

心肺复苏后患者神经功能预后预测手段的研究进展

柳晓丹¹ 张思森^{1,2,3}

¹ 河南中医药大学第五临床医学院, 河南郑州 450000; ² 河南中医药大学人民医院急诊科, 河南郑州 450000;

³ 河南省心肺脑复苏工程技术研究中心, 河南郑州 450000

通信作者: 张思森, Email: 2362176700@qq.com

【摘要】 心搏骤停会导致心脏射血功能骤然停止, 机体有效血液循环终止, 使患者处于极度危险的状态。尽管心肺复苏(CPR)技术的不断进步显著提高了患者自主循环的恢复率, 但整体出院率仍然较低, 主要原因在于 CPR 后患者常并发严重的缺血缺氧性脑病, 这种脑损伤往往是导致患者死亡或长期昏迷的主要因素。因此, 准确预测 CPR 后患者的神经功能预后, 对于优化治疗策略、改善患者长期结局有至关重要的意义。本文系统性阐述 CPR 后患者神经功能预后的多种预测手段, 涵盖多种评估方法, 包括传统的神经系统检查、脑功能分类量表、血流动力学指标监测, 以及更为先进的神经影像学检查、血清标志物检测、神经电生理评估、炎症指标分析、脑机接口技术应用和多模态检测方法。这些手段从不同角度反映了脑损伤的严重程度和神经功能的恢复潜力。神经系统检查和脑功能分类量表是临床常用的初步评估工具, 能快速评估患者的基本神经功能状态; 神经影像学检查则能直观显示脑组织的损伤范围和程度; 血清标志物检测和炎症指标分析为评估脑损伤的代谢和免疫反应提供了重要依据; 神经电生理监测则能实时反映神经元的活动状态。此外, 新兴的脑机接口技术和多模态检测方法结合了多种技术的优势, 为精准评估和动态监测提供了新的可能性。现通过对神经功能预后可靠实用预测手段的研究进行综述, 以期早期准确对脑损伤程度及预后进行评估, 从而做出正确的干预和判断, 为 CPR 后的治疗方案提供一定的参考。

【关键词】 心搏骤停; 心肺复苏; 神经功能预后; 预测; 综述

基金项目: 河南省自然科学基金面上项目(232300420059); 河南省心肺脑复苏重点实验室(工程技术研究中心)科研专项(202201281); 河南省医学重点学科建设项目(201626155)

DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2025.01.023

Research progress in the evaluation of neurological function prognosis after cardiopulmonary resuscitation

Liu Xiaodan¹, Zhang Sisen^{1,2,3}

¹ Fifth School of Clinical Medicine, Henan University of Chinese Medicine, Zhengzhou 450000, Henan, China;

² Department of Emergency, People's Hospital of Henan University of Chinese Medicine, Zhengzhou 450000, Henan, China;

³ Henan Engineering Research Center of Cardiopulmonary and Brain Resuscitation, Zhengzhou 450000, Henan, China

Corresponding author: Zhang Sisen, Email: 2362176700@qq.com

【Abstract】 Cardiac arrest leads to abrupt cessation of cardiac ejection and effective systemic circulation, placing patients in a life-threatening state. Despite advancements in cardiopulmonary resuscitation (CPR) techniques significantly improving the rate of return of spontaneous circulation, overall hospital discharge rates remain low, primarily due to severe hypoxic-ischemic encephalopathy following CPR, which is the leading cause of mortality or prolonged coma. Accurately predicting neurological prognosis post-CPR is critical for optimizing therapeutic strategies and improving long-term outcomes. This review systematically explores diverse methods for predicting neurological prognosis after CPR, encompassing traditional neurological examinations, cerebral performance category scales, hemodynamic monitoring, and advanced approaches such as neuroimaging, serum biomarkers, neuroelectrophysiological assessments, inflammatory indicators, brain-computer interface technology, and multimodal detection. These methods collectively reflect the severity of brain injury and potential for functional recovery. Neurological examinations and cerebral performance category scales provide rapid initial assessments of functional status; neuroimaging visually delineates the extent of structural brain damage; serum biomarkers and inflammatory indicators evaluate metabolic and immune responses to injury; neuroelectrophysiological monitoring captures real-time neuronal activity. Furthermore, emerging brain computer interface technology and multimodal approaches integrate multiple modalities, offering novel possibilities for precise assessment and dynamic monitoring. By synthesizing reliable prognostic tools, this review facilitates early and accurate evaluation of brain injury severity and recovery potential, guiding timely clinical interventions and providing evidence-based references for post-CPR.

【Key words】 Cardiac arrest; Cardiopulmonary resuscitation; Neurological outcome; Prediction; Review

Fund program: General Program of Natural Science Foundation of Henan Province (232300420059); Scientific Research Special Fund for the Henan Province Laboratory (Engineering Technology Research Center) of Cardiopulmonary-Cerebral Resuscitation (202201281); Key Medical Discipline Construction Project of Henan Province (201626155)

DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2025.01.023

心搏骤停(cardiac arrest, CA)是指心脏机械活动突然终止,并伴随自主呼吸及意识消失的一种临床状况,是造成死亡及幸存者罹患长期神经系统功能障碍的关键因素^[1]。心肺复苏(cardiopulmonary resuscitation, CPR)是拯救生命不可或缺的技术手段。在过去的 20 年里,CPR 技术在理论和实践层面均取得了显著进展。然而一项在我国进行的多中心前瞻性研究表明,尽管随着 CPR 技术的发展,患者自主循环恢复(return of spontaneous circulation, ROSC)有所提升,可达到 33.9%,但 28 d 存活率却仍很低,仅为 3.3%^[2]。出现这一现象的主要原因在于 CPR 后脑缺血/再灌注损伤(cerebral ischemia/reperfusion injury, CIRI)仍然普遍存在。脑组织的正常功能高度依赖于氧气与能量底物的稳定供给,一旦发生 CA,大脑的血液循环即刻中断,导致意识在极短时间内丧失。若未能采取有效治疗措施,将迅速引发不可逆的脑损伤乃至死亡^[3]。《2020 版美国心脏协会心搏骤停幸存者神经预后研究标准》^[4]中指出,对于 ROSC 后患者的治疗而言,评估其神经功能预后是至关重要的环节,并明确要求对 ROSC 后陷入昏迷状态的患者实施多次或持续性的神经功能状态监测。本文旨在综述神经功能预后预测的相关手段,以期临床诊疗方案的制定提供有益的参考与指导。

1 体格检查

体格检查和临床表现评估操作简单、易于执行,是评估神经功能预后的基本方法。肌阵挛是一种短暂且不自主的肌肉运动,特征类似于触电感,通常源于部分肌肉群的收缩或运动功能的暂时抑制。研究显示,CA 患者 ROSC 后的 2 d 内,如果出现全身性、同步和刻板的肌阵挛,以及持续时间 > 30 min 的肌阵挛状态,通常预示着神经功能预后较差^[5]。瞳孔对光线刺激的反应与动眼神经及视神经的功能状态密切相关。若患者在 ROSC > 72 h 仍未表现出瞳孔反射,这可能预示着神经功能预后较差。然而,在 CPR 后的初期阶段,瞳孔反射对于预测脑功能预后的价值相对较低^[6]。角膜反射是一种脑干反射,涉及三叉神经和面神经的完整性,当角膜外缘受到轻微刺激时,眼睑会迅速闭合。早期角膜反射对 CA 后神经功能预后预测效果有限,但有长期预测价值。研究表明,从 CA 发生到 ROSC 后 7 d 内,患者双侧角膜反射预测神经功能预后不良的特异性为 25%~100%,其中以 72 h 及以后的时间节点表现出最高的特异性水平^[7]。疼痛趋避反应是人体对疼痛刺激的自然防御机制,它的存在与否及其反应程度,是评估患者神经功能的重要指标。与瞳孔反射和角膜反射类似,疼痛趋避反应主要用于 ROSC 后 72 h 的评估,其准确性可能受到肌松药物使用的影响。

这些体格检查手段为临床医生提供了初步判断患者脑功能状态和预后的线索,尽管它们可能受到多种因素影响,包括药物使用、个体差异及评估时间,但仍是脑功能预后评估中不可或缺的一环。临床上应结合其他预测手段,共同评估 CA 后患者神经功能预后。

2 脑功能分类(cerebral performance category, CPC)量表

CPC 量表是一种用于评估 CPR 后患者神经功能预后的

工具,包含 5 个等级:CPC 1 级,无或轻微神经损伤,大脑功能良好;CPC 2 级,中度神经损伤,存在中度脑功能异常;CPC 3 级,严重神经损伤,表现为严重的脑功能异常;CPC 4 级,持续植物人状态,昏迷或植物人状态。CPC 5 级,死亡,脑死亡。大多数神经功能预后研究将不良预后定义为 CPC 4~5 级,良好预后定义为 CPC 1~3 级^[8],也有一些研究将不良预后定为 3~5 级,即从严重神经系统残疾到死亡^[9]。CPC 量表是 Utstein 指南推荐用于评定 CPR 预后的重要指标^[9],尽管在细致程度上有所欠缺,但它具备简便实用、易于获取的优势。在 CA 后幸存者的神经功能预后研究中,CPC 量表是最常用的工具之一,有助于区分无或仅有轻度脑损伤的患者与中重度损害患者,然而在评估脑功能相对良好的生存者时,其分级能力有限。尽管存在一些局限性,CPC 量表仍是临床上评估神经功能预后不可或缺的重要工具。

3 血流动力学指标

在 CA 后的脑复苏过程中,血流动力学指标的变化能反映脑组织的缺血/再灌注损伤情况。一项研究显示,CA 后出现的低血压状况是患者死亡的独立危险因素,其存在不仅会使病死率升高,还会导致神经功能预后的进一步恶化^[10]。但我国一项研究表明,ROSC 6 h 内,平均动脉压(mean arterial pressure, MAP) > 70 mmHg (1 mmHg ≈ 0.133 kPa) 较 > 65 mmHg 对 CA 患者出院时神经功能预后有更显著的独立正面影响,但更高的 MAP 对神经功能预后的影响差异无统计学意义,提示低血压可能是导致神经功能预后不良的主要因素,而非高血压对预后具有正面影响^[11]。Hong 等^[12]选择 2010 年 1 月至 2018 年 12 月在三星医疗中心接受体外 CPR (external CPR, ECPR) ≥ 18 岁的患者进行研究,发现对于那些平均动脉血二氧化碳分压(arterial partial pressure of carbon dioxide, PaCO₂) 30~42 mmHg,且平均动脉血氧分压(arterial partial pressure of oxygen, PaO₂) 120~160 mmHg 的患者而言,其遭遇不良神经预后的可能性最低。这一发现表明,在特定范围内调控 PaCO₂ 与 PaO₂ 的水平,或许能明显减少不良神经预后的风险。呼气末二氧化碳分压(partial pressure of end-tidal carbon dioxide, P_{ET}CO₂)也是一个重要的预测指标,既往研究表明, P_{ET}CO₂ ≤ 10 mmHg 持续 10 min 提示预后极差,建议终止复苏^[13]。干金文等^[14]研究表明,相较于神经功能预后良好的患者,神经功能预后不良者的脑代谢率氧摄取量(cerebral metabolic rate of oxygen, CMRO₂)、脑血流量(cerebral blood flow, CBF)以及动-静脉氧含量差 arteriovenous oxygen content difference, a-vDO₂)明显降低,而颈静脉血氧饱和度(jugular venous oxygen saturation, S_{jv}O₂)则明显升高。进一步分析表明,CMRO₂、CBF 及 a-vDO₂ 与 CPC 评分呈负相关,而 S_{jv}O₂ 与 CPC 评分呈正相关。这表明心肺复苏患者的 CMRO₂、CBF、a-vDO₂ 及 S_{jv}O₂ 在预后诊断中展现出一定的应用价值。有研究显示,凝血/纤溶改变可作为预测神经功能预后不良的有效手段^[15],王宏等^[16]的研究表明,血红蛋白与红细胞分布宽度比值(hemoglobin to red cell distribution width ratio, HRR)对 CPR 后患者预后有一定

的预测价值,且与 6 h 乳酸清除率联合检测预测价值更高。当 $HRR < 8.555$ 时,提示预后不良。

血流动力学指标是预测神经功能预后的有效工具,CPR 后可通过扩充血容量、提高 MAP 及血氧饱和度等手段来改善预后或做出停止复苏的判断。但要注意检测时可能有血管活性药物的影响,因此最好结合其他预测手段联合进行预后判断。

4 神经影像学

4.1 头颅电子计算机断层扫描 (computerized tomography, CT): 在头颅 CT 中,缺氧缺血性脑损伤 (hypoxic-ischemic encephalopathy, HIE) 的特征性表现为灰质与白质交界处密度减低及脑沟回消失,这些征象提示了弥漫性脑水肿的存在。脑水肿是 CA 的一种常见并发症,且往往会随时间推移而逐渐恶化。因此,较晚进行头颅 CT 检查对于预测不良神经系统结局具有更高的敏感性。灰白色比 (gray-white matter ratio, GWR) 是当前神经预测指南中唯一推荐用于量化头颅 CT 上 HIE 程度的方法^[17]。Han 等^[18]的研究显示,在 CA 患者中,缺氧可诱发脑水肿,脑水肿进一步导致脑灰质的 CT 值出现降低,相比之下,对脑白质的影响则相对轻微。这一现象使原本灰白质间 CT 值的明显差异变得模糊,甚至可能出现反转,最终引发 GWR 的变化。研究表明,随着 GWR 的降低,HIE 的严重程度会增加,所有 GWR 低于 1.10 的患者均经组织病理学证实存在严重的 HIE^[17]。头颅 CT 上显示的弥漫性脑水肿及 GWR 的降低可预示 CA 后昏迷患者的不良预后。此外,研究还表明,CT 检查的时间点对 GWR 判断阈值有影响,在 CA 后 24 h 及 48 h 进行头颅 CT 检查,GWR 评估脑功能不良预后的最佳阈值分别为 1.22 和 1.18,因此难以给出一个精确的推荐值。王淦楠等^[19]研究表明,视神经鞘直径 (optic nerve sheath diameter, ONSD) 可预测 CA 患者不良神经预后,且相较于单一指标的评估,联合 GWR 进行综合评估,能明显提升对不良预后判断的准确性及价值。CT 便宜便捷但无法早期预测脑损伤后神经功能恢复情况,不过已有研究表明,机器学习可准确识别后续头颅 CT 进展为 HIE 的患者,可进行早期预后分层^[20]。

4.2 核磁共振成像 (magnetic resonance imaging, MRI): MRI 能确定患者的软组织病变情况,从多个范围观察患者的脑部损伤情况,在诊断中利用人体的电磁信号确定患者脑组织损伤情况,从解剖结构进行分析,得到的数据信息更为准确。在头颅 CT 的基础上,颅脑 MRI 能进一步评估 CA 后患者 HIE 的严重程度。扩散加权成像 (diffusion-weighted imaging, DWI) 作为一种 MRI 序列,具备检测细胞水肿的能力,它利用表观扩散系数 (apparent diffusion coefficient, ADC) 这一指标,对水分子运动受限的程度进行量化评估^[21]。DWI/ADC 作为衡量脑损伤的敏感手段,其正常参考值范围通常为 $(700 \sim 800) \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{s}$,且这些数值会随着脑细胞的损伤程度加深而逐渐减小^[17]。在 CA 的患者群体中,DWI/ADC 的异常变化可能在 CA 后的初期阶段就已显现,但这种变化在部分患者中可能延迟至 CA 后 24 h 甚至更长时间才变得

明显。此外,流体衰减反转恢复序列也能揭示 HIE 的存在,对于评估脑细胞损伤程度可能有潜在价值^[22]。尽管 MRI 是评估结构性脑损伤不可或缺的工具,但其应用也受到一定限制,如价格比 CT 高昂很多,不同医疗中心为急重症患者提供 MRI 的能力存在差异,同时,部分患者可能因血流动力学状态不稳定或携带 MRI 不兼容设备而无法顺利完成检查。

4.3 经颅多普勒超声 (transcranial doppler, TCD): TCD 是一种非侵入性的超声诊断手段,能持续监测颅内主要血管的血流动力学参数,包括但不限于收缩期峰值流速 (systolic peak velocity, V_s)、舒张期流速 (diastolic blood flow velocity, V_d)、平均流速 (mean blood flow velocity, V_m)、CBF、搏动指数 (pulsatility index, PI) 和阻抗指数 (resistive index, RI) 等,这些参数对于精准评估脑功能状态具有至关重要的价值。一项在西安航天总医院进行的研究表明,PI 和 RI 较高组神经功能预后不良,而 V_s 、 V_d 、 V_m 和 CBF 较高组神经功能预后较好,且 TCD 与 SjvO_2 联合预测效果更好^[23]。TCD 操作简便,可以快捷、敏感、无创监测异常脑灌注状态^[24],对 CA 后神经功能预后预测有一定价值,但对脑组织代谢和功能状态提供的信息有限。

4.4 正电子发射断层扫描 (positron emission tomography, PET): PET 是一种功能性医学成像技术,是利用放射性核素衰变产生的正电子和伽马射线来研究体内分子代谢及功能活动。CA 后,脑组织因缺血缺氧而受损,其能量代谢会发生改变,PET 通过检测脑内葡萄糖等代谢物的摄取和利用情况,能直观地反映脑组织的代谢水平。研究表明,CA 后患者脑内葡萄糖代谢减低的区域与神经功能损伤程度密切相关,代谢低预示着神经功能预后越差^[25]。此外,PET 技术凭借其良好的定量分析能力,能精确测量并界定脑内不同区域的代谢状况,进一步揭示脑组织损伤的范围与程度。这一特性使得 PET 在预测神经功能预后方面展现出独特优势,为临床决策提供更为精准、可靠的依据。相比其他影像学手段,PET 敏感度很高,可提供早期预警信息,但价格昂贵、操作困难且具有放射性。

4.5 近红外光谱技术 (near-infrared spectroscopy, NIRS): NIRS 是一种无创的光学技术,通过发射近红外光来测量组织中的氧合血红蛋白和还原血红蛋白的浓度变化。它可以监测额叶皮质脑组织的局部脑氧饱和度 (regional cerebral oxygen saturation, rSO_2),研究表明,当 $\text{rSO}_2 < 0.5$ 或降至其绝对值的 20% 以下时,必须采取相应措施以确保大脑有充足血液与氧气供应^[26]。当 CPR 后再次发生 CA, NIRS 可及时监测到 rSO_2 变化,进行早期干预^[27]。研究表明,低 rSO_2 与更高的病死率和不良神经功能预后相关,使 NIRS 成为预测神经功能预后的有力工具。此外,NIRS 监测可优化复苏策略,如调整 MAP,确保脑部足够氧合,提高生存率和促进神经功能恢复。NIRS 是一种新兴的监测技术,已受到广泛重视,但主要监测的是额叶皮质区域的氧饱和度,对其他区域的监测能力较弱且容易受到外界因素干扰,具有一定局限性,需要进一步对其进行研究。

每种影像技术在预测神经预后方面各有其优势和局限性,临床应用中应根据情况选择并结合使用,达到最优的效果。

5 血清标志物

5.1 神经元特异性烯醇化酶(neuron-specific enolase, NSE): NSE 是 CA 后脑复苏中具有重要预测作用的生物标志物,已在临床上常规使用。健康个体中 NSE 水平较低^[28], CA 后脑缺血缺氧,神经元会遭受不可逆损害,由有氧呼吸变为无氧呼吸,需要更多的能量, NSE 水平也因此升高。NSE 化学性质稳定,基本不受外界环境的影响。Sandroni 等^[29]的研究表明, NSE 水平在 CA 后 48~72 h 达到峰值, 48 h 预后准确性最高。一些研究结果显示,低 NSE 与患者良好预后密切相关, NSE 水平是预测 CA 幸存者 30 d 神经功能预后和长期病死率的有效工具^[30]。孙海伟等^[31]观察了 97 例 CPR 后患者 rSO₂ 和 NSE 的变化,发现 rSO₂ 和 NSE 均对患者预测神经功能预后有一定价值,且联合检测的预测价值远大于单个指标。这一结果提示,联合 rSO₂ 和 NSE 检测可作为有效评估患者预后的手段。

5.2 S100 钙结合蛋白 B(S100 calcium-binding protein B, S100B): S100B 是 S100 蛋白家族的成员,其主要分布区域为中枢神经系统。当星形胶质细胞处于活化状态或遭受损伤时,会释放 S100B。一旦血脑屏障遭受破坏, S100B 便会迅速渗透至血清中。相关研究显示, CA 后血清中 S100B 水平会明显升高。ROSC 后 72 h 内 S100B 的高水平状态预示着神经系统预后可能不佳^[32-33]。相较于神经细胞,神经元对缺血状况的敏感性更高^[34]。因此,尽管 S100B 在预测神经功能预后方面有一定的参考价值,但其预测准确性相较于 NSE 而言略低。S100B 可作为评估 CA 后神经功能预后的一个辅助指标,但需要结合其他检测手段进行综合判断。

5.3 胶质纤维酸性蛋白(glial fibrillary acidic protein, GFAP): GFAP 是构成星形胶质细胞骨架的一种单体中间丝蛋白成分。现有研究显示, GFAP 主要表达于中枢神经系统内,在神经细胞受损时释放到血液,具有作为评估星形胶质细胞损伤程度的独立预测标志物的潜力^[35]。目前关于 CA 后 GFAP 对神经功能预测价值的文献还较少。但也有研究表明, CA 后 GFAP 水平较高的患者往往预后较差,而 GFAP 水平逐渐降低的患者则预后较好^[36]。这一发现为医生评估患者病情和制定治疗方案提供了重要参考。

5.4 Tau 蛋白: Tau 蛋白的表达水平能揭示神经元与轴突的变性状况。在生理状态下,血清中 Tau 蛋白的含量极低。但当脑损伤发生时,微管分解加剧,导致 Tau 蛋白大量释放至脑脊液和血液循环中。因此,血清 Tau 蛋白水平的升高可作为脑组织和神经系统受损的一个重要标志^[37]。

5.5 泛素羧基末端水解酶 L1(ubiquitin carboxy-terminal hydrolase L1, UCH-L1): 泛素-蛋白酶体系构成了细胞内蛋白质降解的主导路径。在生理状态及病理条件下, UCH-L1 均扮演着关键角色,可有效清除氧化损伤或错误折叠的蛋白质,从而确保神经元内蛋白质降解过程的顺利进行^[38]。有研究表明, UCH-L1 在预测创伤性脑损伤后神经结局的

CT 结果上有较高准确性,可作为新兴血清生物标志物^[39]。虽然 CA 后神经功能预测的研究较少,但可以推测在类似脑损伤下的潜在价值。

5.6 神经丝轻链(neurofilament light chain, NF-L): NF-L 是构成轴突细胞骨架的神经营养因子之一。当神经轴索受损时, NF-L 会被释放至细胞外液中,通过检测脑脊液中 NF-L 水平,能直接评估周围神经轴索的损伤程度,并进一步判断疾病的严重程度和患者的预后^[40]。一般来说, NF-L 水平越低,患者的预后越好; NF-L 水平越高,患者的预后越差^[41]。NF-L 可作为潜在的预测神经功能预后的新兴指标。

生物标志物预测脑功能的优势是可以定量无创进行监测,目前用于判断 CA 后神经功能预后较为经典的血清标志物是 S100B 和 NSE,其他生物标志物关于 CA 预后的研究还较少,其价值和规律也在进一步开发研究中,是未来值得关注的重要方向。

6 神经电生理

6.1 脑电图(electroencephalogram, EEG): EEG 在 CA 后的神经功能预后预测中发挥着关键作用。EEG 能捕捉到脑损伤患者与健康人群间显著的脑电活动差异,为评估神经功能预后提供依据。Westhall 等^[42]依据美国临床神经生理学学会的建议将 EEG 划分为 3 个等级:高度恶性 EEG(特征包括抑制、周期性放电抑制以及爆发-抑制模式)、恶性 EEG(涵盖癫痫样放电、癫痫发作或癫痫持续状态、低电压状态即 < 20 μ V,以及病理或无反应性背景)以及良性 EEG(即不具备恶性特征)。当 EEG 呈现出任意 1 项高度恶性特征或任意 2 项恶性特征时,均预示着患者预后不佳。对 CA 后昏迷患者 12~24 h 内尽早监测 EEG,可及时作出正确的判断^[43]。然而, EEG 监测也受多种因素制约,如镇静药物的干扰,且对脑干功能损伤的评估存在局限性。因此,在解读 EEG 结果时,需综合考虑多种因素,以做出更准确的预后判断。

6.2 脑电双频指数(bispectral index, BIS): BIS 是通过运用双频分析技术,将采集到的 EEG 信号转化为量化数值的一种手段,能迅速且准确地评估脑皮质功能状态,该指数与患者清醒程度呈正相关^[44]。当 BIS < 40 时,表明患者可能处于爆发抑制状态,患者的意识状态愈差。BIS 将 EEG 信号进行量化处理^[45],使医生能及时了解患者的脑皮质功能状况,制定合理的诊疗计划,判断患者神经功能预后。然而,需要注意的是, BIS 在评估脑干功能损伤方面可能存在局限性,因此,在解读 BIS 结果时,需综合考虑患者的整体病情。

6.3 诱发电位(evoked potential, EP): EP 是一种特殊的电位变化,它是通过给予特定刺激后,在大脑或神经系统中产生的可测量电活动。这种电活动反映了神经系统对刺激的反应能力和状态,因此可以被用作评估神经系统功能的重要指标, EP 波形越差,预后越差。有研究表明,将 EEG 和 EP 结合,可反映 CIRI 后神经元的凋亡,对 CA 后神经功能预后的预测有一定价值^[46]。

神经电生理的优势在于能直观体现神经元活动状态,可连续监测。与其他方法联合使用,是临床上常用的预测手段。

7 炎症指标

炎症反应在脑缺血缺氧后处于加强状态,是加重脑损伤的一个重要病理过程,在 CA 后 CIRI 中发挥重要的作用。脑损伤后涉及的炎症标志物有很多,包括促炎因子白细胞介素(interleukins, IL-6, IL-8)、肿瘤坏死因子- α (tumor necrosis factor- α , TNF- α)、转化生长因子- β (transforming growth factor- β , TGF- β)、C-反应蛋白(C-reactive protein, CRP)等。在脑复苏初期,炎症因子可修复受损的脑组织碎片,促进神经细胞修复再生,然而随着时间推移可能对脑组织产生潜在破坏,进一步损伤神经细胞,导致神经细胞功能障碍。有研究表明,相较于神经功能预后不佳的患者,神经功能预后良好的患者在 6 或 24 h 内的 IL-6、IL-8、IL-10 及 TNF-R1 浓度明显降低^[47]。

炎症通路的研究是人们预测预后的新方向。既往研究表明,小胶质细胞表达的模式识别受体 Toll 样受体 4(Toll-like receptor 4, TLR4)在机体的免疫及炎症反应中发挥着关键作用^[48]。当 TLR4 被激活时,会促使炎症因子过度表达,这一机制已在相关研究中得到证实。位于 TLR4 信号通路下游的核转录因子- κ B(nuclear factor- κ B, NF- κ B),一旦被激活,会进一步加剧炎症反应,对脑出血后继发性损伤的改善产生不利影响^[49]。TLR4 通过增强 NF- κ B、IL-1 β 及 TNF- α 的表达水平,参与到 CIRI 的炎症反应过程中。其中, NF- κ B 在 CIRI 的病理机制中占据核心地位。因此,探索阻断 NF- κ B 通路的方法,有望成为减轻 CIRI 的有效途径,该通路相关指标可作为预测预后的有效手段,但需要更多研究验证。

研究表明,炎症指标对多种疾病预后均展现出相关性^[50],然而,在 CA 预后领域的相关研究却相对匮乏。基于 CA 患者炎症与免疫状态的分析,深入探究潜在的炎症通路,是预测 ROSC 患者神经功能预后的新方向。

8 脑机接口(brain computer interface, BCI)技术

BCI 技术是一种直接连接大脑和外部设备的技术,它通过读取大脑神经元的活动信号,将其转换为可以被外部设备识别和处理的指令,从而实现大脑与外部设备之间的直接信息交互。BCI 根据信号来源分为植入式和非植入式两种,非植入式即前面讨论过的 EEG、NIRS 等,植入式是通过手术将 BCI 装置植入中枢神经系统,以实现高质量神经信号采集^[51]。近几年 BCI 技术发展迅速,在增强脑功能和康复治疗方面已有显著进展。有团队研发了柔性可拉伸电极,可以提供高密度和高精度的脑电活动监测,有助于实现更精准的脑机交互^[52]。BCI 技术可实时监测脑部活动,为了解神经损伤程度和预测患者预后前景提供了有价值的信息。这些信息有助于开发更准确的预后模型,有可能在 ROSC 前后不同治疗阶段指导复杂的医疗决策^[53]。将 BCI 监测到的脑部活动数据与其他传统预后指标相结合,能更全面地评估患者的神经功能状态,从而提高预后模型的准确性,使医生更早、更准确地预测患者的神经功能预后,为临床治疗决策提供更有力的依据。

BCI 技术在 CA 后神经功能预后预测中有重要作用,通过实时监测脑部活动,进行有针对性的干预并结合其他预后指标,可以提高预后预测的准确性和可靠性,为临床治疗决策提供重要支持。但 BCI 技术在 CA 预后方面的研究还较少。未来随着技术的进一步发展,BCI 在 CA 后神经功能预后预测中的应用前景更加广阔。

9 多模态预测

如前文所述预测手段均对神经功能预后预测有一定作用,但有时单一的手段会受到各种因素影响,不够客观。多模态预测是指综合多种监测手段和评估方法,能更全面地评估患者的神经功能状态,提高预测的准确性。如 EEG 可评估脑电活动, NIRS 可监测脑组织氧饱和度, NSE 水平可以反映神经元损伤程度,机器学习算法可以对这些多模态数据进行深度挖掘,进一步提高预测的准确性^[54]。研究表明,基于机器学习的模型在预测 CPR 后患者神经功能预后方面优于传统统计学模型。多模态预测可给每例患者提供个性化的预后评估,制定更合适的治疗方案,从而改善预后。

10 小结与展望

以上为当前 CA 后神经功能预后预测手段的最新研究进展。掌握 CA 后神经功能预后的预测手段,对于提高患者的治疗效果、降低医疗风险及优化资源配置等方面都具有极其重要的意义。首先,这些预测手段为医生提供了宝贵的决策依据,有助于他们根据患者的具体情况及时调整治疗方案。通过早期监测和评估预测指标的变化,医生能迅速识别那些有改善预后可能的患者,并及时采取针对性的干预措施。这不仅可以有效降低预后不良的风险,还能很大程度上提高患者的长期生存率,并显著改善其生活质量。同时,对于预后不良的患者,这些预测手段同样有重要意义,它们能帮助医生、患者及家属提前做好心理准备,以更加平和的心态面对即将到来的挑战。此外,基于这些预测结果,医疗资源的分配也能得到更加合理的调整,确保有限的资源用在最需要的地方,从而避免不必要的浪费。除了作为调整治疗方案和资源配置的依据外,这些预测手段还可作为一种有力的工具,用于比较和探索不同治疗方案的疗效。如在 CA 的治疗中,可以利用这些手段来对比腹部提压 CPR 和标准胸外按压 CPR 2 种不同方式的疗效,从而选择出更适合患者的治疗方案。此外,这些预测手段之间还可以相互借鉴和补充。通过一种预测手段,可以发现某些潜在的规律和趋势,进而引导人们去探索另一种手段,从而揭示出不同的作用机制。这种交叉结合运用的方式,不仅有助于更深入地理解 CA 后神经功能预后的复杂机制,还能提供更全面、更准确的预测信息。

然而,尽管预测预后的手段多种多样,但并非每一种都绝对可靠。因此,在实际应用中,人们需要结合临床实际,不断丰富和完善这些手段,未来应着眼于对新的生物标志物、新的炎症通路、BCI 技术与 CA 的结合和人工智能的研究,以提供更准确、更全面的预测服务。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 赵嘉艺, 曾德华, 朱爱群. 成人院内心搏骤停预后影响因素分析 [J]. 中华危重病急救医学, 2024, 36 (4): 398–403. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20230721-00538.
- [2] 胡莹莹, 徐军, 朱华栋, 等. 急诊心搏骤停患者心肺复苏概况和预后调查: 一项多中心前瞻性观察性研究 [J]. 中华危重病急救医学, 2018, 30 (3): 234–239. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2018.03.009.
- [3] Esdaille CJ, Coppler PJ, Faro JW, et al. Duration and clinical features of cardiac arrest predict early severe cerebral edema [J]. Resuscitation, 2020, 153: 111–118. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2020.05.049.
- [4] 周伍明, 陆宗庆, 崔旋旋, 等. 《2020 版美国心脏协会心搏骤停幸存者神经预后研究标准》摘译与解读 [J]. 中国中西医结合急救杂志, 2022, 29 (1): 7–11. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2022.01.002.
- [5] Sandroni C, Cronberg T, Sekhon M. Brain injury after cardiac arrest: pathophysiology, treatment, and prognosis [J]. Intensive Care Med, 2021, 47 (12): 1393–1414. DOI: 10.1007/s00134-021-06548-2.
- [6] Jouffroy R, Vivien B. Favorable prognosis by extracorporeal cardiopulmonary resuscitation for subsequent shockable rhythm patients [J]. Am J Emerg Med, 2022, 58: 307–308. DOI: 10.1016/j.ajem.2022.02.052.
- [7] Zhou SE, Maciel CB, Ormseth CH, et al. Distinct predictive values of current neuroprognostic guidelines in post-cardiac arrest patients [J]. Resuscitation, 2019, 139: 343–350. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2019.03.035.
- [8] 徐兰娟, 安婷婷, 李成建, 等. 重症快速拓展团队对院内复苏患者神经功能预后的影响 [J]. 中国中西医结合急救杂志, 2022, 29 (2): 208–212. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2022.02.017.
- [9] 王荃, 钱素云. 儿童意识水平及脑功能障碍的常用评估方法 [J]. 中华实用儿科临床杂志, 2013, 28 (18): 1367–1370. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-428X.2013.18.003.
- [10] Parlow S, Di Santo P, Mathew R, et al. The association between mean arterial pressure and outcomes in patients with cardiogenic shock: insights from the DOREMI trial [J]. Eur Heart J Acute Cardiovasc Care, 2021, 10 (7): 712–720. DOI: 10.1093/ehjacc/zuab052.
- [11] 许丽君, 崔英杰, 秦历杰. 心肺复苏后神经功能预后与早期平均动脉压的关系 [J]. 中华急诊医学杂志, 2020, 29 (5): 711–715. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2020.05.019.
- [12] Hong SM, Jang JH, Yang JH, et al. Optimal arterial blood gas tensions for the prognosis of favorable neurological outcomes in survivors after extracorporeal cardiopulmonary resuscitation [J]. J Clin Med, 2022, 11 (14): 4211. DOI: 10.3390/jcm11144211.
- [13] 孙峰, 李晨, 付阳阳, 等. 连续监测呼气末二氧化碳分压对院内复苏结果的预测价值: 针对一项多中心观察研究数据的二次分析 [J]. 中华危重病急救医学, 2018, 30 (1): 29–33. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2018.01.006.
- [14] 干金文, 金刚, 贾昭, 等. 心肺复苏后患者脑血流指标与神经功能恢复的关系 [J]. 中国临床医生杂志, 2022, 50 (1): 56–58. DOI: 10.3969/j.issn.2095-8552.2022.01.017.
- [15] 王淦楠, 张刚, 张忠满, 等. 凝血/纤溶改变对成人体外心肺复苏患者神经功能预后的预测价值研究 [J]. 中华急诊医学杂志, 2024, 33 (7): 933–938. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2024.07.009.
- [16] 王宏, 兰超, 罗垚, 等. 血红蛋白与红细胞分布宽度比值对院外心搏骤停心肺复苏后患者预后的预测价值 [J]. 中华危重病急救医学, 2023, 35 (9): 958–962. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20230207-00066.
- [17] Beekman R, Hirsch KG. Brain imaging after cardiac arrest [J]. Curr Opin Crit Care, 2023, 29 (3): 192–198. DOI: 10.1097/MCC.0000000000001032.
- [18] Han BK, Towbin RB, De Courten-Myers G, et al. Reversal sign on CT: effect of anoxic/ischemic cerebral injury in children [J]. AJR Am J Roentgenol, 1990, 154 (2): 361–368. DOI: 10.2214/ajr.154.2.2105031.
- [19] 王淦楠, 陈科, 陈旭峰, 等. 头颅 CT 视神经鞘直径测定对成人搏骤停后昏迷患者预后的判断价值 [J]. 临床急诊杂志, 2019, 20 (1): 25–29. DOI: 10.13201/j.issn.1009-5918.2019.01.004.
- [20] Mansour A, Fuhrman JD, Ammar FE, et al. Machine learning for early detection of hypoxic-ischemic brain injury after cardiac arrest [J]. Neurocrit Care, 2022, 36 (3): 974–982. DOI: 10.1007/s12028-021-01405-y.
- [21] Hoedemaekers CWE, Helmich RC. MRI in neuroprognostication after cardiac arrest: it's time for the next step [J]. Resuscitation, 2020, 157: 264–265. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2020.10.011.
- [22] 张莎, 钟佳利, 黄鑫, 等. 多参数集成序列在急性缺血性脑卒中诊断中的应用价值 [J]. 磁共振成像, 2022, 13 (7): 107–111. DOI: 10.12015/issn.1674-8034.2022.07.019.
- [23] 魏伟, 干金文, 金刚, 等. 经颅多普勒超声联合 SjvO₂ 对 CA-ROSC 患者神经功能预后的评估价值 [J]. 中外医学研究, 2022, 20 (18): 21–25. DOI: 10.14033/j.cnki.cfm.2022.18.005.
- [24] 方俐, 申志微, 徐菲菲, 等. 成人和儿童心肺复苏后早期脑血流动力学及预后的比较 [J]. 中国中西医结合急救杂志, 2022, 29 (6): 710–713. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2022.06.014.
- [25] 黄婷婷, 周满红. 18F-FDG PET-CT 对心脏骤停-心肺复苏后脑内葡萄糖代谢及脑损伤程度评价的研究进展 [J]. 中国急救医学, 2021, 41 (10): 897–901. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1949.2021.10.013.
- [26] 韩宏光. 心脏外科围手术期脑保护中国专家共识 (2019) [J]. 中华危重病急救医学, 2019, 31 (2): 129–134. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2019.02.001.
- [27] 彭祥, 李湘民. 近红外光谱技术在心肺复苏中的应用进展 [J]. 协和医学杂志, 2023, 14 (3): 459–464. DOI: 10.12290/xhyxzz.2022-0637.
- [28] 任青, 姜中惠, 李丛, 等. 川芎嗪注射液对缺氧缺血性脑病新生儿血清胱抑素 C 和神经元特异性烯醇化酶的影响 [J]. 中国中西医结合急救杂志, 2018, 25 (5): 458–462. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2018.05.003.
- [29] Sandroni C, D'Arrigo S, Cacciola S, et al. Prediction of poor neurological outcome in comatose survivors of cardiac arrest: a systematic review [J]. Intensive Care Med, 2020, 46 (10): 1803–1851. DOI: 10.1007/s00134-020-06198-w.
- [30] Luescher T, Mueller J, Isenschmid C, et al. Neuron-specific enolase (NSE) improves clinical risk scores for prediction of neurological outcome and death in cardiac arrest patients: results from a prospective trial [J]. Resuscitation, 2019, 142: 50–60. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2019.07.003.
- [31] 孙海伟, 朱建军, 马丽梅, 等. 心肺复苏后患者局部脑氧饱和度与神经元特异性烯醇化酶水平的变化 [J]. 中华危重病急救医学, 2021, 33 (9): 1094–1098. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20210115-00067.
- [32] Duez CHV, Grejs AM, Jeppesen AN, et al. Neuron-specific enolase and S-100b in prolonged targeted temperature management after cardiac arrest: a randomised study [J]. Resuscitation, 2018, 122: 79–86. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2017.11.052.
- [33] Jang JH, Park WB, Lim YS, et al. Combination of S100B and procalcitonin improves prognostic performance compared to either alone in patients with cardiac arrest: a prospective observational study [J]. Medicine (Baltimore), 2019, 98 (6): e14496. DOI: 10.1097/MD.00000000000014496.
- [34] 缪文丽, 李海玲, 王弘道, 等. 神经元特异性烯醇化酶和 S100 蛋白评估心脏骤停患者复苏后脑损伤的研究 [J]. 中华危重病急救医学, 2007, 19 (12): 749–752. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1003-0603.2007.12.013.
- [35] 吴永萌, 马宁, 李国婧, 等. 胶质纤维酸性蛋白在脑损伤中作用的研究进展 [J]. 中西医结合心脑血管病杂志, 2024, 22 (5): 852–856. DOI: 10.12102/j.issn.1672-1349.2024.05.015.
- [36] Larsson IM, Wallin E, Kristofferzon ML, et al. Post-cardiac arrest serum levels of glial fibrillary acidic protein for predicting neurological outcome [J]. Resuscitation, 2014, 85 (12): 1654–1661. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2014.09.007.
- [37] 李永华, 李萍, 张洪红, 等. 血清 tau 蛋白和巨噬细胞炎症蛋白 1 α 及胶质纤维酸性蛋白与高血压脑出血后血脑屏障的关系 [J]. 中华老年心脑血管病杂志, 2024, 26 (4): 427–430. DOI: 10.3969/j.issn.1009-0126.2024.04.016.
- [38] Liu H, Povysheva N, Rose ME, et al. Role of UCHL1 in axonal injury and functional recovery after cerebral ischemia [J]. Proc Natl Acad Sci U S A, 2019, 116 (10): 4643–4650. DOI: 10.1073/pnas.1821282116.
- [39] Shahjouei S, Sadeghi-Naini M, Yang ZH, et al. The diagnostic values of UCH-L1 in traumatic brain injury: a meta-analysis [J]. Brain Inj, 2018, 32 (1): 1–17. DOI: 10.1080/02699052.2017.1382717.
- [40] Axelsson M, Sjögren M, Andersen O, et al. Neurofilament light protein levels in cerebrospinal fluid predict long-term disability of Guillain-Barré syndrome: a pilot study [J]. Acta Neurol Scand, 2018, 138 (2): 143–150. DOI: 10.1111/ane.12927.
- [41] Moseby-Knappe N, Mattsson N, Nielsen N, et al. Serum neurofilament light chain for prognosis of outcome after cardiac

- arrest [J]. JAMA Neurol, 2019, 76 (1): 64–71. DOI: 10.1001/jama.neurol.2018.3223.
- [42] Westhall E, Rossetti AO, van Rootselaar AF, et al. Standardized EEG interpretation accurately predicts prognosis after cardiac arrest [J]. Neurology, 2016, 86 (16): 1482–1490. DOI: 10.1212/WNL.0000000000002462.
- [43] 贾迪, 陆宗庆, 张金, 等.《心搏骤停后脑电图反应性 2018 年国际共识》解读 [J]. 中华危重病急救医学, 2020, 32 (4): 392–396. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20200305-00209.
- [44] 王小峰, 王琪, 白西民, 等. 脑电双频指数对颅脑损伤严重程度和患者预后的评估研究进展 [J]. 临床神经外科杂志, 2021, 18 (6): 714–716, 720. DOI: 10.3969/j.issn.1672-7770.2021.06.025.
- [45] 杨文博, 程芮. 脑电双频指数在重症监护病房中应用的研究进展 [J]. 中华危重病急救医学, 2012, 24 (5): 315–317. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1003-0603.2012.05.020.
- [46] 张金聪, 孙世中, 王东, 等. 诱发电位评估重症脑血管病患者预后时间窗研究 [J]. 中华危重病急救医学, 2016, 28 (12): 1135–1140. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2016.12.014.
- [47] Patel JK, Sinha N, Hou W, et al. Association of post-resuscitation inflammatory response with favorable neurologic outcomes in adults with in-hospital cardiac arrest [J]. Resuscitation, 2021, 159: 54–59. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2020.12.014.
- [48] 徐丽, 孙鹏. Toll 样受体与心血管疾病关系的研究进展 [J]. 中国中西医结合急救杂志, 2024, 31 (4): 500–503. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2024.04.025.
- [49] 陈冬杰, 黄永莲, 彭晓洪, 等. 大柴胡汤抑制 TLR4/NF- κ B 信号通路保护重症中暑大鼠胃肠道黏膜屏障机制的研究 [J]. 中国中西医结合急救杂志, 2023, 30 (5): 592–596. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2023.05.015.
- [50] 陈观凤, 龙华婧, 庾少梅, 等. 凝血指标和炎症指标联合检测对缺血性脑卒中患者的应用价值 [J]. 实用检验医师杂志, 2024, 16 (1): 15–18. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7151.2024.01.004.
- [51] 中华医学会神经外科学分会, 中国卒中学会脑血管外科分会. 神经系统疾病脑机接口临床研究实施与管理的中国专家共识 [J]. 中华医学杂志, 2024, 104 (23): 2105–2112. DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20240326-00690.
- [52] Zhou WJL, Jiang YW, Xu Q, et al. Soft and stretchable organic bioelectronics for continuous intraoperative neurophysiological monitoring during microsurgery [J]. Nat Biomed Eng, 2023, 7 (10): 1270–1281. DOI: 10.1038/s41551-023-01069-3.
- [53] Semeraro F, Schnaubelt S, Malta Hansen C, et al. Cardiac arrest and cardiopulmonary resuscitation in the next decade: predicting and shaping the impact of technological innovations [J]. Resuscitation, 2024, 200: 110250. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2024.110250.
- [54] 苏俊文, 樊麦英, 曹彦, 等. 心肺复苏后人工智能模式下多模态神经功能预后预测 [J]. 中华急诊医学杂志, 2024, 33 (11): 1493–1499. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2024.11.004.

(收稿日期: 2024-12-23)
(责任编辑: 邸美仙 冯闲野)

• 科研新闻速递 •

创伤复苏期间补钙:

——一项来自 TraumaRegister DGU® 的倾向评分匹配分析

在重度创伤患者中,低钙血症与病死率增加相关。早期补钙已被推荐用于重度创伤患者,但缺乏强有力的因果关系证据。近期澳大利亚、比利时、德国学者共同进行了一项回顾性分析,旨在探讨在创伤复苏期间补钙是否能提供生存益处。研究采用 2015 至 2019 年创伤登记系统 TraumaRegister DGU® 的数据进行回顾性分析。应用倾向评分匹配以平衡重度创伤患者在补钙与不补钙之间的人口统计学、损伤严重程度和管理。基于倾向得分,将接受治疗的受试者与对照受试者进行匹配,倾向得分代表了在观察到的协变量下接受治疗的概率。该方法旨在平衡两组之间协变量的分布,减少选择偏倚,从而更准确地估计治疗效果。在倾向得分的计算中,使用多变量 Logistic 回归模型,以补钙作为因变量。在注册表约 150 个变量中,基于相关文献和专家共识,事先选择潜在的预测因子。当在创伤管理早期及测量低钙血症[游离钙(iCa^{2+}) <1.10 mmol/L]的变量被认为是相关的,包括患者人口统计学(年龄 >70 岁)、伤害特征[简化伤害量表(AIS) ≥ 3 、头部/胸部/腹部/四肢;伤害严重性评分(ISS),多发伤]、院前和早期干预(插管、儿茶酚胺给药、胸腔减压)、怀疑的活动性出血或休克[酸中毒;碱剩余(BE) <-6 mmol/L,贫血:血红蛋白(Hb) <80 g/L,休克指数(SI) ≥ 1 ,液体替代,输血,氨甲环酸]。尽管 ISS 和 AIS 仅在事后计算,但它们反映了到达医院时的损伤严重程度,并包括经初步临床检查和早期诊断后在大多数情况下明显的损伤。任何变量缺失的患者被排除在倾向得分计算之外。基于该多变量模型,得出了接受补钙的概率(倾向得分),并以四舍五入的百分比表示。将两组具有相同倾向得分的配对随机进行 1 : 1 精确匹配(无需替换)。匹配后,通过使用标准化差异测量各组之间的可比性来评估倾向评分模型的充分性。差异 <0.1 被认为是平衡的标志。主要结局为 6 h 病死率、24 h 病死率和院内病死率;次要结局包括入住重症监护病房(ICU)、ICU 住院时间、多器官功能衰竭(MOF)和脓毒症、入住 ICU 时的 iCa^{2+} 和国际标准化比值(INR)、总住院时间和死因。结果显示:在欧洲创伤中心直接入院的 28 323 例成人重大创伤患者的队列中,1 593 例(5.6%)接受了补钙。使用多变量 Logistic 回归生成倾向得分,可以匹配两组各 1 447 例患者。两组早期病死率(6 h 和 24 h)比较差异无统计学意义,补钙组院内病死率较未补钙组更高(28.3% 比 24.5%, $P=0.020$),但在调整预测病死率后差异并不显著($P=0.244$)。两组 ICU 入院率相似,住院期间 MOF 的发展情况比较差异无统计学意义。脓毒症在未补钙治疗的患者中更为常见(18.2% 比 15.3%, $P=0.048$)。两组之间的 ICU 住院时间比较差异无统计学意义。补钙组总住院时间较未补钙组明显缩短[d: 20(8, 37) 比 22(9, 38), $P=0.022$]。两组之间入住 ICU 时 iCa^{2+} 水平比较差异无统计学意义(mmol/L: 1.18 比 1.20, $P=0.574$)。未补钙组低钙血症的发生率明显更高(20.7% 比 19.2%, $P<0.001$);相反,补钙组高钙血症的发生率明显更高(14.5% 比 9.2%, $P<0.001$)。在入住 ICU 时 INR 差异无统计学意义(1.29 比 1.28, $P=0.037$)。研究人员据此得出结论:在这个匹配的队列中,未发现补钙在创伤复苏期间对生存益处的证据。后续研究应集中于理解重度创伤患者中 iCa^{2+} 水平的动态和动力学,并确定是否特定条件或亚组可以从补钙中受益。

杜斌推荐,蒋佳维、李银平编译自《Crit Care》, 2024, 28(1): 222