

T₁ 倾斜角与 C₇ 倾斜角多因素分组相关性分析

位新维, 喻景奕

(周口市中心医院脊柱外科, 河南 周口 466000)

【摘要】 目的: 通过 T₁ 倾斜角(T₁ slope, T₁S)与 C₇ 倾斜角(C₇ slope, C₇S)相关性分析, 探讨 C₇S 是否可替代 T₁S。方法: 以 2015 年 7 月至 2020 年 7 月门诊和住院的 442 例颈椎疾患患者为观察对象, 筛选出能识别 T₁ 上终板患者 259 例, 男 145 例, 女 114 例, 其中颈椎手术患者 163 例, 门诊非手术患者 96 例, 年龄 20~83(58.6±11.2)岁。将筛选对象按性别、年龄、颈椎是否后凸、颈椎序列是否失衡、颈椎是否手术进行分组, 其中男性组 145 例, 女性组 114 例; 青年组 76 例(<40 岁), 中年组 109 例(40~60 岁), 老年组 74 例(>60 岁); 颈椎后凸组 92 例, 非后凸组 167 例; 颈椎序列失衡组 51 例, 非失衡组 208 例; 颈椎手术组 163 例, 非手术组 96 例。依次分析各种形式分组 T₁S 与 C₇S 相关性。**结果:** 442 例患者 T₁ 上终板可见者 259 例(58.6%), C₇ 上终板可见者 401 例(90.7%)。上述 259 例患者 T₁S 平均值为(24.5±8.7)°, 其中男性组(25.9±7.7)°, 女性组(23.7±6.9)°; C₇S 平均值(20.8±7.3)°, 其中男性组(22.5±7.5)°, 女性组(19.7±5.8)°。T₁S 与 C₇S 总相关系数 r=0.89, 复相关系数 R²=0.79, 线性回归方程为 T₁S=0.91×C₇S+4.35。在上述一般资料和畸形各因素分组中, T₁S 与 C₇S 均具有高度相关性(r 值为 0.85~0.92, P<0.05)。**结论:** 不同因素分组中 T₁S 与 C₇S 具有高度相关性, 对于无法测得 T₁S 的病例, 可使用 C₇S 取代 T₁S, 为评估脊柱矢状面平衡, 分析病情以及制定手术方案提供指导和参考。

【关键词】 颈椎; X 线; T₁ 倾斜角; C₇ 倾斜角; 相关分析

中图分类号: R681.5

DOI: 10.12200/j.issn.1003-0034.2023.05.012

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Multivariate correlation analysis of T₁S and C₇S

WEI Xin-wei, YU Jing-yi (Department of Spinal Surgery, Zhoukou Central Hospital, Zhoukou 466000, Henan, China)

ABSTRACT Objective To determine whether C₇ angles (C₇ slope, C₇S) could replace T₁ angles (T₁ slope, T₁S) by correlation analysis of T₁S and C₇S. **Methods** A total of 442 patients from July 2015 to July 2020 in outpatient and inpatient department were enrolled retrospectively, and 259 patients who could identify the upper endplate of T₁ were screened out. Of them, there were 145 males and 114 females, aged from 20 to 83 years old with an average of (58.6±11.2) years, including 163 patients with cervical spine surgery and 96 non-surgical patients. Patients were stratified by sex, age, cervical kyphosis, cervical alignment imbalance, and cervical spine surgery. These 259 patients included 145 cases in the male group, 114 cases in the female group; 76 cases in the youth group (<40 years old), 109 cases in the middle-aged group (40 to 60 years old), and 74 cases in the elderly group (>60 years old); 92 cases in the cervical kyphosis group, 167 cases in the non-kyphosis group; 51 cases in the cervical sequence imbalance group, 208 cases in the non-imbalance group; 163 cases in the cervical surgery group, 96 cases in the non-operation group. The correlations of C₇S and T₁S in various modalities groups were analyzed. **Results** Of 442 patients, the recognition rate of upper endplate of T₁ was 58.6% (259/442), and that of C₇ was 90.7%. The mean T₁S and C₇S of the 259 patients were (24.5±8.0)° [(25.9±7.7)° in the male group and (23.7±6.9)° in the female group] and (20.8±7.3)° [(22.5±7.5)° in the male group and (19.7±5.8)° in the female group], respectively. The total correlation coefficient between C₇S and T₁S was r=0.89, R²=0.79, and the linear regression equation was T₁S=0.91×C₇S+4.35. In the above general information and the grouping of deformity factors, T₁S was highly correlated with C₇S (r value 0.85 to 0.92, P<0.05). **Conclusion** There is a high correlation between T₁S and C₇S in different factor groups. For cases where T₁S cannot be measured, C₇S can be used to provide guidance and reference for evaluating the sagittal balance of the spine, analyzing the condition, and formulating surgical plans.

KEYWORDS Cervical vertebrae; X-rays; T₁ slope; C₇ slope; Correlation analysis

目前, 衡量颈椎矢状面的诸多参数已广泛用于临床症状分析, 颈椎病治疗策略的指导和脊柱手术

临床疗效的评价, 以及术后并发症的预估。这些参数包括颈椎(C₂-C₇)矢状面轴向偏移(sagittal vertical axis, SVA), 颈椎前凸角(cervical lordosis, CL), C₂-C₇ Cobb 角, C₀-C₂角, 颈部倾斜角(neck tilt, NT)等。近些年 T₁ 倾斜角(T₁ slope, T₁S)作为一项重要参数被

通讯作者: 喻景奕 E-mail: yujingyi1975@163.com

Corresponding author: YU Jing-yi E-mail: yujingyi1975@163.com

广泛提及并用于衡量成人颈椎矢状面失衡,甚至可用于整个脊柱矢状面平衡的评估和预测^[1]。随着相关研究的不断深入,研究者发现 T₁S 不仅与健康相关生活质量(health-related quality of life, HRQOL)密切相关,还与胸椎后凸角(thoracic kyphosis, TK),腰椎骨盆相关参数有着密切的联系^[2-3]。为维持平视状态, T₁S 增大可造成 C₂-C₇ Cobb 角及 CL 增大,而 C₂-C₇ SVA 减小^[4]; T₁S 变小则是颈椎病及颈椎椎间盘加速退变的危险因素^[5]。然而有研究统计颈椎侧位 X 线片有多达 30%~62% 人群由于遮挡原因无法清晰识别和测量 T₁S^[6-7]。尽管颈椎 MRI 或 CT 矢状位二维重建能够清晰识别 T₁ 上终板,但这些检查项目多在平卧体位下实施,无法准确反映患者直立状态下的 T₁S 客观结果^[8-9]。目前虽存在诸如动态 MRI,光电系统(Electro-Optical System, EOS)双向负重位全长摄影, X 线影像采集系统等高科技手段能精确测量 T₁S,但高昂的检查费用和购买成本阻碍了其推广应用,特别是基层医院。C₇ 上终板的识别率则高于 T₁,即 C₇ 倾斜角(C₇ slope, C₇S)多可识别和测量。因此,对 2015 年 7 月至 2020 年 7 月就诊的 442 例门诊及住院的颈椎疾患患者进行回顾性分析,收集测量 T₁S 和 C₇S 等相关参数,分析 T₁S 与 C₇S 相关性,探讨是否可用 C₇S 替代 T₁S,进而为临床评估与治疗提供借鉴和参考。

1 资料与方法

1.1 病例选择

回顾性分析 2015 年 7 月至 2020 年 7 月就诊的门诊及住院患者 442 例,因颈痛、上肢放射痛、颈椎病、颈部畸形、体检等原因拍摄颈椎标准正侧位 X 线片^[10]。纳入标准:年龄>18 岁;颈椎侧位 X 线片 C₇ 和 T₁ 上终板均能清晰识别;能够站立取平视位。排除标准:颈椎骨折、脱位,脊髓损伤及瘫痪者;颈椎肿瘤;颈椎感染;强直性脊柱炎。

1.2 临床资料

本组 442 例,颈椎侧位 X 线片 L₁ 椎体上终板可清晰识别者 259 例(58.6%),可清晰识别 C₇ 椎体上终板者 401 例(90.7%)。按照病例选择标准共有 259 例患者纳入研究,年龄 20~83(58.6±11.2)岁,男 145 例,女 114 例。研究对象多因素分组情况:(1)一般资料分组。①性别分组,男性组与女性组,其中男 145 例,女 114 例。②年龄节段分组,青年组(<40 岁)76 例,中年组(40~60 岁)109 例和老年组(>60 岁)74 例。(2)颈椎畸形分组。①颈椎后凸组与非后凸组,其中后凸组 92 例,非后凸组 167 例。②颈椎序列失衡组与非失衡组,其中失衡组 51 例,非失衡组 208 例。根据 Peter 成人颈椎畸形标准^[11]:C₂-C₇ Cobb

角<-10°者为颈椎后凸组,C₂-C₇ Cobb 角>-10°者为颈椎非后凸组;C₂-C₇ SVA>40 mm 者为颈椎序列失衡组,C₂-C₇ SVA<40 mm 为颈椎非失衡组。(3)手术分组。颈椎手术组与非手术组,其中手术组 163 例,非手术组 96 例。

1.3 研究及测量方法

全部研究对象选取最近一次颈椎侧位 X 线片作为测量目标,由我院 1 位放射科医生和 1 位从事脊柱外科工作 5 年以上的主治医师对所有 X 线片 C₇S 和 T₁S 分别测量 2 次,取测量平均值作为最终测量结果。分组方法及分析方法所涉及角度参数测量方法:(1)C₂-C₇ Cobb 角,C₂ 椎体下终板与 C₇ 椎体下终板延长线相交所成锐角。(2)C₇S,为 T₁,C₇ 上终板延长线与水平线所成夹角。(3)T₁S,为 T₁ 上终板延长线与水平线所成夹角。(4)C₂-C₇ SVA,C₂ 椎体中心垂线与 C₇ 椎体后上缘垂线最短距离。如图 1 所示。

1.4 观察项目与方法

使用我院影像归档和通信系统(picture archiving and communication system, PACS),测量各分组患者颈椎 X 线片标准侧位^[10]C₇S 和 T₁S 具体角度数值,并计算平均值。统计分析以上各分组 C₇S 与 T₁S 测量值相关性及 P 值,并根据测量值绘制两者散点图及拟合直线,求出二者线性回归直线和复相关系数。

1.5 统计学处理

应用 SPSS 25.0 软件进行统计学分析,符合正态分布的定量资料数据以均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示,根据 Shapiro-Wilk 检验 C₇S 与 T₁S 测量值正态性,定量数据变量符合正态分布或近似正态分布,两组间比较采用两独立样本 t 检验;定性资料组间比较采用卡方检验。对 C₇S 与 T₁S 采用 Pearson 相关分析并得出两者间的相关系数和 P 值,绘制二者散点图及相应拟合直线,求出回归方程。以 P<0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

442 例患者 T₁ 上终板可见者 259 例(58.6%),C₇ 上终板可见者 401 例(90.7%)。259 例患者 T₁S 平均值为(24.5±8.7)°,其中男性组(25.9±7.7)°,女性组(23.7±6.9)°;C₇S 平均值(20.8±7.3)°,其中男性组(22.5±7.5)°,女性组(19.7±5.8)°。各因素分组相关分析情况如下:男性组与女性组 T₁S 和 C₇S 相关系数分别为 0.91,0.87;年龄分组中青年组、中年组与老年组两倾斜角相关系数分别为:0.92,0.90,0.87;而颈椎畸形分组中,后凸组与非后凸组相关系数分别为 0.85,0.91;失衡组与非失衡组两者相关系数分别为 0.86,0.90;手术组与非手术组二者相关系数分别为 0.85,0.91。所有分组中 T₁S 与 C₇S 所得相关关系均



图 1 颈椎各参数的 X 线测量 1a. C₂-C₇ Cobb 角测量 1b. C₇S 角测量 1c. T₁S 角测量 1d. C₂-C₇ SVA 的测量

Fig.1 Diagram of measurement for cervical parameters on X-ray 1a. Measurement of C₂-C₇ Cobb angle 1b, 1c. Measurement of C₇S and T₁S 1d. Measurement of C₂-C₇ SVA

有统计学意义 ($P < 0.05$), 如表 1 所示。T₁S 与 C₇S 散点图及拟合直线如图 2 所示, 总相关系数 $r = 0.89$, 简单线性回归方程为: $T_1S = 0.91 \times C_7S + 4.35$ ($R^2 = 0.79$)。由此可见在一般资料及畸形等多因素分组中, T₁S 与 C₇S 均存在高度相关性。

3 讨论

3.1 T₁S 对评估脊柱平衡、退变和指导手术方案的意义

2010 年 KNOTT 等^[12]首次提出 T₁S 评估脊柱矢状面平衡方面的重要作用: T₁S 与 C₂-C₇ SVA 具有较强的相关关系 ($r = 0.65, P < 0.001$), 可作为评估全脊柱矢状面平衡状态的重要工具, 在无法获取全脊柱平片的情况下尤为适用。一项前瞻性研究认为颈椎矢状面平衡与 T₁S 具有明显相关性^[13], CL 与 T₁S 具有

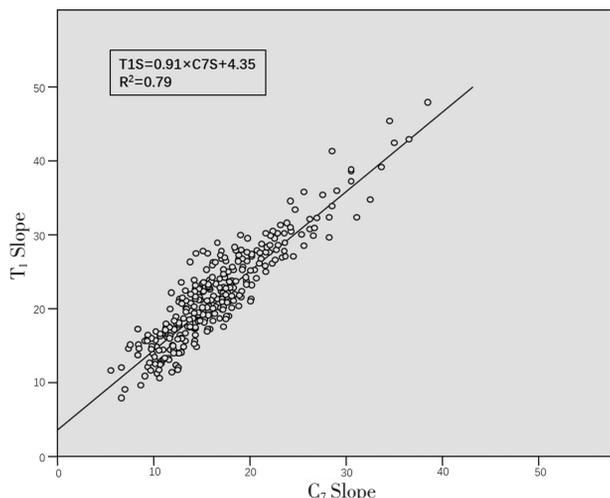


图 2 T₁S 与 C₇S 散点图及拟合直线

Fig.2 Scatter chart and fitting straight line of T₁S and C₇S

表 1 各因素水平分组 T₁S 与 C₇S 相关性分析

Tab.1 Correlation analysis between T₁S and C₇S among each factor levels

分组方法	组别	例数	C ₇ S($\bar{x} \pm s$)/°	T ₁ S($\bar{x} \pm s$)/°	相关系数 r 值	P 值
性别分组	男性组	145	22.5±7.5	25.9±7.7	0.91	0.000
	女性组	114	19.7±5.8	23.7±6.9	0.87	0.000
年龄分组	青年组	76	20.2±7.8	25.9±8.5	0.92	0.000
	中年组	109	21.2±2.1	24.3±3.8	0.90	0.000
	老年组	74	22.3±9.4	25.2±6.9	0.87	0.000
Cobb 角分组	后凸组	92	19.3±3.4	21.1±6.5	0.85	0.000
	非后凸组	167	22.2±4.1	25.6±7.3	0.91	0.000
SVA 分组	失衡组	51	19.4±6.6	25.9±4.7	0.86	0.000
	非失衡组	208	21.3±6.8	23.8±3.1	0.90	0.000
手术分组	手术组	163	20.1±6.2	24.3±7.4	0.85	0.000
	非手术组	96	22.5±6.9	25.8±8.7	0.91	0.000

注: SVA 为矢状面轴向偏移

正相关关系^[14]。腰椎骨盆及胸廓入口矢状面平衡状态通过 T_1S 作用于颈椎矢状面, T_1S 是决定颈椎矢状面平衡的关键因素^[15]。高 T_1S 往往需要较大 C_2-C_7 Cobb 角及较小 C_2-C_7 SVA 去代偿^[4]。术前 T_1S 不仅对手术效果有一定的预测作用, 而且还与颈椎退变存在密切联系。ZHANG 等^[16]和 KIM 等^[17]认为颈椎后路手术术后前凸角度的丢失与术前高 T_1S 以及较大 C_2-C_7 SVA 有关。KIM 等^[18]与 LEE 等^[19]认为颈后路椎板成形术后高 T_1S 患者出现颈椎后凸畸形的概率更大, 所以陈群响等^[20]建议对于高 T_1S 患者, 应优先选择颈椎前路或后路固定手术, 尽量避免使用后路非固定手术所造成的颈椎术后后凸畸形。JUN 等^[21]实施病例对照研究得出结论: 颈椎滑脱组 T_1S 显著高于颈椎非滑脱组, 高 T_1S 是造成颈椎滑脱的一种预测因素。而低 T_1S 又是加速颈椎间盘退变, 人群罹患颈椎病的潜在危险因素^[5]。OE 等^[22-23]和 EVANIEW 等^[24]发现 50 岁以上人群 $T_1S \geq 40^\circ$ 可能会导致更低的 HRQOL, 并建议有症状的成年脊柱畸形患者在 T_1S 趋近 40° 前接受矫形手术。

3.2 C_7S 替代 T_1S 的临床可行性和易操作性

为准确评估脊柱矢状位平衡, 制定行之有效的治疗方案, T_1S 测量在日常临床实践中尤为重要。然而, 由于颈项短小、身材肥胖或肩膀、胸部遮挡等原因, T_1 椎体上终板识别率仅有 30%~40%^[25-26]; 更有甚者, PARK 等^[4]在 200 例无症状成年人中发现能够识别到 T_1 椎体的人群仅占 11%, 而 YE 等^[7]发现 650 例中仅有 31.2% 的 T_1 上终板识别率; TAMAI 等^[27]发现 45 例患者中仅有 17.8% 的识别率; 而 INOUE 等^[6]在 388 例无症状人群中却发现 T_1 上终板识别率能够达到 64.7%。关于识别率复习文献可推测较低识别率可能与 X 线片取坐位拍摄等有关, 而站立位则识别率较高。本研究上终板识别率 58.6%, 与 INOUE 等^[6]及 CHUGH 等^[25]测量结果类似; 而 C_7 上椎板识别率则明显增高(100%^[6])。鉴于此, 本研究通过收集与测量 259 例门诊和住院患者颈椎 X 线片 T_1S 与 C_7S , 探讨两者相关性大小, 进而探讨 C_7S 的可替代性。本研究发现, T_1 上终板识别率为 58.6%, C_7 上终板识别率为 90.7%, T_1S 与 C_7S 相关系数 $r=0.89$, 复相关系数 $R^2=0.79$, 简单线性回归方程为: $T_1S=0.91 \times C_7S+4.35$; 从相关系数得出, T_1S 与 C_7S 具有高度相关性。研究结果与文献报道^[7,27-28]的研究结果类似。不同之处在于, 本研究对象年龄跨度大(20~83 岁), 研究对象不仅包含无症状人群, 还涵盖有颈椎畸形患者以及颈椎手术患者, 涉及面广, 代表性较强; 在涉及的诸多因素分组人群中, 两倾角均表现出高度的相关性; 故笔者认为 C_7S 能够较好

地替代 T_1S , 从而可作为一种临床评估新工具, 体现较高的临床应用价值。因此, 针对遮挡原因无法准确测量 T_1S 的病例, 可使用 C_7S 取而代之, 进而为脊柱矢状面平衡评估、病情评价以及手术方案的制定提供指导和参考。

3.3 C_7S 替代 T_1S 的相关生理机制

颈胸交界区是一处较为特殊的区域, 它处在一段灵活性较大的颈椎与活动性较小的胸椎之间的过渡区域; 该交界区被定义为 C_7-T_1 或 C_7-C_2 ^[29-30]。SIMON 等^[30]通过对 7 具尸体进行生物动力学研究发现: 相比颈椎(317 N/mm), 颈胸交界区具有更大的张力(779 N/mm); 即 C_7-T_1 节段灵活性更小, 并且该区域更缺乏耦合运动。在颈椎畸形、年龄、手术等因素作用下, 颈椎间盘及诸个小关节及颈椎椎体可能会发生不同程度的形变, 屈伸运动中亦会发生不同程度的序列失衡, 而 C_7-T_1 作为一个整体, 很少发生两者间的相对变化, 这就从生物力学角度为 C_7S 替代 T_1S 提供了一种可能的解释。

针对无法清楚识别 T_1 上终板的人群, 无论颈椎畸形与否、年龄大小或手术与否, 临床医生均可参考 C_7S 大小去较为准确地评估病情, 制定合理个性化的治疗方案。然而, 该研究尚有一些局限和不足之处。首先, 该研究仅从影像学角度探讨 C_7S 与 T_1S 相关性大小, 并未与临床表现、治疗效果建立联系, 有待后续研究进一步验证, 并计算出 C_7S 相关临界值, 从而为临床预估和矢状位评价提供具体参考依据。其次, 研究对象各因素水平分组样本量较小, 且为单中心回顾性研究, 需要后期大样本多中心前瞻性研究进一步探究。最后, 手术因素分组没有细化手术方式、入路等亚因素, 如前路、后路手术, 内固定涉及范围等; 并且该研究为横断面调查性研究, 未进行病例随访追踪, 未探讨时间、创伤等因素所致影响。

参考文献

- [1] ALAM I, SHARMA R, BORKAR S A, et al. Factors predicting loss of cervical lordosis following cervical laminoplasty: a critical review [J]. J Craniovertebr Junction Spine, 2020, 11(3): 163-168.
- [2] SCHEER J K, TANG J A, SMITH J S, et al. Cervical spine alignment, sagittal deformity, and clinical implications: a review [J]. J Neurosurg Spine, 2013, 19(2): 141-159.
- [3] STAUB B N, LAFAGE R, KIM H J, 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(1): 31-37.
- [4] PARK J H, CHO C B, SONG J H, et al. T1 slope and cervical sagittal alignment on cervical CT radiographs of asymptomatic persons [J]. J Korean Neurosurg Soc, 2013, 53(6): 356-359.
- [5] YANG B S, LEE S K, SONG K S, et al. The use of T1 sagittal angle in predicting cervical disc degeneration [J]. Asian Spine J, 2015, 9(5): 757-761.

- [6] INOUE T, ANDO K, KOBAYASHI K, et al. Age-related changes in T₁ and C₇ slope and the correlation between them in more than 300 asymptomatic subjects [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2021, 46 (8): E474–E481.
- [7] YE I B, TANG R, CHEUNG Z B, et al. Can C₇ slope be used as a substitute for T₁ slope? A radiographic analysis [J]. *Global Spine J*, 2020, 10(2): 148–152.
- [8] JUN H S, CHANG I B, SONG J H, et al. Is it possible to evaluate the parameters of cervical sagittal alignment on cervical computed tomographic scans [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2014, 39(10): E630–E636.
- [9] XING R, ZHOU G F, CHEN Q, et al. MRI to measure cervical sagittal parameters: a comparison with plain radiographs [J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2017, 137(4): 451–455.
- [10] 吴炳轩, 刘宝戈, 刘振宇, 等. 颈椎曲度和活动度参数的影响因素 [J]. *中华骨科杂志*, 2014, 34(4): 380–386.
- WU B X, LIU B G, LIU Z Y, et al. The standard parameters and influential factors of cervical spine alignment and range of motion [J]. *Chin J Orthop*, 2014, 34(4): 380–386. Chinese.
- [11] PASSIAS P G, JALAI C M, LAFAGE V, et al. Primary drivers of adult cervical deformity: prevalence, variations in presentation, and effect of surgical treatment strategies on early postoperative alignment [J]. *Neurosurgery*, 2018, 83(4): 651–659.
- [12] KNOTT P T, MARDJETKO S M, TECHY F. The use of the T₁ sagittal angle in predicting overall sagittal balance of the spine [J]. *Spine J*, 2010, 10(11): 994–998.
- [13] TAO Y P, GALBUSERA F, NIEMEYER F, et al. The impact of age, sex, disc height loss and T₁ slope on the upper and lower cervical lordosis: a large-scale radiologic study [J]. *Eur Spine J*, 2021, 30(9): 2434–2442.
- [14] ZHU Y C, AN Z C, ZHANG Y J, et al. Predictive formula of cervical lordosis in asymptomatic young population [J]. *J Orthop Surg Res*, 2020, 15(1): 2.
- [15] LEE S H, SON E S, SEO E M, et al. Factors determining cervical spine sagittal balance in asymptomatic adults: correlation with spinopelvic balance and thoracic inlet alignment [J]. *Spine J*, 2015, 15(4): 705–712.
- [16] ZHANG J T, LI J Q, NIU R J, et al. Predictors of cervical lordosis loss after laminoplasty in patients with cervical spondylotic myelopathy [J]. *Eur Spine J*, 2017, 26(4): 1205–1210.
- [17] KIM K R, LEE C K, PARK J Y, et al. Preoperative parameters for predicting the loss of lordosis after cervical laminoplasty [J]. *Spine*, 2020, 45(21): 1476–1484.
- [18] KIM T H, LEE S Y, KIM Y C, et al. T₁ slope as a predictor of kyphotic alignment change after laminoplasty in patients with cervical myelopathy [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2013, 38(16): E992–E997.
- [19] LEE J S, SON D W, LEE S H, et al. 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(5): 577–583.
- [20] 陈群响, 倪斌, 韩钊. 胸 1 倾斜角及其在脊柱矢状位平衡评价中的应用进展 [J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2018, 28(5): 470–473.
- CHEN Q X, NI B, HAN Z. Application progress of T₁ slope and its value for sagittal balance evaluation of the spine [J]. *Chin J Spine Spinal Cord*, 2018, 28(5): 470–473. Chinese.
- [21] JUN H S, KIM J H, AHN J H, et al. T₁ slope and degenerative cervical spondylolisthesis [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2015, 40(4): E220–E226.
- [22] OE S, TOGAWA D, NAKAI K, et al. The influence of age and sex on cervical spinal alignment among volunteers aged over 50 [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2015, 40(19): 1487–1494.
- [23] OE S, YAMATO Y, TOGAWA D, et al. Preoperative T₁ slope more than 40° as a risk factor of correction loss in patients with adult spinal deformity [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2016, 41(19): E1168–E1176.
- [24] EVANIEW N, CHAREST–MORIN R, JACOBS W B, et al. Cervical sagittal alignment in patients with cervical spondylotic myelopathy: an observational study from the Canadian spine outcomes and research network [J]. *Spine*, 2022, 47(5): E177–E186.
- [25] CHUGH A J S, PATEL M, GERGES C, et al. Use of C₇ slope as a surrogate marker for T₁ slope: a radiographic study in patients with and without cervical deformity [J]. *World Neurosurg*, 2020, 143: e516–e522.
- [26] PARK B J, GOLD C J, WOODROFFE R W, et al. What is the most accurate substitute for an invisible T₁ slope in cervical radiographs? A comparative study of a novel method with previously reported substitutes [J]. *J Neurosurg Spine*, 2021: 1–7.
- [27] TAMAI K, BUSER Z, PAHOLPAK P, et al. Can C₇ slope substitute the T₁ slope: an analysis using cervical radiographs and kinematic MRIs [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2018, 43(7): 520–525.
- [28] FAN Y G, WANG J, CAI M D, et al. Can C₇ slope substitute the T₁ slope in idiopathic scoliosis patients? A radiographic study [J]. *J Pediatr Orthop*, 2021, 41(6): e374–e379.
- [29] BOGDUK N, MERCER S. Biomechanics of the cervical spine. I: normal kinematics [J]. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2000, 15(9): 633–648.
- [30] SIMON S, DAVIS M, ODHNER D, et al. CT imaging techniques for describing motions of the cervicothoracic junction and cervical spine during flexion, extension, and cervical traction [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2006, 31(1): 44–50.

(收稿日期: 2022–06–17 本文编辑: 王宏)