



女子拳击运动员心血管结构及功能的特征性变化

李颖慧, 石丽君*

摘要:目的:探究优秀女子拳击运动员心血管结构及功能的超声心动图特征,为女子拳击项目的运动员选材提供依据。方法:采用超声技术检查22名女子拳击运动员及15名普通女大学生的心血管结构及功能。结果:女子拳击运动员心率、收缩压与舒张压均低于普通组($P<0.05$);女子拳击运动员左室舒张末期内径(LVIDd)、左室收缩末期内径(LVIDs)、左心室舒张期后壁厚度(LVPWd)、左室舒张末期内径/体表面积(LVIDd/BSA)、左室收缩末期内径/体表面积(LVIDs/BSA)、左心室质量(LVM)、左心室质量指数(LVMI)、左室舒张末期容积(EDV)、左室收缩末期容积(ESV)、每搏量(SV)、心输出量(CO)及心指数(CI)均显著大于普通组($P<0.05$),但射血分数(EF)、左室短轴缩短率(FS%)显著小于普通组($P<0.05$);女子拳击运动员颈动脉、肱动脉、桡动脉、股动脉的横截面积以及肱动脉和股动脉的内径均显著大于普通组($P<0.05$),股动脉内中膜厚度高于普通组($P<0.05$);肱动脉内皮依赖性舒张功能(FMD)女子拳击运动员显著优于普通组($P<0.05$)。结论:优秀女子拳击运动员心血管的结构及功能在长期的训练后发生了适应性变化,表现在心室腔扩大、心室容量增加、动脉管腔的面积与内径增加,血管内皮舒张功能提高。

关键词:运动训练;拳击运动员;心血管结构;心血管功能

中图分类号:G804 文献标志码:A 文章编号:1006-1207(2019)06-0080-07

DOI:10.12064/ssr.20190612

The Characteristic Changes in Cardiovascular Structure and Function of Female Boxers

LI Yinghui, SHI Lijun*

(Beijing Sport University, Beijing 100084, China)

Abstract: Objective: To explore the echocardiographic characteristics of the cardiovascular structure and function of elite female boxers, and to provide a reference for the selection of female boxing talents. Subjects and methods: Echocardiography was used to study the cardiovascular structure and function of 22 female boxers and 15 ordinary female college students. Results: The heart rate and the systolic and diastolic blood pressure of the female boxers are lower than the control group ($P<0.05$). The LVIDd, LVIDs, LVPWd, LVIDd/BSA, LVIDs/BSA, LVM, LVMI, EDV, ESV, SV, CO and CI of the boxers are significantly higher than the control group ($P<0.05$), but the EF and FS are significantly lower than the control group ($P<0.05$). In addition, compared with the ordinary female, the cross-sectional area of carotid artery, brachial artery, radial artery, femoral artery and the inner diameter of brachial artery, femoral artery in the boxing group are all significantly larger than the control group ($P<0.05$). The IMT of femoral artery of the boxers is higher than that of the control group ($P<0.05$). The FMD of boxers is also significantly better than that of control group ($P<0.05$). Conclusion: The cardiovascular structure and function of elite female boxers have undergone adaptive changes after long-term training, featuring enlarged ventricular cavity, increased ventricular capacity, expanded arterial lumen area and inner diameter, and improved vascular endothelial diastolic function.

Key Words: athletic training; boxer; cardiovascular structure; cardiovascular function

收稿日期:2019-08-29

基金项目:中央高校基本科研业务费专项基金(2018PT009)。

第一作者简介:李颖慧,女,在读硕士研究生。主要研究方向:运动人体科学。E-mail:18811724524@163.com。

* 通讯作者简介:石丽君,女,博士,教授。主要研究方向:运动与心脑血管功能调控。E-mail:L_j_shi72@163.com。

作者单位:北京体育大学,北京 100084。



19世纪末发现“运动员心脏”以来,运动员心血管系统的相关研究成为运动医学领域关注的热点。心血管系统是机体生命活动的重要基础,其结构及功能影响人体运动能力,决定运动表现。运动员长期经历大强度的运动训练,其心血管系统发生了适应性重塑,表现在心血管结构及功能的改变,且这种重塑现象不仅仅发生于成年运动员,在青春期前,运动员经历短时间训练也可发生很明显的心脏重塑^[1-2]。拳击(Boxing)属于典型的格斗对抗性项群,该项目的竞技表现依赖于力量素质、速度素质以及耐力素质^[3]。力量和速度的有机结合是提高出拳效率的基本保证,耐力素质是维持高强度对抗以及抗疲劳的关键。拳击对抗对运动员心血管系统机能状态要求较高,运动员需在较短时间内最大程度地动员心脏泵血功能,以保障肌肉持续的高强度工作及机体的快速恢复,从而保证技战术水平的发挥。彩色多普勒超声诊断技术是测量、评价人体心血管结构及功能的重要手段,本研究采用超声技术对运动员进行超声心动图、动脉形态及血流动力学检查,以探究女子拳击运动员心血管系统的结构、功能特征,为教练员提供一种有价值的训练监控方法,并为我国女子拳击项目选材提供依据。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

研究对象为北京体育大学附属竞技体校22名女子拳击队员,平均年龄(20±4)岁,BMI为(21.62±3.08) kg/m²,其中3人为国际级运动健将、3人为国家级运动健将、6人为国家一级运动员、3人为国家二级运动员、7人无运动等级。每周训练内容包括耐力跑、打靶训练、大负荷力量训练、实战对抗等基础素质及技战术练习。另选取15名女性大学生为普通组,平均年龄为(22±2)岁,BMI为(20.29±1.89) kg/m²。普通组成员均为无规律运动习惯,均无心血管疾病及家族史。

1.2 研究方法

1.2.1 心脏结构、功能的测试方法与指标

采用美国GE VIVID7彩色多普勒超声诊断仪测试,具体操作如下:测试前,受试者半躺休息10 min,采用左侧卧位,用频率1.5~4.5 MHz的M4S凸弧探头,测试深度为4 cm,置于胸骨左侧第2到第5肋间,沿左心室长轴采用M型超声心动图测量形态结构指标(如图1a):室间隔舒张期厚度(IVSd)、室间隔收缩期厚度(IVSs)、左心室收缩期后壁厚度

(LVPWs)、左心室舒张期后壁厚度(LVPWd)、左室舒张末期内径(LVIDd)、左室收缩末期内径(LVIDs);左心室功能指标:左室收缩末期容积(ESV)、左室舒张末期容积(EDV)、心率(HR)、每搏量(SV)、每搏量指数(SVI)、射血分数(EF)、左室短轴缩短率(FS%)、心输出量(CO);并计算心脏衍生指标包括以下指标。

(1) 心指数 [CI=CO/BSA, BSA (m²)=0.0061 × 身高(cm)+0.0128×体重(kg)-0.1529]

(2) 左心室质量(Left ventricular mass, LVM(g))=0.8×1.04[(LVIDd+LVPWd+IVSd)³-LVIDd³]+0.6]

(3) 左心室质量指数(Left ventricular mass index, LVMI=LVM/BSA)

(4) 相对室壁厚度[Relative wall thickness, RWT(cm)]=2LVPWd/LVIDd]

1.2.2 血管结构、功能的测试方法与指标

动脉结构及血流动力学指标采用彩色多普勒超声诊断仪测试。受试者在动脉超声检测过程中均为仰卧位,采用频率为10 MHz的线阵式探头,分别对受试者颈动脉、肱动脉、桡动脉及股动脉以灰阶超声二维切面图观察血管的解剖结构,并以动脉舒张末期截图测量动脉横截面积及动脉内经、内中膜厚度(IMT)(见图1c、1d),计算经管腔面积校正的内中膜厚度(IMT-to-lumen),即IMT与动脉横截面积的比值,以避免动脉厚度的改变受到动脉横截面积变化的干扰。另外,采用血流多普勒技术测定动脉血管血流动力学指标(见图1b)。本研究通过测定肱动脉内皮依赖性舒张功能(Flow-mediated Dilation, FMD)来评价运动员血管内皮功能。具体操作:测量开始前,受试者仰卧位平躺15 min,肩部与测试台保持平齐,固定右臂并系好加压带。首先,对受试者进行基础血压的测量以确定加压值,之后使用超声探头找到受试者肱动脉位置,当显示器呈现清晰的肱动脉管腔后,对右前臂加压并开始肱动脉内径测量,在测量过程中不断校正肱动脉管腔内径,以获取更精确的测量结果。

1.2.3 统计学分析

采用SPSS21.0软件进行数据处理和统计学分析。在实际测量过程中,为最大限度减少测量误差,对每组图像进行3次测量,取其平均值,描述性结果以 $\bar{X} \pm SD$ 表示。两样本均数的比较采用独立样本T检验(Independent-Samples T Test),分析不同分组间心血管结构与功能指标间的差异,显著性水平 $\alpha=0.05$ 。

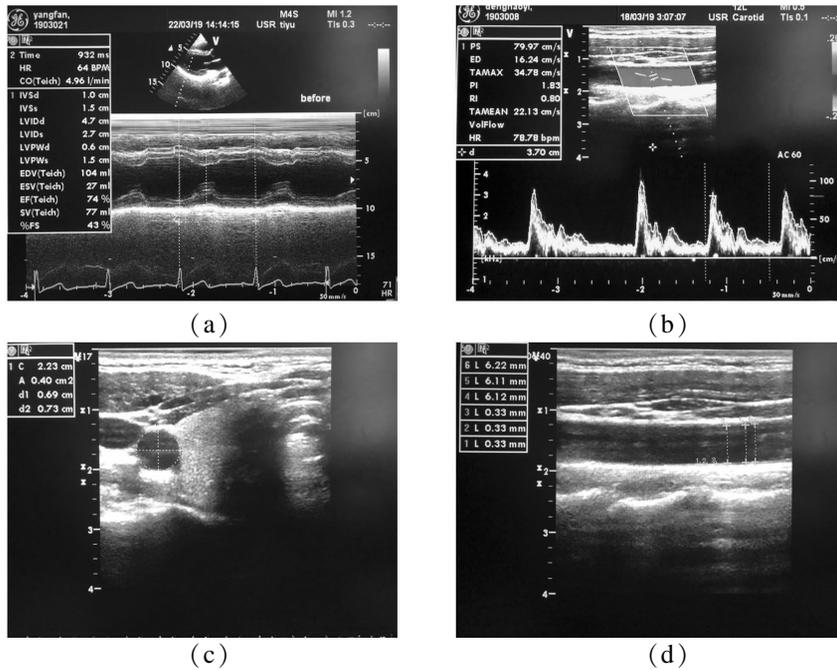


图 1 心血管结构及功能的检测示意图

Figure 1 Detection of the Cardiovascular Structure and Function

2 研究结果

2.1 女子拳击运动员心脏结构及功能的变化

2.1.1 心率及血压

如表 1 所示, 拳击运动员心率显著低于普通组 ($P < 0.01$); 动脉收缩压与舒张压也均低于普通组 ($P < 0.05$)。

表 1 拳击组与普通组心率、血压结果比较($\bar{X} \pm SD$)
Table I Comparison of Heart Rate and Blood Pressure between Boxing Group and Control Group ($\bar{X} \pm SD$)

指标	普通组(N=15)	拳击组(N=22)
心率/(b·min ⁻¹)	74.73±9.32	62.24±8.48**
收缩压/mmHg	121.86±16.61	110.71±9.34*
舒张压/mmHg	73.29±10.17	60.05±7.77**

注:* 表示拳击组与普通组相比差异具有显著性, $P < 0.05$;
** 表示拳击组与普通组相比差异具有非常显著性, $P < 0.01$

2.1.2 拳击运动员心脏结构的变化

如表 2 所示, 与普通组相比, 拳击组左心室结构特征表现如下: LVIDd、LVIDs、LVPWd 均显著大于普通组 ($P < 0.05$); 体表面积标准化后的形态指标 LVIDd/BSA、LVIDs/BSA 显著大于普通组, RWT/BSA 显著小于普通组 ($P < 0.05$); 此外, 拳击组的 LVM 及 LVMI 均显著大于普通组 ($P < 0.01$)。

表 2 拳击组与普通组左心室结构的比较($\bar{X} \pm SD$)

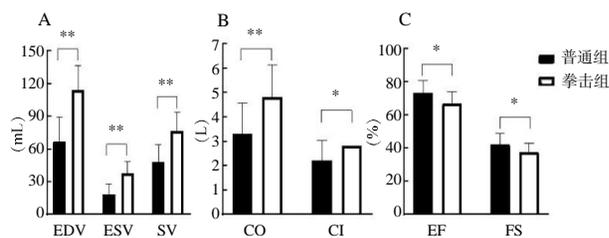
Table II Comparison of Left Ventricular Structure between Boxing Group and Control Group ($\bar{X} \pm SD$)

指标	普通组(N=15)	拳击组(N=22)
IVSd/cm	0.90±0.14	0.98±0.12
IVSd/BSA/(cm·m ²)	0.60±0.11	0.57±0.08
IVSs/cm	1.19±0.15	1.24±0.16
IVSs/BSA/(cm·m ²)	0.79±0.11	0.73±0.10
LVIDd/cm	3.91±0.56	4.90±0.44**
LVIDd/BSA/(cm·m ²)	2.60±0.41	2.88±0.30*
LVIDs/cm	2.31±0.44	3.06±0.37**
LVIDs/BSA/(cm·m ²)	1.53±0.31	1.80±0.24**
LVPWd/cm	0.85±0.15	0.97±0.17*
LVPWd/BSA/(cm·m ²)	0.57±0.11	0.57±0.11
LVPWs/cm	1.38±0.24	1.47±0.19
LVPWs/BSA/(cm·m ²)	0.92±0.16	0.86±0.11
RWT/cm	0.45±0.13	0.40±0.11
RWT/BSA/(cm·m ²)	0.30±0.09	0.24±0.07*
LVM/g	100.71±23.79	170.11±32.74**
LVMI/(cm·m ²)	67.31±17.00	99.42±15.73**

注:* 表示拳击组与普通组相比差异具有显著性, $P < 0.05$;
** 表示拳击组与普通组相比差异具有非常显著性, $P < 0.01$

2.1.3 拳击运动员左心室功能的变化

如图2所示,拳击组与普通组比较,其左心室功能指标有如下变化:拳击组EDV、ESV、SV、CO、CI显著高于普通组($P < 0.05$),而EF、FS低于普通组,且具有统计学差异($P < 0.05$)。



注:A为拳击运动员与普通组左室舒张末容量(EDV)、左室收缩末容量(ESV)及每搏输出量(SV)比较;B为拳击运动员与普通组心输出量(CO)及心指数(CI)比较;C为拳击运动员与普通组射血分数(EF)、左室短轴缩短率(FS)比较; * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

图2 拳击组与普通组左心室功能的比较

Figure 2 Comparison of Left Ventricular Function between Boxing Group and Control Group

2.2 女子拳击运动员血管结构及功能的变化

2.2.1 拳击运动员动脉结构的变化

如表3所示,拳击组与普通组相比,颈动脉、肱动脉、桡动脉、股动脉的横截面积均显著增大($P < 0.05$);拳击组肱动脉和股动脉内径显著大于普通组($P < 0.05$)。拳击组股动脉的内中膜厚度显著高于普通组($P < 0.05$);经动脉横截面积标准化后的内膜厚度拳击组与普通组之间无显著性差异。

表3 拳击组与普通组动脉结构的比较($\bar{X} \pm SD$)

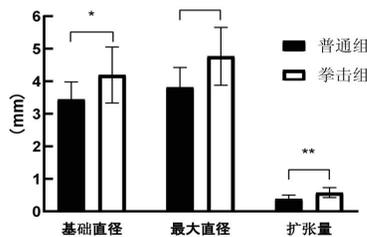
Table III Comparison of Arterial Structure between Boxing Group and Control Group ($\bar{X} \pm SD$)

指标	普通组(N=15)	拳击组(N=22)	
颈动脉	横截面积/cm ²	0.35±0.04	0.43±0.09*
	内径/mm	5.85±0.40	6.02±0.59
	IMT/mm	0.39±0.07	0.40±0.08
IMT-to-Lumen	1.13±0.24	1.00±0.28	
肱动脉	横截面积/cm ²	0.09±0.02	0.16±0.04**
	内径/mm	3.00±0.39	3.57±0.85*
桡动脉	横截面积/cm ²	0.04±0.01	0.05±0.01**
	内径/mm	1.94±0.54	2.06±0.31
股动脉	横截面积/cm ²	0.48±0.10	0.65±0.14**
	内径/mm	6.37±1.70	7.63±1.84*
	IMT/mm	0.40±0.13	0.47±0.09*
	IMT-to-Lumen	0.87±0.37	0.77±0.22

注:*表示拳击组与普通组相比差异具有显著性, $P < 0.05$;
**表示拳击组与普通组相比差异具有非常显著性, $P < 0.01$

2.2.2 拳击运动员血管内皮功能的变化

如图3所示,拳击组与普通组相比,血管基础直径、血管扩张后最大直径以及管径扩张量均显著大于普通组($P < 0.05$);拳击组的FMD值($14.29\% \pm 3.02\%$)显著高于普通组($10.85\% \pm 3.04\%$)($P < 0.05$)。



注:基础直径、最大直径指FMD监测时,肱动脉加压前后的血管内径; * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$

图3 拳击组与普通组血管舒张前后管径对比

Figure 3 Comparison of Blood Vessel Diameter before and after Vasodilation between Boxing Group and Control Group

3 分析讨论

运动训练诱导心血管系统重塑一直受到广泛的关注。运动员心血管系统不同于普通人群,心血管结构及功能发生适应性改变以适应专项训练,且这种变化程度与运动年限及训练强度有关。人体长期接受系统的运动刺激后逐渐形成具有明显结构功能特征的心脏及动脉,称之为“运动员心脏”和“运动员动脉”。Morganroth等认为,不同类型运动员心脏所承受的血流动力学超负荷类型不同,而心血管血流动力学负荷的差异是不同类型及强度的训练所导致^[4]。因此,不同的运动训练导致运动员心血管结构及功能重塑的差异。传统的研究认为,耐力性项目运动员心脏以心腔内径扩大为主,伴有心壁增厚,称为离心性肥大;力量项目运动员心脏大多以心壁增厚为主,称为向心性肥大^[5]。但Haykowsky等研究发现,优秀男子举重运动员经历长期运动训练并未使左心室结构发生改变^[6]。可见,运动训练对运动员心血管系统的影响存在争议,尚待进一步研究。拳击的项目特征要求运动员必须具备良好的耐力素质以及持续爆发力^[7],以维持10 min左右的肌肉高强度工作。拳击运动员的无氧能力决定出拳的速度及力度,有氧能力则是持久对抗、抵抗疲劳、加速机体恢复过程的基础。可见,拳击项目对运动员心血管系统机能状态要求较高,需在较短时间内最大程度上动员心脏泵血功能,拳击运动员的心血管结构及功能的重塑与其项目特点紧密关联。



3.1 运动训练对女子拳击运动员心脏结构功能的改变

对女子拳击运动员心率、血压的测量结果显示,拳击运动员安静时的心率明显低于普通人群,表明拳击运动员具有较好的心力储备,经过长期的运动训练运动员心率减慢,由于具备较高的每搏量使运动员最大限度地节省能量。处于运动状态时,运动员心力储备快速动员,心率加快,心输出量提高,极大程度动员心脏泵血功能。血压的产生是由心脏射血(心输出量)与动脉阻力共同决定,一些研究发现运动员血压高于普通人^[8],而张佑琰对35名男性中长跑运动员的血压测量结果显示,安静状态下,运动员的收缩压及舒张压均显著低于对照组,与本文结果一致^[9]。可见,目前对于运动员血压的监测结果并不一致,结果的差异可能由于研究对象运动项目、性别等不同,也缘于关于运动员安静时血压变化机制的争议。本研究对拳击运动员的心脏结构的测试结果发现拳击运动员的LVIDd、LVIDs、LVPWd显著大于普通组,为避免体型的影响,经体表面积标准化后的LVIDd/BSA、LVIDs/BSA仍显著大于普通组,RWT/BSA则小于普通组,可见女子拳击运动员的左心室发生了以心室腔增大为主的心脏重塑,心室重量增加,并且呈现左室后壁增厚趋势,即长期耐力性、大负荷力量训练后,拳击运动员左心室发生适应性肥大。国内外学者关于运动训练对运动员左心室形态结构的重塑作用进行了大量研究,不同项目运动员的心脏结构特征有差异,但运动员左室舒张和收缩末期内径、室间隔舒张期厚度、左心室质量明显大于普通人群,可见运动训练确实导致左心室肥大^[10-13]。而本研究拳击运动员的心室壁厚度未见增厚,可能在安静状态下运动员与普通人的心室充盈程度不同,不同的心室充盈状态影响心室壁厚度,因此,测量心室壁厚度时要考虑心室充盈程度的影响,以提高测量的准确性。

运动员心脏功能特点是心脏的做功效率高、储备能力好。拳击运动员EDV、ESV、SV、CO均高于普通人群,表明拳击运动员的左室容量较大,有益于心室泵血,较高的每分输出量及心指数也是心脏泵血能力的体现;安静状态下较低的心率便可以保证较高的每分输出量,可见在系统的专项训练后拳击运动员在维持正常能量代谢的同时最大化地实现能量节省。近年来,国内研究均得到一致结果,运动员安静状态时,心率低,每搏输出量、每分输出量、心指数增大,在运动过程中心脏泵血功能优于普通人群^[11,13]。

运动员的EF、FS与普通人的差异方面存在争议。本研究发现拳击运动员的EF、FS%显著低于普通组。高晓麟等在女子优秀橄榄球运动员左心室功能研究中发现,橄榄球组EF、FS%均显著低于对照组,该结果与本研究一致^[13]。但是廖红娟等对男子赛艇运动员心脏结构功能监测发现,安静状态下,运动员组的心脏泵血功能显著高于普通组,但两组EF、FS无显著性差异^[12]。运动员左心室射血分数及左室短轴缩短率一定程度上反映左室收缩功能,但并不代表拳击运动员左室收缩功能低于普通组,其原因是安静状态下运动员左室收缩能力节省化,尽管运动员安静时左室收缩力较小,但较大的心室容量也可以保证泵血,但在运动过程中运动员可以最大限度动员左室收缩功能。蔡建应用TDI技术评价对拳击运动员静息状态下左室功能,发现运动员的左室壁心肌舒张功能优于普通人群,且心脏收缩功能也有提高的趋势^[14]。因此,运动员安静状态下的心脏收缩功能不能仅采用EF、FS%评定,且运动员的心脏功能还需要结合左室舒张功能综合评价,今后负荷状态下的心脏功指标变化规律将成为评价运动员整体心脏功能的有效手段。

3.2 女子拳击运动员动脉结构功能的重塑

运动训练也对运动员动脉产生一定的影响。女子拳击运动员的四肢动脉横截面积均明显大于普通人群,且肱动脉和股动脉的内径增大,表明运动员在长期运动训练时血管壁接受重复剪切应力作用,诱导发生了结构重塑。人体的阻力动脉和导管动脉均会因运动训练而发生相应的结构重构,动脉直径重构受局部机制调节,表现为横截面积增大,血管扩张能力增加,而动脉壁厚度则受到系统整合作用的影响,但关于动脉管壁厚度变化的具体情况存在争议。Karagounis等研究发现运动诱导优秀柔道运动员的动脉发生适应性变化,与普通人群比较,优秀柔道运动员的肢体动脉直径大,动脉血流速度快^[15]。孙华灵等研究发现不同项目运动员与健康青年组相比,动脉管径增大、壁厚下降,且用力侧与非用力肢体动脉结构也存在差异^[16]。动脉管腔面积以及内径的增大与运动员血管长期接受持续的剪切力有关,也受内皮的慢性变化影响^[17-18],血液与管壁的摩擦力、管壁通透性以及凝血均受到血管内皮的调节,主要通过血管局部代谢反应来重塑动脉管径^[19]。内皮在血管结构的调控中起重要作用,动脉重构是内皮细胞剪切应力局部变化的一种反应,内皮功能的提高是通过运动增强内皮一氧化氮合酶(eNOS)表达,eNOS



磷酸化表达、苏氨酸激酶磷酸化表达等实现^[19-20],这表明剪切力对血管管腔的调节依赖于NO调节轴。运动训练影响血流动力学指标,肌细胞收缩时对血管的牵拉刺激 NO/eNOS、成纤维细胞生长因子-2 (FGF-2)等信号系统,从而导致血管扩张、再生及重构。拳击项目的站架分为左右两种,为探究拳击前后手出拳是否对运动员左右两侧的动脉产生影响,本文对拳击运动员左右侧颈动脉、肱动脉、桡动脉、股动脉的结构进行测量,发现各动脉左右侧的横截面积、内径及壁厚均无显著性差异,表明尽管拳击运动员可能由于拳击站架影响到左右上肢出拳次数不同,但是在日常力量训练中大多采用双侧用力的方式,所以两侧肢体的动脉重塑没有差异。

肱动脉内皮依赖性舒张功能(FMD)评价运动员血管内皮功能时,发现拳击运动员的FMD值显著高于普通组,运动员的血管内皮舒张功能优于普通人群,可见长期的拳击运动提高了运动员的血管功能。在肱动脉内皮依赖性舒张功能测试时,发现运动员肱动脉的基础直径及扩张后的最大直径显著大于普通人,与本文血管超声测试结果一致,运动员动脉的扩张量显著大于普通人群,也充分反映了其动脉的弹性功能的增强。因此,规律的体育运动能够改善血管的顺应性,保护动脉功能,延缓动脉硬化。王禾等对女子拳击运动员血清NO及NOS活性研究发现,拳击运动员的血清NO及NOS活性基础值高于普通女性,说明系统训练有效地改善了血管内皮功能^[21],与本研究结果一致。Kasikcioglu报道,进行长期有氧运动的运动员具有较高的FMD值,说明有氧运动产生了较好的血管适应^[22]。然而,赖钦豪在对男子摔跤运动员血管功能进行研究后,发现摔跤运动员的肱动脉基础直径和最大直径虽都明显大于非运动员,但FMD值无显著性差异^[23]。FMD值受神经、激素的调节,不同年龄、性别、训练类型均影响血管内皮的舒张功能。血管剪切应力与内皮的慢性变化影响动脉重构,且运动中血管的剪切应力变化是运动诱导血管FMD功能增强的因素。此外,合理的运动训练可以提高冠状动脉疾病患者的血管内皮功能,而增强血管功能,有助于动脉疾病的恢复^[24-25]。

女子拳击运动员在长期的运动训练后心血管结构及功能发生了生理性重塑,重塑特征与拳击项目的训练模式相适应;拳击运动员心血管系统发生的适应性变化有利于比赛训练及提高运动成绩。

4 小结

“运动员心脏”及“运动员动脉”是运动生理学的

重要研究领域。通过超声技术检测心脏、血管结构及功能的特征,发现女子拳击运动员心脏的结构及功能出现适应性变化,包括心室腔扩大、心室容量增加,心脏泵血功能增强,同时,女子拳击运动员动脉发生了重塑,表现在动脉管腔面积增大、内径增加,血管内皮舒张功能增强。因此,长期运动训练导致女子拳击运动员的心血管系统的结构和功能出现了良好适应性变化。

超声诊断技术可对运动员心脏、血管的结构功能进行较好的量化研究,具有无创、稳定性较好、可重复测量的优点,在运动员心血管系统的研究中发挥重要作用,同时也可以应用于女子拳击运动员选材。

参考文献:

- [1] Zdravkovic M., Perunicic J., Krotin M., et al. Echocardiographic study of early left ventricular remodeling in highly trained preadolescent footballers[J]. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 2010, 13(6):602-606.
- [2] Krustup P., Hansen P. R., Nielsen C. M., et al. Structural and functional cardiac adaptations to a 10-week school-based football intervention for 9-10-year-old children[J]. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 2014, 24:4-9.
- [3] 陈超,王德新,吴国栋,等.新规则下拳击运动项目特征研究[J].*体育科学*,2018,38(10):91-99.
- [4] Morganroth J., Maron B. J., Henry W. L., et al. Comparative Left Ventricular Dimensions in Trained Athletes[J]. *Annals of Internal Medicine*, 1975, 82(4):521-524.
- [5] Galderisi M., Cardim N., D'Andrea A., et al. The multi-modality cardiac imaging approach to the Athlete's heart: an expert consensus of the European Association of Cardiovascular Imaging[J]. *European Heart Journal Cardiovascular Imaging*, 2015, 16(4):300-306.
- [6] Haykowsky M. J., Teo K. K., Quinney A. H., et al. Effects of long term resistance training on left ventricular morphology[J]. *Canadian Journal of Cardiology*, 2000, 16(1):35-38.
- [7] 巴义名.我国优秀男子拳击运动员竞技能力特征及选材标准的研究[D].北京:北京体育大学,2007.
- [8] 强大平,段文杰,杨建昌,等.女子中长跑运动员渐增负荷状态下动脉血压与心率的变化特征[J].*西安体育学院学报*,1990(4):53-59.
- [9] 张佑琰,吴明芳.用心率、血压、肺活量指数评价运动对大学生身体机能影响的方法[J].*安徽体育科技*,1995(2):29-32.
- [10] Moro A. S., Okoshi M. P., Padovani C. R., et al. Doppler



- echocardiography in athletes from different sports[J]. *Medical Science Monitor: International Medical Journal of Experimental and Clinical Research*, 2013, 19(1):187-193.
- [11] 陈剑,徐明,金坤.优秀游泳运动员心脏形态及功能的超声心动图特征[J].*体育科研*,2019,40(2):86-90.
- [12] 廖红娟,孙娟,李吉如,等.男子赛艇运动员心脏结构和功能的变化特征[J].*湖北体育科技*,2018,37(9):37-39.
- [13] 高晓麟,郑红军,徐辉,等.中国优秀女子橄榄球运动员心脏超声心动图特征[J].*中国运动医学杂志*,2013,32(9):771-774.
- [14] 蔡建.基于数字成像技术对拳击运动员心脏功能评价[J].*山东体育科技*,2015(4):69-71.
- [15] Karagounis P., Maridaki M., Papaharalampous X., et al. Exercise-induced arterial adaptations in elite judo athletes [J]. *Journal of Sports Science and Medicine*, 2009, 8(3): 428-434.
- [16] 孙华灵,石丽君.不同项目运动员的动脉适应性变化[J].*体育科学*,2014, 34(10):52-58.
- [17] Prior B. M., Lloyd P. G., Yang H. T., et al. Exercise-Induced Vascular Remodeling [J]. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 2003, 31(1):26-33.
- [18] Tronc F. Role of NO in flow-induced remodeling of the rabbit common carotid artery[J]. *Arterioscler. Thromb. Vase. Biol.*, 1996, 16(10):1256-1262.
- [19] Vita J. A., Holbrook M., Palmisano J., et al. Flow-induced arterial remodeling relates to endothelial function in the human forearm[J]. *Circulation*, 2008, 117(24): 3126-3133.
- [20] Tinken T. M., Thijssen D. H. J., Hopkins N., et al. Shear Stress Mediates Endothelial Adaptations to Exercise Training in Humans[J]. *Hypertension*, 2010, 55(2):312-318.
- [21] 王禾,霍东升.运动训练对女子拳击运动员血清 NO、NOS 活性影响的研究[J].*沈阳体育学院学报*,2006(5): 60-61.
- [22] Kasikcioglu E., Oflaz H., Kasikcioglu H. A., et al. Endothelial flow-mediated dilatation and exercise capacity in highly trained endurance athletes[J]. *Tohoku Journal of Experimental Medicine*, 2005, 205(1):45-51.
- [23] 赖钦豪.摔跤运动员的动脉适应性及性别化差异研究[D].广州:广州体育学院,2018.
- [24] Windecker S., Allemann Y., Billinger M., et al. Effect of endurance training on coronary artery size and function in healthy men: an invasive followup study[J]. *American Journal of Physiology Heart & Circulatory Physiology*, 2002, 282(6):H2216-2223.
- [25] Hambrecht R. Regular physical activity improves endothelial function in patients with coronary artery disease by increasing phosphorylation of endothelial nitric oxide synthase[J]. *Circulation*, 2003, 107(25):3152-3158.

(责任编辑:刘畅)