

DOI: 10.16781/j.CN31-2187/R.20210481

· 综 述 ·

颈椎畸形的评估与治疗现状

吴浩然, 李 博, 陈 锴, 陈绍丰, 李 明*

海军军医大学(第二军医大学)第一附属医院脊柱外科, 上海 200433

〔摘要〕 颈椎在脊柱中活动度最大, 其发生病变带来的生活质量下降也在脊柱疾病中最严重。颈椎畸形较之于其他颈椎疾患症状更为严重且预后较差。本文简述了颈椎畸形的分类及病因、影像学参数的测量与评估、临床治疗选择和预后, 并阐述了其评估系统和手术治疗现状。对于颈椎畸形而言, 目前尚缺乏普遍接受的分类和评估系统, 手术指征也不明确, 尚待进一步探索。

〔关键词〕 颈椎畸形; 后凸畸形; 矢状位失衡; 截骨

〔中图分类号〕 R 682.3 **〔文献标志码〕** A **〔文章编号〕** 2097-1338(2022)06-0670-07

Evaluation and treatment of cervical deformity: current status

WU Hao-ran, LI Bo, CHEN Kai, CHEN Shao-feng, LI Ming*

Department of Spine Surgery, The First Affiliated Hospital of Naval Medical University (Second Military Medical University), Shanghai 200433, China

〔Abstract〕 The cervical vertebra has the maximum range of motion in the spine, and the decline of quality of life caused by cervical vertebra-related diseases is the most serious one among spinal diseases. Compared with other spinal diseases, cervical deformity has more serious symptoms and poor prognosis. This paper briefly summarizes the classification and etiology of the disease, the measurement and evaluation of imaging parameters, the selection of clinical treatment and the prognosis, and describes the evaluation system and surgical treatment. At present, there is a lack of generally accepted classification system, evaluation system and clear surgical indications for cervical deformities, which needs to be further explored.

〔Key words〕 cervical deformity; kyphosis; sagittal imbalance; osteotomy

[Acad J Naval Med Univ, 2022, 43(6): 670-676]

颈椎位于头部与胸椎之间, 由 7 块椎骨、椎骨周围的肌肉韧带和关节囊及椎管内神经组成, 起着重要的支撑和缓冲作用。颈椎本身具有很大的活动度, 能够进行屈曲(90°)、伸展(70°)、旋转(90°)、侧曲(20°~45°)和前后平移运动。颈椎具有前凸的生理曲度, 角度通常为 15°~25°, 维持着整个脊柱的矢状位平衡。近年来, 颈椎退行性改变趋于年轻化, 颈椎相关疾病的发生率不断增高, 颈椎畸形逐渐受到重视。当颈椎因为各种原因发生序列、融合和结构改变时, 会导致严重的疼痛及感觉、运动功能障碍。颈椎畸形中后凸畸形最为常见, 侧凸畸形较少见, 相较于一般的颈椎疾病其症状严重且难以纠正, 危害不容小觑。而关于颈椎畸形, 目前仍

缺乏统一标准定义、普遍认可的分类和评估系统及手术选择和预后评估系统。本文对颈椎后凸畸形的主要病因、诊断、评估和治疗等进行综述及讨论, 为临床决策提供部分理论依据。

1 颈椎畸形的病因学

颈椎畸形的主要病因包括先天性、退变性、创伤性、医源性和其他疾病(如强直性脊柱炎、肿瘤、感染等), 具体病因还需要进一步研究明确。

1.1 先天性颈椎畸形 先天性颈椎畸形主要与遗传相关, 可能由骨性结构、软骨及周围结缔组织发育异常导致, 目前已知的主要类型包括寰枕畸形、先天性颈椎融合畸形(Klippel-Feil syndrome,

〔收稿日期〕 2021-05-08

〔接受日期〕 2021-08-26

〔基金项目〕 国家自然科学基金(81972035)。Supported by National Natural Science Foundation of China (81972035).

〔作者简介〕 吴浩然, 硕士生, 住院医师. E-mail: 717382270@qq.com

*通信作者(Corresponding author). Tel: 021-31161700, E-mail: limingch@21cn.com

KFS)、先天性软骨发育不良和先天性韧带松弛等。寰枕畸形主要包括扁平颅底、颅底凹陷、寰枕融合、颈椎分节不全、寰枢椎脱位、小脑扁桃体下疝畸形(Chiari畸形)等。Pinter等^[1]指出,寰椎畸形的病理主要包括颅脑交界区基枕骨、寰椎、枕髁、软骨发育不良或寰椎环伴侧块扩散和寰枕同化。KFS指2个或以上的颈椎融合性畸形,典型表现为颈部缩短、枕部发际线变低及颈部活动受限。

近年来,研究发现遗传因素在KFS中有重要作用,突变基因通过转录和信息传递影响椎体发育。Bayrakli等^[2]研究证实生长分化因子(growth differentiation factor, *GDF*)3和*GDF6*突变是常染色体显性KFS的主要原因,而隐性KFS的突变基因主要是间叶细胞同源框1基因。Karaca等^[3]研究发现Ripply转录因子2(Ripply transcriptional repressor 2, *RIPPLY2*)是隐性KFS的相关基因,同时Serey-Gaut等^[4]研究发现*RIPPLY2*与寰枢椎畸形有关。Alazami等^[5]研究证明了肌球蛋白18B基因广泛影响人体发育,其表达缺失会导致发育障碍,增加KFS的发生风险。除此之外,Ren等^[6]研究发现T-Box转录因子6基因高表达会增高先天性颈椎畸形的风险。Li等^[7]研究发现布罗莫结构域邻接锌指域1B、FRAS1相关胞外基质蛋白2、融合同源物抑制因子、Vang样蛋白1、组蛋白-赖氨酸N-甲基转移酶2D可能与KFS有关。神经纤维瘤病是一种遗传性周围神经疾病,由常染色体显性遗传和自发突变引起,约44%的神经纤维瘤病患者会出现颈椎畸形,因此对于神经纤维瘤病的遗传学研究也十分必要。

1.2 退变性颈椎畸形 颈椎正常的前凸状态由椎体前高后低的姿态及后方肌肉韧带复合体共同维持,而颈椎的轴向载荷由颈椎下小关节(2/3)和椎间盘(1/3)共同承担^[8]。随着年龄增长,椎间盘发生退行性改变后椎体高度丢失,后方的肌肉韧带因退变而松弛,从而造成颈椎不稳、重心前移、矢状位失衡;力线的偏移增加了对颈椎下小关节的压力,加速了小关节退变,并最终发生后凸畸形。同时,后凸畸形的形成对椎间盘和后方肌肉韧带产生了更大的压力,反过来又加速了退变的发生。另外,退变会导致椎管狭窄,椎间盘退变也可能导致椎间盘向后凸出,使脊髓受到的压力增加,产生神

经损伤风险^[9]。

1.3 创伤性颈椎畸形 交通事故和高处坠落等高能创伤是导致颈椎畸形的主要因素。对颈椎的致伤部位主要是枕颈部和寰枢椎,枕颈部损伤中枕骨髁骨折较为少见,而寰枢关节脱位患者多在入院前死亡,因此寰枢椎及其附属结构骨折、韧带撕裂是创伤性颈椎畸形的主要原因。创伤导致关节过度运动或异常运动的同时会引起脊髓、神经根及椎动脉受压症状。创伤性下颈椎畸形除典型的椎体骨折或脱位外,还存在椎板骨折、颈椎半脱位等X线表现不明显的情况,这些情况下患者往往存在前、后纵韧带及关节囊损伤,导致小关节不稳,如受伤后没有足够时长的制动容易发生迟发性颈椎不稳症,从而引发颈椎畸形。

1.4 医源性颈椎畸形 患者的体位、牵引器放置、减压颈椎的数量及程度、器械类型、植骨的选择和放置及内固定的使用都可能引发医源性颈椎畸形,其中最为常见的是椎板切除术后颈椎后凸,主要是对小关节和椎体后方肌肉韧带的损伤造成的。椎体后方的肌肉韧带起到维持颈椎重心、防止过度弯曲的作用,但是在椎板切除术中,棘上韧带和黄韧带的切除大大减弱了这一作用,不足以维持矢状位平衡,增加了后凸畸形的发生风险。另一个重要影响因素是颈椎融合术后邻近节段退变。当颈椎节段融合后,其运动和形变发生改变,原本应该发生在被融合节段的应力会分离集中到相邻的上、下节段,加速了邻近节段退变的发生。Kirmaz等^[10]研究发现前路手术术后发生邻近节段退变的风险更高。

1.5 其他疾病所致的颈椎畸形 强直性脊柱炎对颈椎的影响包括2个方面,一是椎间盘间隙的淋巴细胞浸润导致纤维环与椎体终板交界处的退变,二是破坏椎体骨质,使其密度降低、变脆。关节炎症、广泛强直和骨质疏松均可导致脊柱矢状位失衡,失衡状态下的椎体融合会引发后凸畸形,同时失衡所致的重心前移会进一步加重后凸畸形的发展。骨折在屈曲状态下的愈合也是后凸畸形的原因之一,症状严重者会产生下颌紧贴胸壁的畸形。除了强直性脊柱炎之外,HLA-B27阴性的脊柱疾病如赖特综合征、银屑病关节炎和肠病性关节炎等亦可导致颈椎畸形。部分位于颈部的原发性肿瘤或转移瘤如鼻咽癌等可能会因占位或造成椎体骨质破坏

而进一步引起颈椎畸形^[11]。感染也是造成颈椎畸形的原因之一,其中脊柱前柱结核可能因导致脊柱前柱进行性破坏而引发脊柱后凸畸形^[12]。但由于颈椎存在生理前凸,相较于胸椎和胸腰椎,颈椎对于结核破坏造成的椎体丢失耐受性较好^[13],因此临床上结核所致颈椎畸形少见。

2 颈椎畸形的诊断与评估

2.1 基本诊断与体格检查 颈椎畸形的诊断标准并不统一,使用较多的测量法包括两切线 Cobb 角法、后切线夹角法、Borden 测量法等。两切线 Cobb 角法测量后凸节段的上端椎体上终板和下端椎体下终板 Cobb 角,小于 -5° 即认为后凸。后切线夹角法测量 C_2 椎体后下缘和 C_7 椎体后下缘连线夹角,正值则认为后凸。Borden 测量法测量 C_2 椎体齿突后上缘到 C_7 椎体后下缘连线,其与颈椎各椎体后缘连线最宽处的垂线值为负值时认为是后凸。对于颈椎畸形的患者,详细的病史采集和体格检查不可或缺。患者存在严重后凸畸形时,会出现吞咽困难和保持水平凝视困难的状况,这些可以从站姿进行评估,部分患者可能会有头下垂综合征表现。由于脊椎矢状位平衡的代偿作用,部分患者也可能有腰痛表现。对畸形柔韧性的检查,嘱患者取垫枕仰卧位,放松后慢慢移除枕头,观察颈椎后凸矫正程度的同时评估其柔韧性。对神经系统和脊髓功能的体格检查也极其重要,神经损伤的程度可被用于指导手术方式选择和预后预测。

2.2 影像学评估、矢状位参数测量及分类 目前的影像学评估主要采用 X 线片与 CT、MRI 相结合,这种评估方法的优势在于将整体的脊柱状态与局部的骨和神经状态相结合,考虑更为全面。但是目前尚缺乏一个可以综合考虑不同影像学结果以指导手术选择的评估系统。X 线片包括颈椎正位及侧位片、动态 X 线片和脊柱全长 X 线片等,用于评估畸形的严重程度、灵活性,并进行 Cobb 角测量,其中脊柱全长 X 线片可评估整体的平衡与代偿情况,动态 X 线片可用于评估畸形脊柱的柔韧度,同时可以确定是否存在寰枢椎不稳。CT 对于畸形附近骨质的细节解剖结构的显示更为明确,可以通过椎体、椎间盘及小关节的情况确定椎间盘小关节融合和骨赘桥的程度,从而评估在固定畸形中前后截骨的必要性,同时还可以明确是否存在椎间管狭

窄与损伤。MRI 可以评估脊髓和神经根状态,如果存在受压则需要进行减压手术。此外,MRI 还可以评估肌肉韧带复合体的损伤状况,对于进一步发生后凸畸形的风险做出预测。弥散张量成像依据水分子的移动方向进行成像,对于脊髓状况的评估更具优势。

目前用于描述颈椎畸形的参数多且混乱,寻找准确性高的简易化参数很有必要。目前常用的影像学参数包括颈椎前凸角(cervical lordosis, CL)、颈椎曲度指数(cervical index, CI)、 C_1 - C_2 角、矢状位轴向偏距(sagittal vertical axis, SVA)、 C_2 - C_7 矢状位轴向偏距(C_2 - C_7 sagittal vertical axis, C_{2-7} SVA)、下颌眉垂直角(chin-brow to vertical angle, CBVA)、 T_1 斜率(T_1 slope, T_1S)、胸廓入口角(thoracic inlet angle, TIA)和颈部倾斜角(neck tilt, NT)等。CL 的测量方法为 C_2 椎体下终板切线与 C_7 椎体下终板切线的夹角,该角反映颈椎的生理曲度。CL 在直立位和坐位有差异,Zhou 等^[14]认为不同年龄人群 CL 在直立位和坐位的差异应当分别进行评估,其中老年人群的 CL 增大趋势更大。Goldschmidt 等^[15]的研究通过方程具体描述了 CL 对 T_1S 的补偿和对术后颈椎 SVA 的预测,可用于指导植入物的定制。CI 是以 C_2 和 C_7 之间椎体后下缘距此线距离之和为分子、以 C_2 椎体后上缘与 C_7 椎体后下缘连线长度为分母得出的比值。 C_1 - C_2 角是 C_1 前后弓中点连线与 C_2 下终板的夹角,是上颈椎矢状位平衡的重要参数。SVA 是骶骨后上角与 C_7 铅垂线的距离,代表脊柱的矢状位偏移情况。Horn 等^[16]研究发现, $SVA > 4$ cm 可能是整体预后差的预测因素之一。 C_{2-7} SVA 是 C_2 铅垂线与 C_7 后上角的距离, C_{2-7} SVA 增大会增加颈椎屈曲弯矩及对周围肌肉韧带的压力。CBVA 是患者在站立伸髋、伸膝位使颈椎处于中立位时,下颌-眉毛连线与眉毛铅垂线的夹角。CBVA 用于评估水平凝视的状况,CBVA 为 0° 代表颈椎完全中立,CBVA 为负值代表颈椎向上倾斜。有研究指出,当 CBVA 为 0° 或负值但绝对值较小时,患者水平凝视最佳^[17]。Moses 等^[18]引入麦格雷戈斜率(McGregor's slope)和视线斜率,其研究结果表明麦格雷戈斜率和视线斜率与 CBVA 呈强正相关,扩大了 CBVA 作为水平凝视的放射学评估使用范围。 T_1S 是 T_1 椎体上终板与水平线之间的夹角。TIA 是 T_1 椎体上

终板中点和胸骨上缘连线与 T_1 椎体上终板中垂线之间的夹角。NT是 T_1 椎体上终板中点和胸骨上缘连线与胸骨垂线的夹角。 TIA 、 T_1S 和NT三者之间的关系可用 $TIA=NT+T_1S$ 表示,较小的 TIA 和 T_1S 对应着较小的 CL 。Staub等^[19]研究认为可通过公式 $CL=T_1S-16.5^\circ\pm 2^\circ$ 预测 CL ,同时指出 $T_1S<16.5^\circ$ 可预测后凸畸形。

颈椎畸形和颈椎退行性病变在影像学上的差异是需要鉴别的。从力学角度来讲,颈椎稳定的代偿结构包括内在的椎间盘、椎体、关节和骨-韧带复合体及外在的颈部肌群。颈椎畸形和颈椎退行性病变对肌肉的影响都是加强肌肉收缩引发的肌肉损伤及肌力减弱,从而影响椎体稳定。但显然椎间盘退变及突出、颈椎肥厚增生及骨赘形成在颈椎的退行性病变中表现更明显,可以根据这一点与颈椎畸形进行鉴别。

对于颈椎畸形的分类评估目前还无普遍接受的系统。Ames等^[20]于2015年提出一种颈椎畸形分类系统,包括C型(颈部)、CT型(颈胸)、T型(胸部)、S型(冠状面)和CVJ型(颅颈交界)5个畸形描述类别,以及 C_{2-7} SVA、CBVA、 $CL-T_1S$ 、改良日本骨科协会评分(modified Japanese Orthopaedic Association score, mJOA评分)和国际脊柱侧凸研究会-施瓦布(Scoliosis Research Society-Schwab, SRS-Schwab)分型5个优化评价指标。

3 临床治疗选择及阶梯化

3.1 保守治疗 保守治疗的指征没有明确定义,一般将保守治疗作为手术治疗前的尝试,保守治疗无效是手术指征之一。保守治疗也可作为加强手术效果、降低并发症风险的手段。保守治疗的目的包括减轻疼痛、改善水平凝视状况及恢复矢状位平衡。非甾体抗炎药对治疗肌肉的炎性症状有效,能够减轻疼痛。颈椎矫形器是保守治疗的首要治疗方法,可以限制30%~96%的颈椎活动,它的支撑作用可以帮助患者有效地保持水平凝视。此外,物理治疗有助于颈椎功能的改善,主要包括牵引、热疗等。

3.2 手术治疗 不同类别畸形的手术干预时机和指征有所不同。一般而言,顽固性肩颈疼痛、伴有神经功能障碍和脊髓损伤、水平凝视偏移过大和保守治疗无效被认为是手术指征,手术治疗的目的是畸形矫正、水平凝视恢复、解除神经脊髓压迫、

恢复矢状面平衡和脊柱稳定。关于手术入路的选择,后路手术可以处置更多椎体,拥有更大的矫形量,而前路手术在减压方面更有优势。Kim等^[21-22]研究显示,前路截骨术提供平均 23° 的角度矫正和1.3 cm的平移矫正,而后路截骨术提供平均 34.5° 的角度矫正和2.5 cm的平移矫正,因此可以结合术前评估的待矫正量选择手术入路。Hann等^[23]提出了基于形态学和病理学的手术入路选择方法,无关节强直优先选用前路松解植骨加或不加后路融合,前路强直选用前路截骨植骨后路内固定,后路强直选用前路松解植骨加后路截骨减压融合内固定。当前柱存在损伤和脊髓压迫时,前路手术是必要的。截骨是治疗僵硬畸形的有效手段,Ames等^[24]曾提出一个用于描述和分类颈椎截骨的系统,根据解剖学将截骨分为7个等级,将入路分为前入路、后入路、前-后入路、后-前入路、前-后-前入路和后-前-前-后入路6种,该系统提供了一种可靠且一致的解剖描述。尽管如此,对于截骨的指征和技术选择还是未能达成共识,一般由所需要的矫正量和颈椎的活动度决定。

常用的前路技术包括颈椎前路椎间盘切除减压植骨融合术(anterior cervical discectomy and fusion, ACDF)、颈椎前路椎体次全切除减压植骨融合术(anterior cervical corpectomy and fusion, ACCF)、前路截骨术(anterior osteotomy, ATO)和前路颈椎椎体骨化物复合体前移融合术(anterior controllable antedisplacement and fusion surgery, ACAF)等。ATO用于多椎体强直所致的固定畸形,但是后路截骨能够提供比ATO更多的矫正量。目前主流前路技术为ACCF和ACDF。Qiu等^[25]研究显示,在相邻2个节段的手术中,ACDF在并发症、出血量和住院时间方面较ACCF更有优势。Katz等^[26]的研究也显示与多级ACDF相比,ACCF再次手术率和并发症发生率均增高。而Ouyang等^[27]的研究则表明ACCF的长期稳定性和植骨融合率可能更高。在技术创新方面,Kulkarni等^[28]验证了微创入路在ACCF和ACDF中的技术可行性。ACAF是一项创新性的前路减压技术,Sun等^[29]和Chen等^[30]研究发现相比后路椎板成形术和椎板切除术,ACAF在达到一次性减压效果的同时大大降低了神经损害等并发症的风险。

常用的后路技术包括后路椎板成形术

(laminoplasty, LP)、后路椎板切除融合术(laminectomy and fusion, LF)、Smith-Petersen截骨术(Smith-Petersen osteotomy, SPO)和椎弓根减影截骨术(pedicle subtraction osteotomy, PSO)等。后路技术的固定效果相较于前路技术更佳,故很多前路技术都会联合使用后路固定。传统不进行融合的单纯椎板切除术存在发生术后后凸和节段不稳的风险,已经被LF所取代。当颈椎后凸畸形不稳定或可矫正时,器械融合术的应用可使患者获益^[31]。与LF相比,LP的术后后凸畸形发生率较高且减压效果较弱。Lee等^[32]研究显示椎板成形术可能会加重颈椎矢状位失衡,但是LP对于力学结构的改变较小^[33]。颈椎SPO完全切除上、下关节面的同时切除黄韧带、椎板和棘突,SPO完成后可通过向后加压获得后凸矫正。PSO在医源性畸形方面比SPO具有优势。Kim等^[22]研究显示,PSO可以获得与SPO+ATO相近的矫正效果。

对于复杂的颈椎畸形,也考虑使用前后路联合,包括前-后入路、后-前入路、前-后-前入路和后-前-前-后入路。前后路联合有利于颈椎的环状重建,Tundo等^[33]认为当患者存在脊椎背侧压缩、小关节强直或前路手术无法纠正的畸形时,应选择前后路联合手术。除此之外,当前路手术涉及多个节段椎体切除时,会增加固定失败和假关节形成的风险,因此需要考虑额外的后路固定。虽然前后路联合手术和单侧入路能达到相似的矫正效果,但Grosso等^[34]研究发现前后入路手术后患者的并发症发生率为40%,高于前路手术的30%和后路手术的27%,表明手术入路需要综合权衡后决定。

3.3 并发症和预后康复 根据Passias等^[35]的数据分析结果,颈椎畸形术后并发症主要包括吞咽困难、远端交界后凸、假关节、呼吸衰竭、伤口感染、脊髓或神经根损伤等。Smith等^[36]研究发现,56%的颈椎畸形术后患者有至少1项并发症。在前路手术中,吞咽困难较为常见,可伴有声带麻痹和气管、食管损伤症状,严重者可采用短疗程类固醇激素治疗。在后路手术中,伤口感染的发生率显著升高,可通过多层闭合或在伤口处加万古霉素粉末预防^[37]。在联合入路手术中,Smith等^[38]发现前-后入路和前-后-前入路手术的早期并发症发生率高达79.3%,高于前路手术的27.3%和后路手术的

68.4%,但是假关节的发生率通常较低。术后护理和康复的重点内容是脊柱稳定与平衡的恢复及症状与功能的改善,支具佩戴和药物应用必不可少。对于老年患者要考虑骨质疏松的影响并及时给予药物干预。可应用颈椎功能障碍指数、疼痛视觉模拟量表评分和mJOA评分等评估患者术后状态,但是专门用于评估颈椎畸形患者生活质量的问卷和预后评估指标较为缺乏。

4 颈椎畸形诊疗的挑战

对于颈椎畸形,目前的研究尚存在很多空白。颈椎畸形缺乏明确的定义和普遍认可的分类系统,使各项研究的叙述无法统一。现有的术前评估系统也存在参数多且混乱的问题,保守治疗的适应证、手术入路的选择及截骨术的指征都未达成共识。目前对于术后效果的评估多基于颈椎功能障碍指数、疼痛视觉模拟量表评分等,且不同研究选用的量表也无法统一,难以进行横向比较,因此编制专用于颈椎畸形的健康生活质量量表很有必要。此外,有效的预防措施也值得进一步研究。

5 小结和展望

颈椎畸形中最常见的是后凸畸形,病因主要包括先天性、退变性、创伤性、疾病因素(强直性脊柱炎等)和医源性因素。针对不同患者应采用个体化治疗方案,这需要临床医师掌握全面的术前体格检查和影像学评估方法、制订周密的手术方案。根据评估结果选择合适的手术入路,确定减压、截骨和融合的范围,选择恰当的固定器械,这些都有助于提高手术成功率和降低并发症风险。随着数字技术的发展及固定器械和技术的不断创新,可以预见未来术前评估的准确性、手术的精确性会进一步提升,术后畸形和并发症的发生风险会逐渐降低。

[参考文献]

- [1] PINTER N K, MCVIGE J, MECHTLER L. Basilar invagination, basilar impression, and platybasia: clinical and imaging aspects[J/OL]. *Curr Pain Headache Rep*, 2016, 20: 49. DOI: 10.1007/s11916-016-0580-x.
- [2] BAYRAKLI F, GUCLU B, YAKICIER C, BALABAN H, KARTAL U, ERGUNER B, et al. Mutation in *MEOX1* gene causes a recessive Klippel-Feil syndrome subtype[J/OL]. *BMC Genet*, 2013, 14: 95. DOI: 10.1186/1471-2156-14-95.

- [3] KARACA E, YUREGIR O O, BOZDOGAN S T, ASLAN H, PEHLIVAN D, JHANGIANI S N, et al. Rare variants in the Notch signaling pathway describe a novel type of autosomal recessive Klippel-Feil syndrome[J]. *Am J Med Genet A*, 2015, 167A: 2795-2799.
- [4] SEREY-GAUT M, SCALA M, REVERSADE B, RUAUD L, CABROL C, MUSACCHIA F, et al. Congenital posterior cervical spine malformation due to biallelic c.240-4T>G *RIPPLY2* variant: a discrete entity[J]. *Am J Med Genet A*, 2020, 182: 1466-1472.
- [5] ALAZAMI A M, KENTAB A Y, FAQEIH E, MOHAMED J Y, ALKHALIDI H, HIJAZI H, et al. A novel syndrome of Klippel-Feil anomaly, myopathy, and characteristic facies is linked to a null mutation in *MYO18B*[J]. *J Med Genet*, 2015, 52: 400-404.
- [6] REN X, YANG N, WU N, XU X, CHEN W, ZHANG L, et al. Increased TBX6 gene dosages induce congenital cervical vertebral malformations in humans and mice[J]. *J Med Genet*, 2020, 57: 371-379.
- [7] LI Z Q, ZHAO S, CAI S Y, ZHANG Y Q, WANG L L, NIU Y C, et al. The mutational burden and oligogenic inheritance in Klippel-Feil syndrome[J/OL]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2020, 21: 220. DOI: 10.1186/s12891-020-03229-x.
- [8] TAN L, RIEW K D, TRAYNELIS V C. Cervical spine deformity—part 1: biomechanics, radiographic parameters, and classification[J]. *Neurosurgery*, 2017, 81: 197-203.
- [9] DIEBO B G, SHAH N V, SOLOW M, CHALLIER V, PAULINO C B, PASSIAS P G, et al. Adult cervical deformity: radiographic and osteotomy classifications[J]. *Der Orthopade*, 2018, 47: 496-504.
- [10] KIRNAZ S, WIPPLINGER C, WONG T, SCHMIDT F A, NANGUNOORI R, HÄRTL R. Less invasive cervical decompression via unilateral tubular laminotomy using 3-dimensional total navigation: 2-dimensional operative video[J/OL]. *Oper Neurosurg Hagerstown Md*, 2020, 19: E418. DOI: 10.1093/ons/opaa059.
- [11] YUNG C S Y, LEUNG D K C, CHEUNG J P Y. The prevalence and impact of cervical spine pathologies in patients with nasopharyngeal carcinoma[J]. *Oral Oncol*, 2019, 90: 48-53.
- [12] KHANNA K, SABHARWAL S. Spinal tuberculosis: a comprehensive review for the modern spine surgeon[J]. *Spine J*, 2019, 19: 1858-1870.
- [13] RAJASEKARAN S, SOUNDARARAJAN D C R, SHETTY A P, KANNA R M. Spinal tuberculosis: current concepts[J]. *Glob Spine J*, 2018, 8(4 Suppl): 96S-108S.
- [14] ZHOU S Y, SUN Z R, LI W, WANG W, SU T, DU C B, et al. The standing and sitting sagittal spinopelvic alignment of Chinese young and elderly population: does age influence the differences between the two positions?[J]. *Eur Spine J*, 2020, 29: 405-412.
- [15] GOLDSCHMIDT E, ANGRIMAN F, AGARWAL N, TREVISAN M, ZHOU J, CHEN K, et al. A new piece of the puzzle to understand cervical sagittal alignment: utilizing a novel angle δ to describe the relationship among T₁ vertebral body slope, cervical lordosis, and cervical sagittal alignment[J]. *Neurosurgery*, 2019, 86: 446-451.
- [16] HORN S R, PASSIAS P G, OH C, LAFAGE V, LAFAGE R, SMITH J S, et al. Predicting the combined occurrence of poor clinical and radiographic outcomes following cervical deformity corrective surgery[J]. *J Neurosurg Spine*, 2019, 32: 182-190.
- [17] YAN Y Z, SHAO Z X, PAN X X, CHEN S Q, WU A M, TIAN N F, et al. Acceptable chin-brow vertical angle for neutral position radiography: preliminary analyses based on parameters of the whole sagittal spine of an asymptomatic Chinese population[J/OL]. *World Neurosurg*, 2018, 120: e488-e496. DOI: 10.1016/j.wneu.2018.08.109.
- [18] MOSES M J, TISHELMAN J C, ZHOU P L, MOON J Y, BEAUBRUN B M, BUCKLAND A J, et al. McGregg's slope and slope of line of sight: two surrogate markers for Chin-Brow vertical angle in the setting of cervical spine pathology[J]. *Spine J*, 2019, 19: 1512-1517.
- [19] STAUB B N, LAFAGE R, KIM H J, SHAFFREY C I, MUNDIS G M, HOSTIN R, et al. Cervical mismatch: the normative value of T₁ slope minus cervical lordosis and its ability to predict ideal cervical lordosis[J]. *J Neurosurg Spine*, 2018, 30: 31-37.
- [20] AMES C P, SMITH J S, EASTLACK R, BLASKIEWICZ D J, SHAFFREY C I, SCHWAB F, et al. Reliability assessment of a novel cervical spine deformity classification system[J]. *J Neurosurg Spine*, 2015, 23: 673-683.
- [21] KIM H J, PIYASKULKAEW C, RIEW K D. Anterior cervical osteotomy for fixed cervical deformities[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2014, 39: 1751-1757.
- [22] KIM H J, PIYASKULKAEW C, RIEW K D. Comparison of Smith-Petersen osteotomy versus pedicle subtraction osteotomy versus anterior-posterior osteotomy types for the correction of cervical spine deformities[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2015, 40: 143-146.
- [23] HANN S, CHALOUHI N, MADINENI R, VACCARO A R, ALBERT T J, HARROP J, et al. An algorithmic strategy for selecting a surgical approach in cervical deformity correction[J/OL]. *Neurosurg Focus*, 2014, 36: E5. DOI: 10.3171/2014.3.FOCUS1429.
- [24] AMES C P, SMITH J S, SCHEER J K, SHAFFREY

- C I, LAFAGE V, DEVIREN V, et al. A standardized nomenclature for cervical spine soft-tissue release and osteotomy for deformity correction: clinical article[J]. *J Neurosurg Spine*, 2013, 19: 269-278.
- [25] QIU Y Y, XIE Y, CHEN Y Q, YE J J, WANG F S, ZENG J Y, et al. Adjacent two-level anterior cervical discectomy and fusion versus one-level corpectomy and fusion in cervical spondylotic myelopathy: analysis of perioperative parameters and sagittal balance[J/OL]. *Clin Neurol Neurosurg*, 2020, 194: 105919. DOI: 10.1016/j.clineuro.2020.105919.
- [26] KATZ A D, MANCINI N, KARUKONDA T, COTE M, MOSS I L. Comparative and predictor analysis of 30-day readmission, reoperation, and morbidity in patients undergoing multilevel ACDF versus single and multilevel ACCF using the ACS-NSQIP dataset[J/OL]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2019, 44: E1379-E1387. DOI: 10.1097/BRS.0000000000003167.
- [27] OUYANG P R, LI J L, HE X J, DONG H, ZANG Q J, LI H P, et al. Biomechanical comparison of 1-level corpectomy and 2-level discectomy for cervical spondylotic myelopathy: a finite element analysis[J/OL]. *Med Sci Monit*, 2020, 26: e919270. DOI: 10.12659/MSM.919270.
- [28] KULKARNI A G, PATEL A, ANKITH N V. A technical case report on use of tubular retractors for anterior cervical spine surgery[J]. *Eur Spine J*, 2018, 27: 1454-1459.
- [29] SUN K Q, WANG S M, HUAN L, SUN J C, XU X M, SUN X F, et al. Analysis of the spinal cord angle for severe cervical ossification of the posterior longitudinal ligament: comparison between anterior controllable antedisplacement and fusion (ACAF) and posterior laminectomy[J]. *Eur Spine J*, 2020, 29: 1001-1012.
- [30] CHEN Y, SUN J C, YUAN X Q, GUO Y F, YANG H S, CHEN D Y, et al. Comparison of anterior controllable antedisplacement and fusion with posterior laminoplasty in the treatment of multilevel cervical ossification of the posterior longitudinal ligament: a prospective, randomized, and control study with at least 1-year follow up[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2020, 45: 1091-1101.
- [31] BUELL T J, BUCHHOLZ A L, QUINN J C, SHAFFREY C I, SMITH J S. Importance of sagittal alignment of the cervical spine in the management of degenerative cervical myelopathy[J]. *Neurosurg Clin N Am*, 2018, 29: 69-82.
- [32] LEE J S, SON D W, LEE S H, KIM D H, LEE S W, SONG G S. The predictable factors of the postoperative kyphotic change of sagittal alignment of the cervical spine after the laminoplasty[J]. *J Korean Neurosurg Soc*, 2017, 60: 577-583.
- [33] TUNDO F, AVILA M J, WILLARD L, FANOUS S, CURRI C, HUSSAIN I, et al. Spinal alignment, surgery, and outcomes in cervical deformity: a practical guide to aid the spine surgeon[J/OL]. *Clin Neurol Neurosurg*, 2019, 185: 105496. DOI: 10.1016/j.clineuro.2019.105496.
- [34] GROSSO M J, HWANG R, KRISHNANEY A A, MROZ T E, BENZEL E C, STEINMETZ M P. Complications and outcomes for surgical approaches to cervical kyphosis[J/OL]. *J Spinal Disord Tech*, 2015, 28: E385-E393. DOI: 10.1097/BSD.0b013e318299953f.
- [35] PASSIAS P G, HORN S R, JALAI C M, POORMAN G, BONO O J, RAMCHANDRAN S, et al. Comparative analysis of perioperative complications between a multicenter prospective cervical deformity database and the Nationwide Inpatient Sample database[J]. *Spine J*, 2017, 17: 1633-1640.
- [36] SMITH J S, BUELL T J, SHAFFREY C I, KIM H J, KLINEBERG E, PROTOSALTIS T, et al. Prospective multicenter assessment of complication rates associated with adult cervical deformity surgery in 133 patients with minimum 1-year follow-up[J/OL]. *J Neurosurg Spine*, 2020: 1-13. DOI: 10.3171/2020.4.SPINE20213.
- [37] SAFAEE M M, TAN L, RIEW K D. Anterior osteotomy for rigid cervical deformity correction[J]. *J Spine Surg Hong Kong*, 2020, 6: 210-216.
- [38] SMITH J S, RAMCHANDRAN S, LAFAGE V, SHAFFREY C I, AILON T, KLINEBERG E, et al. Prospective multicenter assessment of early complication rates associated with adult cervical deformity surgery in 78 patients[J]. *Neurosurgery*, 2015, 79: 378-388.

[本文编辑] 杨亚红