

# 有限元分析在过伸复位治疗骨质疏松性椎体压缩性骨折生物力学研究中的应用进展

彭小东<sup>1</sup>, 张晓刚<sup>2</sup>, 赵文韬<sup>1</sup>, 秦大平<sup>2</sup>, 王柄詠<sup>1</sup>

(1. 甘肃中医药大学, 甘肃 兰州 730000;

2. 甘肃中医药大学附属医院, 甘肃 兰州 730000)

**摘要** 过伸复位是治疗骨质疏松性椎体压缩性骨折(osteoporotic vertebral compression fracture, OVCF)的传统方法,可取得满意的临床疗效,但复位精确度不高、复位标准模糊,作用机制尚缺乏足够的生物力学证据。将有限元分析应用于过伸复位治疗 OVCF 的生物力学研究,可建立更精细、更符合人体生物学特性的三维模型,并可模拟过伸复位,分析过伸复位治疗 OVCF 的生物力学机制,为过伸复位的临床应用提供依据,更精确、有效地指导临床治疗。本文从骨折模型建立、过伸复位模拟、生物力学分析 3 个方面对有限元分析在过伸复位治疗 OVCF 生物力学研究中的应用进展进行了综述。

**关键词** 骨质疏松性骨折;骨折,压缩性;脊柱骨折;有限元分析;生物力学;过伸复位;综述

骨质疏松症是一种以骨量降低、骨微观结构破坏、骨脆性增加为特征的骨代谢疾病<sup>[1]</sup>。随着人口老龄化的不断加剧,骨质疏松症的发病率呈显著上升趋势<sup>[2]</sup>。骨折是骨质疏松症的常见并发症,骨质疏松性椎体压缩性骨折(osteoporosis vertebra compressed fracture, OVCF)被认为是老年人健康开始衰退的前兆<sup>[3]</sup>,一名 50 岁的女性在一生中有 40% 的机会患 OVCF<sup>[4]</sup>。以过伸复位为代表的传统非手术疗法治疗 OVCF 可取得满意的疗效,且与手术治疗相比具有患者依从性高、费用低、损伤小等优点<sup>[5-6]</sup>。但过伸复位治疗 OVCF 存在复位精确度不高、复位标准模糊等问题,且其作用机制尚缺乏足够的生物力学证据。有限元法是解决工程和数学物理问题的数值分析方法,20 世纪 70 年代 Brekelmans 等将有限元法引入骨科研究领域后,其在脊柱生物力学研究方面的应用尤为广泛。应用有限元法建立的三维有限元模型因在力学性能测试方面具有准确、客观和可重复的优势而广受学者关注。笔者从骨折模型建立、过伸复位模拟、生物力学分析 3 个方面对有限元分析在过伸复位治疗 OVCF 生物力学研究中的应用进展进行综述。

## 1 骨折模型建立

建立符合生物力学特性的三维模型是进行力学研究的前提,越来越多学者注重所建模型的真实性和精确性,而模型建立的方法也日趋成熟。费琦等<sup>[7]</sup>根

据单纯性骨质疏松 T<sub>12</sub> 椎体的 CT 影像资料建立了 T<sub>12</sub> 及邻近节段的三维有限元模型,并初步分析了不同轴向载荷下椎体各部分的应力变化。王健等<sup>[8]</sup>在正常胸腰椎有限元模型的基础上,通过运用 Hyper 网格变形技术,成功建立了不同压缩程度的椎体压缩性骨折有限元模型。贾宏禹等<sup>[9]</sup>在正常椎体三维有限元模型的基础上,根据骨折机制采用增加轴向载荷的方法,成功建立了椎体压缩骨折的三维模型。简言之,应用有限元分析软件,可以根据骨折椎体的 CT、MRI 影像数据直接构建 OVCF 三维模型,也可以在正常椎体的有限元模型上,通过模拟加载间接构建。前者建立的模型直接、针对性强,但所建模型并不具有普遍性,而后者建立的模型更真实、精度更高<sup>[10]</sup>。

## 2 过伸复位模拟

在 OVCF 三维有限元模型上,临床医生可进行过伸复位模拟。李孝林等<sup>[11-12]</sup>在建立的胸腰椎椎体压缩性骨折有限元模型上,模拟过伸复位手法,在 T<sub>11</sub> 椎体上端施加一个纵向牵引力模拟复位时的纵向牵引力,并分别对相应椎体的棘突顶点施加垂直于椎体、大小 3.0 cm 的位移,测定在复位中受压椎体左右关节突关节的应力,并对不同过伸支点的复位效果进行了比较,结果表明过伸复位的最佳支点应位于骨折椎体棘突顶点,而复位时以关节突关节为支点,其承受的压应力与后期患者的腰背痛有关。

## 3 生物力学分析

近年来,有限元分析被越来越多地应用于中医传

统手法的力学研究,为手法的临床应用提供了一定的理论基础<sup>[13-14]</sup>。谢孝枫等<sup>[15]</sup>采用有限元分析对过伸复位时胸腰椎压缩骨折椎体的受力变化进行观察,并将观察结果与传统的人体脊柱力学实验结果进行相比,发现两者的试验结果相同,认为与传统的实验方法相比,有限元分析具有成本低、更精准、易操作的优点。舒先涛等<sup>[16]</sup>应用有限元分析对采用不同复位支点进行过伸复位时前纵韧带的受力情况进行了观察,发现随着复位时间的延长,被压缩椎体的复位位移增大,前纵韧带的动力作用逐渐体现并不断增大,而且前纵韧带在整个复位过程中不论是应力分布还是位移变化都表现出非线性的特性。刘迎军等<sup>[17]</sup>利用有限元分析观察了过伸复位治疗胸腰椎压缩性骨折时椎间盘在复位过程中的力学特性,在复位后椎间盘发生了显著的牵张变化,表明在复位过程中椎间盘起到了重要作用。这些研究采用有限元分析研究脊柱不同部位的受力情况,初步明确了过伸复位的力学机制,为过伸复位在 OVCF 治疗中的应用提供了一定的理论指导。

#### 4 小 结

有限元分析作为人体生物力学研究的重要方法之一,可建立更精细、更符合真实生物学特性的 OVCF 三维模型,并可模拟过伸复位手法,分析过伸复位治疗 OVCF 的生物力学机制,更加精确、有效地指导临床治疗。随着数字化成像设备的发展和多学科的交叉融合,有限元分析将在骨质疏松患者骨折风险评估、OVCF 的治疗等方面发挥更重要的作用。

#### 5 参考文献

- [1] 中华医学会骨质疏松和骨矿盐疾病分会. 原发性骨质疏松症诊疗指南(2017)[J]. 中华骨质疏松和骨矿盐疾病杂志, 2017, 10(5): 413-443.
- [2] 邓昶, 周明旺, 付志斌, 等. 骨质疏松症的中医病因病机及其治疗进展[J]. 中国骨质疏松杂志, 2017, 23(8): 1105-1111.
- [3] 史光华, 李鹏翠, 卫小春. 骨质疏松椎体压缩骨折的治疗进展[J]. 中国骨伤, 2013, 26(10): 878-882.
- [4] TSUDA T. Epidemiology of fragility fractures and fall prevention in the elderly: a systematic review of the literature[J]. Curr Orthop Pract, 2017, 28(6): 580-585.
- [5] 吴祖同, 张铁群, 尹建文. 过伸复位联合单侧入路椎体成形术治疗骨质疏松性胸腰椎椎体压缩骨折的疗效评价[J]. 疑难病杂志, 2017, 16(8): 809-812.
- [6] 张愈峰, 龚辉, 侍德. 过伸体位复位联合 Confidence 高黏度椎体骨水泥椎体成形术治疗椎体骨质疏松压缩性骨折[J]. 中国矫形外科杂志, 2016, 24(2): 110-113.
- [7] 费琦, 李秋军, 杨雍, 等. 胸腰段骨质疏松性椎体压缩骨折三维有限元模型的建立和应力分析[J]. 中华医学杂志, 2010, 90(41): 2943-2946.
- [8] 王健, 李凯, 陈博, 等. 胸腰椎椎体压缩性骨折三维有限元模型的建立和分析[J]. 中国矫形外科杂志, 2016, 24(16): 1498-1503.
- [9] 贾宏禹, 李孝林, 吕志鹏. 基于正常人体资料建立胸腰椎多椎体压缩性骨折三维有限元模型[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2009, 13(52): 10247-10250.
- [10] 张磊, 林松青, 杨曾静, 等. 脊柱胸腰段及其压缩骨折有限元模型的建立及意义[J]. 中国中医骨伤科杂志, 2015, 23(2): 21-23.
- [11] 李孝林, 任伯绪. 过伸复位治疗胸腰椎单纯压缩性骨折的有限元分析[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2011, 15(17): 3127-3130.
- [12] 任伯绪, 李孝林. 过伸复位治疗胸腰椎压缩性骨折关节突关节动态力学有限元分析[J]. 山东医药, 2010, 50(14): 4-5.
- [13] 王辉昊, 陈博, 詹红生. 有限元分析技术在颈椎推拿手法生物力学研究中的应用[J]. 生物医学工程学杂志, 2013, 30(5): 1123-1126.
- [14] 张晓刚, 秦大平, 宋敏, 等. 拔伸按压手法对退变腰椎节段应力分布影响的有限元分析[J]. 中华中医药杂志, 2013, 28(10): 3108-3114.
- [15] 谢孝枫, 郑斌, 顾雪平, 等. 过伸复位治疗胸腰椎压缩性骨折的三维有限元分析[J]. 创伤外科杂志, 2017, 19(10): 737-740.
- [16] 舒先涛, 李孝林. 胸腰椎压缩性骨折患者过伸复位过程中前纵韧带动态力学的有限元分析[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2009, 13(48): 9567-9569.
- [17] 刘迎军, 李孝林. 有限元分析过伸复位治疗胸腰椎压缩性骨折的椎间盘动态力学[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2011, 15(4): 589-592.

(收稿日期: 2018-03-21 本文编辑: 杨雅)