

· 综述 ·

有限元分析在手法治疗腰椎间盘突出症中的研究进展

李庆兵¹, 冯跃¹, 罗建², 罗才贵^{2*}

(1. 成都中医药大学针灸推拿学院, 四川 成都 610075; 2. 成都中医药大学附属医院, 四川 成都 610072)

摘要:介绍了有限元分析方法在脊柱生物力学研究中的概况,并论述了其在腰椎建模和中医手法治疗腰椎间盘突出症中的应用情况,认为虽然有限元分析在精确模拟患者腰椎的实际状况时尚有一定的局限性,但其在研究脊柱推拿方面,可以很好地模拟各种腰部推拿手法的状态,给手法的研究注入了新的活力。

关键词:腰椎间盘突出症; 中医手法; 有限元分析; 腰椎建模

中图分类号: R274.9 文献标志码: A 文章编号: 1672-0482(2013)01-0094-03

Research Progress on Finite Element Analysis in Manual Therapy Treating Lumbar Disc Herniation

LI Qing-bin¹, FENG Yue¹, LUO Jian², LUO Cai-gui^{2*}

(1. School of Acupuncture and Moxibustion and Tuina, Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, Chengdu, 610075, China; 2. The Affiliated Hospital of Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, Chengdu, 610072, China)

KEY WORDS: lumbar disc herniation(LDH); manual therapy of traditional Chinese medicine; finite element analysis(FEA)

腰椎间盘突出症又称腰椎间盘突出纤维环破裂症,是临床常见病、多发病,多见于 20~50 岁青壮年,男性多于女性,大多好发于 L4~L5 之间和 L5~S1 之间。该病是因椎间盘发生退行性变后,在外力的作用下,纤维环破裂,髓核突出刺激或压迫神经根、血管或脊髓等组织所引起腰痛,并且伴有坐骨神经反射性疼痛等症状的一种病症。很少有证据表明,药物治疗能有效地治疗腰椎间盘突出症^[1]。中医踩跷法治疗腰椎间盘突出症疗效显著,是治疗该病的特色手法,具有松解粘连肌肉、改变椎间隙、促使椎间盘回纳、缓解神经根受压等作用^[2-4]。

临床应用踩跷法治疗腰椎间盘突出症疗效确切,但缺少机理方面的研究,主要有两个方面的原因:一是研究模型建立困难,另一方面检测技术不能满足要求,影响手法参数的量化与优化。手法无法定量、定性或优化是阻碍手法临床推广与应用的主要原因。近年来,随着有限元分析模型广泛应用于脊柱生物力学的研究,将计算机技术、有限元分析法与传统的中医推拿相结合,开辟了脊柱推拿研究的新方向^[5-6]。

1 脊柱三维有限元研究

有限元分析(FEA)利用数学近似的方法对真实物理系统(几何和载荷工况)进行模拟,是一种用较简单的问题代替复杂问题后再求解的分析方法,由于大多数实际问题难以得到准确解,而有限元不仅计算精度高,而且能适应各种复杂

形状,广泛应用于结构静力分析、动力学分析、模态频率分析、材料非线性力学分析等多行业的研究工作中,因而成为行之有效的工程分析手段。

自 1973 年 Belytschko 等^[7]首次将有限元分析法应用于脊柱生物力学研究以来,40 年里有限元分析法在各领域已取得长足发展。有限元法是一种有效的离散化数值计算方法,已经单独作为骨科生物力学研究有效方法和手段之一^[8]。近年来在生物力学领域,有限元分析是仿真人体结构力学功能的有效实验手段^[9]。有限元模型具有重建不规则复杂材料特性结构的能力以及易于模拟复杂边界结构静止或动态负重状态下的能力。因此,应用脊柱有限元建模可为脊柱运动、受力、创伤及疾病基础研究和临床治疗提供帮助。运用逆向工程原理可有效构建人体躯干的三维几何模型^[10],在此基础上基于解剖和离体标本实验结果构建其生物力学有限元模型,可用于人体脊柱生物力学变化规律的可视化分析。

已有研究表明^[11-12],用有限元方法建立的模型不仅能较好地模拟复杂的力学系统,而且更重要的是可获得全域性的信息。对临床研究来讲,有限元模型是对体外尸体实验模型很有价值的补充,而且可在持续性研究中重复及改变任何质量与定量变化,同时提供局部以及内部的反应机制。由此可见,有限元分析方法丰富了脊柱生物力学研究。

收稿日期:2012-10-15;修稿日期:2012-11-22

基金项目:国家自然科学基金(81173356)

作者简介:李庆兵(1985—),男,四川泸州人,成都中医药大学 2010 级硕士研究生。*通信作者:caiguiluo@sina.com

2 有限元在腰椎建模及中医手法研究中的应用

2.1 有限元在腰椎建模中的应用

有限元应用于腰椎建模经历从正常人体到患者、单一椎体到腰部全椎体、单一骨性结构到椎体及附属结构建模的发展历程。上世纪90年代,谭军等^[13]构建了正常人体腰椎L1有限元模型并对其进行受力分析。随后鲍春雨等^[14]建立健康者上腰段L1~L3骨组织三维有限元模型;付裕等^[15]基于CT扫描CAD技术建立健康者L3~L5下腰段腰椎三维有限元模型,模型涉及椎间盘、椎体及部分软组织。20世纪初叶涂湖等^[16]应用有限元技术构建了退变的L4~L5模型并对其开展手法研究。在模型完整性方面,Zander等^[17]证实肌肉作用力加入模型前后,椎间盘的应力分布差异显著。故后期研究中有研究者应用不同的方法构建肌肉的有限元模型,实现了肌肉的有限元模型建立^[18]。随着技术进步,构建完整腰椎有限元模型为后期应用有限元模型进行生物力学研究打下了基础,是脊柱力学研究的必经之路。

2.2 有限元在中医手法治疗中的应用

随着技术进步,研究者们开始应用有限元模型结合生物力学分析对中医手法进行研究,研究单一手法对正常及患病腰椎的作用,分析不同手法所体现的结构变化、作用效果并进一步探讨其治病机理。国外Yoshihiko Kato等^[19]应用有限元技术模拟在相同外力作用下脊柱椎管及其内容物的变化及椎体关节等位置的变化,探讨引起腰椎间盘突出症病理结构的病因及其相关分析。国内李延红等^[20]构建了健康者L3~S1模型,模拟拔伸手法作用腰椎,得出结论表明手法可能会改变破裂椎间盘与神经根的相对位置,松解神经根与突出椎间盘的粘连或使相互之间发生位移而减轻对神经根的压迫。李义凯等^[21]应用有限元技术构建了退变的L4~L5椎间盘模型,进行模拟推拿扳法,结果显示椎间盘、关节突的位移,有利于解除神经根的粘连。随着研究深入,部分学者开始围绕手法作用要素、疗效与手法安全性开展研究。杨学锋等^[22]应用三维有限元模型研究模拟腰部拔伸按压手法时腰椎内部结构变化,得出模拟按压的最大压力及最佳角度。张晓刚等^[23]构建健康者L3~S1模型,模拟拔伸按压手法,得出在设定的条件下手法治疗腰椎疾患是安全的。鉴于目前国内针对腰椎间盘突出症的特色手法研究属于空白,罗才贵等^[3]于2005年成功构建健康者L2~L5节段三维有限元模型,结果显示踩跷的9种工况均能增加L4~L5小关节应力以及L4~L5椎间盘应力和矢状位移,降低L4~L5椎间孔高度和椎间隙后缘高度,增加L4~L5椎间孔横径和椎间隙前缘高度,90°或60°向下施予21N时对于L4~L5椎间盘的前移、椎间孔横径增加和椎间隙高度调节较其余7种工况更明显,该研究的成果对踩跷法的临床推广应用有较大指导意义。2011年罗才贵等延续上次研究,开展了腰椎有限元模型拓展及踩跷对腰部应力应变时效的研究,进一步完善腰椎模型,探讨踩跷法手法要素与疗效的相关性,以上研究开启了手法应用于手法优势病种研究的新纪元,为后期手法研

究指明了方向。

3 总结与展望

推拿以手法作为防治疾病的主要手段,是中医学的重要组成部分之一。手法基础研究薄弱是制约推拿发展的严重障碍。综上所述,利用有限元分析法研究脊柱推拿,具有其他力学实验手段不可替代的作用,可以很好地模拟各种腰部推拿手法状态,得到与生物力学实验基本一致的结论,并与在体模型生物力学结果互相验证,给手法的研究注入了新的活力。

但目前腰椎有限元模型尚有一定的局限性:①有限元模型资料多来源于健康人、解剖学资料或尸体资料,缺少临床可靠性;②有限元模型能根据高精度薄层CT扫描比较精细的模拟人体骨性结构和形态,对于椎间盘突出物与神经根的相对位置、纤维环的损伤情况等精细结构尚难模拟;③基于现有检查技术难以获得足够和可靠的腰部肌肉数据,只能借助离体解剖学数据建模,而离体解剖所得数据可能与生理情况存在差异,从而忽略了肌肉对节段的作用力;④就目前情况而言,组织材料的各项异性不均匀性和非线性等使自身的结构关系难以确定,单元的划分、节点的选择、载荷及边界条件的规定在一定程度上也是人为的;⑤有限元模型能够反映机体瞬时、定点的力学特性是静态过程,而推拿手法是一个动态过程,机体本身的组织活性、衰退过程及修复能力亦是动态变化的过程;⑥高精度建模单元划分多,产生大数量统计数据,计算机数据处理技术局限、费用的限制使模型精度受到影响。

有限元模型的局限性使有限元模型实际应用范围受限,研究主要集中在构建模型和检验模型的有效性上,阻碍了手法在临床上的推广。随着有限元软件功能的不断开发,有望在今后的研究中应用有限元方法低成本、可重复性强的特点,深化对疾病理论的研究及疾病发生、发展的认识,针对更多推拿治疗优势病种进行手法研究,为个体化手法治疗方案的选择提供可靠的依据,为手法推广应用打下基础。

参考文献

- [1] Atlas SJ, Delitto A. Spinal stenosis: Surgical versus nonsurgical treatment[J]. Clin Orthop Relat Res, 2006, 443: 198-207.
- [2] 李万林, 黄靖宇. 踩跷治疗腰椎间盘突出症100例[J]. 中国中医药, 2010, 8(4): 39-40.
Li WL, Huang JY. 100 cases of stepping lumbar treating lumbar disc herniation[J]. Chin Med Modern Dist Educ Chin, 2010, 8(4): 39-40.
- [3] 罗建, 丰芬, 罗才贵, 等. 螺旋CT三维重建踩跷力学参数对腰椎椎间孔及椎管内切圆面积的影响[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2008, 12(30): 5837-5840.
Luo J, Feng F, Luo CG, et al. Influence of stepping lumbar mechanical parameters on intervertebral foramen of lumbar vertebra and vertebral canal inner tangent circle area: Evaluation of spiral CT reconstruction[J]. J Clin Rehab Tissue Engineering Res, 2008, 12(30): 5837-5840.

- [4] 蓝岚, 罗建, 罗才贵, 等. 踩跷法治疗腰椎间盘突出症临床应用概况[J]. 中医药学报, 2009, 37(2): 49-50.
Lan L, Luo J, Luo CG, et al. Summary on the clinical application of stepping lumbus therapy to treating lumbar disc herniation[J]. Acta Chin Med Pharm, 2009, 37(2): 49-50.
- [5] 李义凯, 查和萍, 钟世镇. 脊柱推拿基础研究的新思路: 计算机模拟与可视化技术[J]. 中国康复医学杂志, 2003, 18(7): 431-432.
Li YK, Zha HP, Zhong SZ. New ideas of basic research on spinal Tuina therapy: Computer simulation and visualization[J]. Chin J Rehab Med, 2003, 18(7): 431-432.
- [6] 徐海涛, 张美超, 徐达传, 等. 三种前屈角度下坐位旋转手法对腰椎间盘突出作用的有限元分析[J]. 中国疗养医学, 2008, 17(2): 65-67.
Xu HT, Zhang MC, Xu DC, et al. Analysis of effect on lumbar disc of rotation manipulation in three ante flexed levels by finite element[J]. Chin J Convalescent Med, 2008, 17(2): 65-67.
- [7] Belytschko TB, Andriacchi TP, Schuhz AB, et al. Analog studies of forces in human spine: Computational techniques[J]. J Biomech, 1973, 6(4): 361-371.
- [8] 胡勇, 谢辉, 杨述华. 三维有限元分析在脊柱生物力学中应用研究[J]. 医用生物力学, 2006, 21(3): 246-247.
Hu Y, Xie H, Yang SH. Utilization of three-dimensional finite element method in spinal biomechanics[J]. J Med Biomech, 2006, 21(3): 246-47.
- [9] Nie WZ, Ye M, Liu ZD, et al. The patient-specific brace design and biomechanical analysis of adolescent idiopathic scoliosis[J]. Biomech Eng, 2009, 131(4): 41-47.
- [10] 彭春政, 张胜年, 陆爱云. 人体躯干骨骼-肌肉-韧带结构三维有限元模型的建立和验证[J]. 中国运动医学杂志, 2010, 29(6): 702-705.
Peng CZ, Zhang SN, Lu AY. Development and validation of 3D finite element model of human trunk[J]. Chin J Sports Med, 2010, 29(6): 702-705.
- [11] Tropiano P, Thollon L, Amoux PJ, et al. Using a finite element model to evaluate human injuries application to the humos model in whip lash situation[J]. Spine, 2004, 29(16): 1709-1716.
- [12] Yoganadan N, Kumaresan S, Voo L, et al. Finite element applications in human cervical spine modeling[J]. Spine, 1996, 21(15): 1824-1834.
- [13] 谭军, 万卫平, 王明鹏, 等. 三维有限元分析正常人腰椎椎体的应力分布[J]. 第二军医大学学报, 1997, 18(6): 566-568.
Tan J, Wan WP, Wang MP, et al. Evaluation of stress distribution analysis of lumbar vertebral body by 3D finite element analysis[J]. Acad J 2nd Mil Med Univ, 1997, 18(6): 566-568.
- [14] 鲍春雨, 刘晋浩. 人体脊柱腰椎节段三维有限元建模[J]. 中国科技论文在线, 2008, 3(8): 598-601.
Bao CY, Liu JH. Three-dimensional finite element modeling of human body lumbar[J]. Sciencepaper Online, 2008, 3(8): 598-601.
- [15] 付裕, 阮狄克, 霍洪军, 等. 基于 CT 扫描 CAD 技术建立下腰椎三维有限元模型[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2011, 15(9): 1557-1561.
Fu Y, Ruan DK, Huo HJ, et al. Construction of a three-dimensional finite element model of lower lumbar spine based on computed tomography images and computer aided design[J]. J Clin Rehab Tissue Engineering Res, 2011, 15(9): 1557-1561.
- [16] 叶淦湖, 张美超, 李义凯. 模拟推拿时腰椎小关节有限元模型的生物力学分析[J]. 广州中医药大学学报, 2003, 20(3): 195-197.
Ye JH, Zhang MC, Li YK. Biomechanical analysis of finite element model of lumbar facet joint during manipulation[J]. J Guangzhou Univ Tradit Chin Med, 2003, 20(3): 195-197.
- [17] Zander T, Rohlmann A, Burra NK, et al. Estimation of muscle forces in the lumbar spine during upper-body inclination[J]. Clin Biomech, 2001, 16(1): 73-80.
- [18] Li C, Guilak F, Lori AS. Pericellular matrix mechanics in the annulus fibrosus predicted by a three-dimensional finite element model and in situ morphology[J]. Cell Mol Bioeng, 2009, 2(3): 306-319.
- [19] Kato Y, Kanchiku T, Imajo Y, et al. Flexion model simulating spinal cord injury without radiographic abnormality in patients with ossification of the longitudinal ligament: The influence of flexion speed on the cervical spine[J]. Spinal Cord Med, 2009, 32(5): 555-559.
- [20] 李延红, 张晓刚, 李具宝, 等. 腰椎拔伸手法三维有限元模型分析[J]. 浙江中医杂志, 2010, 45(12): 879-880.
Li YH, Zhang XG, Li JB, et al. Three-dimensional finite element analysis of lumbar pulling and stretching manipulation[J]. Zhejiang J Tradit Chin Med, 2010, 45(12): 879-880.
- [21] 徐海涛, 徐传达, 李义凯. 坐位旋转手法时退变腰椎间盘内在应力和位移的有限元分析[J]. 中国康复医学杂志, 2007, 22(9): 769-771.
Xu HT, Xu DC, Li YK. Analyses of intra-stress and displacement of degenerate lumbar disc during simulating rotatory manipulation by finite element[J]. Chin J Rehab Med, 2007, 22(9): 769-771.
- [22] 杨学锋, 李具宝, 李延红, 等. 模拟按压手法腰椎运动节段三维有限元模型分析[J]. 中国中医骨伤科杂志, 2009, 17(10): 18-19.
Yang XF, Li JB, Li YH, et al. A Three-dimensional finite element model for simulating pressing manipulation on lumbar vertebrae[J]. Chin J Tradit Med Traumatol & Orthoped, 2009, 17(10): 18-19.
- [23] 张晓刚, 董建华, 杨学峰, 等. 三维有限元腰椎节段模型上模拟拔伸按压手法的生物力学分析[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2010, 14(22): 4000-4004.
Zhang XG, Dong JH, Yang XF, et al. Biomechanical analysis of simulating pulling, extension and compression on the three-dimensional finite element model of lumbar segments[J]. J Clin Rehab Tissue Engineering Res, 2010, 14(22): 4000-4004.

(编辑: 叶亮)