

增强型体外反搏在急性缺血性脑卒中治疗中的应用

贺梦超¹, 杨昊翔^{2*}

¹承德医学院附属秦皇岛市第一医院神经内科, 河北 承德

²秦皇岛市第一医院神经内科, 河北 秦皇岛

收稿日期: 2024年4月29日; 录用日期: 2024年5月24日; 发布日期: 2024年5月31日

摘要

增强型体外反搏(Enhanced external counter pulsation, EECP)是一种安全无创的治疗方法,具有改善血流动力学、促进侧支循环开放、改善血液流变性以及保护血管内皮功能等作用,广泛应用于急性缺血性脑卒中(Acute ischemic stroke, AIS)的临床治疗,可以开放侧支循环,促进缺血半暗带的血流再灌注,改善神经功能预后,是一种防治缺血性脑血管疾病的新型医疗设备。本文就AIS概述与缺血半暗带、EECP原理及机制、EECP在AIS中的临床应用展开综述。

关键词

增强型体外反搏, 急性缺血性脑卒中, 侧支循环, 缺血半暗带, 作用机制

Application of Enhance Dexternal Counter Pulsation in the Treatment of Acute Ischemic Stroke

Mengchao He¹, Haoxiang Yang^{2*}

¹Department of Neurology, Qinhuangdao First Hospital Affiliated to Chengde Medical College, Chengde Hebei

²Department of Neurology, First Hospital of Qinhuangdao City, Qinhuangdao Hebei

Received: Apr. 29th, 2024; accepted: May 24th, 2024; published: May 31st, 2024

*通讯作者。

文章引用: 贺梦超, 杨昊翔. 增强型体外反搏在急性缺血性脑卒中治疗中的应用[J]. 临床医学进展, 2024, 14(5): 2318-2324. DOI: 10.12677/acm.2024.1451688

Abstract

Enhanced external counter pulsation (EECP) is a safe non-invasive treatment, with improving hemodynamics, promoting collateral circulation open, improving blood rheology and protecting vascular endothelial function, widely used in the clinical treatment of acute ischemic stroke (AIS), can open the collateral cycle and promote the flow reperfusion of ischemic penumbra to improve nerve function prognosis and is a new type of medical equipment for the prevention and treatment of ischemic cerebrovascular disease. This paper summarizes AIS and ischemic penumbra, the principle and mechanism of EECP, and the clinical application of EECP in AIS.

Keywords

Enhanced External Counter Pulsation, Acute Ischemic Stroke, Collateral Circulation, Ischemic Penumbra, Mechanism of Action

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

据调查显示, 脑卒中的发病率在我国位居第一, 是危害民众身体健康及生命安全的主要疾病之一, 是国内位居首位的过早死亡原因[1]。脑卒中近 70%为缺血性脑卒中, 其高发病率、高死亡率以及高致残率给社会、家庭以及个人带来了沉重的负担和痛苦[2]。随着人口老龄化, 脑血管疾病造成的危害越来越严重, 随着人们生活方式的改变以及不良习惯的形成, 脑血管疾病也日益年轻化, 所以对急性缺血性脑卒中(Acute ischemic stroke, AIS)的积极防治也越来越重要。

2. AIS 概述与缺血半暗带

2.1. AIS 与侧支循环

AIS 是由各种诱发因素所致的脑局部灌注压降低, 继而出现脑组织缺血缺氧坏死, 最终发生一系列神经功能障碍。随着医学与科技的发展, 脑卒中的治疗方法多种多样, 目前, 静脉溶栓、血管内治疗(Endovascular treatment, EVT)以及开放侧支循环是实现 AIS 早期血流再灌注的三个主要方法[3], 其中最有效的治疗是血管再通治疗, 静脉溶栓及 EVT 是 AIS 的标准治疗方案, 但据调查显示只有大约 25%的 AIS 患者符合静脉溶栓的条件, 大约 11%的 AIS 患者符合 EVT 的条件[4], 并且由于我国民众对脑血管疾病的认知及重视程度还没有到达一定高度, 而且院前救治能力不足、院内急诊延误等因素也使血管再通治疗受到了很大的限制[5], 因此寻找其他有效方法尽早开放侧支循环也就成为了实现血流再灌注的重要方式之一。

侧支循环是指当脑梗死患者出现颅脑的血流动力学异常导致脑局部灌注压降低时, 血流通过其他途径到达缺血区, 从而使缺血脑组织的灌注得到改善[6]。侧支循环一般分为三级: 一级侧支为大脑的 Willis 环, 是颅内最主要的侧支代偿途径, 能够连接前后循环以及左右大脑半球的血液流通; 二级侧支为颅内外的吻合支及软脑膜侧支; 三级侧支为新生血管, 为最终的侧支循环途径。当 AIS 发生时, 最中心的核心坏死区产生了不可逆性损伤, 但是在其周围区域血流灌注虽然比正常脑组织血流降低, 但这部分脑组

织并没有完全坏死, 如果及时处理使其血流改善, 其功能是可以恢复正常的, 该区域称为缺血半暗带 (Ischemic penumbra, IP) [7]。

2.2. 缺血半暗带

AIS 血流再灌注至关重要, 主要是为了挽救 IP, 使其功能恢复正常, 这对神经功能恢复意义重大[7], 因此, 在之前“时间窗”的基础上又提出了“组织窗”的概念, 这是脑组织缺血灌注恢复治疗的一种重大转变, 促进了血管再通治疗时间窗的延长[3], 特别是已经超过时间窗无法进行 EVT 或静脉溶栓的 AIS 患者, 为其提供了一个新的促进神经功能恢复的思路与机会, 所以, 目前 IP 已经成为急性脑梗死的关注焦点。

Albers 等人[8]研究发现, IP 带在急性脑梗死发生后 24 h 之内仍然可以存在, IP 的大小及其后续发展与急性期神经功能缺失密切相关, 如果 IP 进一步进展为梗死灶, 则提示预后差, 如果 IP 后续恢复灌注, 则预示神经功能恢复良好。Iadecola 等[9]通过机制研究证实, IP 内存在一系列动态变化的缺血缺氧级联反应, 大脑是高能量代谢器官, 其耗氧量约占全身的 20%, 脑细胞对缺氧的耐受性极低, 脑血流下降后的数分钟内, 即可发生氧自由基损害、脑细胞水肿、组织酸化和兴奋性氨基酸毒性等, 并可长时间持续, 促发炎症反应造成能量合成障碍导致神经元死亡, 最终 IP 转化为梗死灶。所以在脑梗死早期促进血流再灌注的恢复, 延长 IP 的存活时间, 是改善 AIS 患者预后的关键[10]。

多项研究发现[11] [12], 侧支循环是 IP 恢复的关键, 如果侧支循环代偿良好能够减少核心梗死灶的面积, 对挽救 IP 有非常大的帮助, 可以提高 AIS 患者神经功能预后。促进侧支循环开放的药物治疗主要包括尤瑞克林、丁苯酞、他汀类降脂药和控制血压等治疗。尤瑞克林及丁苯酞可以增加脑血流灌注, 促进侧支循环开通, 挽救 IP, 促进神经系统恢复; 他汀类药物可以增加非心脏源性的 AIS 患者局部脑组织灌注; 保持血压在合适范围内可作为促进 AIS 患者侧支循环开通的一种无创性疗法。非药物治疗一般有体外反搏、颅内动脉搭桥手术、NeuroFlo 技术等[13]。其中体外反搏是一种安全有效的治疗方法, 可增加侧支血流供应和脑灌注, 是一种新型的脑血管疾病防治方法, 目前在临床上被广泛应用的是增强型体外反搏(Enhanced external counter pulsation, EECP)。

3. EECP 的原理及机制

3.1. EECP 的工作原理

“体外反搏”, 顾名思义, 因与心动周期相反并且为非介入的治疗方法, 所以称这种医疗技术为体外反搏术。EECP 是一种安全无创的治疗方法, 不会产生不适感和任何危险, 人们在治疗的同时可以进行其他的日常活动, 比如听歌、读书、玩游戏甚至睡觉, 是一种很享受的治疗方法, 打破了传统人们对医学治疗方法的恐惧与抗拒, 可称之为“绿色、自然”的治疗方法。EECP 在临床中的应用最先始于治疗冠心病[14], 随着人们对体外反搏技术更加深入的认识, 使其慢慢地突破了以往 EECP 适应症的范围, 将 EECP 逐渐扩展到其他更多由于循环障碍引起的疾病, 其中发展迅速以及效果明显的疾病就是缺血性脑血管疾病。

EECP 是通过无创性按压肢体的方法, 促进机体重要脏器的血液回流, 从而增加缺血器官的血供, 使其改善缺血缺氧状态[15]。EECP 仪器的基础结构主要包括配气系统、气囊袋、管路、气泵等, 进行 EECP 治疗时, 先在臀部、大腿以及小腿绑上气囊袋, 再与气泵以及配气系统连接, 通过识别心电图的 R 波作为启动机器的信号。EECP 治疗时, 在心脏舒张期, 各段气囊序贯充气, 使下肢血流反流至主动脉内, 以便供应冠状动脉、胸腹部脏器以及大脑等重要组织器官, 因此在 EECP 治疗阶段, 身体上部分的血液供应为双脉动血流, 同时挤压静脉也增加了回心血量; 在心脏收缩期时, 气囊全部放气, 下肢血管舒张,

降低外周血管阻力及心脏后负荷, 使心排出量增加, 心脑血管系统及其他重要脏器的血流灌注也相应增加[16]。

总结来说, EECF 对心脏的主要作用原理是在降低主动脉收缩压的同时也增加了主动脉舒张压, 通过降低收缩压来降低心肌后负荷及心肌耗氧量, 通过提高舒张压来提高冠脉血流量及心肌供氧量, 这两种重要功能目前还没有任何一种药物可以同时实现。EECF 规律挤压及放松下肢肌肉群的过程, 类似于正在进行运动训练时下肢肌肉规律收缩和放松而产生的血流动力学效应, 所以 EECF 产生的作用效果被普遍认为是一种“被动”活动的运动效应。

3.2. EECF 的作用机制

3.2.1. 改善血流动力学

EECF 治疗具有双脉动血流的独特血流动力学特征, 可以增加心脏舒张期回心血量, 提高心脏舒张压以及心输出量, 直接增加颈总动脉及以上各级头颈动脉的血供, 从而提升脑灌注量, 改善病变脑组织的功能[17]; EECF 还可以提高脏器微循环血液灌流量, 最明显的是增加心脏冠状动脉微循环, 从而提高心功能, 增加血容量和提高心脏泵血功能, 促进心脏射血流向头部及全身各组织。有研究指出[18], EECF 可使冠状动脉内峰流速增加约 109%, 可使心排出量平均增加约 25%。Bondesson 等[17]通过动物及临床实验研究发现, EECF 可以使动脉舒张压增加大约 26%~157%, 而对动脉收缩压的影响结果并不统一, 有国内研究者发现[16], EECF 可使动脉收缩压降低大约 9~16 mmHg, 并可使桡动脉舒张压增加大约 115%~157%。同时, Lin 等人[19]还发现将 EECF 的压力设在 150 mmHg 时可使增强脑血流及增加脑灌注的效应达到最大, 并且 EECF 治疗时间大于 10 h 时可以明显改善 AIS 患者的神经功能预后。

3.2.2. 促进侧支循环开放

在进行 EECF 治疗的过程中, 血管内血流速度以及血管内压力会增加, 局部脑组织的血流灌注相应增加, 有可能会促进侧支循环的开通; 血管切应力是一种平行作用于血管壁内皮细胞表面的局部应力, 对调节内皮细胞的功能、结构、形态起着重要的积极作用[20], EECF 可以提高血管切应力, 其增加可促进一氧化氮(NO)生成, 同时抑制内皮素-1 (ET-1)合成, 因为 ET-1 可使血管收缩, NO 对舒张血管具有很好的作用, 双重作用致使局部血管呈舒张状态, 促使侧支循环的开放, 这是大脑侧支循环建立的另一个可能途径[21]; 如果应用 EECF 长期治疗, 也能够诱导分泌血管生长因子(VEGF), 该因子是诱发血管新生的强有力因子, 有能够使血管壁通透性增加、促使血管内皮细胞增生、促进新生血管形成等积极作用[22]。Liu 等人[23]研究发现 EECF 可以增加颅内灌注压并提高脑血流速度, 从而使 AIS 患者的脑血流灌注及侧支循环代偿能力改善, 并且和良好的神经功能预后相关。Buschmann 等[24]通过临床研究发现, EECF 治疗可以提高血流储备分数和侧支血流指数, 表明 EECF 治疗可促进血管形成, 促使缺血脑组织侧支循环开放, 从而增加脑血流灌注。

3.2.3. 改善血液流变性

EECF 治疗可以降低血小板聚集及粘附功能, 降低血液中促凝因子及内皮素的浓度水平, 还能够促进心房钠尿肽等舒张血管因子的释放, 促进血管扩张, 降低心脏后负荷, 并使组织型纤溶酶原激活剂(tPA)的释放增加, 起到抗动脉粥样硬化及预防血栓形成的作用[25]; 气囊加压时动脉血流的压强及速度发生变化, 使已经聚集的红细胞团发生解聚, 起到降低血液黏度的作用; 此外, EECF 的血流动力学效应可使纤维蛋白原网架结构发生裂解, 从而促使血液黏度下降, 改善血液流变性, 提高组织的循环及灌注[26]。伍贵富等人[27]研究发现, EECF 可使血浆中血栓素 A₂ 降低, 从而抑制血小板的活化及聚集, 说明 EECF 可能对预防血栓形成有重要作用。

3.2.4. 保护血管内皮功能

“氧化应激”在心脑血管疾病进展过程中起到了重要作用, 自由基是机体氧化后产生的有害物质, 自由基通过中和 NO 从而损伤内皮细胞, 抗氧化措施抑制过氧化反应是防治心脑血管疾病的需要, 而 NO 能使氧化应激产生的不良反应降到最低[28]。有研究发现, EECF 可以通过提高血管切应力从而刺激内皮细胞分泌更多的 NO, NO 除了具有舒张血管的作用之外, 还能够抵抗动脉粥样硬化的发生, 积极保护血管内皮形态和功能[29]。NO 是由血管内皮细胞产生, 由于脂溶性的特点它可以很快扩散出细胞膜进入平滑肌细胞内, 减少低密度脂蛋白以及氧自由基的生成, 能够使血管平滑肌舒张从而导致血压下降; 同时也能向上进入血液使血小板活性降低, 从而达到抑制动脉粥样硬化及血栓形成的目的, 从根本上改善甚至逆转心脑血管病[30]。Sardina 等[28]研究表明, 通过 EECF 治疗后, 血浆中与氧化应激相关的炎症因子以及循环标志物均减少, 抑制了动脉粥样硬化的形成及进展。

4. EECF 在 AIS 中的临床应用

AIS 形成的原因多种多样, 病因分型众多, 通过临床观察可以发现, 其中由颅内大动脉严重狭窄或闭塞造成的脑梗死很常见, 其颅内血流动力学明显异常, 局部脑组织灌注急剧下降, 也是病情容易进展加重、需要早期积极治疗的脑梗死类型之一[31]。Lin 等人[32]通过经颅多普勒超声研究 EECF 对于颅内血流动力学的影响, 选取 AIS 并伴有颅内大血管狭窄的患者共 32 例, 在发病 6 小时后行 EECF 治疗并进行脑血流检测, 结果显示 EECF 治疗可以使 AIS 患者的血压提高 13%、双侧大脑中动脉的血流量增加 9%, 而在健康对照组中显示血压平均提高了 9%, 但未增加双侧大脑中动脉的血流量, 可见 EECF 治疗对颅内灌注的积极作用。Xiong 等人[33]继续探讨了 EECF 对维持脑血流增加效果的时间问题, 在患者进行 EECF 治疗过程中不断监测脑血流, 结果显示 EECF 对脑梗死患者维持脑血流增加效果的时间大概 3 周, 在脑梗死后 1 个月患者颅内血流逐渐降低到原有水平, 该研究证明了 EECF 的时效性并为其治疗的有效时间窗提供了证据。

EECF 改善脑血流的作用非常明显, 其有效性及安全性在临床症状的改善及预后方面也得到了验证。冯秀娟等人[34]将 AIS 患者分为 EECF 治疗组及药物治疗组, 应用 Barthel 指数评分评估 EECF 治疗对于患者生活能力改善的情况, 结果显示应用 EECF 治疗后 Barthel 指数评分明显升高, 说明 EECF 治疗可以提高 AIS 患者的日常活动能力, 并且 EECF 可将药物治疗组的临床有效率及治愈率提高, 证明了 EECF 治疗能够改善临床症状。杨展等人[35]应用 NIHSS 评分评估 EECF 的神经功能变化情况, 研究结果发现通过 EECF 治疗后患者 NIHSS 评分明显降低, 且在治疗过程中没有发生不良反应, 提示 EECF 治疗可以改善 AIS 患者的临床症状及神经功能预后, 是安全、有效的治疗方法。马璐璐等人[36]报道了 EECF 用于治疗后循环短暂性脑缺血发作, 并获得了良好治疗效果, 可见 EECF 用于后循环缺血性脑血管病的治疗也是有效的。

AIS 后认识障碍也成为了影响患者神经功能恢复及生活质量改善的重要因素, EECF 在脑梗死恢复期的认知康复方面也起到了很大的作用。实验研究表明[37], EECF 可以通过调节脑血流变化及细胞因子分泌, 促进缺血脑组织侧支循环建立, 可做为脑梗死急性期的辅助治疗, 也对脑梗死后恢复期的神经功能恢复有很大帮助。Razumov 等人[38]通过研究表明, EECF 辅助常规药物治疗能够改善脑卒中后抑郁及焦虑症状, 促进神经功能恢复及增加康复治疗效果。陈强等人[39]将卒中后认知障碍患者分为观察组及对照组, 对照组给予常规药物及康复治疗, 观察组在对照组基础上加用 EECF 治疗, 研究结果表明 EECF 联合药物及康复治疗在卒中后认知改善方面更具优势, 可以明显改善患者认知功能, 提高生活质量, 值得进一步发掘及推广。

5. 小结及展望

AIS 血流再灌注至关重要, 主要是为了开通侧支循环及挽救 IP, 使其血流恢复正常, 这对神经功能

恢复意义重大, 目前 EECF 已经成为改善脑灌注的重要治疗方法, 具有无创、安全、经济、有效等特点, 在改善 AIS 患者的临床症状、提高患者的生活能力、促进神经功能预后等方面均取得了良好的效果。但是目前对于 EECF 治疗 AIS 的作用机制、治疗方案及 EECF 的适用人群仍缺乏大样本临床实验去验证, EECF 的发展一直伴随着不懈的探索, 相信 EECF 将会在更多的领域发挥其更大的价值。

参考文献

- [1] 王拥军, 李子孝, 谷鸿秋, 等. 中国卒中报告 2020(中文版) (1) [J]. 中国卒中杂志, 2022, 17(5): 433-447.
- [2] 《中国脑卒中防治报告 2021》概要[J]. 中国脑血管病杂志, 2023, 20(11): 783-793.
- [3] Ginsberg, M.D. (2018) The Cerebral Collateral Circulation: Relevance to Pathophysiology and Treatment of Stroke. *Neuropharmacology*, **134**, 280-292. <https://doi.org/10.1016/j.neuropharm.2017.08.003>
- [4] 申青仙, 张赛, 涂悦, 等. 急性缺血性脑卒中的临床治疗研究进展[J]. 中国医药, 2020, 15(4): 633-636.
- [5] Wang, Y.J., Li, Z.X., Gu, H.Q., et al. (2020) China Stroke Statistics 2019: A Report from the National Center for Healthcare Quality Management in Neurological Diseases, China National Clinical Research Center for Neurological Diseases, the Chinese Stroke Association, National Center for Chronic and Non-Communicable Disease Control and Prevention, Chinese Center for Disease Control and Prevention and Institute for Global Neuroscience and Stroke Collaborations. *Stroke and Vascular Neurology*, **5**, 211-239. <https://doi.org/10.1136/svn-2020-000457>
- [6] Liebeskind, D.S. (2003) Collateral Circulation. *Stroke*, **34**, 2279-2284. <https://doi.org/10.1161/01.STR.0000086465.41263.06>
- [7] 党超, 卢洁, 宋海庆, 等. 急性脑梗死缺血半暗带临床评估和治疗中国专家共识[J]. 中国神经精神疾病杂志, 2021, 47(6): 324-335.
- [8] Albers, G.W., Lansberg, M.G., Brown, S., et al. (2021) Assessment of Optimal Patient Selection for Endovascular Thrombectomy beyond 6 Hours after Symptom Onset: A Pooled Analysis of the AURORA Database. *JAMA Neurology*, **78**, 1064-1071. <https://doi.org/10.1001/jamaneurol.2021.2319>
- [9] Iadecola, C. and Anrather, J. (2011) The Immunology of Stroke: From Mechanisms to Translation. *Nature Medicine*, **17**, 796-808. <https://doi.org/10.1038/nm.2399>
- [10] Thomalla, G., Boutitie, F., Ma, H., et al. (2020) Intravenous Alteplase for Stroke with Unknown Time of Onset Guided by Advanced Imaging: Systematic Review and Meta-Analysis of Individual Patient Data. *The Lancet*, **396**, 1574-1584. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)32163-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)32163-2)
- [11] Lin, L., Yang, J., Chen, C., et al. (2021) Association of Collateral Status and Ischemic Core Growth in Patients with Acute Ischemic Stroke. *Neurology*, **96**, e161-e170. <https://doi.org/10.1212/WNL.00000000000011258>
- [12] Lee, S.J., Hwang, Y.H., Hong, J.M., et al. (2020) Predictors and Prognoses of Willisian Collateral Failure during Mechanical Thrombectomy. *Scientific Reports*, **10**, Article No. 20874. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77946-7>
- [13] 中华医学会急诊医学分会, 急性缺血性脑卒中侧支循环评估与干预中国急诊专家共识组. 急性缺血性脑卒中侧支循环评估与干预中国急诊专家共识[J]. 中华急诊医学杂志, 2022, 31(10): 1310-1318.
- [14] Beck, D.T., Casey, D.P., Martin, J.S., et al. (2015) Enhanced External Counterpulsation Reduces Indices of Central Blood Pressure and Myocardial Oxygen Demand in Patients with Left Ventricular Dysfunction. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, **42**, 315-320. <https://doi.org/10.1111/1440-1681.12367>
- [15] 国际体外反搏学会, 中国康复医学会心血管病专业委员会, 中国老年学会心血管病专业委员会. 心血管疾病康复处方-增强型体外反搏应用国际专家共识[J]. 中华内科杂志, 2014, 53(7): 587-590.
- [16] 冷秀玉, 伍富贵. 体外反搏的工作原理与作用机制[J]. 中华老年医学杂志, 2019, 38(5): 476-479.
- [17] Bondesson, S., Pettersson, T., Ohlsson, O., et al. (2010) Effects on Blood Pressure in Patients with Refractory Angina Pectoris after Enhanced External Counterpulsation. *Blood Pressure*, **19**, 287-294. <https://doi.org/10.3109/08037051003794375>
- [18] Michaels, A.D., Accad, M., Ports, T.A., et al. (2002) Left Ventricular Systolic Unloading and Augmentation of Intracoronary Pressure and Doppler Flow during Enhanced External Counterpulsation. *Circulation*, **106**, 1237-1242. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.0000028336.95629.B0>
- [19] Lin, W., Xiong, L., Han, J., et al. (2014) Increasing Pressure of External Counterpulsation Augments Blood Pressure but Not Cerebral Blood Flow Velocity in Ischemic Stroke. *Journal of Clinical Neuroscience*, **21**, 1148-1152. <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2013.09.023>
- [20] Buschmann, E.E., Utz, W., Pagonas, N., et al. (2009) Improvement of Fractional Flow Reserve and Collateral Flow by

- Treatment with External Counterpulsation (Art.Net.-2 Trial). *European Journal of Clinical Investigation*, **39**, 866-875. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2362.2009.02192.x>
- [21] Yang, D.Y. and Wu, G.F. (2013) Vasculoprotective Properties of Enhanced External Counterpulsation for Coronary Artery Disease: Beyond the Hemodynamics. *International Journal of Cardiology*, **166**, 38-43. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2012.04.003>
- [22] 莫秀娟, 胡竹平, 曾玉静. 体外反搏联合阿司匹林治疗缺血性脑梗塞的研究及护理[J]. 海峡药学, 2017, 29(2): 227-228.
- [23] Liu, J.Y., Xiong, L., Stinear, C.M., *et al.* (2019) External Counterpulsation Enhances Neuroplasticity to Promote Stroke Recovery. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, **90**, 361-363. <https://doi.org/10.1136/jnnp-2018-318185>
- [24] Buschmann, E.E., Brix, M., Li, L., *et al.* (2016) Adaptation of External Counterpulsation Based on Individual Shear Rate Therapy Improves Endothelial Function and Claudication Distance in Peripheral Artery Disease. *Vasa*, **45**, 317-324. <https://doi.org/10.1024/0301-1526/a000544>
- [25] 颜甜. 体外反搏在缺血性脑卒中患者中的应用研究进展[J]. 中国疗养医学, 2021, 30(6): 598-599.
- [26] Xiong, L., Tian, G., Wang, L., *et al.* (2017) External Counterpulsation Increases Beat-to-Beat Heart Rate Variability in Patients with Ischemic Stroke. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases*, **26**, 1487-1492. <https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2017.03.007>
- [27] 伍贵富, 杜志民, 方典秋, 等. 体外反搏的生物力学效应与血管内皮功能[J]. 中山大学学报(医学科学版), 2005(2): 121-124+137.
- [28] Sardina, P.D., Martin, J.S., Dzieza, W.K., *et al.* (2016) Enhanced External Counterpulsation (EECP) Decreases Advanced Glycation End Products and Proinflammatory Cytokines in Patients with Non-Insulin-Dependent Type II Diabetes Mellitus for up to 6 Months Following Treatment. *Acta Diabetologica*, **53**, 753-760. <https://doi.org/10.1007/s00592-016-0869-6>
- [29] Zietzer, A., Buschmann, E.E., Janke, D., *et al.* (2017) Acute Physical Exercise and Long-Term Individual Shear Rate Therapy Increase Telomerase Activity in Human Peripheral Blood Mononuclear Cells. *Acta Physiologica*, **220**, 251-262. <https://doi.org/10.1111/apha.12820>
- [30] 中华医学会老年医学分会心血管病学组, 《中华老年医学杂志》编辑委员会, 中国生物医学工程学会体外反搏分会老年学组. 老年人体外反搏临床应用中国专家共识(2019) [J]. 中华老年医学杂志, 2019, 38(9): 953-961.
- [31] Krasteva, M.P., Lau, K.K., Mordasini, P., *et al.* (2020) Intracranial Atherosclerotic Stenoses: Pathophysiology, Epidemiology, Risk Factors and Current Therapy Options. *Advances in Therapy*, **37**, 1829-1865. <https://doi.org/10.1007/s12325-020-01291-4>
- [32] Lin, W., Xiong, L., Han, J., *et al.* (2012) External Counterpulsation Augments Blood Pressure and Cerebral Flow Velocities in Ischemic Stroke Patients with Cerebral Intracranial Large Artery Occlusive Disease. *Stroke*, **43**, 3007-3011. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.112.659144>
- [33] Xiong, L., Lin, W., Han, J., *et al.* (2016) Enhancing Cerebral Perfusion with External Counterpulsation after Ischaemic Stroke: How Long Does It Last? *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, **87**, 531-536. <https://doi.org/10.1136/jnnp-2014-309842>
- [34] 冯秀娟, 王辰, 秦丽微, 等. 体外反搏在脑梗死康复中的作用与机制研究[J]. 中风与神经疾病杂志, 2019, 36(8): 732-734.
- [35] 杨展, 赵佳佳. 体外反搏对急性脑梗死患者 NIHSS 评分及 Barthel 指数的影响[J]. 中国实用神经疾病杂志, 2016, 19(11): 71-73.
- [36] 马璐璐, 李予鲁, 王丽兰. 体外反搏用于椎-基底动脉系统 TIA 的疗效[J]. 中国康复, 2006, 21(3): 192-193.
- [37] Éneeva, M.A., Kostenko, E.V., Razumov, A.N., *et al.* (2015) The Enhanced External Counterpulsation as a Method of Non-Invasive Auxiliary Blood Circulation Used for the Combined Rehabilitative Treatment of the Patients Surviving after Ischemic Stroke (a Review). *Voprosy Kurortologii, Fizioterapii, i Lechebnoi Fizicheskoi Kultury*, **92**, 45-52. <https://doi.org/10.17116/kurort2015345-52>
- [38] Razumov, A.N., Éneeva, M.A., Kostenko, E.V., *et al.* (2016) The Depressive Disorders during the Early Rehabilitation Period Following Preceding Ischemic Stroke: The Possibilities for the Application of the Enhanced External Counterpulsation Method. *Voprosy Kurortologii, Fizioterapii, i Lechebnoi Fizicheskoi Kultury*, **93**, 4-10. <https://doi.org/10.17116/kurort201614-10>
- [39] 陈强, 徐晓晶, 赵小峰, 等. 体外反搏联合药物治疗对脑卒中后认知功能障碍的疗效分析[J]. 中国实用医药, 2018, 13(18): 110-111.