

低强度体外冲击波疗法治疗勃起功能障碍研究进展

吴 伟, 陈江凌, 梁培禾*

重庆医科大学附属第二医院泌尿外科, 重庆

收稿日期: 2025年10月4日; 录用日期: 2025年10月28日; 发布日期: 2025年11月5日

摘 要

勃起功能障碍(erectile dysfunction, ED)是一种常见的男性性功能障碍, 主要表现为持续不能达到或维持足以满足性功能的阴茎勃起。长期以来, 口服磷酸二酯酶5抑制剂(PDE5i)一直被认为是ED的一线疗法。近年来, 低强度体外冲击波疗法(Low-Intensity extracorporeal shock wave therapy, Li-ESWT)逐渐被认为是一种治疗血管性及部分神经性ED安全有效的方法。本文就Li-ESWT治疗ED的病理生理机制研究及其临床应用的进展做简要综述。

关键词

勃起功能障碍, 低强度体外冲击波疗法

Research Progress on Low-Intensity Extracorporeal Shockwave Therapy for Erectile Dysfunction

Wei Wu, Jiangling Chen, Peihe Liang*

Department of Urology, The Second Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing.

Received: October 4, 2025; accepted: October 28, 2025; published: November 5, 2025

Abstract

Erectile dysfunction (erectile dysfunction, ED) is a common male sexual dysfunction, mainly characterized by the persistent inability to achieve or maintain a penile erection sufficient for sexual

*通讯作者。

文章引用: 吴伟, 陈江凌, 梁培禾. 低强度体外冲击波疗法治疗勃起功能障碍研究进展[J]. 临床医学进展, 2025, 15(11): 596-602. DOI: 10.12677/acm.2025.15113135

function. For a long time, oral phosphodiesterase type 5 inhibitors (PDE5is) have been considered first-line therapy for ED. In recent years, low-intensity extracorporeal shockwave therapy (Li-ESWT) has gradually emerged as a safe and effective treatment for vascular and certain cases of neurogenic ED. This article provides a brief review of the pathophysiological mechanisms of Li-ESWT in the treatment of ED and its research progress in clinical applications.

Keywords

Erectile Dysfunction, Low-Intensity Extracorporeal Shockwave Therapy

Copyright © 2025 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

勃起功能障碍(ED)是一种常见的男性性功能障碍,主要表现为持续不能达到或维持足以满足性功能的阴茎勃起[1]。近年,本病发病率呈上升趋势,据估计,2025年全球勃起功能障碍的患病人数将从1997年的1.52亿增长至3.22亿[2]。文献显示,美国全国男性勃起功能障碍的患病率达24.2%,其中24岁以下的年轻男性中有17.9%符合ED诊断标准,提示ED的年轻化趋势[3]。我国ED的发病率则高达49.69%[4]。ED是与心血管、糖尿病等多种疾病相关的男性健康的风向标,严重影响了男性的生活质量,甚至生育能力[5]。5型磷酸二酯酶(PDE5)抑制剂的出现是ED治疗的里程碑,但仍有约40%的患者疗效欠佳[6]。局部药物治疗、真空负压勃起装置有使用不便、长期使用可能出现并发症等缺点;阴茎假体植入手术不仅存在手术风险,且费用较高。低强度体外冲击波疗法是近年出现的新的ED治疗方法,随着病例的积累及研究的深入,这一疗法被认为是治疗血管性ED的有效方法。此外,有学者发现低强度体外冲击波疗法对部分神经性ED也具有疗效。2025年欧洲泌尿外科学会(EAU)关于男性性功能障碍的指南中,低强度体外冲击波疗法(Li-ESWT)继续被推荐作为血管性勃起功能障碍(ED)的首选物理疗法,并将其视为一种再生医学疗法,认为它是目前临床应用的唯一可能治愈血管性ED的方法[1]。本文就Li-ESWT治疗ED的生理学机制研究及其临床应用的进展进行综述。

2. 勃起的生理学

勃起是一个复杂的生理过程,涉及神经信号传导和血管平滑肌反应,受心理和生理因素的影响,其核心是阴茎海绵体平滑肌的松弛[7]。性刺激通过中枢神经系统整合后,由副交感神经(主要通过盆神经)释放神经递质,其中一氧化氮(NO)是最关键的介质。NO扩散至海绵体平滑肌细胞,激活鸟苷酸环化酶(GC),使三磷酸鸟苷(GTP)转化为环磷酸鸟苷(cGMP)。cGMP作为第二信使,引发细胞内钙离子浓度下降,导致平滑肌松弛[8]-[10]。此时,海绵窦扩张,动脉血流量急剧增加。扩张的窦腔压迫白膜下的小静脉,使静脉流出道受阻(“静脉闭塞机制”),从而将血液有效地滞留于海绵体内,实现阴茎的持续勃起。因此,勃起本质上是阴茎在小动脉扩张和静脉回流受限共同作用下实现的血液动力学变化[11]-[13]。

3. 低强度体外冲击波

冲击波是一种通过振动和高速运动导致介质极度压缩而聚集产生的、具有力学特性的声波,能够引起压强、温度、密度等物理性质的急剧变化。依据能流密度(EFD),冲击波可分为三种强度水平:高于0.60 mJ/mm²为高强度,具有组织破坏性,主要用于碎石治疗;介于0.28~0.60 mJ/mm²为中强度,具有抗炎作

用,常用于治疗骨折不愈合、肌腱炎及滑囊炎等;而低强度冲击波(EFD 介于 $0.08\sim 0.28\text{ mJ/mm}^2$)则可能促进血管生成,因此被应用于慢性伤口、周围神经病变和心血管缺血等疾病[14][15]。在治疗 ED 时,所使用的低强度体外冲击波(Li-ESWT)能量多集中在 $0.09\sim 0.25\text{ mJ/mm}^2$ 之间。其作用机制在于冲击波能够无创地聚焦于深部组织,通过机械应力诱导微创伤,刺激一氧化氮(NO)的非酶促生成,并激活血管生成因子,从而促进新血管形成,改善局部血液供应。这一机制也得到多项研究的支持,证实了 Li-ESWT 在 ED 治疗中的有效性[16][17]。

4. Li-ESWT 在 ED 治疗中的作用机制

4.1. 促进血管新生与改善血流动力学

这是 Li-ESWT 治疗血管性 ED 最核心、最被广泛认可的机制。其目标是修复阴茎海绵体内受损的血管网络,从根本上解决“供血不足”的问题。研究显示, Li-ESWT 能显著上调血管内皮生长因子(VEGF)的表达,直接促进血管内皮细胞增殖、迁移,并形成新的血管。内皮一氧化氮合酶(eNOS)是催化产生一氧化氮(NO)的关键酶。NO 是阴茎勃起过程中最重要的神经递质和血管舒张因子。Li-ESWT 可以通过磷酸化激活 eNOS,增加其活性,从而促进内源性 NO 的合成。更多的 NO 意味着更强、更持久的海绵体动脉舒张和平滑肌松弛,从而获得和维持更好的勃起[18]。2019 年, Long 等[19]利用大鼠 ED 模型进行的实验显示, Li-ESWT 可显著增加血管内皮生长因子(VEGF)、内皮一氧化氮合酶(eNOS)的表达,同时降低血管紧张素 1 型(AT1)的表达($P < 0.05$),提示冲击波可能通过上调 VEGF、eNOS 和下调 AT1 来发挥促进血管新生,改善血管舒缩功能的作用,并在一定程度上改善血糖对血管的损害。同样在 2019 年, Sokolakis 等[20]将自然衰老大鼠分为对照组及 Li-ESWT 治疗组,利用实时 RT-PCR 对血管内皮生长因子(VEGF)、内皮一氧化氮合酶(eNOS)、神经生长因子(NGF)、神经元 NOS (nNOS)以及 $\alpha 1$ 和 $\alpha 2$ -肾上腺素能受体($\alpha 1\text{AR}$ 、 $\alpha 2\text{AR}$)的表达进行检测,发现相似的结果, Li-ESWT 治疗后, VEGF、eNOS 表达和 $\alpha 2\text{AR}/\alpha 1\text{AR}$ 比值明显增加(分别为 $p = 0.039$ 、 $p = 0.008$ 和 $p = 0.006$)。以上研究表明 VEGF 和 eNOS 的增加在 LiST 的作用机制诱导血管生成及改善血流动力学,中起着关键作用。

此外, Li-ESWT 还能刺激其他促血管生成因子的表达,如基质细胞衍生因子-1 α (SDF-1 α),可招募循环中的内皮祖细胞(EPCs)归巢到缺血组织部位,参与血管修复和新生; SDF-1 α 等趋化因子表达上调,可募集内皮祖细胞(EPCs),使其定居、分化,并直接融入新生的血管壁,极大地促进了血管网络的重建和修复。通过上述机制, Li-ESWT 能够有效地增加阴茎海绵体内的毛细血管密度,改善微循环。Alexandra Aicher 等[21]的动物实验发现,对于慢性后肢缺血大鼠进行低能 SW 处理后 24 h 内静脉输注 EPC,其募集和归巢显著增强($P < 0.05$),激光多普勒成像显示, SW 促进 EPC 治疗导致相对血流恢复显著增加($P < 0.05$),这些结果提示,促进 EPC 的募集参与血管的修复及血流的改善是 Li-ESWT 治疗的重要机制。2020 年, Liu 等[22]的研究同样发现 Li-ESWT 可以促进 EPC 在缺血组织中的招募,促进新生血管形成。

临床多普勒超声检查证实,接受 Li-ESWT 治疗后,患者的阴茎动脉收缩期峰值流速(PSV)显著提高,直接反映了动脉供血能力的增强。新生的血管网络为勃起提供了更丰富、更通畅的血流通道[23][24]。

4.2. 神经再生与功能恢复

ED,尤其是糖尿病性或盆腔手术后 ED,常伴有神经损伤。Li-ESWT 对神经恢复同样具有积极作用。Motil 等[25]的研究共纳入 32 名术前 3 个月或更长时间接受过双侧经会阴根治性前列腺切除术的参与者,其所有术前无勃起功能障碍(ED),且术后患有轻度至重度 ED。将参与者随机分为治疗组和假手术组,在治疗结束 6 个月后,治疗组和假手术组患者的国际勃起功能指数-5 (IIEF-5)生理值均达到正常水平,且治疗效果持续至治疗结束后 12 个月。这表明 Li-ESWT 是双侧神经血管束保留前列腺癌根治术后勃起功能

障碍患者进行阴茎康复的适宜且安全的方法,这不仅归因于低强度体外冲击波疗法的血管生成作用,还归因于其神经保护和/或再生作用。冲击波的机械刺激能够激活施万细胞,促进神经生长因子(NGF)和脑源性神经营养因子(BDNF)等神经营养因子的表达。2017年,Wang等[26]研究了在神经损伤后,体外施万细胞、体内阴茎组织的信号通路。结果显示,神经损伤后,Li-ESWT显著增加了BDNF的表达,体外施万细胞中的BDNF表达也显著增加。研究结果提示激活PERK/ATF4信号通路,刺激BDNF表达是Li-ESWT的潜在机制。这些因子为受损的神经纤维提供了再生的有利环境,促进轴突的修复和延长,刺激神经修复与再生,从而恢复阴茎感觉和勃起反射通路的完整性。阴茎勃起依赖于副交感神经末梢释放NO。Li-ESWT通过促进神经修复,可以恢复这些神经末梢的功能,确保神经信号能够有效转换为化学信号(NO),进而启动勃起[27][28]。

4.3. 抗纤维化组织重塑

长期缺血、缺氧和衰老会导致阴茎海绵体内平滑肌细胞减少,而纤维组织(胶原蛋白)沉积增多,这一过程称为纤维化。纤维化会使海绵体弹性下降,形成“僵硬的空腔”,无法有效地容纳血液。Li-ESWT被证明可以下调促纤维化因子(如TGF- β 1)的表达[29]。同时激活一些酶(如基质金属蛋白酶MMPs),降解过度沉积的胶原纤维,减少纤维化,增加海绵体内具有舒张功能的平滑肌细胞的比例和弹性,改善组织的顺应性,使勃起更坚硬。

4.4. 抗炎与抗氧化应激

慢性炎症和氧化应激是导致血管内皮损伤和ED的重要的潜在因素[30]。Li-ESWT表现出一定的抗炎和抗氧化效应:显著降低IL-1 β 、IL-6的表达和巨噬细胞浸润,通过PI3K/AKT/FOXO1轴发挥抗炎作用[31]。同时,Li-ESWT还可能通过激活Nrf2等抗氧化通路,增强细胞的抗氧化能力,减少活性氧(ROS)对血管内皮的损害,形成更健康的组织微环境[32][33]。

4.5. 干细胞激活与归巢

除了募集循环中的EPCs,有理论认为Li-ESWT可能直接激活局部组织中的间充质干细胞(MSCs)或祖细胞。这些“休眠细胞”在机械刺激下被唤醒,增殖并分化为血管内皮细胞或平滑肌细胞,直接参与了组织的再生和修复[34]。

5. Li-ESWT在ED治疗中的问题

Li-ESWT作为ED的物理治疗手段,其临床应用仍需关注无应答率、远期疗效衰减及安慰剂效应三大核心问题。在无应答率方面,现有研究显示Li-ESWT对ED患者的有效率约为70%,即约30%患者存在无应答,推测与患者基线特征(如重度ED、糖尿病或阴茎海绵体纤维化病史)、治疗方案(能量密度、冲击次数、治疗周期)差异相关,例如糖尿病ED患者因血管内皮损伤更严重,无应答率显著高于非糖尿病患者,提示需结合患者个体情况优化治疗筛选标准[35]。在远期疗效衰减风险上,多数短期研究证实Li-ESWT可改善ED患者勃起功能评分(IIEF-5),但随访6~12个月后,部分患者疗效出现回落,可能与治疗后血管修复效果未能持续、患者生活方式(如吸烟、久坐)未改善或基础疾病(如高血压、高血脂)控制不佳有关,目前缺乏5年以上长期随访数据,其疗效持久性仍需进一步验证[36]。在安慰剂效应方面,ED作为心身疾病,心理因素对治疗效果影响显著,多项随机对照试验显示,接受“假冲击波”治疗的安慰剂组患者IIEF-5评分亦有一定提升(提升幅度约为治疗组的30%~40%),反映患者对治疗的心理预期可能通过改善焦虑、增强自信间接改善勃起功能,因此未来研究需通过严格随机、双盲设计,并结合客观指标(如阴茎血流动力学检测)减少安慰剂效应干扰,以更精准评估Li-ESWT的真实治疗价值[37]。

6. Li-ESWT 治疗 ED 的治疗方案

目前低强度冲击波设备按照波源技术和能量传递方式可分为两类：聚焦式冲击波、放射式冲击波。目前正式进入国内的低强度体外冲击波设备有两种，放射式冲击波(代表产品：Renova)和聚焦式冲击波(代表产品：ED1000)。我国 2024 年专家共识建议 ED1000 治疗方案：EFD 为 0.09 mJ/mm^2 ，针对阴茎体 3 个部位和两侧阴茎脚，每个部位施加 300 次冲击波治疗，每次治 1500 次；治疗周期为 2 次/周，治疗 6 次后间隔 3 周，再治疗 3 周，总共 12 次。Renova 治疗方案：Renova 发出 EFD 为 0.09 mJ/mm^2 的冲击波，频率为 5 Hz，1 次/周，共 4 次。针对双侧阴茎海绵体中段和阴茎脚共 4 个区域，每区域 900 次，共 3600 次冲击；或双侧阴茎海绵体中段各 900 次，双侧阴茎脚 1600 次，共 5000 次冲击[38]。

7. 总结与展望

Li-ESWT 已成为 ED 治疗领域重要的非侵入性治疗选择。大量临床研究证实，该疗法对血管性 ED 患者具有显著的疗效和良好的安全性，其优势在于能够诱导长期的功能改善，且治疗过程中仅伴随轻微、短暂的不良反应。然而，该技术的广泛应用仍面临若干挑战，各研究采用的治疗参数(如能量密度、冲击次数、治疗频率及总疗程)存在较大差异，需建立标准化、规范化的治疗方案。未来研究应通过大样本、多中心、长期随访的随机对照试验，进一步明确其疗效的持久性及最佳适应人群。同时，探索 Li-ESWT 与其他治疗方法(如口服药物或再生医学技术)的联合应用策略，有望为难治性 ED 患者提供新的治疗路径，推动 ED 治疗效果的进一步提高。

参考文献

- [1] Salonia, A., Capogrosso, P., Boeri, L., Cocci, A., Corona, G., Dinkelman-Smit, M., *et al.* (2025) European Association of Urology Guidelines on Male Sexual and Reproductive Health: 2025 Update on Male Hypogonadism, Erectile Dysfunction, Premature Ejaculation, and Peyronie's Disease. *European Urology*, **88**, 76-102. <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2025.04.010>
- [2] Aytaç, I.A., Mckinlay, J.B. and Krane, R.J. (1999) The Likely Worldwide Increase in Erectile Dysfunction between 1995 and 2025 and Some Possible Policy Consequences. *BJU International*, **84**, 50-56. <https://doi.org/10.1046/j.1464-410x.1999.00142.x>
- [3] Mark, K.P., Arenella, K., Girard, A., Herbenick, D., Fu, J. and Coleman, E. (2024) Erectile Dysfunction Prevalence in the United States: Report from the 2021 National Survey of Sexual Wellbeing. *The Journal of Sexual Medicine*, **21**, 296-303. <https://doi.org/10.1093/jsxmed/qdae008>
- [4] Wang, W., Fan, J., Huang, G., Zhu, X., Tian, Y., Tan, H., *et al.* (2016) Meta-Analysis of Prevalence of Erectile Dysfunction in Mainland China: Evidence Based on Epidemiological Surveys. *Sexual Medicine*, **5**, e19-e30. <https://doi.org/10.1016/j.esxm.2016.10.001>
- [5] Gandaglia, G., Briganti, A., Jackson, G., Kloner, R.A., Montorsi, F., Montorsi, P., *et al.* (2014) A Systematic Review of the Association between Erectile Dysfunction and Cardiovascular Disease. *European Urology*, **65**, 968-978. <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2013.08.023>
- [6] Gallo, L., Pecoraro, S. and Sarnacchiaro, P. (2022) Adjuvant Daily Therapy with L-Arginine 2,500 Mg and Tadalafil 5 Mg Increases Efficacy and Duration of Benefits of Low-Intensity Extracorporeal Shock Wave Therapy for Erectile Dysfunction: A Prospective, Randomized, Single-Blinded Study with 1-Year Follow-Up. *Investigative and Clinical Urology*, **63**, 83-91. <https://doi.org/10.4111/icu.20210317>
- [7] Najari, B.B. and Kashanian, J.A. (2016) Erectile Dysfunction. *JAMA*, **316**, Article 1838. <https://doi.org/10.1001/jama.2016.12284>
- [8] MacDonald, S.M. and Burnett, A.L. (2021) Physiology of Erection and Pathophysiology of Erectile Dysfunction. *Urologic Clinics of North America*, **48**, 513-525. <https://doi.org/10.1016/j.ucl.2021.06.009>
- [9] Sangiorgi, G., Cereda, A., Benedetto, D., Bonanni, M., Chiricolo, G., Cota, L., *et al.* (2021) Anatomy, Pathophysiology, Molecular Mechanisms, and Clinical Management of Erectile Dysfunction in Patients Affected by Coronary Artery Disease: A Review. *Biomedicines*, **9**, Article 432. <https://doi.org/10.3390/biomedicines9040432>
- [10] Matsui, H., Sopko, N., Hannan, J. and Bivalacqua, T. (2015) Pathophysiology of Erectile Dysfunction. *Current Drug*

- Targets*, **16**, 411-419. <https://doi.org/10.2174/138945011605150504114041>
- [11] Albersen, M. (2024) From Bystanders to Vital Contributors: Cavernosal Fibroblasts' Transformative Role in Erectile Physiology and Therapeutic Prospects. *The Journal of Sexual Medicine*, **21**, 509-510. <https://doi.org/10.1093/jsxmed/qdae047>
 - [12] Guimaraes, E.L., Dias, D.O., Hau, W.F., Julien, A., Holl, D., Garcia-Collado, M., *et al.* (2024) Corpora Cavernosa Fibroblasts Mediate Penile Erection. *Science*, **383**, eade8064. <https://doi.org/10.1126/science.ade8064>
 - [13] Sáenz de Tejada, I., Angulo, J., Celtek, S., González-Cadavid, N., Heaton, J., Pickard, R., *et al.* (2004) Physiology of Erectile Function. *The Journal of Sexual Medicine*, **1**, 254-265. <https://doi.org/10.1111/j.1743-6109.04038.x>
 - [14] Spivak, L., Shultz, T., Appel, B., Verze, P., Yagudaev, D. and Vinarov, A. (2021) Low-Intensity Extracorporeal Shock-wave Therapy for Erectile Dysfunction in Diabetic Patients. *Sexual Medicine Reviews*, **9**, 619-627. <https://doi.org/10.1016/j.sxmr.2019.06.007>
 - [15] Fatima, K., Abbas, Z., Un-Noor, A., Aaqil, S.I., Amir, R., Nawaz, F., *et al.* (2025) Efficacy of Low-Intensity Extracorporeal Shock Wave Therapy for Erectile Dysfunction: Updated Meta-Analysis of Randomized Trials. *Future Science OA*, **11**, Article 2511438. <https://doi.org/10.1080/20565623.2025.2511438>
 - [16] Rizk, P.J., Krieger, J.R., Kohn, T.P. and Pastuszak, A.W. (2018) Low-Intensity Shockwave Therapy for Erectile Dysfunction. *Sexual Medicine Reviews*, **6**, 624-630. <https://doi.org/10.1016/j.sxmr.2018.01.002>
 - [17] Sokolakis, I., Dimitriadis, F., Teo, P., Hatzichristodoulou, G., Hatzichristou, D. and Giuliano, F. (2019) The Basic Science behind Low-Intensity Extracorporeal Shockwave Therapy for Erectile Dysfunction: A Systematic Scoping Review of Pre-Clinical Studies. *The Journal of Sexual Medicine*, **16**, 168-194. <https://doi.org/10.1016/j.jsxm.2018.12.016>
 - [18] Chen, P., Cheng, J., Wu, Z. and Chuang, Y. (2022) New Frontiers of Extracorporeal Shock Wave Medicine in Urology from Bench to Clinical Studies. *Biomedicine*, **10**, Article 675. <https://doi.org/10.3390/biomedicine10030675>
 - [19] He, C., He, C., Ding, H., *et al.* (2019) Effect of Shock Wave on Vascular Lesions in Diabetic Rats. *Pain Physician*, **5**, E505-E510. <https://doi.org/10.36076/ppj/2019.22.e505>
 - [20] Sokolakis, I., Dimitriadis, F., Psalla, D., Karakioulakis, G., Kalyvianakis, D. and Hatzichristou, D. (2019) Effects of Low-Intensity Shock Wave Therapy (List) on the Erectile Tissue of Naturally Aged Rats. *International Journal of Impotence Research*, **31**, 162-169. <https://doi.org/10.1038/s41443-018-0064-0>
 - [21] Aicher, A., Heeschen, C., Sasaki, K., Urbich, C., Zeiher, A.M. and Dimmeler, S. (2006) Low-Energy Shock Wave for Enhancing Recruitment of Endothelial Progenitor Cells. *Circulation*, **114**, 2823-2830. <https://doi.org/10.1161/circulationaha.106.628623>
 - [22] Liu, J., Dou, Q., Zhou, C., Zhou, L., Zhao, F., Xu, L., *et al.* (2020) Low-Energy Shock Wave Pretreatment Recruit Circulating Endothelial Progenitor Cells to Attenuate Renal Ischaemia Reperfusion Injury. *Journal of Cellular and Molecular Medicine*, **24**, 10589-10603. <https://doi.org/10.1111/jcmm.15678>
 - [23] De Oliveira, P.S., De Oliveira, T.R., Nunes, Á., Martins, F. and Lopes, T. (2019) Low-Intensity Shock Wave Therapy for Erectile Dysfunction and the Influence of Disease Duration. *Archivio Italiano di Urologia e Andrologia*, **90**, 276-282. <https://doi.org/10.4081/aiua.2018.4.276>
 - [24] Lurz, K., Dreher, P., Levy, J., McGreen, B., Piraino, J., Brevik, A., *et al.* (2020) Low-Intensity Shockwave Therapy in the Treatment of Erectile Dysfunction. *Cureus*, **12**, e11286. <https://doi.org/10.7759/cureus.11286>
 - [25] Motil, I., Macik, D., Sramkova, K., Jarkovsky, J. and Sramkova, T. (2022) Linear Low-Intensity Extracorporeal Shock-wave Therapy as a Method for Penile Rehabilitation in Erectile Dysfunction Patients after Radical Prostatectomy: A Randomized, Single-Blinded, Sham-Controlled Clinical Trial. *Urologia Internationalis*, **106**, 1050-1055. <https://doi.org/10.1159/000525973>
 - [26] Wang, B., Ning, H., Reed-Maldonado, A., Zhou, J., Ruan, Y., Zhou, T., *et al.* (2017) Low-Intensity Extracorporeal Shock Wave Therapy Enhances Brain-Derived Neurotrophic Factor Expression through PERK/ATF4 Signaling Pathway. *International Journal of Molecular Sciences*, **18**, Article 433. <https://doi.org/10.3390/ijms18020433>
 - [27] Liu, Y., Liu, S.K., Sun, J.L., *et al.* (2021) Low-Intensity Pulsed Ultrasound versus Low-Energy Shock Wave in the Treatment of Neurogenic Penile Erectile Dysfunction. *National Journal of Andrology*, **27**, 694-700.
 - [28] Li, H., Matheu, M.P., Sun, F., Wang, L., Sanford, M.T., Ning, H., *et al.* (2016) Low-Energy Shock Wave Therapy Ameliorates Erectile Dysfunction in a Pelvic Neurovascular Injuries Rat Model. *The Journal of Sexual Medicine*, **13**, 22-32. <https://doi.org/10.1016/j.jsxm.2015.11.008>
 - [29] Park, S.W., Shin, J., Jeong, B.K., Byun, S., Lee, K.S. and Choi, J. (2025) The Effects of Extracorporeal Shock Wave Therapy on Cutaneous Radiation Injury in a Mouse Model. *Plastic & Reconstructive Surgery*, **155**, 813-825. <https://doi.org/10.1097/prs.00000000000011782>
 - [30] Higashi, Y. (2022) Roles of Oxidative Stress and Inflammation in Vascular Endothelial Dysfunction-Related Disease. *Antioxidants*, **11**, Article 1958. <https://doi.org/10.3390/antiox11101958>

-
- [31] Feng, B., Dong, Z., Wang, Y., Yan, G., Yang, E., Cheng, H., *et al.* (2021) Li-ESWT Treatment Reduces Inflammation, Oxidative Stress, and Pain via the PI3K/AKT/FOXO1 Pathway in Autoimmune Prostatitis Rat Models. *Andrology*, **9**, 1593-1602. <https://doi.org/10.1111/andr.13027>
- [32] Huang, Z., Wu, M., Zeng, L. and Wang, D. (2022) The Beneficial Role of NRF2 in the Endothelial Dysfunction of Atherosclerosis. *Cardiology Research and Practice*, **2022**, Article ID: 4287711. <https://doi.org/10.1155/2022/4287711>
- [33] Wu, W., Hendrix, A., Nair, S. and Cui, T. (2022) NRF2-Mediated Dichotomy in the Vascular System: Mechanistic and Therapeutic Perspective. *Cells*, **11**, Article 3042. <https://doi.org/10.3390/cells11193042>
- [34] Shin, D., Jeon, S.H., Tian, W.J., Kwon, E.B., Kim, G.E., Bae, W.J., *et al.* (2021) Extracorporeal Shock Wave Therapy Combined with Engineered Mesenchymal Stem Cells Expressing Stromal Cell-Derived Factor-1 Can Improve Erectile Dysfunction in Streptozotocin-Induced Diabetic Rats. *Translational Andrology and Urology*, **10**, 2362-2372. <https://doi.org/10.21037/tau-21-79>
- [35] Wang, J., Luo, L., Zhao, S., Liu, Y., Zhu, Z. and Zhao, Z. (2020) Low Intensity Extracorporeal Shockwave Therapy Shifts PDE5i Nonresponders to Responders. *Official Journal of the Brazilian Society of Urology*, **46**, 934-942. <https://doi.org/10.1590/s1677-5538.ibju.2019.0374>
- [36] Brunckhorst, O., Wells, L., Teeling, F., Muir, G., Muneer, A. and Ahmed, K. (2019) A Systematic Review of the Long-Term Efficacy of Low-Intensity Shockwave Therapy for Vasculogenic Erectile Dysfunction. *International Urology and Nephrology*, **51**, 773-781. <https://doi.org/10.1007/s11255-019-02127-z>
- [37] Dong, L., Chang, D., Zhang, X., Li, J., yang, F., Tan, K., *et al.* (2019) Effect of Low-Intensity Extracorporeal Shock Wave on the Treatment of Erectile Dysfunction: A Systematic Review and Meta-Analysis. *American Journal of Men's Health*, **13**, Article 1557988319846749. <https://doi.org/10.1177/1557988319846749>
- [38] 陈鑫. 低强度体外冲击波/脉冲式超声波治疗勃起功能障碍中国专家共识[J]. 中国性科学, 2024, 33(1): 1-8.