

原文: Four decades with Extracorporeal Shock Wave Lithotripsy Lessons learnt
Hans-Göran Tiselius (Department of Urology, Karolinska Institute, Sweden)
Christian G Chaussy (University of Regensburg, Bavaria, Germany)

体外冲击波碎石术: 40 年的经验和教训

田原¹ 郑晓鹏¹ 黄儒¹ 朱玮¹ 曾国华¹ 翻译

[摘要] 1980 年, 体外冲击波碎石术(extracorporeal shock wave lithotripsy, SWL) 的出现无疑给尿石症患者的治疗带来了革命性的变化, 到目前为止已经治疗了数百万名结石患者。然而, SWL 的治疗结果受到操作水平的影响, 技术的准确使用和细节的注意对于获得满意的治疗效果至关重要, 特别是对于输尿管结石。SWL 不仅创伤小、经济, 而且可以在没有全身或局部麻醉的情况下完成, 它还可以在没有手术室的门诊环境下进行。此外, 这种不需要麻醉的结石治疗方法, 在 COVID-19 时期使医务工作者避免了与冠状病毒的气溶胶接触。另外一些不需要麻醉的微创辅助治疗可以处理一些 SWL 治疗不成功的患者。在这篇综述中, 我们总结了在过去 40 年中使用 SWL 而遇到的各种的临床问题, 在现有的知识体系下, 提供实用且可操作的信息, 为临床工作者在平衡 SWL 治疗效果与患者安全方面提供有力的参考和依据。

[关键词] 体外冲击波; 尿石症; 经验; 教训

DOI: 10.13201/j.issn.1001-1420.2024.04.004

[中图分类号] R691.4 **[文献标志码]** A

Extracorporeal shock wave lithotripsy: four decades with lessons learnt

TIAN Yuan ZHENG Xiaopeng HUANG Ru ZHU Wei ZENG Guohua

(Department of Urology, the First Affiliated Hospital of Guangzhou Medical University, Guangzhou, 510000, China)

Abstract The emergence of extracorporeal shock wave lithotripsy (SWL) in 1980 undoubtedly brought revolutionary changes to the treatment of urolithiasis patients, having treated millions of stone patients to date. However, the treatment outcomes of SWL are influenced by the level of operation, and the accurate use of technology and attention to detail are crucial for achieving satisfactory treatment results, especially for ureteral stones. SWL is not only minimally invasive and cost-effective but can also be performed without general or local anesthesia, and it can even be conducted in outpatient settings without surgical facilities. Additionally, this anesthesia-free stone treatment method has enabled healthcare workers to avoid exposure to aerosols of the coronavirus during the COVID-19 pandemic. Furthermore, some minimally invasive adjunctive therapies that do not require anesthesia can treat some patients who have had unsuccessful SWL treatments. We have summarized various clinical issues encountered in the past forty years of using SWL and completed this review, summarizing practical and feasible information within the existing knowledge framework to provide robust reference and guidance for clinicians on balancing SWL treatment effectiveness and patient safety.

Key words extracorporeal shock wave; urolithiasis; experience; lessons learned

体外冲击波经过 10 年的开发和试验测试, 1980 年在德国慕尼黑首次用于临床碎石^[1-3], 极大地改变了结石手术的治疗方式。之后这项技术在全世界范围内得到了推广。1985 年 4 月, 在瑞典林雪平进行了首次 SWL 手术。随后, 不同的体外碎石机被开发出来并引入临床, 目前主要有 3 种不同类型的碎石机: 电动液压、压电和电磁式碎石机, 这些设

备通常被称为碎石机器, 这一描述给人的错误印象是碎石机能自动完成令人满意的碎石效果并成功清除结石物质。这是一个严重的误解, 必须强调的是, 成功的 SWL 需要注意许多细节。在以前的文章中, 我们已经强调了 SWL 的优势以及如何优化其临床应用。尽管随着微创内镜技术的飞速发展, 且 SWL 治疗结果差异很大, 经常出现结石残留, 但 SWL 仍然是全世界结石患者主要的微创治疗方式。

¹ 广州医科大学附属第一医院泌尿外科(广州, 510000)

2022 年 5 月在 PubMed 上的搜索显示, 关于

SWL 的文章大约有 9 000 多篇,本综述目的不是要总结论文中大量临床经验,或比较非侵入性和侵入性治疗方式之间的差异,而是要强调在 SWL 术前、术中、术后许多细节的重要性,是 SWL 治疗成功的主要因素。因此我们尽可能将此综述写成“SWL 手册”。在建议和临床策略之间总是存在一些差距,有许多问题需要回答:为谁治? 什么时候? 为什么? 多久一次? 一次多长时间? 有多少? 多少钱? 本文的所有建议都是基于个人的临床经验,这些经验与文献报告一起帮助我们针对不同的结石和不同的患者制定临床上有用的、成功的、创伤最小的方案。由于市场上有多种不同技术的碎石机,因此对任何特定碎石机的处理都不是本研究评价的范围。在这方面,每个制造商通常都有明确的建议,请使用者参考。

通过许多会议报告以及对世界各地结石中心的参观,我们发现 SWL 的治疗在不同的地方存在着极大的差异。例如,一些中心使用很强的镇痛治疗,而其他中心似乎不使用镇痛治疗或只使用轻微的镇痛。利尿、呼吸控制、给氧、心电图记录以及根据冲击波决定患者的手术体位都是不同的。此外,重要的细节关注不够,只不加选择地遵循标准方案。最后,必须指出:SWL 并不总是会产生成功的结果。像所有的外科和医学治疗一样,也有缺点,但结果比一般预期的要好得多,比部分文献报道也要好得多,后一种说法尤其适用于输尿管结石的治疗。

以下是一系列针对 SWL 在临床实践中最佳应用的考虑因素。本文中提出的细节和建议已经在之前发表的几篇评论文章中进行了讨论,读者还可以找到其他的信息和必要的支持参考文献^[2-18]。

1 患者选择

在选择适合 SWL 治疗的患者时,结石的大小、位置和成分(硬度)是关键考虑因素。最近由 EAU、AUA 和 IAU^[19]发布了 SWL 的实用临床更新建议。这些建议略有不同,但大致总结如下。

SWL 最适合处理直径 ≤ 20 mm 的上中盏和肾盂结石、直径 ≤ 15 mm 的下盏结石以及直径 $\leq 10 \sim 15$ mm 的输尿管结石。此外,肾盏的解剖结构也被认为是成功治疗的重要因素,其中肾盏的高度和长度可以用于计算流出角,而这对于下盏结石的清除至关重要。尽管解剖结构在预测治疗效果方面很有帮助,但在初次治疗之前通常不是考虑患者选择的主要因素。通过 CT 图像可以很好地预测出结石清除率。为了提高排石率,下盏残余结石的排出可通过体位倒立的方式进行,其他辅助处理程序的讨论如下所述。

肾内结石碎石后可能会导致残留碎石的形成,尤其在下盏。活动可以增加结石的移动,因此年轻患者通常可以获得更高的结石清除率,另外结石的

大小对肾下盏排石方面的影响,可能与大结石会增加肾下盏的肌肉组织损伤有关。

输尿管结石的情况与肾结石不同,经碎石后,它们可以经输尿管直接排出,因此导致残留碎石的情况较少。即使出现如输尿管水肿等问题,除了顽固结石外,通常可以通过非侵入性辅助程序解决。对于输尿管结石,选择合适的冲击波能量并结合肾脏的三维结构至关重要,以增加结石的清除效果。尽管在一项 600 例患者的回顾试验中超过 83% 的远端结石在单次治疗中都可以成功清除,但一些文献仍比较倾向于支持内镜下处理输尿管结石,尤其是远端结石。值得一提的是,因某些原因无法进行输尿管镜的情况下,SWL 适应证还可适当放宽。

SWL 是一种低侵入性的治疗方法,因此其更适合于儿童结石病患者,但对于一些特定情况,如大型结石、特殊成分结石以及存在解剖异常的患者,则可能需要其他方法治疗。妊娠是 SWL 的绝对禁忌证,而对于存在凝血功能障碍的患者,需要与血液科专家密切合作以规划治疗策略。另外,对于一些特殊情况,如位于憩室和囊肿内的结石,可能需要内镜手术。对于解剖异常的患者,必须根据具体情况决定最合适的治疗方式。

2 术前准备

2.1 详细的术前沟通

在向患者介绍 SWL 时,必须清晰地解释其概念、治疗过程和治疗方案。建议使用文字与图解相结合的方式与患者进行面对面交流,以避免患者被网上错误的信息所误导。重要的是必须告知患者治疗的预后和可能的罕见并发症,包括多次碎石并不代表手术失败,而且重复治疗相对内镜手术仅在增加镇痛剂和镇静剂的帮助下即可完成。

2.2 预测及避免并发症

在 SWL 之前,需努力降低并发症的风险,如肾包膜下血肿和感染导致的败血症。特别注意对合并有高血压的患者,需充分控制血压以避免潜在的肾脏损伤。同时应注意,在治疗过程中应小心调节冲击波的能量和频率,重复的非过度 SWL 比一次过度 SWL 对患者造成的损伤更小。

2.3 抗凝血治疗患者的处理

使用血小板聚集抑制剂的患者在 SWL 前需停药 7~10 d,避免出血风险,我们的原则是等待 10 d 后,这大约是新血小板形成所需的时间。对其他影响凝血功能的药物也需谨慎处理,并在治疗前咨询内科医生。对于接受抗凝治疗的患者,需特别关注治疗前的抗凝药物停用与治疗后的重新应用的时机把控。

2.4 排除并避免感染

SWL 治疗前,尿路感染的患者应充分使用抗生素,并针对尿液进行微生物相关的化验和检测,

即使没有明显感染症状,排除合并感染也是必要的。经验表明,在治疗前1~2 h使用广谱抗生素可有效预防感染性并发症的发生。

2.5 保护肾脏组织

对于肾功能严重下降的患者,应避免进行SWL治疗。中度肾功能减退的患者在有意识的组织保护治疗过程中可能受益,但这方面的治疗尚未达成共识。

2.6 术前镇痛药物的使用

早期进行疼痛干预可能会使患者获益,并能减少治疗期间的镇痛剂和镇静剂的使用。例如,在SWL开始前30~60 min可使用50 mg的双氯芬酸栓剂进行处理。

3 定位

肾结石的SWL通常从背部发射冲击波治疗,但如果冲击波击中肋骨会导致无法忍受的疼痛,可考虑从腹部施以冲击波。对于腹腔内结石,因位置不同需个体化确定治疗方案,有些可能需要从腹部接近,而另一些则从臀部更合适。冲击波和骨骼结构之间的干扰很常见,需要仔细观察和调整体位以确保冲击波传输顺利。关于冲击波路径方向的确,详见下文“特殊技巧”部分。

4 耦合

在多尼尔HM3碎石机中停用水盆技术后,冲击波传输变得关键。使用无气泡的超声波凝胶,需确保凝胶足量。水介质使用前需进行排气,建议将水介质在37℃的恒温瓶中存放,以使患者获得更佳的经验。术前进行备皮可防止气泡在毛发上的附着。光学系统可用于检测和清除气泡。

5 术中监测

5.1 透视

透视是检测结石的一个很好的方法,可以让我们聚焦结石并跟踪和治疗,重要的一点是:在结石暴露的过程中,必须要使用准直器来减少辐射面积。我们访问过全球范围内多个泌尿外科,总结发现此过程的透射视野是完全开放的,因此这一点往往被忽视。减少一个完全开放的窗口将大大减少辐射剂量。还有其他一些技术,如冷冻透视图像技术。不幸的是,适当且准确的聚焦需要动态信息,而且不确定这种技术是否真的能减少总辐射剂量。如果说命中率会降低,那便不可取。

5.2 超声波

通过超声定位结石当然是理想方法,它可以避免辐射,尤其适用于儿童。不幸的是,超声检查很难掌握,而且在尿路的某些部位无法使用。这就是大多数诊所至今仍以透视检查为标准方法的原因。然而,美国应该在未来更普遍地使用这一方法。

6 能量聚焦

确保结石位于冲击波高命中率的焦点是治疗

的起始步骤之一,但同样重要的是确保冲击波的路径不受解剖结构干扰,脊柱、骶髂骨、肋骨等都可能干扰治疗。在腹部冲击波中,肠道气体可能影响冲击波功率和透视图像质量。因此对于腹胀的患者,可以在SWL前5 d使用Dimethicon(Minifom®)进行预处理。

7 如何避免呼吸运动的干扰

在SWL中,呼吸会使结石偏离焦点,降低冲击波命中率。解决方法包括使用腰带或其他增加腹压的装置,并调整患者位置以维持结石在焦点上的稳定性。使用腰带时要确保不影响患者呼吸,并监测血氧饱和度。对于结石位置靠近肺部的情况,需要采取聚苯乙烯保护肺部区域。这一步骤在治疗儿童患者时尤为重要。

8 疼痛治疗

疼痛管理在SWL中至关重要。最初认为需要局部或全身麻醉,但瑞典的实践证明,使用适当的镇痛剂和镇静剂后,可不必进一步行麻醉干预。自1987年起,瑞典放弃了全身麻醉和硬膜外麻醉在SWL中的应用,转而采用镇痛剂和镇静剂以及未改良的多尼尔HM3碎石机,至今已有10~11年的应用经验。现代碎石机的引入可减轻患者的疼痛感,因此全球范围内,目前已普遍放弃了局部和全身麻醉。一系列药物疼痛治疗模式被引入,其中成功的方法之一是间歇性使用小剂量的阿芬太尼和丙泊酚,这两者在成千上万的患者中被证明是有效且安全的。

如果在SWL期间血压升高,通常需要使用镇痛剂,但若无效或血压高于160/95 mmHg(1 mmHg=0.133 kPa),则建议停止治疗。可在治疗过程中间歇性测量血压,但过于频繁的测量可能会干扰患者。针对年老和虚弱的患者,建议调整丙泊酚的剂量,而对于非常虚弱、年老和脆弱的患者,建议只使用阿芬太尼。培训医护人员如何处理药物疼痛治疗是至关重要的。受过专业培训的护士和泌尿科医生可能无须麻醉医师的参与。然而,在这方面必须遵守当地和国家的规定。

9 心电图监测

疼痛治疗方案中,跟踪心率至关重要,以便在出现心动过缓时可能需要使用阿托品。在SWL中,特别是使用Dornier HM3设备时,电磁场可能导致室性心动过速或室性心律失常风暴(VES)。冲击波通常由心电图信号的R波触发,尽管随着电磁冲击波发生器的使用,VES通常会消失,心电图触发冲击波不再那么必要。然而,始终使用心电图记录来监测可能的VES或其他心律失常至关重要,尤其在治疗幼龄儿童时。

10 冲击波的使用

冲击波治疗的频率和次数对于治疗效果至关重要。我们需要平衡冲击波的使用,以避免对周围

组织产生负面影响,并实现最佳的碎石效果。在确定适当的冲击波能量水平时,临床经验是一个重要的指导因素,早期血尿检测也有所帮助。对于治疗肾结石的患者,利用利尿剂和增加输液是常见的选择,但导尿管的使用可能会带来不便,应在 SWL 后尽快拔除。

采用一系列低能量的冲击波开始治疗有助于减少肾脏损伤的风险。这可以通过连续施加大约 5 min 的低能量冲击波或在 100 次冲击波后暂停 2~3 min 来实现。随后,冲击波能量应以斜坡方式逐步增加,以确定碎石所需的能量,并帮助患者逐渐适应治疗。

在治疗输尿管内的结石时,无须暂停或采取类似的预防措施。然而,以斜坡方式增加冲击波能量可以提高患者的适应性,从而更好地达到治疗效果。

对于冲击波的频率,每分钟 60 次(1 Hz)对肾结石施加冲击波是有益的。对于输尿管结石,每分钟 90 次(1.5 Hz)的频率已经成为一种规范。在一次治疗期间施加的冲击波次数没有明确的标准,但应避免过度治疗。一般而言,一次治疗中的冲击波次数很少超过 2 000 次,继续治疗时间也应适度。对于重复的 SWL 治疗,一般规则是不早于 2 周后再次进行治疗。在进行新一次的 SWL 治疗之前,尽量清除结石表面的碎石。需要强调的是治疗原则在处理肾脏和输尿管结石时基本相同。

11 特殊技巧

当结石距离超过冲击波的穿透深度时,可采用爆破路径技术,即将石块放置在与冲击波传播方向一致的位置进行碎石,或许可达到满意的效果。对冲击波路径方向的了解至关重要,可通过术中影像来确定,标记在成像屏幕上。在瘦弱的患者和儿童中,可通过放置充满脱气水的无气塑料尿液收集袋解决冲击波头和身体之间接触不足的问题。

12 辅助治疗

在某些情况下,SWL 需要辅助手段来提高治疗效果,如输尿管支架、输尿管导管、经皮肾造瘘、化学溶石和倒置/叩击法等,这些操作无须全身或局部麻醉,可在表面麻醉下完成,不需镇痛剂。需要注意的是,如果后续进行输尿管镜碎石术(URS)或经皮肾镜取石术(PCNL),可能表示 SWL 失败。

12.1 输尿管内支架

针对较大的结石,在 SWL 之前插入输尿管支架或猪尾巴管至关重要,以预防结石碎片积聚引发输尿管阻塞。支架插入时,为了稳固,通常在插入位置留有提取线和环,以应对支架可能回缩带来的风险。这样的操作无须全身麻醉,而且十分安全。此外,为了确保支架顺利通过碎石,适当的润滑非常关键。对于已置入支架的患者,需要在 SWL 前拔除支架管,以促进结石的碎石过程,这是一个有

效的策略,可以最大限度地提高治疗成功率。

12.2 输尿管导管

逆行注射造影剂偶尔可以帮助观察肾内集合系统的构造,并在多个投影中难以识别结石的情况下提供帮助。对于嵌顿型输尿管结石,可通过上述提到的凝胶混合物注入的方式进行处理。

12.3 经皮肾造瘘管

当从下方插入导管失败时,有必要将尿液从阻塞的肾脏中引流出来,尤其是同时存在感染的情况下。当计划进行经皮肾化学溶石时,至少需要插入 2 根肾造瘘管。

12.4 化学溶解

通过输尿管导管使用化学溶石从未成功过,不应尝试。但可将 SWL 与具有溶解结石特性的肾内溶液冲洗相结合。放置输尿管内支架有助于化学溶石治疗,不过非必需。选择化学溶石剂时应考虑结石成分。在化学溶石治疗过程中,可能需要使用局部麻醉溶液来缓解疼痛。此外,即使患者排出结石,对于已插入经皮肾造瘘导管的患者,使用化学溶石剂进行后续冲洗也有益,可清除微小碎片并降低复发风险。重要提示:所有插有经皮肾造瘘导管的患者在 SWL 前必须接受抗生素治疗。

12.5 碎石后的促排方式

患者倒立时敲击或振动有助于清除肾下盏中的碎片。建议手术前服用呋塞米并饮水以增加利尿。简单的翻转板和振动装置可用于此治疗,但需根据患者情况提供额外的说明。

13 术后药物治疗

治疗后,可应用双氯芬酸栓剂(50 mg/次,2 次/d),持续 7~10 d,已证实为有效缓解排石期间的疼痛,通常可避免急诊就诊。在 2~4 周内开具 α 受体拮抗剂或钙受体拮抗剂可帮助碎石通过输尿管。另外,建议患者增加液体摄入量以增加尿量,也可考虑使用利尿剂(例如呋塞米 40 mg/d)3~5 d。对于感染性结石患者,酸化尿液可能有益,而其他成分的结石则需要进行代谢风险分析以预防复发。

14 如何判断 SWL 可以取得怎样的预期效果?

泌尿结石科的研究表明,对于接受 SWL 治疗的输尿管结石和肾结石患者的整体效果报告并不具有显著意义。约 1 000 例连续接受 SWL 治疗的患者数据显示了治疗结果,其中大多数患者成功治愈。值得注意的是,对于输尿管远端结石的治疗,97.6% 的患者完全去除结石,而 86.3% 的患者在仅 1 次 SWL 治疗后对治疗效果感到满意^[16]。

15 结论

SWL 仍然是世界范围内最常见的结石治疗方式,但近期文献倾向于推荐内镜手术,如 URS、输尿管软镜碎石术(RIRS)和 PCNL,原因在于 SWL 术后较常见的肾下盏残余结石和较高的重复治疗

率。然而,SWL对于大多数患者仍然可以有效地碎石并减轻症状。目前,内镜手术在全球范围内的搜索量逐渐增加,而SWL的搜索量虽有所下降,但仍然居高不下。然而,许多泌尿外科医生更倾向于内镜手术,这可能是由于内镜设备的快速发展以及对SWL方法学的认知不足。SWL在泌尿外科医生中可能缺乏吸引力的主要原因之一是治疗过程的刻板化,特别是当治疗由技术人员和经验不足的医生进行时。然而,对SWL失败的原因缺乏深入分析。尽管内镜手术在结石清除率和重复治疗率方面具有优势,但SWL仍然具有一些优点,如门诊治疗、无须全身或局部麻醉、费用低等。对于治疗的选择,需要平衡治疗目标、成本和患者需求。由于泌尿外科医生对SWL疗效的认知不足,治疗选择可能不够合理。因此,对SWL操作者进行系统的教育和培训至关重要。尽管内镜手术在年轻医生中更受欢迎,但治疗选择应该基于患者的具体情况,而不仅仅是医生的偏好。侵入性治疗可能会导致组织损伤、治疗失败和成本上升,需要谨慎考虑。

SWL的技术和设备已经取得了进步,例如取消了水槽以及对气泡的注意。随着技术的进步,SWL可能会成为更为便利的门诊手术。对于输尿管结石患者,非侵入性治疗的优势显而易见,可避免全身或局部麻醉。关于冲击波如何干扰心脏活动和结石周围组织的研究,控制血压、低能量治疗和避免过大冲击波的数量和能量是关键。另外,关于X线暴露和环境影响,SWL在某种程度上是优于内镜治疗的。尽管残余结石可能是SWL术后的问题,但许多患者仍然可以成功接受治疗。治疗结束后的关注和后续随访同样重要。

基于35~40年的SWL临床经验,我们的结论是,这种微创治疗对很多患者来说仍然是一种很好的一线治疗方法,如果适当关注患者的选择和SWL实施方案等重要细节,成功率就会很高。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Chaussy C, Brendel W, Schmiedt E. Extracorporeally induced destruction of kidney stones by shock waves [J]. *Lancet*, 1980, 2(8207):1265-1268.
- [2] Chaussy C, Schmiedt E, Jocham D, et al. First clinical experience with extracorporeally induced destruction of kidney stones by shock waves [J]. *J Urol*, 1982, 127(3):417-420.
- [3] Chaussy C, Eisenberger F, Forssmann B. Extracorporeal shockwave lithotripsy (ESWL): a chronology [J]. *J Endourol*, 2007, 21(11):1249-1253.
- [4] Chaussy CG, Tiselius HG. What you should know about extracorporeal shock wave lithotripsy and how you can improve your performance [M]// Talati J, Tiselius HG, Albala D, et al. *Urolithiasis*. London: Springer, 2012:383-393.
- [5] Chaussy CG, Tiselius HG. How can and should we optimize extracorporeal shockwave lithotripsy? [J]. *Urolithiasis*, 2018, 46(1):3-17.
- [6] Tiselius HG, Chaussy CG. Arguments for choosing extracorporeal shockwave lithotripsy for removal of urinary tract stones [J]. *Urolithiasis*, 2015, 43(5):387-396.
- [7] Tiselius HG, Chaussy CG. Examples of clinical problems that might be encountered in patients treated with extracorporeal shock wave lithotripsy [M]// Talati J, Tiselius HG, Albala D, et al. *Urolithiasis*. London: Springer, 2012:395-400.
- [8] Tiselius HG. Shockwave treatment of renal calculi (Chapter 51) [M]// Smith AD, Badlani GH, Preminger GM, et al. *Smith's Textbook of Endourology*. 3rd ed. Wiley-Blackwell, 2012:576-597.
- [9] Tiselius H. Chemolytic treatment of patients with urinary tract stones [M]// Rao NP, Preminger GM, Kavanagh JP. *Urinary Tract Stone Disease*. London: Springer, 2011:627-637.
- [10] Tiselius HG. Anesthesia-free in situ extracorporeal shock wave lithotripsy of ureteral stones [J]. *J Urol*, 1991, 146(1):8-12.
- [11] Tiselius HG. How efficient is extracorporeal shockwave lithotripsy with modern lithotripters for removal of ureteral stones? [J]. *J Endourol*, 2008, 22(2):249-255.
- [12] Tiselius HG. Removal of ureteral stones with extracorporeal shock wave lithotripsy and ureteroscopic procedures. What can we learn from the literature in terms of results and treatment efforts? [J]. *Urol Res*, 2005, 33(3):185-190.
- [13] Taily GG, Taily-Cusse MM. Optical coupling control: an important step toward better shockwave lithotripsy [J]. *J Endourol*, 2014, 28(11):1368-1373.
- [14] Leykamm L, Tiselius HG. Observations on intrarenal geometry of the lower-caliceal system in relation to clearance of stone fragments after extracorporeal shockwave lithotripsy [J]. *J Endourol*, 2007, 21(4):386-392.
- [15] Ringdén I, Tiselius HG. Composition and clinically determined hardness of urinary tract stones [J]. *Scand J Urol Nephrol*, 2007, 41(4):316-323.
- [16] Tiselius HG, Ringdén I. Stone treatment index: a mathematical summary of the procedure for removal of stones from the urinary tract [J]. *J Endourol*, 2007, 21(11):1261-1269.
- [17] Long QL, Zhang J, Xu ZB, et al. A prospective randomized controlled trial of the efficacy of external physical vibration lithotripsy after extracorporeal shock wave lithotripsy for a lower pole renal stone less than 2 cm [J]. *J Urol*, 2016, 195(4 Pt 1):965-970.
- [18] Chaussy CG, Fuchs GJ. Current state and future developments of noninvasive treatment of human urinary stones with extracorporeal shock wave lithotripsy [J]. *J Urol*, 1989, 141(3 Pt 2):782-789.
- [19] Zeng GH, Zhong W, Chaussy CG, et al. International Alliance of Urolithiasis Guideline on Shockwave Lithotripsy [J]. *Eur Urol Focus*, 2023, 9(3):513-523.

(收稿日期:2024-03-11)