



排名前 10 的与预防运动和体育活动猝死相关的关键问题

Rachel K. Katch¹, Samantha E. Scarneo¹, William M. Adams², Lawrence E. Armstrong¹,
Luke N. Belval¹, Julie M. Stamm³, Douglas J. Casa¹, 朱为模⁴ 审校

摘要: 参加有组织的体育运动和休闲活动存在发生严重伤病甚至死亡的内在风险。虽然造成体育运动或体育活动中猝死的原因有很多,但运动医学和循证标准治疗方面的进展已使临床医生得以更有效地预防、发现和治疗可能致死的伤患。随着研究与技术不断发展进步,当前的治疗标准正在不断发展以更好地改善患者的治疗效果。本文提出了 10 个与运动和体育活动中猝死的主要原因及其治疗手段有关的关键问题,未来开展的研究将提高运动员和休闲运动爱好者参与运动的安全度。当前证据表明,如采取正确的预防策略或最佳治疗方案,绝大多数的死亡案例是可以避免的。

关键词: 教育;劳力性中暑;体检预筛查;心源性猝死

中图分类号:G804.5 文献标志码:A 文章编号:1006-1207(2018)02-0031-16
DOI:10.12064/ssr.20180204

Top 10 Research Questions Related to Preventing Sudden Death in Sport and Physical Activity

Rachel K. Katch¹, Samantha E. Scarneo¹, William M. Adams², Lawrence E. Armstrong¹, Luke N. Belval¹, Julie M. Stamm³, Douglas J. Casa¹, ZHU Weimo²(reviser)

(1.Korey Stringer Institute, Department of Kinesiology, University of North Carolina at Greensboro, American.3.University of Wisconsin-Madison, American. 4.University of Illinois, American.)

Abstract: Participation in organized sport and recreational activities presents an innate risk for serious morbidity and mortality. Although death during sport or physical activity has many causes, advancements in sports medicine and evidence-based standards of care have allowed clinicians to prevent, recognize, and treat potentially fatal injuries more effectively. With the continual progress of research and technology, current standards of care are evolving to enhance patient outcomes. In this article, we provided 10 key questions related to the leading causes and treatment of sudden death in sport and physical activity, where future research will support safer participation for athletes and recreational enthusiasts. The current evidence indicates that most deaths can be avoided when proper strategies are in place to prevent occurrence or provide optimal care.

Key Words: Education; exertional heat stroke; preparticipation screening; sudden cardiac death

现如今,体育运动与休闲运动的参与率越来越高,据估计,全美参加中学和大学级别体育运动的学生运动员分别为 780 万人和 482 533 人^[1]。该数据源于美国 2014—2015 学年的统计,这一数字在过去 40 年里已经增长了近乎一倍^[2]。此外,根据 2017 年全美劳动力统计数据^[3]和 2016 年《国防授权法》,美国

还有约 120 万名劳务工和 290 万名军事人员(包括现役军人、警卫队、预备役和文职人员)。将以上数字汇总,全美国约有 1 240 万在参与体育运动、战斗和体力劳动的个人,他们正承受着可能导致猝死的繁重的工作量和巨大的工作强度。

2013—2014 年,全美国大学与中学范围内共发

收稿日期:2017-11-03

作者简介:Rachel K. Katch,女,副主任,主要研究方向:军队与职业安全。E-mail:rachel.katch@uconn.edu。

审校者简介:朱为模,男,院士/教授,主要研究方向:测量与评价,运动健康。E-mail:weimozhu@uiuc.edu。

作者单位:1.科里斯特林格研究所,康涅狄格大学,美国;2.北卡罗来纳大学格林斯博罗校区,美国;3.威斯康辛-麦迪逊大学,美国;4.美国伊利诺伊大学,美国。



生了 92 起极为严重的运动伤病事故,主要的身体受伤部位集中在心脏(46%)、颈部/颈椎(14%)和头部/脑部(13%)^[1]。Boden、Breit、Beachler、Williams 和 Mueller 等人在 2013 年对 1990—2010 年间发生的 243 起死亡事故的起因进行了分类(见图 1),发现排名前列的死因分别为心源性猝死(41%)、头部受伤(25%)和热病(16%)^[4]。Eckhart 等人于 2004 年对美

国军队在 25 年时间里发生的全部 126 起非创伤性死亡事件进行了研究,发现其中有 108 起(86%)与参与运动有关,其中以心功能异常(51%)为首要死因^[5]。不幸的是,随着体育运动的参与度越来越高,严重伤势的发生率也在上升;而如果遵照当前的循证最佳范例和准则执行,许多猝死事件是可以避免的,且/或不至于导致伤患者的死亡结果^[6-13]。

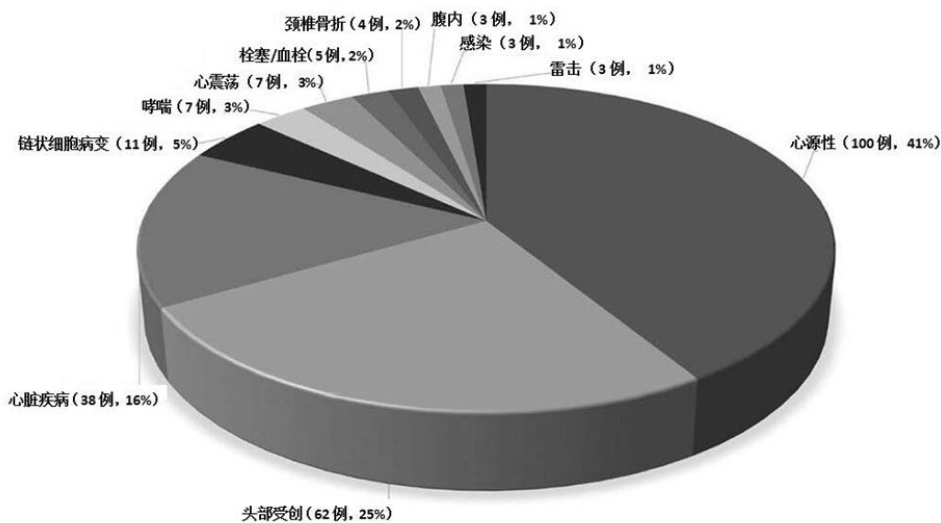


图 1 1990 年 7 月至 2010 年 6 月间中学和大学范围内足球运动致死事件的诊断死因数量与百分比

Figure 1 Number and percentage of football fatalities by diagnosis at the secondary school and collegiate level from July 1990 to June 2010.

数据来源: Boden 等人于 2013 年所做的研究^[4]。赛奇出版版权所有。如需复制,须经赛奇出版许可。再使用必须获得权利持有人的许可。

技术的进步自然催生对猝死事件预防策略的改进,需要定期接受复查乃至随时接受修订的最佳实践原则应运而生。本文主要探讨的是本领域的几项最为迫切的研究课题,涉及了诸多不同的主题,并对现行的标准规范提出了疑问,即究竟什么才是在体育和体力活动中预防猝死的最佳方法。

此外,回答这些研究课题将允许对当前的循证文献进行批判性评论,并就改进运动员、战士、劳工和任何其他参与体育活动的个人的护理及健康状况展开讨论;因为对于患有致命性伤害和/或疾病的个体而言,及时和适当的护理可能导致生与死的差异。

1 运动前心功能预筛查能否有效发现不合格的心功能异常情况?

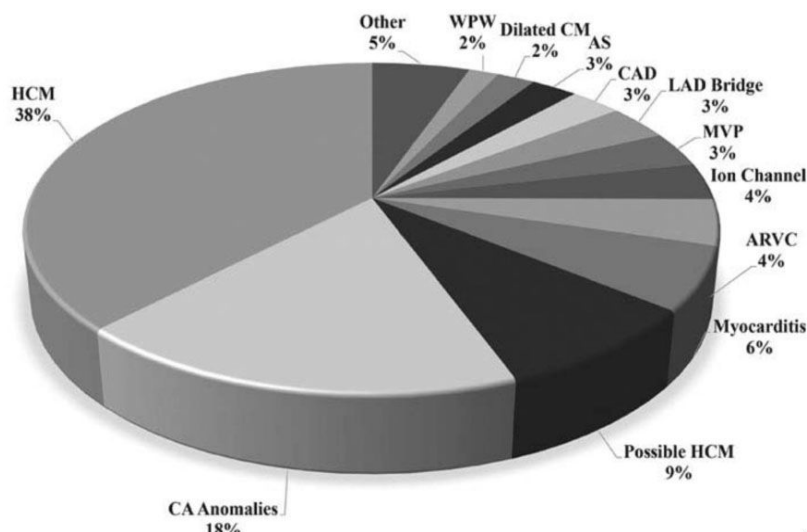
心源性猝死(Sudden Cardiac Death, SCD)是导致体育和体力活动中发生猝死的首要原因,随着运动参与率的提高而不断为人所关注^[14]。据美国国家严重体育伤害研究中心的数据,自 2014 年 7 月 1 日至 2015 年 6 月 30 日,全美中学与大学范围内与运

动有关的严重伤病事故共发生 92 起,其中 46% 为心源性^[1]。最为常见的为心脏骤停(18%)及其他心脏状况(24%),其后依次为骨折(14%)、脑部创伤(10%)与热相关疾病(6%)^[1]。此外,Maron、Doerer、Haas、Tierney 和 Mueller 在 2009 年研究了 1980 至 2006 年间全美范围内发生的涉及多个竞技项目的 1 866 例年轻运动员(平均年龄为 19±6 岁)死亡事故,结果发现其中 56% 系源于心血管疾病,其余 3% 则为心震荡所致^[15](见图 2)。心源性猝死已经成为体育活动中猝死事故的最常见死因,相关研究也开始关注赛前心功能筛查。

目前有 3 种主要的心功能预筛查方式,分别为:(1)家族与个人病史;(2)体检和(3)十二导联心电图(ECG)^[14]。传统意义的最佳标准为对个人和家族病史进行全面筛查,同时接受体检,但支持此类筛查策略有效性的研究数据非常有限^[16]。现有研究显示,体检结合个人与家族病史筛查在发现心血管功能异常方面相对不敏感,甚至会提高心血管功能异常的可疑性,而这些异常包括多种可导致竞技运动员发

生心源性猝死的疾病^[17-18]。此外,1982年由 Maron、Roberts 和 Epstein 开展的一项回顾性研究发现,在 71 名死于肥大型心肌病的患者中,仅有 15.5% 的患

者在死前表现出了明确的症状,而另外 33 名患者(46.5%)则是在猝死时才首次出现潜在性心脏疾病的明确指征^[19]。



图注: ARVC 即致心律失常性右室心肌病;AS 即主动脉瓣狭窄;CA 即冠状动脉;CAD 即冠心病;CM 即心肌病;HCM 即肥大型心肌病;LAD 即左前降支冠状动脉;MVP 即二尖瓣脱垂;WPW 即 Wolff-Parkinson-White 预激综合征。

图 2 1980 年至 2006 年间全美多项竞技项目中年轻选手(共 690 人;平均年龄 19±6 岁)的确诊心血管疾病病例。

Figure 2 Confirmed cases of cardiovascular disease among young (Mage = 19 ± 6 years) competitive athletes in numerous U.S.sports during 1980 to 2006 (n=690)

数据来源: Maron 等人于 2009 年的研究^[15]。

尽管许多研究者都认为,由于许多有心源性猝死风险的年轻成年人具有体征、症状和潜在的心血管疾病家族史,因此进行家族史和体检筛查对这些人可有诸多裨益^[16-18],但如文献中记载的,众多医疗人员误解或忽视这些警示信号的事件也常有发生^[16-17,20]。Drezner 等人在 2012 年发现,87 名心源性猝死者中,有 72% 至少具有一项心血管疾病症状,且在猝死之前 30 个月该症状即已出现。而且,40% 的研究人群被发现在发生心源性猝死之前至少出现过一种显著家族史中的疾病症状^[17]。鉴于许多患者在发生心源性猝死时均未呈现任何症状,或其症状/家族史被误解或忽视,需要研究一种更为明确的方法来对有心源性猝死风险的个体进行鉴别。

包括心电图在内的心血管功能异常总体性预筛查,作为一种主要的心源性猝死预防手段,因其投入的费用与人力,以及对医疗体系进行更新以支持这一计划的需求,向来颇具争议^[14,16,21]。目前欧洲心脏病学学会提倡使用结合总体性心电图筛查的手段,该协会以意大利人个体为研究对象开展的相关研究历时 25 年,结果显示心电图测试在预防心源性猝死方面成效显著^[22-23]。根据 Grazioli 等人在 2015 年发表的研究,心电图在检测年轻运动员最常见的心源性

猝死死因方面敏感度可达 70%;但也有三分之一的运动员尽管患有冠脉异常起源、主动脉疾病和初始形态的肥大型心肌病,但心电图结果却显示正常^[14]。而且,对于心血管功能预筛查有效性的研究发现,心电图检查的敏感度和特异性分别达到了 94% 和 93%,而相比之下家族史筛查和体检的敏感度仅为 20% 和 9%、特异性分别为 94% 和 97%^[24]。由此可知,结合心电图工具进行筛查,是一种最有效的运动员心血管疾病筛查策略,其假阳性概率仅为 6%,而单独采用家族史或体检筛查,假阳性概率分别可达 8% 和 10%^[24]。虽然有证据表明心电图筛查假阳性概率较低,但将之作为心血管疾病筛查的方法依然存有争议,尤其是针对较年轻人群(12~25 岁),这是因为多种显著的遗传性、先天性心血管疾病正逐步成为该年龄组人群的隐患^[18,25]。

目前,美国心脏病协会(American Heart Association, AHA)和美国心脏病学会(American College of Cardiology, ACC)并不提倡将心电图作为无症状年轻运动人群的心血管疾病的普遍筛查手段^[16,25]。Pelliccia 等人在 2000 年发表的研究中发现,14% 的运动员(超过 1 000 名顶尖选手)心电图检查结果异常,高度提示其处于病理状态^[26];但这些个体的假阳



性结果导致了过度的医疗成本投入,且由于额外的心脏筛查对运动员造成了潜在的心理危害。因此,美国心脏病协会和美国心脏病学会都推荐采用一种 14 点心血管病史筛查同时结合体检的筛查手段,以确定有无开展心电图检查的必要^[16]。

根据总结以往文献的结论,目前应采用哪种筛查方法来鉴别赛前心功能异常仍有待讨论。对于现有的 3 种心功能预筛查手段,需要分别对其单独使用和结合使用后,在体育和体力活动中的猝死前心功能异常探测的检查效果开展进一步的大规模研究。

2 植入心脏复律除颤器后能重返赛场或重新参加体育活动吗?

植入式心脏复律除颤器(Implantable Cardioverter Defibrillators, ICDs)作为有心脏病病理状况病史的个体发生心源性猝死的主要和次要预防手段,因其在治疗危及生命的心律失常(如室性心动过速、室性纤维性颤动)方面的有效性,而在近 20 年中得到越来越广泛的应用^[27]。Theuns、Smith、Hunink、Bardy 和 Jordaens 等人于 2010 年开展的一项元分析结果表明,5 343 名久坐患者在植入 ICD 后,因心律失常导致的死亡率(相对风险[RR]=0.40,95%置信区间[CI] [0.27, 0.67])和全病因死亡率(RR=0.73,95%置信区间[CI] [0.64, 0.82])均显著降低^[28];但植入 ICD 的运动员代表的是一个存在个体差异的群体,而这些群体无一例外在参与剧烈体力活动时都有较大的心源性猝死风险^[27]。因缺乏有关心脏病自然病史方面的充分数据,且植入 ICD 对于排除剧烈运动中发生危及生命的心律失常的效果尚未可知,因此,目前已沿用数十年的准则,仍具有很大局限性^[27]。

旨在为患有心血管功能异常的竞技运动员提供合理化建议的第 36 届贝塞斯达会议指出,植入 ICD 的运动员不应参与除低强度 IA 级(见表 1)以外的任何竞技体育项目,也不应参与所有可能导致身体受伤的体育活动^[13]。可以得出的结论是,患有心血管功能异常的竞技运动员植入 ICD,不应被视为接受保护性治疗^[13]。此外,在剧烈运动中佩戴 ICD 的结果尚存在变数,设备可能会出现以下情况:(1)在运动量达到最大值时不能有效工作;(2)因窦性心动过速而引发不当冲击或不当放电;(3)因 ICD 的电击而提高运动员或其竞争对手受到人身伤害的风险,从而令运动员失去参加竞技比赛项目的资格^[13]。贝塞斯达准则的最新修订意见一致认为,允许植入 ICD 的运动员参与竞技比赛的建议有必要重新接受评估。修订意见进一步指出,如运动员未发生任何需接

受 3 个月设备治疗的室颤或室纤维颤,则可以考虑参加静态和动态最大负荷高于 IA 级的运动项目^[29]。但由于对希望参与竞技体育项目的选手存在限制性,这些准则目前还只在文献审查阶段^[30-32]。

表 1 体育运动项目分类

Table I Classification of sports

等级	运动项目
IA 级	台球、保龄球、板球、高尔夫、射击
IIA 级	射箭、赛车、跳水、马术、摩托车 大型雪橇、小型雪橇、田赛(投掷类)、体操、武术、
IIIA 级	帆船、攀岩、滑水、举重、帆板
IB 级	棒球、垒球、击剑、乒乓球、排球
IIB 级	美式足球、田赛(跳跃类)、花样滑冰、牛仔竞技、英式橄榄球、短跑、冲浪、花样游泳
IIIB 级	健美、高山滑雪、滑板、滑板滑雪、摔跤 羽毛球、越野滑雪(传统式)、草地曲棍球、定向越野、
IC 级	竞走、回力式网球、壁球、长距离跑、足球、网球 篮球、冰球、越野滑雪(滑冰)、长曲棍球、中距离跑、
IIC 级	游泳、团体手球 拳击、独木舟、皮划艇、自行车、十项全能、赛艇、速
IIIC 级	度滑冰、铁人三项赛

数据来源: Baman, Gupta 和 Day 等人在 2010 年的研究。

与当前建议^[13]相反,有证据显示心脏病科医师倾向于允许运动员在特定情况下参与竞技性比赛项目^[31]。以往的文献发现在参与竞技比赛的 21 个月至 46 个月间,372 名植入 ICD 的运动员尽管经历了电击,但未发现即刻死亡或因错误电击引起伤害的案例^[32]。此外,37 名(占实验对象总数的 10%)参与竞技比赛或训练的选手接受了 49 次电击,29 名(8%)参与其他体育活动的选手接受了 39 次电击,24 名(6%)选手在静息状态下接受了 33 次电击^[32]。在设备定义的 8 次室颤发作期间,研究对象接受了多次电击,一次在静息状态下,4 次在比赛或训练期间,3 次在其他体育活动期间^[32]。在这些电击中,ICD 最终消除了全部心功能异常情况。这些选手参与最频繁的项目包括赛跑、篮球和足球,均为按当前准则应禁止参与的项目^[32]。另一项研究^[30]以 71 名植入 ICD 的青年运动员(40 岁以下)为对象,结果未发现参与体育比赛项目(主要是耐力项目和健身活动)会增大引发致命性室颤,以及不当与适当 ICD 电击的风险。

以上资料表明,许多植入 ICD 的运动员可以参加激烈的竞技比赛类体育项目(如篮球、足球、赛跑等),既不会受到人身伤害,设备也不会因发生故障而致无法消除心律失常^[30,32],这与现行的推荐意见是相悖的^[13]。令人担忧的是,当前有关项目参与和植入 ICD 的准则对某些患者而言局限性太大;尽管如此,未来还需要开展进一步研究,以确定植入 ICD 的运动员可以在多大程度上参与竞技类体育赛事。



3 采取综合应急行动方案能降低体育和体力活动中发生严重创伤或猝死的几率吗?

旨在降低或防止发生运动导致的严重伤害的努力,包括了贯彻实施基于最佳规范的健康与安全政策。众多医疗机构都支持实施此类政策,这已见诸之前的各类声明以及相互关联的工作组文件,这些文件都表明了制定综合应急行动方案(Emergency Action Plans, EAPs)的必要性^[6,10]。应急行动计划属于特定政策,对于降低困境中患者的致命或长期伤残后果的潜在风险具有极为关键的重要意义。

应急行动方案是一种按部就班的周密而特定的行动方案,特别针对运动相关的突发事件,一旦落实,可防止在治疗方面发生重大延迟事故。方案所涵盖的信息应面向全部与方案实施有关的人员,且必须配备经过合理培训的医疗保健专业人员。在应对突发事件时,防止发生重大延迟事故对于尽可能改善患者的预后至关重要。比如,心脏停搏后决定患者生存率的最关键因素是从心机能崩溃发生到实施除颤治疗之间的时间。在心搏停止后1~3 min内对患者使用自动体外除颤器(Automated External Defibrillator, AED),可使患者生存率提升至90%;而除颤救治每延误1 min,患者生存率就会下降7%~10%^[18,33-34]。心脏骤停已成为体育运动中的首要死因^[35],因此,采取迅速鉴别和治疗措施对改善预后至关重要。

虽然大量文献都支持这一观点,但美国各州中,仅有2%要求在学校主办的体育赛事现场配备AED,而有14%的州既未要求教练必须经过心肺复苏术(Cardiopulmonary Resuscitation, CPR)培训,也未要求现场配备AED(来自于Korey Stringer Institute的未公开数据)。在许多情况下,贯彻并实施一项书面应急行动方案将有助于患者更快速地获得急救护理。除心脏骤停外,其他如劳力性中暑(Exertional Heat Stroke, EHS)、创伤性脑损伤、镰状细胞病变、哮喘等情况也需要迅速采取识别和治疗措施。任何组织机构,如欲对可能发生的严重或危及生命的伤害事故做好充分准备,就应当为其体育团队配备应急设备、组织培训并制定应对方案。而即便了解了这些信息,研究还是发现仅有13%~70%的中学体育运动项目制定了应急行动方案^[36-41]。近期的一项研究发现,在俄勒冈州,仅有11%的中学制定了与场馆有关的应急行动方案,保证教练都接受过CPR和AED培训,并确保现场配备了AED设备以实施及早除颤治疗;而且,令人吃惊的是,近30%的学校报称未采取上述任意一项建议措施^[37]。

上述研究的原始数据表明,美国中学未能制定应急行动方案的现象较为普遍,而全国范围内各级体育与运动组织制定和实施全面应急行动方案的情况,则较少有文献报道。虽然实施应急行动方案已被证明能减少关键性治疗发生延误的情况,但还是需开展进一步的研究来确定应急行动方案在标准信息不足,以及具备了所有最佳实践文献中描述的要素这两种不同情况下的有效性。

4 旨在降低严重伤患和/或疾病发生率的综合辅导教育计划中应具备哪些要素?

不幸的是,有报道称实践中运动员身边缺少像运动训练师这样合适的可提供医疗救助服务的人,因此在缺少合适的保健服务提供者的情况下,让教练员了解有关合理采取方针措施以减少严重伤害和/或疾病风险的重要性,可有助于降低运动员发生严重后果的概率。尽管实施全面性教育策略的需求客观存在,但全美国没有几个州要求体育教练持有CPR、急救、AED培训、脑震荡和热暑病处理的培训证书^[42]。Ransone和Dunn-Bennett在1999年发现,尽管都持有CPR和急救资格证书,但在一次经改编的急救评估考核中,仅有36%的教练获得了及格分^[43]。Baron、Powell、Ewing、Nogle和Branta则在2009年报道称仅有5%的教练通过了修订后的急救评估考核^[44]。Adams、Mazerolle、Casa、Huggins和Burton等在2014年的最新研究发现,教练员缺少预防和识别劳力性中暑的基础知识^[45]。这些研究的结果都表明,教练员对于应急状况的评估和处置都没有做好足够的准备。需要对目前的教育策略进行改进,使那些重要的相关人员能更好地了解如何妥善预防、识别和处理严重的伤害事故。

应就脑部和脊柱创伤、基于环境的活动调整、中暑相关伤害事故、合理采取补水策略等课题向全体教练员开展全面综合性教育,此举已被证明是最有益的运动伤害事故预防策略之一^[44,46-47]。每年应在赛季开始前针对教练员开展着重于伤害机制、指征及症状,重返赛场与重返课堂、防护性装备和妥善处置等的教育培训^[46,48-49]。美国美式足球管理机构(USA Football)所推行的球员安全预警教育计划“Hheads-up Football”旨在向球队教练普及与橄榄球运动、伤害预防和伤害事故识别有关的各种基础知识。这项计划相对较为新颖,其中包含的综合性教育策略使教练员学会如何处置橄榄球运动事故;近期的研究结果表明,相比那些未采纳“Hheads-up Football”计划的体育赛事,实施该计划可降低球员受伤的几率^[50]。



虽然有充足的证据表明实施“Hheads-up Football”计划令伤害事故发生率全面下降,但其他综合性方案,如州立高中体育协会要求的方案的有效性却还鲜有文献报道。还需要开展进一步的研究以确定那些涵盖了体育运动猝死全方位教育项目的存续时间,及其在提高教练员知识水平和意识方面的效果。只是通过传统的笔试来确定教练员的知识水平是满足不了要求的。曾有对关于护士的文献进行召回记忆的评估,文中谈及人类如何在脑中记忆存储进行搜索。该领域的研究表明,相比那些不常练习的个体,进行不断练习实践的个体能更快地唤起回忆^[51-52]。例如,有关 CPR 再训练的文献指出,训练结束后,只需短短 2 周,对习得知识的掌握程度就开始发生衰退,一直延续 18 个月。有鉴于此,研究者认为心肺复苏训练必须每两年开展一次^[24, 53-54]。有必要对模拟与实地场景中的操作能力开展评估,以提高此类项目在减缓伤情、减少伤停时间方面的效果。此类教育类项目所涵盖的信息应涉及头部创伤、高热伤害、心搏停止,还应包括其他预防运动中猝死的方法。其主题领域应涵盖预防、识别和治疗最佳实践方案,以此来巩固相关主题的知识基础。在实施各种综合性教育计划后,还有必要开展前瞻性研究以了解受伤率的流行病学,从而找到效果最佳的方案。

5 脑部反复轻度受创会导致哪些严重的短期并发症?

震荡和亚震荡型脑部创伤系由作用在脑部的生物机械应力而导致,该力量源于对头部的直接撞击,或由躯体部位的撞击传导至头部所致^[55-56]。脑震荡是一种影响大脑的病理生理过程,可改变神经系统功能,其症状可包括辨别不清、头晕、烦躁、头痛和平衡困难。虽然也会发生丧失意识的情况,但一般不会将其诊断为脑震荡。脑震荡大部分的症状可在 7~10 d 内消除,但也可能会持续数月甚至几年^[56]。尽管震荡和亚震荡型脑部创伤的发生机制相似,但亚震荡型脑部创伤并不会显现脑震荡症状^[55]。如遭受反复震荡和亚震荡型脑创伤,可同时导致急发性和长期性后果^[55, 57-58]。

反复遭受震荡冲击后,在所有可能发生的急发后果中最令人担忧的是二次冲击综合征(Second-impact Syndrome, SIS)。尽管非常罕见,但如运动员在脑震荡后未及痊愈即重返赛场,就会发生二次冲击综合征,而且会在与初次脑震荡有关的症状消除之前又遭受其他的脑部创伤^[59-61]。二次冲击可能看起来相对温和,也不会对脑部形成直接打击,比如美

式足球运动中常见的抱摔动作。在已经报道的案例中,二次打击可在初次受伤后的 1 h 至数周内发生^[60-61]。二次冲击刚发生后,运动员会有一段时间神志保持清醒,其间会表现出茫然恍惚,但仍能自主行走。约 15 s~1 min 后,运动员通常会发生瘫倒状况,代偿迅速失调^[60]。有人认为,在初次受创后,大脑对其脉管系统进行自调适的能力受损^[62-63]。在第二次打击发生后,自调适失能将导致脑水肿,使颅内压快速升高^[59-60]。虽然二次冲击综合征的内在发生机制尚未获得普遍认可,但已经可以表明,初次创伤所继发的代谢紊乱可使大脑更容易受到进一步创伤^[61]。

二次冲击综合征最有可能影响的人群是 18 岁以下的运动员,但有报道亦称大学生运动员也同样易受其影响,这说明低龄是二次冲击综合征的一个风险因素。所以,确保能识别年轻运动员人群的脑震荡并加以妥善管理显得尤其重要。二次冲击综合征病例中有约 70% 的预后不良,并可发生持续性的运动、知觉和认知缺陷,甚至导致死亡^[60-61]。McLendon 等人在 2016 年对 17 例二次冲击综合征病例的研究结果发现,其中的 12 例结果较差,包括死亡或永久残疾^[61]。与之类似的是,Cantu 和 Gean 在 2010 年发现,在 10 例二次冲击综合征患者中,有 7 人预后较差,另 3 名预后“良好”的患者仍患有持续的认知、知觉和 / 或运动缺陷^[60]。目前的脑震荡诊断评价方法主要都基于主观自觉,因此运动员在报告脑震荡症状能否保持诚实态度,以及医师能否识别和妥善处理伤情以预防二次冲击综合征的发生,就变得至关重要。

6 劳累性低钠血症的病程如何发展? 运动员、作战人员和劳动者怎样预防?

有症状的劳累性低钠血症 (Exertional Hyponatremia, EH) 最常见于从事长时间训练和劳作(如超过 4 h 的持续训练)的健康耐力项目运动员和军事人员。在此期间,人体会消耗大量的稀释液体。大量的水分滞留在体内,会导致细胞内和细胞外液的稀释、肺水肿、脑水肿、昏迷或猝死。“低钠血症”一词系指血液中钠离子(Na^+)浓度偏低。血浆中 Na^+ 的正常浓度范围为 135~145 mEq/L,而当血浆 Na^+ 浓度低至 130 mEq/L 以下时,即可出现低钠血症症状。当血浆 Na^+ 浓度下降到低于 125 mEq/L 时,必须采取治疗措施,因为如进一步跌至 120 mEq/L 即可导致昏迷^[64]。训练中运动员可以识别一些具有警示性的症状,如头痛、头晕、肌肉颤搐、四肢有刺痛感或肿胀、身体疲惫;如病程进一步发展则可出现恶心、呕吐、



轻微晕眩或昏迷^[64-65]。最严重的症状性低钠血症(即血浆 Na⁺ 浓度 <125 mEq/L)可伴随脑水肿出现,并可发生致命的脑病变。

某些低钠血症病人会发生脱水和体重下降,伴随不可替代的 Na⁺ 流失(即汗液 Na⁺ 浓度高、且出汗速率很快)和部分可替代的水流失^[66-69]。其他低钠血症病例还包括高容量性低钠血症并伴随体重增加(即水中毒,以及净保水量大于出汗、排尿和呼吸等排出的水分)^[69-70]。

尽管运动员常被告诫在耐力训练过程中应避免体重增加(即表示身体保留过多水分),但研究也指出,体重作为单一的诊断因素,并非是确定低钠血症的可靠指标。比如, Noakes 及其同事在 2005 年对 2 135 名竞技项目选手(铁人三项、自行车、赛跑选手)进行的研究数据表明,在赛后的血浆 Na⁺ 浓度的统计变异中,体重变化的比重仅占 10%^[71]。这些数据证明了 Wilderness 医学会^[72]所采取的低钠血症治疗原则的正确性,该医学会称,仅依靠体重无法可靠诊断低钠血症。

因低钠血症表示血浆中 Na⁺ 浓度低,因此一些医疗主管部门建议劳动人员和运动员在长时间劳作或训练中摄入 Na⁺^[73]。同样,由于一些运动员出汗速率较高(>2.5 L/h)、汗液中 Na⁺ 浓度较高(如达到 60~80 mEq/L),在训练结束后可以在衣服上肉眼观察到出盐汗渍^[74],他们相信补充盐分是一项必要措施,故而在训练过程中服用盐片剂或进食含盐食品^[75]。但是,采用对照开展的实验室研究^[76-77]与现场研究^[67-68,75]结果发现,摄入 Na⁺ 对最终的 Na⁺ 浓度影响甚微。事实上,相比膳食对 Na⁺ 的影响,运动员本人的想法对于低钠血症的病因影响更甚^[78]。一则已发表的病例报告^[78](Armstrong 等人,1993 年)描述了一名饮

用了 10.3 L 水的健康年轻男子,在 7 h 内保留了 2.77 L 的水分,随后在一个酷热环境(41°C)下的低强度训练中显现了低钠血症症状。之所以喝下如此大量的液体,是因为选手本人相信这会防止他发生中暑^[79]。

过量水分的滞留是严重低钠血症的一个特征,因此一些作者建议运动员只在感到口渴时才须饮水^[80]。但围绕这个办法目前还存在争议^[81],也没有证据显示渴时饮水能预防低钠血症。事实上,实际情况正好相反。Armstrong, Johnson, McKenzie, Ellis 和 Williamson 在 2015 年以耐力自行车选手为对象开展研究,选手在温度为 35.5°C 的晴天骑行 164 km,其间任意饮水。结果显示,口渴与总摄入量、身体水平衡(L/164 km)、体重变化百分比、体质指数、身高或骑行时对地速度间没有统计意义上的相关性^[82]。而且,口渴感、喝水欲望以及饮水量是受到生理反应、感觉、喜好、文化影响力、习得行为、液体特征和性别差异^[81, 83-84]影响的复杂对象^[85-86]。此外,“渴时饮水”这一概念很模糊,容易被运动员曲解(比如,“我是不是该在觉得口渴时才喝水?是不是我喝了水了就一直不会有口渴感觉?”),而且会导致过度强调饮水的重要性。

有研究用统计模型^[64, 87]对运动员发生严重低钠血症所必须摄入和滞留的水量(即超过经排汗和排尿流失的水分)进行了估算。计算结果表明,在历时 9 h 的超耐力项目竞赛中,体重低于 50 kg 的轻量级赛跑选手只需摄入 2.2 L 水(速率为 200 mL/h)即可令血浆 Na⁺ 浓度降至 120 mEq/L。表 2 对此进行了展示,并提示不应随机、无计划地摄入水分。

在长时间训练中所采取的最安全和有效的补水方案,应当包含训练期间个性化的饮水时间表,此类

表 2 不同体重耐力跑选手发生严重有症状劳累性低钠血症所需过量液体的计算结果

Table II Calculated fluid excess required to develop severe, symptomatic exertional hyponatremia in endurance runners with different body mass

	选手 A			选手 B			选手 C			
体重 /kg, lb	50,111			70,155			90,199			
身体水份总量 /L	31.5			44.0			56.6			
初始血浆 Na ⁺ 浓度 mEq/L	140.0			140.0			140.0			
纯水饮用量 L/9h	6.1			8.6			11.1			
出汗量 L/9h ^a	6.1			8.6			11.1			
固有汗液 Na ⁺ 浓度 mEq/L	20	40	60	20	40	60	20	40	60	
滞留的过量体液 ^b	L	4.2	3.2	2.2	5.9	4.5	3.0	7.6	5.8	3.9
	L/h	0.5	0.4	0.2	0.7	0.5	0.3	0.8	0.6	0.4

注:a 表示以 10 km 时速奔跑 9 h, b 表示将血浆 Na⁺ 浓度稀释至严重症状与昏迷阈值的 120 mEq/L,每一体重下的 3 个值代表不同的汗液 Na⁺ 浓度。本例数据来源于 Armstrong、McDermott 等人和 Montain 等人^[64, 87],纯水饮用量等于流失的汗液量。



方案可模拟竞技场条件,并以不同的个体补水需求为基础^[8,75]。这一方案的目标是通过测定排汗速率来确定最佳的补水量^[8]。这意味着既要尽量饮水以避免体重丢失超过 2%~3% (这会影 响耐力运动表现),也要喝得适量以免造成过量饮水。

7 目前的运动前预防和送院前治疗方法对于防止劳累型镰状细胞病变相关死亡是否有效?

镰状细胞性状(Sickle-cell Trait, SCT)是一种 β -S 型红细胞的基因遗传,在非裔美国族群中较为常见,发生率约为 7%,而在高加索人种中每 625 人才会发生 1 例(小于 1%)^[88]。与镰状细胞性状有关的劳累性镰状细胞病变或运动后虚脱(Exercise Collapse Associated With Sickle Trait, ECAST)是一种可对 SCT 个体产生不良影响的突发状况^[89]。在锻炼过程中, SCT 个体的红细胞会发生镰状病变,进而引发爆发性横纹肌溶解,并可导致死亡^[89]。尤其是 ECAST,通常会在高强度或异常运动过程中、特别是在高海拔或酷热环境下发生^[33,90-91]。

在 2004 年至 2008 年间, SCT 运动员发生劳累性死亡事故的概率为 1:827,比那些没有此类性状的运动员人群高 32 倍^[88]。而且,在 2002 年至 2011 年间,共有 11 名全国大学生体育协会(National Collegiate Athletic Association, NCAA)下属的运动员死于 ECAST,其中主要发生在美式足球训练课期间,且常常是在执行新活动之时^[16,92]。十多年来, ECAST 一直是 NCAA 橄榄球训练中的第一位致死原因^[93]。

而在 ECAST 预防方面,分为两个派别。美国陆军在上世纪 70 年代开展了一项研究,最终形成了一套普遍预防措施^[94]。军方并不对征募的新兵做特别的 SCT 筛查,而是对训练方案进行了全面修订以尝试尽量减少可能发生 ECAST 的情境。尽管 ECAST 引起的死亡事故仍有发生,但近期的一项研究发现,患有 SCT 的士兵与那些没有此类性状的士兵相比,发生死亡事故的风险是接近的^[95]。这一结果与 Kark、Posey、Schumacher 和 Ruehle 等在 1987 年的发现大相径庭,在当时,作者们发现 SCT 个体面临更高的死亡风险^[96]。

同时,在 NCAA 若干起造成轰动的运动员因 ECAST 致死事故发生后, NCAA 实施了一项 SCT 筛查和教育政策以作为应对之策^[97]。运动员接受 SCT 筛查,医疗人员因此可采取教育和干预手段来尽量降低 ECAST 的致死风险。全国大学生体育协会针对患有镰状细胞性状的选手的建议如下^[98]。

- (1) 设定适合自己的速度。
- (2) 参与缓慢渐进的赛季前训练调整计划,准备好参加运动成绩测试以及严格的校际竞赛项目。
- (3) 在训练中缓慢增强(如速度调节方面的进展)。
- (4) 重复动作间确保充分的休息和恢复,尤其是在“Grassers”折返跑或“垫上”练习期间。
- (5) 不要在中间不做任何休息的情况下尝试去做 2~3 min 以上任何形式的尽全力练习。
- (6) 得免于参加连续冲刺或计时 1 英里(约为 1.6km)跑等运动能力考核,特别是那些非常规的体育活动。
- (7) 当遭受或体验肌肉疼痛、异常虚弱、过度疲劳或呼吸急促等症状困扰时,立即停止运动。
- (8) 随时保持补水充分,尤其是在炎热潮湿环境中。
- (9) 保持合适的哮喘治疗。
- (10) 在急性病发作期间,如感觉不适或在发烧,避免参加极限运动。
- (11) 高海拔地区如有必要应补氧。
- (12) 如感觉异常剧痛,应立即就医。

这项措施取得了引人注目的成绩,在政策实施的前 5 年中,仅发生了一例运动员因 ECAST 死亡的事件^[93]。

ECAST 控制工作所面临的 最大挑战之一,是在发生镰刀型贫血危机时缺少权威性的入院前干预手段。当前的建议是快速将患者送急诊以控制爆发性代谢危机^[99],但最关键的是需要对 ECAST 患者加以快速识别。

虽然 ECAST 已成为体育活动中最常见的猝死原因之一,但目前实践中采取的最佳办法仍依赖于预防,以尽可能降低发病率和致死率。目前,美国的新生儿在出生时全部都经过体检^[89],所以向负责运动员医疗保健的专业人员妥善通报有关 SCT 病情就显得极为重要。未来的研究应着重于 ECAST 的治疗,以尽可能减少可终结运动生涯乃至个体生命的代谢危机。

8 是否存在一种非无创实时方法以评估运动期间的身体内部温度,并防止或诊断劳累性热中暑?

运动期间代谢需求增高,可使体温急速升高,并导致体温过高。相对应的,当热量流失速率与热增量速率相当时,作用于身体的传导、对流、蒸发和辐射等机制就达到了平衡,从而防止体温出现不可逆的升高^[99]。在酷热环境中进行运动时,汗液蒸发成为排除人体积存热量的首要方法,个体保持体温调节性平衡的能力因此受到影响^[100]。在环境温度和



相对湿度都较高的情况下,人体散热的能力进一步下降,可导致体温不可逆的升高,显著提高发生 EHS 的风险^[101]。

EHS 被定义为一种医疗紧急事故,患者体温高于 40.5°C,同时伴有神经精神障碍^[11],如果不能迅速识别和治疗,可导致死亡或长期后遗症。如怀疑发生 EHS,需精确测量体温,这是为患者提供妥善治疗而采取临床决策算法的关键要素。当前的最佳实践方法指出,如怀疑发生 EHS,采用直肠温度计是准确测知体温的关键性标准措施^[7,11]。实验室^[102-104]和现场^[105]直肠温度评估结果发现,直肠温度是准确测知运动条件下体温的最标准方法。相应地,食道和胃肠道温度与直肠温度结果近似,也是运动期间体温测量的可靠指标^[104,106-108]。但由于食道或胃肠道测温存在应用方面的局限性,直肠温度还是对 EHS 开展临床诊断时首选的诊断工具。

现场条件下普遍采用胃肠道温度来不间断测量人体体温,但服用遥测药丸的做法存在许多潜在的缺陷。在运动前 6~8 h 服下药丸,可确保药丸在运动时进入下消化道,可减少因药丸位于胃内或胃部附近而产生错误读数的情形^[109]。药丸通过粪便排出体外或设备发生故障(即电池或无线射频信号故障)的概率,也大大降低了其作为诊断工具和预防手段的可靠性^[106]。

上述的测温模式可极为近似地反映出肺动脉温度,是获取运动期间体内温度值的准确可靠的工具。但无创方法则很大程度上无法达到这一目标。以往的有关非介入性体温测量方法(如口腔体温、鼓室体温、颞叶体温和外周体温)的文献^[102,105-106,110-116]发现,上述的非介入方法在追踪运动期间人体体温方面均不可靠,不应用于精确测量人体体温、尤其是在疑似 EHS 时。

当前的研究^[117-123]寻求发现其他无创生理测量手段与参数,以获取一种运动期间的实时体内温度测量方法。在运动期间利用无创生理测量方式测量人体内部温度的能力可提高采用实时测温作为伤病预防工具的能力。而且,编制统计算法可预测运动期间的体温变化,同时又能解释环境条件、穿戴的服装和运动强度等因素,可有助于临床医师在热损伤发生前就能识别出那些有风险的个体,从而得以做出合理的修正或临床决策。这项工作在实际测知体温的可行性方面表现出了一定前景,但未来的工作应旨在发现那些准确测知体温所需的最重要的生理参数,并制定出在各种体育运动项目、军事行动和工作条件下获取这些测量值的方法。

9 哪种现场干预可降低 EHS 所造成的病理生理伤害,或增进疗效、改善恢复?

在炎热环境中的运动期间,皮肤血流量的协同增加和内脏器官血流量的减少创造了一个潜在的内脏缺氧环境^[124-125]。这一内脏器官的由热应力介导的缺氧反应提高了胃肠道的渗透性,从而使脂多糖类内毒素被释入体循环。由此引起的感染反应可导致 EHS 发生^[126-129]。正是这一病理生理学途径导致了多系统器官衰竭风险,如不能得到迅速治疗,还会提高 EHS 发作期间的死亡率^[124,126]。

提高 EHS 生存率的关键是采取积极的全身降温措施,其目标是在发生 EHS 后 30 min 内降低体温,将体温尽快降至细胞发生损伤的阈值以下^[130]。基于证据的最佳实践原则^[7,9,11]根据水比空气更能冷却身体的特性^[104],推荐将冷水浸没法(Cold-water Immersion, CWI)作为治疗的黄金法则。CWI 的冷却速率为 0.22°C/min(范围为 0.13~0.35°C)^[131],可加快对 EHS 患者的冷却,尽可能缩短体温位于细胞损伤阈值以上的时间。DeMartini 等人在 2015 年通过 274 例 EHS 的成功治疗病例,进一步证明了 CWI 在治疗 EHS 方面的有效性,这些参加法尔茅斯公路赛跑的 EHS 患者无一例外都得到了迅速鉴定和护理,并得到成功治疗。

在许多条件下,采用 CWI 治疗 EHS 并不可行,如在偏远地区开展的军事训练/行动,在荒郊野外实施救火,或是其他无法收储和保存可供冷却的浴缸的职业环境,这就要求采取另一种有效的冷却方式来加速 EHS 患者的降温。采用防水布帮助降温^[132-133]、在毛巾上轮流浇冰水、用冷水浸透^[131]都能快速有效降温,从而可在时间充裕的情况下对 EHS 实施成功治疗。

虽然证据表明,EHS 患者如能得到迅速识别和护理治疗,生存率可达 100%,但决不可忽视细胞水平遭受的长期 EHS 罹患风险,特别是在治疗有所延误的情况下。尤其是 EHS 伴随的代谢级联效应可导致长期健康性问题,甚至可致死亡。Stearns、Casa、O'Conner 和 Lopez 等人在 2016 年发表的一篇最近的案例研究中,特别提及了两名 EHS 患者的情况;其中一名患者接受了妥善的治疗,而另一人则被耽误了治疗。后者在此后发生的 EHS 继发性生理反应,凸显了在现场开展合理治疗的必要性^[134]。而且,越来越多的证据表明在 EHS 和恶性高热症等遗传缺陷之间可能存在关联^[132,135-137],这就提出了一个问题,即在现场对 EHS 进行降温治疗是否还需结合其



他的现场治疗手段,以降低潜在的代谢级联效应所导致的有害后果风险。由于迄今为止还没有任何检验 EHS 患者在 10 年、20 年或 30 年后的健康状况的纵向研究,因此尚不清楚 EHS 给患者带来的真实长期效应。此外同样不甚明了的是,除 CWI 外,采取何种辅助治疗措施,才能最有效地减少 EHS 的病理生理性反应。

10 聘用运动伤害防护师能改善重伤和/或重病患者的预后吗?

作为健康护理专业人员,运动训练师应接受与运动相关的伤害事故的预防、治疗、识别和护理方面的培训。如本文其余章节所述,伤害属于不幸事故,但参与运动和体育活动天然存在受伤危险,经过合理培训的运动训练师则能治疗这些伤情。运动训练师需持有执照,或接受全美 49 个州和哥伦比亚特区相关部门的管理,需进修完学术课程,并依医学模式接受临床培训。运动训练所遵循的医学模式是指运动训练师受雇于一家直接提供医疗服务的机构(即医务部、学生医疗中心、诊所等)。按照这一模式,运动训练师直接向该机构主管报告(运动训练师或其他同属该机构的健康护理服务提供者),使其上级了解其有别于未经医疗培训的个人的任务和职责。在这一模式下,运动训练师作为一名专业人员,除日常职责外还接受医疗水平的评估。在特定情况下,运动训练师还接受体育运动中常见的危及生命的伤害事故应急护理治疗方面的培训。

能接受医疗专业服务的服务可保证受伤运动员得到经过合理培训的个体的护理治疗。虽然运动训练师对于确保运动员的人身安全至关重要,但一则发表于 2015 年的基准研究发现,全美范围内仅有 70% 的公立中学和 58% 的私立中学设立了运动训练师岗位^[134, 138-139]。设置全职运动训练师岗位可确保在校运动员在参加各种训练和比赛时能接受恰当的医疗服务;但仅有 37% 的公立中学设有全职运动训练师岗位,仅比私立中学高 9% 左右^[138-139]。而且,这两项研究都发现,随着学校招生人数的上升,获取运动训练师服务的便捷性也得到了改进,招生数分别超过 500 人和 3 300 人的私立中学和公立中学中,分别有 72% 和 93% 设立了全职运动训练师岗位(表 3)。其他层面的体育比赛,包括公路赛跑、青年运动员组织和其他体育活动赛事中,接受运动训练师服务的情况目前尚未可知。

表 3 全职运动训练师服务占学校在校人数百分比
Table III National Collegiate Athletic Association recommendations for student athletes with sickle-cell trait

在校人数	Pike 等人, 2016 年*	Pryor 等人, 2015 年**
	% 全职	% 全职
0~99	2	5
100~199	41	12
200~299	52	21
300~399	61	36
400~499	69	43
≥ 500	72	44**
3 300~3 399	—	93
3 400~3 499	—	93
3 500~3 599	—	92
> 3 600	—	88

注:数据源于 Pike 等人^[138]和 Pryor 等人^[139]。* 表示美国私立中学。** 表示美国公立中学。※ 表示数据基于 500~599 人范围学生人数。

不能充分了解各级体育运动可提供运动训练师护理服务的程度,研究人员就无法彻底理解运动训练服务的益处所在。其潜在益处之一是向运动员提供各项护理服务,包括改善运动期间所受伤病事故的严重后果。Olivadoti 在 2016 年开展的一项研究发现,49 例中学生死亡事故中,有 71% 的致死发生在未能获得运动训练师医疗服务的情况下^[140]。由于运动训练专业学生的学术课程要求对本文所讨论的伤病事故管理接受深入教育,运动训练师在此类突发事件和危及生命的情形管理方面,相比其他在相关方面仅接受过最低限度指导的护理人员,具有独一无二的特质。未来的研究应旨在了解在医疗训练师岗位设置不足和各级体育运动中猝死事故发生率的上升之间是否存在关联。

11 结论

预防运动和体育活动中的猝死情况是一个涉及多方面的过程,最新的研究与调查已经建立起了循证最佳实践原则。本文所提出的问题,为未来应在哪些方面进一步强化循证实践原则以防止运动和体育活动中的猝死事故奠定了基础。随着研究的进展,科学与医疗护理方面取得的进步将为医护人员提供最新的循证实践原则,运动员和积极参加体育锻炼人员所接受的医疗保健服务将不断得到增强,患者预后将进一步得到改善。

12 鸣谢

本文作者谨向以下人员致以诚挚谢意,感谢他们分享各自领域所取得的见解、知识与经验,从而令



本文得以面面俱到并具有较高的信息价值; Craig R. Denegar 博士, PT, ATC, FNATA; Yuri Hosokawa 博士, ATC; Rebecca L. Stearns 博士, ATC; Robert A. Huggins 博士, ATC。

参考文献:

- [1] Kucera K. L., Yau R., Thomas L. C., et al. Catastrophic sports injury research: Thirty-third annual report: Fall 1982-spring 2015, 2016
- [2] National Federation of State High School Associations. 2014-15 High School Athletics Participation Survey [EB/OL]. Retrieved from. http://www.nfhs.org/ParticipationStatics/PDF/2014-15_Participation_Survey_Results.pdf.
- [3] U.S. Department of Labor. Labor force statistics from the current population survey [EB/OL]. Retrieved from <https://www.bls.gov/cps/data.htm>, 2017.
- [4] Boden B. P., Breit I., Beachler J. A., et al. Fatalities in high school and college football players [J]. *American Journal of Sports Medicine*, 2013, 41:1108-1116.
- [5] Eckhart R. E., Scoville S. L., Campbell C. L., et al. Sudden death in young adults: A 25-year review of autopsies in military recruits [J]. *Annals of Internal Medicine*, 2004, 141:829-834.
- [6] Andersen J. C., Courson R. W., Kleiner D. M., et al. National Athletic Trainers' Association position statement: Emergency planning in athletics [J]. *Journal of Athletic Training*, 2002, 37:99-104.
- [7] Armstrong L. E., Casa D. J., Millard-Stafford M., et al. American College of Sports Medicine position stand. Exertional heat illness during training and competition [J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2007, 39:556-572.
- [8] Casa D. J., Armstrong L. E., Hillman S. K., et al. (2000). National Athletic Trainers' Association position statement: Fluid replacement for athletes [J]. *Journal of Athletic Training*, 35:212-224.
- [9] Casa D. J., Guskiewicz K. M., Anderson S. A., et al. National Athletic Trainers' Association position statement: Preventing sudden death in sports [J]. *Journal of Athletic Training*, 2012, 47:96-118.
- [10] Casa D. J., Almquist J., Anderson S. A., et al. The Inter-Association Task Force for Preventing Sudden Death in Secondary School Athletics Programs: Best-practices recommendations [J]. *Journal of Athletic Training*, 2013, 48:546-553.
- [11] Casa D. J., DeMartini J. K., Bergeron M. F., et al. National Athletic Trainers' Association position statement: Exertional heat illnesses [J]. *Journal of Athletic Training*, 2015, 50:986-1000.
- [12] Heck J. F., Clarke K. S., Peterson T. R., et al. National Athletic Trainers' Association position statement: Head-down contact and spearing in tackle football [J]. *Journal of Athletic Training*, 2004, 39:101-111.
- [13] Maron B. J., Zipes D. P. Introduction: Eligibility recommendations for competitive athletes with cardiovascular abnormalities: General considerations [J]. *Journal of the American College of Cardiology*, 2005, 45:1318-1321.
- [14] Grazioli G., Sanz M., Montserrat S., et al. Echocardiography in the evaluation of athletes [J]. *F1000Research*, 2015, 4:151.
- [15] Maron B. J., Doerer J. J., Haas T. S., et al. Sudden deaths in young competitive athletes: Analysis of 1866 deaths in the United States, 1980-2006 [J]. *Circulation*, 2009, 119:1085-1092.
- [16] Maron B. J., Friedman R. A., Kligfield P., American College of Cardiology. Assessment of the 12-lead ECG as a screening test for detection of cardiovascular disease in healthy general populations of young people (12-25 years of age) [J]. *Circulation*, 2014, 130:1303-1334.
- [17] Drezner J. A., Fudge J., Harmon K. G., et al. Warning symptoms and family history in children and young adults with sudden cardiac arrest [J]. *Journal of the American Board of Family Medicine*, 2012, 25:408-415.
- [18] Drezner J. A., Ackerman J. J., Anderson J., et al. Electrocardiographic interpretation in athletes: The 'Seattle Criteria' [J]. *British Journal of Sports Medicine*, 2013, 47:122-124.
- [19] Maron B. J., Roberts W. C., Epstein S. E. Sudden death in hypertrophic cardiomyopathy: A profile of 78 patients [J]. *Circulation*, 1982, 65:1388-1394.
- [20] Wisten A., Messner T. Symptoms preceding sudden cardiac death in the young are common but often misinterpreted [J]. *Scandinavian Cardiovascular Journal*, 2009, 39:143-149.
- [21] Piper S., Stainsby B. Addressing the risk factors and prevention of sudden cardiac death in young athletes: A case report [J]. *Journal of the Canadian Chiropractic Association*, 2013, 57:350-355.
- [22] Corrado D., Pelliccia A., Bjornstad H. H., 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. Cardiovascular pre-participation screening of young competitive athletes for prevention of sudden death: Proposal for a common Euro-



- pean 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]. *European Heart Journal*, 2005, 26:516-524.
- [23] Corrado D., Basso C., Pavei A., et al. Trends in sudden cardiovascular death in young competitive athletes after implementation of a preparticipation screening program [J]. *Journal of the American Medical Association*, 2006, 296:1592-1601.
- [24] Hamilton, R. Nurses' knowledge and skill retention following cardiopulmonary resuscitation training: A review of the literature[J]. *Journal of Advanced Nursing*, 2005, 51:288-297.
- [25] Drezner J. A., O Connor F. G., Harmon K. G., et al. AMSSM position statement on cardiovascular preparticipation screening in athletes[J]. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 2016, 26:347-361.
- [26] Pelliccia A., Maron B. J., Culasso F., et al. Clinical significance of abnormal electrocardiographic patterns in trained athletes[J]. *Circulation*, 2000, 102:278-284.
- [27] Ponamgi S. P., DeSimone C. V., Ackerman M. J. Athletes with implantable cardioverter defibrillators[J]. *Clinics in Sports Medicine*, 2015, 34:473-487.
- [28] Theuns D. A. M. J., Smith T., Hunink M. G. M., et al. Effectiveness of prophylactic implantation of cardioverter-defibrillators without cardiac resynchronization therapy in patients with ischaemic or nonischaemic heart disease: A systematic review and meta-analysis[J]. *Europace*, 2010, 12:1564-1570.
- [29] Maron B. J., Zipes D. P., Kovacs R. J. Eligibility and disqualification recommendations for competitive athletes with cardiovascular abnormalities: Preamble, principles, and general considerations[J]. *Journal of the American College of Cardiology*, 2015, 66:2343-2349.
- [30] Backhuijs T. A., Joosten H., Zanen P., et al. Are the current guidelines for performing sports with an ICD too restrictive?[J]. *British Journal of Cardiology*, 2016, 23: 16-20.
- [31] Heidbuchel H., Carre F. Exercise and competitive sports in patients with an implantable cardioverter-defibrillator [J]. *European Heart Journal*, 2014, 35:3097-3102.
- [32] Lampert R., Olshansky B., Heidbuchel H., et al. Safety of sports for athletes with implantable cardioverter-defibrillators: Results of a prospective, multinational registry [J]. *Circulation*, 2013, 127:2021-2030.
- [33] Drezner J. A., Courson R. W., Roberts W. O., et al. Inter-Association Task Force recommendations on emergency preparedness and management of sudden cardiac arrest in high school and college athletic programs: A consensus statement[J]. *Journal of Athletic Training*, 2007, 42:143-158.
- [34] Valenzuela T. D., Roe D. J., Cretin S., et al. Estimating effectiveness of cardiac arrest interventions: A logistic regression survival model[J]. *Circulation*, 1997, 96, 33: 8-13.
- [35] Toresdahl B. G., Rao A. L., Harmon K. G., et al. Incidence of sudden cardiac arrest in high school student athletes on school campus[J]. *Heart Rhythm*, 2014, 11, 11: 90-94.
- [36] Harer M. W., Yaeger J. P. A survey of certification for cardiopulmonary resuscitation in high school athletic coaches[J]. *Wisconsin Medical Journal*, 2014, 113:144-148.
- [37] Johnson S. T., Norcross M. F., Bovbjerg V. E., et al. Sports-related emergency preparedness in Oregon high schools[J]. *Sports Health*, 2017, 9:181-184.
- [38] Lear A., Hoang M., Zyzanski S. J. Preventing sudden cardiac death: Automated external defibrillators in Ohio high schools[J]. *Journal of Athletic Training*, 2015, 50: 1054-1058.
- [39] Monroe A., Rosenbaum D. A., Davis S. Emergency planning for sudden cardiac events in North Carolina high schools[J]. *North Carolina Medical Journal*, 2009, 70: 198-204.
- [40] Schneider K., Meeteer W., Nolan J. A., et al. Health care in high school athletics in West Virginia[J]. *Rural and Remote Health*, 2017, 17:3879.
- [41] Wasilko S. M., Lisle D. K. Automated external defibrillators and emergency planning for sudden cardiac arrest in Vermont high schools[J]. *Sports Health*, 2013, 5:548-552.
- [42] National Federation of State High School Associations. (2015b). Tools for Coaches Association members[EB/OL]. Retrieved from <https://nfhslearn.com/courses>.
- [43] Ransone J., Dunn-Bennett L. R. Assessment of first-aid knowledge and decision making of high school athletic coaches[J]. *Journal of Athletic Training*, 1999, 34:267-271.
- [44] Barron M. J., Powell J. W., Ewing M. E., et al. First aid and injury prevention knowledge of youth basketball, football, and soccer coaches. *International Journal of Coaching Science*, 2009, 3, 55-67.
- [45] Adams W. M., Mazerolle S. M., Casa D. J., et al. The secondary school football coach's relationship with the athletic trainer and perspectives on exertional heat stroke [J]. *Journal of Athletic Training*, 2014. 49:469-477.
- [46] Broglio S. P., Cantu R. C., Gioia G. A., et al. National Athletic Trainers' Association position statement: Man-



- agement of sport concussion[J]. *Journal of Athletic Training*, 2014, 49:245-265.
- [47] Kerr Z. Y., Dalton S. L., Roos K. G., et al. Comparison of Indiana high school football injury rates by inclusion of the USA football 'Heads Up Football' player safety coach[J]. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 2016, 4:5.
- [48] Kerr Z. Y., Roos K. G., Djoko A., et al. Epidemiologic measures for quantifying the incidence of concussion in National Collegiate Athletic Association sports[J]. *Journal of Athletic Training*, 2017, 52:167-174.
- [49] Schneider D. K., Grandhi R. K., Bansal P. Current state of concussion prevention strategies: A systematic review and meta-analysis of prospective, controlled studies[J]. *British Journal of Sports Medicine*, 2016.
- [50] Kerr Z. Y., Simon J. E., Grooms D. R., et al. Epidemiology of football injuries in the National Collegiate Athletic Association 2004-2005 to 2008-2009[J]. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 2016, 4(9):1-8.
- [51] Broomfield R. A quasi-experimental research to investigate the retention of basic cardiopulmonary resuscitation skills and knowledge by qualified nurses following a course in professional development[J]. *Journal of Advanced Nursing*, 1996, 23:1016-1023.
- [52] Gross R. *Psychology: The science of mind and behavior* (7th ed.) [M]. London, UK: Hodder Education, 2015.
- [53] Kaye W., Mancini M. E. Retention of cardiopulmonary resuscitation skills by physicians, registered nurses, and the general public[J]. *Critical Care Medicine*, 1986, 14: 620-622.
- [54] Sullivan N. An integrative review: Instructional strategies to improve nurses' retention of cardiopulmonary resuscitation priorities[J]. *International Journal of Nursing Education Scholarship*, 2015, 12:12.
- [55] Baugh C. M., Stamm J. M., Riley D. O., et al. Chronic traumatic encephalopathy: Neurodegeneration following repetitive concussive and subconcussive brain trauma[J]. *Brain Imaging and Behavior*, 2012, 6:244-254.
- [56] McCrory P., Meeuwisse W. H., Aubry M., et al. Consensus statement on concussion in sport: The 4th International Conference on Concussion in Sport held in Zurich, November 2012[J]. *British Journal of Sports Medicine*, 2013, 47:250-258.
- [57] McKee A. C., Stein T. D., Nowinski C. J., et al. The spectrum of disease in chronic traumatic encephalopathy [J]. *mBrain*, 2013, 136:43-64.
- [58] Stern R. A., Daneshvar D. H., Baugh C. M., et al. Clinical presentation of chronic traumatic encephalopathy[J]. *Neurology*, 2013, 81:1122-1129.
- [59] Cantu R. C. Second-impact syndrome[J]. *Clinics in Sports Medicine*, 1998, 17:37-44.
- [60] Cantu R. C., Gean A. D. Second-impact syndrome and a small subdural hematoma: An uncommon catastrophic result of repetitive head injury with a characteristic imaging appearance[J]. *Journal of Neurotrauma*, 2010, 27: 1557-1564.
- [61] McLendon L. A., Kralik S. F., Grayso, P. A., et al. The controversial second impact syndrome: A review of the literature[J]. *Pediatric Neurology*, 2016, 62:9-17.
- [62] Jünger E. C., Newell D. W., Grant G. A., et al. Cerebral autoregulation following minor head injury[J]. *Journal of Neurosurgery*, 1997, 86:425-432.
- [63] Strelbel S., Lam A. M., Matta B. F., et al. Impaired cerebral autoregulation after mild brain injury[J]. *Surgical Neurology*, 1997, 47:128-131.
- [64] Armstrong L. E., McDermott B. P., Hosokawa Y. Exertional hyponatremia[M]. In D. J. Casa & R. I. Stearns (Eds.), *Preventing sudden death in sport & physical activity*. Burlington, MA: Jones & Bartlett Learning, 2017: 219-238.
- [65] Hew T. D., Chorley J. N., Cianca J. C., et al. The incidence, risk factors, and clinical manifestations of hyponatremia in marathon runners[J]. *Clinical Journal of Sports Medicine*, 2003, 13:41-47.
- [66] Hiller W. D. Dehydration and hyponatremia during triathlons [J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 1989, 21 (5):S219-S221.
- [67] Hoffman M. D., Hew-Butler T., Stuempfle K. J. Exercise-associated hyponatremia and hydration status in 161-km ultramarathoners[J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2013, 45:784-791.
- [68] Hoffman M. D., Myers T. M. Case study: Symptomatic exercise-associated hyponatremia in an endurance runner despite sodium supplementation[J]. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 2015, 25: 603-606.
- [69] Frizzell R. T., Lang G. H., Lowance D. C., et al. Hyponatremia and ultramarathon running[J]. *Journal of the American Medical Association*, 1986, 255:772-774.
- [70] Noakes T. D., Goodwin N., Rayner B. L., et al. Water intoxication: A possible complication during endurance exercise[J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 1985, 17:370-375.
- [71] Noakes T. D., Sharwood K., Speedy D., et al. Three independent biological mechanisms cause exercise-associated hyponatremia: Evidence from 2,135 weighed com-



- petitive athletic performances[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2005, 102,18:550-555.
- [72] Bennett B. L., Hew-Butler T., Hoffman M. D., et al. Wilderness Medical Society practice guidelines for treatment of exercise-associated hyponatremia[J]. Wilderness & Environmental Medicine, 2013, 24:228-240.
- [73] Montain S. J. Strategies to prevent hyponatremia during prolonged exercise[J]. Current Sports Medicine Reports, 2008, 7(4):S28-S35.
- [74] Meyer F., Zbigniew S., Boguslaw W. Fluid balance, hydration, and athletic performance[M]. Boca Raton, FL: CRC Press, 2015.
- [75] Armstrong L. E., Lee E. C., Casa D. J., et al. Exertional hyponatremia and serum sodium change during ultraendurance cycling[J]. International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism, 2017, 27:139-147.
- [76] Barr S. I., Costill D. L., Flink W. J. Fluid replacement during prolonged exercise: Effects of water, saline, or no fluid[J]. Medicine & Science in Sports & Exercise, 1991, 23:811-817.
- [77] Vrijens D. M., Rehrer N. J. Sodium-free fluid ingestion decreases plasma sodium during exercise in the heat[J]. Journal of Applied Physiology, 1985, 86, 18: 47-51.
- [78] Winger J. M., Dugas J. P., Dugas L. R. Beliefs about hydration and physiology drive drinking behaviours in runners[J]. British Journal of Sports Medicine, 2011, 45, 6:46-49.
- [79] Armstrong L. E., Curtis W. C., Hubbard R. W., et al. Symptomatic hyponatremia during prolonged exercise in heat[J]. Medicine & Science in Sports & Exercise, 1993, 25:543-549.
- [80] Dugas J. P., Noakes T. D. Hyponatraemic encephalopathy despite a modest rate of fluid intake during a 109 km cycle race[J]. British Journal of Sports Medicine, 2005, 39:e38.
- [81] Armstrong L. E., Johnson E. C., Bergeron M. F. Counter-interview: Is drinking to thirst adequate to appropriately maintain hydration status during prolonged endurance exercise? [J]. Wilderness & Environmental Medicine, 2016, 27:195-198.
- [82] Armstrong L. E., Johnson E. C., McKenzie A. L., et al. Ultraendurance cycling in a hot environment[J]. Journal of Strength and Conditioning Research, 2015, 29:869-876.
- [83] Greenleaf J. E. Problem: Thirst, drinking behavior, and involuntary dehydration[J]. Medicine & Science in Sports & Exercise, 1992, 24: 645-656.
- [84] Johnson A. K. The sensory psychobiology of thirst and salt appetite[J]. Medicine & Science in Sports & Exercise, 2007, 39:1388-1400.
- [85] Almiron-Roig E., Drewnowski A. Hunger, thirst, and energy intakes following consumption of caloric beverages[J]. Physiology Behavior, 2003, 79:767-773.
- [86] Armstrong L. E., Johnson E. C., Kunces L. J., et al. Drinking to thirst versus drinking ad libitum during road cycling[J]. Journal of Athletic Training, 2014, 49: 624-631.
- [87] Montain S. J., Sawka M. N., Wenger, C. B. Hyponatremia associated with exercise: Risk factors and pathogenesis[J]. Exercise and Sport Sciences Reviews, 2001, 29:113-117.
- [88] Harmon K. G., Drezner J. A., Klossner D., et al. Sickle cell trait associated with a RR of death of 37 times in National Collegiate Athletic Association football athletes: A database with 2 million athlete-years as the denominator[J]. British Journal of Sports Medicine, 2012, 46: 325-330.
- [89] Quattrone R. D., Eichner R. E., Beutler A., et al.. Exercise collapse associated with sickle cell trait (ECAST) [J]. Current Sports Medicine Reports, 2015, 14:110-116.
- [90] O'Connor F. G., Bergeron M. F., Cantrell J., et al. ACSM and CHAMP Summit on Sickle Cell Trait: Mitigating risks for warfighters and athletes [J]. Medicine & Science in Sports & Exercise, 2012, 44, 20:45-2056.
- [91] National Athletic Trainers' Association. Fact sheet: 'Sickle cell trait and the athlete' consensus statement[M]. National Defense Authorization Act for Fiscal Year 2017, 2007, 114:2943.
- [92] Anderson S. NCAA football off-season training: Unanswered prayers... a prayer answered[J]. Journal of Athletic Training, 2017, 52:145-148.
- [93] Adams W. M., Casa D. J., Drezner J. A. Sport safety policy changes: Saving lives and protecting athletes[J]. Journal of Athletic Training, 2016, 51:358-360.
- [94] Brodine C. E., Uddin D. E. Medical aspects of sickle hemoglobin in military personnel[J]. Journal of the National Medical Association, 1977, 69:29-32.
- [95] Nelson A. D., Deuster P. A., Carter R., et al. Sickle cell trait, rhabdomyolysis, and mortality among U.S. Army soldiers[J]. New England Journal of Medicine, 2016, 375: 435-442.
- [96] Kark J. A., Posey D. M., Schumacher H. R., et al. Sickle-cell trait as a risk factor for sudden death in physical training[J]. New England Journal of Medicine, 1987, 317:781-787.
- [97] Eichner E. R. Preventing exertional sickling deaths: The



- right way, the wrong way, and the Army way[J]. *Current Sports Medicine Reports*, 2013, 12:352-353.
- [98] Parsons J. T. 2014-15 NCAA sports medicine handbook. Indianapolis, IN: National Collegiate Athletic Association[EB/OL]. Retrieved from <http://www.ncaapublications.com/productdownloads/MD15.pdf>.
- [99] Galaski M. Hyperthermia[J]. *Journal of Canadian Athletic Therapy*, 1985, 12:23-26.
- [100] Kenney L. W. Thermoregulation during exercise in the heat[J]. *Human Kinetics Journal*, 1996, 1(4):13-16.
- [101] Brewster S. J., O'Connor F. G., Lilegard W. A. Exercise-induced heat injury: Diagnosis and management[J]. *Sports Medicine and Arthroscopy Review*, 1995, 3:260-266.
- [102] Ganio M. S., Brown C. M., Casa D. J., et al. Validity and reliability of devices that assess body temperature during indoor exercise in the heat[J]. *Journal of Athletic Training*, 2009, 44:124-135.
- [103] Miller K. C., Hughes L. E., Long B. C., et al. Validity of core temperature measurements at 3 rectal depths during rest, exercise, cold-water immersion, and recovery [J]. *Journal of Athletic Training*, 2017, 52:332-338.
- [104] Robinson J. L., Seal R. F., Spady D. W., et al. Comparison of esophageal, rectal, axillary, bladder, tympanic, and pulmonary artery temperatures in children[J]. *Journal of Pediatrics*, 1998, 133, 553-556.
- [105] Casa D. J., Becker S. M., Ganio M. S., et al. Validity of devices that assess body temperature during outdoor exercise in the heat. *Journal of Athletic Training*, 2007, 42:333-342.
- [106] Byrne C., Lim C. L. The ingestible telemetric body core temperature sensor: A review of validity and exercise applications[J]. *British Journal of Sports Medicine*, 2007, 41:126-133.
- [107] O'Brien C., Hoyt R. W., Buller M. J., et al. Telemetry pill measurement of core temperature in humans during active heating and cooling[J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 1998, 30:468-472.
- [108] Teunissen L. P. J., de Haan A., de Koning J. J., et al. Telemetry pill versus rectal and esophageal temperature during extreme rates of exercise-induced core temperature change[J]. *Physiological Measurement*, 2012, 33: 915-924.
- [109] Savoie F. A., Dion T., Asselin A., et al. Intestinal temperature does not reflect rectal temperature during prolonged, intense running with cold fluid ingestion[J]. *Physiological Measurement*, 2015, 36:259-272.
- [110] Huggins R., Glaviano N., Negishi N., et al. Comparison of rectal and aural core body temperature thermometry in hyperthermic, exercising individuals: A meta-analysis [J]. *Journal of Athletic Training*, 2012, 47:329-338.
- [111] Kistemaker J. A., Den Hartog E. A., Daanen H. A. M. Reliability of an infrared forehead skin thermometer for core temperature measurements[J]. *Journal of Medical Engineering & Technology*, 2009, 30:252-261.
- [112] Low D. A., Vu A., Brown M., et al. Temporal thermometry fails to track body core temperature during heat stress [J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2007, 39: 1029-1035.
- [113] Mazerolle S. M., Ganio M. S., Casa D. J., et al. Is oral temperature an accurate measurement of deep body temperature? A systematic review[J]. *Journal of Athletic Training*, 2011, 46:566-573.
- [114] Nagano C., Tsutsui T., Monji K., et al. Technique for continuously monitoring core body temperatures to prevent heat stress disorders in workers engaged in physical labor[J]. *Journal of Occupational Health*, 2010, 52:167-175.
- [115] Pryor R. R., Seitz J. R., Morley J., et al. Estimating core temperature with external devices after exertional heat stress in thermal protective clothing[J]. *Prehospital Emergency Care*, 2012, 16:136-141.
- [116] Ronneberg K., Roberts W. O., Mcbean A. D., et al. Temporal artery temperature measurements do not detect hyperthermic marathon runners[J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2008, 40, 13:73-75.
- [117] Buller M. J., Castellani J. W., Roberts W. S., et al. Human thermoregulatory system state estimation using non-invasive physiological sensors[C]. *Conference Proceedings IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 2011: 3290-3293.
- [118] Buller M. J., Tharion W. J., Duhamel C. M., et al. Real-time core body temperature estimation from heart rate for first responders wearing different levels of personal protective equipment[J]. *Ergonomics*, 2015, 58:1830-1841.
- [119] Gribok A. V., Buller M. J., Hoyt R. W., et al. A real-time algorithm for predicting core temperature in humans [J]. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 2010, 14:1039-1045.
- [120] Laxminarayan S., Buller M., Tharion W., et al. Human core temperature prediction for heat injury prevention[J]. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 2014, 19:883-891.
- [121] Richmond V. L., Davey S., Griggs K., et al. Prediction of core body temperature from multiple variables. *Annals*



- of Occupational Hygiene, 2015, 59,11: 68-78.
- [122]Xu X., Karis A. J., Buller M. J., et al. Relationship between core temperature, skin temperature, and heat flux during exercise in heat[J]. *European Journal of Applied Physiology*, 2013, 113,23:81-89.
- [123]Yokota M., Berglund L. G., Santee W. R., et al. Applications of real-time thermoregulatory models to occupational heat stress[J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2012, 26 (2):S37-S44.
- [124]Epstein Y., Roberts W. O. The pathophysiology of heat stroke: An integrative view of the final common pathway [J]. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 2011, 21:742-748.
- [125]Leon L. R., Helwig B. G. Heat stroke: Role of the systemic inflammatory response[J]. *Journal of Applied Physiology*, 2010, 109:1980-1988.
- [126]Bouchama A., Knochel J. P. Heat stroke[J]. *New England Journal of Medicine*, 2002, 346:1978-1988.
- [127]Lambert G. P. Role of gastrointestinal permeability in exertional heatstroke[J]. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 2004, 32:185-190.
- [128]Lambert G. P. Intestinal barrier dysfunction, endotoxemia, and gastrointestinal symptoms: The 'canary in the coal mine' during exercise-heat stress?[J]. *Medicine and Sport Science*, 2008, 53:61-73.
- [129]Leon L. R. Heat stroke and cytokines[J]. *Progress in Brain Research*, 2007, 162:481-524.
- [130]Adams W. M., Hosokawa Y., Casa D. J. The timing of exertional heat stroke survival starts prior to collapse[J]. *Current Sports Medicine Reports*, 2015, 14:273-274.
- [131]McDermott B. P., Casa D. J., Ganio M. S., et al. Acute whole-body cooling for exercise-induced hyperthermia: A systematic review. *Journal of Athletic Training*, 2009, 44:84-93.
- [132]Hosokawa Y., Adams W. M., Belval L. N., et al. Tarp-assisted cooling as a method of whole-body cooling in hyperthermic individuals [J]. *Annals of Emergency Medicine*, 2017, 69:347-352.
- [133]Luhning K. E., Butts C. L., Smith C. R., et al. Cooling effectiveness of a modified cold-water immersion method after exercise-induced hyperthermia[J]. *Journal of Athletic Training*, 2016, 51:946-951.
- [134]Stearns R. L., Casa D. J., O'Connor F. G., et al. A tale of two heat strokes[J]. *Current Sports Medicine Reports*, 2016, 15:215-218.
- [135]Hosokawa Y., Casa D. J., Rosenberg H., et al. Round table on malignant hyperthermia in physically active populations: Meeting proceedings[J]. *Journal of Athletic Training*, 2017, 52: 377-383.
- [136]Bourdon L., Canini F. On the nature of the link between malignant hyperthermia and exertional heatstroke [J]. *Medical Hypotheses*, 1995, 45:268-270.
- [137]Sagui E. Malignant hyperthermia, exertional heat illness, and RYR1 variants[J]. *Anesthesiology*, 2016, 124:510-511.
- [138]Pike A., Pryor R. R., Mazerolle S. M., et al. Athletic trainer services in US private secondary schools[J]. *Journal of Athletic Training*, 2016, 51:717-726.
- [139]Pryor R. R., Casa D. J., Vandermark L. et al. Athletic training services in public secondary schools: A benchmark study[J]. *Journal of Athletic Training*, 2015, 50:156-162.
- [140]Olivadoti J. M. The examination of medical coverage, emergency policies and procedures, and the implementation of prevention strategies before and after sudden death in the secondary school setting[D]. Retrieved from Digital Commons@UConn:891, 2016.
- [141]Armstrong L. E., Johnson E. C., McKenzie A. L., et al. Endurance cyclist fluid intake, hydration status, thirst, and thermal sensations: Gender differences[J]. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 2016, 26:161-167.
- [142]Baman T. S., Gupta S., Day S. M. Cardiovascular health, part 2: Sports participation in athletes with cardiovascular conditions[J]. *Sports Health*, 2010, 2:19-28.
- [143]Buller M. J., Tharion W. J., Chevront S. N., et al. Estimation of human core temperature from sequential heart rate observations[J]. *Physiological Measurement*, 2013, 34:781-798.
- [144]Casa D. J., McDermott B. P., Lee E. C., et al. Cold water immersion: The gold standard for exertional heatstroke treatment[J]. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 2007, 35:141-149.
- [145]DeMartini J. K., Casa D. J., Stearns R., et al. Effectiveness of cold water immersion in the treatment of exertional heat stroke at the Falmouth Road Race[J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2015, 47:240-245.
- [146]Harmon K. G., Zigman M., Drezner J. A. The effectiveness of screening history, physical exam, and ECG to detect potentially lethal cardiac disorders in athletes: A systematic review/meta-analysis[J]. *Journal of Electrocardiology*, 2015, 48:329-338.
- [147]Morrison S. F. Central control of body temperature[J]. *F1000Research*, 2016, 5:816-880.

(本文译自: *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 2017, VOL. 88, NO. 3, 251-268)

(责任编辑:刘畅)