to analyze LV twist motion and radial displacement at each plane off-line. The characteristics of left ventricular twist-displacement loop were compared among different aging groups (3—6, 7—10, 11—14 year-old). **Results** The LV twist-displacement loop was like the configuration of "8". There was linear relation between twist and displacement during systole, and the slope increased gradually with advancing age. During early diastole, the relatively small radial expand displacement appeared with untwisting, resulting in a much steeper twist-displacement relationship curve in each group, which became smooth gradually when the radial expand displacement increased during mid to late diastole. **Conclusion** VVI can be used to effectively and noninvasively assess LV twist-displacement loop changing with aging. The impact of aging must be taken into account when evaluating LV function of children by the twist-displacement loop.

[Key words] Velocity vector imaging; Left ventricular twist; Radial displacement; Child

速度矢量成像技术评估儿童左心室扭转-位移环特点

张 轶*, 陈红天, 龙湘党, 敖 琨, 谢娟娟

(湖南省人民医院超声诊断科, 湖南 长沙 410005)

[摘要] **目的** 应用速度矢量成像(VVI)技术观察正常儿童左心室扭转-位移环随年龄增长的变化特点。**方法** 使用二维超声心动图采集 73 名 3~14 岁健康儿童左心室心尖和心底短轴切面图,以 VVI 软件脱机分析各切面的左心室扭转运动和短轴位移,比较不同年龄组(3~6、7~10、11~14 岁)扭转-位移环的特点。**结果** 左心室扭转-位移环呈 8 字形结构,收缩期的扭转和位移呈线性关系,其斜率随年龄增加而逐渐增大。在舒张早期,伴随解旋出现的径向扩张位移相对较小,导致各组的扭转-位移关系曲线较为陡直;在舒张中晚期,随着径向扩张位移的逐渐增大,扭转-位移环曲线趋向平坦。**结论** VVI 能有效、无创评价左心室扭转-位移环随年龄的改变;根据扭转-位移环评价儿童左心功能时,需考虑年龄因素的影响。

[关键词] 速度矢量成像;左心室扭转;短轴位移;儿童

[中图分类号] R540.45; R3 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2012)12-2163-04

左心室收缩期扭转是心尖部相对心底部沿左心室长轴的旋转运动,对心室射血和充盈起重要作用^[1-2]。新近发展的速度矢量成像(velocity vector imaging,

VVI)技术能无创测量左心室扭转运动及径向位移,使构建左心室扭转-位移环、提供新的左心功能量化信息成为可能。本研究旨在观察正常儿童左心室扭转-位移环随年龄增大的变化特点,探讨年龄对左心室扭转和径向位移的影响。

1 资料与方法

1.1 一般资料 收集 2009 年 1 月—2010 年 4 月接受检查的健康儿童 73 名,男 38 名,女 35 名,年龄 3~14

[作者简介] 张轶(1978—),女,湖南岳阳人,博士,主治医师。研究方向:心血管超声诊断。

[通讯作者] 张轶,湖南省人民医院超声诊断科,410005。

E-mail: drzhangyi2008@163.com

[收稿日期] 2012-05-26 **[修回日期]** 2012-11-05

岁,平均(8.4±3.7)岁,均无高血压、糖尿病、先天性心脏病、瓣膜性心脏病、心肌炎病史;血压、血脂、心电图检查均未见异常,TTE 检查未见结构和功能异常;检查过程中均未使用镇静剂。按年龄分为 3~6 岁组(28 名)、7~10 岁组(21 名)及 11~14 岁组(24 名)。

1.2 仪器与方法 采用 Acuson Sequora 512 彩色多普勒超声诊断仪,4V1c 探头,频率 4 MHz,帧频>50 帧/秒,同时连接体表心电图。常规测量左心室舒张期长径和内径、二尖瓣口舒张早期最大血流速度(E 峰)、舒张晚期最大血流速度(A 峰)、等容收缩时间(isovolumic contract time, IVCT)、等容舒张时间(isovolumic relaxation time, IVRT)。采集左心室心尖和心底部短轴切面动态图像。嘱受检者屏住呼吸,获得 3 个连续的心动周期的数据,使用 VVI 软件进行脱机分析。在左心室舒张末期短轴切面手动描记心内膜后,软件自动追踪心肌运动,并将短轴切面分为 6 个节段,显示各节段心肌运动的方向和速度,并生成 6 条旋转变换曲线和一条平均变化曲线。

本研究将每一短轴切面内左心室的位移角度定义为左心室旋转,心尖的逆时针方向旋转视为正值,用心尖峰值旋转角度(peak apical rotation, PAr)表示;心底的顺时针方向旋转视为负值,用心底峰值旋转角度(peak basal rotation, PBr)表示;左心室旋转在心尖和心底两个平行切面之间的纯差异定义为左心室扭转,用左心室扭转角度峰值(peak twist, Ptw)表示。由于左心室大小随年龄而变化,为客观评价扭转运动,使用

左心室长度标化左心室扭转,用标化后的左心室扭转(peak twist normalized by LV length, PtwN)表示。解旋运动为心肌在舒张期内与收缩期方向相反的扭转运动,用峰值解旋速度(peak untwist velocity, PutwV)表示。由于大部分解旋出现在等容舒张期,等容舒张期内解旋的角度占整个解旋角度的比例用等容舒张期解旋百分比(Iutw%)表示。为校正受检者心率的不同,使用收缩和舒张持续时间百分比标化时间。

VVI 软件自动追踪每帧切面内心肌在一个心动周期内短轴方向移动的轨迹,并计算其移动距离。心尖和心底短轴切面上 6 个节段径向位移的均值之和除以 2 即为整个心动周期内两个平面径向位移的均值,用左心室径向位移(distance, Dis)表示。用点标出一个心动周期内扭转和位移的相关数据,即可构建扭转-位移环。

1.3 统计学分析 采用 SPSS 13.0 统计软件包,计量资料均以 $\bar{x} \pm s$ 表示。使用方差分析比较各组的扭转、解旋和位移。用直线回归分析扭转和位移的相关关系。P<0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

受检者一般情况和多普勒超声检查结果见表 1。随着年龄增长,左心室舒张期长径和内径明显增大(P<0.05),A 峰速度增高,但 3 组间差异无统计学意义(P>0.05),E 峰速度和 E/A 比值明显下降(P 均<0.05)。IVRT 随年龄增大而延长(P<0.05),IVCT 有随年龄增加的趋势,但 3 组间差异无统计学意义(P>0.05)。

表 1 一般资料及超声心动图测量参数比较($\bar{x} \pm s$)

组别	年龄(岁)	身高(cm)	体质量(kg)	心率(次/分)	左心室舒张期长径(cm)	左心室舒张期内径(cm)	E 峰(m/s)	A 峰(m/s)	E/A	IVRT(ms)	IVCT(ms)
3~6 岁 (n=28)	4.64±1.02	103.18±20.94	21.27±3.46	89.64±9.49	4.74±0.81	3.54±0.33	1.15±0.19	0.63±0.14	1.87±0.40	55.32±7.99	41.53±4.94
7~10 岁 (n=21)	8.09±1.22	129.71±4.63	26.57±3.66	84.76±8.44	5.91±0.66	4.08±0.12	1.05±0.11	0.67±0.10	1.58±0.23	60.62±11.87	43.71±6.61
11~14 岁 (n=24)	12.95±1.16	148.21±10.81	39.21±8.77	81.29±10.29	6.37±0.48	4.25±0.21	1.01±0.10	0.71±0.15	1.47±0.22	62.95±13.47	45.58±8.81
F 值	351.52	62.596	63.589	5.094	40.564	55.983	6.248	1.981	11.913	3.212	2.423
P 值	<0.001	<0.001	<0.001	0.009	<0.001	<0.001	0.003	0.146	<0.001	0.046	0.096

表 2 年龄相关的左心室扭转-位移参数的变化($\bar{x} \pm s$)

参数	PAr(°)	PBr(°)	Ptw(°)	PtwN(°/cm)	PutwV(°/s)	Iutw%(%)	Dis(mm)
3~6 岁(n=28)	4.15±1.08	-1.00±1.52	5.72±2.12	1.08±0.32	66.51±13.21	22.75±14.04	3.06±0.37
7~10 岁(n=21)	4.57±1.27	-1.95±0.75	6.44±2.07	1.11±0.26	81.49±15.49	29.99±9.05	3.88±0.14
11~14 岁(n=24)	5.61±0.92	-2.17±0.84	7.56±2.48	1.22±0.24	84.18±13.51	32.60±10.44	4.20±0.22
F 值	11.919	7.769	15.933	1.679	12.069	5.031	122.117
P 值	<0.001	0.001	<0.001	0.194	<0.001	0.009	<0.001

Ptw 随年龄增加而增大,但基底和心尖旋转运动的变化有所不同:3~6岁 PBr 由逆时针逐渐向顺时针方向转化,角度由正值向负值逐渐转变,且随年龄增长而增加($P < 0.05$),但 PAr 基本稳定($P > 0.05$);7~14岁心底和心尖旋转角度峰值均随年龄增加而增大($P < 0.05$)。标化左心室长度后的扭转峰值在3组间差异均无统计学意义(P 均 > 0.05)。PutwV 和 Iutw%均随年龄而逐渐增加($P < 0.05$)。3~14岁的儿童处于生长期,左心室的内径随之增大,径向位移随年龄增加而增大(P 均 < 0.05),但使用左心室内径校正短轴位移后,3组间差异无统计学意义(P 均 > 0.05)。见表2。

扭转-位移环的特征为数字8的构形,3组的扭转-位移环根据年龄的不同而变化。环大致可分为3段:收缩期、舒张早期、舒张中晚期。在收缩期开始时有一个幅度较小的初始顺时针扭转,随后整个收缩期为直线上升的逆时针扭转。所有儿童的收缩期扭转和径向位移之间有明显的直线相关关系($r = 0.87 \pm 0.06$)。收缩期扭转与位移的比率即收缩环的斜率随着年龄的增长增加,3~6岁、7~10岁、11~14岁组分别为 $(1.57 \pm 0.49)^\circ/\text{mm}$ 、 $(1.69 \pm 0.40)^\circ/\text{mm}$ 、 $(1.84 \pm 0.32)^\circ/\text{mm}$ 。11~14岁组在等容舒张期和舒张早期,左心室开始解旋,而此时相对应的扩张方位的径向位移幅度较小,扭转位移曲线较为陡直;而在3~6岁组及7~10岁组等容舒张期和舒张早期的解旋不如11~14岁组明显,扭转位移曲线相对较为平坦。在舒张中晚期,左心室进一步解旋及舒张,解旋幅度所占比例随年龄增加而减少,而扩张方向的径向位移随年龄而增大,扭转-位移环曲线趋于平坦(图1~3)。

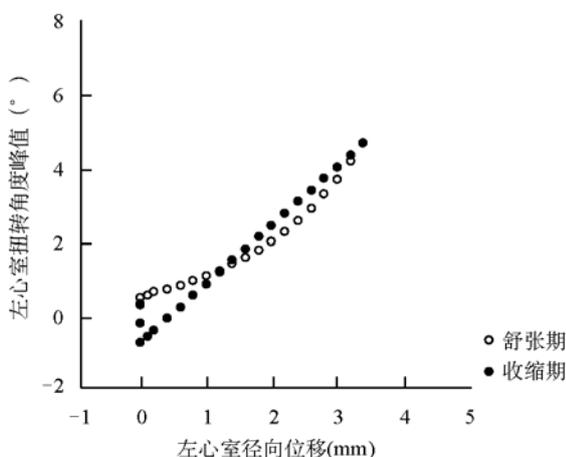


图1 3~6岁儿童扭转-位移环

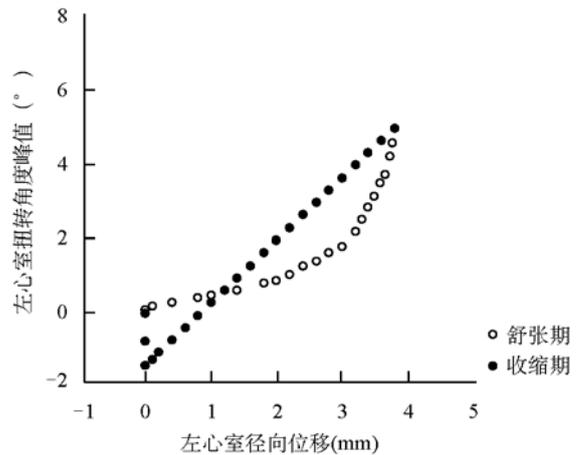


图2 7~10岁儿童扭转-位移环

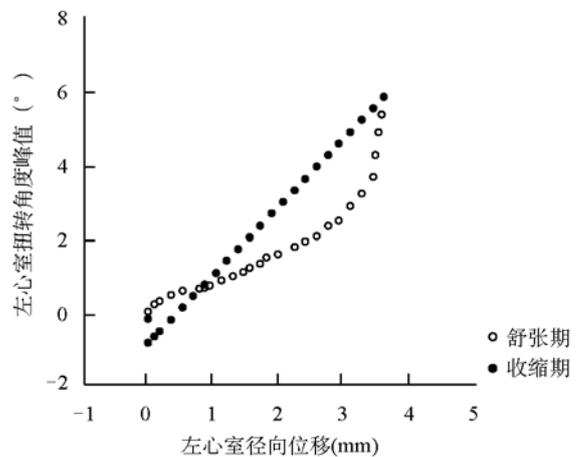


图3 11~14岁儿童扭转-位移环

3 讨论

传统观念认为左心室的运动主要是长轴方向的伸长和缩短,以及短轴方向的扩大和缩小。近年来提出的左心室扭转运动揭示了左心室三维方位的运动,但目前国内外将扭转运动方式与左心室在短轴切面上的扩大与缩小的距离位移进行联系和比较的研究均甚少。左心室的扭转运动方式是收缩期心尖部呈逆时针旋转,心底部呈顺时针旋转,导致螺旋状扭转变形^[3]。收缩期决定扭转的主要因素是心肌纤维的运动角度和肌纤维的缩短程度,并与心内膜和心外膜之间肌节拉紧的变形梯度密切相关^[4];而左心室在收缩期内径的缩小也正是取决于心肌纤维的收缩运动。左心室扭转变形以及左心室腔的缩小对于降低收缩期心肌纤维透壁应力和氧耗起重要作用。大部分左心室解旋出现在等容舒张期,而左心室腔的扩张出现在舒张中晚期,因此舒张期左心室短轴方位的位移与扭转角度的不呈直

线相关。解旋运动与细胞外基质内解旋力的快速释放和已缩短的肌小节恢复原有长度有关,左心室腔的扩张受心肌本身收缩能力及前负荷的影响。解旋和舒张运动决定心肌等容舒张期的顺应性,有助于左心室舒张期的抽吸,使灌注增加^[5]。

收缩期左心室整体扭转与径向位移直接相关。本研究中收缩期扭转和径向位移呈明显的线性关系,与以往关于成人左心室扭转-位移环的研究^[6]结果一致。年龄可影响收缩期扭转-位移环,年龄较大儿童的收缩期位移距离及扭转角度峰值均较大,这与心室腔随年龄增加而增大有一定关系;左心室扭转及位移主要受随年龄变化的心肌收缩性的影响,心肌收缩性的增加与肌节蛋白和肌联蛋白的年龄相关性改变有关^[7],这种关联反映了正常人群心肌力学的成熟和适应性调整过程。Wulfsohn 等^[8]研究表明,在儿童生长发育过程中,左心室心底和心尖的心肌纤维连接点越来越远离中心轴,但心底部更明显,纯左心室扭转角度以及收缩时心肌位移的距离随年龄而增加。

儿童的年龄越小,其舒张期解旋速度越低、Iutw% 越低,这可能与钙离子进入肌浆网的主动转运机制尚未完善以及结缔组织和肌联蛋白尚未发育成熟有关^[9]。本研究显示年龄较小儿童的解旋与扩张的径向位移曲线较为平坦,因为较小儿童的解旋能力尚有限。虽然较小儿童的解旋机制尚未完全成熟,但解旋对于快速降低室内压、利于心室充盈仍有重要意义。随着年龄增大,Iutw% 逐渐增大,解旋与扩张的径向位移曲线逐渐变得陡峭,这是因为在儿童生长过程中,引起心肌肌小节弹性回缩的肌联蛋白逐渐从回复力较小的 N2BA 亚型占优势转换为回复力较大的 N2B 亚型占优势,导致 PutwV 及 Iutw% 逐渐增大^[9];同时,心室腔随年龄增加而扩大,也使得舒张期心肌的位移距离随年龄增加而增大。在舒张中晚期,解旋所占比例随年龄增加而逐渐减少,而扩张方向的径向位移随年龄增加而增大,导致扭转-位移环的舒张中晚期曲线逐渐变得平坦。

VVI 技术能显示心肌运动的速度和角度,且无角度依赖,能较准确地评估左心室的扭转运动。研究^[10]表明斑点追踪成像技术能准确地评估左心室扭转运动,且与声纳微测量法及 MRI 心肌标记法具有较好的相关性。本研究采用 VVI 技术观察左心室扭转-位移环,发现 VVI 技术能无创、可重复、准确评价左心功能,更为直观地反映心肌运动在心动周期中的变化。VVI 技术的局限性:①在不同受检者,获取左心室心

底和心尖平面的精确位置不尽相同,可能会引起一定误差;②数据分析需脱机操作,这在一定程度上限制了构建扭转-位移环的广泛运用;③左心室径向位移未考虑长轴方向的位移,但有研究^[11]显示径向位移与容积变化有关,能在一定程度上反映室腔容积的变化。

综上所述,VVI 技术能无创、准确地评价儿童扭转-位移环的特点。年龄能影响儿童期左心室扭转-位移环;评价不同年龄段的扭转位移环可为临床评估儿童左心室功能提供参考。

[参考文献]

- [1] Takeuchi M, Nakai H, Michiko K, et al. Age-related changes in left ventricular twist assessed by two-dimensional speckle-tracking imaging. *J Am Soc Echocardiogr*, 2006, 19(9):1077-1084.
- [2] Zhang Y, Zhou QC, Pu DR, et al. Differences in left ventricular twist related to age: Speckle tracking echocardiographic data for healthy volunteers from neonate to age 70 years. *Echocardiography*, 2010, 27(10):1205-1210.
- [3] Notomi Y, Srinath G, Shiota T, et al. Maturational and adaptive modulation of left ventricular torsional biomechanics: Doppler tissue imaging observation from infancy to adulthood. *Circulation*, 2006, 113(21):2534-2541.
- [4] Notomi Y, Lysyansky P, Randolph MS, et al. Measurement of ventricular torsion by two-dimensional ultrasound speckle tracking imaging. *J Am Coll Cardiol*, 2005, 45(12):2034-2041.
- [5] Bell SP, Nyland L, Tischler MD, et al. Alterations in the determinants of diastolic function during pacing tachycardia. *Circ Res*, 2000, 87(3):235-240.
- [6] Nakai H, Takeuchi M, Nishikage T, et al. Effect of aging on Twist-Displacement loop by 2-Dimensional speckle tracking imaging. *J Am Soc Echocardiogr*, 2006, 19(7):880-885.
- [7] Siedner S, Krüger M, Schroeter M, et al. Developmental changes in contractility and sarcomeric proteins from the early embryonic to the adult stage in the mouse heart. *J Physiol*, 2003, 548(Pt 2): 493-505.
- [8] Wulfsohn D, Nyengaard JR, Tang Y. Postnatal growth of cardiomyocytes in the left ventricle of the rat. *Anat Rec A Discov Mol Cell Evol Biol*, 2004, 277(1):236-247.
- [9] Lahmers S, Wu Y, Call DR, et al. Developmental control of titin isoform expression and passive stiffness in fetal and neonatal myocardium. *Circ Res*, 2004, 94(4):505-513.
- [10] Schmid P, Jaermann T, Boesiger P, et al. Ventricular myocardial architecture as visualised in postmortem swine hearts using magnetic resonance diffusion tensor imaging. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2005, 27(3):468-472.
- [11] Helle-Valle T, Crosby J, Edvardsen T, et al. New noninvasive method for assessment of left ventricular rotation: Speckle tracking echocardiography. *Circulation*, 2005, 112(20): 3149-3156.