

肌肉骨骼疾病体外冲击波治疗专家共识

中华医学会物理医学与康复学分会, 肌肉骨骼疾病体外冲击波治疗专家共识组

通信作者: 刘宏亮, Email: 13983031858@163.com

【摘要】 冲击波是波的压力从大气压到达峰值的波前时间为数纳秒、波宽为数微米、压力为上百兆巴的不连续的机械波。体外冲击波治疗已成为治疗许多肌肉骨骼疾病的选择, 先后在世界各地获得认可。但目前体外冲击波治疗的临床应用尚缺乏规范的指导方案和深入的科学研究, 现组织国内物理医学与康复领域的部分专家, 应用循证医学的方法, 系统检索临床研究数据, 评价证据的质量, 讨论并制订肌肉骨骼疾病体外冲击波治疗专家共识, 为体外冲击波在国内康复医学领域应用提供依据。

【关键词】 体外冲击波; 康复治疗; 肌肉骨骼疾病

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2019.07.001

冲击波是波的压力从大气压到达峰值的波前时间为数纳秒、波宽为数微米、压力为上百兆巴的不连续的机械波。1980 年动物实验中观察到经冲击波处理后, 成骨细胞的反应模式, 引起了人们对体外冲击波疗法 (extracorporeal shock wave therapy, ESWT) 应用于肌肉骨骼疾病治疗的兴趣^[1-2], 1997 年始见 ESWT 治疗网球肘和假性关节炎等骨科疾病的临床报道。当前冲击波疗法已成为治疗许多肌肉骨骼疾病的选项, 包括足底筋膜炎、肱骨外上髁病、膝关节关节炎、长骨骨折的延迟愈合和骨不连、髌腱炎、跟腱炎, 以及股骨头缺血性坏死等^[3-9], 先后获得了欧洲 (德国、奥地利、意大利等)、南美 (巴西、哥伦比亚、阿根廷等)、亚洲 (韩国、马来西亚) 和北美 (美国、加拿大) 等地认可。但目前 ESWT 的临床应用尚缺乏规范的指导方案和深入的科学研究, 为此, 我们组织国内物理医学与康复领域的部分专家, 应用循证医学的方法, 系统检索临床研究数据, 评价证据的质量, 讨论并制订肌肉骨骼疾病 ESWT 专家共识, 为 ESWT 在国内康复医学领域应用提供临床指导意见。

冲击波的物理本质

冲击波是在介质中传播的波长极短而能量极强的不连续的机械波, 其特点是介质运动速度超过了该波在这种介质中的传播速度。波的最前 1/4 的压力升高部分称为波前, 其介质密度在高压作用下逐渐加大, 因介质密度加大而使波的传导速度逐渐加快, 波前时间逐渐缩短, 波峰压力逐渐增高, 称之为峭化 (steepening)。

峭化达到一定程度以后, 将使介质固有的微小空泡膨胀、空化、内爆, 产生具有极强能量的微粒, 继以一系列的物理、化学、生物、生理学反应。

冲击波辐射产生的方法有火花放电、压电、电磁和气动等, 前 3 种都设计在发生器输出面聚焦后发出聚焦 (focus) 式冲击波, 气动发生器发出的是不聚焦的径向 (radial) 式冲击波。

冲击波治疗的物理参数

冲击波治疗的参数包括单个脉冲能量 (mJ)、单位面积能流密度 (mJ/mm^2)、脉冲频率和脉冲个数、治疗次数和治疗间隔时间 (指两次冲击波治疗的间隔时间)。能流密度是指垂直于冲击波传播方向的单位面积内通过的冲击波能量, 能流密度达到 $0.08 \text{ mJ}/\text{mm}^2$ 为低强度冲击波, 达到 $0.28 \text{ mJ}/\text{mm}^2$ 为中强度冲击波, 高于 $0.60 \text{ mJ}/\text{mm}^2$ 为高强度冲击波。虽然聚焦式冲击波与径向式冲击波的物理性质有所不同, 但同一能流密度的冲击波的临床效果并无显著差异^[10]。通常, 冲击波疗法是利用中低能量冲击波产生的生物学效应来治疗骨骼肌肉系统疾病。治疗时具体脉冲数由操作者根据病变性质、程度、范围以及患者对治疗的反应和疗效等因素确定。冲击波治疗的脉冲频率、治疗疗程及疗程间间隔时间目前尚未见文献研究资料报道。

冲击波治疗仪发出的冲击波不是绝对平行的, 上述冲击波强度仅是指生产厂家指定的有效治疗区域内的平均强度。各个型号仪器发出冲击波的不均匀度相差可能很大, 区域内的不均匀度可达到 10%~30%; 由于发散角不同, 有效治疗区外也有一定强度的冲击波产生一定的生理反应; 不同型号的冲击波治疗仪输出冲击波的波宽、压强、发散角度等可能会不相同, 所以不同型号仪器的同一标称强度之冲击波的生物学效应也会有所不同。因此, 只有应用同一品牌同一型号的冲击波仪器且在同一参数下, 其临床疗效才可以作精

确对比研究。

冲击波治疗的基本原理

一、冲击波治疗的生物物理与生物化学效应

1. 峭化-撕裂效应:冲击波治疗的首发生物物理效应是波前沿峭化,使得在短距离内形成巨大压力差,仅仅几个分子层的细胞壁难以承受如此大的张力,细胞膜和细胞器膜的分子间联系松动,通道和裂隙增宽,各种离子和分子的通道过分开放,破坏了细胞的正常代谢活动。此过程主要在肌腱和骨组织与周围软组织的界面发生^[11]。

2. 空化-内爆效应:组织中存在许多微米级的气泡或裂隙,称为空化核。冲击波通过时,空化核的外部压力迅速增加,可达数百个大气压;气泡被压缩并吸收能量,达到一定程度时气泡向内爆炸而坍塌,此为内爆。内爆吸收的额外能量使原有气体微小的质点以 100~800 m/s 的速度向外喷射,射程可达数十微米甚至 0.3~0.7 mm。冲击波内爆引起的高能量聚集的微细射流,可以直接粉碎细胞结构(如细胞浆、肌动蛋白、弹性纤维等),或者穿破血管壁而导致细微的针状出血。冲击波空化的破坏效果远强于冲击波原发峭化的撕裂作用^[11]。

3. 空化-生化效应:冲击波的空化和内爆作用引起的瞬时局部上万摄氏度和数百个大气压的微环境,产生一系列化学变化,研究认为此效应可能与生成一氧化氮和过氧化氢等自由基有关。冲击波作用于不同的组织可产生不同的特异生物化学成分,导致细胞损伤和一系列的多种生化生理效应。尽管如此,冲击波空化的机械作用远比其化学作用更显著更重要^[12-13]。

4. 非热效应:冲击波不会产生一般热疗的直接温度升高效应。虽然空化作用理论上可以引起瞬间的高温,产生许多化学变化,但空化仅仅发生于微米级的空间和微秒级的时间。如果每秒一个脉冲,每个脉冲能量最大不过 33 mJ,则局部组织的瞬间平均升温不会超过 0.02 ℃。这种升温效应不会累积,所以冲击波没有使组织升温的生物效应。目前尚未见报道关注冲击波的热效应^[13]。

二、冲击波治疗的生理效应

1. 修复作用:冲击波破坏局部组织,产生炎症反应,启动病变的修复,这不同于常用热疗的增强代谢以加速修复的过程。其机制是通过刺激各种组织修复因子的产生,直接参与病变组织的修复,这对于肌腱、韧带等各种缺血组织病变的治疗具有更大的意义^[14-15]。

2. 血管扩张和生成作用:血管扩张和生成是冲击波治疗的主要作用基础之一。冲击波治疗使缺血的韧带、软骨、硬化骨等的微血管扩张、生成或增生。冲击

波的血管生成作用与一氧化氮合酶及血管内皮生长因子等有关,这不同于热疗所致的血管扩张加速修复过程。冲击波同时还可以促进淋巴管生成,缓解淋巴水肿^[16]。

3. 解痉作用:很多临床和实验研究证明,冲击波治疗可以减轻卒中和脑瘫患者的痉挛状态^[17-18]。有研究认为冲击波的解痉作用不是脊髓神经兴奋性改变的结果^[17],而是生成了一氧化氮和一氧化氮合酶,降低了脊髓运动神经元池的兴奋性^[19]。有研究^[17-20]认为,解痉作用不是周围神经变性的结果,机械振动可以解痉,但它的效果维持不超过 12 周。Leone 等^[21]提出冲击波的解痉作用是由于改善了肌肉的纤维化和局部软组织的粘弹性。Min 等^[22]认为,对卒中患者足底屈肌痉挛的治疗是因为冲击波使高张力肌肉发生纤维化。Vidal 等^[23]对痉挛的脑瘫患儿使用冲击波治疗,发现冲击波直接作用于肌腱附近的肌纤维。有研究认为冲击波解痉可能与神经肌肉偶联的破坏有关^[24],另外还有研究认为冲击波解痉作用的生物学效应不能明确排除安慰效应^[25]。

4. 镇痛作用:冲击波治疗后的即刻短暂镇痛可能是缘于闸门理论的脊髓水平抑制。冲击波治疗后短期内疼痛加剧可能是冲击波破坏了慢性病变的组织,激活了炎症反应过程。冲击波治疗后数小时或更久的镇痛后再痛的解释是冲击波使周围神经和背根神经节的无髓痛觉纤维数目短时间的减少和恢复,或者是与 P 物质的产生和消退有关^[26-27]。冲击波治疗的远期镇痛作用可能是病理变化的恢复和病因的缓解^[28-29]。也有研究^[30]完全否定冲击波的镇痛作用,认为仅仅只是安慰作用。

冲击波治疗的适应证

本共识写作过程中,系统检索了临床研究数据,按照循证医学的方法,总结了冲击波治疗在肌骨疾病方面的适应证(未包括冲击波在心血管、泌尿系结石等其它领域的应用)。检索的数据资源包括荷兰医学文摘(Embase)数据库、PubMed 数据库、美国国家指南文库(National Guideline Clearinghouse)、评价与传播中心数据库(Center for Reviews and Dissemination Database)及万方数据库。入选文献标准:①以肌肉骨骼疾病患者为研究对象的临床研究;②干预措施为体外聚焦式或径向式冲击波治疗;③对照组为空白对照组。疗效评价指标包括功能、疼痛程度、不良反应等;实验设计为随机对照研究。并根据已逐渐被全球广泛接受的证据推荐分级评估、制定与评价(Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation, GRADE)系统^[31-32],对检索入选文献研究证据进行分

级。证据等级:①高——非常确信真实的效应值接近效应估计值;②中——对效应估计值有中等程度的信心,真实值有可能接近估计值,但仍存在二者大不相同的可能性;③低——对效应估计值的确信程度有限,真实值可能与估计值大不相同;④极低——对效应估计值几乎没有信心,真实值很可能与估计值大不相同。推荐级别:①强——明确显示干预措施利大于弊;②弱——干预利弊不确定,或无论质量高或低的证据,均显示利弊相当。

一、足底筋膜炎或跖筋膜炎

跖筋膜炎是由于跖筋膜在足跟内侧粗隆附着处受到反复牵拉,足底筋膜炎是由于足底筋膜劳损或外伤,筋膜局部出现劳损和慢性炎症,有时可形成骨质增生。好发于跑步动作频繁的运动员。症状常表现为足跟痛。

1.治疗程序:患者俯卧位,双腿放松,足底或足跟痛点定位。

2.聚焦式冲击波:治疗剂量一般从小剂量开始,范围 $0.12 \sim 0.64 \text{ mJ/mm}^2$, 1500~3500 个脉冲;治疗间隔 7~10 d, 3~9 次为 1 个疗程^[33-37]。证据等级:高;推荐级别:强。

3.径向式冲击波:治疗剂量 0.16 mJ/mm^2 , 2000 个脉冲;治疗间隔 7 d, 2~3 次为 1 个疗程^[38-40]。证据等级:中;推荐级别:强。

二、肱骨外上髁病

又名网球肘,是桡侧伸腕肌附着于肱骨外上髁附着点的慢性变性所致,前臂肌肉与上臂骨接触的肌腱附着纤维发生微小撕伤。症状表现为局部疼痛、无力、僵硬。

1.治疗程序:患者取坐位,肘关节屈曲,前臂旋前,触诊肱骨外上髁压痛点及前臂痛点。

2.聚焦式冲击波:治疗剂量 $0.06 \sim 0.09 \text{ mJ/mm}^2$, 1000~2000 个脉冲,每周 1 次, 3~5 次为 1 个疗程^[41-43]。证据等级:中;推荐级别:强。

3.径向式冲击波:目前研究显示的疗效不确定,需更多研究证明^[44]。证据等级:极低;推荐级别:弱。

三、肩袖肌腱病变

肩袖肌腱病变是指覆盖于肩关节前、上、后方之肩胛下肌、冈上肌、冈下肌、小圆肌等肌腱组织病变的总称,包括退行性病变和慢性损伤。症状表现为局部疼痛,肩关节活动受限。

1.治疗程序:患者取坐位,上臂中立位或轻度内旋,采用痛点定位。

2.聚焦式冲击波:治疗剂量 $0.05 \sim 0.32 \text{ mJ/mm}^2$, 1000~1500 个脉冲, 1 次间隔 8~14 d, 2 次为 1 个疗程^[45-46],有研究使用小剂量、大脉冲个数治疗(剂量

0.08 mJ/mm^2 , 6000 个脉冲), 1 个月 1 次, 3 次为 1 个疗程^[47]。证据等级:中;推荐级别:强。

3.径向式冲击波:目前研究显示的疗效不确定,需更多研究证明^[48]。证据等级:极低;推荐级别:弱。

四、肩周炎

肩周炎是以肩关节疼痛和活动不便为主要症状的常见病症,即为肩关节周围炎,又称冻结肩、五十肩,临床表现为肩部缓慢产生疼痛,夜间为甚,逐渐加重,肩关节活动功能受限而且日益加重,达到某种程度后逐渐缓解,直至最后完全复原为主要表现的肩关节囊及其周围韧带、肌腱和滑囊的慢性非特异性炎症。

1.治疗程序:患者取坐位,上臂中立位或轻度内旋,采用痛点定位。

2.聚焦式冲击波:目前研究显示的疗效不确定,需更多研究证明^[49-50]。证据等级:极低;推荐级别:弱。

3.径向式冲击波:治疗剂量 0.16 mJ/mm^2 , 2000 个脉冲,每周 1 次, 4 次为 1 个疗程^[51]。证据等级:高;推荐级别:强。

五、肱二头肌长头肌腱炎

肱二头肌长头肌腱炎被认为是肩痛和功能障碍的常见原因之一。

1.治疗程序:取坐位或卧位,上臂外旋,采用体表解剖标志及痛点定位。

2.聚焦式冲击波:目前证据不足。

3.径向式冲击波:治疗剂量 0.12 mJ/mm^2 , 1500 个脉冲,每周 1 次, 4 次为 1 个疗程^[52]。证据等级:中;推荐级别:强。

六、跟腱炎

跟腱炎是由于跟腱局部过度用力或反复损伤所致跟腱变性,跟腱过度使用、外伤、退变等因素引起局部慢性病变,通常发生纤维化、钙化。症状表现为跟腱疼痛、水肿、无力、僵硬。由于跟腱缺乏血管,所以修复极为困难。冲击波治疗的作用在于局部微创跟腱,重启其修复过程。

1.治疗程序:取坐位或俯卧位,患者舒适为宜,局部周围痛点定位。

2.聚焦式冲击波:治疗剂量 $0.12 \sim 0.51 \text{ mJ/mm}^2$, 1500~2000 个脉冲,每周 1 次, 3~4 次为 1 个疗程^[53-54]。证据等级:低;推荐级别:弱。

3.径向式冲击波:治疗剂量 0.1 mJ/mm^2 , 2000 个脉冲,每周 1 次, 3 次为 1 个疗程^[55-56]。证据等级:低;推荐级别:弱。

七、髌腱炎

是指股四头肌腱止点末端区由于慢性反复牵拉导致骨腱结合部位损伤而出现的病变。其原因是由于患

者髌腱长期过度负荷后,髌腱处于超负荷状态,导致髌腱的附着处受到反复牵拉而发生慢性劳损。在频繁跳跃、半蹲防守的活动项目中多发,如跳高、篮球、排球等运动。临床表现为下蹲或跳跃时,髌腱止点处有明显疼痛,上下楼时膝前疼痛,打软腿,重者跑步或者行走时膝前疼痛。

1. 治疗程序:取坐位或仰卧位,局部周围痛点定位。

2. 聚焦式冲击波:治疗剂量 0.17 mJ/mm^2 , 3000 个脉冲,每周 1 次治疗,3~4 周为 1 个疗程^[57]。证据等级:极低;推荐级别:弱。

3. 径向式冲击波:目前证据不足。

八、膝关节关节炎

膝关节炎一般由膝关节退行性病变、外伤、过度劳累等因素引起。膝关节炎多发于中老年人,是引起老年人腿疼的主要原因。另外,体重过重、不正确的走路姿势、长时间下蹲、膝关节的受凉受寒也是导致膝关节炎的原因。主要症状有膝部酸痛、膝关节肿胀、膝关节弹响等症状;膝关节僵硬、发冷也是膝关节炎的症状之一,以僵硬为主,因劳累、受凉或轻微外伤而加剧,严重者会发生活动受限。

1. 治疗程序:患者坐位或仰卧位,双腿放松,痛点定位。

2. 聚焦式冲击波:治疗剂量 $0.3 \sim 0.4 \text{ mJ/mm}^2$, 2000 个脉冲,每周 1 次,6 次为 1 个疗程^[5]。证据等级:低;推荐级别:弱。

3. 径向式冲击波:治疗剂量 0.25 mJ/mm^2 , 4000 个脉冲,每周 1 次,4 次为 1 个疗程^[58]。证据等级:低;推荐级别:弱。

九、骨折延迟愈合及骨不连

骨折在正常愈合所需的时间(一般 3~6 个月内),仍未达到骨折完全愈合的标准,称为骨延迟愈合,而骨折愈合停止的则为骨不连,这是冲击波临床治疗比较常用和有效的适应证。

1. 治疗程序:患者体位舒适,便于治疗。

2. 聚焦式冲击波:治疗剂量 $0.22 \sim 0.51 \text{ mJ/mm}^2$, 以骨不连区及其相邻骨质为冲击点,一般 4~6 个冲击点,每个点 1000~2000 个脉冲,治疗次数 3 次以上,治疗间隔 3~5 d^[59-61]。证据等级:高;推荐级别:强。

3. 径向式冲击波:治疗剂量 0.18 mJ/mm^2 , 3000 个脉冲,每周 1 次,3 次为 1 个疗程^[62-63]。证据等级:中;推荐级别:强。

十、其它临床问题

近年来有众多研究报道 ESWT 有效应用在其他临床问题上,如痉挛^[64]、慢性增生性伤口及伤口延迟愈合与不愈合^[65]、其它腱鞘末端病^[66]、早期股骨头坏

死^[67]等。

本专家共识所列举的适应证是指符合循证医学证据以及被美国食品药品监督管理局(Food and Drug Administration, FDA)或医疗保险支付认可的病种,所列适应证尚少,但这并不表明冲击波治疗的适应证仅局限于这些有限的病种。根据冲击波生物物理特性及作用机制,其临床应用的适应证可能有更多疾病种类,这些还有待临床研究探索验证。

冲击波治疗的禁忌证与不良反应

1. 禁忌证:冲击波治疗的禁忌证包括出血性疾病、血栓形成患者的血栓局部及邻近区域、儿童的骨骺区域、肌腱筋膜断裂或严重损伤或急性损伤,以及脑、脊髓、大血管及重要神经干走行区域^[68]。

2. 不良反应:冲击波治疗后会引引起局部轻度肿胀、点状出血、瘀斑、局部疼痛反应增强、治疗局部感觉过敏或减退等^[69],这些反应的出现取决于治疗剂量、病变程度以及患者的个体差异,通常不需特殊处理。不良反应严重者可局部对症处理,或者延长治疗间歇时间、减少治疗强度,必要时终止治疗^[63]。

冲击波治疗剂量的调整

聚焦型冲击波的波前部分的波幅可达 $10 \sim 120 \text{ MPa}$ 。由最大值的 10% 上升到最大值 90% 的时间为上升时间,约 $10 \sim 120 \text{ ns}$ (10^{-9} s)。超过最大压力 50% 的时间为波宽,约 $0.3 \sim 5.0 \mu\text{s}$ (10^{-6} s)。随后回归大气压以后继以低于大气压的负压部分波幅约为高压的 10%,即 $-5 \sim -10 \text{ MPa}$,时限约 $1 \sim 5 \mu\text{s}$ 。低压波回复到大气压后有长时间间歇,如此每 $0.25 \sim 1.00 \text{ s}$ 重复一次,每个脉冲的能量为若干 mJ 。径向型冲击波的上升时间约为 $5 \sim 300 \mu\text{s}$,波宽 $200 \sim 2000 \mu\text{s}$,波幅 $0.1 \sim 5.0 \text{ MPa}$ 。虽然径向型冲击波的波幅远小于聚焦型,但波宽远长于聚焦型,故二者的单脉冲以 mJ 计的能量差不多。冲击波治疗的疗效与单脉冲能流密度 mJ/mm^2 有关而与产生的方式无关,即在同样能流密度前提下,径向式冲击波与聚焦式冲击波在治疗肌肉骨骼疾病效果上是相同的。

冲击波的治疗剂量大致分为大(约为 0.6 mJ/cm^2)、中(约为 0.28 mJ/cm^2)、小(约为 0.09 mJ/cm^2) 三级,这些参数是指能流密度为最大能流密度的 50% 以上或直径 6 mm 以内的有效治疗区域的平均能流密度。实际上,有效治疗区内和区外的能流密度并不均匀,各厂家产品的不均匀度、波宽、压强、发散角度等都有所不同,而且同一标称输出能量的实际能流密度也并不一致,治疗效果也会有所差异。因此,只有应用同一型号的冲击波仪器且在同一参数下,才可以对不同报道

的临床疗效进行精确的对比研究。

聚焦型冲击波发生器可以输出大、中、小剂量,有效治疗半径仅若干 mm。靶定位困难,操作繁琐,因为痛剧而常需麻醉。径向型冲击波发生器可以输出中或小剂量,有效治疗面积大但作用浅。操作简单,不需定位也不需麻醉。

不同疾病的治疗剂量与疗程应该依据循证医学的指导来确定,同时要根据治疗后的反应做出个性化的调整。首次治疗后局部反应明显的患者,再次接受治疗时要适当减少治疗强度或者延长治疗间歇时间;相反,首次治疗后局部无明显反应的患者再次接受治疗时,可以适当增加治疗强度。局部病变严重、时间长且治疗有效的患者,可以增加治疗次数与疗程。

总结

由于冲击波治疗为非侵入性治疗,治疗快捷、高效,且不良反应小,近年来逐渐成为治疗肌肉骨骼疾病的重要手段。本文共识介绍了冲击波治疗的基本原理,系统检索了临床研究数据,并严格按照循证医学方法学,总结了冲击波治疗在常见肌骨疾病方面的适应证、治疗方法及治疗参数等,为冲击波在临床应用提供了科学依据。冲击波治疗的适应证、治疗方法、治疗参数及临床应用仍有待进一步的拓展、规范和完善。

本共识仅代表参与讨论及编写的专家们的观点,不具备法律效力。

本共识专家组成员(按姓氏拼音顺序排序):陈丽霞(北京协和医院)、丛芳(中国康复研究中心北京博爱医院)、顾新(北京医院)、郭铁成(华中科技大学同济医学院附属同济医院)、何成奇(四川大学华西医院)、胡昔权(中山大学附属第三医院)、黄晓琳(华中科技大学同济医学院附属同济医院)、李红玲(河北医科大学第二医院)、李建华(浙江大学医学院附属邵逸夫医院)、李玲(解放军总医院第四医院中心)、励建安(南京医科大学第一附属医院)、刘宏亮(陆军军医大学西南医院,牵头执笔)、牟翔(空军军医大学西京医院)、潘钰(北京清华长庚医院)、王楚怀(中山大学附属第一医院)、王宏图(天津市环湖医院)、王宁华(北京大学第一医院)、王兴林(解放军总医院)、吴毅(复旦大学附属华山医院)、吴宗耀(陆军军医大学西南医院)、谢青(上海交通大学附属瑞金医院)、谢欲晓(中日友好医院)、岳寿伟(山东大学齐鲁医院)、张长杰(中南大学湘雅二医院)、周谋望(北京大学第三医院)、张志强(中国医科大学附属盛京医院)。

参考文献

- [1] Coombs R, Schaden W, Zhou SS. Musculoskeletal shockwave therapy [M]. London: Greenwich Medical Media, 2000:73-77.
- [2] Thiel M. Application of shock waves in medicine[J]. Clin Orthop Re-

- lat Res, 2001, (387): 18-21. DOI: 10.1097/00003086-200106000-00004.
- [3] Buch M, Knorr U, Fleming L, et al. Extracorporeal shockwave therapy in symptomatic heel spurs. An overview[J]. Orthopade, 2002, 31(7): 637-644.
- [4] Buchbinder R, Green SE, Youd JM, et al. Systematic review of the efficacy and safety of shock wave therapy for lateral elbow pain[J]. J Rheumatol, 2006, 33(7): 1352-1363.
- [5] Chen TW, Lin CW, Lee CL, et al. The efficacy of shock wave therapy in patients with knee osteoarthritis and popliteal cyamella[J]. Kaohsiung J Med Sci, 2014, 30(7): 362-370. DOI: 10.1016/j.kjms.2014.03.006.
- [6] Xu ZH, Jiang Q, Chen DY, et al. Extracorporeal shock wave treatment in nonunions of long bone fractures [J]. Int Orthop, 2009, 33(3): 789-793. DOI: 10.1007/s00264-008-0553-8.
- [7] Van Leeuwen MT, Zwerver J, van den Akker-Scheek I. Extracorporeal shockwave therapy for patellar tendinopathy: a review of the literature[J]. Br J Sports Med, 2009, 43(3): 163-168. DOI: 10.1136/bjsm.2008.050740.
- [8] Rasmussen S, Christensen M, Mathiesen I, et al. Shockwave therapy for chronic Achilles tendinopathy: a double-blind, randomized clinical trial of efficacy[J]. Acta Orthop, 2008, 79(2): 249-256. DOI: 10.1080/174536707100150508.
- [9] Alves EM, Angrisani AT, Santiago MB. The use of extracorporeal shock waves in the treatment of osteonecrosis of the femoral head: a systematic review [J]. Clin Rheumatol, 2009, 28(11): 1247-1251. DOI: 10.1007/s10067-009-1231-y.
- [10] Foldager CB, Kearney C, Spector M. Clinical application of extracorporeal shock wave therapy in orthopedics: focused versus unfocused shock waves [J]. Ultrasound Med Biol, 2012, 38(10): 1673-1680. DOI: 10.1016/j.ultrasmedbio.
- [11] Siebert W, Buch M. Extracorporeal shock waves in orthopaedics [M]. Berlin Heidelberg: Springer, 1997: 65-68.
- [12] Shrivastava SK, Kailash. Shock wave treatment in medicine [J]. J Biosci, 2005, 30(2): 269-275.
- [13] Suslick KS, Eddingsaas NC, Flannigan DJ, et al. The chemical history of a bubble [J]. Acc Chem Res, 2018, 51(9): 2169-2178. DOI: 10.1021/acs.accounts.8b00088.
- [14] Chen YJ, Wang CJ, Yang KD, et al. Extracorporeal shock waves promote healing of collagenase-induced Achilles tendinitis and increase TGF-beta1 and IGF-I expression [J]. J Orthop Res, 2004, 22(4): 854-861. DOI: 10.1016/j.jorthres.2003.10.013.
- [15] Rompe JD, Kirkpatrick CJ, Küllmer K, et al. Dose-related effects of shock waves on rabbit tendo Achillis. A sonographic and histological study [J]. J Bone Joint Surg Br, 1998, 80(3): 546-552.
- [16] Wang CJ, Wang FS, Yang KD, et al. Shock wave therapy induces neovascularization at the tendon-bone junction. A study in rabbits [J]. J Orthop Res, 2003, 21(6): 984-989. DOI: 10.1016/S0736-0266(03)00104-9.
- [17] Manganotti P, Amelio E. Long-term effect of shock wave therapy on upper limb hypertonia in patients affected by stroke [J]. Stroke, 2005, 36(9): 1967-1971. DOI: 10.1161/01.STR.0000177880.06663.5c.
- [18] El-shamy SM, Eid MA, Elbanna MF. Effect of extracorporeal shock wave therapy on gait pattern in hemiplegic cerebral palsy: a randomized controlled trial [J]. Am J Phys Med Rehabil, 2014, 93(12):

- 1065-1072. DOI:10.1097/PHM.000000000000133.
- [19] Gotte G, Amelio E, Russo S, et al. Short-time non-enzymatic nitric oxide synthesis from L-arginine and hydrogen peroxide induced by shock waves treatment [J]. *FEBS Lett*, 2002, 520 (1-3): 153-155. DOI:10.1016/s0014-5793(02)02807-7.
 - [20] Leone JA, Kukulka CG. Effects of tendon pressure on alpha motoneuron excitability in patients with stroke[J]. *Phys Ther*, 1988, 68 (4): 475-480. DOI:10.1093/ptj/68.4.475.
 - [21] Gracies JM. Pathophysiology of spastic paresis. I: Paresis and soft tissue changes [J]. *Muscle Nerve*, 2005, 31 (5): 535-551. DOI: 10.1002/mus.20284.
 - [22] Sohn MK, Cho KH, Kim YJ, et al. Spasticity and electrophysiologic changes after extracorporeal shock wave therapy on astrocnemius [J]. *Ann Rehabil Med*, 2011, 35 (5): 599- 604. DOI:10.5535/arm.2011.35.5.599.
 - [23] Vidal X, Morral A, Costa L, et al. Radial extracorporeal shock wave therapy (rESWT) in the treatment of spasticity in cerebral palsy: a randomized, placebo-controlled clinical trial [J]. *NeuroRehabilitation*, 2011, 29 (4): 413-419. DOI:10.3233/NRE-2011-0720.
 - [24] Kenmoku T, Nemoto N, Iwakura N, et al. Extracorporeal shock wave treatment can selectively destroy end plates in neuromuscular junctions [J]. *Muscle Nerve*, 2018, 57 (3): 466-472. DOI: 10.1002/mus.25754.
 - [25] Mori L, Marinelli L, Pelosin E, et al. Shock waves in the treatment of muscle hypertonia and dystonia [J]. *Biomed Res Int*, 2014, 2014: 637450. DOI:10.1155/2014/637450.
 - [26] Hausdorf J, Lemmens MA, Heck KD, et al. Selective loss of unmyelinated nerve fibers after extracorporeal shockwave application to the musculoskeletal system [J]. *Neuroscience*, 2008, 155 (1): 138-144. DOI:10.1016/j.neuroscience.2008.03.062.
 - [27] Maier M, Averbek B, Milz S, et al. Substance P and prostaglandin E2 release after shock wave application to the rabbit femur [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2003, (406): 237-245. DOI: 10.1097/01.blo.0000030173.56585.8f.
 - [28] Dumonceau JM, Costamagna G, Tringali A, et al. Treatment for painful calcified chronic pancreatitis: extracorporeal shock wave lithotripsy versus endoscopic treatment: a randomised controlled trial [J]. *Gut*, 2007, 56 (4): 545-552. DOI:10.1136/gut.2006.096883.
 - [29] Seil R, Wilmes P, Nuhrenborger C. Extracorporeal shock wave therapy for tendinopathies [J]. *Expert Rev Med Devices*, 2006, 3 (4): 463-470. DOI:10.1586/17434440.3.4.463.
 - [30] Speed CA, Nichols D, Richards C, et al. Extracorporeal shock wave therapy for lateral epicondylitis—a double blind randomised controlled trial [J]. *J Orthop Res*, 2002, 20 (5): 895-898. DOI:10.1016/S0736-0266(02)00013-X.
 - [31] Guyatt GH, Oxman AD, Schünemann HJ, et al. GRADE guidelines: a new series of articles in the Journal of Clinical Epidemiology [J]. *J Clin Epidemiol*, 2011, 64 (4): 380-382. DOI: 10.1016/j.jclinepi.2010.09.011.
 - [32] Guyatt G, Oxman AD, Akl EA, et al. GRADE guidelines: 1. Introduction-GRADE evidence profiles and summary of findings tables [J]. *J Clin Epidemiol*, 2011, 64 (4): 383-394. DOI: 10.1016/j.jclinepi.2010.04.026.
 - [33] Speed CA, Nichols D, Wies J, et al. Extracorporeal shock wave therapy for plantar fasciitis. A double blind randomised controlled trial [J]. *J Orthop Res*, 2003, 21 (5): 937-940. DOI: 10.1016/S0736-0266(03)00048-2.
 - [34] Kudo P, Dainty K, Clarfield M, et al. Randomized, placebo-controlled, double-blind clinical trial evaluating the treatment of plantar fasciitis with an extracorporeal shockwave therapy (ESWT) device; a North American confirmatory study [J]. *J Orthop Res*, 2006, 24 (2): 115-123. DOI:10.1002/jor.20008.
 - [35] Gollwitzer H, Diehl P, von Korff A, et al. Extracorporeal shock wave therapy for chronic painful heel syndrome: a prospective, double blind, randomized trial assessing the efficacy of a new electromagnetic shock wave device [J]. *J Foot Ankle Surg*, 2007, 46 (5): 348-357. DOI:10.1053/j.jfas.2007.05.011.
 - [36] Gollwitzer H, Saxena A, DiDomenico LA, et al. Clinically relevant effectiveness of focused extracorporeal shock wave therapy in the treatment of chronic plantar fasciitis: a randomized, controlled multicenter study [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2015, 97 (9): 701-708. DOI: 10.2106/JBJS.M.01331.
 - [37] Theodore GH, Buch M, Amendola A, et al. Extracorporeal shock wave therapy for the treatment of plantar fasciitis [J]. *Foot Ankle Int*, 2004, 25 (5): 290-297. DOI:10.1177/107110070402500503.
 - [38] Gerdesmeyer L, Frey C, Vester J, et al. Radial extracorporeal shock wave therapy is safe and effective in the treatment of chronic recalcitrant plantar fasciitis: results of a confirmatory randomized placebo-controlled multicenter study [J]. *Am J Sports Med*, 2008, 36 (11): 2100-2109. DOI:10.1177/0363546508324176.
 - [39] Ibrahim MI, Donatelli RA, Schmitz C, et al. Chronic plantar fasciitis treated with two sessions of radial extracorporeal shock wave therapy [J]. *Foot Ankle Int*, 2010, 31 (5): 391-397. DOI: 10.3113/FAI.2010.0391.
 - [40] Mehra A, Zaman T, Jenkin AI. The use of a mobile lithotripter in the treatment of tennis elbow and plantar fasciitis [J]. *Surgeon*, 2003, 1 (5): 290-292.
 - [41] Rompe JD, Decking J, Schoellner C, et al. Repetitive low-energy shock wave treatment for chronic lateral epicondylitis in tennis players [J]. *Am J Sports Med*, 2004, 32 (3): 734-743. DOI: 10.1177/0363546503261697.
 - [42] Pettrone FA, McCall BR. Extracorporeal shock wave therapy without local anesthesia for chronic lateral epicondylitis [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2005, 87 (6): 1297-1304. DOI:10.2106/JBJS.C.01356.
 - [43] Melikyan EY, Shahin E, Miles J, et al. Extracorporeal shock-wave treatment for tennis elbow. A randomised double-blind study [J]. *J Bone Joint Surg Br*, 2003, 85 (6): 852-855.
 - [44] Capan N, Esmailzadeh S, Oral A, et al. Radial extracorporeal shock wave therapy is not more effective than placebo in the management of lateral epicondylitis: a double-blind, randomized, placebo-controlled trial [J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 2016, 95 (7): 495-506. DOI: 10.1097/PHM.0000000000000407.
 - [45] Speed CA, Richards C, Nichols D, et al. Extracorporeal shock-wave therapy for tendonitis of the rotator cuff. A double-blind, randomised, controlled trial [J]. *J Bone Joint Surg Br*, 2002, 84 (4): 509-512.
 - [46] Hsu CJ, Wang DY, Tseng KF, et al. Extracorporeal shock wave therapy for calcifying tendinitis of the shoulder [J]. *J Shoulder Elbow Surg*, 2008, 17 (1): 55-59. DOI:10.1016/j.jse.2007.03.023
 - [47] Gerdesmeyer L, Wagenpfeil S, Haake M, et al. Extracorporeal shock wave therapy for the treatment of chronic calcifying tendonitis of the

- rotator cuff: a randomized controlled trial[J]. JAMA, 2003, 290(19):2573-2580. DOI:10.1001/jama.290.19.2573
- [48] Kolk A, Yang KG, Tamminga R, et al. Radial extracorporeal shock-wave therapy in patients with chronic rotator cuff tendinitis: a prospective randomised double-blind placebo-controlled multicentre trial[J]. Bone Joint J, 2013, 95-B(11):1521-1526. DOI: 10.1302/0301-620X.95B11.31879.
- [49] Vahdatpour B, Taheri P, Zade AZ, et al. Efficacy of extracorporeal shockwave therapy in frozen shoulder[J]. Int J Prev Med, 2014, 5(7):875-881.
- [50] Chen CY, Hu CC, Weng PW, et al. Extracorporeal shockwave therapy improves short-term functional outcomes of shoulder adhesive capsulitis[J]. J Shoulder Elbow Surg, 2014, 23(12):1843-1851. DOI: 10.1016/j.jse.2014.08.010.
- [51] Hussein AZ, Donatelli RA. The efficacy of radial extracorporeal shock-wave therapy in shoulder adhesive capsulitis: A prospective, randomised, double-blind, placebo-controlled, clinical study[J]. Eur J Physiother, 2016, 18(1):63-76. DOI: 10.3109/21679169.2015.1119887.
- [52] Liu S, Zhai L, Shi Z, et al. Radial extracorporeal pressure pulse therapy for the primary long bicipital tenosynovitis a prospective randomized controlled study[J]. Ultrasound Med Biol, 2012, 38(5):727-735. DOI:10.1016/j.ultrasmedbio.2012.01.024.
- [53] Costa ML, Shepstone L, Donell ST, et al. Shock wave therapy for chronic Achilles tendon pain: a randomized placebo-controlled trial[J]. Clin Orthop Relat Res, 2005, 440:199-204. DOI:10.1097/01.blo.0000180451.03425.48.
- [54] Rasmussen S, Christensen M, Mathiesen I, et al. Shockwave therapy for chronic Achilles tendinopathy: a double-blind, randomized clinical trial of efficacy[J]. Acta orthop, 2008, 79(2):249-256. DOI:10.1080/17453670710015058.
- [55] Rompe JD, Nafe B, Furia JP, et al. Eccentric loading, shock-wave treatment, or a wait-and-see policy for tendinopathy of the main body of tendo Achillis: a randomized controlled trial[J]. Am J Sports Med, 2007, 35(3):374-383. DOI:10.1177/0363546506295940.
- [56] Rompe JD, Furia J, Maffulli N. Eccentric loading compared with shock wave treatment for chronic insertional achilles tendinopathy. A randomized, controlled trial[J]. J Bone Joint Surg Am, 2008, 90(1):52-61. DOI:10.2106/JBJS.F.01494.
- [57] Taunton KM, Taunton JE, Khan KM. Treatment of patellar tendinopathy with extracorporeal shock wave therapy[J]. Br Columbia Med J, 2003, 45(10):500-507.
- [58] Zhao Z, Jing R, Shi Z, et al. Efficacy of extracorporeal shockwave therapy for knee osteoarthritis: a randomized controlled trial[J]. J Surg Res, 2013, 185(2):661-666. DOI:10.1016/j.jss.2013.07.004.
- [59] Alvarez RG, Cincere B, Channappa C, et al. Extracorporeal shock wave treatment of non- or delayed union of proximal metatarsal fractures[J]. Foot Ankle Int, 2011, 32(8):746-754. DOI:10.3113/FAI.2011.0746.
- [60] Alkhashshki HM. Shock wave therapy of fracture nonunion[J]. Injury, 2015, 46(11):2248-2252. DOI:10.1016/j.injury.2015.06.035.
- [61] Schaden W, Mittermayr R, Haffner N, et al. Extracorporeal shock-wave therapy (ESWT)—First choice treatment of fracture non-unions[J]. Int J Surg, 2015, 24(Pt B):179-183. DOI:10.1016/j.ij-su.2015.10.003.
- [62] Kertzman P, Császár NBM, Furia JP, et al. Radial extracorporeal shock wave therapy is efficient and safe in the treatment of fracture nonunions of superficial bones: a retrospective case series[J]. J Orthop Surg Res, 2017, 12(1):164. DOI:10.1186/s13018-017-0667-z.
- [63] 邢更彦, 徐永明, 耿欢, 等. 体外冲击波治疗骨组织疾病的研究进展[J]. 医学与哲学, 2018, 39(9B):8-10.
- [64] 李亚梅, 张晶, 黄林, 等. 体外冲击波对脑卒中患者小腿三头肌痉挛的影响[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2018, 40(4):272-277. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2018.04.007.
- [65] Dymarek R, Halski T, Ptaszkowski K, et al. Extracorporeal shock wave therapy as an adjunct wound treatment: a systematic review of the literature[J]. Ostomy Wound manage, 2014, 60(7):26-39.
- [66] 高想, 吕建林, 孙福荣, 等. 体外冲击波在腱止点末端病中的应用[J]. 中国康复医学杂志, 2010, 25(8):795-797. DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2010.08.022.
- [67] Algarni AD, Al Moallem HM. Clinical and radiological outcomes of extracorporeal shock wave therapy in early-stage femoral head osteonecrosis[J]. Adv Orthop, 2018, 2018:7410246. DOI:10.1155/2018/7410246.
- [68] Dizon IJN, Gonzalez-Suarez C, Zamora MTG, et al. Effectiveness of extracorporeal shock wave therapy in chronic plantar fasciitis a meta-analysis[J]. Am J Phys Med Rehabil, 2013, 92(7):606-620. DOI:10.1097/PHM.0b013e31828cd42b.
- [69] Younger A. Shock wave therapy for treatment of foot and ankle conditions[J]. Tech Foot Ankle Surg, 2006, 5(1):60-65. DOI:10.1097/00132587-200603000-00012.

(修回日期:2019-05-28)

(本文编辑:汪 玲)