运动相关心源性猝死

周渝

中国人民解放军 63650 部队医院心血管内科，中国 ·新疆 乌鲁木齐 841799

摘要：运动相关心源性猝死（Sports-Related Sudden Cardiac Death, Sr-SCD）是指发生在运动过程中或运动后 1 小时内的非创伤性心源性死亡事件。近年来，随着全民健身运动的普及， Sr-SCD 的发生率呈上升趋势，已成为运动医学和公共健康领域的重要课题。本文回顾了 Sr-SCD 的流行病学特征、病因学机制及预防策略的最新研究进展。流行病学数据显示，Sr-SCD 的发生率约为每 10 万人年 0.47 至 6.64 例，男性显著高于女性，且与年龄、运动强度及种族密切相关。病因学方面，35 岁以上人群以冠状动脉粥样硬化性心脏病为主要病因，而 35 岁以下人群则以遗传性心肌病和离子通道病为主，包括肥厚型心肌病、致心律失常性右室心肌病、长 QT 综合征等。预防策略涵盖赛前筛查、现场急救体系建设和公众教育等多个层面。本文旨在为运动相关心源性猝死的防控提供理论依据和实践指导。

关键词：运动相关心源性猝死；流行病学；病因学；预防策略；运动安全

Sports-Related Sudden Cardiac Death

Zhou Yu

Department of Cardiology, 63650 Military Hospital of the Chinese People's Liberation Army, China Xinjiang Urumqi 841799

Abstract: Sports-related sudden cardiac death (Sr-SCD) refers to non-traumatic cardiac death occurring during exercise or within 1 hour after exercise. In recent years, with the popularization of national fitness activities, the incidence of Sr-SCD has been on the rise, making it an important topic in sports medicine and public health. This article reviews the latest research progress on the epidemiological characteristics, etiological mechanisms, and prevention strategies of Sr-SCD. Epidemiological data show that the incidence of Sr-SCD ranges from 0.47 to 6.64 cases per 100,000 person-years, with a significantly higher rate in males than in females, and it is closely related to age, exercise intensity, and ethnicity. In terms of etiology, coronary atherosclerotic heart disease is the main cause in individuals over 35 years old, while hereditary cardiomyopathies and ion channel diseases predominate in those under 35, including hypertrophic cardiomyopathy, arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy, and long QT syndrome. Prevention strategies cover pre-participation screening, construction of on-site emergency systems, and public education. This paper aims to provide theoretical basis and practical guidance for the prevention and control of sports-related sudden cardiac death.

Keywords: Sports-related sudden cardiac death; Epidemiology; Etiology; Prevention strategy; Exercise safety

0 引言

心源性猝死（Sudden Cardiac Death, SCD）是指因心脏原因导致的、症状发作后 1 小时内发生的意外死亡事件。当此类事件发生在运动过程中或运动后 1 小时内时，则定义为运动相关心源性猝死（Sr-SCD） [1]。

随着全民健身理念的普及，参与体育锻炼的人群日益增多，规律的体育锻炼能够降低长期心血管事件风险，但剧烈的急性运动却可能瞬时增加猝死风险。 Sr-SCD 不仅见于精英运动员，也广泛发生于业余爱好者和普通锻炼者。其发生率虽相对较低，但突发性和致命性对个人、家庭及社会造成重大影响，尤其当发生在年轻运动员和知名人士身上时，往往引发广泛关注。因此，明确 Sr-SCD 的流行病学特征、病因机制及预防策略，对于平衡运动获益与风险、制定科学的运动准入指南具有重要意义。

1 运动相关心源性猝死的流行病学

1.1 发生率

Sr-SCD 的真实发生率因研究人群、地域、运动类型及研究方法的差异而存在较大波动。 一项基于美国全国大学生体育协会（NCAA）运动员的大样本研究显示，大学生运动员 Sr-SCD 的年发生率为每 10 万人年 0.99 例[1]。瑞士一项研究则报道，休闲运动人群中 Sr-SCD 的发生率为每 10 万人年 0.9 例，竞技运动人群发生率为 0.52 例[2]。

值得注意的是，无论病因或种族如何，男性的 srSCD 发生率始终高于女性，达到 7:1 至 32:1。这一性别差异可

能与男性参与高强度运动的比例更高、基础心脏疾病谱差异以及雄激素对心律失常易感性的影响有关[3]。种族差异同样显著，非裔美国人及非洲裔运动员的发生率显著高于高加索人群，可能与其肥厚型心肌病患病率较高及特定离子通道基因突变频率相关[1,4]。

1.2 年龄分布

年龄是影响 Sr-SCD 发生率及病因谱的关键因素。35 岁是重要的分界年龄。35 岁以下人群，Sr-SCD 的年发生率约为每 10 万人年 0.47 至 1.21 例，以遗传性心肌病和离子通道病为主要病因；35 岁以上人群发生率显著升高，可达每 10 万人年 6.64 例，冠状动脉粥样硬化性心脏病成为主导病因[5-6]。

在青少年及青年人群中，男性运动员的风险尤为突出。一项针对 12 至 35 岁人群的丹麦全国性注册研究表明，男性青少年运动员的 Sr-SCD 发生率是同龄女性的 9 倍，且篮球、足球等高强度间歇性运动的风险最高[7]。

1.3 运动类型与强度

不同运动类型的 Sr-SCD 风险存在显著差异。高强度、间歇性、竞技性运动的风险高于低强度、持续性、休闲性运动。篮球、足球、长跑是报道最多的运动类型。研究显示，在年轻运动员中，男篮运动员的 Sr-SCD 事件发生率最高[7-8]。

运动强度与猝死风险之间存在“J 型”曲线关系。久坐人群进行剧烈运动时，猝死风险短暂升高；而规律运动人群的风险显著降低。这一现象揭示了运动习惯与猝死风险之间的复杂关系[9]。

2 运动相关心源性猝死的病因学

2.1 35 岁以上人群：冠状动脉粥样硬化性心脏病

在 35 岁以上人群中，冠状动脉粥样硬化性心脏病（Coronary Artery Disease, CAD）是 Sr-SCD 的首要病因，占比超过 60%。运动时心率和血压急剧升高，心肌耗氧量增加，诱发冠状动脉血管痉挛致心肌缺血、粥样硬化斑块在血流剪切力作用下发生破裂继发血栓形成、以及缺血性心肌病基础上的恶性室性心律失常是其主要机制[10]。

近期 POST SCD（猝死系统性尸检调查）研究显示，在所有经尸检确认的 SCD 中，高达 41% 归因于心肌梗死（MI）。在这些因心肌梗死猝死的患者中，约 90% 的患者存在至少一支冠状动脉的狭窄(≥ 50%)。然而，值得注意的是，剩余 10% 的患者没有或仅有轻度狭窄，猝死可能源于急性斑块侵蚀或痉挛，而非传统意义上的严重狭窄[11]。

2.2 35 岁以下人群：遗传性心脏病

2.2.1 肥厚型心肌病

肥厚型心肌病（Hypertrophic Cardiomyopathy, HCM）是年轻运动员 Sr-SCD 最常见的原因，约占所有病例的 25% 至 35%。HCM 以非对称性室间隔肥厚为特征，可导致左室流出道梗阻、心肌缺血及恶性心律失常。常染色体显性突变导致心肌肌节结构紊乱是其分子基础，最常见的突变基因为 MYH7 和 MYBPC3[10,12]。运动状态下，交感神经兴奋增加心肌收缩力，加重流出道梗阻，同时诱发心肌缺血和室性心律失常，最终可能导致猝死。值得注意的是，相当比例的 HCM 患者生前无任何症状，常规体格检查亦无明显异常[13]。

2.2.2 致心律失常性右室心肌病

致心律失常性右室心肌病（Arrhythmogenic Right Ventricular Cardiomyopathy, ARVC）是年轻运动员 Sr-SCD 的第二大遗传性病因，尤其在高强度耐力运动员中更为突出，在 30 – 60% 的病例中，该疾病具有家族性。ARVC 以心肌纤维脂肪替代为特征，主要累及右心室，桥粒蛋白基因（如 PKP2、DSP）突变是主要致病原因[14]。长期高强度运动可加速 ARVC 的病程进展，增加心律失常事件的发生风险。因此，对于确诊 ARVC 的患者，建议限制竞技性运动[15-16]。

2.2.3 心脏离子通道病

心脏离子通道病是指编码心肌细胞离子通道的基因突变导致的心脏电活动异常，而心脏结构正常。主要包括长 QT 综合征（Long QT Syndrome, LQTS）、儿茶酚胺敏感性多形性室性心动过速（Catecholaminergic Polymorphic Ventricular Tachycardia, CPVT）、布鲁格达综合征（Brugada Syndrome, BrS）等[17-18]。驱动心动周期的细胞动作电位是由离子通道介导的一系列特定去极化和复极化离子电流形成的。任何这些电流的异常改变，以及细胞内游离钙的变化，都可能导致多形性室性心动过速或室颤。运动过程中，交感神经激活可诱发 LQTS 患者的尖端扭转型室性心动过速，或 CPVT 患者的双向性室性心动过速。部分这类患者常规心电图可能正常，运动负荷试验有助于暴露异常[18]。

2.3 其他病因

冠状动脉起源异常是年轻运动员 Sr-SCD 的重要结构性病因之一，尤以左冠状动脉起源于右冠状动脉窦最为危险。此类畸形在剧烈运动时可导致冠状动脉受压、血流中断，引发急性心肌缺血和猝死[19]。

心肌炎、主动脉瓣狭窄、二尖瓣脱垂等亦在 Sr-SCD 的病因谱中占有一定比例。值得注意的是，约 5% 至 10% 的尸检病例未能发现明确的结构性或电生理异常，称为“不明原因猝死”，部分可能与隐匿性离子通道病相关[18,20]。

3 运动相关心源性猝死的预防策略

3.1 一级预防：筛查与风险评估

健康筛查是识别高危个体的关键环节。 一项队列研究显示运动后心率恢复缓慢与 Sr-SCD 风险增加相关，运动后心率恢复速度可作为一项简易筛查靶点，异常者可进一步完善心电图等检查[21]。目前国际通行的筛查方案包括病史询问、体格检查和 12 导联心电图。欧洲心脏病学会（ESC）推荐将心电图纳入常规筛查，而美国心脏协会（AHA）则主张以详细病史和体格检查为主，对心电图异常者进一步检查[6,22]。

近几年的研究表明，心电图筛查在发现 HCM、ARVC 及 LQTS 等潜在病因方面具有较高敏感性，但存在一定假阳性率，尤其在年轻运动员中可达 10% 至 15%。假阳性结果可能导致不必要的进一步检查和运动限制，造成心理负担和额外的经济成本[23]。

对于筛查阳性的运动员，建议进一步行超声心动图、运动负荷试验、动态心电图、心脏磁共振甚至基因检测以明确诊断。心脏磁共振在鉴别心肌病、心肌炎及 ARVC 方面具有独特价值[24]。

3.2 二级预防：现场急救与自动体外除颤器配置

Sr-SCD 发生时，及时有效的心肺复苏（CPR）和自动体外除颤器（AED）的使用是挽救生命的关键。研究表明，猝死幸存者心肺复苏过程中多达一半以上存在可除颤的室颤或无脉性室速，其存活的关键就是及时有效的电除颤。在运动场所配置 AED 并建立应急响应体系，可将猝死患者的生存率从不足 10% 提升至 50% 以上[25-27]。

美国“Sudden Cardiac Arrest Foundation”倡导的“3 分钟响应”理念强调，从事件发生到首次除颤不应超过 3 分钟。为实现这一目标，需要在运动场馆合理配置 AED，并对教练员、运动员及相关工作人员进行心肺复苏和 AED 使用培训[27]。

近年来，可穿戴式除颤器（WCD）在特定高危人群中的应用逐渐增多。对于暂时无法植入心律转复除颤器（ICD）但存在短期高风险的运动员， WCD 提供了一种有效的过渡性保护[28]。

3.3 三级预防：风险评估与重返运动决策

对于已明确诊断心脏病的运动员，是否允许重返运动需进行个体化风险评估。近年来，国际指南逐渐从“一刀切”的限制策略转向基于疾病类型、风险分层和患者意愿的个体化决策[29]。

对于 HCM 患者，既往指南建议限制所有竞技性运动。然而，最新研究表明，在植入 ICD 且无高危特征的情况下，部分患者可安全参与低至中等强度运动[13]。对于 ARVC 患者，高强度耐力运动被明确禁止，但低强度运动通常可允许[14]。

3.4 公众教育与健康促进

一项根据法国国家健康与医学研究院数据进行的研究显示，随着公众对 Sr-SCD 的认知水平提高，旁观者心肺复苏和公共自动体外除颤器的使用频率显著增加（分别为 34.9% vs 94.7%；P<0.001 和 1.6% vs 28.8%；P=0.006）。医院出院生存率稳步提高，最后研究期达到 66.7%，而第一期为 23.8%（P < 0.001）[26]。

目前我国公众对 Sr-SCD 的认知仍非常低，在有课堂教育、校外培训的情况下，某高校学生仅不足 20% 调查对象具备心源性猝死的急救能力[30]。要做好预防工作，亟需提升公众对 Sr-SCD 的认知水平。

一方面，需要向公众普及运动性猝死的预警信号，包括运动中出现胸痛、晕厥、呼吸困难、异常心悸等症状时应及时就医[6,31]。另一方面，应强调规律运动对心血管健康的长期保护作用，避免因罕见的不良事件而产生“运动恐惧”心理。再者，应在运动场所合理配置 AED，同时开展 SCD 全民院前急救知识普及教育，通过课堂教学、专门培训、进村进户、进社区、网络科普等方式，对公众尤其是教练员、运动员及相关工作人员进行心肺复苏和 AED 使用培训[27,32]。此外，还应鼓励公众了解自身家族史。 一级亲属中有早发心源性猝死、心肌病或离子通道病史者，应主动前往心脏专科检查评估[33]。

4 结语与展望

运动相关心源性猝死是运动医学领域的重大挑战。近年来，随着流行病学数据的积累、分子病理学的发展以及预防策略的优化，对该病的认识和管理水平不断提升。然而，Sr-SCD 的发生率在不同人群中存在差异，病因谱呈现明显的年龄依赖性，预防体系仍有待进一步完善。

未来研究方向的展望：第一 ，开展大规模、多中心、前瞻性注册研究，建立不同人群 Sr-SCD 的发生率基准数据；第二，发展基于多模态影像学和基因检测的风险分层模型，提高高危个体识别的精准性；第三，探索人工智能在心电图解读和风险预测中的应用价值，降低筛查假阳性

率；第四，评估不同预防策略的成本效益比，为公共卫生政策制定提供依据。

运动带来的心血管健康获益远超其潜在风险。通过科学筛查、规范急救、合理决策，可在保障运动安全的前提下，最大限度地发挥运动对健康的促进作用。

参考文献：

[1] Harmon KG, Asif IM, Maleszewski JJ, et al. Incidence and Etiology of Sudden Cardiac Arrest and Death in High School Athletes in the United States. Mayo Clin Proc. 2016 Nov; 91(11): 1493-1502.

[2] Grăni C, Chappex N, Fracasso T, et al. Sports-related sudden cardiac death in Switzerland classified by static and dynamic components of exercise. Eur J Prev Cardiol. 2016 Jul; 23(11): 1228-36.

[3] Shasteen ME, Wurzelmann MK, McGregor AJ, et al. Heart Breaking Differences: A Narrative Review of Sex and Gender Disparities in Sports-Related Sudden Cardiac Death. Clin Ther. 2024 Dec; 46(12): 982-987.

[4] Chobufo M D , Rahman E , Skaff P ,et al.Abstract 13739: Racial Disparities in Cardiac Arrest Deaths in the USA: 1999-2020[J]. Circulation, 2022, 146(Supl): 2.

[5] Finocchiaro G , Joseph Westaby B , Bao,C M N S M , et al.Sudden Cardiac Death in Young Athletes: JACC State-of-the-Art Review[J].Journal of the American College of Cardiology, 2024, 83(2): 21.

[6] Risgaard B. Sudden cardiac death: a nationwide cohort study among the young. Dan MedJ. 2016 Dec; 63(12): B5321.

[7] Holst A G , Winkel B G , Theilade J ,et al.Incidence and etiology of sports-related sudden cardiac death in Denmark-Implications for preparticipation screening[J]. Heart rhythm: the official journal of the Heart Rhythm Society, 2010, 7(10): 1365-1371.

[8] Petek B J, Churchill T W, Moulson N ,et al.Sudden Cardiac Death in National Collegiate Athletic Association Athletes: A 20-Year Study[J]. Circulation, 2023, 149(2): 80-90.

[9] Franklin BA, Thompson PD, Al-Zaiti SS, et al. Exercise-Related Acute Cardiovascular Events and Potential Deleterious Adaptations Following Long-Term Exercise Training: Placing the Risks Into Perspective-An Update: A Scientific Statement From the American Heart Association. Circulation. 2020 Mar 31; 141(13): e705-e736.

[10] Bohm P, Scharhag J, Egger F, et al. Sports-Related Sudden Cardiac Arrest in Germany. Can J Cardiol. 2021 Jan; 37(1): 105-112.

[11] Nakasuka K, Kewcharoen J, Salazar JW,et al. Sudden Cardiac Death Due to Myocardial Infarction With Obstructive and Nonobstructive Coronary Arteries. J Am Coll Cardiol. 2026 Mar 23: S0735-1097(26)00140-3. doi: 10.1016/j.jacc.2026.01.030. Epub ahead of print. PMID: 42024048.

[12] Kochi A N , Vettor G , Dessanai M A ,et al.Sudden Cardiac Death in Athletes: From the Basics to the Practical Work-Up[J]. Medicina (Kaunas, Lithuania), 2021, 57(2): 168.

[13] Facc S R O, Ho C Y, Famssm I M A, et al.2024 AHA/ACC/AMSSM/HRS/ PACES/SCMR Guideline for the Management of Hypertrophic Cardiomyopathy: A Report of the American Heart Association/American College of Cardiology Joint Committee on Clinical Practice Guidelines[J]. Circulation, 2024, 149(23): 73.

[14] Novikova T, Novikov V, Sayganov S, et al. [2022 ESC Guidelines for the management of patients with ventricular arrhythmias and the prevention of sudden cardiac death].[J]. Giornale italiano di cardiologia, 2022, 24 3:, 1e-132e.

[15] James C A, 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].Journal of American College of Cardiology, 2013, 62(14).

[16] Sawant A C, Bhonsale A, Te Riele A S J M,et al.Exercise has a Disproportionate Role in the Pathogenesis of Arrhythmogenic Right Ventricular Dysplasia/Cardiomyopathy in Patients Without Desmosomal Mutations[J].Journal of the American Heart Association, 2014, 3(6): e001471-e001471.

[17] Mellor G J, Behr E R .Cardiac channelopathies: diagnosis and contemporary management[J].Heart (British Cardiac Society), 2021: heartjnl-2019-316026.

[18] Skinner JR, Winbo A, Abrams D, et al. Channelopathies That Lead to Sudden Cardiac Death: Clinical and Genetic Aspects. Heart Lung Circ. 2019Jan; 28(1): 22-30.

[19] Tso J, Turner C G, Kim J H .A Hidden Threat: Anomalous Aortic Origins of the Coronary Arteries in Athletes[J].Current Treatment Options in Cardiovascular Medicine, 2020, 22(12).

[20] Schulze-Bahr E, Dettmeyer R B, Klingel, et al.Postmortem genetic analysis (molecular autopsy) in cardiovascular and unexplained deaths Consensus paper of the German Cardiac Society (DGK), the German Society for Pediatric Cardiology and Congenital Defects (DGPK), the German Society of Human Genetics (GfH), the German Society of Pathology (DGP) and the German Society of Legal Medicine (DGRM)[J].Der Kardiologe, 2021, 15(2):176-193.

[21] 王晨阳，徐鹏，郭治荣等.运动后心率恢复与心源性猝死风险的相关性： 一项队列研究的 Meta 分析[J].中国循证心血管医学杂志，2024, 16(04): 398-402.

[22] Drezner J A, Sharma S, Baggish A, et al.International criteria for electrocardiographic interpretation in athletes: Consensus statement[J].British Journal of Sports Medicine, 2017, 51(9): 704-. DOI: 10.1136/bjsports-2016-097331.

[23] Weise A, Knsgen N, Joisten C,et al.Pre-participation evaluation of recreational and competitive athletes - A systematic review of guidelines and consensus statements[J].2024.

[24] Mavrogeni S I, Bacopoulou F, Apostolaki D, et al.Sudden cardiac death in athletes and the value of cardiovascular magnetic resonance[J].European Journal of Clinical Investigation, 2018, 48(7).

[25] Ostrer I, Wang TY. Automated External Defibrillators Are Only Effective If Put to Use. JAMA Intern Med. 2024 Feb 1; 184(2): 220.

[26] Karam N, Pechmajou L, Narayanan K, et al. Evolution of Incidence, Management, and Outcomes Over Time in Sports-Related Sudden Cardiac Arrest. J Am Coll Cardiol. 2022Jan 25; 79(3): 238-246.

[27] Beffagna G, Sanchis-Gomar F, Ribichini F, et al. Sudden Cardiac Arrest and Death in Sports: An Updated Overview of Epidemiology, Etiologies, and Prevention Strategies, with Emphasis on Inherited Cardiomyopathies. Semin Thromb Hemost. 2025 Aug 4.

[28] Israel C , Staudacher I , Leclercq C ,et al.Sudden cardiac death while waiting: do we need the wearable cardioverter-defibrillator?[J]. Clinical research in cardiology: official journal of the German Cardiac Society, 2022, 111(11): 1189-1197.

[29] Pelliccia A, Solberg EE, Papadakis M,et al. Recommendations for participation in competitive and leisure time sport in athletes with cardiomyopathies, myocarditis, and pericarditis: position statement of the Sport Cardiology Section of the European Association of Preventive Cardiology (EAPC). Eur Heart J. 2019Jan 1; 40(1): 19-33.

[30] 朱怡婧，李珊，秦幸元等. 上海某高校学生对心源性猝死的认知度调查[J].保健医学研究与实践， 2022, 19(11): 18-22.

[31] Nishiyama C, Yoshimura S, Taniguchi T, et al. Strategies for Reducing Sudden Cardiac Death by Raising Public Awareness - A Statement From the Education and Implementation for Cardiac Emergency Committee of the Japanese Circulation Society. Circ J. 2025 Feb 25; 89(3): 394-418.

[32] 李玉霞，段昌新，贾悦. 心源性猝死院前急救普及教育的探索[J].健康教育与健康促进，2023, 18(03): 328-330.

[33] Gray B, Semsarian C. Utility of genetic testing in athletes. Clin Cardiol. 2020 Aug; 43(8): 915-920.

作者简介：周渝（1985.05- ），男，汉族，重庆铜梁，研究生学历，硕士学位，副主任医师，研究方向 ：心血管疾病。