

单开门椎板成形术开门角度预测与横截面积增加值的关系

史超路, 蒋国强, 卢斌, 罗科峰, 岳兵, 陆继业
(宁波大学医学院附属医院脊柱外科, 浙江 宁波 315000)

【摘要】 目的: 推导单开门椎板成形术中开门角度与椎管面积增加值关系的公式, 根据椎板开门距离预测椎板开门角度。方法: 2013 年 1 月至 2015 年 12 月, 行颈后路 C₃-C₇ 单开门椎板成形术 26 例, 其中颈后纵韧带骨化症 10 例, 男 6 例, 女 4 例; 年龄 39~58 岁, 平均 49.2 岁。脊髓型颈椎病 16 例, 男 10 例, 女 6 例; 年龄 40~58 岁, 平均 50.2 岁。通过术前术后的椎管形态变化, 建立规则几何模型, 分别推导出椎板开门角度与椎管面积增加值关系公式、预测椎板开门角度公式。通过患者手术前后 CT 片, 测量公式中所需参数, 并代入公式得出手术前后横截面积变化和预测开门角度, 通过统计学方法分析手术前后横截面积变化和预测开门角度及实际测量角度之间差异, 从而验证公式在实际应用中的可行性。结果: 26 例病例均获得影像学资料。对每个病例 C₃-C₇ 节段术前术后椎管横截面积进行逐一对比, 均有统计学意义 ($P < 0.01$), 但随角度增加横截面积的增加幅度逐渐减少。通过公式所得各个节段预测开门角度值与实际所测的角度值逐一进行对比, 差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。结论: 在单开门椎板成形术中, 应用公式根据开门角度能准确计算椎管横截面积增加值, 并能准确预测椎板开门角度, 从而指导术者准确获得理想的椎板开门角度, 减少术后并发症。

【关键词】 单开门椎板成形术; 开门角度; 横截面积

DOI: 10.3969/j.issn.1003-0034.2017.02.010

Relationship between the prediction of the opening angle and the increased value of cross-sectional area in single open-door laminoplasty SHI Chao-lu, JIANG Guo-qiang, LU Bin, LUO Ke-feng, YUE Bing, and LU Ji-ye. Department of Spinal Surgery, the Affiliated Hospital of Medical College of Ningbo University, Ningbo 315000, Zhejiang, China

ABSTRACT **Objective** To evolve the formula of relationship between opening angle of laminoplasty and the increased value of cross-sectional area, and to predict the opening angle according to the opening size of laminoplasty. **Methods:** From January 2013 to December 2015, 26 patients underwent single open-door laminoplasty in C₃-C₇. Among them, 10 patients with ossification of posterior longitudinal ligament, there were 6 males and 4 females, aged from 39 to 58 years old with an average of 49.2 years; and 16 patients with cervical spondylotic myelopathy, there were 10 males and 6 females, aged from 40 to 58 years old with an average of 50.2 years. Through the changes of spinal canal shape between preoperation and postoperation to set up the regular geometric model, and to deduce the formula of the relationship between the opening angle of laminoplasty and the increased value of cross-sectional area, and predict the formula of opening angle. According to the preoperative and postoperative CT scan, the needed parameters were measured, and were substituted in the above formula to get the change of cross-sectional area before and after operation, predicting the opening angle of laminoplasty. The differences between the change of cross-sectional area before and after operation, predictive the opening angle of laminoplasty and practical measured data were analyzed by statistical methods, thus to verify the feasibility of formula in practical application. **Results:** All imaging data of 26 patients were obtained. There were significant differences in changes of cross-sectional areas in every patients (laminoplasty in C₃ to C₇) before and after operation in the same segment ($P < 0.01$). The increasing extent in cross-sectional areas was gradually diminished following the opening angle increasing. There was no significant difference between the opening angle attained by formula and the data measured by software in the same segment ($P > 0.05$). **Conclusion:** Increment of cross-sectional areas following C₃-C₇ laminoplasty can be accurately attained and the opening angle can also be predicted by a certain formula, which can help surgeons to attain the accurate opening angle and reduce the postoperative complications.

KEYWORDS Single open-door laminoplasty; Opening angle; Cross-sectional areas

Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2017, 30(2): 142-146 www.zggszz.com

通讯作者: 蒋国强 E-mail: jgq6424@hotmail.com

Corresponding author: JIANG Guo-qiang E-mail: jgq6424@hotmail.com

颈后路单开门椎管扩大成形术已经成为治疗因颈椎退变、颈椎管狭窄、颈后纵韧带骨化症等原因所引发的多节段颈脊髓受压的主要方法之一, 并在临

床随访中获得了良好疗效^[1]。该术式通过单侧开启椎板,扩大椎管横截面,使受压脊髓获得间接减压,改善脊髓血供,从而达到改善神经功能的目的。通过使用微型钛板内固定,使得开启的椎板有了牢固的固定,从而减少了传统丝线悬吊法所带来的相关术后并发症的发生率^[1-2]。术者在术中对面椎板开门角度范围并没有严格的限定,往往以术者的临床经验对椎板的开启范围进行估计,而椎板开合的程度决定了术后椎管矢状径、椎管面积增加值等一系列参数的变化程度,术中如不能准确估计椎板开合程度可能会对术后的疗效及预后产生一定的偏差。本研究通过建立几何模型的方式,根据术后椎板开门角度的变化建立与其相关的数学公式,为评估及预测术后相关数据提供支持,指导手术中相关操作,以达到良好的手术效果。

1 资料与方法

1.1 一般资料

2013 年 1 月至 2015 年 12 月,实施颈后路 C₃-C₇ 单开门椎板成形术 26 例,其中颈后纵韧带骨化症 10 例,男 6 例,女 4 例;年龄 39~58 岁,平均 49.2 岁。脊髓型颈椎病 16 例,男 10 例,女 6 例;年龄 40~58 岁,平均 50.2 岁。手术减压范围 C₃-C₇,术中内固定采用 Arch 钢板固定开门侧椎板。

本组患者均有多节段颈脊髓受压的神经症状表现及体征,影像学检查所示明确颈脊髓受压表现,并出现不同程度变性信号。26 例患者均保守治疗 3 个月以上,症状未见明显好转,手术指征明确。

1.2 单开门椎板成形术各参数的函数关系

通过术前术后的椎管形态变化,可建立几何模型,并通过公式得出相关参数之间函数关系。图 1-2 中 A、B 点为椎板开槽处与内皮质骨交点,C 点为 AB 线引中垂线交椎板相连接处内侧骨皮质交点。

3 个点所围成的等腰三角形面积为 S₁,底角为 α ,C 点到 AB 的垂直距离即为术前矢状径距离 d₁, $S_1 = AB \times d_1 / 2$ 。单开门椎板成形术可以理解成 $\triangle ABC$ 选取任一开槽点(A 或 B)为圆心,顺时针或逆时针做若干角度的圆周运动,从而得到新的几何图形 $ABB'C'$,其面积为 S₂。做 AB 中垂线交 $B'C'$ 于 D,则 D 点到 AB 的垂直距离即为术后矢状径距离 d₂。 θ 即为椎板开门角度(图 1-2)。

连接 AB' ,将不规则四边形 $ABB'C'$ 分割为 $\triangle ABB'$ 和 $\triangle AB'C'$, $\triangle AB'C'$ 面积即为 S₁, $S_{\triangle ABB'} = (AB^2 \times \sin\theta) / 2$,此即为术后椎管横截面所增加的面积,故可得四边形 $ABB'C'$ 的面积(S₂)为: $(AB \times d_1 + AB^2 \times \sin\theta) / 2$ 。因 $\theta = \text{术后} \angle C'AB - \text{术前角} \alpha$,故术后仅测量 $\angle C'AB$ 度数即可得出术后椎管横截面增加值 $S_{\triangle ABB'}$ 。

连接 BB' ,该距离为椎板开启后两断端的直线距离, $BB' = 2AB \times \sin(\theta/2)$ 。根据该公式便可得出预测 θ 的公式: $\theta = 2\arcsin(BB'/2AB)$ 。

1.3 观察项目与方法

本组患者术前术后均行 C₃-C₇ 节段 CT 扫描,使用影像软件 E-word PACS 测量各椎弓根层面 AB 距离,术前矢状径距离 d₁, α 角度,术后矢状径距离 d₂,术后椎板所成角度 $\angle C'AB$,断端距离(BB')。以 $AB \times d_1 / 2$ 计算出 S₁, $\angle C'AB - \alpha$ 得出实际 θ ,以 $(AB^2 \times \sin\theta) / 2$ 得出 $S_{\triangle ABB'}$,通过 $S_1 + S_{\triangle ABB'}$ 得出 S₂,以 $2\arcsin(BB'/2AB)$ 得出预测 θ 。长度精确到 0.01 mm,角度精确到 0.01°。

1.4 统计学处理

使用 SPSS 20.0 统计软件进行数据分析。定量资料以均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示。采用配对样本 t 检验对手术前后的矢状径长度及椎管横截面积增加进行比较。采用两组配对样本 t 检验对通过测量 BB' 所

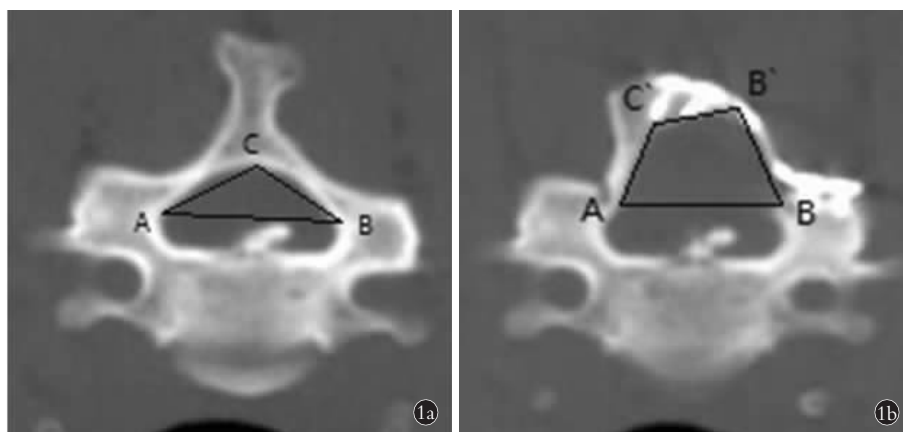


图 1 手术前后椎管横截面改变示意图
1a. 术前:A、B 点为椎板开槽处与内皮质骨交点,C 点为 AB 线引中垂线交椎板相连接处内侧骨皮质交点。3 个点所围成等腰 $\triangle ABC$ **1b.** 术后:将 1a 图上的 $\triangle ABC$ 选取任一开槽点(A 或 B)为圆心,顺时针或逆时针做若干角度的圆周运动,从而得到新的几何图形 $ABB'C'$
Fig.1 The change of cross-sectional areas before and after operation **1a.** Points A and B represented the bilateral laminar gutters,horizontally connected by line AB. A sagittal line through the midpoint of the posterior surface of the vertebral body,intersecting the inner edge of the lamina at point C. These three points formed an isosceles triangle ABC **1b.** With point A or B as the center of the circle, to do circular motion either clockwise or counter-clockwise, get the new geometry $ABB'C'$

intersecting the inner edge of the lamina at point C. These three points formed an isosceles triangle ABC **1b.** With point A or B as the center of the circle, to do circular motion either clockwise or counter-clockwise, get the new geometry $ABB'C'$

得的理论开门角度 θ 与实际测得的 θ 进行检验。检验水准 $\alpha=0.01$ 。

2 结果

2.1 手术前后各参数结果

所有患者顺利完成手术,愈合情况良好,并在术后摄片,测量出相应参数数据,并根据相应公式得出实际 θ 、 S_1 、 $S_{\Delta ABB'}$ 、 S_2 ,见表 1-2。

2.2 统计结果

术后颈椎 CT 见椎管矢状径明显增加,各节段椎管矢状径术后较术前均有明显改善 ($P<0.01$),手术前后比较差异有统计学意义 ($P<0.01$);通过公式计算得出各节段术前椎管横截面积 S_1 与术后椎管横

截面积 S_2 , 术后各节段横截面积较术前明显扩大,手术前后比较差异有统计学意义 ($P<0.01$),见表 3。

通过对 BB' 测量,代入公式: $\theta=2\arcsin(BB'/2AB)$,预测出开门角度的理论值,并与实际测得的真实值进行对比,采用两组配对样本 t 检验,其结果差异无统计学意义 ($P>0.05$),见表 4。

3 讨论

3.1 椎管矢状径、横截面积扩大与疗效之间关系

单开门椎板成形术是利用“弓弦原理”通过椎管扩大后脊髓向背侧退移达到脊髓压迫的解除,在治疗多节段脊髓型颈椎病及多节段颈后纵韧带骨化等疾病方面获得了良好的疗效^[3-4]。术后椎管径及椎管

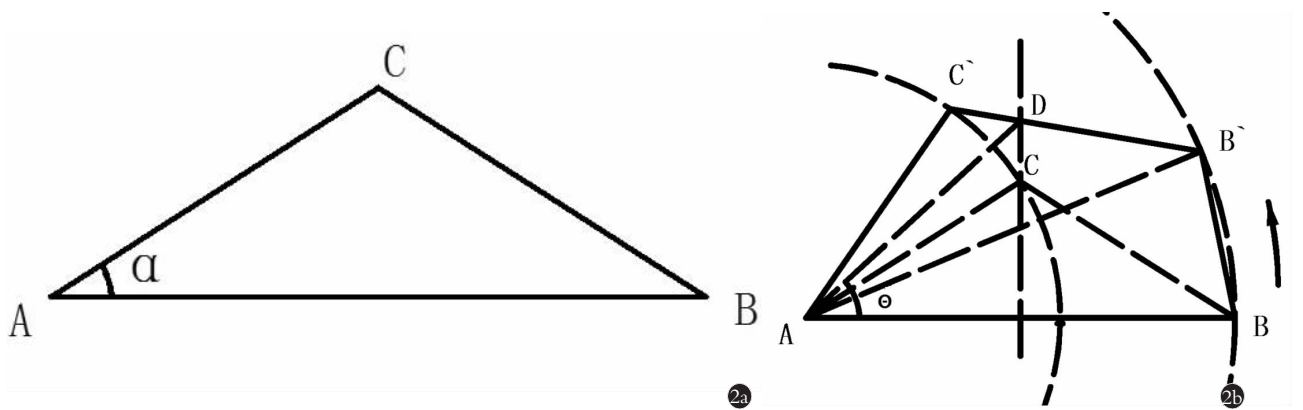


图 2 手术前后几何图形改变示意图 2a. 术前,ABC 与图 1a 相对应, α 为 $\triangle ABC$ 的底角 2b. 术后, $\triangle ABC$ 以 A 为圆心作逆时针圆周运动, 获得与 B、C 点对应的 B' 、 C' 点, AB 中垂线交 $B'C'$ 于 D, 则 D 点到 AB 的垂直距离即为术后矢状径距离。 θ 即为椎板开门角度

Fig.2 The change of cross-sectional areas before and after operation 2a. Before operation, the $\triangle ABC$ was equal with figure 1a. The angle α indicated the preoperative lamina angle, which was defined as the angle between lines AB and AC 2b. After operation, with point A as the center of the circle, counter-clock wisely to do circular motion, point B and C shift back and forms point B' and C' . Sagittal line through the midpoint of AB intersects the inner edge of the lamina (line $B'C'$) at point D. The distance from D to AB indicated the postoperative sagittal diameter. The angle θ indicated the laminoplasty opening angle

表 1 单开门椎板成形术 26 例患者术前 C_3 - C_7 节段 AB 间距、d1 长度、 α 角度和 S_1 的值 ($\bar{x}\pm s$)

Tab.1 Preoperative parameters of C_3 - C_7 of 26 patients underwent single open-door laminoplasty ($\bar{x}\pm s$)

参数	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
AB 间距(mm)	17.83±1.26	18.31±1.30	18.92±1.17	19.61±1.36	20.62±1.25
d1 长度(mm)	6.15±0.59	5.97±0.55	6.18±0.52	6.40±0.53	6.80±0.53
α 角度($^\circ$)	30.74±1.77	29.36±1.31	29.63±1.64	30.52±1.37	32.50±1.25
S_1 (mm^2)	55.06±8.02	54.78±7.33	58.71±7.78	62.96±8.29	70.38±9.10

表 2 单开门椎板成形术 26 例患者术后 C_3 - C_7 节段 BB' 间距、d2 长度、 θ 角度、 S_2 和 $S_{\Delta ABB'}$ 的值 ($\bar{x}\pm s$)

Tab.2 Postoperative parameters of C_3 - C_7 of 26 patients underwent single open-door laminoplasty ($\bar{x}\pm s$)

参数	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
BB' 间距(mm)	7.28±1.12	8.03±1.35	8.53±1.31	8.55±1.31	8.25±1.03
d2 长度(mm)	8.87±1.22	9.06±1.16	9.30±1.08	9.41±1.13	9.73±0.99
θ 角度($^\circ$)	22.47±3.06	23.82±3.08	24.50±3.00	24.68±3.83	22.57±3.21
$S_{\Delta ABB'}$ (mm^2)	60.47±8.22	67.64±11.17	74.17±11.32	80.02±13.92	80.89±9.07
S_2 (mm^2)	115.53±14.34	122.42±16.57	132.88±17.92	142.99±20.14	151.27±14.57

表 3 单开门椎板成形术 26 例患者手术前后矢状径距离及椎管横截面积的比较 ($\bar{x} \pm s$)

Tab.3 Comparison of the sagittal canal diameter and canal area of 26 patients underwent single open-door laminoplasty before and after operation ($\bar{x} \pm s$)

节段	矢状径距离(mm)				椎管横截面积(mm ²)			
	d1	d2	t 值	P 值	S1	S2	t 值	P 值
C ₃	6.15±0.59	8.87±1.22	10.258	<0.01	55.06±8.02	115.53±14.34	18.398	<0.01
C ₄	5.97±0.55	9.06±1.16	12.267	<0.01	54.78±7.33	122.42±16.57	18.663	<0.01
C ₅	6.18±0.52	9.30±1.08	13.282	<0.01	58.71±7.78	132.88±17.92	18.985	<0.01
C ₆	6.40±0.53	9.41±1.13	12.310	<0.01	62.96±8.29	142.99±20.14	18.369	<0.01
C ₇	6.80±0.53	9.73±0.99	13.226	<0.01	70.38±9.10	151.27±14.57	23.553	<0.01

注:d1, S1 为术前, d2, S2 为术后

Note: d1 and S1 are preoperative data, d2 and S2 are postoperative data

表 4 单开门椎板成形术 26 例患者预计开门角度 θ 与实际测定 θ 之间比较 ($\bar{x} \pm s, ^\circ$)

Tab.4 Comparison of the opening angle (θ) obtained by CT scans and the data predicted by the formula of 26 patients underwent single open-door laminoplasty before and after operation ($\bar{x} \pm s, ^\circ$)

参数	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇
预测 θ	23.70±4.03	25.39±4.24	26.04±3.61	25.27±3.81	23.20±3.39
实际 θ	22.47±3.06	23.82±3.08	24.50±3.00	24.68±3.83	22.57±3.21
t 值	1.234	1.536	1.677	0.557	0.691
P 值	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05

面积的扩大程度是决定疗效的重要指标, 有学者指出^[5], 椎管矢状径扩大可以缓解脊髓受压程度, 术后有较好的 JOA 评分表现, 其神经功能恢复预后情况良好。单开门椎板成形术在扩大椎管矢状径方面表现出了显著的效果, 甚至优于双开门椎板成形术^[6]。Li 等^[7]发现椎管径扩大 136.2%, 术后脊髓压迫明显缓解。另一部分学者^[8-9]也从反面证明了术后“再关门”现象的发生, 再次缩小了椎管径长度, 延迟了神经功能的恢复。因此报道认为: 术后椎管矢状径扩大程度是判定术后疗效的重要参数之一。

笔者所测量的 d1 及 d2 指标虽不是椎管矢状径指标, 但两者之差便是实际椎管矢状径扩大程度, 通过定量测量的方式, 术后矢状径增加程度较术前有明显差异, 从影像学上基本达到了手术目的, 增加了椎管矢状径, 使脊髓获得了相应的空间。当 B' 与 D 重合时, ABB' 围成 1 个等边三角形, 此时开门角度为 60°, 如果开门角度继续增大, 则 AB 的中垂线以上将不再出现椎板遮拦, 椎管矢状径获得最大值。但是实际操作过程中, 受到椎板骨质、门轴侧开槽情况等因素影响, 开门角度常在到达 60°之前便出现门轴断裂的情况, 所以, 术中对开门角度的选择还需结合多方面因素妥善处理。

颈椎管内围是一个不规则的几何结构, 单一使用矢状径对疗效进行预测、评价仍显单薄。所以笔者

构建了近似的几何图形, 通过定量计算手术前后图形面积的差值, 可对手术进行定量预测及评估。本研究所有节段手术前后椎管横截面积较术前有明显差异。综上所述, 根据数据, 取各节段开门角度可信区间的极值并计算其平均数可得, 当开门角度处于 20.37°~26.84°时, 各节段术后均可获得明显矢状径及椎管横截面积增大。通过附加对横截面积的分析, 从而使术后疗效的分析更有依据; 公式的使用一定程度上也避免了多次参数测量过程中的人为误差。

3.2 公式与各参数在临床中的意义

笔者得出椎管横截面积增加值 $S_{\triangle ABB'} = (AB^2 \times \sin\theta) / 2$, 对该公式进行求导, 可得 $f'(\theta) = \cos\theta$, 根据求导后余弦函数性质, 当 θ 值在 α 到 90°范围内为正值, 并呈现递减趋势。便可以证明, $S_{\triangle ABB'}$ 随 θ 值的增大而增大, 但增大的幅度却在逐渐减少。所以, 开门的角度并不是越大越好, 一定程度以后, 尽管 θ 仍在不断增大, 但横截面积的增加幅度却逐渐减少, 过大的开门角度可能使门轴侧内侧皮质骨断裂, 反而不利于稳定结构。故开门大小需多参数之间权衡, 不能一味追求增大开门角度。本组病例开门角度维持在 20.37°~26.84°, 结合术后颈椎 CT, 在该范围开门角度下, 各节段门轴侧骨质连续, 未出现断裂病例, 并使椎管矢状径及横截面积扩大明显, 基本达到各因素间利益最大化。

在手术过程中, 术者不能以直接测量的方式对开门角度进行评估, 所以术中对开门间直线距离(BB')进行测量, 通过公式 $\theta=2\arcsin(BB'/2AB)$ 来估算出术中的开门角度。笔者对预测值和术后实际开门距离进行比较, 差异无统计学意义, 此公式在进行术前预测方面具有参考作用。如术中开门角度不能到达预定范围时, 可继续增大 BB' 值, 如出现门轴断裂情况, 可辅助内固定材料对该节段进行固定, 维持开门角度, 保证手术效果, Tung 等^[10]通过临床数据也证明了这点。

单开门椎板成形术后, 由于脊髓后移产生的栓系效应, 使 C₅ 神经根麻痹成为该术式重要并发症之一。最近病例数据所示^[11], 术后出现该并发症的概率约为 5.1%。Xia 等^[12]认为, 合理开门大小对防止该并发症的出现有重要作用。张世民等^[1]通过临床数据分析后认为将开门维持在 40°~50°为佳。而孙天威等^[13]总结认为将开门角度维持在 30°左右时即可以得到良好的减压效果, 更能减少术后 C₅ 神经根麻痹的风险。而 Zhang 等^[14]将合理的开门角度维持在 15°~30°, 认为过大的开门角度并不是影响疗效的关键原因。本组病例未出现 C₅ 神经根麻痹。通过上述对开门距离(BB')的测量, 可在术中估算出开门角度, 在对 C₅ 神经根麻痹预防方面有了定量的评估作用。根据笔者的数据, 开门角度在 20.37°~26.84°, 为安全开门范围, 这与一些学者^[13-14]的结论基本相近。

3.3 本研究的不足之处

本研究公式中均使用到了 AB 参数, 对其测量的准确度将决定其余重要参数的估算, 术前对 A、B 点的选定需相对准确。如术中实际开门开槽点与术前有所偏离, 可能影响估算值。对于颈椎骨骼较小, 颈椎结构畸形, 或术前 CT 扫描偏离标准摄片位者, 也会增加测量误差而影响结果。术中如出现门轴处骨质断裂时, 通过开门距离对开门角度的评估也会出现偏差。

综上所述, 以数学建模的方式对单开门椎板成形术中重要参数的预测具有良好的临床应用价值, 可帮助术者在术前进行各参数的预测, 尤其在椎板开门角度方面, 有了定量估计的依据, 对因开门角度过大所致的 C₅ 神经根麻痹具有一定预防作用。通过后期大量临床数据分析总结, 可提高该术式的临床疗效。为进一步增加公式准确性, 仍需要长期大量临床数据的验证并相应纠正。

参考文献

[1] 张世民, 周卫, 李星, 等. 微型钛板固定颈椎单开门椎管扩大成形的临床应用[J]. 中国骨伤, 2012, 25(1): 4-8.
ZHANG SM, ZHOU W, LI X, et al. Clinical application of titanium

miniplate in cervical expansive open-door laminoplasty[J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2012, 25(1): 4-8. Chinese with abstract in English.

[2] 吴忠伟, 任少军, 盛孝永, 等. Centerpiece 钢板在颈椎单开门术中应用价值[J]. 中国骨伤, 2013, 26(3): 252-256.
WU ZW, REN SJ, SHENG XY, et al. Application value of Centerpiece plate in cervical single open-door laminoplasty[J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2013, 26(3): 252-256. Chinese with abstract in English.

[3] Zhao X, Xue Y, Pan H, et al. Extensive laminectomy for the treatment of ossification of the posterior longitudinal ligament in the cervical spine[J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2012, 132(2): 203-209.

[4] Sakaura H, Hosono N, Mukai Y, et al. Medium-term outcomes of C₅-C₆ laminoplasty for cervical myelopathy: a prospective study with a minimum 5-year follow-up[J]. Eur Spine J, 2011, 20(6): 928-933.

[5] Nakashima H, Kato F, Yukawa Y, et al. Comparative effectiveness of open-door laminoplasty versus French-door laminoplasty in cervical compressive myelopathy[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2014, 39(8): 642-647.

[6] Wang XY, Dai LY, Xu HZ, et al. Prediction of spinal canal expansion following cervical laminoplasty: a computer-simulated comparison between single and double-door techniques[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2006, 31(24): 2863-2870.

[7] Li XK, Liu X, Che L, et al. Cervical open-door laminoplasty technique with simple sutures and bone grafts: a single institutional study with 30 consecutive cases[J]. J Orthop Surg Res, 2015, 10: 14.

[8] Chen H, Deng Y, Li T, et al. Clinical and radiography results of miniplate fixation compared to suture suspensory fixation in cervical laminoplasty: a five-year follow-up study[J]. Clin Neurol Neurosurg, 2015, 138: 188-195.

[9] Hu W, Shen X, Sun T, et al. Laminar reclosure after single open-door laminoplasty using titanium miniplates versus suture anchors[J]. Orthopedics, 2014, 37(1): e71-78.

[10] Tung KL, Cheung P, Kwok TK, et al. Single-door cervical laminoplasty using titanium miniplates alone[J]. J Orthop Surg (Hong Kong), 2015, 23(2): 174-179.

[11] Shou F, Li Z, Wang H, et al. Prevalence of C₅ nerve root palsy after cervical decompressive surgery: a meta-analysis[J]. Eur Spine, 2015, 24(12): 2724-2734.

[12] Xia Y, Xia Y, Shen Q, et al. Influence of hinge position on the effectiveness of expansive open-door laminoplasty for cervical spondylotic myelopathy[J]. J Spinal Disord Tech, 2011, 24(8): 514-520.

[13] 孙天威, 张杭, 卢守亮, 等. 颈椎单开门椎管扩大成形术椎板开门角度对脊髓型颈椎病疗效的影响[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2012, 22(1): 8-13.
SUN TW, ZHANG H, LU SL, et al. Effect of lamina open angle in expansion of unilateral open-door laminoplasty on the clinical effect in treating cervical myelopathy[J]. Zhongguo Ji Zhu Ji Sui Za Zhi, 2012, 22(1): 8-13. Chinese.

[14] Zhang H, Lu S, Sun T, et al. Effect of lamina open angles in expansion open-door laminoplasty on the clinical results in treating cervical spondylotic myelopathy[J]. J Spinal Disord Tech, 2015, 28(3): 89-94.