

体外冲击波治疗的量化评估*

刘亚军¹ 陈晓东^{2,*} 郭安忆¹ 刘思金³ 胡国庆²

(1 骨科冲击波治疗中心, 脊柱外科, 北京积水潭医院, 北京, 100035

2 非线性力学国家重点实验室, 北京市工程化构建与力学生物学重点实验室,
中国科学院力学研究所, 北京, 100190

3 环境化学与生态毒理学国家重点实验室, 中国科学院生态环境研究中心, 北京, 100085)

摘要 尽管发散式体外冲击波疗法已经广泛地应用于治疗骨科疾病并有良好的临床效果, 但治疗依赖于临床医生的个人经验与判断, 并没有建立起施加剂量与作用在目标位置剂量的关系。实际上, 从业者缺少一个通用可靠的方法来定量评估压力波在生物组织中的传播和分布。本研究发展了一种实验测量与模拟计算结合的方法来获得发散式体外冲击治疗仪在生物组织内所产生的压力场。分别通过粘贴和嵌入薄膜传感器的方式, 测量了培养皿底部和生物组织内的压力变化。使用显式有限元分析方法得到了详细的压力波传播过程。实验结果表明: 发散式体外冲击波治疗仪所产生的压力波的传播具有指向性, 压力分布与圆形活塞声源所产生的辐射声场分布类似。据此建立了培养皿底部和生物组织内轴线方向上的压力分布模型。此外, 还进行了发散式体外冲击波在人体腰椎及周围软组织内传播的有限元分析, 得到了详细、真实的压力场。本研究为发散式体外冲击波疗法提供了理论依据, 为个性化治疗方案的制定和生物学机理研究开辟了新途径。

关键词: 体外冲击波疗法; 实验测量; 有限元模型; 显式动力学分析。

作为一项非侵入性技术, 体外冲击波治疗(extracorporeal shock wave therapy, ESWT)由体外冲击波碎石术(extracorporeal shock wave lithotripsy, ESWL)发展而来。ESWL 通常用于在人体外施加的聚焦式的、高强度的声脉冲来摧毁肾结石或胆管结石, 而 ESWT 使用低强度的声波来治疗骨科疾病, 例如假关节、足底筋膜炎、外侧上髁炎、肩部钙化性肌腱炎、跟腱病、股骨头坏死等。根据 ESWT 所产生压力波的形态可以分为聚焦式和发散式。在发散式冲击波治疗仪中, 射弹由压缩空气或磁场驱动, 在冲击手柄前端的施加器以产生压力波, 进而透过皮肤传导到人体中。发散式 ESWT 临床效果良好, 而且是一个经济且无创的物理疗法, 近年来发散式 ESWT 的应用逐渐增多。发散式 ESWT 所产生的生物效应仍不明确, 也没有任何已知的机械量和特定的生物效应之间的对应关系。目前, rESWT 在很大程度上依赖于临床医生的个人经验和判断, 且无法确定器械设置的剂量与目标部位的治疗剂量之间的关系, 无法对不同的患者采用个性化的治疗方案。与超声治疗相似, 通过选择和收集适当的 rESWT 临床试验来确定上述关系, 且将需要大量的研究, 但首要问题是需要了解施加剂量与到达目标部位的剂量的关系。就此, 本研究发展了一种实验测量与模拟计算结合的方法来获得发散式体外冲击治疗仪在生物组织内所产生的压力场。图 1 显示了测量培养皿底部和猪组织中压力值的实验设置。图 2 显示了有限元计算模型及压力波分布云图。可以看出压力波的传播具有指向性, 压力分布与圆形活塞声源所产生的辐射声场分布类似。据此建立了培养皿底部和生物组织内轴线方向上的压力分布的半经验模型。本研究为 rESWT 提供了理论依据, 也为个性化治疗方案的制定和生物学机理研究开辟了新的量化途径。相关内容已被 *Advanced Science* 杂志接收^[1]。

* 基金资助: 国家自然科学基金(11402274, 11772343)、中国科学院前沿科学重点项目(YZDB-SSW-JSC036)、中国科学院战略性先导科技专项(XDB22040403)、北京市科技计划项目(Z17110000417025)、北京市科技新星计划交叉学科合作课题。

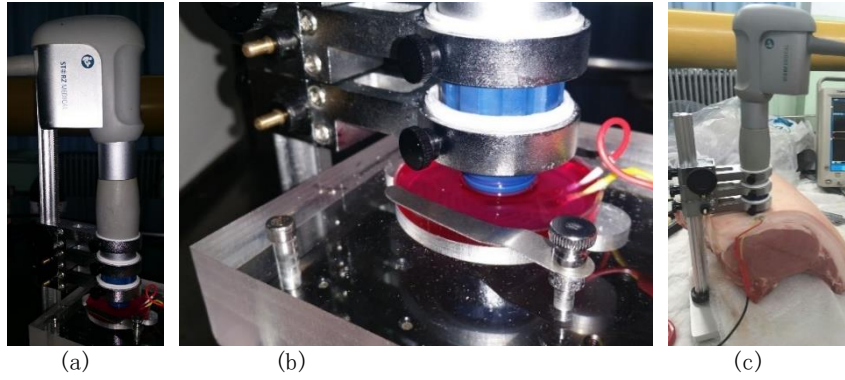


图 1 测量培养皿底部和猪组织中压力的实验设置。(a) 用于夹持体外冲击波治疗仪手柄的支撑装置；(b) 测量培养皿底部压力的实验设置；(c) 测量猪组织中压力的实验设置。

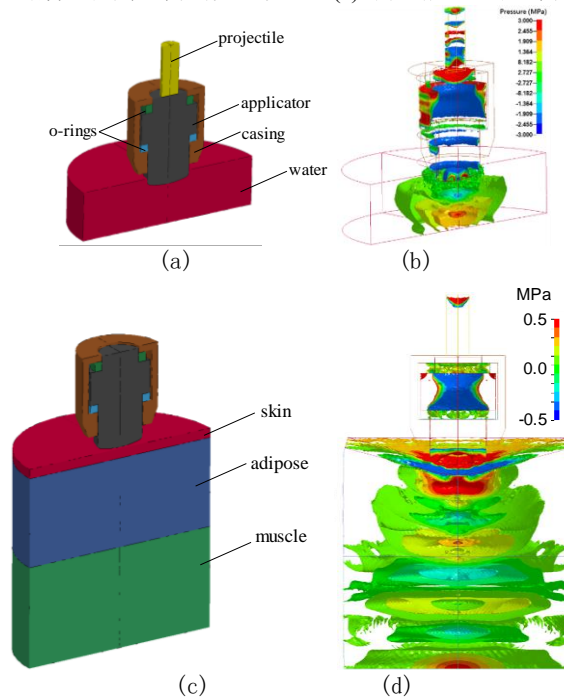


图 2 有限元计算模型及压力波分布云图。(a) rESWT 手柄前部（包括施加器、射弹、O 形环和套管）和培养皿中的水；(b) rESWT 手柄前部和培养皿中某一时刻的压力分布；(c) rESWT 手柄前部和软组织（皮肤、脂肪和肌肉）；(d) rESWT 手柄前部和软组织中某一时刻的压力分布。

参 考 文 献

1. Liu, Y.; Chen, X.; Liu, S. & Hu, G. Quantitative assessments of mechanical responses upon radial extracorporeal shock wave therapy. *Advanced Science*, doi://10.1002/advs.201700797.