

# 颈椎在体运动学研究方法的进展\*

贺金亮<sup>1,2</sup>, 夏群<sup>2</sup>

## The research processes of *in vivo* kinematics of the cervical spine

He Jin-liang<sup>1,2</sup>, Xia Qun<sup>2</sup>

### Abstract

**BACKGROUND:** The research of *in vivo* kinematics of the cervical spine can obtain the characteristics of cervical motion in physiological load by invasive or non-invasive method, which will provide the guidelines and reference for the diagnosis and treatment of patients with cervical degeneration diseases.

**OBJECTIVE:** To summarize the current research methods and their respective characteristics of *in vivo* kinematics of the cervical spine.

**METHODS:** The computer-based search was done in PubMed database (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/>) and Wanfang database (<http://www.wanfangdata.com.cn>) for articles published with the English key words of "Spine, cervical, *in vivo* motion" and the Chinese key words of "Spine, cervical, measurement, rang of motion". Ultimately a total of 238 literatures were searched and 30 literatures were included for review according to inclusion and exclusion criteria.

**RESULTS AND CONCLUSION:** The research of *in vivo* kinematics of the cervical spine can obtain the quantitative data of each joint 6DOF of the cervical vertebra. It has an important role in improving the level of awareness of cervical movement in physiological load, knowing more about the kinematic characteristics of cervical spine degeneration and optimizing the clinical diagnosis and treatment programme of cervical diseases. At the same time, it can provide indispensable data for the development of artificially vertebral articular and internal fixation, especially the fusion of internal fixation. The research of *in vivo* kinematics of the cervical spine has been investigated by using X-ray, CT, MRI, ultrasound, electromagnetism and so on. However, the present data cannot provide a reference standard for understanding normal conditions. The future research of *in vivo* kinematics of the cervical spine needs to be advanced gradually.

He JL, Xia Q. The research processes of *in vivo* kinematics of the cervical spine. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu yu Linchuang Kangfu. 2011;15(39):7371-7374. [<http://www.crter.cn> <http://en.zglckf.com>]

### 摘要

**背景:** 颈椎在体运动学研究能够通过侵袭性或非侵袭性方法获取生理载荷下活体颈椎的活动特性, 可为颈椎疾病的诊断和治疗提供指导和参考。

**目的:** 对目前有关颈椎在体运动学的研究方法和各自特点进行归纳总结。

**方法:** 应用计算机检索 Pubmed 数据库 (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/>) 及万方数据库 (<http://www.wanfangdata.com.cn>), 英文检索词为 "Spine, cervical, *in vivo* motion", 中文检索词为 "脊柱, 颈椎, 测量, 活动度"。检索文献总计 238 篇, 最终选取 30 篇作为综述文献。

**结果与结论:** 颈椎在体运动学研究可获取活体颈椎各个关节 6 个自由度(6DOF)的量化数据, 对提高生理载荷下颈椎运动状况的认识水平, 进一步了解颈椎退变的运动学特点, 以及优化临床颈椎疾患的诊疗方案有重要作用, 同时可为人工椎间关节及内固定器尤其是非融合内固定物的研制提供不可或缺的参考数据。其主要通过 X 射线、CT、MRI、超声、电磁等方法实现, 但目前仍缺乏颈椎各节段在体运动范围公认的数值, 颈椎在体运动学研究仍需不断深入。

**关键词:** 颈椎; 活动范围; 在体运动学; 研究方法; 综述文献

doi:10.3969/j.issn.1673-8225.2011.39.038

贺金亮, 夏群. 颈椎在体运动学研究方法的进展[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2011, 15(39):7371-7374. [<http://www.crter.org> <http://cn.zglckf.com>]

## 0 引言

颈椎上连颅骨, 下接胸椎, 是脊柱中灵活性最大、活动频率最高的节段。研究表明, 性别、年龄、脊柱不稳等多种因素均与颈椎退行性变有关<sup>[1-2]</sup>, 这种退行性变又会导致颈椎运动范围(rang of motion, ROM)的变化<sup>[3]</sup>。

颈椎在体运动学是研究生理载荷下颈椎三维运动的一门科学。相对于体外运动学研究而言, 其可直接获得活体颈椎各个关节生理条件

下 6 个自由度(6DOF)的量化数据, 为临床术前评估、个体化手术方案的建立、人工椎间关节及内固定器尤其是非融合内固定物的研制提供不可或缺的参考数据。现将近年来颈椎在体运动学研究进展综述如下。

## 1 资料和方法

**1.1 资料来源** 由第一作者于 2010-10/2011-04 应用计算机检索 Pubmed 数据库(<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/>)及万

<sup>1</sup>Graduate School of Tianjin University of Traditional Chinese Medicine, Tianjin 300193, China;  
<sup>2</sup>Department of Spine Surgery, Tianjin Hospital, Tianjin 30021, China

He Jin-liang\*, Studying for master's degree, Graduate School of Tianjin University of Traditional Chinese Medicine, Tianjin 300193, China; Department of Spine Surgery, Tianjin Hospital, Tianjin 30021, China QQ3428@163.com

Correspondence to: Xia Qun, Professor, Chief physician, Department of Spine Surgery, Tianjin Hospital, Tianjin 30021, China xiaqun6@163.com

Received: 2011-05-17  
Accepted: 2011-07-24

<sup>1</sup> 天津中医药大学研究生院, 天津市 300073;  
<sup>2</sup> 天津医院脊柱外科, 天津市 300211

贺金亮\*, 男, 1985 年生, 山西省临汾市人, 汉族, 天津中医药大学在读硕士, 主要从事中医骨伤专业方面的研究。QQ3428@163.com

通讯作者: 夏群, 教授, 主任医师, 天津医院脊柱外科, 天津市 300211 xiaqun6@163.com

中图分类号: R318  
文献标识码: A  
文章编号: 1673-8225 (2011)39-07371-04

收稿日期: 2011-05-17  
修回日期: 2011-07-24  
(20110517018/M · W)

方数据库(<http://www.wanfangdata.com.cn>)。英文检索词为“Spine, cervical, in vivo motion”, 中文检索词为“脊柱, 颈椎, 测量, 活动度”。

## 1.2 入选标准

纳入标准: ①与颈椎退行性变研究有关的文献。②与颈椎在体运动学研究有关的文献。

排除标准: ①颈椎体外研究方面文献。②陈旧文献。③重复或相似研究的文献。

1.3 数据的提取 初步检索得到文献 238 篇, 其中英文文献 135 篇, 中文文献 103 篇。通过阅读标题和摘要进行初步筛选, 纳入与研究主题词相关的文献 56 篇。再次阅读标题、摘要及正文中“材料与方法”部分, 排除较陈旧文献及重复研究, 最终纳入 30 篇符合标准的文献。

## 2 结果

2.1 X 射线研究 Fisher 等<sup>[4]</sup>很早就指出 X 射线放射技术是冠状位和矢状位研究颈椎运动最有价值、最实用的方法。

2.1.1 动态 X 射线片技术 动态 X 射线片, 即摄取受试者一系列从过伸位到过屈位过渡的颈椎 X 射线侧位片, 通过测量不同运动节段各种参数研究脊柱的运动学特性, 是 X 射线技术研究颈椎在体运动学的重要方法之一。Liu 等<sup>[5]</sup>应用高频脉冲荧光镜(30 帧/s)同一水平下拍摄受试者动态 X 射线片, 依据 Kane 动力学和复位建模技术构建颈椎二维逆向动态模型, 研究正常组、前路颈椎减压融合术(anterior cervical decompression and fusion, ACDF)组、颈椎人工间盘置换术(Cervical artificial disc replacement, CADR)组的刚体运动特征和椎间盘的生物力学特点, 得出 CADR 患者的颈椎运动学特性更接近正常人。栗向明等<sup>[6]</sup>摄取 200 名不同年龄段的成人颈椎动态 X 射线斜位片(斜位、过伸斜位、过屈斜位), 测量颈神经根管矢状径(a)、椎体斜位矢状径(b), 计算动态颈神经根管率(a/b), 指出当颈椎动态神经根管率 $\leq 0.30$ 时, 应考虑颈神经根管狭窄。

2.1.2 双平面 X 射线技术 双平面 X 射线技术是采用两台互相垂直摆放的 X 射线机瞬时摄取受试者正侧位图像, 以开展人体生物力学研究的试验方法。利用该技术可以同时得到两幅相互正交的 X 射线片图像, 弥补了传统的 X 射线成像把三维空间结构重叠到二维图像上的缺陷。Lee 等<sup>[7]</sup>采用该技术结合 DLT(direct linear transformation)线性变换方法对 1 例寰枢椎脱位的女性患者行枢椎标记植入后, 测量研究了该患者术后寰枢椎的轴向旋转度及前后移动、前后屈伸的运动范围。此方法测量结果精确度高, 但需要在测量部位植入金属标记物, 具有侵袭性且测量过程复杂, 临床实用性不大。

X 射线检查技术操作简单、费用低廉, 广泛应用于颈椎在体研究。但存在不足之处: ①X 射线检查有一定放射量, 对人体有危害。②X 射线片为二维成像, 只能测量投射范围内的数据, 而难以捕捉射线投射范围以外或者重叠部分(耦合运动)的运动, 存在局限性。③X 射线读片主观性强, 可能导致所获数据精度低。

2.2 CT 研究 CT 是通过 X 射线束对人体一定厚度的层面进行扫描, 经计算机数字化处理, 显示人体内部横断面解剖结构, 还可以重建显示冠状面和矢状面图像, 自诞生以来便广泛运用于脊柱外科领域的诊断和研究。

2.2.1 断层扫描技术 断层扫描是 CT 研究颈椎在体运动学的基本方法。1987 年, Penning 等<sup>[8]</sup>通过 CT 扫描 26 名健康受试者颈椎左右旋转时的影像, 研究颈椎轴向旋转活动度。Dvorak 等<sup>[9]</sup>认为功能 CT 扫描方法是评估寰枕关节、寰枢关节以及颈椎轴向旋转的有效方法。他通过 CT 扫描正常受试者和外伤致上颈椎失稳患者中立位, 最大左右旋转位下从枕骨大孔到 C<sub>2</sub> 椎体下缘 CT 影像, 分析得出上颈椎失稳患者寰枕关节和寰枢椎轴向旋转度增加。Sugimoto 等<sup>[10]</sup>采用这一方法跟踪测量了 18 例颈脊髓损伤患者椎板成形术前、术后两周、术后 6 个月的 C<sub>1</sub> 到 T<sub>1</sub>、C<sub>1</sub> 到 C<sub>2</sub>、C<sub>2</sub> 到 T<sub>1</sub> 的旋转角度, 认为断层扫描对评估椎体旋转角度有帮助。

Kitagawa 等<sup>[11]</sup>采用 CT 扫描受试者前屈后伸位影像研究颈椎椎间孔形态学变化。他通过 CT 平扫 7 名受试者下颈椎中立位、过伸过屈位影像, 并沿着垂直于椎间孔长轴的斜面重建图像, 用 Scion 影像软件对椎间孔高度、宽度、截面积等进行测量, 研究颈椎前屈后伸位椎间孔形态学变化。结果显示, 前屈位时, 椎间孔高度、宽度和截面积明显增加; 后伸位时, 椎间孔高度、宽度和截面积明显减少; 矢状位旋转与椎间孔高度和截面积明显相关。

2.2.2 三维重建技术 螺旋 CT 的问世使通过 CT 三维重建进行临床诊断和研究成为可能。用计算机处理扫描数据, 将二维图像叠加重建形成三维图像, 通过旋转, 可从不同角度观察扫描节段的结构, 还能通过切割测量的方法, 显露立体结构的内部信息。赵雄等<sup>[12]</sup>对正常受试者行颈椎三维 CT 扫描并重建, 应用计算机软件程序对三维图像标点, 测量枕骨与寰椎之间, 寰椎与枢椎之间的椎间旋转及耦合运动。测量结果与 Dvorak 等<sup>[9]</sup>采用功能 CT 扫描方法测量寰枕关节、寰枢椎轴向旋转值相比偏小, 可能与样本含量、测量方法以及东西方人体格等差异有关。

应用 CT 行颈椎在体运动学研究的优势在于 CT 成像骨性界面轮廓清晰、测量精度高, 不仅能显示横断面影像, 还可通过 CT 重建显示椎体整体形态。但 CT 不能清晰显示脊髓、神经、韧带等软组织, 且放射量较大, 对人体有影响, 存在伦理学争议。

**2.3 MRI 研究** MRI 成像技术是利用磁共振现象获得人体电磁信号并重建出人体信息,可直接显示软组织结构,对人体没有电离辐射损伤,无需重建就能获得原生三维断面成像。

朱杏莉等<sup>[13]</sup>采用 MRI 扫描 33 名健康受试者中立、前屈、后伸位影像,测量椎管矢径及脊髓矢径,通过计算脊髓/椎管矢径比值得出:“颈椎前屈位椎管增宽,脊髓变细,缓冲间隙增大;后伸位椎管变窄,脊髓矢径大于前屈位,缓冲间隙减小。”Ishii 等<sup>[14]</sup>通过三维 MRI 扫描正常受试者颈椎在体侧屈运动,测量颈椎从中立位到最大左右侧屈位过程中椎体移动范围以及相邻小关节的耦合运动,认为颈椎侧屈过程中存在轴向耦合运动, C<sub>1</sub>~C<sub>2</sub> 最明显。Nagamoto 等<sup>[15]</sup>拍摄 10 名健康受试者和 15 名颈椎病患者中立位、左右旋转 45°、最大限度左右旋转 5 个位置的 MRI 影像,使用容积注册法自动叠加每个运动位置的三维 MRI 图像,研究颈椎活动范围和相邻椎间的耦合运动。结果显示,颈椎病患者头部旋转时,下颈椎活动度明显减小。

MRI 技术的应用对颈椎在体运动学研究的意义重大。MRI 影像软组织成像清晰,且对人体无放射。但费用高,且骨性结构显影明显差于 CT<sup>[16]</sup>。

综合 CT 和 MRI 研究,存在同样的问题:受仪器扫描空间和受试者体位限制,研究对象在运动过程中所施加的负荷不是定量的;且得到的信息并非自然状态下的瞬时运动图像,即虽为体内研究,但所获得的数据与真实值之间仍有差距。

**2.4 X 射线透视结合 MRI 或 CT 二维-三维匹配法研究** 二维-三维匹配技术充分利用了现代医学成像技术,借助计算机软件综合传统影像学各自成像特点,达到优势互补。该技术最早见于美国哈佛大学麻省总医院骨科生物工程实验室 Li 教授等<sup>[17]</sup>应用双 X 射线透视影像系统 (Dual Fluoroscopic Imaging System, DFIS) 和 MRI 相结合技术研究膝关节在体运动学的报道,Wang 等<sup>[18]</sup>首次将其运用于脊柱在体运动学的研究并对其精确性及可重复性进行了验证。

这种方法是在计算机软件辅助下,从受试者脊柱 MRI 获取每一节段椎体三维重建模型,匹配到 DFIS 捕获的不同活动体位(前屈后伸、左右旋转、左右侧屈)时脊柱双斜位 X 射线透视图像上,实现二维-三维图像匹配,从而再现生理载荷条件下人体各种运动体位时脊柱的真实运动状态。利用三维坐标系测定脊柱不同解剖部位的运动轨迹。夏群等<sup>[19-21]</sup>利用此项技术研究了腰椎棘突的在体运动范围、腰椎矢状面和横断面上椎体间旋转中心的运动特性。Li 等<sup>[22]</sup>通过该技术对椎体间活动度进行了报道,Wang 等<sup>[23-24]</sup>、Kozanek 等<sup>[25]</sup>、Li 等<sup>[26]</sup>分别运用此技术对腰椎间盘变形、腰椎小关节活动度进行了研究。

最近,Anderst 等<sup>[27]</sup>将二维-三维匹配技术的理念应用于颈椎在体运动学的研究:应用双平面高速成像系统结合 CT 建模技术,在 3 名颈前路间盘切除融合术患者颈椎融合节段及其相邻椎体植入钽珠,于术后 6 个月行 CT 扫描并重建三维模型。后以 30 帧/s 的速度采集双平面 X 等线影像系统下受试者前后、屈伸及轴向旋转运动的影像学数据,借助计算机软件构建虚拟采集系统,通过二维-三维匹配再现三维空间中各帧 X 等线图像下椎体骨性轮廓的位置和方向。以标记物位移的活动度作为金标准,研究该系统应用于动态载荷下颈椎的在体研究的精确性和可重复性,研究结果良好,可用于颈椎在体运动学研究。但该技术在采集 CT 数据过程中必然会对受试者有辐射,且计算机结合手工建模技术易出现误差。

二维-三维匹配技术是颈椎在体运动学研究领域的新理念,精确度高,重复性好。将其应用于正常受试者的在体研究,对获取正常人群颈椎运动学数据有重要意义,可为人工间盘假体的研制提供必要的参考数据。

**2.5 其他研究方法** 近年来有学者报道运用超声、电磁、颈椎活动度测量仪等多种方法开展颈椎在体运动学研究。

Malmstrom 等<sup>[28]</sup>采用三维超声运动装置(Zebris)和重力基准测角仪(Myrin)同时测量了颈椎运动范围。Zebris: 包括一个头盔、肩盖,各装有 3 个超声波麦克风,麦克风接收来自发射器的脉冲信号,根据发射和接收超声脉冲的时间间隔进行定位。Myrin: 由一个测量屈伸、侧弯的量角器和一个测量水平旋转的罗盘组成,安装在 Zebris 头盔上,两种仪器同时记录受试者颈椎前屈后伸、左右旋转、左右侧弯时颈椎活动范围。结果表明两种仪器可靠性好,可以互换使用。Dall'Alba 等<sup>[29]</sup>采用电脑电磁运动跟踪装置分别测试了正常受试者和颈部扭伤患者颈椎的基本运动和耦合运动的活动范围。研究得出,交通事故导致颈部扭伤患者的颈椎主要活动范围减小,后伸位和左侧屈位上明显不同,同时耦合运动的模式也发生了改变。

吴晓东等<sup>[30]</sup>依据斜度仪原理,利用斜度仪、指南针测角仪、头圈及头架等部件自行设计制成颈椎三维活动度测定仪。并在此基础上测量了 30 名健康受试者的颈椎屈伸、侧屈、旋转活动度。通过组间相关系数分析了该仪器的稳定性和一致性,结果表明该仪器具有良好的复测信度和观察者间信度。其构造简单、操作方便,适合临床和科研使用。但从根本上讲其描述的是颈部整体活动的的数据,而未对颈椎内部的活动情况给予描述。

### 3 讨论

目前颈椎在体运动学研究方法各异,但基本理念相

似, 即力求最大程度真实再现活体颈椎生理活动并减少对人体的侵袭伤害, 最终的目的是进一步加深对生理载荷下颈椎运动状况的认识水平, 进一步提升对颈椎疾患的诊断水平, 进一步优化颈椎疾患临床治疗方案。由于该领域的研究一直没有公认的实验操作标准, 缺乏衡量实验方法精确程度的依据, 目前对颈椎各节段的在体运动范围仍没有公认的正常值。故颈椎在体运动学研究需要不断深入并得到越来越多的关注和重视。

#### 4 参考文献

[1] Simpson AK, Biswas D, Emerson JW, et al. Quantifying the effects of age, gender, degeneration, and adjacent level degeneration on cervical spine range of motion using multivariate analyses. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2008;33(2):183-186.

[2] Dai L. Disc degeneration and cervical instability. Correlation of magnetic resonance imaging with radiography. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1998;23(16):1734-1738.

[3] Miyazaki M, Hong SW, Yoon SH, et al. Kinematic analysis of the relationship between the grade of disc degeneration and motion unit of the cervical spine. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2008;33(2):187-193.

[4] Fisher SV, Bowar JF, Awad EA, et al. Cervical orthoses effect on cervical spine motion: roentgenographic and goniometric method of study. *Arch Phys Med Rehabil*. 1977;58(3):109-115.

[5] Liu F, Cheng J, Komistek RD, et al. In vivo evaluation of dynamic characteristics of the normal, fused, and disc replacement cervical spines. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2007;32(23):2578-2584.

[6] 栗向明, 陈允震, 孟凡义, 等. 动态颈神经根管率的X线片测量[J]. *脊柱外科杂志*, 2003, 1(2):98-101.

[7] Lee S, Harris KG, Nassif J, et al. In vivo kinematics of the cervical spine. Part I: Development of a roentgen stereophotogrammetric technique using metallic markers and assessment of its accuracy. *J Spinal Disord*. 1993;6(6):522-534.

[8] Penning L, Wilmink JT. Rotation of the cervical spine. A CT study in normal subjects. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1987;12(8):732-738.

[9] Dvorak J, Hayek J, Zehnder R. CT-functional diagnostics of the rotatory instability of the upper cervical spine. Part 2. An evaluation on healthy adults and patients with suspected instability. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1987;12(8):726-731.

[10] Sugimoto Y, Tanaka M, Nakanishi K, et al. Assessing range of cervical rotation after laminoplasty using axial CT. *J Spinal Disord Tech*. 2007;20(3):187-189.

[11] Kitagawa T, Fujiwara A, Kobayashi N, et al. Morphologic changes in the cervical neural foramen due to flexion and extension: in vivo imaging study. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2004;29(24):2821-2825.

[12] 赵雄, 雷伟, 吴子祥, 等. 上颈椎椎间旋转活动在体三维测量与分析[J]. *中华实用诊断与治疗杂志*, 2009, 23(7):653-655.

[13] 朱杏莉, 周围, 全显跃. 正常人颈椎动态变化的MRI测量[J]. *中国医学影像学杂志*, 2009, 17(2):97-99.

[14] Ishii T, Mukai Y, Hosono N, et al. Kinematics of the cervical spine in lateral bending: in vivo three-dimensional analysis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2006;31(2):155-160.

[15] Nagamoto Y, Ishii T, Sakaura H, et al. In vivo three-dimensional kinematics of the cervical spine during head rotation in patients with cervical spondylosis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2011;36(10):778-783.

[16] Ishii T, Mukai Y, Hosono N, et al. Kinematics of the upper cervical spine in rotation: in vivo three-dimensional analysis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2004;29(7):E139-144.

[17] Li G, DeFrate LE, Park SE, et al. In vivo articular cartilage contact kinematics of the knee: an investigation using dual-orthogonal fluoroscopy and magnetic resonance image-based computer models. *Am J Sports Med*. 2005;33(1):102-107.

[18] Wang S, Passias P, Li G, et al. Measurement of vertebral kinematics using noninvasive image matching method-validation and application. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2008;33(11):E355-361.

[19] Xia Q, Wang S, Passias PG, et al. In vivo range of motion of the lumbar spinous processes. *Eur Spine J*. 2009;18(9):1355-1362.

[20] 夏群, Wang SB, Li G. 腰椎椎体间旋转中心的在体研究[J]. *中华骨科杂志*, 2010, 30(4):325-329.

[21] Xia Q, Wang S, Kozanek M, et al. In-vivo motion characteristics of lumbar vertebrae in sagittal and transverse planes. *J Biomech*. 2010;43(10):1905-1909.

[22] Li G, Wang S, Passias P, et al. Segmental in vivo vertebral motion during functional human lumbar spine activities. *Eur Spine J*. 2009;18(7):1013-1021.

[23] Wang S, Xia Q, Passias P, et al. Measurement of geometric deformation of lumbar intervertebral discs under in-vivo weightbearing condition. *J Biomech*. 2009;42(6):705-711.

[24] Wang S, Xia Q, Passias P, et al. How does lumbar degenerative disc disease affect the disc deformation at the cephalic levels in vivo? *Spine (Phila Pa 1976)*. 2011;36(9):E574-581.

[25] Kozanek M, Wang S, Passias PG, et al. Range of motion and orientation of the lumbar facet joints in vivo. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2009;34(19):E689-696.

[26] Li W, Wang S, Xia Q, et al. Lumbar facet joint motion in patients with degenerative disc disease at affected and adjacent levels: an in vivo biomechanical study. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2011;36(10):E629-637.

[27] Anderst WJ, Baillargeon E, Donaldson WF 3rd, et al. Validation of a noninvasive technique to precisely measure in vivo three-dimensional cervical spine movement. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2011;36(6):E393-400.

[28] Malmström EM, Karlberg M, Melander A, et al. Zebris versus Myrin: a comparative study between a three-dimensional ultrasound movement analysis and an inclinometer/compass method: intradevice reliability, concurrent validity, intertester comparison, intratester reliability, and intraindividual variability. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2003;28(21):E433-440.

[29] Dall'Alba PT, Sterling MM, Treleaven JM, et al. Cervical range of motion discriminates between asymptomatic persons and those with whiplash. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2001;26(19):2090-2094.

[30] 吴晓东, 袁文, 汤俊君, 等. 颈椎三维活动度测定仪的测量稳定性评估[J]. *脊柱外科杂志*, 2009, 7(4):205-208.

**关于作者:** 第一作者和通讯作者构思并设计本综述, 经通讯作者多次审校。第一作者对本文负责。

**利益冲突:** 课题未涉及任何厂家及相关雇主或其他经济组织直接或间接的经济或利益的赞助。

**伦理批准:** 未涉及与相关伦理相冲突的内容。

**此问题的已知信息:** 颈椎退行性变在脊柱外科领域较常见, 其发病原因由性别、年龄、脊柱失稳等多种因素引起, 并最终导致颈椎活动范围改变从而产生一系列临床症状。

**本总数增加的新信息:** 颈椎在体运动学研究对提高生理载荷下颈椎运动状况的认识水平以及优化临床颈椎疾患的诊疗方案有重要作用。本文综述近年来国内外对颈椎在体运动学研究领域的相关研究报道, 归纳总结了颈椎在体运动学的研究方法和特点, 可为今后该领域的研究提供参考。

**临床应用的意义:** 颈椎在体运动学的研究可获取生理载荷下颈椎各个关节6个自由度(6DOF)的量化数据, 能够为临床术前评估、个体化手术方案的建立、人工椎间关节及内固定器尤其是非融合内固定物的研制提供不可或缺的参考数据, 重视和加强该领域研究意义重大。