

· 综 述 ·

关节突关节压力负荷的生物力学研究进展

刘强¹, 王飞², 张军¹

(1. 中国中医科学院望京医院, 北京 100102;

2. 中国人民解放军空军总医院, 北京 100142)

摘 要 关节突关节由相邻两个椎骨的上、下关节突构成, 关节面曲度很小, 属于微动关节, 是脊椎运动节段的重要组成部分。关节突关节承受异常的活动或应力时易发生退行性变, 可压迫脊髓和脊神经根。关注关节突关节的生物力学变化, 可以为脊源性疼痛的基础研究和临床治疗提供更多的参考和依据。本文从基础研究和临床研究两个方面对关节突关节压力负荷的生物力学研究进展进行了综述。

关键词 椎关节突关节; 生物力学; 综述

关节突关节由相邻两个椎骨的上、下关节突构成, 关节面曲度很小, 属于微动关节^[1], 是脊椎运动节段的重要组成部分。有研究发现, 椎间活动度减小是预判颈痛和腰痛患者是否适合采取脊柱手法治疗的重要指标^[2-4]。椎间活动度减小被认为是椎间关节半脱位的生物力学特征之一^[5]。脊柱手法可以改善椎间关节的活动度^[6]。关节突关节参与构成椎管和椎间孔的后壁, 前方与脊髓和脊神经根相邻, 当关节突关节承受异常的活动或应力时易发生退行性变, 可压迫脊髓和脊神经根^[7]。因而, 关注关节突关节的生物力学变化, 可以为脊源性疼痛的基础研究和临床治疗提供更多的参考和依据。现就关节突关节压力负荷的生物力学研究进展进行综述。

1 关于关节突关节压力负荷的基础研究

因关节突关节的退化、僵硬而导致的脊源性疼痛, 越来越受到学者们的关注。关节突关节和椎间盘构成了三关节复合体, 在脊柱的运动和稳定中起到了重要作用。而当关节突关节承受异常的活动或应力时, 易发生退行性变或骨性关节炎。

郭伟^[8]通过不同手法作用于 L₃₋₄、L₄₋₅、L₅S₁ 关节突后的生物力学研究结果显示, L₃₋₄、L₄₋₅ 关节所受压力冲击类手法最大, 松动手法类次之, 关节所受单纯旋转手法压力最小, 3 组关节压力存在明显差异; 定点施力会使具体腰椎节段的扭力增加, 以 L₄₋₅ 关节压力增大最为明显; 冲击类手法和松动类手法对 L₅S₁

关节内压力比较无明显差异, 而以单纯旋转手法对 L₅S₁ 关节压力最小。毕胜等^[9]将标本固定于生物材料实验机上, 应用计算机定量控制, 模拟 3 种推拿手法治疗时的状态, 即斜扳手法(不加任何载荷, 腰椎单纯旋转 15°)、坐位旋转手法(腰椎纵向压力 400 N, 前屈 15°, 腰椎单纯进行旋转 15°)、牵扳手法(腰椎前屈 15°, 纵向牵引 400 N, 腰椎单纯进行旋转 15°), 并将压敏片植入腰椎关节突关节, 测量采用不同手法时腰椎关节突关节内的应力; 结果显示, L₃₋₄ 关节突关节在采用斜扳手法时应力最小, 坐位旋转手法时应力最大; L₄₋₅ 关节突关节在采用坐位旋转手法时应力最小, 斜扳手法时应力最大; L₅S₁ 关节突关节在采用坐位旋转手法时应力最小, 斜扳手法时最大。上述 2 个实验如果单纯从力大小来看, 力越大作用于关节突关节的效果越明显, 也就是说对黏连、僵硬较严重的退变关节突关节松动效果应该越好。因而, 定点旋转和斜扳手法应是临床效果较好的方法。吴浩波等^[10]利用三维非线性有限元分析, 研究 500 N 压力和 15 Nm 弯矩下的脊椎前屈、后伸、侧弯和扭转时腰椎应力分布。结果显示, 在 1500 N 压力下, 两侧关节突关节分别传导 109.4 N 和 106.6 N, 约占腰椎运动单元总负荷的 14.4%; 各弯矩负荷下, 关节突关节负荷在扭转和后伸时较大, 其次是侧弯, 前屈时最小; 扭转时, 与扭转方向相对侧关节突关节面相互靠近, 传导的负荷和软骨应力较高, 高应力区为上关节突中部, 而另一侧几乎不受力。该研究结果提示, 关节突关节传导的负荷值以及关节软骨的应力分布随着运动负荷的变化而不同。徐力鹏等^[11]实验研究结果显示, L₄₋₅ 关节

突关节承受轴向压缩载荷的 20% ;前屈时关节突关节受力减小,后伸时受力增大;侧弯时对侧关节突关节受力增大,同侧关节突关节受力减小;轴向旋转时同侧关节突关节不受力,对侧关节突关节则受力极大。此研究结果提示,关节突关节承担约 1/5 的轴向压缩负荷,运动或手法作用下,后伸会加重关节的负荷,而旋转腰椎时对侧关节突关节的应力变化是最大的,同侧不会受到作用。

相对于单纯的生物力学研究,有些学者关注更为复杂的骨-肌复合状态下关节突关节的压力变化和病理状态下关节突关节应力。房敏等^[12]于 C_{3~4}、C_{4~5}、C_{5~6}、C_{6~7} 颈椎间盘前缘和关节突关节处理置 8 个微型压力传感器,应用模拟颈伸肌正常生理段性能的弹簧,观察颈椎结构包括颈伸肌等在颈椎活动时的压力变化情况。结果显示,随前屈角度的增加,颈椎间盘内的压力和颈伸肌的拉力明显增加;而随后伸角度的增加,关节突关节内的压力明显增加;加载模拟伸肌后,椎间盘和关节突关节压力明显减小。此研究结果说明,肌肉组织承担了部分关节突关节压力负荷,抵抗了力对关节的刺激作用。因此,笔者认为对于脊源性疼痛,肌肉力量和稳定性训练是必要的和重要的。王诗成等^[13]通过三维有限元的方法,分别建立轻、中、重度颈椎退变模型,分析椎间盘退变对颈椎运动节段生物力学的影响;结果显示,在 45 N 的垂直载荷下,正常模型、中度及重度退变模型椎间盘轴向位移及向外膨出位移逐渐变小,轻度退变模型椎间盘轴向位移及膨出位移比正常模型增大,4 组模型纤维环轴向压缩力逐渐增大,髓核内压力逐渐减小;正常模型、中度及重度退变模型关节突关节接触力逐渐减小,轻度退变模型关节突关节接触力较正常模型轻度增大。这说明当椎间盘和关节突关节联合承担负荷时,初期由于椎间盘最早退变,弹性模量降低,轻度和中度退变模型关节突关节应力增大,刺激关节增生,产生疼痛,随着椎间盘退变加重,关节突关节增生后出现了一种从不稳定到稳定的病理状态,反而限制了关节突关节的活动,椎间盘又开始重新代偿工作,承担更多的应力。

戴益科^[14]建立正常人体 L₃~S₁ 三维有限元模型及腰椎前凸角度增大 20°、30°、40°时的模型,在 L₃ 椎体上表面施加 500 N 压力模拟轴向压缩,施加 10 Nm 的力矩模拟腰椎前屈、后伸、侧屈等各种生理载荷,分

析关节突关节应力变化;结果显示,胸腰段后凸畸形后的代偿性腰椎前凸增大时,下腰椎关节突关节的应力变化明显,应力会相应增加。这可能是关节突关节退行性改变及下腰痛的原因之一。

2 关于关节突关节压力负荷的临床研究

近年来随着脊柱手术术式和内固定技术的快速发展,研究者更多地应用关节突关节压力测定来评定何种术式或内固定器械更符合人体脊柱的生物功能。

胡斌^[15]取 11 具新鲜青壮年尸体颈椎标本,将特制压力传感器置入 C_{5~6} 关节突关节内,在颈椎标本上施加轴向(0~150 N)、侧弯(0~1.5 Nm)、后伸(0~1.5 Nm)、前屈(0~1.5 Nm)分级载荷,测量 C_{5~6} 椎间盘完整组、C_{5~6} 椎间盘摘除组和 C_{5~6} Bryan 颈人工椎间盘置换组关节突内的压力。结果显示,在轴向、前屈、对侧弯、同侧弯 4 种工况相同载荷下,椎间盘摘除组 C_{5~6} 关节突关节的压力明显小于人工椎间盘置换组与椎间盘完整组;在后伸载荷下椎间盘摘除组 C_{5~6} 关节突关节内的压力明显大于人工椎间盘置换组与椎间盘完整组;人工椎间盘置换组 C_{5~6} 关节突关节内的压力在轴向、前屈、侧弯、后伸 4 种工况下与椎间盘完整组比较无显著差异。杨红波等^[16-18]对人工颈椎间盘置换术后邻近上位和下位关节突关节压力的变化进行研究,发现在轴向、前屈、同侧弯、对侧弯 4 种工况相同载荷下,人工椎间盘组与椎间盘完整组比较,差异无统计学意义;由此认为 C_{5~6} Bryan 颈人工椎间盘和正常人体椎间盘的生物力学性质近似。陈雷等^[19-20]探讨了双节段颈椎椎间盘摘除、人工椎间盘置换和前路椎间融合内固定对邻近下位节段关节突关节内压力的影响,结果发现双节段人工颈椎椎间盘置换后符合颈椎正常生物力学要求,颈椎椎间盘摘除后改变了颈椎应力的分布,会导致其发生退变或退变加速,而 C_{4~5}、C_{5~6} 双节段椎间融合内固定后邻近下位节段 C_{6~7} 关节突关节压力明显增大,也能导致其发生退变或退变加速。

原芳等^[21]运用有限元手段比较两种人工颈椎间盘置换后关节突关节应力变化后发现,人工椎间盘置换后,关节突关节应力明显增加,这可能与切除前纵韧带,缺少前部约束有关;而 Prestige LP 人工椎间盘置换后关节突关节应力的增加大于 Discover 人工椎间盘。这与在尸体标本上的研究^[15-20]结果不一致,笔者认为可能与研究手段有关。有限元研究通过数

学模型进行推算,其不破坏关节的完整性,但结果与真实情况是否一致还需要进一步验证。而直接测量法可以直接获取关节内压力,但需要打开关节囊,破坏了关节突关节的完整性,与实际关节内压力可能有区别。

唐恒涛等^[22]采用 6 具新鲜尸体腰椎标本,研究观察 ISOBAR TTL 半坚强动态固定系统对腰椎固定节段关节突关节载荷的影响。结果显示,TTL 固定组 L₃₋₄ 关节突关节压力在直立、前屈、后伸、侧屈、侧旋等状态下均小于无固定组;TTL 固定组在直立、前屈、后伸、侧屈和侧旋等状态时关节突关节压力分别减少为垂直载荷(400 N)的 4.01%、0.74%、3.78%、3.45% 和 19.6%,关节突关节负荷也分别减少为正常的关节突关节负荷的 24.99%、17.23%、17.0%、18.40% 和 35.99%;椎间盘摘除后关节突关节压力在直立、后伸、侧屈和侧旋等状态下较正常明显增加,但前屈状态则明显减小。此结果说明 TTL 半坚强动态固定系统能够起到明显缓解腰椎固定节段关节突关节载荷的作用。

几项包括有限元和生物力学的研究^[23-26]证实,椎间盘置换组关节突关节压力负荷与椎间盘完整组比较,差异无统计学意义,这提示人工椎间盘置换恢复了椎间关节的正常生物力学性质;但是椎间融合组上下节段的关节突关节压力负荷较椎间盘完整组大,说明行椎间融合术后会加重关节突关节的退变。陈肇辉等^[27]研究认为,Dynesys 动力固定系统不改变关节突关节的峰值压力,但是在屈曲和侧屈状态下可以显著减少关节突关节的峰值压力。陈肇辉^[28]实验结果显示,采用 Coflex 动态内固定系统固定后,椎间稳定性增加,关节突关节压力峰值也显著下降,说明 Coflex 撑开作用对植入节段关节突关节有保护作用;同时也增加了上下邻近关节突关节的接触,载荷传递时力线向后移,使关节突关节压力增加,这是 Coflex 动态内固定系统对相邻节段关节突关节的不利影响,可能会引发新的关节突关节退变。

3 小 结

纵观上述研究,关节突关节承受的负荷因脊柱活动方式而不同。前屈位减少,后伸位增加,旋转时对侧关节突关节应力增加。另外,椎旁肌肉可承担关节突关节的部分压力负荷。这对于临床上通过减少腰椎后伸角度及加强椎旁肌训练来减少关节突关节的负荷有指导意义。不同脊柱手法对关节突关节压力

的影响不同。冲击类手法时关节突关节压力较松动类手法大,定点施力使作用节段关节压力增大。但关于关节突关节压力与手法有效性及安全性的关系尚不清楚。关于人工椎间盘置换、椎间融合和单纯椎间盘摘除术后病变节段及相邻节段关节突关节压力变化问题,生物力学研究结果显示人工椎间盘置换不改变病变节段及相邻节段关节突关节压力,但采用有限元手段得到的结果却是人工椎间盘置换后病变节段关节突关节应力明显增加,这可能与研究方法的不同有关。

目前关于关节突关节生物力学的研究较多,并取得了不少研究成果。但关于关节突关节压力与手法有效性及安全性的关系尚不清楚,关节突关节的生物力学特征与由关节突关节引发的疼痛的关系也不清楚,这些问题将是今后研究的重点。

4 参考文献

- [1] 曹述铁. 人体解剖学[M]. 郑州:河南科学技术出版社, 2007:18.
- [2] Puentedura EJ, Landers MR, Cleland JA, et al. Thoracic spine thrust manipulation versus cervical spine thrust manipulation in patients with acute neck pain; a randomized clinical trial[J]. J Orthop Sports Phys Ther, 2011, 41(4): 208-220.
- [3] Saavedra-Hernández M, Ssavoredra-Hernández M, Castro-Sánchez AM, et al. Predictors for identifying patients with mechanical neck pain who are likely to achieve short-term success with manipulative interventions directed at the cervical and thoracic spine[J]. J Manipulative Physiol Ther, 2011, 34(3):144-152.
- [4] Cleland JA, Fritz JM, Kulig K, et al. Comparison of the effectiveness of three manual physical therapy techniques in a subgroup of patients with low back pain who satisfy a clinical prediction rule; a randomized clinical trial[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2009, 34(25):2720-2729.
- [5] Henderson CN. The basis for spinal manipulation; chiropractic perspective of indications and theory[J]. J Electromyogr Kinesiol, 2012, 22(5):632-642.
- [6] Keller TS, Colloca CJ, Bêliveau JG. Force-deformation response of the lumbar spine: a sagittal plane model of posteroanterior manipulation and mobilization[J]. Clin Biomech (Bristol, Avon), 2002, 17(3):185-196.
- [7] 严振国. 局部解剖学[M]. 北京:中国中医药出版社, 2006:123.
- [8] 郭伟. 腰椎关节不同手法的临床疗效分析和手法生物力学特征研究[D]. 北京:中国中医科学院, 2014:153.

- [9] 毕胜,李义凯,汪爱媛,等.不同推拿手法下腰椎小关节应力变化的观察[J].中国康复医学杂志,2001,16(3):144-145.
- [10] 吴浩波,严世贵,陈其昕,等.不同运动负荷下腰椎应力的三维非线性有限元分析[J].中国运动医学杂志,2004,23(5):480-484.
- [11] 徐力鹏,肖进,张美超,等.腰椎小关节承载功能的三维有限元分析[J].创伤外科杂志,2006,8(2):140-143.
- [12] 房敏,姜淑云,洪水棕.颈伸肌群对颈椎间盘和小关节内压力变化的影响[J].中国组织工程研究与临床康复,2008,12(15):2847-2850.
- [13] 王诗成,潘磊,黄必留,等.颈椎间盘退变对颈椎生物力学影响的有限元研究[J].颈腰痛杂志,2015,36(3):175-178.
- [14] 戴益科.胸腰段后凸畸形对下腰椎小关节应力分布影响的三维有限元分析[D].大连:大连医科大学,2014:53.
- [15] 胡斌, Bryan. 颈人工椎间盘置换后同位关节突关节内压力变化的生物力学研究[D].长沙:中南大学,2007:10-14.
- [16] 杨红波,李康华,唐磊彬,等.C5/6 椎间盘置换术后 C3/4 关节突关节内压力变化的生物力学研究[J].湖南师范大学学报:医学版,2012,9(3):68-71.
- [17] 胡孔和,吴强,李康华,等.人工颈椎间盘置换术后邻近下位关节突关节压力变化的生物力学研究[J].中国临床解剖学杂志,2009,27(4):474-476.
- [18] 吴强,卢海波,李康华,等.颈椎前路不同术式对邻近下位关节突关节压力影响的生物力学研究[J].国际医药卫生导报,2009,15(23):1-5.
- [19] 陈雷,李宜照,赵秀文,等.轴向载荷对双节段颈椎人工椎间盘置换邻下位关节突关节压力的影响[J].中国组织工程研究与临床康复,2009,13(52):10218-10222.
- [20] 陈雷,李宜照,赵秀文,等.双节段颈椎间盘融合内固定对邻近下位关节突关节生物力学的影响[J].山东医药,2009,49(42):87-88.
- [21] 原芳,蒲婷,廖振华,等.Prestige LP 和 Discover 人工颈椎间盘的生物力学有限元分析[J].北京生物医学工程,2014,33(1):13-20.
- [22] 唐恒涛,赵卫东,吴学建.ISOBAR TTL 半坚强动态固定系统对腰椎固定节段关节突关节载荷的影响[J].中华实验外科杂志,2015,32(3):593-595.
- [23] 王华,徐大启,胡建中,等.人工椎间盘置换对腰椎小关节应力影响的三维有限元分析[J].中国组织工程研究与临床康复,2010,14(26):4915-4919.
- [24] 李康华,肖文峰,胡建中,等.人工腰椎间盘置换后下位关节突关节内压力的变化[J].中国组织工程研究与临床康复,2008,12(4):631-634.
- [25] 胡新佳,李康华.腰椎间盘切除与人工椎间盘置换前后上位关节突关节内压力改变[J].中国修复重建外科杂志,2005,19(6):427-430.
- [26] 李康华,王华,雷光华,等.腰椎间盘切除与人工椎间盘对关节突关节内压力的影响[J].中国临床康复,2003,7(4):558-559.
- [27] 陈肇辉,侯铁胜.腰椎后路非融合技术生物力学研究进展[J].医用生物力学,2009,24(5):390-394.
- [28] 陈肇辉.腰椎棘突间撑开装置的三维有限元分析及临床应用研究[D].上海:第二军医大学,2010:50-51.

(2015-10-22 收稿 2015-12-10 修回)

《中医正骨》杂志 2014 年重点专栏目录(五)

2014 年第 10 期——脊柱退行性疾患专栏

- 1 腰椎融合与非融合在腰椎间盘突出症手术中的合理选择
(述评专家:河南省洛阳正骨医院 周英杰教授)
- 2 腰椎 Modic 改变面积与腰痛程度的关系
- 3 单枚与双枚椎间融合器植骨融合联合椎弓根钉棒系统内固定治疗腰椎滑脱的对比研究
- 4 钛网椎管成形植骨融合内固定术治疗老年退行性腰椎椎管狭窄症
- 5 颈后路有限化双开门椎管扩大纳米仿生骨棘突间植入术治疗多节段脊髓型颈椎病

参考文献著录格式

- [1] 周英杰.腰椎融合与非融合在腰椎间盘突出症手术中的合理选择[J].中医正骨,2014,26(10):3-6.
- [2] 张晓冬,王国柱,庄汝杰.腰椎 Modic 改变面积与腰痛程度的关系[J].中医正骨,2014,26(10):16-19.
- [3] 贺瑞,尚希福,张文志,等.单枚与双枚椎间融合器植骨融合联合椎弓根钉棒系统内固定治疗腰椎滑脱的对比研究[J].中医正骨,2014,26(10):20-24.
- [4] 任伟剑,项良碧,于海龙,等.钛网椎管成形植骨融合内固定术治疗老年退行性腰椎椎管狭窄症[J].中医正骨,2014,26(10):46-48.
- [5] 陈爽,杨勇,梅伟,等.颈后路有限化双开门椎管扩大纳米仿生骨棘突间植入术治疗多节段脊髓型颈椎病[J].中医正骨,2014,26(10):49-51.