

DOI: 10.16781/j.0258-879x.2019.03.0250

· 专题报道 ·

基于心脏磁共振特征追踪技术的中国正常人左心房功能的定量研究

杨映霞^{1,2}, 汪芳³, 尹刚¹, 赵世华¹, 陆敏杰^{1*}

1. 国家心血管病中心、中国医学科学院阜外医院磁共振影像科, 北京 100037

2. 广西壮族自治区人民医院放射科, 南宁 530021

3. 宁夏回族自治区人民医院放射科, 银川 750000

[摘要] **目的** 使用心脏磁共振特征追踪 (CMR-FT) 技术定量评价中国正常人的左心房功能。**方法** 按纳入标准入选磁共振检查结果显示正常的健康人。采用半傅里叶单次激发技术及平衡稳态自由进动序列获得标准心脏各长轴及短轴切面及电影序列, 由 2 名医师独立测量左心房功能参数, 包括左心房容积、射血分数、应变及应变率等。男性与女性相对应参数的比较采用两独立样本 *t* 检验。不同年龄组间相应参数的比较采用单因素方差分析。**结果** 共纳入 63 名研究对象, 男 34 名、女 29 名, ≤29 岁 19 名、30~44 岁 23 名、≥45 岁 21 名。左心房各径线: 左心房前后径为 (26.1±4.5) mm, 左右径为 (54.8±5.9) mm; 左心房储存功能参数: 总射血分数为 (63.5±6.9)%, 总应变为 (45.9±11.7)%, 总应变率为 (1.5±0.5) s⁻¹; 导管功能参数: 被动射血分数为 (24.6±9.1)%, 被动应变为 (22.2±8.1)%, 被动应变率为 (-0.8±0.3) s⁻¹; 泵血功能参数: 主动射血分数为 (51.3±8.9)%, 主动应变为 (23.7±9.2)%, 主动应变率为 (-1.3±0.5) s⁻¹。除体表面积、左心房各径线及最大容积、主动收缩前容积在男女之间差异有统计学意义 (*P* 均<0.05) 之外, 其余左心房各功能参数性别间差异均无统计学意义 (*P* 均>0.05)。不同年龄组间左心房导管功能差异有统计学意义 (*P*<0.05), 而储存及泵血功能差异无统计学意义。相关性分析结果显示左心房总射血分数与总应变、被动射血分数与被动应变、主动射血分数与主动应变均呈正相关 (*r*=0.77、0.74、0.77, *P* 均<0.01)。左心房功能各参数组内相关系数均>0.6, Bland-Altman 分析显示 2 名医师间具有较好的一致性。

结论 CMR-FT 技术因其高度的可重复性可用于获得中国正常人左心房功能的相关参数。

[关键词] 左心房功能; 磁共振成像; 心脏磁共振特征追踪; 健康人**[中图分类号]** R 331.31**[文献标志码]** A**[文章编号]** 0258-879X(2019)03-0250-07

Left atrial function in healthy Chinese population by cardiac magnetic resonance-feature tracking imaging: a quantitative study

YANG Ying-xia^{1,2}, WANG Fang³, YIN Gang¹, ZHAO Shi-hua¹, LU Min-jie¹

1. Department of Magnetic Resonance Imaging, National Center for Cardiovascular Diseases and Fuwai Hospital of Chinese Academy of Medical Sciences, Beijing 100037, China

2. Department of Radiology, the People's Hospital of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning 530021, Guangxi Zhuang Autonomous Region, China

3. Department of Radiology, People's Hospital of Ningxia Hui Autonomous Region, Yinchuan 750000, Ningxia Hui Autonomous Region, China

[Abstract] **Objective** To quantitatively evaluate the left atrial function in healthy Chinese population by cardiac magnetic resonance-feature tracking (CMR-FT). **Methods** Healthy individuals with normal magnetic resonance examination results were enrolled according to the inclusion criteria. Cardiac long- and short-axis images and cine were obtained using semi-Fourier single-shot technique and balanced steady-state free precession sequence. The left atrial function parameters, including left atrial volume, ejection fraction, strain and strain rate, were measured by 2 independent observers. Two independent sample *t* test was used to compare the parameters between males and females. One-way analysis of variance was performed to compare the parameters among different age groups. **Results** A total of 63 volunteers were included in this

[收稿日期] 2018-10-29 **[接受日期]** 2018-12-14**[基金项目]** 国家自然科学基金(81571647, 81370036, 81620108015, 81771811), 北京市自然科学基金(7152124), 首都临床特色项目基金(Z151100004015141). Supported by National Natural Science Foundation of China (81571647, 81370036, 81620108015, 81771811), Natural Science Foundation of Beijing (7152124), and Capital Clinical Characteristic Research Fund (Z151100004015141).**[作者简介]** 杨映霞, 博士生, 主治医师. E-mail: gx_yyx@163.com

*通信作者(Corresponding author). Tel: 010-88322539, E-mail: coolkan@163.com

study. Of 63 volunteers, 34 were males and 29 females; and 19 volunteers were aged ≤ 29 years, 23 were aged 30-44 years and 21 were aged ≥ 45 years. The anteroposterior diameter of left atrium was (26.1 ± 4.5) mm, and the transverse diameter was (54.8 ± 5.9) mm. The total ejection fraction of left atrium was $(63.5 \pm 6.9)\%$, total strain was $(45.9 \pm 11.7)\%$, and total strain rate was $(1.5 \pm 0.5) s^{-1}$. The passive ejection fraction of left atrium was $(24.6 \pm 9.1)\%$, passive strain was $(22.2 \pm 8.1)\%$, and passive strain rate was $(-0.8 \pm 0.3) s^{-1}$. The active ejection fraction of left atrium was $(51.3 \pm 8.9)\%$, active strain was $(23.7 \pm 9.2)\%$, and active strain rate was $(-1.3 \pm 0.5) s^{-1}$. There were significant differences in the body surface area, the left atrial diameters, maximal volume and pre-active contraction volume between the males and the females (all $P < 0.05$), while the differences in the other left atrial function parameters were not significant (all $P > 0.05$). There were significant differences in the left atrial conduit function among the different age groups (all $P < 0.05$), while there were no significant differences in reservoir or booster pump function parameters. Correlation analysis showed that there were positive correlations between total ejection fraction and total strain, passive ejection fraction and passive strain, and active ejection fraction and active strain ($r = 0.77, 0.74$ and 0.77 ; all $P < 0.01$). The correlation coefficients of all left atrial function parameters were all > 0.6 , and the Bland-Altman analysis showed better consistency between the two observers. **Conclusion** CMR-FT can be used to obtain parameters related to left atrial function in healthy Chinese population due to its high repeatability.

[Key words] left atrial function; magnetic resonance imaging; cardiac magnetic resonance-feature tracking; healthy

[Acad J Sec Mil Med Univ, 2019, 40(3): 250-256]

完整的左心功能评估除了左心室功能外还应包括左心房功能, 过去大量的研究聚焦于左心室功能的异常及其相关的预后, 忽略了对左心房功能的研究。左心房在心动周期的不同时相扮演着不同角色, 发挥着极其重要的作用, 包括储存、导管和泵血三大功能, 不同时相的功能相互作用协助左心室充盈。一旦左心房结构和功能发生改变, 将引起左心房内压力增高, 影响左心室功能和右心功能^[1]。研究表明左心房容积对肥厚型心肌病患者不良心脑血管事件的发生及预后有预测价值^[2-3], 故准确评价左心房功能有重要意义。心脏磁共振特征追踪 (cardiac magnetic resonance-feature tracking, CMR-FT) 是近年新出现的磁共振技术, 在常规扫描序列中通过后处理软件探测心动周期中心肌长度随时间的变化情况, 反映心肌在张力作用下发生形变的能力, 从而获得反映心肌功能的应变 (strain) 和应变率 (strain rate), 以及左心房容积、射血分数等常规参数, 具有客观、稳定且重复性好等优点^[3]。本研究利用 CMR-FT 技术定量分析正常人左心房功能相关参数的正常值。

1 资料和方法

1.1 研究对象 选择 2017 年 1 月至 12 月于中国医学科学院阜外医院行磁共振成像检查且检查结果正常的健康人。纳入标准: (1) 年龄 > 16 岁且 < 65 岁; (2) 无重要心肺疾 (患) 病史和心血管疾病危险因素及病史; (3) 心电图、心脏彩色

多普勒超声及胸部 X 线检查均无阳性发现; (4) 心脏各房室腔内径及左心、右心功能参数均在正常值范围^[4]; (5) 磁共振成像检查过程中窦性心律, 心律齐。按性别将研究对象分为男性组和女性组, 按年龄分为 ≤ 29 岁组、30~44 岁组及 ≥ 45 岁组。本研究经中国医学科学院阜外医院伦理委员会审批, 所有研究对象均签署检查知情同意书。

1.2 仪器与方法 采用美国 GE 公司 MR750 3.0 T 及荷兰 Philips 公司 Ingenia 3.0 T 超导型磁共振扫描仪, 无线矢量心电图。 (1) 心脏标准轴位、矢状位黑血序列采用半傅里叶单次激发技术; (2) 在标准轴位基础上确定左心室长轴两腔心及四腔心切面, 然后获得 1 组 (8~10 层) 左心室短轴切面; (3) 左心室长轴两腔心、四腔心、流出道及短轴电影采用平衡稳态自由进动序列, 层厚为 8 mm, 层间距为 0~4 mm, 重复时间 (repetition time, TR) 为 2.9~3.4 ms, 回波时间 (echo time, TE) 为 1.5~1.7 ms, 翻转角为 45~50°, 视野 (field of view, FOV) 为 320 mm \times 320 mm~380 mm \times 380 mm, 矩阵为 192 \times 224~224 \times 256。

1.3 图像分析与处理 (1) 常规左心室功能参数: 从磁共振报告中获得左心室舒张末期内径 (left ventricular end-diastolic diameter, LVEDD)、左心室舒张末期容积指数 (left ventricular end-diastolic volume index, LVEDVI)、左心室收缩末期容积指数 (left ventricular end-systolic volume index, LVESVI) 及左心室射血

分数 (left ventricular ejection fraction, LVEF)。

(2) 左心房功能参数: 应用后处理工作站 (Medis, 荷兰) 在左心室长轴两腔心电影序列图像上, 分别于左心室收缩末期及舒张末期两个时相勾画左心房轮廓 (图 1A、1B), 通过软件自动计算得到左心房容积 (left atrial volume, LAV)、应变和应变率曲线。①由容积曲线得到左心室收缩末期左房室瓣即将开放时的左心房最大容积 (LAV_{max})、左心室舒张早期左心房主动收缩前容积 (LAV_{pre-a})、左心房主动收缩后左房室瓣关闭前的左心房最小容积 (LAV_{min}), 据此计算左心房射血分数 (left atrial ejection fraction, LAEF), 包括左心房总射血分数

($LAEF_{total}$)、左心房被动射血分数 ($LAEF_{passive}$) 和左心房主动射血分数 ($LAEF_{active}$)。计算公式: $LAEF_{total} = (LAV_{max} - LAV_{min}) / LAV_{max}$, $LAEF_{passive} = (LAV_{max} - LAV_{pre-a}) / LAV_{max}$, $LAEF_{active} = (LAV_{pre-a} - LAV_{min}) / LAV_{pre-a}$ 。②由左心房应变曲线 (图 1C) 得到总应变 (ϵ_s) 和主动应变 (ϵ_a) 值, 计算二者之差即被动应变 (ϵ_e)。③左心房应变率曲线 (图 1D): 左心室收缩期左心房峰值应变率 (SR_s) 为曲线上第 1 个正向波峰值, 左心室舒张早期左心房峰值应变率 (SR_e) 为曲线上第 1 个负向波峰值, 左心室舒张晚期左心房峰值应变率 (SR_a) 为曲线上第 2 个负向波峰值^[5]。

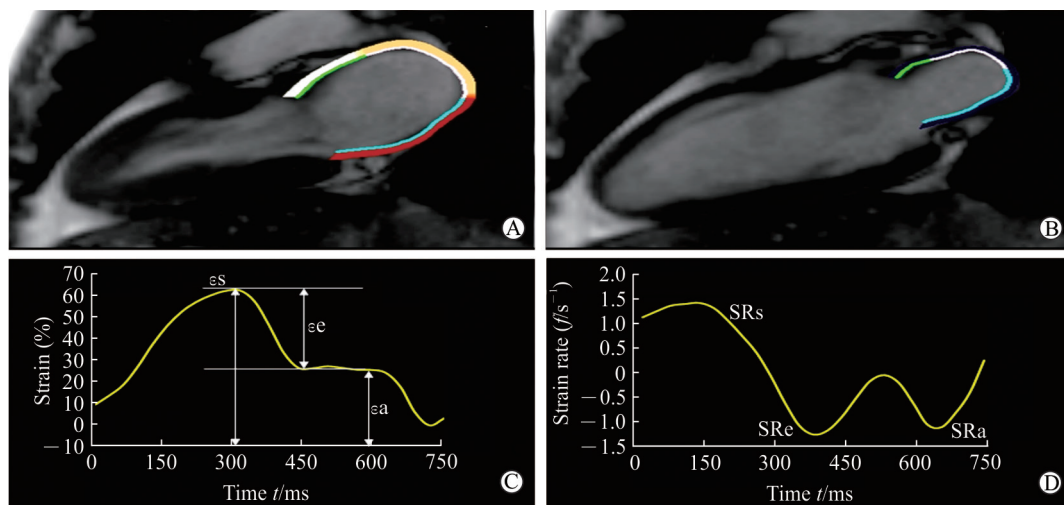


图 1 左心房应变和应变率

Fig 1 Left atrial strain and strain rate

An example of left atrial tracking in the 2-chamber heart cines. A: Left ventricular end-systole; B: Left ventricular end-diastole; C: Left atrial strain; D: Left atrial strain rate. Left atrial function comprises reservoir, conduit and booster pump functions. Total strain and peak positive strain rate correspond to reservoir function. Passive strain and peak early negative strain rate correspond to conduit function. Active strain and peak late negative strain rate correspond to booster pump function

1.4 统计学处理 应用 Graphpad Prism 7.0 和 SPSS 22.0 软件进行数据处理。呈正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示。男性与女性相对应参数的比较采用两独立样本 t 检验; 不同年龄分组之间数据的比较采用单因素方差分析, 两两比较采用 LSD 检验。以 Pearson 相关分析探讨左心室与左心房功能参数之间的相关性。为了评价观察者之间的个体差异, 用随机数字表法选取 15 名研究对象, 由 2 名磁共振医师双盲独立测量与评价, 并用 Bland-Altman 法及计算组内相关系数进行一致性分析。检验水准 (α) 为 0.05。

2 结果

2.1 一般资料 符合纳入标准的正常人 63 名。63 名研究对象的左心房各径线: 左心房前后径为

(26.1 ± 4.5) mm, 左右径为 (54.8 ± 5.9) mm; 左心房储存功能参数: 总射血分数为 (63.5 ± 6.9)%, 总应变为 (45.9 ± 11.7)%, 总应变率为 (1.5 ± 0.5) s^{-1} ; 导管功能参数: 被动射血分数为 (24.6 ± 9.1)%, 被动应变为 (22.2 ± 8.1)%, 被动应变率为 (-0.8 ± 0.3) s^{-1} ; 泵血功能参数: 主动射血分数为 (51.3 ± 8.9)%, 主动应变为 (23.7 ± 9.2)%, 主动应变率为 (-1.3 ± 0.5) s^{-1} 。63 名研究对象中男 34 名 [年龄为 20~61 岁, 平均年龄为 (36.3 ± 10.7) 岁], 女 29 名 [年龄为 17~53 岁, 平均年龄 (36.5 ± 13.5) 岁], 男女年龄组间差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。男女体表面积 (body surface area, BSA) 组间差异有统计学意义 [$(2.0 \pm 0.2) m^2$ vs $(1.8 \pm 0.2) m^2$, $t = 3.02$, $P < 0.01$]。见表 1。

表1 正常男性、女性一般资料及心脏各测量参数的比较

Tab 1 Comparison of general characteristics and cardiac parameters between normal males and females

Index	Male n=34	Female n=29	t value	P value
Age (year)	36.3±10.7	36.5±13.5	-0.07	0.94
BSA A/m ²	2.0±0.2	1.8±0.2	3.02	<0.01
LVEDD d/mm	50.2±2.3	47.2±3.8	3.33	<0.01
LVEDVI (mL·m ⁻²)	64.1±11.5	62.1±15.5	0.07	0.94
LVESVI (mL·m ⁻²)	26.0±5.3	25.8±7.5	0.50	0.62
LVEF (%)	59.4±4.8	58.7±4.3	0.55	0.41
LAD-AP d/mm	27.7±3.7	24.4±4.7	2.73	<0.01
LAD-Trans d/mm	56.8±5.0	52.5±6.1	2.68	0.01
LAV V/mL				
LAV _{max}	69.8±12.6	61.5±13.8	2.16	0.04
LAV _{pre-a}	54.3±10.5	44.9±12.9	2.76	<0.01
LAV _{min}	25.5±5.7	22.6±7.3	1.54	0.13
LA reservoir function				
LAEF _{total} (%)	63.3±6.9	63.8±7.1	-0.25	0.80
εs (%)	45.3±12.9	46.7±10.4	-0.40	0.69
SRs f/s ⁻¹	1.4±0.6	1.5±0.5	-0.29	0.76
LA conduit function				
LAEF _{passive} (%)	22.1±8.6	27.4±9.0	-2.06	0.05
εe (%)	20.9±6.9	23.7±9.3	-1.16	0.25
SRe f/s ⁻¹	-0.8±0.3	0.8±0.3	-0.15	0.87
LA booster pump function				
LAEF _{active} (%)	52.6±8.6	49.8±9.3	1.07	0.29
εa (%)	24.4±10.1	23.0±8.2	0.50	0.61
SRa f/s ⁻¹	-1.2±0.5	-1.3±0.5	0.82	0.41

BSA: Body surface area; LVEDD: Left ventricular end-diastolic diameter; LVEDVI: Left ventricular end-diastolic volume index; LVESVI: Left ventricular end-systolic volume index; LVEF: Left ventricular ejection fraction; LAD-AP: Left atrial (LA) anteroposterior diameter; LAD-Trans: Left atrial transverse diameter; LAV: Left atrial volume; max: Maximum; min: Minimum; pre-a: Pre-active contraction; LAEF: Left atrial ejection fraction; εs: Total strain; εe: Passive strain; εa: Active strain; SRs: Peak positive strain rate; SRe: Peak early negative strain rate; SRa: Peak late negative strain rate

2.2 不同性别各测量参数比较

2.2.1 左心室大小及主要功能参数 男性 LVEDD 大于女性 [(50.2±2.3) mm vs (47.2±3.8) mm, t=3.33, P<0.01], 而 LVEDVI、LVESVI 和 LVEF 在男女之间差异均无统计学意义 (P 均>0.05)。见表1。

2.2.2 左心房大小与主要功能参数 男性左心房前后径及左右径分别为 (27.7±3.7) mm 和 (56.8±5.0) mm, 均长于女性 [分别为 (24.4±4.7) mm 和 (52.5±6.1) mm], 差异均有统计学意义 (t=2.73、2.68, P 均<0.05)。男性 LAV_{max}、LAV_{pre-a} 分别为 (69.8±12.6) mL、(54.3±10.5) mL, 女性分别为 (61.5±13.8) mL、(44.9±12.9) mL, 男女差异均有统计学意义 (t=2.16、2.76, P 均<0.05), 其余各项左心房功能指标在男女之间差异均无统计学意义 (P 均>0.05)。见表1。

2.3 不同年龄组间各测量参数比较 根据年龄

进行分组, ≤29 岁组 19 名、30~44 岁组 23 名、≥45 岁组 21 名。

2.3.1 左心室大小及主要功能参数 ≤29 岁组 LVEF 低于 30~44 岁组和 ≥45 岁组 [(55.9±4.1)% vs (60.5±4.1)% 和 (60.6±3.9)%], 差异均有统计学意义 (t=-3.07、-3.18, P 均<0.01), 但 30~44 岁组和 ≥45 岁组之间差异无统计学意义 (P>0.05)。不同年龄组间 LVEDD、LVEDVI、LVESVI 差异均无统计学意义 (P 均>0.05)。见表2。

2.3.2 左心房大小及主要功能参数 不同年龄组间左心房前后径、左右径及各时期左心房容积的差异均无统计学意义 (P 均>0.05)。SRe 随着年龄增长而减小, ≥45 岁组与 ≤29 岁组、30~44 岁组比较差异均有统计学意义 [(-0.6±0.2) s⁻¹ vs (-0.9±0.3) s⁻¹ 和 (-0.9±0.4) s⁻¹, t=3.57、2.97, P 均<0.01], 而 ≤29 岁和 30~44 岁之间差异无统计学意义 (P>0.05)。≤29 岁

组 ϵ_e 高于 ≥ 45 岁组, 差异有统计学意义 [(24.3 \pm 5.1) % vs (18.6 \pm 6.3) %, $t=2.77$, $P=0.03$], 而 ≤ 29 岁和 30~44 岁及 30~44 岁和 ≥ 45 岁

组间差异均无统计学意义 (P 均 >0.05)。左心房其余功能指标在不同年龄组间差异均无统计学意义 (P 均 >0.05)。见表 2。

表 2 不同年龄正常人心脏各测量参数的比较

Tab 2 Comparison of cardiac parameters among different age groups in normal volunteers

Index	Age ≤ 29 years $n=19$	Age 30-44 years $n=23$	Age ≥ 45 years $n=21$	F value	P value
LVEDD d/mm	47.7 \pm 4.0	49.1 \pm 2.7	49.5 \pm 3.2	1.25	0.30
LVEDVI ($mL \cdot m^{-2}$)	62.7 \pm 11.4	68.0 \pm 15.1	58.8 \pm 12.5	2.00	0.15
LVESVI ($mL \cdot m^{-2}$)	27.7 \pm 6.3	26.9 \pm 6.5	23.2 \pm 5.7	2.41	0.10
LVEF (%)	55.9 \pm 4.1	60.5 \pm 4.1**	60.6 \pm 3.9**	6.45	<0.01
LAD-AP d/mm	25.1 \pm 4.3	25.9 \pm 4.0	27.4 \pm 5.0	1.05	0.36
LAD-Trans d/mm	55.6 \pm 4.4	53.2 \pm 5.7	55.6 \pm 7.2	0.84	0.44
LAV V/mL					
LAV _{max}	63.7 \pm 10.6	66.9 \pm 12.6	66.9 \pm 17.4	0.29	0.75
LAV _{pre-a}	47.4 \pm 10.2	49.8 \pm 12.4	52.2 \pm 14.7	0.56	0.58
LAV _{min}	24.3 \pm 3.9	23.7 \pm 6.8	24.4 \pm 8.5	0.05	0.95
LA reservoir function					
LAEF _{total} (%)	61.4 \pm 6.2	64.7 \pm 7.0	64.2 \pm 7.5	1.03	0.36
ϵ_s (%)	46.6 \pm 10.1	48.4 \pm 14.6	42.8 \pm 9.8	0.93	0.40
SRs f/s^{-1}	1.4 \pm 0.4	1.4 \pm 0.5	1.5 \pm 0.7	0.21	0.81
LA conduit function					
LAEF _{passive} (%)	25.4 \pm 9.7	26.1 \pm 11.3	22.3 \pm 5.5	0.81	0.45
ϵ_e (%)	24.3 \pm 5.1	23.8 \pm 10.9	18.6 \pm 6.3*	2.54	0.09
SRe f/s^{-1}	-0.9 \pm 0.3	-0.9 \pm 0.4	-0.6 \pm 0.2** $\Delta\Delta$	5.79	<0.01
LA booster pump function					
LAEF _{active} (%)	47.7 \pm 8.9	51.9 \pm 8.4	54.1 \pm 8.9	2.17	0.13
ϵ_a (%)	22.3 \pm 9.6	24.5 \pm 10.5	24.2 \pm 7.7	0.25	0.78
SRa f/s^{-1}	-1.3 \pm 0.6	-1.3 \pm 0.4	-1.3 \pm 0.5	0.17	0.85

LVEDD: Left ventricular end-diastolic diameter; LVEDVI: Left ventricular end-diastolic volume index; LVESVI: Left ventricular end-systolic volume index; LVEF: Left ventricular ejection fraction; LAD-AP: Left atrial (LA) anteroposterior diameter; LAD-Trans: Left atrial transverse diameter; LAV: Left atrial volume; max: Maximum; min: Minimum; pre-a: Pre-active contraction; LAEF: Left atrial ejection fraction; ϵ_s : Total strain; ϵ_e : Passive strain; ϵ_a : Active strain; SRs: Peak positive strain rate; SRe: Peak early negative strain rate; SRa: Peak late negative strain rate. * $P<0.05$, ** $P<0.01$ vs age ≤ 29 years group; $\Delta\Delta P<0.01$ vs age 30-44 years group

2.4 左心室与左心房功能的相关性 左心室与 ϵ_s 、LAEF_{passive} 与 ϵ_e 、LAEF_{active} 与 ϵ_a 均呈正相关 ($r=0.77$ 、 0.74 、 0.77 , P 均 <0.01 , 图 2)。LVEDVI、LVESVI、LVEF 与左心房 LAEF、应变、应变率均无明显相关性 (P 均 >0.05) ; 而 LAEF_{total}

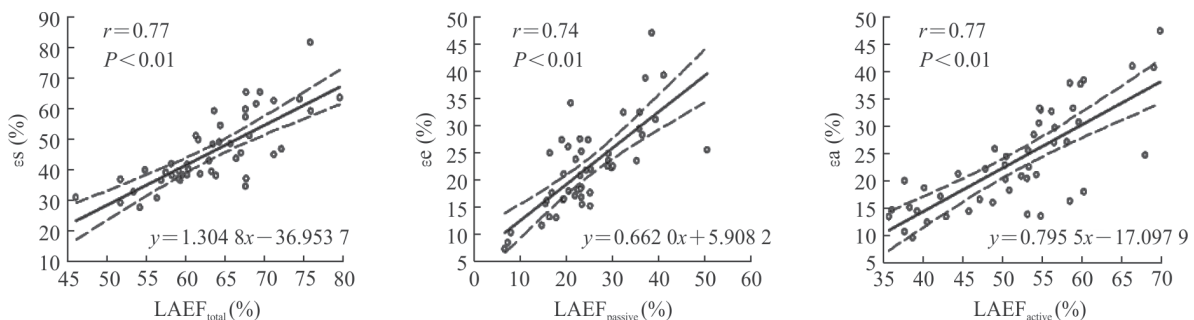


图 2 LAEF 与应变的相关性分析

Fig 2 Correlation analysis between LAEF and strain

There were significant positive correlations between LAEF_{total} and ϵ_s , LAEF_{passive} and ϵ_e , and LAEF_{active} and ϵ_a . LAEF: Left atrial ejection fraction; ϵ_s : Total strain; ϵ_e : Passive strain; ϵ_a : Active strain

2.5 可重复性及一致性检验 左心房前后径、左心房左右径、 LAV_{max} 、 LAV_{pre-a} 、 LAV_{min} 、 $LAEF_{total}$ 、 $LAEF_{passive}$ 、 $LAEF_{active}$ 、 ϵ_s 、 ϵ_e 、 ϵ_a 、 SRs 、 SRe 、 SRa 抽样组内相关系数分别为 0.98、0.98、0.98、0.98、

0.96、0.96、0.71、0.93、0.89、0.62、0.83、0.72、0.98、0.76。Bland-Altman 分析显示, 2 名医师评价左心房应变和应变率一致性的 15 个数据点仅有 1 个位于 95% 一致性界限之外(图 3)。

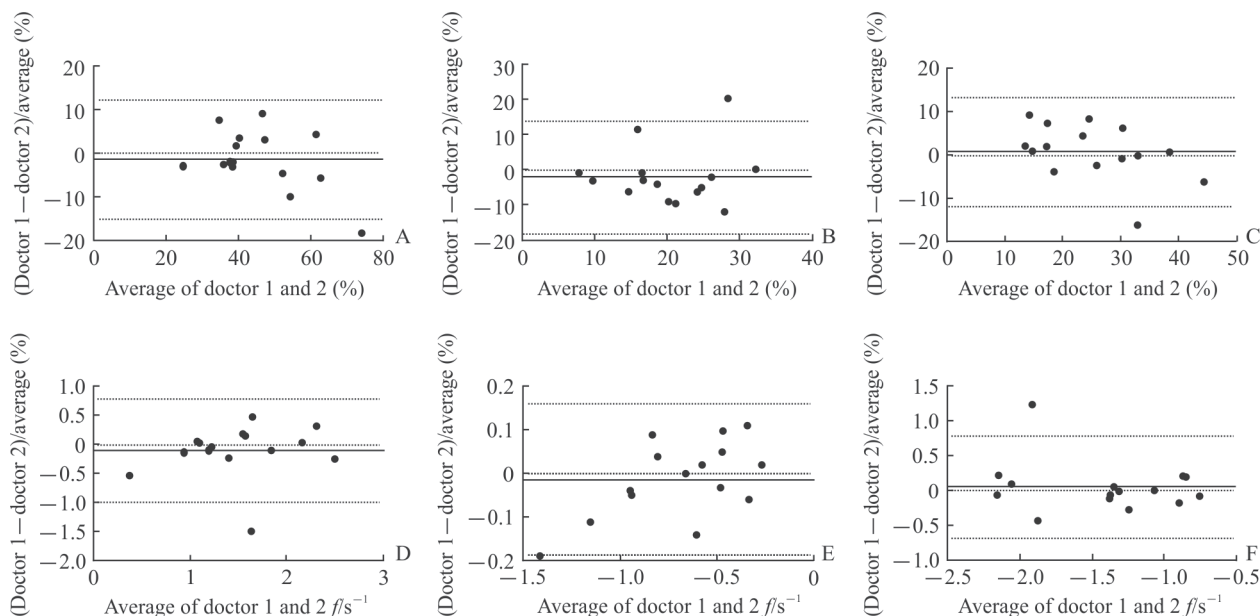


图 3 2 名观察者间左心房应变及应变率 Bland-Altman 一致性分析

Fig 3 Bland-Altman analysis of left atrial strain and strain rate between two observers

The solid lines represent the average of the observers; the dashed lines represent the 95% confidence interval of the difference (mean \pm 1.96 SD). A: Total strain; B: Passive strain; C: Active strain; D: Peak positive strain rate; E: Peak early negative strain rate; F: Peak late negative strain rate; SD: Standard deviation

3 讨论

在左心房功能的研究中, 左心房压力-容积(面积)关系被认为是最精准、最有代表性地反映左心房血流动力学改变的指标^[6], 但因检查方法有创, 且操作复杂、费用昂贵等缺点而未在国内外广泛推广。组织多普勒超声是无创评价心房功能最常用的方法, 但其具有易受声窗的限制、图像分辨率不高、观察者间变异性大、重复性差等缺点。超声斑点追踪技术是超声发展的新技术, 可全面地评价心肌应变, 但其软组织分辨率始终不及磁共振成像。心脏磁共振(cardiovascular magnetic resonance, CMR)已成为心血管疾病的主要检查手段之一, 不仅能直观地识别心脏形态学改变, 也能通过后处理技术定量功能指标, 特别是基于高空间分辨率的磁共振成像电影序列被认为是评估心室结构和功能的“金标准”^[7], 但由于心房壁薄且运动功能相对心室较为复杂, 直接在普通电影序列图像上评估受限。CMR 标记(tagging)成像被认为是无创评价心肌应变的标准方法, 其能通过

网格标记技术识别心肌组织结构, 但因心房壁薄超出了网格标记范围而未能推广。CMR-FT 技术是一种基于像素的图像后处理技术, 只在常规电影序列上就能追踪心动周期像素的位移情况, 从而定量分析心室壁运动情况, 评价心肌形变, 且不需要额外添加标记线, 具有良好的可重复性与一致性^[8]。已有大量研究肯定该技术可用于定量评价左心室功能, 近来亦有研究表明该技术同样适用于心房功能评价^[9]。所以本研究在高空间分辨率的磁共振成像电影序列上使用先进的 CMR-FT 后处理技术获得了中国人左心房的正常功能参数, 结果显示左心房的存储、导管及泵血功能在男性和女性之间差异没有统计学意义。而女性的左心房前后径、左右径及 LAV_{max} 、 LAV_{pre-a} 均小于男性, 说明女性在生理上左心房较男性偏小, 同样女性左心室亦小于男性。从年龄分组结果来看, 左心房的导管功能在不同年龄组间是存在差异的。 ≥ 45 岁高年龄组的左心房导管功能低于 ≤ 29 岁低年龄组及 30~44 岁中年年龄组, 这与 Peng 等^[10]的结果相符, 即随着年龄增长, 正常人左心室舒张功能逐步减弱, 舒张早期

左心室内压力逐渐增高,从而影响左心房的导管功能。

既往研究认为左心房功能异常继发于左心室功能异常^[1],而本研究通过相关分析发现,左心室 LVEDVI、LVESVI、LVEF 与 LAEF、左心房应变和应变率均无明显相关性,表明左心房与左心室的功能是相对独立的,在某些疾病累及左心室的同时也累及了左心房,左心房自身的异常导致了其功能的改变。

CMR-FT 的应变和应变率成像原理是通过判断心肌上两点之间的位移及位移速度,测定心房壁的运动及其受压力的形变能力评价心房功能。应变反映心肌的形变能力,应变率反映心肌形变的速度。在左心室收缩时左心房舒张,此时应变曲线快速上升到达峰值,代表左心房舒张时心肌的最大形变;应变率曲线因为心房舒张心肌纤维延伸而形成正向波,这个时期左心房的作用是存储肺静脉回流血液,实际上反映了左心房的舒张功能。然后左心室舒张早期左房室瓣开放,血液快速流入左心室,左心房容积减小,伸长的心肌纤维缩短,此时心房容积与心肌形变变化微小,应变曲线迅速下降进入平台期,应变率曲线上形成第 1 个负向波,此时的左心房充当肺静脉血液进入左心室的通道。随后左心室舒张晚期,左心房开始主动收缩将血液泵入左心室,心肌纤维再次短缩,应变曲线心肌形变下降至基线水平,于应变率曲线形成第 2 个负向波,到本期末为左心房的最小容积。由此可知,应变和应变率曲线都能清晰地显示左心房在心动周期中的舒张和收缩过程,因此可以较准确地反映左心房的功能变化。本研究的所有对象左心房应变和应变率曲线形态基本与文献^[5,12]相符。

目前国内外尚未有专门研究左心房功能正常值的报道,仅见某些与疾病对比的研究中提及。与 Kowallick 等^[5]的研究相比,本研究除了 LAV_{min} 及各项应变数据与其接近之外,其余的参数值均高于其 20%~40%,推测原因有以下 2 个方面:(1)亚洲人与欧美国家人群在生理结构上存在差异;(2)两项研究使用的后处理软件不同,数学模型存在差异。

本研究存在一定的局限性,样本量小,未能做到男女性别及年龄匹配;本研究仅对左心房整体应变及应变率进行分析,节段应变及应变率有待下一步研究。

[参 考 文 献]

- [1] HOIT B D. Assessing atrial mechanical remodeling and its consequences[J]. *Circulation*, 2005, 112: 304-306.
- [2] TANI T, YAGI T, KITAI T, KIM K, NAKAMURA H,

KONDA T, et al. Left atrial volume predicts adverse cardiac and cerebrovascular events in patients with hypertrophic cardiomyopathy[J/OL]. *Cardiovasc Ultrasound*, 2011, 9: 34. doi:10.1186/1476-7120-9-34.

- [3] XU H Y, CHEN J, YANG Z G, LI R, SHI K, ZHANG Q, et al. Early marker of regional left ventricular deformation in patients with hypertrophic cardiomyopathy evaluated by MRI tissue tracking: the effects of myocardial hypertrophy and fibrosis[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2017, 46: 1368-1376.
- [4] 陆敏杰,赵世华,蒋世良,尹刚,张岩,凌坚,等. 中国人心脏房室腔内径及左右心室功能正常参数的 MRI 研究[J]. *中华放射学杂志*, 2011, 45: 924-928.
- [5] KOWALLICK J T, KUTTY S, EDELMANN F, CHIRIBIRI A, VILLA A, STEINMETZ M, et al. Quantification of left atrial strain and strain rate using cardiovascular magnetic resonance myocardial feature tracking: a feasibility study[J/OL]. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2014, 16: 60. doi:10.1186/s12968-014-0060-6.
- [6] MATSUZAKI M, TAMITANI M, TOMA Y, OGAWA H, KATAYAMA K, MATSUDA Y, et al. Mechanism of augmented left atrial pump function in myocardial infarction and essential hypertension evaluated by left atrial pressure-dimension relation[J]. *Am J Cardiol*, 1991, 67: 1121-1126.
- [7] PENNELL D J. Cardiovascular magnetic resonance[J]. *Circulation*, 2010, 121: 692-705.
- [8] AUGUSTINE D, LEWANDOWSKI A J, LAZDAM M, RAI A, FRANCIS J, MYERSON S, et al. Global and regional left ventricular myocardial deformation measures by magnetic resonance feature tracking in healthy volunteers: comparison with tagging and relevance of gender[J/OL]. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2013, 15: 8. doi:10.1186/1532-429X-15-8.
- [9] EVIN M, CLUZEL P, LAMY J, ROSENBAUM D, KUSMIA S, DEFRANCE C, et al. Assessment of left atrial function by MRI myocardial feature tracking[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2015, 42: 379-389.
- [10] PENG J, ZHAO X, ZHAO L, FAN Z, WANG Z, CHEN H, et al. Normal values of myocardial deformation assessed by cardiovascular magnetic resonance feature tracking in a healthy Chinese population: a multicenter study[J/OL]. *Front Physiol*, 2018, 9: 1181. doi: 10.3389/fphys.2018.01181.
- [11] ROȘCA M, POPESCU B A, BELADAN C C, CĂLIN A, MURARU D, POPA E C, et al. Left atrial dysfunction as a correlate of heart failure symptoms in hypertrophic cardiomyopathy[J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2010, 23: 1090-1098.
- [12] BUSS S J, BREUNINGER K, LEHRKE S, VOSS A, GALUSCHKY C, LOSSNITZER D, et al. Assessment of myocardial deformation with cardiac magnetic resonance strain imaging improves risk stratification in patients with dilated cardiomyopathy[J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2015, 16: 307-315.

[本文编辑] 杨亚红