

# 耐力训练对青少年长跑运动员右心室收缩功能的影响

杨晨曦 胡毛珠 申锐 顾佳宁 杨奕清 徐迎佳

**【摘要】 目的:**观察 1 次较长时间的耐力训练对青少年长跑运动员的右心室收缩功能的影响。**方法:**本研究入选 40 例接受正规体校中长跑统一训练的 15~18 岁运动员,在适宜条件下进行匀速跑耐力训练,时间约 90 min。在运动员开始训练前 30 min 以及训练结束后 30 min 内分别进行经胸超声心动图检查,并在训练前后留取静脉血样测定肌钙蛋白 I (TnI) 和 N 末端脑钠肽前体 (NT-proBNP),比较训练前后各指标变化。**结果:**与训练前相比,训练后青少年运动员右室射血分数 (RVEF) 显著下降 [(47.6±4.36)% 对 (52.1±3.37)%],血清 TnI [(0.019±0.024) ng/mL 对 (0.145±0.11) ng/mL] 及 NT-proBNP [(16.14±4.15) pg/mL 对 (44.4±22.6) pg/mL] 均显著上升,且右室射血分数的改变 ( $\Delta$ RVEF) 与年龄呈负相关 ( $r=-0.525$ ,  $P=0.001$ ),与训练后 TnI 呈正相关 ( $r=0.588$ ,  $P=0.001$ )。**结论:**青少年运动员在 1 次长时间的耐力运动后会出现右室收缩功能不全,伴 TnI 及 NT-pro BNP 的升高。年龄越小的运动员,右心室收缩功能下降的程度越高。

**【关键词】** 耐力训练;心脏超声;右心室功能不全

doi: 10.3969/j.issn.1673-6583.2022.04.015

运动员因长期训练而出现的一系列心脏结构改变常被称为“运动员心脏”。既往研究主要聚焦在运动员左心室的改变,已证实长期训练可导致左心室出现以心肌肥厚为主的重构,并可引起心律失常<sup>[1-3]</sup>。然而,少有研究关注运动员右心室功能的改变。右心室心肌较左心室薄弱,对心室压力负荷的变化更加敏感。在高强度训练时,心输出量急剧上升,运动员的肺动脉压力也相应升高<sup>[4]</sup>,右心室也因后负荷增加而扩大。如训练时间较短,右心室扩张在休息后可快速恢复。有研究发现运动员在长时间耐力运动(如马拉松)后,右心室收缩及舒张功能出现可逆性下降,即“心肌顿抑”<sup>[5]</sup>。也有研究证实长期高强度训练可导致右心室心肌永久性纤维化,成为诱发恶性心律失常的基础<sup>[6]</sup>。以往的相关研究主要针对成年运动员,尚无青少年运动员的相关资料。本研究主要观察耐力训练对青少年长跑运动员右心室收缩功能的影响。

## 1 对象及方法

### 1.1 研究对象

连续入选 40 例在上海市松江区体育训练中心接受统一正规中长跑训练的 15~18 岁青少年长跑运动员,并在入选前经 24 h 长程心电图和心脏超声检查排除先天性心脏病、心肌病以及恶性心律失常。所有入选者被详细告知研究方案及相关风险后,均需由本人及其法定监护人自愿签署书面知情同意书。本研究符合医学伦理规范并经过上海市第五人民医院医学伦理委员会批准。

### 1.2 方法

**1.2.1 经胸超声心动图** 在运动员开始训练前 30 min 和训练结束后 30 min 内分别进行经胸超声心动图检查。采用标准探查切面全面评估心脏二维影像。使用 Simpson 双平面法测定左、右心室舒张末期和收缩末期容积,射血分数定义为舒张末期容积与收缩末期容积之间的差占舒张末期容积的百分比。根据二尖瓣瓣叶水平的心尖长轴切面评估早期 (E) 和晚期 (A) 左心室充盈速度峰值,并推导出 E 与 A 的比值。在心尖四腔切面上追踪右室舒张末期和收缩末期面积,并推导出面积变化分数 (FAC)。

基金项目:上海市体育科技综合计划 (21C010)

作者单位:200040 复旦大学附属上海市第五人民医院心内科(杨晨曦,顾佳宁,徐迎佳,杨奕清,申锐);201699 上海市松江区体育训练中心(胡毛珠)

通信作者:徐迎佳, E-mail: xuyingjia@5thhospital.com

1.2.2 血液生化指标 在运动员开始训练前 30 min, 训练结束后 3 h 采集受试者静脉血 3 mL, 经离心分离血清, 使用 E170 全自动生化分析仪测定肌钙蛋白 (TnI) 和 N 末端脑钠肽前体 (NT-proBNP)。

1.2.3 训练方案 所有运动员耐力训练课均在室外, 气温 20~30 °C 下进行。训练开始前进行 5~10 min 慢跑及拉伸准备。训练正式开始后以 4 m/s 的最低配速匀速跑 8 000 m, 结束后短暂休息 1~2 min, 再次匀速跑 4 000 m, 休息 1~2 min 后再以自己全力跑 4 000 m, 结束训练。训练过程中如发现队员出现力竭、动作变形等, 教练应及时终止训练。

### 1.3 统计学分析

采用 Kolmogorov-Smirnov 检验分析所有数据是否符合正态分布。连续变量以均数 ± 标准差表示, 分类变量以例数 (百分比) 表示。男、女队员基线数据通过独立样本 *t* 检验比较, 训练前、后超声心动图及血清学检测数据通过配对 *t* 检验比较, 以 Spearman 相关性分析基线数据及血清学指标变化与右室射血分数的改变 ( $\Delta$ RVEF) 的关系。检验显著性定义为双侧  $P < 0.05$ 。

## 2 结果

### 2.1 基线数据

40 名中长跑项目运动员, 平均年龄 ( $167 \pm 0.94$ ) 岁, 其中男性 25 名 (62.5%)。男性运动员的身高 [ $(178.2 \pm 2.0)$  cm 对  $(172.3 \pm 1.53)$  cm], 体质量 [ $(67.70 \pm 3.06)$  kg 对  $(56.50 \pm 2.26)$  kg], 体表面积 [ $(1.93 \pm 0.46)$  m<sup>2</sup> 对  $(1.76 \pm 0.33)$  m<sup>2</sup>], 体质量指数 (BMI) [ $(21.30 \pm 0.69)$  对  $(19.04 \pm 0.73)$ ] 均高于女性运动员 ( $P$  均  $< 0.05$ )。

在运动员训练前 30 min 采集基线数据, 代表左右心室容量、收缩及舒张功能, 室壁厚度等指标, 男女运动员之间比较无统计学差异。运动员的左室壁平均最大厚度达 10 mm, 较同龄人已出现一定程度的增厚。4 名运动员 (男、女各 2 名) 出现 TnI 轻度升高, 其他人均在可检测范围以下。所有运动员 NT-proBNP 均在正常范围内。

### 2.2 运动前后各项指标比较

经过长时间耐力训练 (约 90 min), 稍事休息于运动后半小时内进行超声心动图检查。与训练前相比, 右室舒张末期容量 (RVEDV)、右室收缩末期容量 (RVESV) 均显著增加, 而左室舒张末期容量 (LVEDV)、左室收缩末期容量 (LVESV) 均显著减少。右室射血分数 (RVEF) 显著降低,

而左室射血分数 (LVEF) 略有上升。右室面积变化分数 (RVFAC) 也显著降低。

训练后运动员的 TnI 和 NT-proBNP 水平均显著上升, 1 名 16 岁男队员的 NT-proBNP  $> 125$  pg/mL, 其余均在正常范围内。见表 1。

表1 训练前后各项指标比较

	训练前	训练后	<i>P</i>
RVEDV/mL	152.20 ± 17.16	160.10 ± 27.19	<0.001
LVEDV/mL	136.50 ± 13.45	131.33 ± 16.60	0.006
RVESV/mL	73.07 ± 10.20	83.76 ± 18.00	<0.001
LVESV/mL	46.73 ± 6.45	43.90 ± 6.77	0.01
RVEF/%	52.10 ± 3.37	47.60 ± 4.36	<0.001
LVEF/%	65.70 ± 4.10	66.40 ± 4.70	0.134
RVFAC/%	49.30 ± 3.51	44.8 ± 3.10	<0.001
TnI/ng · mL <sup>-1</sup>	0.019 ± 0.024	0.145 ± 0.11	<0.001
NT-proBNP/pg · mL <sup>-1</sup>	16.14 ± 4.15	44.40 ± 22.60	<0.001

### 2.3 相关性分析

将运动员训练前后 RVEF 的差值记为  $\Delta$ RVEF, 训练前后 RVFAC 的差值记为  $\Delta$ RVFAC。分析各基线数据以及训练后血液指标与  $\Delta$ RVEF 的相关性。结果发现  $\Delta$ RVEF 与年龄呈负相关 ( $r = -0.525$ ,  $P = 0.001$ ), 与训练后 TnI 呈正相关 ( $r = 0.588$ ,  $P = 0.001$ ), 与  $\Delta$ RVFAC 呈正相关 ( $r = 0.778$ ,  $P = 0.013$ ); 而身高、体质量、体表面积、体质量指数 (BMI)、NT-proBNP、LVEF、LVWT 等与  $\Delta$ RVEF 无明显相关性。进一步分析各指标与训练后 TnI 的相关性发现, 训练后 TnI 不仅与  $\Delta$ RVEF 呈正相关, 还与年龄呈负相关 ( $r = -0.586$ ,  $P = 0.001$ )。

## 3 讨论

既往认为, 运动员心脏的结构改变是人体对高强度运动负荷的适应性改变, 属于正常生理现象。随着现代运动医学的发展, 过度运动导致的不良事件尤其是心律失常及心源性猝死越来越受到关注<sup>[7]</sup>。有研究显示, 耐力项目运动员心房颤动 (房颤) 的发生率是普通人群的 5.3 倍<sup>[8]</sup>, 房颤的发生率与运动量之间存在 U 型曲线关系, 即轻、中度训练可有效预防房颤, 而长期高强度耐力训练则会增加房颤的风险<sup>[9]</sup>。也有研究发现, 马拉松爱好者发生室性早搏及室性心动过速的风险较高<sup>[10]</sup>。

国外研究发现大强度长时间耐力运动后,运动员右室出现可逆性收缩功能下降。心脏核磁共振研究证实,存在心肌延迟钆增强的运动员从事耐力运动项目的时间更长,在长时间耐力运动后右室的心肌顿抑程度也更高<sup>[6]</sup>。由此推测,虽然高强度耐力运动后右心室扩大及心肌顿抑现象在 24~48 h 内可逆,但长期训练仍可导致右心室心肌不可逆性重构,纤维化,甚至成为诱发恶性心律失常的病理基础。

青少年心脏发育尚未成熟,心肌较薄弱,易受长时间高压负荷的影响。本研究发现,在 90 min 的匀速跑耐力训练后,所有青少年运动员的右心室均出现不同程度增大,伴 RVEF 和 RVFAC 的下降,但 LVEF 未见显著改变,这与之前对成人的研究结果相似。我们还观察到 RVEF 的变化程度及训练后 TnI 水平与运动员年龄呈显著负相关,由此推测,年纪越小的运动员因心肌发育尚不完善,在相同强度的训练下,其右心室更易受到高负荷的影响而出现心肌顿抑。

虽然训练后 TnI 及 NT-proBNP 水平均升高,但 RVEF 下降的程度仅与训练后 TnI 升高程度呈正相关。在过去的研究中,因缺乏运动员训练后 TnI 升高与左心室功能之间存在相关性的证据<sup>[11]</sup>,在剧烈运动后 TnI 升高的运动员中进行心脏核磁共振延迟钆增强检查也并未发现心肌损伤证据,因此,普遍认为运动后 TnI 升高并不能证明运动员心肌受损<sup>[12-13]</sup>。然而,在本研究中,TnI 的升高与 RVEF 的下降显著相关,提示 TnI 的升高与心肌尤其是右心室心肌的损伤有关。

在既往关于成人运动后右室功能出现下降的研究中,研究者多选取马拉松、铁人三项、公路自行车等极限耐力运动员作为研究对象,运动时间多在 3~10 h<sup>[14]</sup>。本研究中的青少年运动员在 90 min 训练后即出现右心室功能下降,也从侧面表明青少年运动员对长时间耐力运动的适应能力较差。

本研究虽然观察到训练后运动员 TnI 及 NT-proBNP 均显著升高,但不能排除运动训练后血液浓缩的影响。另外,样本量较少,且没有长时间随访观察青少年时期的高强度运动训练对成年后发生心律失常的影响。

#### 参 考 文 献

[1] Mont L, Pelliccia A, Sharma S, et al. Pre-participation cardiovascular evaluation for athletic participants to prevent

sudden death: Position paper from the EHRA and the EACPR, branches of the ESC. Endorsed by APhRS, HRS, and SOLAECE[J]. *Europace*, 2017, 19(1):139-163.

- [2] James CA, Bhonsale A, Tichnell C, et al. Exercise increases age-related penetrance and arrhythmic risk in arrhythmogenic right ventricular dysplasia/cardiomyopathy-associated desmosomal mutation carriers[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2013, 62(14):1290-1297.
- [3] La Gerche A, Burns AT, Taylor AJ, et al. Maximal Oxygen consumption is best predicted by measures of cardiac size rather than function in healthy adults[J]. *Eur J Appl Physiol*, 2012, 112(6):2139-2147.
- [4] La Gerche A, Heidbüchel H, Burns AT, et al. Disproportionate exercise load and remodeling of the athlete's right ventricle[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2011, 43(6):974-981.
- [5] Stewart Gerche M, Yamada A, Haseler LJ, et al. Altered ventricular mechanics after 60 min of high-intensity endurance exercise: insights from exercise speckle-tracking echocardiography[J]. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*, 2015, 308(8):H875-H883.
- [6] La Gerche A, Burns AT, Mooney DJ, et al. Exercise-induced right ventricular dysfunction and structural remodelling in endurance athletes[J]. *Eur Heart J*, 2012, 33(8): 998-1006.
- [7] Sharma S, Merghani A, Mont L. Exercise and the heart: the good, the bad, and the ugly[J]. *Eur Heart J*, 2015, 36(23):1445-1453.
- [8] Abdulla J, Nielsen JR. Is the risk of atrial fibrillation higher in athletes than in the general population? A systematic review and meta-analysis[J]. *Europace*, 2009, 11(9):1156-1159.
- [9] Mozaffarian D, Furberg CD, Psaty BM, et al. Physical activity and incidence of atrial fibrillation in older adults: the cardiovascular health study[J]. *Circulation*, 2008, 118(8):800-807.
- [10] 顾佳宁, 朱运泉, 徐迎佳, 等. 参松养心胶囊防治中青年马拉松选手运动中室性心律失常的作用[J]. *国际心血管病杂志*, 2020, 47(4):244-248.
- [11] Shave R, Baggish A, George K, et al. Exercise-induced cardiac troponin elevation: evidence, mechanisms, and implications[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2010, 56(3):169-176.
- [12] Neumayr G, Pfister R, Mitterbauer G, et al. Effect of competitive marathon cycling on plasma N-terminal pro-brain natriuretic peptide and cardiac troponin T in healthy recreational cyclists[J]. *Am J Cardiol*, 2005, 96(5):732-735.
- [13] Koller A, Sumann G, Griesmacher A, et al. Cardiac troponins after a downhill marathon[J]. *Int J Cardiol*, 2008, 129(3):449-452.
- [14] Elliott AD, La GA. The right ventricle following prolonged endurance exercise: are we overlooking the more important side of the heart? A meta-analysis[J]. *Br J Sports Med*, 2015, 49(11):724-729.

(收稿:2021-12-12 修回:2022-03-25)

(本文编辑:丁媛媛)