

临床论著

不离断后纵韧带的前路椎体-骨化物复合体可控前移融合术治疗颈椎多节段后纵韧带骨化症的疗效

阎琛, 韩 郢, 赵天翌, 孙璟川, 史建刚

(上海长征医院骨科 200003 上海市)

【摘要】目的:评估不离断后纵韧带颈椎前路椎体-骨化物复合体可控前移融合术(anterior controllable antedisplacement and fusion, ACAF)治疗颈椎多节段后纵韧带骨化症(ossification of the posterior longitudinal ligament, OPLL)的手术疗效。方法:回顾性分析 2017 年 10 月~2019 年 11 月在我院行 ACAF 治疗的多节段颈椎 OPLL 患者 73 例,其中采用不离断后纵韧带的 ACAF 治疗的 42 例纳入非离断组(男 32 例,女 10 例,年龄 55.8 ± 9.7 岁,随访时间 2.4 ± 0.4 年),采用离断后纵韧带的 ACAF 治疗的 31 例纳入离断组(男 25 例,女 6 例,年龄 56.7 ± 11.4 岁,随访时间 2.3 ± 0.3 年)。记录两组患者的手术时间、出血量、住院时间和手术相关并发症。在术前和术后 12 个月的颈椎 CT 上测量椎管占位率、前移距离(术后椎管前后径-术前椎管前后径)、减压宽度、椎管前后径,评估手术减压情况;在术后 7d 和 12 个月的颈椎正侧位、动力位 X 线片和 CT 上观察棘突间隙活动变化、融合器内外骨桥形成以及椎体间总高度,评估术后骨融合程度。术前和末次随访时对患者进行 JOA 评分并计算 JOA 改善率,评估神经功能恢复情况。结果:非离断组手术时间 212.9 ± 33.8 min,出血量 489.8 ± 199.0 ml,住院时间 7.2 ± 2.0 d;离断组手术时间 257.4 ± 33.2 min,出血量 598.9 ± 241.3 ml,住院时间 8.9 ± 3.2 d,两组间差异有统计学意义($P<0.05$)。术前、术后 12 个月的椎管占位率、减压宽度、前移距离和椎管前后径,两组间差异无统计学意义($P>0.05$)。非离断组术后 12 个月的骨融合率明显高于离断组[棘突间隙活动(92.9% vs 74.2%),融合器内外骨桥(88.1% vs 61.3%)],差异有统计学意义($P<0.05$)。非离断组的总并发症发生率(9.5%)显著低于离断组(32.2%),差异有统计学意义($P<0.05$)。末次随访时 JOA 评分和神经功能改善率,两组间差异无统计学意义($P>0.05$)。结论:与离断后纵韧带相比,不离断后纵韧带的 ACAF 能够在保证减压效果的情况下,有效降低手术难度,减少手术时间、出血量和并发症,促进术后康复和骨融合。

【关键词】后纵韧带骨化症;多节段;椎体-骨化物复合体可控前移技术;手术疗效

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2022.05.02

中图分类号:R681.5, R687.3 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2022)-05-0387-08

The clinical efficacy of anterior controllable antedisplacement and fusion with unsevered posterior longitudinal ligament in the treatment of multilevel cervical ossification of the posterior longitudinal ligament/YAN Chen, HAN Dan, ZHAO Tianyi, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2022, 32 (5): 387-394

【Abstract】Objectives: To evaluate the clinical outcome of anterior controllable antedisplacement and fusion (ACAF) with unsevered posterior longitudinal ligament(PLL) for the treatment of multilevel cervical ossification of the posterior longitudinal ligament (OPLL). Methods: Data of 73 patients with multilevel cervical OPLL who underwent ACAF in our hospital from October 2017 to November 2019 were reviewed retrospectively. The patients were divided into the unsevered group($n=42$, 32 males and 10 females, averaged 55.8 ± 9.7 years old and 2.4 ± 0.4 years of follow-up) and severed group($n=31$, 25 males and 6 females, averaged 56.7 ± 11.4 years old and 2.3 ± 0.3 years of follow-up). The operative time, blood loss, length of hospital stay, and complications of the two groups of patients were collected. The occupying rate of spinal canal, antedisplacement distance, decompression width, and anteroposterior canal diameter were measured on CT images before and at

第一作者简介:男(1996-),硕士研究生在读,研究方向:脊柱外科

电话:(8621)81885631 E-mail:17702109336@163.com

通讯作者:孙璟川 E-mail:chzhspine@126.com;史建刚 E-mail:shijiangang3@163.com

12 months postoperatively to evaluate the decompression. The interspinous motion, intra- and extragraft bone bridging and changes in the total interbody height of fused vertebral bodies were observed on cervical anteroposterior and lateral images, dynamic X-ray, and CT images at 7d and 12m postoperatively to evaluate the fusion. JOA scores were recorded before surgery and at the final follow-up to assess the recovery of neurologic function. **Results:** The unsevered group showed less operative time(212.9 ± 33.8 min vs 257.4 ± 33.2 min), blood loss(489.8 ± 199.0 ml vs 598.9 ± 241.3 ml) and length of hospital stay(7.2 ± 2.0 d vs 8.9 ± 3.2 d) than those of severed group($P < 0.05$). The preoperative and 12m postoperatively occupying rate, decompression width, antedisplacement distance, and anteroposterior canal diameter were not significantly different between the two groups ($P > 0.05$). The unsevered group demonstrated a higher fusion rate at 12 months [Interspinous motion (92.9% vs 74.2%), intra- and extragraft bone bridging(88.1% vs 61.3%)] postoperatively than that of the severed group ($P < 0.05$). The unsevered group demonstrated less incidence of complications than that of the severed group (9.5% vs 32.2%, $P < 0.05$). The JOA scores and neurologic recovery rates at the final follow-up were not significantly different between the two groups($P > 0.05$). **Conclusions:** ACAF surgery with unsevered PLL can ensure the decompression effect while reducing the operation difficulty, thus decreasing the operative time, blood loss, and incidence of complications, which can also accelerate postoperative recovery of patients and fusion.

【Key words】 Ossification of the posterior longitudinal ligament; Multilevel; Anterior controllable antedisplacement and fusion; Clinical efficacy

【Author's address】 Department of Orthopaedics, Shanghai Changzheng Hospital, Shanghai, 200003, China

颈椎前路椎体-骨化物复合体可控前移融合术(anterior controllable antedisplacement and fusion, ACAF)是治疗颈椎后纵韧带骨化症(ossification of posterior longitudinal ligament, OPLL)的一种新术式,与传统前路和后路手术相比,在取得良好临床疗效的同时,能够在一定程度上降低脑脊液漏、脊髓损伤、C5 神经根麻痹、置入物移位等并发症发生率^[1-4]。ACAF 的技术核心在于充分游离椎体-后纵韧带骨化物复合体,使其具备前移的能力^[5]。游离复合体的先决条件是切除椎间盘、松解椎间隙和椎体开槽、断开骨性连接。

颈椎后纵韧带是维持颈椎椎体稳定性的重要结缔组织结构,不离断后纵韧带会在一定程度上增加复合体前移阻力,影响椎管减压^[2,6]。但由于后纵韧带本身具有一定的拉伸弹性和可塑性,对前移的影响相对有限,因此离断后纵韧带并非游离复合体的必备选项。且游离复合体时开槽空间狭小且视野受限,后纵韧带紧邻硬脊膜和静脉丛,切除后纵韧带对术者水平和经验要求较高,学习曲线陡峭^[7-9]。尤其是当进行术者对侧开槽时或合并硬膜发生骨化时,离断后纵韧带可能增加脑脊液漏、脊髓损伤、椎管内出血等潜在风险^[2-4,6-8,10,11]。

为降低操作难度、缩短学习时间、减少并发症发生率,本团队尝试开展不离断后纵韧带的 ACAF 技术,即不离断骨化物复合体周围的后纵韧

带。本研究通过回顾性分析,纳入了离断/不离断后纵韧带的长节段 ACAF 患者,比较两者术后椎管减压、神经恢复和并发症等情况,评估不离断后纵韧带 ACAF 治疗颈椎 OPLL 的临床疗效。

1 资料与方法

1.1 一般资料

回顾性分析我院 2017 年 10 月~2019 年 11 月行 ACAF 治疗的颈椎 OPLL 患者。纳入标准:(1)临床症状与影像学检查相符;(2)骨化累及椎体数量 ≥ 3 个。排除标准:(1)合并肿瘤、感染、骨折、颈椎手术史;(2)随访时间少于 2 年;(3)随访资料不完整。

共纳入患者 73 例,其中采用不离断后纵韧带的 ACAF 治疗的患者 42 例,纳入非离断组;采用离断后纵韧带的 ACAF 治疗的患者 31 例,纳入离断组。两组患者的年龄、性别、体质指数(body mass index, BMI)、手术节段、随访时间、合并疾病等一般资料组间比较无统计学差异 ($P > 0.05$, 表 1)。所有患者术前均签署知情同意书,该研究已通过我院伦理委员会批准。

1.2 手术方法

1.2.1 离断组 麻醉成功后取仰卧位,采用常规 Smith-Peterson 入路显露椎前间隙,C 型臂 X 线机定位手术节段。去除手术节段椎间盘及椎间隙后缘骨赘,处理上下终板使其平整,并显露后纵韧

带。在拟提拉节段头尾端,从椎间隙使用神经剥离钩寻找并突破后纵韧带的薄弱点,然后挑起后纵韧带并用尖刀切开,使用刮匙及枪钳咬除椎间隙后纵韧带,显露硬脊膜。其余椎间隙后纵韧带无需处理。使用三关节咬骨钳根据各节段骨化物厚度去除椎体前部骨质。于各间隙安装椎间融合器,然后将预弯的钛板置于椎体前缘,于各椎体安装椎体钉。此时待提拉椎体的螺钉只需旋拧至贴靠钛板,无需拧紧。根据术前测量骨化物的宽度,向外

1mm 作为开槽边界,使用磨钻进行开槽,至椎体后壁皮质后,使用枪钳从两侧椎间隙向椎体中部逐渐咬除剩余椎体后壁,切除两侧骨槽中的后纵韧带,使得骨化物复合体完全游离(图 1a)。逐步拧紧椎体钉,可见椎体连同骨化物一并前移,直至椎体与钛板紧密贴合,实现骨化物复合体前移。植骨、冲洗切口、止血引流,逐层缝合。

1.2.2 非离断组 麻醉成功后取仰卧位,采用常规 Smith-Peterson 入路显露椎前间隙,C 型臂 X 线机定位手术节段。去除手术节段椎间盘及椎间隙后缘骨赘,处理上下终板使其平整即可,所有椎间隙后纵韧带均不处理。使用三关节咬骨钳根据各节段骨化物厚度去除椎体前部骨质。于各间隙安装椎间融合器,然后将预弯的钛板置于椎体前缘,于各椎体安装椎体钉。此时提拉椎体的螺钉只需旋拧至贴靠钛板,无需拧紧。根据术前测量骨化物的宽度,向外 1mm 作为开槽边界,使用磨钻进行开槽,当完全磨穿松质骨后,使用枪钳从两侧椎间隙向椎体中部逐渐咬除剩余椎体后壁的皮质骨,即可认为骨化物复合体完全游离,无需切断两侧骨槽中的后纵韧带(图 1b、图 2)。逐步拧紧椎体钉,可见椎体连同骨化物一并前移,直至椎体与钛板紧密贴合,实现骨化物复合体前移。植骨、冲洗切口、止血引流、逐层缝合。

1.3 观察指标及测量方法

记录手术相关指标,包括手术时间、术中出血量和住院时间。记录主要手术并发症,包括神经功

表 1 两组患者一般资料

Table 1 General data of the two groups of patients

	非离断组(n=42) Unsevered group	离断组(n=31) Severed group	P值 P value
年龄(y) Age	55.8±9.7	56.7±11.4	0.70
性别(n) Gender			0.65
男 Male	32	25	
女 Female	10	6	
手术节段数(n) Surgical level	5.4±0.7	5.5±0.8	0.67
随访时间(y) Follow-up period	2.4±0.4	2.3±0.3	0.18
BMI(kg/m ²)	26.1±3.3	26.2±3.3	0.86
基础疾病(n) Concomitant disease			
糖尿病 Diabetes mellitus	3	5	0.27
高血压 Hypertension	9	9	0.46

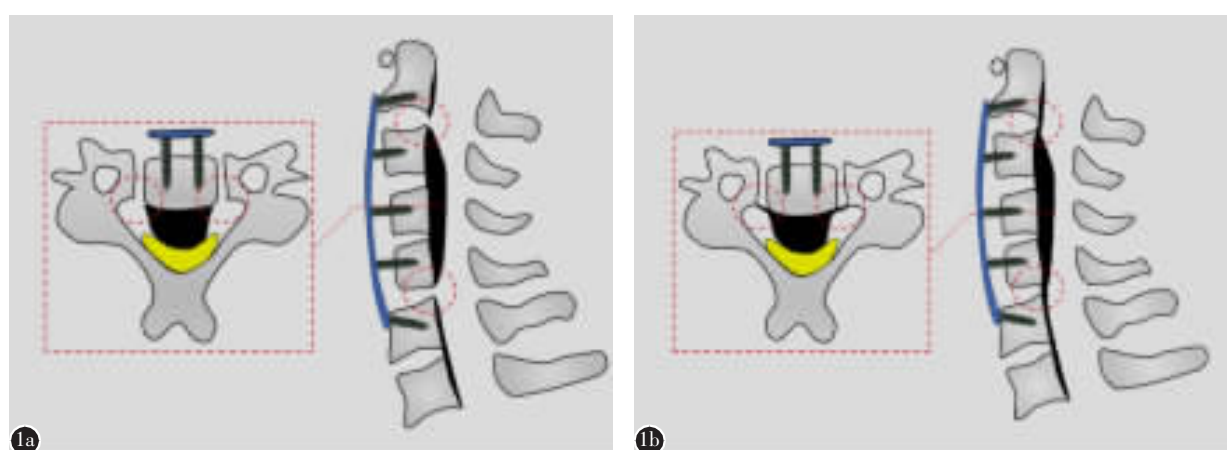


图 1 ACAF 示意图 a 离断后纵韧带的 ACAF:切断骨化物复合体周围的后纵韧带,即头尾端椎间隙和两侧骨槽中的后纵韧带(如红圈所示) b 不离断后纵韧带的 ACAF:不离断骨化物复合体周围的后纵韧带(如红圈所示)

Figure 1 Diagram of ACAF surgery a ACAF surgery with posterior longitudinal ligament severed: posterior longitudinal ligament in caudal or cranial discs and bilateral troughs(indicated by red circle) b ACAF surgery with posterior longitudinal ligament unsevered: unseparating the surrounding posterior longitudinal ligament(indicated by red circle)

能恶化、脑脊液漏、C5 神经根麻痹、感染、吞咽困难和置入物相关并发症等。

术前 7d 和术后 12 个月进行影像学评估,主要包括椎管参数和骨融合情况。为保证结果的精准性,由两位脊柱外科主治医师进行独立的测量并取平均值。

椎管参数(图 3):(1)椎管占位率,矢状位 CT 图像上最狭窄节段骨化物厚度与对应椎管前后径的比值;(2)骨化物前移距离,横截面 CT 图像上最狭窄节段椎体-后纵韧带骨化物复合体前移距离(术后椎管前后径-术前椎管前后径);(3)减压宽度,椎体后部两侧骨槽之间的距离;(4)椎管前后径,横截面 CT 图像上最狭窄节段骨化物后壁到椎板前壁的中线长度。

骨融合情况:(1)颈椎动力位 X 线片上棘突间隙活动变化是否 $<1\text{mm}^{[12]}$;(2)CT 三维重建图像上融合器内外是否形成骨桥,即椎间融合器内部的骨小梁连接和外周的皮质骨连接^[13];(3)融合椎体的椎间总高度的变化^[14]。

在术前及末次随访时采用日本骨科协会(Japanese Orthopaedic Association, JOA)脊髓功能评分系统进行评分,计算 JOA 改善率 $[\text{JOA 改善率}=(\text{术后 JOA 评分}-\text{术前 JOA 评分})/(\text{17}-\text{术前 JOA 评分})\times 100\%]$ 。评估两组患者神经功能改善情况。

1.4 统计学分析

采用 SPSS 19.0 统计软件进行数据分析,计

量资料均以 $\bar{x}\pm s$ 表示,计数资料均以频数表示。计量资料两组间比较采用独立样本 t 检验,计数资料两组间比较采用卡方检验及 Fisher 精确检验。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

非离断组手术时间 $212.9\pm 33.8\text{min}$,出血量 $489.8\pm 199.0\text{ml}$,住院时间 $7.2\pm 2.0\text{d}$;离断组手术时间 $257.4\pm 33.2\text{min}$,出血量 $598.9\pm 241.3\text{ml}$,住院时间 $8.9\pm 3.2\text{d}$,非离断组均小于离断组,差异有统计学意义($P<0.05$)。

2.1 临床指标

非离断组和离断组末次随访时的 JOA 评分均显著优于术前($P<0.05$),两组患者术后均无症状加重者。非离断组术后末次随访时的 JOA 评分和神经功能恢复率与离断组比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。非离断组的总并发症发生率明显低于离断组(非离断组:9.5%;离断组:32.2%),差异有统计学意义($P<0.05$);非离断组的脑脊液漏和吞咽困难发生率差异无统计学意义($P>0.05$,表 2)。

2.2 影像学指标

非离断组术后 12 个月的椎管占位率、骨化物前移距离、减压宽度以及椎管前后径与离断组比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。非离断组术后 12 个月的骨融合率(棘突间活动)明显高于离断组,差异有统计学意义($P<0.05$)。非离断组在术后



图 2 不离断后纵韧带的 ACAF 术中操作 a 从四周完全游离骨化物复合体,不离断后纵韧带 b 不离断后纵韧带的游离骨化物复合体仍然保持了血供丰富的状态(如箭头所示)

Figure 2 Intraoperative operations of ACAF surgery with posterior longitudinal ligament unsevered **a** The vertebrae OPLL complex was isolated completely from surroundings and posterior longitudinal ligament was unsevered **b** Isolated vertebrae OPLL complex with unsevered posterior longitudinal ligament remained a state of abundant blood supply (indicated by the arrow)

12个月的骨融合率(融合器内外骨桥)明显高于离断组,差异有统计学意义($P<0.05$)。非离断组术后12个月的融合器沉降量明显低于离断组,差异有统计学意义($P<0.05$,表3)。

3 讨论

本研究量化评估了不离断后纵韧带的 ACAF 的风险和收益,明确了该改良技术在治疗长节段

OPLL 中的优势和特点:(1) 不离断后纵韧带的 ACAF 可以实现充分的椎管扩容和脊髓减压,不离断后纵韧带并不影响神经减压效果;(2) 不离断后纵韧带降低了整体的手术并发症的发生率,减少了手术时间和出血量,在一定程度上提升了该技术的安全性,降低了手术难度,缩短了学习时间;(3) 不离断后纵韧带明显缩短了患者的住院时长,证明该改良技术有助于患者术后康复;(4) 对

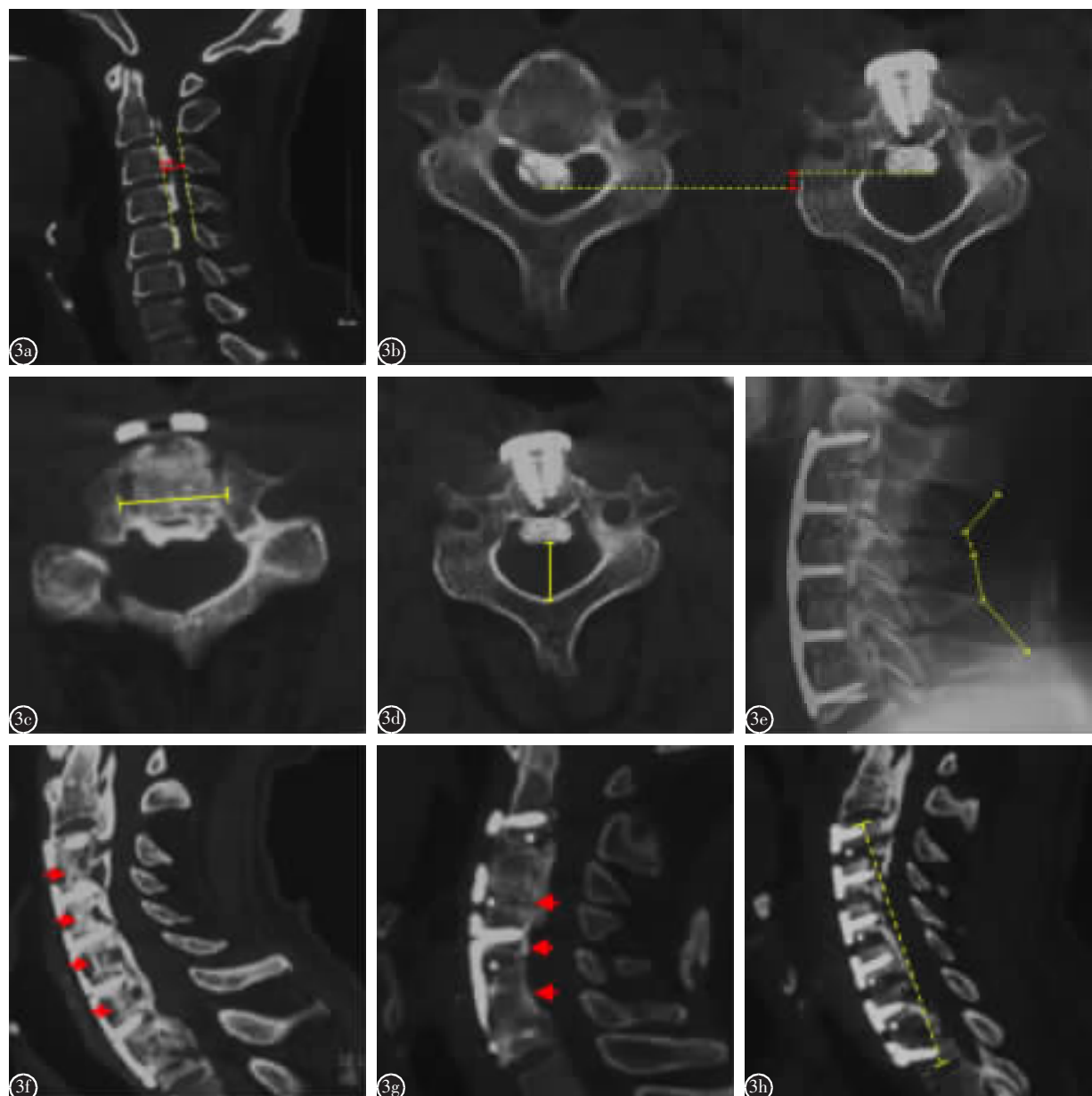


图3 影像学评价指标 a 椎管占位率 b 前移距离 c 减压宽度 d 椎管前后径 e 棘突间隙活动变化 f 融合器内骨桥 g 融合器外骨桥 h 椎间总高度

Figure 3 Radiological assessment a Occupying rate b Antedisplacement distance c Decompression width d Anteroposterior canal diameter e Interspinous motion f Intragraft bone bridging g Extragraft bone bridging h Total interbody height of fused vertebral bodies

于长节段 ACAF 治疗的 OPLL 患者, 不离断后纵韧带对于术后骨融合有着显著的促进作用。

目前, 颈椎前路减压手术中是否需要切除后纵韧带的争议主要在于其对减压效果的影响。Avila 等^[15]发现 ACDF 术中切除或保留后纵韧带在临床结果和并发症方面均无差异。Wang 等^[16]发现, 尽管技术要求较高, 但在前路手术中去除后纵韧带将有助于获得更好的减压。因此, 本研究首先评估了不离断后纵韧带 ACAF 的潜在风险, 即不离断后纵韧带是否会对椎管扩容和神经功能的恢复产生负面影响。不离断椎体-后纵韧带骨化物复合体周围的后纵韧带, 可能在提拉过程中对骨化物复合体前移产生阻力, 导致提拉距离不够、横向提拉等问题, 进而增加了神经症状残留、脊髓损伤等风险^[2, 6]。本研究评估了离断和不离断后纵韧带组的椎管占位率、减压宽度、前移距离以及椎管前后径等椎管减压指标和神经功能恢复情况, 两组间无统计学差异。表明在 ACAF 中不离断后纵韧带不会影响椎管扩容和神经减压。

本研究结果发现, 不离断后纵韧带能够有效减少手术时间和术中出血量。ACAF 学习曲线的相关研究结果表明, 双侧开槽中后纵韧带离断是该技术最难掌握的操作^[1, 7]。由于开槽空间狭小、视野受限、操作不熟练等主客观原因, 切断后纵韧带往往需要耗费更多的精力和时间, 还有可能导致椎管内静脉丛破裂出血^[10, 11, 17]。出血引起的附加

止血操作和术野模糊, 进一步增加了手术时间和出血量。此外, 离断组的术后吞咽困难的高发生率, 很可能与术中牵拉食管时间过长密切相关^[7, 18]。更重要的是, 开槽导致的脑脊液漏是 ACAF 早期常见的并发症之一, 尤其是当进行对侧开槽和硬膜发生骨化时, 直接切除后纵韧带大大增加了脑脊液漏和神经损伤的发生概率, 是导致术者学习曲线陡峭的重要因素^[3, 4, 7]。正如本研究结果所示, 离断后纵韧带组的脑脊液漏发生率明显高于非离断组。相比之下, 非离断后纵韧带的改良技术避免直接处理不易显露和骨化的后纵韧带, 降低并发症的同时, 也降低了手术难度, 有效地缩短了 ACAF 的学习时间。此外, 直接切断后纵韧带可能会间接增加抗生素的使用、输血以及手术消耗, 无形中阻碍了患者的快速康复, 进而导致了离断后纵韧带组的患者住院时长明显久于非离断组^[1, 19]。

本研究还发现, 不离断后纵韧带对于长节段 OPLL 术后骨融合有着明显的促进作用, 不离断后纵韧带 ACAF 治疗的 OPLL 患者术后 12 个月的棘突间活动变化、融合器内外骨桥和沉降高度等骨融合指标明显优于离断组。神经支配和血流供应可能是影响骨融合的 2 个关键因素^[20, 21]。解

表 3 两组患者影像学测量结果

Table 3 Radiological results of the two groups

	非离断组 (n=42) Unsevered group	离断组 (n=31) Severed group	P值 P value
术前椎管占位率(%) Preoperative occupying rate	55.0±14.0	54.7±13.0	0.92
术后椎管占位率(%) Postoperative occupying rate	13.5±15.0	17.6±14.1	0.24
减压宽度(mm) Decompression width	14.7±3.8	16.3±3.7	0.77
前移距离(mm) Antedisplacement distance	6.5±2.4	5.8±1.4	0.16
术前椎管前后径(mm) Preoperative anteroposter or canal diameter	7.2±2.5	7.2±2.4	0.92
术后椎管前后径(mm) Postoperative anteroposterior canal diameter	13.6±2.6	13.0±2.6	0.24
棘突间活动改变<1mm [n(%)] Interspinous motion	39(92.9%)	23(74.2%)	0.04
融合器内外骨桥[n(%)] Intra- and extra-graft bone bridging	37(88.1%)	19 (61.3%)	0.03
下沉高度(mm) Subsidence	1.8±0.6	2.2±0.6	0.03

表 2 两组患者临床结果

Table 2 Clinical outcomes of the two groups

	非离断组 (n=42) Unsevered group	离断组 (n=31) Severed group	P值 P value
术前 JOA 评分(分) Preoperative JOA scores	10.6±2.6	11.1±2.6	0.39
术后 JOA 评分(分) Postoperative JOA scores	14.3±2.2	14.5±1.7	0.63
JOA 评分改善率(%) Recovery rate	59.0±26.3	55.2±28.1	0.56
手术并发症[n(%)] Surgical complications	4(9.5%)	10(32.2%)	0.02
脑脊液漏 CSF leakage	1(2.4%)	4(12.9%)	0.16
感染 Infection	0(0%)	0(0%)	0.99
C5 神经根麻痹 C5 palsy	1(2.4%)	1(3.2%)	0.99
吞咽困难 Dysphagia	2(4.8%)	4(12.9%)	0.39
置入物相关并发症 Implant complications	0(0%)	1(3.2%)	0.48

剖研究也证实了后纵韧带上分布着颈交感神经节的节后纤维网络和椎体的滋养血管^[22-26]。根据“神经-内分泌-骨”的轴线调节理论,当骨质破坏后,神经纤维会释放各类神经生长因子,起到促进骨愈合的作用^[20,27-30]。另一方面,血管化在骨融合过程中扮演着重要角色,血运不良会导致骨萎缩和骨量的减少^[31]。研究显示,采用带血管蒂筋膜瓣包裹组织工程骨修复骨缺损的效果优于单纯组织工程骨^[21,27,32]。Zhang 等^[33]报道了 ACAF 与前路跳跃性椎体次全切除融合术 (skip corpectomy and fusion, SCF) 治疗长节段 OPLL 术后骨融合情况,在术后 6 个月的 Eck 骨融合评分中,ACAF 治疗的患者 I 级(骨融合良好)比例明显多于 SCF。造成两者早期骨融合差异的关键原因正是在于移植物质不同,SCF 的骨融合本质是失神经支配的异体骨混合自体骨钛网移植,而不离断后纵韧带 ACAF 的融合本质则是神经支配下的带血管蒂骨瓣自体移植。

本研究的局限性和不足:(1)本研究为单中心回顾性研究,样本量较少,可能存在一定的偏倚,这也导致两组在单项并发症方面未展示出统计学差异。(2)值得注意的是,不离断后纵韧带的 ACAF 技术在宽基底、骨质质量相对较差的 OPLL 患者中应用仍存在一定的局限性,一旦发现椎体-后纵韧带骨化物复合体前移未达到预期效果,仍需要对后纵韧带进行离断,使其完全游离,有助于颈脊髓获得充分的减压空间。(3)结果仅研究了术后 12 个月的骨融合数据,而骨融合是持续动态的过程,更长时间的随访数据将有助于评估手术的远期疗效,进一步验证结论的准确性。

4 参考文献

1. Sun J, Shi J, Xu X, et al. Anterior controllable antedisplacement and fusion surgery for the treatment of multilevel severe ossification of the posterior longitudinal ligament with myelopathy: preliminary clinical results of a novel technique [J]. *Eur Spine J*, 2018, 27(6): 1469-1478.
2. Yan C, Jia HC, Tan HY, et al. How much space of the spinal canal should be restored by hoisting the vertebrae-OPLL complex for sufficient decompression in anterior controllable antedisplacement and fusion: a multicenter clinical radiological study[J]. 2021, 21(2): 273-283.
3. Yang H, Sun J, Shi J, et al. Anterior controllable antedisplacement fusion as a choice for 28 patients of cervical ossification of the posterior longitudinal ligament with dura ossification: the risk of cerebrospinal fluid leakage compared with anterior cervical corpectomy and fusion[J]. *Eur Spine J*, 2019, 28(2): 370-379.
4. Chen Y, Sun J, Yuan X, et al. Comparison of anterior controllable antedisplacement and fusion (ACAF) with posterior laminoplasty in the treatment of multilevel cervical ossification of the posterior longitudinal ligament: a prospective, randomized and control study with at least one-year follow up [J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2020, 45(16): 1091-1101.
5. Sun J, Sun K, Wang Y, et al. Quantitative anterior enlargement of the spinal canal by anterior controllable antedisplacement and fusion for the treatment of cervical ossification of the posterior longitudinal ligament with myelopathy[J]. *World Neurosurg*, 2018, 120: e1098-e1106.
6. Wang Y, Sun J, Zheng B, et al. Analysis of the incompletely hoisted vertebrae in the anterior controllable antedisplacement and fusion surgery: causes and prevention[J]. *Clin Spine Surg*, 2020, 34(4): 125-131.
7. Yan C, Zhao TY, Ji CL, et al. Anterior controllable antedisplacement and fusion: quantitative analysis of a single surgeon's learning experience[J]. *Spine J*, 2022. doi: 10.1016/j.spinee.2022.01.009. Online ahead of print.
8. Yan C, Jia HC, Sun JC, et al. Anterior controllable antedisplacement and fusion surgery for the treatment of extensive cervico-thoracic ossification of posterior longitudinal ligament with severe myelopathy: case report and literature review [J]. *Br J Neurosurg*, 2020: 1-6.
9. Sun JC, Sun KQ, Sun SX, et al. Computer-assisted virtual operation planning in anterior controllable anterior-displacement and fusion surgery for ossification of the posterior longitudinal ligament based on actual computed tomography data[J]. *Clin Neurol Neurosurg*, 2019, 177: 86-91.
10. Sun J, Xu X, Wang Y, et al. How to avoid postoperative remaining ossification mass in anterior controllable antedisplacement and fusion surgery[J]. *World Neurosurg X*, 2019, 3:100034. doi: 10.1016/j.wnsx.2019.100034.
11. Kong QJ, Sun XF, Wang Y, et al. Risk assessment of vertebral artery injury in anterior controllable antedisplacement and fusion (ACAF) surgery: a cadaveric and radiologic study [J]. *Eur Spine J*, 2019, 28(10): 2417-2424.
12. Song KS, Piyaskulkaew C, Chuntarapas T, et al. Dynamic radiographic criteria for detecting pseudarthrosis following anterior cervical arthrodesis[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2014, 96(7): 557-563.
13. Song KS, Chaiwat P, Kim HJ, et al. Anterior cervical fusion assessment using reconstructed computed tomographic scans: surgical confirmation of 254 segments [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2013, 38(25): 2171-2177.
14. van Jonbergen HP, Spruit M, Anderson PG, et al. Anterior cervical interbody fusion with a titanium box cage: early radiological assessment of fusion and subsidence [J]. *Spine J*,

- 2005, 5(6): 645–649.
15. Avila MJ, Skoch J, Sattarov K, et al. Posterior longitudinal ligament resection or preservation in anterior cervical decompression surgery[J]. *J Clin Neurosci*, 2015, 22(7): 1088–1090.
16. Wang X, Chen Y, Chen D, et al. Removal of posterior longitudinal ligament in anterior decompression for cervical spondylotic myelopathy[J]. *J Spinal Disord Tech*, 2009, 22(6): 404–407.
17. Chen Y, Guo Y, Lu X, et al. Surgical strategy for multilevel severe ossification of posterior longitudinal ligament in the cervical spine[J]. *J Spinal Disord Tech*, 2011, 24(1): 24–30.
18. Bernstein DN, Prong M, Kurucan E, et al. National trends and complications in the surgical management of ossification of the posterior longitudinal ligament (OPLL)[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2019, 44(22): 1550–1557.
19. Kong QJ, Luo X, Tan Y, et al. Anterior controllable antedisplacement and fusion(ACAF) vs posterior laminoplasty for multilevel severe cervical ossification of the posterior longitudinal ligament: retrospective study based on a two-year follow-up[J]. *Orthop Surg*, 2021, 13(2): 474–483.
20. Wan QQ, Qin WP, Ma YX, et al. Crosstalk between bone and nerves within bone[J]. *Adv Sci (Weinh)*, 2021, 8(7): 2003390.
21. Diomedea F, Marconi GD, Fonticoli L, et al. Functional relationship between osteogenesis and angiogenesis in tissue regeneration[J]. *Int J Mol Sci*, 2020, 21(9): 3242.
22. Li J, Gu T, Yang H, et al. Sympathetic nerve innervation in cervical posterior longitudinal ligament as a potential causative factor in cervical spondylosis with sympathetic symptoms and preliminary evidence [J]. *Med Hypotheses*, 2014, 82(5): 631–635.
23. Li H, Ma X, Wu X, et al. Morphological observation of sympathetic nerve fibers in the human posterior longitudinal ligament[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2014, 39(26): 2119–2126.
24. Ichikawa N, Kumagai G, Wada K, et al. Coagulation, vascular morphology, and vasculogenesis in spinal ligament ossification model mice[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2021, 46(15): E802–E809.
25. Plaisant O, Sarrazin JL, Cosnard G, et al. The lumbar anterior epidural cavity: the posterior longitudinal ligament, the anterior ligaments of the dura mater and the anterior internal vertebral venous plexus[J]. *Acta Anat (Basel)*, 1996, 155(4): 274–281.
26. Kubo Y, Waga S, Kojima T, et al. Microsurgical anatomy of the lower cervical spine and cord[J]. *Neurosurgery*, 1994, 34(5): 895–890, 901–902.
27. 徐娇娇, 彭智, 陈思圆. 神经肽 Y 及其受体对骨代谢调节的研究进展[J]. *医学综述*, 2017, 23(8): 1476–1479, 1484.
28. Yasui M, Shiraishi Y, Ozaki N, et al. Nerve growth factor and associated nerve sprouting contribute to local mechanical hyperalgesia in a rat model of bone injury [J]. *Eur J Pain*, 2012, 16(7): 953–965.
29. Brazill JM, Beeve AT, Craft CS, et al. Nerves in bone: evolving concepts in pain and anabolism [J]. *J Bone Miner Res*, 2019, 34(8): 1393–1406.
30. 赵重熙, 马军, 何宁, 等. 局部应用神经生长因子对周围神经损伤后骨折早期愈合的影响[J]. *中国组织工程研究*, 2015, 19(15): 2320–2324.
31. Maes C. Role and regulation of vascularization processes in endochondral bones[J]. *Calcif Tissue Int*, 2013, 92(4): 307–323.
32. Schott NG, Friend NE, Stegemann JP. Coupling osteogenesis and vasculogenesis in engineered orthopedic tissues[J]. *Tissue Eng Part B Rev*, 2021, 27(3): 199–214.
33. Zhang B, Sun J, Xu X, et al. Skip corpectomy and fusion(SCF) versus anterior controllable antedisplacement and fusion(ACAF): which is better for patients with multilevel cervical OPLL[J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2019, 139(11): 1533–1541.
- (收稿日期:2022-01-19 修回日期:2022-04-02)
(英文编审 谭 啸)
(本文编辑 姜雅浩)