

颈椎手法的生物力学研究进展

王逸松, 王辉昊

(上海中医药大学附属曙光医院, 上海 201203)

摘要 “筋出槽、骨错缝”作为颈椎病的核心病机,其本质是筋骨关系失衡,与现代生物力学中的颈椎动静力学失衡类似。颈椎手法能有效纠正颈椎“筋出槽、骨错缝”的病理状态,将其恢复到“骨正筋柔、筋骨合和”的平衡状态,从而达到治疗颈椎病的目的。针对颈椎手法的生物力学研究,是传统医学与现代生物技术的有机融合。研究颈椎手法的生物力学机制,对促进此类手法的良性发展具有重要意义。本文从颈椎手法的运动学和动力学参数测量与分析、颈椎手法对颈椎的生物力学影响两个方面,对颈椎手法的生物力学研究进展进行了综述,以期对颈椎手法的规范化和标准化提供理论依据与数据支撑。

关键词 颈椎病;手法;生物力学现象;综述

颈椎病是临床常见疾病,随着人们生活、工作方式的改变,其发病率逐步升高,且发病年龄呈现出低龄化的趋势^[1]。手法治疗颈椎病的安全性和有效性目前已得到国内外颈椎病研究领域专家的广泛认可^[2-3]。颈椎是“筋出槽、骨错缝”的好发部位之一^[4]。颈椎手法能有效纠正颈椎“筋出槽、骨错缝”的病理状态,将其恢复到“骨正筋柔、筋骨合和”的平衡状态^[5-6],从而达到治疗颈椎病的目的。颈椎“筋出槽、骨错缝”与现代生物力学中的颈椎动静力学失衡类似^[7]。研究颈椎手法的生物力学机制,对促进此类手法的良性发展具有重要意义^[8]。本文对颈椎手法的生物力学研究进展进行了综述,现总结报告如下。

1 颈椎手法的运动学和动力学参数测量与分析

手法的运动学和动力学参数包括手法操作过程中力的大小、方向、持续时间、角度、作用点等。随着相关设备和软件的发展更新,目前已有多种常用颈椎手法的运动学和动力学参数被采集并验证。刘迪等^[9-10]测定了颈部端提手法的动力学与运动学参数,并分析了采用该手法治疗后颈型颈椎病患者颈椎长度和角度的变化情况,结果显示端提瞬间受试者颈椎被提伸长度均值为 10.39 mm、颈椎屈伸角度均值为 5.81°、侧屈角度均值为 2.92°、旋转角度均值为 13.03°,为端提手法操作的标准化提供了数据支撑。邓真等^[11]借助 Runinsense 运动力学测量系统在体测量了

颈椎定位旋转扳法的动力学参数,测定结果体现了该手法操作过程中“寸劲”的特征。李正言等^[12]研究发现,与低年资医生相比,高年资医生实施颈部定点定向扳法时,预加载力、扳动力相对较大,而扳动时间相对较短,手法操作的力学参数更稳定,为中医手法的教学与传承提供了客观依据。郭鑫等^[13]采集了颈椎拔伸手法的部分运动学和动力学参数,结果显示手法实施过程中受试者的颈椎拔伸长度为 (8.80 ± 3.09) mm、拔伸角度为 $16.67^\circ \pm 6.61^\circ$ 。

除采集并验证手法的运动学和动力学参数外,借助力学测量技术评估手法操作时不同发力方向、不同体位、不同作用点之间的差异,也是国内外手法生物力学的重点。陈黎明等^[14]比较了仰卧定点复位法中沿水平横向发力与斜向发力对神经根型颈椎病疗效的影响,结果发现术者水平斜向发力可同时纠正椎体的旋转和侧倾移位,疗效优于水平横向发力。叶林强等^[15]运用有限元分析开展了不同体位下实施颈椎旋转手法的生物力学研究,发现在前屈位实施颈椎旋转手法时,目标椎体对侧下关节突的前上位移值最大,说明在前屈位实施颈椎旋转手法时,向健侧旋转可能更有利于整复关节突关节骨错缝。Chang 等^[16]基于 C₅₋₆ 筋出槽、骨错缝有限元模型比较了定位旋转扳法与不定位旋转扳法的生物力学效应,结果表明实施颈椎定位旋转扳法时椎间盘髓核压力的变化较小,相比不定位旋转扳法具有更直接的力学效果和更高的安全性。

此外,术者实施手法时的肌肉发力情况也是手法操作的重要参数。邓真等^[17-18]借助表面肌电技术采

基金项目:国家自然科学基金项目(81973871);上海市 2020 年度“科技创新行动计划”医学创新研究专项(20MC1920600)

通讯作者:王辉昊 E-mail: huihaowang@126.com

集了实施颈椎定位旋转扳法和颈椎旋提扳法时术者的上肢肌肉激活顺序和肌肉放电持续时间顺序,分析数据后认为实施颈椎定位旋转扳法的主要肌肉为肱二头肌,实施颈椎旋提扳法的主要肌肉为肱桡肌。

借助现代技术,研究者目前已采集并验证了多种颈椎手法的运动学和动力学参数,并在此基础上分析了手法操作时的发力方向等指标,这些指标在一定程度上反映了颈椎手法的力学特征,为此类手法的量化研究提供了理论依据,有助于颈椎手法的标准化与规范化。

2 颈椎手法对颈椎的生物力学影响

2.1 颈椎手法对颈椎椎体的生物力学影响 脊柱内源性稳定由椎体、椎间盘、韧带及关节突关节维持,骨错缝会引起椎体不同程度的位移以及椎间孔容积的改变,影响颈椎整体力的传导。冯敏山等^[19]借助运动捕捉系统分析了旋提手法操作时 C₄~C₇ 椎体的纵向位移及不同大小扳动力对椎体位移的影响,结果显示旋提手法操作时旋转侧 C₄ 横突位移量最大,且位移量与扳动力大小有关。邓真等^[20]通过分析颈椎定位旋转扳法对颈椎“骨错缝”有限元模型的应力作用,发现颈椎定位旋转扳法可有效调整颈椎“骨错缝”模型骨性结构、关节突关节软骨和椎间盘的异常应力状态,降低目标椎体上位椎体应力、增加下位椎体应力。黄学成等^[21]借助有限元分析发现,实施颈椎旋转手法时,旋转侧椎间孔容积变小、对侧椎间孔容积变大,认为使用旋转手法治疗神经根型颈椎病时应向健侧旋转。

2.2 颈椎手法对颈椎椎间盘的生物力学影响 椎间盘起着承载人体负荷的作用,容易出现不同程度的退变。王宇等^[22]的研究发现,已发生椎间盘退变颈椎的髓核承载力减小、纤维环承载力增加,实施推拿旋转手法时退变椎间盘轴向位移与变形能力明显小于正常椎间盘,建议根据椎间盘退变程度适当调整推拿旋转手法的旋转角度,以保证操作的安全性。刘建辉等^[23]借助颈椎间盘有限元模型分析发现,在左侧屈位模拟加载旋转手法后 C₄~₅、C₅~₆ 髓核内部压力和髓核位移均小于右侧屈位实施手法时的对应指标,认为在左侧屈位实施旋转手法对颈椎间盘髓核影响较小、安全性更高。该结果与黄学成等^[24]的研究结果基本一致。

2.3 颈椎手法对颈椎韧带的生物力学影响 解剖学

研究表明,穿过颈椎间孔的韧带发生骨化增生,会减小椎间孔内空间并直接压迫神经根,可能是神经根型颈椎病的潜在病因^[25]。针对颈椎后纵韧带骨化的有限元分析表明,后纵韧带骨化可导致颈椎韧带应力增加且集中,加速颈椎退变,影响颈椎整体稳定性,并可能导致颈椎生理曲度改变等继发损伤^[26-29]。王辉昊等^[30]分析了右侧颈椎定位旋转扳法作用下正常模型、颈椎曲度变直模型和颈椎曲度反弓模型内部韧带的应力特征,发现不同曲度颈椎模型韧带应力大小及集中部位存在差异,认为恢复颈椎生理曲度对维持颈椎稳定及恢复颈椎生物力学平衡具有重要意义。

2.4 颈椎手法对颈椎周围血管的生物力学影响 目前此类研究多集中于对椎动脉血流动力学参数的分析。已有研究表明,颈椎手法能明显改善颈段椎动脉血流速度,有效缓解椎动脉型颈椎病患者的头晕症状,促进颈椎生理功能恢复^[31-34]。王辉昊等^[35]基于流固耦合分析了颈椎前屈、后伸、左右侧屈、左右旋转 4 种生理活动对椎动脉血管壁应力的影响,研究结果发现椎动脉血管壁的最大应力集中于 C₂ 横突孔处,且后伸和侧屈活动时椎动脉血管壁最大应力变化值最为明显。除颈部血管壁应力外,血管纵向长度的变化也是研究热点之一。Correll 等^[36]针对高速低幅颈椎手法对椎动脉长度影响的研究发现,椎动脉长度在手法推动阶段变化较小、在旋转过程中变化较大。颈椎手法的总体安全性较高,但也存在发生血管意外事件的风险,而且预后较差^[37]。吴宝烽等^[38]发现,当颈椎旋转至生理极限位后,颈椎旋转手法引起的颈动脉拉伸可能会影响颈动脉粥样硬化斑块稳定性,存在斑块脱落的风险,建议对存在颈动脉粥样硬化斑块的颈椎病患者慎用颈椎旋转手法。

3 小 结

“筋出槽、骨错缝”作为颈椎病的核心病机,其本质是筋骨关系失衡,与现代生物力学中的颈椎动静力学失衡类似。颈椎手法作为治疗颈椎病的有效手段,虽然临床研究成果较多,但针对其作用机制或共性规律的基础研究较少。针对颈椎手法的生物力学研究,是传统医学与现代生物技术的有机融合。这些研究不仅揭示了颈椎手法对处于“筋出槽、骨错缝”状态下颈椎内部结构的内在力学效应,也进一步验证和完善了“筋出槽、骨错缝”理论中颈椎筋骨结构的空间位置特点和动静力学平衡关系,并阐明了颈椎手法的内在作

用机制,为颈椎手法的规范化和标准化提供了坚实的理论依据与数据支撑。

参考文献

- [1] CÔTÉ P, WONG J J, SUTTON D, et al. Management of neck pain and associated disorders: a clinical practice guideline from the Ontario protocol for traffic injury management (OPTIMA) collaboration [J]. Eur Spine J, 2016, 25 (7): 2000 – 2022.
- [2] COHEN S P, HOOTEN W M. Advances in the diagnosis and management of neck pain [J]. BMJ, 2017, 358: j3221.
- [3] BLANPIED P R, GROSS A R, ELLIOTT J M, et al. Neck pain: revision 2017 [J]. J Orthop Sports Phys Ther, 2017, 47 (7): A1 – A83.
- [4] 张明才, 石印玉, 黄仕荣, 等. “骨错缝筋出槽”与颈椎病发病关系的临床研究 [J]. 中国骨伤, 2013, 26 (7): 557 – 560.
- [5] 王辉昊, 詹红生, 吕桦, 等. 矫正颈椎“筋出槽骨错缝”手法治疗颈性眩晕的远期疗效观察 [J]. 上海中医药杂志, 2014, 48 (2): 51 – 55.
- [6] 张开勇, 庄园, 詹红生, 等. 棘突不共线在颈椎“骨错缝、筋出槽”诊断中的临床应用 [J]. 中国骨伤, 2013, 26 (1): 47 – 49.
- [7] 杨钦, 周红海, 胡梦婷, 等. 浅析颈椎病相关动静力学平衡 [J]. 颈腰痛杂志, 2021, 42 (1): 131 – 133.
- [8] 詹红生. 颈椎相关疾病手法诊疗及研究中的若干问题探讨 [J]. 中医正骨, 2018, 30 (3): 1 – 3.
- [9] 刘迪, 刘卉, 陶艳红, 等. 颈部端提手法操作特征的力学与运动学参数分析 [J]. 上海中医药杂志, 2017, 51 (12): 19 – 22.
- [10] 耿楠, 刘迪, 刘卉, 等. 颈部端提手法对颈型颈椎病患者颈椎长度及角度影响的运动学参数分析 [J]. 上海中医药杂志, 2017, 51 (3): 18 – 20.
- [11] 邓真, 王辉昊, 王宽, 等. 石氏伤科颈椎定位旋转扳法的动力学参数在体测量 [J]. 中医正骨, 2018, 30 (3): 17 – 21.
- [12] 李正言, 李兵, 张帅, 等. 高年资医生与低年资医生颈部定点定向扳法力学参数特征研究 [J]. 中国中医骨伤科杂志, 2019, 27 (12): 18 – 21.
- [13] 郭鑫, 于天源, 刘卉, 等. 颈椎拔伸法的操作特征及其运动学与动力学参数分析 [J]. 上海中医药杂志, 2015, 49 (10): 11 – 13.
- [14] 陈黎明, 许根荣, 郭盛君, 等. 仰卧定点复位法治疗神经根型颈椎病中手法发力方向对疗效的影响 [J]. 中华中医药杂志, 2020, 35 (4): 2189 – 2192.
- [15] 叶林强, 陈超, 刘源辉, 等. 体位对颈椎旋转手法整复神经根型颈椎病关节突关节骨错缝的有限元分析 [J]. 中国组织工程研究, 2023, 27 (29): 4607 – 4611.
- [16] CHANG L, WANG H, GUO Y, et al. Experimental and numerical analysis of biomechanical effects in cervical spine positioning rotation manipulation [J]. Int J Numer Method Biomed Eng, 2022, 38 (12): e3651.
- [17] 邓真, 王乐军, 王辉昊, 等. 石氏颈椎旋扳法操作者上肢发力肌肉表面肌电特征研究 [J]. 上海中医药杂志, 2022, 56 (4): 14 – 18.
- [18] 邓真, 王乐军, 王宽, 等. 颈椎整复康复手法操作者上肢肌肉表面肌电特征分析 [J]. 医用生物力学, 2021, 36 (S1): 146.
- [19] 冯敏山, 韩昶晓, 梁栋柱, 等. 旋提手法对下颈椎椎体位移影响的体外生物力学特征 [J]. 中国组织工程研究, 2023, 27 (18): 2820 – 2823.
- [20] 邓真, 詹红生, 李国中, 等. 颈椎旋扳法对“骨错缝”颈椎应力作用的有限元分析 [J]. 中国中医骨伤科杂志, 2021, 29 (10): 37 – 42.
- [21] 黄学成, 叶林强, 梁德, 等. 三维有限元模型分析旋转手法中旋转方向对颈椎间盘位移和椎间孔容积的影响 [J]. 中国组织工程研究, 2018, 22 (3): 404 – 408.
- [22] 王宇, 雷建银, 辛浩, 等. 椎间盘退变颈椎 (C₂ – C₇) 在正常承载与推拿下的有限元分析 [J]. 中国组织工程研究, 2020, 24 (27): 4278 – 4284.
- [23] 刘建辉, 朱建忠, 潘福勤, 等. 颈椎间盘有限元模型分析旋转手法髓核受力与体位的关系 [J]. 内蒙古医科大学学报, 2020, 42 (2): 173 – 175.
- [24] 黄学成, 叶林强, 江晓兵, 等. 旋转手法中侧屈方向对颈椎间盘位移、内在应力的影响及意义 [J]. 山东医药, 2018, 58 (16): 5 – 8.
- [25] ARSLAN M, AÇAR H I, CÖMERT A. Cervical extraforaminal ligaments: an anatomical study [J]. Surg Radiol Anat, 2017, 39 (12): 1377 – 1383.
- [26] 王琦, 李辉. 颈椎后纵韧带骨化合并椎间融合有限元模型的建立和有效性验证 [J]. 中国组织工程研究, 2020, 24 (33): 5262 – 5266.
- [27] 牛陆, 李娜, 柳茵, 等. 后纵韧带硬化对颈椎力学影响的三维有限元分析 [J]. 北京生物医学工程, 2018, 37 (1): 40 – 50.
- [28] 杨健, 王贵江, 崔晓雅. 颈椎后纵韧带骨化椎间盘及后纵韧带应力的有限元分析 [J]. 中国矫形外科杂志, 2021, 29 (1): 64 – 68.
- [29] 马五艳, 李辉, 王改梅. 颈椎后纵韧带骨化生理曲度异常生物力学分析 [J]. 山西医科大学学报, 2022, 53 (4): 495 – 500.

(下转第 48 页)

- [23] CHE H, LI J, LI Y, et al. p16 deficiency attenuates intervertebral disc degeneration by adjusting oxidative stress and nucleus pulposus cell cycle[J]. *Elife*, 2020, 9: e52570.
- [24] PATIL P, FALABELLA M, SAEED A, et al. Oxidative stress-induced senescence markedly increases disc cell bioenergetics[J]. *Mech Ageing Dev*, 2019, 180: 97–106.
- [25] 王雁秋. Nrf2 抑制氧化应激所致髓核细胞凋亡和衰老的实验研究[D]. 重庆: 陆军军医大学, 2020.
- [26] CHEN J W, NI B B, LI B, et al. The responses of autophagy and apoptosis to oxidative stress in nucleus pulposus cells: implications for disc degeneration[J]. *Cell Physiol Biochem*, 2014, 34(4): 1175–1189.
- [27] 尹思, 杜恒, 赵为公, 等. 阻断双侧终板营养途径构建山羊椎间盘退变模型[J]. *临床骨科杂志*, 2020, 23(1): 145–150.
- [28] YURUBE T, BUCHSER W J, MOON H J, et al. Serum and nutrient deprivation increase autophagic flux in intervertebral disc annulus fibrosus cells: an in vitro experimental study[J]. *Eur Spine J*, 2019, 28(5): 993–1004.
- [29] ZUO R, WANG Y, LI J, et al. Rapamycin induced autophagy inhibits inflammation-mediated endplate degeneration by enhancing Nrf2/Keap1 signaling of cartilage endplate stem cells[J]. *Stem Cells*, 2019, 37(6): 828–840.
- [30] KANG L, LIU S, LI J, et al. Parkin and Nrf2 prevent oxidative stress-induced apoptosis in intervertebral endplate chondrocytes via inducing mitophagy and anti-oxidant defenses[J]. *Life Sci*, 2020, 243: 117244.
- [31] WANG H, JIANG Z, PANG Z, et al. Acacetin alleviates inflammation and matrix degradation in nucleus pulposus cells and ameliorates intervertebral disc degeneration in vivo[J]. *Drug Des Devel Ther*, 2020, 14: 4801–4813.
- [32] YU C, LI D, WANG C, et al. Injectable kartogenin and apocynin loaded micelle enhances the alleviation of intervertebral disc degeneration by adipose-derived stem cell[J]. *Bioact Mater*, 2021, 6(10): 3568–3579.
- [33] 蔡同川, 张亮. 白藜芦醇与椎间盘退变性疾病[J]. *国际骨科学杂志*, 2021, 42(1): 22–25.
- [34] CHEN D, XIA D, PAN Z, et al. Metformin protects against apoptosis and senescence in nucleus pulposus cells and ameliorates disc degeneration in vivo[J]. *Cell Death Dis*, 2016, 7(10): e2441.
- [35] KRUPKOVA O, HANDA J, HLAVNA M, et al. The natural polyphenol epigallocatechin gallate protects intervertebral disc cells from oxidative stress[J]. *Oxid Med Cell Longev*, 2016, 2016: 7031397 [2023–01–20]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27119009/>.
- [36] LIU Q, WANG X, HUA Y, et al. Estrogen deficiency exacerbates intervertebral disc degeneration induced by spinal instability in rats[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2019, 44(9): E510–519.
- [37] XIA C, ZENG Z, FANG B, et al. Mesenchymal stem cell-derived exosomes ameliorate intervertebral disc degeneration via anti-oxidant and anti-inflammatory effects[J]. *Free Radic Biol Med*, 2019, 143: 1–15.
- [38] HU Y, TAO R, WANG L, et al. Exosomes derived from bone mesenchymal stem cells alleviate compression-induced nucleus pulposus cell apoptosis by inhibiting oxidative stress[J]. *Oxid Med Cell Longev*, 2021, 2021: 2310025 [2023–01–20]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34733401/>.

(收稿日期: 2023-02-21 本文编辑: 时红磊)

(上接第 43 页)

- [30] 王辉昊, 邓真, 沈知彼, 等. 中医整骨手法对不同生理曲度颈椎内部结构应力的影响[J]. *医用生物力学*, 2021, 36(S1): 130.
- [31] 李娜. 推拿手法治疗椎动脉型颈椎病的临床观察[J]. *中国民间疗法*, 2020, 28(17): 42–44.
- [32] 苏海明, 林廷章. 旋提手法对老年颈椎病患者椎动脉血流参数的影响[J]. *云南中医中药杂志*, 2020, 41(5): 65–67.
- [33] 孟利锋, 贺竞哲, 杜江. 颈椎卧位多向调整手法联合推拿对颈源性眩晕疗效及椎动脉血流动力学的影响[J]. *颈腰痛杂志*, 2019, 40(1): 115–117.
- [34] 向勇, 王春林, 董有康, 等. 间歇式角度松调手法治疗椎动脉型颈椎病临床观察及对椎-基底动脉血流动力学的影响[J]. *河北中医*, 2018, 40(2): 286–289.
- [35] 王辉昊, 陈博, 詹红生, 等. 流固耦合分析颈椎生理活动对椎动脉血流动力学的影响[J]. *医用生物力学*, 2014, 29(6): 511–516.
- [36] GORRELL L M, KUNTZE G, RONSKY J L, et al. Kinematics of the head and associated vertebral artery length changes during high-velocity, low-amplitude cervical spine manipulation[J]. *Chiropr Man Therap*, 2022, 30(1): 28.
- [37] 王辉昊, 詹红生, 张明才, 等. 手法治疗颈椎病意外事件分析与预防策略思考[J]. *中国骨伤*, 2012, 25(9): 730–736.
- [38] 吴宝烽, 冯梓誉, 雷舒扬, 等. 基于流固耦合有限元模型评估颈椎旋转手法下颈动脉粥样硬化斑块的破裂风险[J]. *医用生物力学*, 2022, 37(4): 684–691.

(收稿日期: 2022-11-29 本文编辑: 李晓乐)