



## 运动前心血管筛查的国际经验与启示

温煦<sup>1</sup>,王轶凡<sup>1</sup>,董瑞庆<sup>2</sup>

(1. 浙江大学 教育学院 体育系, 浙江 杭州 310028; 2. 苏州大学附属独墅湖医院, 江苏 苏州 215124)

**摘要:**运用文献资料和逻辑分析的方法,系统梳理和总结运动前心血管筛查领域的国际经验,并结合本土研究和国情为我国运动前心血管筛查方案的设计和运动猝死预防体系的建立提供参考。运动前心血管筛查一般通过家族史、个人病史、体格检查和安静心电图对运动员或锻炼者的心源性猝死风险进行评估,从而筛查高风险个体,并采取相应措施降低风险,是运动猝死一级预防的国际主流方法。尽管对筛查方案的一些细节仍有争议,但2017年各国学者联合发布的运动员心电图解读国际标准专家共识大幅提升了安静心电图筛查的敏感性和特异性,纳入安静心电图的运动前心血管筛查方案逐渐被世界许多国家和各大国际体育组织所接受。建议通过制订运动猝死登记制度,建立系统的运动前心血管筛查体系和方法,加强新兴安全筛查方法和技术研究,从而改进我国的运动前心血管筛查工作。

**关键词:**运动前心血管筛查;心源性运动猝死;心电图

**中图分类号:**G804.51 **文献标识码:**A

大量研究证据表明,适量而规律的身体活动有助于维持和改善人体健康(Lee et al., 2001; Wen et al., 2011),但不可忽视的是,参加身体活动,特别是高强度长时间的体育锻炼,可能增加运动损伤的风险,甚至导致心脏骤停和运动猝死(Merghani et al., 2015; Sharma et al., 2015)。心源性猝死是运动猝死的主要原因,占到运动猝死总量的80%以上(高晓麟等, 2009; Maron et al., 2009)。心源性猝死在各类竞技运动员中的发生率为每年0.6~2.85/100 000,是普通人群猝死风险的2.5倍(Bille et al., 2006; Maron et al., 2009, 2014b)。近年来,随着我国社会经济的快速发展和全民健身计划的不断推进,人民群众参与健身的热情空前高涨,参加运动健身的人群迅速扩大,各类体育赛事的安全保障工作压力随之增大。此外,在新时期学校体育“勤练、常赛”的要求下,全国数以亿计学生的运动猝死防控工作难度更大、压力更重。因此,科学有效地降低运动猝死发生率对于家庭、学校和社会都意义重大,是亟待解决的重要问题。

运动前心血管筛查(preparticipation cardiovascular screening)指通过一系列筛查工具对职业运动员或锻炼者的心源性猝死风险进行评估,从而找出高风险个体,并采取相应措施降低风险的手段,是目前运动猝死一级预防的主要方法。意大利1982年立法强制要求各类体育比赛的所有参赛者每年参赛前必须通过运动前心血管筛查(Pelliccia et al., 1995)。意大利纳入心电图的筛查方法几十年

间引起了很大的争议,受到了美国心脏协会等权威学术组织的强烈质疑(Maron et al., 2007, 1996b)。但意大利执行运动前心血管筛查政策后,运动猝死的年发生率下降了89%(Corrado et al., 2006);心电图假阳性率也随着运动员心电图解读标准的日趋完善而逐渐降低(Harmon et al., 2015)。因此,意大利所倡导的运动前心血管筛查方案逐渐获得了欧洲和全世界运动医学专家的认可。2017年,来自世界各地的学者共同发布了运动前心血管筛查专家共识和心电图解读专家共识(Drezner et al., 2017b; Mont et al., 2017)。该方法也得到了国际奥委会(International Olympic Committee, IOC)、国际足球联合会(Fédération Internationale de Football Association, FIFA)等世界著名体育组织的充分认可和采纳(Bille et al., 2006; Dvorak et al., 2009; Hainline et al., 2016; Harris et al., 2006)。

我国运动猝死的案例并不鲜见,李之俊等(1999)、胡小琴(2006)、高晓麟等(2009)、冯大志等(2012)学者先后报道了有关运动猝死的案例和数据,总结了我国运动猝死的病因分布、发生规律和对策建议。值得注意的是,上述研究均提到了加强运动前心血管筛查的建议。近年

收稿日期:2020-07-22; 修订日期:2020-12-28

基金项目:浙江省自然科学基金一般项目(LY18C110001)。

第一作者简介:温煦(1982-),男,教授,博士,主要研究方向为体力活动与健康,E-mail: wwxu@zju.edu.cn。

来,我国已逐步建立了优秀运动员运动猝死三级预防体系,对遏制运动猝死发挥了重要作用(马云等,2011)。但我国在运动猝死防控领域的研究还存在一些局限:1)已经建立的运动猝死三级预防体系主要面向专业运动员,如何保障广大锻炼人群和规模庞大的学生群体的运动安全是一项亟待解决的重大课题;2)大部分相关研究以反映运动猝死现状和宏观政策建议为主,缺乏可操作的工作方案;3)目前对于大部分运动员和长期锻炼者心电图和心脏超声的解读方式仍参照普通人群的一般标准,无助于提高对高风险人群的鉴别(洪葵等,2014);4)欧美地区日趋成熟的运动前心血管筛查方案可能对于我国具有重要的借鉴作用,但是相关的研究报道数量还比较少,且仅探讨了医学检测技术层面的问题(马继政等,2008;于清华等,2015)。

因此,本文旨在系统梳理和总结运动前心血管筛查领域的国际经验,结合本土研究和国情为我国运动前心血管筛查方案的设计和运动猝死预防体系的建立提供参考。

### 1 运动前心血管筛查的发展历程

公元前490年,费里皮德斯(Pheilippides)从马拉松跑回雅典传递胜利消息后倒地猝死可能是有文字记录的最早的运动猝死案例。但直至20世纪40年代才有了目前能够检索到的最早关于运动猝死的现代科学研究。Moritz等(1946)对1942—1946年意外死亡的4万美军士兵进行研究发现有冠心病的士兵剧烈运动很危险。自此,人们开始真正关注到运动引起的猝死问题。

意大利是最早开展运动前心血管筛查的国家之一,也是执行力度最大的国家。在1960年罗马奥运会结束后不久,意大利开始为国家精英运动员提供全面的医学服务和检查(包括心血管风险筛查)(Pelliccia et al., 1995)。1971年,意大利政府制定并颁布了旨在为那些参加规律运动训练和体育比赛的公民提供医疗保护的立法(Pelliccia et al., 1995),该法被称为“体育活动的医学保护”法(Medical Protection of Athletic Activities Law),旨在支持预防性医学评估从而识别潜在的疾病。1982年,该法被进一步完善,要求参加正式体育比赛的每个公民都必须通过定期检查,以评估其参加体育运动的资格。法律还规定,每年都应进行筛查,其中至少应包括一般体格检查、12导联心电图和次极量运动试验。如筛查结果为阴性可以直接参加体育比赛,如结果为阳性还需要接受进一步的医学检查。在法律的强制执行下,每年有600万意大利人需要参加运动前心血管筛查,约占意大利总人口的10%。虽然因各种原因实际参加筛查的意大利人未达到600万,但仍然是一个非常庞大的数字。几十年来,意大利强力推行的运动前心血管筛查工作在全世界是非常独特的,不仅挽救了

许多生命,也在运动前心血管筛查领域积累了非常丰富的经验。但由于每年开展数以百万人的运动前心血管筛查需要耗费巨大的人力和财力,而筛查的致死性心血管疾病罹患率不到1%且假阳性率不低。因此,几十年来,意大利的方案一直充满争议。

美国在20世纪40年代即开展了运动猝死风险研究(Moritz et al., 1946)。1976年,美国医学会(American Medical Association, AMA)发布了《运动员医学评估指南》(*Medical Evaluation of the Athlete: a Guide*),强调了运动前健康评估的重要性。与意大利版筛查不同的是,美国心脏协会(American Heart Association, AHA)1996年发布的筛查指南只包括家族史、个人病史、体格检查,一直不主张将心电图纳入筛查范围(Maron et al., 1996b)。英国学者Northcote等(1983)提出,一般的医学检查对检测无症状性高血压有用,但在识别无症状性冠状动脉疾病或有致命性心律失常危险的疾病中并不敏感。2005年,欧洲心脏病学会(European Society of Cardiology, ESC)以意大利开展运动前心血管筛查的经验为基础发表专家共识,推荐使用以12导联心电图为基础的欧洲运动前心血管筛查方案(Corrado et al., 2005)。即便如此,AHA依然不为所动,2007年的科学声明均坚持不纳入安静心电图,理由是安静心电图预测运动猝死的敏感性和特异性不高,且增加了不必要的经济支出和心理恐慌(Maron et al., 2007)。

随着对运动人群心电图研究的不断深入,欧洲与美国关于是否应纳入心电图作为筛查工具持续了20余年的争论才逐渐平息。运动医学专家们逐步意识到对于经常运动的人群需要用一套独特的心电图解读方式,这样可以大幅降低筛查的假阳性率。经过多年研究积淀,2010年,ESC推出了运动员的心电图解读标准(Corrado et al., 2010)。2013年,一批国际专家齐聚美国西雅图推出了运动员心电图的“西雅图标准”(Drezner et al., 2013)。此外,学者们也报道了一些临床实践证据:Corrado等(2006)指出,意大利自1982年开始执行运动前心血管筛查政策后,运动猝死的年发生率下降了89%;Harmon等(2015)的一项基于15项研究47 137名研究对象的元分析也显示,心血管疾病筛查最有效的工具是心电图,心电图用于运动猝死风险诊断的敏感性和特异性分别达到94%和93%,比家族史和个人病史的敏感度高5倍,比体格检查敏感度高10倍。越来越多的证据都表明应该将心电图纳入运动前心血管筛查。2017年,美国运动医学协会(The American Medical Society for Sports Medicine)发表立场声明:心电图有助于提高心源性猝死的筛查(Drezner et al., 2017a)。同年,来自世界各地的学者共同发布了运动前心血管筛查专家共识和心电图解读专家共识,进一步正式确立了心电图在运动前心血管筛查的重要作用,明确了运动前心血管筛查的目的、流程、工具、解读方法和未来

发展方向(Drezner et al., 2017b; Mont et al., 2017)。

由于运动猝死事件会对体育赛事和体育组织形象造成负面影响,世界各大体育组织都高度重视运动猝死的预防。随着运动前心血管筛查领域不断取得的进步和共识逐渐达成,IOC医学委员会于2006年发表了“洛桑建议”,推荐了包含家族史、个人病史、体格检查和安静心电图的运动前心血管筛查方案(Bille et al., 2006)。2009年,IOC发表了精英运动员周期健康评估的共识声明,其中,心血管筛查是运动员周期健康评估的核心内容(Ljungqvist et al., 2009)。FIFA也在2006年德国世界杯时开始要求全体参赛运动员进行赛前医学检查(Dvorak et al., 2009),这一强制筛查方案后续还逐步推广至FIFA下属所有参赛运动员和裁判员(Bizzini et al., 2012; Dvorak et al., 2012)。FIFA的赛前医学检查标准略高于普通的运动前心血管筛查,不仅包括家族史、病史、体格检查和安静心电图,还纳入了心脏超声、运动心电图测试。北美四大职业体育联盟中绝大部分职业球队都在按照AHA的推荐对所有运动员进行运动前心血管筛查(Abernethy et al., 2003; Choo et al., 2002; Harris et al., 2006)。美国大学生体育协会(National Collegiate Athletics Association, NCAA)也于2016年发布了关于大学生运动员的运动前心血管筛查声明,建议各高校执行标准化的运动前心血管筛查(Hainline et al., 2016)。

在运动前心血管筛查的发展历程中,筛查对象也在悄然发生变化。在运动前心血管筛查的早期研究和相关专家共识中,筛查对象主要为35岁以下的运动员(Corrado et al., 2005; Maron et al., 1996b, 2007)。由于许多业余锻炼者为提高运动水平愿意挑战身体极限参加各类体育活动,因此,在2017年的运动前心血管筛查专家共识中,目标人群不再局限于运动员,而是定位于运动参与者,定义为不分竞技水平、不分年龄、定期参加运动训练的专业或业余人士(Mont et al., 2017)。这也意味着日臻完善的运动前心血管筛查有望从服务专业运动员逐渐扩展至业余运动员。

## 2 运动前心血管筛查的主要内容

### 2.1 个人病史、家族史和体格检查

个人病史、家族史和体格检查是心血管筛查的重要组成部分(Corrado et al., 2005; Maron et al., 2007)。Drezner等(2012)研究发现,30%的心脏骤停青少年存在近乎晕厥或头晕症状,28%有过胸痛或胸部不适,24%有心脏杂音;有27%的心脏骤停青少年有亲属因心脏病在50岁以前死亡,23%有亲属罹患冠心病等家族史。IOC建议,家族史的调查应至少包括亲属因心脏病导致的死亡或残障(50岁以前)、心肌病、冠状动脉、马凡氏综合征、长QT综合征、严重心律失常或其他致残性心血管疾病的家族病

史(Ljungqvist et al., 2009)。个人病史的调查则应包括晕厥或近晕厥、剧烈的胸痛或不适、运动引起的过度的不明原因呼吸困难和疲劳、心悸或心律不齐(Ljungqvist et al., 2009);体格检查则通常要包括心音、脉搏、身体形态(如马凡氏综合征等)和血压。AHA也于2014年推荐了包括个人病史、家族史和体格检查在内的运动前心血管筛查方法(Maron et al., 2014a),具体内容近似于IOC方案。

虽然各类指南都将个人病史、家族史和体格检查作为筛查工具,但不可否认的是,长期以来仅采用个人病史、家族史和体格检查方法进行筛查的效果并不理想(Drezner et al., 2013)。不少发生心源性猝死的运动员在事发之前并没有个人病史、家族史和体征上的明显异常。Maron等(1996a)的一项研究对158名猝死运动员展开了调查,结果仅有3%的运动员曾被怀疑有心血管疾病,仅有1名运动员在运动前筛查中被正确诊断。Harmon等(2015)通过总结1996—2014年的15项研究共计47 137名运动员的数据后认为,病史筛查的敏感性和特异性分别为20%和94%,而体格检查的敏感性和特异性为9%和97%。因此,病史和体格检查作为筛查手段最大的缺陷是敏感性不足,优点则是简便、经济、特异性好,仍应作为运动前心血管筛查的重要组成部分。

### 2.2 心电图

与个人病史、家族史和体格检查相比,心电图敏感性更好,不过特异性不够理想。是否将心电图纳入运动前心血管筛查在学术界曾引发了巨大的争议。随着运动员心电图解读标准的逐步修订(Corrado et al., 2010; Drezner et al., 2013),在保持敏感性水平不变的基础上,特异性不断提高(Drezner, 2020)。Brosnan等(2014)基于1 078名澳大利亚精英运动员的研究采用ESC2010标准,心电图假阳性率为17%,而使用“西雅图标准”后,假阳性率大幅降至4.2%。Price等(2014)基于高中运动员的研究也证明了改进后的标准具有更低的假阳性率和更高的敏感性。Riding等(2015)的研究显示,修订后的标准不仅适用于欧美人群和非洲人群,在阿拉伯裔族群的应用中也取得了良好的效果,假阳性率进一步降低,对严重心血管疾病的诊断甚至达100%。Harmon等(2015)和Winkelmann等(2017)系统分析了各种筛查手段的敏感性和特异性,结果显示,心电图是最有效的运动前心血管筛查方法。

鉴于心电图解读水平的显著进步,纳入心电图的运动前心血管筛查逐渐成为学术界的主流意见。2017年,各国学者联合发布了运动员心电图解读国际标准的专家共识(Drezner et al., 2017b)。运动员心电图解读标准的一个核心问题是区分长期运动训练引起的生理改变与不正常的病理改变。2017年的专家共识将运动员的心电图改变分为3类:正常改变、临界改变和非正常改变(表1)。正常改变和单一的临界改变不需要进一步检查,而非正

常改变或超过1个临界改变则需要按照标准开展进一步的检查。

表1 运动员心电图解读国际标准  
Table 1 International Criteria for Electrocardiographic Interpretation in Athletes

改变类型	判定标准
正常改变	1)左心室或右心室高电压;2)不完全右束支传导阻滞;3)早期复极化/ST段抬高;4)黑人运动员在V1-V4的ST段抬高;5)16岁以下运动员在V1-V3出现T波倒置;6)窦性心律过缓或心律不齐;7)异位房性或交界性心律;8)1度房室传导阻滞;9)莫氏1型2度房室传导阻滞。
临界改变	1)电轴左偏;2)左心房增大;3)电轴右偏;4)右心房增大;5)完全性右束支传导阻滞。
非正常改变	1)T波倒置;2)ST段压低;3)病理性Q波;4)完全性左束支传导阻滞;5)QRS波 $\geq 140$ ms;6)Epsilon波(后激动电位);7)室性预激综合征;8)QT间期延长;9)Brugada综合征I型;10)严重窦性心律过缓(心率低于30次/分钟);11)严重PR间期延长( $\geq 400$ ms);12)莫氏2型2度房室传导阻滞;13)3度房室传导阻滞;14)每10 s $\geq 2$ 个室性早搏;15)房性快速性心律失常;16)室性心律失常。

注:资料来源于Drezner等(2017b)。

虽然目前的研究显示,心电图增强了检测潜在心血管风险的能力,修订后的心电图解读标准也大幅提高了检测效果,但还必须清楚地认识到,心电图作为运动前心血管风险筛查仍存在一些不足。比如,心电图可以提示或检测心肌病、离子通道病、心肌炎和室性预激综合征,但造成年轻运动员心源性猝死的其他原因(如冠状动脉异常、冠状动脉粥样硬化和主动脉病变等)尚不能通过心电图轻易检测到。修订后的标准主要针对12~35岁筛查对象的先天性心脏病问题,而35岁以上人群运动猝死的主因是冠心病,心电图的解读标准还需要调整。因此,即使正确地使用修订版心电图标准进行解读,心电图也无法检测到所有造成心源性猝死的问题,运动前心血管筛查需要进行更全面的检查。

### 2.3 心脏超声

心脏超声作为一项基于超声波的医学影像学检查,可以探查心腔内结构、心脏搏动和血液流动,从而确定心脏的形态学和心功能情况。因此,心脏超声可以作为运动前心血管筛查的潜在选项,帮助确定心脏的形态和功能。自20世纪80年代起,许多研究开始关注长期运动训练对于心脏形态和功能的影响。Fagard等(1984)利用心脏超声的方法对长跑运动员、自行车运动员和普通成年对照组进行了对比研究,结果显示,运动员的心脏舒张末期左心室内径、平均壁厚和左心室壁的横截面积均大于相应对照组。Morganroth等(1975)和胡小琴等(2008)的研究发现,力量项目运动员多见左心室向心性肥厚,而耐力项目运动员多见离心性肥厚。

近年来,超声心动图逐渐被引入运动前筛查(Drezner et al., 2017; Grazioli et al., 2015)。但由于超声检查相对昂贵且程序相对复杂,目前ESC和IOC授权的运动员赛前筛查项目仍是个人及家族史、体格检查和安静心电图,仅在初步检查中发现异常时才推荐使用心脏超声进行进一步检查。需要指出的是,心电图反映的是心脏的电生理问题,虽然可以推断部分心脏结构问题,但对于许多心

脏结构异常往往难以辨别。因而,心脏超声是心电图的重要补充筛查手段,有助于降低假阳性率,并有助于扩大疾病的筛查范围(Yim et al., 2014)。例如,肥厚性心肌病是心源性猝死的重要因素,心电图无法准确诊断,而心脏超声检查则是诊断肥厚性心肌病的重要手段(Gersh et al., 2011)。超声心动图还可准确地识别可能导致心源性猝死的心脏结构异常,如二尖瓣脱垂、主动脉根部扩张以及其他形式的左心室功能障碍和心肌病(Stout, 2008)。随着超声技术的不断发展以及新的超声工具(组织多普勒成像、应变率成像和3D超声心动图)的出现,心脏超声在评估筛查方面的效果和优势逐渐凸显。Orchard等(2020)建立了使用心脏超声的使用指征,为心脏超声在筛查中的应用提供了重要参考。

### 2.4 其他筛查项目和新兴筛查方法

个人病史、家族史、体格检查、心电图、心脏超声等筛查项目如出现可疑情况,需要针对可疑的病症进行后续跟踪检查(运动心电图、24 h动态心电图、心脏核磁检查、心肌核素扫描、心肌酶指标等)。近年来,一些新兴的技术也被应用于运动前心血管筛查,如心率变异性运动和运动后心率恢复均被认为对心血管风险的评价具有重要价值(郭娴等, 2015)。心电动力学图是一种针对T波电交替的敏感检测方法,也被发现有助于早期发现心血管风险(Deng et al., 2017)。随着技术的不断发展和逐渐成熟,这些新兴技术有望成为未来心血管筛查的重要方法和主流方法。

## 3 问题与争议

### 3.1 运动前心血管筛查的有效性

支持运动前心血管筛查有效的一个重要科学证据来自意大利。运动前心血管筛查工作在意大利实施后,运动员运动猝死的年发生率从3.6/100 000下降至0.43/100 000,猝死率下降了89%(Corrado et al., 2006)。但也有一些研究证据并不支持这一论断。来自以色列的数据

显示,该国在20世纪90年代中期引入强制性筛查后,运动员心源性猝死的发生率未出现明显下降(Steinvil et al., 2011);加拿大一项2009—2014年针对12~45岁参加体育运动的成年人进行的突发心脏骤停事件的研究表明,运动前筛查会漏掉80%以上的病例(Landry et al., 2017)。Van Brabandt等(2016)系统总结了有关青年运动员运动前心血管筛查的文献,发现每年估计有0.001%的青年运动员突然死亡,但其中25%的人并未在筛查中被发现存在异常,他们甚至认为进行心血管筛查对年轻运动员可能有害无益。综合以上研究结果,虽然专家共识和主流体育机构均积极支持开展运动前心血管筛查,但是安全筛查的流程、方法和指标仍有较大的改进和提升的空间。

### 3.2 运动前心血管筛查的经济性

心血管疾病的检查需要消耗大量医疗资源且费用昂贵,国家长时间、大规模开展运动前心血管筛查不得不考虑筛查的投入和效益问题。根据2010年ESC给出的筛查标准,每名运动员的筛查费用为110美元,严重疾患的费用可高达35 993美元,如使用修订后的“西雅图标准”,每人筛查费用也需87~92美元,严重疾患需要28 510~30 251美元(Dhutia et al., 2016)。Maron等(2007)估算,若要对美国约1 000万中学生运动员进行全面的运动安全筛查,大约要花费7.5亿美元(个人病史、家族史和体格检查25美元/人、心电图检查50美元/人);如果按照15%的阳性率估算,将有150万人需要进行进一步筛查,再需要7.5亿美元(详细病史和体格检查100美元/人、心脏超

声400美元/人);如果再加上一些全国筛查的行政组织费用,总费用可能高达20亿美元。考虑到肥厚性心肌病等疾病约1/1 000的患病率,巨额的筛查开支确实令大规模的运动前心血管筛查即使在美国这样的发达国家也不易推广。

综上所述,就是否应强制进行运动前筛查以及如何进行筛查等问题依然存在一些争议,Panhuyzen-Goedkoop等(2020)和Castelletti等(2020)认为,目前的筛查技术已经得到提升,心电图检查的假阳性率也有所降低,因此,运动前筛查是预防运动中心血管意外发生的必要检查。但Brailon等(2020)学者则认为,目前筛查的有效性仍令人怀疑,且筛查暴露出过度诊断的现象,且可能导致一些负面作用,如确诊的运动员还可能出现心理问题,未查出异常的运动员则会降低戒心等。

针对上述争议,Petek等(2020)汇总了争议的具体内容(表2),并建议开展一项针对心源性猝死的大型随机试验,以评估筛查的效用并确定检测引发竞技运动员心源性猝死的心血管疾病的最佳筛查方法。专家们推测,未来的研究方向应根据某些疾病的年龄相关性确定运动前筛查的最佳时机和频率,创建基于循证医学的个人及家族史问卷,并继续优化心电图筛查标准(Petek et al., 2020)。相关争议也提醒我们,当前的运动前心血管筛查方法并非完美,需要正视筛查方法的不足,并告知受试者筛查的局限性,避免误导运动员和健身者。

表2 运动前心血管筛查方法的相关争议

Table 2 The Controversies Related to Preparticipation Cardiovascular Screening

筛查方法	赞成观点	反对观点
任何筛查方式	1)年轻运动员的死亡对家庭和社会都是一场悲剧;2)通过停止运动或医疗救治可以预防患有心脏病的运动员发生心源性猝死;3)运动前筛查基本是非侵入性的,且可以快速实施;4)来自意大利的研究提示筛查可能有利于降低死亡率;5)筛查建立了运动员与医生之间的关系,为运动员提高了接受指导性建议的机会。	1)没有随机试验显示运动前筛查可以降低死亡率;2)某些疾病存在年龄相关性,目前无法确定理想的测试时机和频率;3)假阴性结果令运动员和医疗工作者放松警惕;4)假阳性结果给运动员带来了不必要的治疗和心理压力;5)任何形式的筛查都会产生巨额成本;6)在某些情况下运动员和非运动员出现心源性猝死的概率相似。
病史和体格检查	1)病史和体格检查是医生的核心技能,无需另外培训;2)目前已经出台了能够检测运动员心脏疾病的标准化问卷(AH-14, PPE-5);3)价格低廉且便于执行。	1)敏感性较低,错误率高;2)检查过于主观,不同医生的检测结果差异较大;3)问卷项目仅代表专家意见,未涉及其他社会因素;4)检查需要运动员诚实地报告身体情况。
心电图检查	1)与病史和体格检查结合可提高敏感性和特异性;2)客观检测;3)基于循证医学的心电图解释随时可以使用,并在不断更新。	1)在某些队列研究中错误率高于标准值;2)可能出现假阴性;3)由于医疗工作者的培训和经验不同,对检查结果进行解释时存在明显差异。

## 4 建议与展望

建立一套科学合理、经济有效的运动前心血管筛查体系对于维护人民群众生命安全,保障我国全民健身计划的实施均具有重要的意义。马云等在2011年建立了中国优秀运动员运动性猝死三级预防筛查系统,但该筛查系统面向的是专业运动员,面向我国普通健身人群和广大

学生群体的运动前心血管筛查体系亟待建设。基于国内外近10年的相关研究,结合我国相关工作的实际情况,我国的运动前安全筛查可以从以下几个方面进一步改进。

### 4.1 建立完善的运动猝死登记制度

研究证据显示,运动猝死的原因可能存在种族、性别和区域差异(Landry et al., 2017)。虽然我国学者报道过

相关运动猝死的数据(冯大志等,2012;高晓麟等,2009;胡小琴等,2006;李之俊等,1999),但由于各种原因,许多案例未被妥善地保存和记录。大部分运动猝死数据为区域性、小样本调查,全国性大样本运动猝死调查非常缺乏,影响了我国相关研究工作的开展。建立一套完善的运动猝死登记制度,构建运动猝死数据库,对于开展运动猝死基础研究和预防工作均具有重要意义。

#### 4.2 建立系统的运动前心血管筛查体系和方法

运动前心血管筛查具有积极意义,一些国际权威学术组织也发布了运动前心血管筛查相关的专家共识,但目前各类筛查方案均存在一些不足和局限。建议在充分借鉴先进国际经验并结合本土运动员筛查方案的基础上,正视当前筛查方案中的问题与不足,根据国情切实评估运动前心血管筛查的经济效益问题,制订适合我国健身人群的运动前心血管筛查体系和方法。

#### 4.3 加强新兴安全筛查方法和技术研究

筛查方案的优化有赖于精准的筛查和诊断,人工智能、大数据与医学和运动科学的交叉融合,有望孕育出新型筛查方法,建立基于运动参数和人体生理参数与运动风险的数学模型,从而构建更准确、更简便、更经济的运动前心血管筛查方法。

#### 参考文献:

冯大志,沈雁飞,2012.高校内发生运动猝死的原因调查及预防对策[J].北京体育大学学报,35(11):93-96.  
高晓麟,常芸,2009.我国大众健身人群运动猝死的调查研究[J].中国体育科技,45(2):83-87.  
郭娴,汪毅,严翔,等,2015.运动中心血管风险及其预警[J].中国运动医学杂志,34(6):595-602.  
洪葵,彭娟,2014.西雅图标准在运动员心电图解读中的应用[J].中国运动医学杂志,33(10):1026-1029.  
胡小琴,2006.北京国际马拉松赛运动伤病和猝死调查分析[J].中国运动医学杂志,25(11):719-720.  
胡小琴,马云,2008.优秀耐力、力量项目运动员心脏形态功能特点[J].中国运动医学杂志(6):732-734.  
李之俊,冯曙明,陈文培,等,1999.上海和华东地区运动猝死调查研究[J].中国运动医学杂志,18(3):211-217.  
马继政,孙飙,吕远远,2008.运动性猝死预防及筛查策略[J].中国体育科技,44(5):103-107.  
马云,梁辰,牟秀霞,等,2011.中国优秀运动员运动性猝死三级预防筛查体系的研究[J].中国运动医学杂志,30(3):219-223.  
于清华,张树龙,2015.运动员猝死的心电图筛查标准评价[J].中华心脏与心律电子杂志,3(1):43-46.  
ABERNETHY W B, CHOO J K, HUTTER A M, 2003. Echocardiographic characteristics of professional football players [J]. J Am Coll Cardiol, 41(2):280-284.  
BILLE K, FIGUEIRAS D, SCHAMASCH P, et al., 2006. Sudden cardiac death in athletes: The Lausanne Recommendations [J]. Eur J Cardiovasc Prev Rehabil, 13(6):859-875.  
BIZZINI M, SCHMIED C, JUNGE A, et al., 2012. Precompetition medical assessment of referees and assistant referees selected for the

2010 FIFA World Cup [J]. Br J Sports Med, 46(5):374-376.  
BRAILLON A, 2020. ECG screening in master athletes: 'Medical science has made such tremendous progress that there is hardly a healthy human left' [J]. Eur J Prev Cardiol, doi: 10.1177/2047487320922634.  
BROSNAN M, LA GERCHE A, KALMAN J, et al., 2014. The Seattle Criteria increase the specificity of preparticipation ECG screening among elite athletes [J]. Br J Sports Med, 48(15):1144-1150.  
CASTELLETTI S, SOLBERG E E, 2020. Pre-participation sport screening: Don't miss focus [J]. Eur J Prev Cardiol, doi: 10.1177/2047487320931641.  
CHOO J K, RD A W, JR H A, 2002. Electrocardiographic observations in professional football players [J]. Am J Cardiol, 90(2):198-200.  
CORRADO D, BASSO C, PAVEI A, et al., 2006. Trends in sudden cardiovascular death in young competitive athletes after implementation of a preparticipation screening program [J]. JAMA, 296(13):1593-1601.  
CORRADO D, PELLICCIA A, BJORNSTAD H H, et al., 2005. Cardiovascular pre-participation screening of young competitive athletes for prevention of sudden death: Proposal for a common European protocol. Consensus Statement of the Study Group of Sport Cardiology of the Working Group of Cardiac Rehabilitation and Exercise Physiology and the Working Group of Myocardial and Pericardial Diseases of the European Society of Cardiology [J]. Eur Heart J, 26(5):516-524.  
CORRADO D, PELLICCIA A, HEIDBUCHEL H, et al., 2010. Recommendations for interpretation of 12-lead electrocardiogram in the athlete [J]. Eur Heart J, 31(2):243-259.  
DENG M, TANG M, WANG C, et al., 2017. Cardiodynamicsgram as a new diagnostic tool in coronary artery disease patients with non-diagnostic electrocardiograms [J]. Am J Cardiol, 119(5):698-704.  
DHUTIA H, MALHOTRA A, GABUS V, et al., 2016. Cost implications of using different ECG criteria for screening young athletes in the United Kingdom [J]. J Am Coll Cardiol, 68(7):702-711.  
DREZNER J A, 2020. 18 highlights from the International Criteria for ECG interpretation in athletes [J]. Br J Sports Med, 54(4):197-199.  
DREZNER J A, ACKERMAN M J, ANDERSON J, et al., 2013. Electrocardiographic interpretation in athletes: The 'Seattle Criteria' [J]. Br J Sports Med, 47(3):122-124.  
DREZNER J A, FUDGE J, HARMON K G, et al., 2012. Warning symptoms and family history in children and young adults with sudden cardiac arrest [J]. J Am Board Fam Med, 25(4):408-415.  
DREZNER J A, O'CONNOR F G, HARMON K G, et al., 2017a. AMSSM position statement on cardiovascular preparticipation screening in athletes: Current evidence, knowledge gaps, recommendations, and future directions [J]. Br J Sports Med, 51:153-167.  
DREZNER J A, SHARMA S, BAGGISH A, et al., 2017b. International criteria for electrocardiographic interpretation in athletes: Consensus statement [J]. Br J Sports Med, 51(9):704-731.  
DVORAK J, GRIMM K, SCHMIED C, et al., 2009. Development and implementation of a standardized precompetition medical assessment of international elite football players--2006 FIFA World Cup Germany [J]. Clin J Sport Med, 19(4):316-321.  
DVORAK J, GRIMM K, SCHMIED C, et al., 2012. Feasibility of precompetition medical assessment at FIFA World Cups for female

- youth players[J]. *Br J Sports Med*, 46(16):1132-1133.
- FAGARD R, AUBERT A, STAESSEN J, et al., 1984. Cardiac structure and function in cyclists and runners. Comparative echocardiographic study[J]. *Br Heart J*, 52(2):124-129.
- GERSH B J, MARON B J, BONOW R O, et al., 2011. 2011 ACCF/AHA guideline for the diagnosis and treatment of hypertrophic cardiomyopathy: Executive summary: A report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines[J]. *J Am Coll Cardiol*, 58(25):2703-2738.
- GRAZIOLI G, SANZ M, MONTERRAT S, et al., 2015. Echocardiography in the evaluation of athletes [J]. *F1000Res*, doi: 10.12688/f1000research.6595.1.
- HAINLINE B, DREZNER J A, BAGGISH A, et al., 2016. Interassociation consensus statement on cardiovascular care of college student-athletes[J]. *J Am Coll Cardiol*, 67(25):2981-2995.
- HARMON K G, ZIGMAN M, DREZNER J A, et al., 2015. The effectiveness of screening history, physical exam, and ECG to detect potentially lethal cardiac disorders in athletes: A systematic review/meta-analysis[J]. *J Electrocardiol*, 48(3):329-338.
- HARRIS K M, SPONSEL A, HUTTER A M, et al., 2006. Cardiovascular Screening Practices of Major North American Professional Sports Teams[J]. *Ann Intern Med*, 145(7):507-511.
- LANDRY C H, ALLAN K S, CONNELLY K A, et al., 2017. Sudden cardiac arrest during participation in competitive sports[J]. *N Engl J Med*, 377(20):1943-1953.
- LEE I M, SKERRETT P J, 2001. Physical activity and all-cause mortality: What is the dose-response relation? [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 33(6 Suppl):S459-S471.
- LJUNGQVIST A, JENOURE P J, ENGBRETSSEN L, et al., 2009. The International Olympic Committee (IOC) consensus statement on periodic health evaluation of elite athletes, March 2009[J]. *Clin J Sport Med*, 19(5):347-365.
- MARON B J, DOERER J J, HAAS T S, et al., 2009. Sudden deaths in young competitive athletes: Analysis of 1866 deaths in the United States, 1980-2006[J]. *Circulation*, 119(8):1085-1092.
- MARON B J, FRIEDMAN R A, KLIGFIELD P, et al., 2014a. Assessment of the 12-lead electrocardiogram as a screening test for detection of cardiovascular disease in healthy general populations of young people (12-25 years of age): A scientific statement from the American Heart Association and the American College of Cardiology[J]. *J Am Coll Cardiol*, 64(14):1479-1514.
- MARON B J, HAAS T S, MURPHY C J, et al., 2014b. Incidence and causes of sudden death in U.S. College Athletes[J]. *J Am Coll Cardiol*, 63(16):1636-1643.
- MARON B J, SHIRANI J, POLIAC L C, et al., 1996a. Sudden death in young competitive athletes: Clinical, demographic, and pathological profiles[J]. *JAMA*, 276(3):199-204.
- MARON B J, THOMPSON P D, ACKERMAN M J, et al., 2007. Recommendations and considerations related to preparticipation screening for cardiovascular abnormalities in competitive athletes: 2007 update: A scientific statement from the American Heart Association Council on nutrition, physical activity, and metabolism: Endorsed by the American College of cardiology foundation[J]. *Circulation*, 115(12):1643-1455.
- MARON B J, THOMPSON P D, PUFFER J C, et al., 1996b. Cardiovascular preparticipation screening of competitive athletes. A statement for health professionals from the Sudden Death Committee (clinical cardiology) and Congenital Cardiac Defects Committee (cardiovascular disease in the young), American Heart Association [J]. *Circulation*, 94(4):850-856.
- MERGHANI A, MALHOTRA A, SHARMA S, 2015. The U-shaped relationship between exercise and cardiac morbidity[J]. *Trends Cardiovas Med*, 26(3):232-240.
- MONT L, PELLICCIA A, SHARMA S, et al., 2017. 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]. *Eur J Prev Cardiol*, 24:41-69.
- MORGANROTH J, MARON B J, HENRY W L, et al., 1975. Comparative left ventricular dimensions in trained athletes[J]. *Ann Intern Med*, 82(4):521-524.
- MORITZ A R, ZAMCHECK N, 1946. Sudden and unexpected deaths in young soldiers[J]. *Arch Pathol*, 42(5):459-593.
- NORTHCOTE R J, BALLANTYNE D, 1983. Sudden cardiac death in sport[J]. *Br Med J*, 287(6402):1357-1359.
- ORCHARD J J, ORCHARD J W, LA GERCHE A, et al., 2020. Cardiac screening of athletes: Consensus needed for clinicians on indications for follow-up echocardiography testing [J]. *Br J Sports Med*, 54(15):936-938.
- PANHUYZEN-GOEDKOOP N M, WELLENS H J, VERBEEK A L, et al., 2020. ECG criteria for the detection of high-risk cardiovascular conditions in master athletes[J]. *Eur J Prev Cardiol*, 27(14):1529-1538.
- PELLICCIA A, MARON B J, 1995. Preparticipation cardiovascular evaluation of the competitive athlete: Perspectives from the 30-year Italian experience[J]. *Am J Cardiol*, 75(12):827-829.
- PETEK B J, BAGGISH A L, 2020. Current controversies in pre-participation cardiovascular screening for young competitive athletes [J]. *Expert Rev Cardiovasc Ther*, 18(7):435-442.
- PRICE D E, MCWILLIAMS A, ASIF I M, et al., 2014. Electrocardiography-inclusive screening strategies for detection of cardiovascular abnormalities in high school athletes[J]. *Heart Rhythm*, 11(3):442-449.
- RIDING N R, SHEIKH N, ADAMUZ C, et al., 2015. Comparison of three current sets of electrocardiographic interpretation criteria for use in screening athletes[J]. *Heart*, 101(5):384-390.
- SHARMA S, MERGHANI A, MONT L, 2015. Exercise and the heart: The good, the bad, and the ugly[J]. *Eur Heart J*, 36(23):1445-1453.
- STEINVIL A, CHUNDADZE T, ZELTSER D, et al., 2011. Mandatory electrocardiographic screening of athletes to reduce their risk for sudden death: Proven fact or wishful thinking? [J]. *J Am Coll Cardiol*, 57(11):1291-1296.
- STOUT M, 2008. Athletes' heart and echocardiography: Athletes' heart[J]. *Echocardiography*, 25(7):749-754.
- VAN BRABANDT H, DESOMER A, GERKENS S, et al., 2016. Harms and benefits of screening young people to prevent sudden cardiac death[J]. *BMJ*, doi: 10.1136/bmj.i1156.
- WEN C P, WAI J P, TSAI M K, et al., 2011. Minimum amount of physical activity for reduced mortality and extended life expectancy: A prospective cohort study[J]. *Lancet*, 378(9798):1244-1253.
- WINKELMANN Z K, CROSSWAY A K, 2017. Optimal screening

methods to detect cardiac disorders in athletes: An evidence-based review[J]. *J Athl Train*, 52(12):1168-1170.  
YIM E S, BASILICO F, CORRADO G, 2014. Early screening for car-

diovascular abnormalities with preparticipation echocardiography: Utility of focused physician-operated echocardiography in preparticipation screening of athletes[J]. *J Ultrasound Med*, 33(2):307-313.

## International Experience and Inspiration of Preparticipation Cardiovascular Screening

WEN Xu<sup>1</sup>, WANG Yifan<sup>1</sup>, DONG Ruiqing<sup>2</sup>

1. Department of Sports Science, College of Education, Zhejiang University, Hangzhou 310028, China;

2. Dushuhu Public Hospital Affiliated to Soochow University, Suzhou 215124, China

**Abstract:** This study reviewed and summarized the international experiences and local research in the field of preparticipation cardiovascular screening (PPCS), which can provide references for designing the PPCS program and preventing exercise-induced sudden cardiac death (SCD) in China. It was found that the family history, personal history, physical examination and resting ECG were usually used in PPCS to assess the risk of sudden cardiac death, and thus to screen high-risk individuals and take corresponding measures to reduce the risk. The consensus statement of international criteria for electrocardiographic interpretation in athletes was released in 2017, which greatly improved the sensitivity and specificity of ECG, although some details of the screening program were still controversial. The screening program in this statement is gradually accepted by many countries and major international sports organizations. In conclusion, it is suggested to formulating a registration system for exercise-induced SCD, establishing a systematic PPCS program and strengthen research on novel PPCS methods and technologies, so as to further improve the PPCS program in China.

**Keywords:** preparticipation cardiovascular screening; exercise induced sudden cardiac death; Electrocardiogram

(上接第74页)

## A Study on Modes of Sensorimotor Cortex Control of Lower Limb Muscles under Different Support Modes in National Freestyle Skiing Aerial Athletes

GUO Feng<sup>1</sup>, FU Yanming<sup>1</sup>, LI Dong<sup>2</sup>, YUAN Weishuai<sup>1</sup>, WANG Xin<sup>1\*</sup>

1. Shenyang Sport University, Shenyang 110102, China; 2. College of Sciences, Northeastern University, Shenyang 110819, China

**Abstract:** Objective: To investigate the brain control characteristics of lower limb muscles under different support modes during static standing balance in freestyle skiing aerial athletes. Methods: Seventeen national freestyle skiing aerial athletes were recruited in this study. The center of pressure (COP), electroencephalograph (EEG), and electromyography (EMG) signals of vastus medial (VM), gastrocnemius lateralis (GL) and anterior tibialis (TA) were simultaneously collected during the single-leg standing balance under soft and firm support surface. During testing, subjects were required to stand in single-leg balance with their eyes open for 30. The corticomuscular coherence (CMC) in the beta-range band (13~30 Hz) and gamma-range band (31~45 Hz) was analyzed during standing balance. Results: 1) The variation of COP in X and Y axis was significantly higher during standing balance on soft support surface than that of firm support surface ( $P<0.001$ ); 2) When standing on the soft support surface, the EMG amplitude of the three muscles in the lower limb was increased significantly ( $P<0.05$ ); 3) For CMC, the CMC value of GL muscle in both the beta-range was significantly higher when standing on the soft support surface than that of the firm support surface ( $P<0.05$ ); moreover, the CMC value of gamma-range band was significantly higher than that of beta-range band ( $P<0.01$ ). Conclusion: For freestyle aerials athletes, the soft support induces a loss of the center of gravity, accompanied by stronger nerve impulses from the brain and greater neural regulation of the lower limb's anterior tibia and gastrocnemius muscles in the sensorimotor cortex, which improves body balance. Additionally, the gamma-band CMC is higher than beta-band CMC, which may be related to characteristics of lower limb muscles contraction under different support modes and attention during the balance control.

**Keywords:** freestyle skiing aerial athletes; static standing balance; soft support; electroencephalography; electromyography; corticomuscular coherence