

· 临床研究 ·

# 通道下肌间隙入路腰椎固定融合术并发神经损伤的原因及预防

曾忠友<sup>1</sup>, 宋永兴<sup>1</sup>, 严卫锋<sup>1</sup>, 籍剑飞<sup>1</sup>, 韩建福<sup>1</sup>, 张建乔<sup>1</sup>, 金 辉<sup>1\*</sup>, 唐宏超<sup>1</sup>, 毛克亚<sup>2</sup>

1. 武警部队骨科医学中心, 武警浙江省总队医院骨二科, 浙江 314000

2. 解放军总医院骨科, 北京 100853

**【摘要】目的** 总结通道下肌间隙入路腰椎固定融合术并发神经损伤的特点, 分析损伤原因并提出预防措施。**方法** 武警浙江省总队医院2012年6月—2015年12月由同一组医师采用通道下肌间隙入路固定融合术治疗的腰椎病变患者277例, 其中9例出现神经损伤(男4例、女5例), 年龄42~78岁, 平均56.7岁。腰丛损伤1例, 马尾神经损伤1例, 神经根损伤7例。手术操作损伤3例, 螺钉位置不正确损伤2例, 血肿压迫2例, 混合因素1例, 原因不明1例。予非手术治疗5例, 再次手术4例。**结果** 9例患者随访9~36个月, 平均22.5个月。末次随访时, 手术操作直接损伤的3例中2例部分恢复, 1例完全恢复; 2例椎弓根螺钉位置不正确所致的神经根损伤完全恢复; 2例血肿压迫所致神经损伤者1例完全恢复, 另1例大部分恢复; 混合因素导致马尾神经损伤的1例患者部分恢复; 损伤原因不明的1例完全恢复。**结论** 通道下肌间隙入路腰椎固定融合术的神经并发症以神经根损伤多见。神经损伤有显露和手术方式的客观原因, 但术者的操作可能是更主要的因素。术前应严格选择病例、术中操作要谨慎细致, 以预防神经损伤的发生。

**【关键词】** 腰椎; 脊柱融合术; 内固定器; 外科手术, 微创性; 手术中并发症

**【中图分类号】** R 619.9 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1672-2957(2017)04-0211-06

**【DOI】** 10.3969/j.issn.1672-2957.2017.04.004

## Cause analysis and preventive strategy for nerve injury in lumbar vertebra fixation and fusion using a channel *via* muscle-splitting approach

ZENG Zhong-you<sup>1</sup>, SONG Yong-xing<sup>1</sup>, YAN Wei-feng<sup>1</sup>, JI Jian-fei<sup>1</sup>, HAN Jian-fu<sup>1</sup>, ZHANG Jian-qiao<sup>1</sup>, JIN Hui<sup>1\*</sup>, TANG Hong-chao<sup>1</sup>, MAO Ke-ya<sup>2</sup>

1. Second Department of Orthopaedics, Hospital of Zhejiang General Corps of Armed Police Forces, Jiaxing 314000, Zhejiang, China

2. Department of Orthopaedics, General Hospital of PLA, Beijing 100853, China

**【Abstract】Objective** To summarize the characteristics of the nerve injury in posterior lumbar internal fixation and interbody fusion through muscle gap using expandable channel, analyze the causes for the injury and put forward the preventive measures. **Methods** Nine patients (4 males and 5 females) suffered nerve injury who underwent lumbar fusion through muscle gap using expandable channel by the same group of doctors from June 2012 to December 2015 in Hospital of Zhejiang General Corps of Armed Police Forces. The mean age was 56.7 years (42-78 years). Among them, 1 patient showed cauda equina injury, 1 lumbar plexus nerve injury, 7 nerve root injury. The causes for nerve injury were iatrogenic surgical injury in 3 cases, incorrect screw position in 2, hematoma compression in 2, mixed factors in 1 and unknown origin in 1. Four patients received reoperation and 5 conservative treatment. **Results** All patients were followed up for 9-36 months (mean 22.5 months). To the end of the follow-up, 1 patient obtained complete recovery and 2 partial recovery in 3 patients with surgical injury. The 2 patients with nerve root injury due to incorrect screw position obtained complete recovery. In 2 patients nerve injury due to hematoma compression, one obtained complete recovery and the other obtained most of recovery. The mixed factors-injured patient obtained partial recovery and the unknown origin-injured patient obtained complete recovery. **Conclusion** The nerve root injury is the most common neurologic complication of the posterior lumbar internal fixation and interbody fusion through muscle gap using expandable channel. For the nerve injury, there are objective reasons for the exposure and operation mode, but the operation of

基金项目: 浙江省卫生厅科研项目(2010KYB112)

作者简介: 曾忠友(1969—), 硕士, 副主任医师; zjzengzy@126.com

\*通信作者: 金 辉 huijin75@163.com

the surgeon may be the more important factor. For the prevention of nerve injury, it requires not only the abundant experience of the surgeon, but also strict selection of surgical indications, and meticulous operation in surgery.

【Key Words】Lumbar vertebrae; Spinal fusion; Internal fixators; Surgical procedures, minimally invasive; Intraoperative complications

J Spinal Surg, 2017, 15(4): 211-216

近年来,随着后路微创方法在腰椎固定融合术中的广泛应用,腰椎病变的手术治疗效果明显提高<sup>[1-5]</sup>。特别是以通道下肌间隙入路双侧椎弓根螺钉固定并椎间植骨融合术<sup>[24]</sup>和通道下肌间隙入路单侧椎弓根螺钉联合对侧椎板关节突螺钉固定并椎间植骨融合术<sup>[1,5]</sup>为代表的微创腰椎固定融合方法备受关注,两者均具有切口小、创伤小、疼痛轻、恢复快和临床效果好等优点。然而,神经损伤作为后路腰椎固定融合术的主要并发症之一,在通道下肌间隙入路中亦不可避免<sup>[6-8]</sup>,甚至发生率可能高于传统开放手术,特别是在开展的早期阶段<sup>[7]</sup>。武警浙江省总队医院2012年6月—2015年12月由同一组医师采用通道下肌间隙入路腰椎固定椎间植骨融合术治疗腰椎病变277例,术后出现神经损伤9例,发生率为3.2%。现回顾性分析9例神经损伤的病例资料,总结通道下肌间隙入路腰椎固定椎间植骨融合术治疗腰椎病变并发神经损伤的特点和原因,并提出预防性措施。

## 1 资料与方法

### 1.1 神经损伤发生率

采用通道下肌间隙入路腰椎固定椎间植骨融合术治疗277例腰椎病变患者,其中腰椎椎间盘退变147例,腰椎椎间盘突出伴椎管狭窄症31例,极外侧型腰椎椎间盘突出症3例,巨大型腰椎椎间盘突出症5例,腰椎椎间盘突出术后原位复发12例,腰椎退行性滑脱29例,腰椎椎管狭窄症15例,腰椎峡部裂伴/不伴椎体滑脱35例。其中采用单侧通道下肌间隙入路单侧椎弓根联合对侧椎板关节突螺钉固定并植骨融合术(简称通道下联合固定融合术)治疗192例,采用双侧通道下肌间隙入路双侧椎弓根螺钉固定并椎间植骨融合术(简称通道下双侧固定融合术)治疗85例,术后出现神经损伤9例,发生率为3.2%。

### 1.2 一般资料

出现神经损伤的9例患者中,男4例,女5例;年龄42~78岁,平均56.7岁;腰椎椎间盘退变1例,巨大型腰椎椎间盘突出症1例,极外型腰椎椎间盘突出症1例,腰椎椎间盘突出伴椎管狭窄症5例,

腰椎退行性滑脱1例。单节段7例,包括L<sub>3</sub>/L<sub>4</sub> 1例, L<sub>4</sub>/L<sub>5</sub> 5例, L<sub>5</sub>/S<sub>1</sub> 1例;双节段2例,均为L<sub>3</sub>/L<sub>4</sub>/L<sub>5</sub>。采用通道下联合固定融合术治疗6例,通道下双侧固定融合术治疗3例。两种手术的椎管减压和椎间融合器置入均采用经椎间孔椎间融合术(TLIF)。所用通道为山东威高医疗器械有限公司生产的Mispine系统。椎弓根螺钉系统均为山东威高医疗器械有限公司生产的钛合金系统(UPASS II型),椎板关节突螺钉均为上海浦卫医疗器械有限公司生产的钛合金空心螺钉。5例采用Stryker公司O.I.C型(解剖型Peek材料)融合器,4例采用Stryker公司AVS型(香蕉型Peek材料)融合器。

### 1.3 神经损伤情况

腰丛损伤1例,马尾神经损伤1例,神经根损伤7例。根据术中操作并结合影像学等检查结果,考虑损伤原因主要为手术操作损伤(3例)、螺钉位置不正确所致损伤(2例)和血肿压迫(2例),另外混合因素所致损伤和损伤原因不明各1例。

### 1.4 神经损伤的治疗方法

手术操作损伤的3例行非手术治疗,即予营养神经药物和康复锻炼;螺钉位置不正确的2例予椎弓根螺钉调整术,即取出原螺钉,重新确定入点和角度后再置入;2例血肿病例中,1例椎管血肿予椎管探查血肿清除术,1例腰大肌血肿因诊断延迟予非手术治疗;1例混合因素损伤者予椎管探查并椎板关节突螺钉取出术;损伤原因不明的1例予非手术治疗。

## 2 结 果

### 2.1 神经损伤原因分析

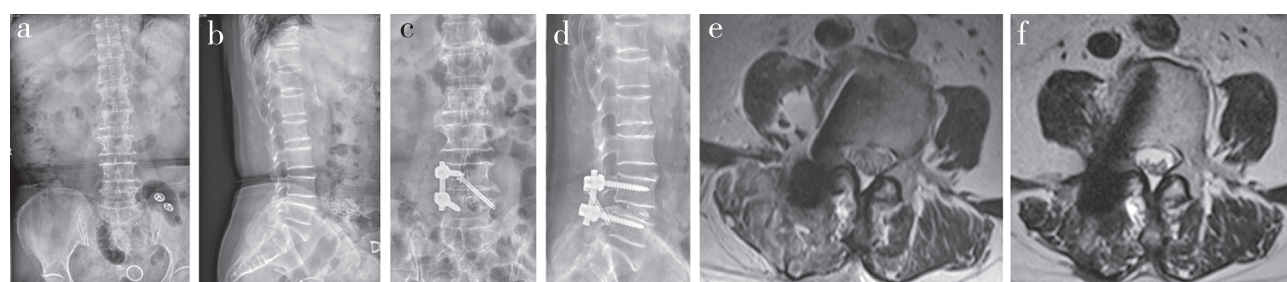
手术操作损伤共3例(均为L<sub>4</sub>/L<sub>5</sub>椎间盘突出伴椎管狭窄症),第1例行通道下联合固定融合术,所用融合器为AVS型,术中融合器置入时损伤硬膜,致硬膜破裂、脑脊液漏、神经根损伤,表现为减压侧下肢胫前肌、拇背伸肌肌力减弱至3级及神经支配区麻木;第2例行通道下双侧固定融合术,术中发现神经根明显粘连,松解时可能损伤神经根,术后表现为拇背伸肌肌力减弱至2级及神经支配区麻木;第3例行通道双侧固定融合术,使用了AVS型

融合器, 术后出现减压侧拇背伸肌肌力减弱至4级及神经支配区麻木。

螺钉位置不正确所致神经损伤共2例, 其中1例为L<sub>3</sub>/L<sub>4</sub>/L<sub>5</sub>退行性滑脱(I度), 行通道下双侧固定融合术, 术后出现一侧下肢胫前肌、拇背伸肌肌力减弱至4级及相应区域皮肤麻木, 影像学检查提示同侧3枚椎弓根螺钉部分进入椎管并顶压神经根; 1例为L<sub>4</sub>/L<sub>5</sub>椎间盘突出伴椎管狭窄症, 行通道下联合固定融合术, 使用了AVS型融合器, 术后一侧下肢拇背伸肌肌力减弱至3级及神经支配区麻木, 影像学检查提示同侧1枚椎弓根螺钉部分进入

椎管并顶压神经根。

血肿压迫共2例, 其中1例为L<sub>4</sub>/L<sub>5</sub>椎间盘突出伴椎管狭窄症, 行通道下联合固定融合术, 术后出现减压侧髂腰肌、股四头肌肌力减弱至3级及神经支配区麻木, 腰椎MRI检查提示减压侧腰大肌血肿形成(图1), 考虑血肿压迫腰丛神经; 1例L<sub>3</sub>/L<sub>4</sub>/L<sub>5</sub>椎间盘退变, 行通道下双节段联合固定融合术, 手术过程中切口渗血较多, 术中出血约850 mL, 术后28 h出现减压侧下肢胫前肌、拇背伸肌肌力减弱至4级及神经支配区麻木, 且引流管尚未拔除, 腰椎MRI检查提示椎管内血肿形成, 考虑血肿压迫神经根。



a, b: 术前正侧位X线片 c, d: 术后正侧位X线片 e: 术后MRI示右侧(减压侧)L<sub>4</sub>椎弓根水平腰大肌较大血肿 f: 术后6个月MRI示右侧腰大肌血肿基本吸收

a, b: Preoperative anteroposterior and lateral roentgenographs c, d: Postoperative anteroposterior and lateral roentgenographs e: Postoperative MRI shows a large hematoma appearing in psoas major muscle on right side(decompression side) of L<sub>4</sub> pedicle screw f: MRI of postoperative 6 months shows hematoma almost absorbed

图1 腰丛神经损伤患者影像学资料

Fig. 1 Imaging data of lumbar plexus nerve injury case

混合因素1例, 为巨大型L<sub>5</sub>/S<sub>1</sub>椎间盘突出症, 行通道下联合固定融合术, 使用了AVS型融合器, 术后出现双侧跖屈肌力减弱至3级、肛周和足外侧区皮肤麻木以及二便功能障碍, 影像学检查提示椎板关节突螺钉完全进入椎管(图2), 考虑为马尾神经损伤, 损伤原因可能为硬膜过度牵拉和椎板关节突螺钉绞伤共同作用所致。

损伤原因不明1例, 为L<sub>3</sub>/L<sub>4</sub>极外侧型腰椎椎间盘突出症, 行通道下联合固定融合术, 手术顺利, 术后出现减压的对侧下肢足背内侧麻木, 拇背伸肌肌力减弱至4级, 考虑为对侧L<sub>5</sub>神经根损伤, 腰椎X线片、CT示椎弓根螺钉和椎板关节突螺钉位置良好, 结合术中操作, 本例神经根损伤原因不能明确。

## 2.2 神经损伤治疗情况

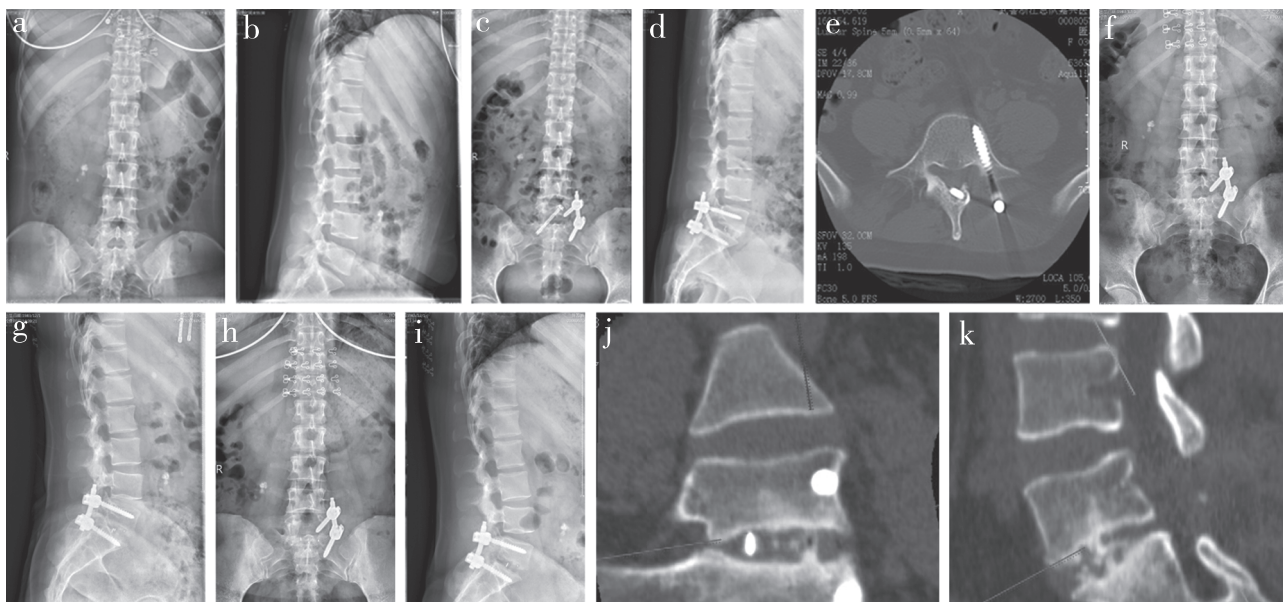
本组病例切口(包括二次手术切口)均无感染。9例患者均获得随访, 随访时间9~36个月, 平均22.5个月。随访期间未出现内固定松动或断裂, 均获得椎间融合。末次随访时, 手术操作损伤的3例

中2例下肢肌力恢复至4级, 1例肌力完全恢复; 2例由于椎弓根螺钉位置不正确所致的神经根损伤其下肢肌力完全恢复; 血肿所致损伤的2例中, 1例椎管血肿行血肿清除者肌力完全恢复, 另1例腰大肌血肿行非手术治疗者肌力恢复至4级; 1例混合因素所致的马尾神经损伤患者肌力完全恢复, 大便能自解, 小便仍需导尿; 损伤原因不明的1例下肢肌力完全恢复。

## 3 讨论

神经损伤是腰椎后路固定融合术较为常见且严重的并发症, 文献报道其发生率为0.56%~7.10%<sup>[9-12]</sup>。随着手术方法的改进、操作技术的成熟、影像系统的发展和神经监测手段的应用, 神经损伤的发生率在逐步下降, 但仍不能避免。特别是近年来, 后路腰椎固定融合术应用越来越广泛, 手术数量的递增、新技术的开展, 以及严重性、复杂性手术的增多, 使得神经损伤时有发生<sup>[13-15]</sup>。作为后路微创腰





a, b: 术前正侧位X线片 c, d: 术后正侧位X线片 e: 术后CT示L<sub>5</sub>/S<sub>1</sub>椎板关节突螺钉完全进入椎管 f, g: 行L<sub>5</sub>/S<sub>1</sub>椎板关节突螺钉取出术, 术后正侧位X线片 h, i: 术后1年正侧位X线片示椎弓根螺钉在位良好 j, k: 术后1年腰椎冠状面、矢状面CT重建示L<sub>5</sub>/S<sub>1</sub>椎间融合良好  
a, b: Preoperative anteroposterior and lateral roentgenographs c, d: Postoperative anteroposterior and lateral roentgenographs e: Postoperative CT shows L<sub>5</sub>/S<sub>1</sub> transaminar facet screw entring spinal canal f, g: Anteroposterior and lateral roentgenographs after taking out L<sub>5</sub>/S<sub>1</sub> transaminar facet screw h, i: Anteroposterior and lateral roentgenographs of postoperative 1 year show good location of pedicle screws j, k: Coronal and sagittal CTs of postoperative 1 year show L<sub>5</sub>/S<sub>1</sub> interbody fusion

图2 马尾神经损伤患者影像学资料

Fig. 2 Imaging data of cauda equina injury case

椎固定融合术的代表方法,通道下肌间隙入路双侧椎弓根螺钉固定并椎间植骨融合术和通道下肌间隙入路单侧椎弓根螺钉联合对侧椎板关节突螺钉固定并椎间植骨融合术治疗腰椎病变具有良好的临床效果<sup>[1-5]</sup>。与传统正中切口两侧骶棘肌剥离显露不同,通道下腰椎固定融合术不仅是一种全新的手术入路和显露方式,而且切口小、视野小,尤其笔者早期开展的病例,切口最小的仅1.8 cm<sup>[16]</sup>,故其手术视野更小。在一个如此狭小且全新的空间内完成腰椎椎管减压、髓核摘除、椎间隙植骨床处理、固定、融合器置入等操作,需要一个逐渐熟悉和不断适应的过程,存在着学习曲线,因而其并发症(神经损伤)发生率较高<sup>[5, 16]</sup>,特别是在开展的早期,明显高于本院采用传统正中切口双侧椎弓根螺钉固定并椎间植骨融合术和正中切口单侧椎弓根螺钉联合对侧椎板关节突螺钉固定并椎间植骨融合术神经损伤的发生率<sup>[12, 17]</sup>。在腰椎后路固定融合术的神经损伤中较多见的是神经根损伤,马尾神经损伤较少,而神经丛损伤较为罕见,本组神经根损伤7例,马尾神经损伤1例,腰丛损伤1例。分析本组病例神经损伤的原因,既有通道下肌间隙入路这一客观因素,也有病情的复杂性,如巨大型椎间盘突出、椎管狭窄、

神经根粘连等;然而,术者的操作可能是更为主要的因素,包括手术操作的直接损伤、螺钉位置不正确、血肿压迫等,有的为单一因素,有的为多因素综合作用所致。

### 3.1 手术操作损伤

本组实际发生4例手术操作损伤(包括1例混合因素所致损伤)。其中3例为腰椎椎间盘突出伴椎管狭窄症,1例为巨大型腰椎椎间盘突出症;3例使用了AVS型融合器。在关节突和椎板切除、侧隐窝扩大、神经探查与松解、髓核摘除、椎间隙植骨床制作、融合器置入、椎弓根或椎板关节突置钉等操作过程中均有可能损伤神经,包括钳咬、撕扯、切割、牵拉、顿挫所致的损伤。新的手术空间和通道下操作的局限性,病情的特殊性以及在早期开展病例中过分追求小切口,均是导致神经损伤高发的因素,特别是伴有椎管狭窄的病例,以及AVS型融合器的应用。椎管狭窄的病例往往病史较长,而且多表现为侧隐窝狭窄,部分病例会出现神经粘连,在较小的视野内行侧隐窝扩大或神经松解时易致神经损伤;AVS型融合器体积相对较大,在融合器置入过程中,视线被融合器遮挡,如神经保护不当,亦易损伤。操作所致损伤多为神经根损伤,且多表现为不全性损

伤。对于手术操作所致神经损伤的预防,除了强调操作的细致、规范外,还需注意:①病例选择方面,坚持循序渐进,遵循从简单到复杂的原则,对于肥胖、肌肉发达、腰椎严重畸形、局部骨质增生明显、椎管严重狭窄、巨大型椎间盘突出、>2个节段的固定融合或存在出血倾向的患者,应慎重选择。②精确地规划切口及适当地扩大切口;③保证术野有良好的照明;④融合器置入过程,特别是AVS型融合器的置入应在直视并神经保护良好下操作。

### 3.2 螺钉位置不正确

螺钉位置不正确是微创腰椎内固定技术最为常见的并发症<sup>[4, 18]</sup>,也是本组病例中导致神经损伤的重要原因,本组共3例(包括1例混合因素损伤)。2例为椎弓根螺钉部分进入椎管并损伤神经根,1例为椎板关节突螺钉完全进入椎管绞伤马尾神经(结合患者的马尾神经损伤特点和二次手术椎管探查所见,分析此例病例可能还存在神经的过度牵拉因素)。由于采用通道下肌间隙入路,椎弓根入点充分地显露于视野内,而且螺钉能保持较好的内倾角置入,因而椎弓根螺钉位置总体良好<sup>[5]</sup>。对于椎板关节突螺钉的置入,虽然本组病例采用瞄准器引导下操作,但由于在开展早期经验不足,完全按照多裂肌与最长肌肌间隙入路,导致棘突基底显露困难,即椎板关节突螺钉的入点难以准确定位,一旦入点偏下或偏上,椎板关节突螺钉易出现偏离,如进入椎管,则可能损伤神经。近期笔者总结了两种不同手术入路联合固定方式其螺钉位置的不正确率:一组采用通道下肌间隙入路联合固定治疗腰椎病变,总共置入椎弓根螺钉243枚,螺钉位置不正确率为0.4%;置入椎板关节突螺钉共131枚,螺钉位置不正确率为7.6%。另一组采用正中入路小切口联合固定治疗腰椎病变,共置入椎弓根螺钉374枚,螺钉位置不正确率为0.09%;置入椎板关节突螺钉共208枚,螺钉位置不正确率为4.3%。无论是椎弓根螺钉或椎板关节突螺钉,通道下置钉位置不正确率均较正中切口入路高<sup>[16-17]</sup>。因此,要提高通道下肌间隙入路置钉的准确性,应强调:①术前充分了解患者腰椎的局部病理变化和影像特点,测量腰椎椎板关节突的相关数据;②对于L<sub>4</sub>/L<sub>5</sub>节段,特别是L<sub>5</sub>/S<sub>1</sub>节段,建议自多裂肌肌纤维间进行显露,否则切口可能太偏外<sup>[16, 19]</sup>,影响椎管减压操作和椎板关节突螺钉的准确置入;③把握通道下的术野结构和操作特点;④严格按操作程序规范置钉,如钻孔、探测、攻丝、探测、置钉;⑤充分利用现代影像设备和各种监测、导航技术,如超声引导<sup>[20]</sup>和三维导航<sup>[14]</sup>。

### 3.3 血肿压迫

后路腰椎固定融合手术中,深部血肿的并发症较为少见<sup>[21]</sup>,与开放手术相比,微创手术操作更加精准、精细,而且由于创伤小、出血少,术后出现血肿的可能性更小<sup>[3, 22]</sup>。但本组仍出现2例血肿压迫,1例为腰大肌血肿致腰丛神经压迫,另1例为迟发性椎管血肿压迫神经根。腰大肌血肿形成的可能原因:由于本组病例均采用标准的TLIF术式进行椎管减压、髓核摘除、椎间融合器置入,术中需将病变节段上位椎体的下关节突完全切除,以及下位椎体的上关节突部分切除,特别是在进行上关节突的部分切除时,有撕扯动作,可能将从腰动脉分出的上关节突腹部分支撕裂,血液流注进入腰大肌鞘,形成血肿,压迫腰丛神经。此外,是否为椎弓根穿刺或置钉过程中伤及节段腰动脉亦不得而知。椎管血肿的形成因素较为复杂,既有操作的因素,如术中的粗暴操作、止血不彻底、术后引流不畅等,也可能有患者自身的原因,如血管变异或凝血功能不良等。对于血肿的预防,既要强调精细的操作,还要注意切口内良好的止血,以及减少止血材料的应用,进行有效的切口引流。

另外,本组还出现1例原因不能明确的神经损伤。虽然术中操作规范、手术顺利,且术后影像检查亦未见异常,但神经症状客观存在,损伤原因可能是尚未注意到,或是未认知的因素。

对于通道下肌间隙入路神经损伤的治疗,与传统开放切口腰椎固定融合术神经损伤的治疗基本相同,需要根据损伤原因选择治疗方案,如为手术操作直接损伤,建议予药物营养神经治疗以及康复训练;若有明确的卡压,如骨块或血肿形成,或螺钉位置不正确所致的刺激、顶压,则需及时手术探查,予骨块或血肿清除,螺钉取出或调整。根据本组病例的观察和文献报道<sup>[12, 16]</sup>,神经损伤的预后与损伤类型、损伤原因、损伤的严重程度以及二次手术的时机密切相关,如为马尾神经损伤、多根神经根损伤、操作的直接损伤或手术探查不及时发生损伤,其神经恢复往往较慢,效果较差;而由于卡压或螺钉位置不正确所致的损伤,只要及时手术,大部分恢复良好。

总之,与任何开放或其他微创腰椎固定融合技术相同,通道下肌间隙入路腰椎固定融合术亦存在神经损伤并发症。临床上不仅要重视神经损伤的预防,而且,一旦出现神经损伤,应采取积极的干预措施,将损伤降到最低。本研究的不足之处在于仅仅是立足于临床的分析,样本量较少,未对不同疾

病、不同手术方法、不同固定融合部位和节段、不同融合器选择与神经损伤之间的关系进行探讨。

### 参考文献

- [1] 毛克亚, 王岩, 肖嵩华, 等. 单侧微创经椎间孔腰椎椎体间融合术采用椎弓根螺钉结合经椎板关节突螺钉混合内固定可行性研究[J]. 中华外科杂志, 2011, 49(12): 1067-1070.
- [2] 王建, 张正丰, 李长青, 等. 微创经椎间孔腰椎椎间融合术翻修治疗腰椎退变性疾病[J]. 脊柱外科杂志, 2012, 10(1): 13-16.
- [3] Awad BI, Lubelski D, Shin JH, et al. Bilateral pedicle screw fixation versus unilateral pedicle and contralateral facet screws for minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion: clinical outcomes and cost analysis[J]. Global Spine J, 2013, 3(4): 225-230.
- [4] Wang J, Zhou Y. Perioperative complications related to minimally invasive transforaminal lumbar fusion: evaluation of 204 operations on lumbar instability at single center[J]. Spine J, 2014, 14(9): 2078-2084.
- [5] 曾忠友, 宋永兴, 吴鹏, 等. 通道下肌间隙入路椎间融合术治疗腰椎病变的近期疗效[J]. 中华骨科杂志, 2015, 35(12): 1191-1199.
- [6] Lau D, Lee JG, Han SJ, et al. Complications and perioperative factors associated with learning the technique of minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion(TLIF)[J]. J Clin Neurosci, 2011, 18(5): 624-627.
- [7] Silva PS, Pereira P, Monteiro P, et al. Learning curve and complications of minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion[J]. Neurosurg Focus, 2013, 35(2): E7.
- [8] Sclafani JA, Kim CW. Complications associated with the initial learning curve of minimally invasive spine surgery: a systematic review[J]. Clin Orthop Relat Res, 2014, 472(6): 1711-1717.
- [9] McAfee PC, DeVine JG, Chaput CD, et al. The indications for interbody fusion cages in the treatment of spondylolisthesis: analysis of 120 cases[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2005, 30(6 Suppl): S60-65.
- [10] Krishna M, Pollock RD, Bhatia C. Incidence, etiology, classification, and management of neuralgia after posterior lumbar interbody fusion surgery in 226 patients[J]. Spine J, 2008, 8(2): 374-379.
- [11] Jurícek M, Reháč L, Tisovský P, et al. The effect of complications on the quality of life after surgery for lumbar spine degenerative disease[J]. Acta Chir Orthop Traumatol Cech, 2010, 77(2): 112-127.
- [12] 曾忠友, 裴斐, 张建乔, 等. 腰椎后路内固定融合术并发神经损伤的原因分析和处理[J]. 脊柱外科杂志, 2016, 14(2): 83-86.
- [13] 肖波, 毛克亚, 王岩, 等. 微创经椎间孔腰椎椎体间融合术与传统后路腰椎椎体间融合术并发症的比较分析[J]. 脊柱外科杂志, 2013, 11(1): 23-27.
- [14] Scheufler KM, Franke J, Eckardt A, et al. Accuracy of image-guided pedicle screw placement using intraoperative computed tomography-based navigation with automated referencing. Part II: Thoracolumbar spine[J]. Neurosurgery, 2011, 69(6): 1307-1316.
- [15] Isley MR, Zhang XF, Balzer JR, et al. Current trends in pedicle screw stimulation techniques: lumbosacral, thoracic, and cervical levels[J]. Neurodiagn J, 2012, 52(2): 100-175.
- [16] 曾忠友, 宋永兴, 吴鹏, 等. 通道下联合固定并椎间融合术治疗腰椎病变的早期并发症[J]. 中国矫形外科杂志, 2016, 24(17): 1537-1544.
- [17] 曾忠友, 吴鹏, 宋永兴, 等. 小切口单侧椎弓根螺钉联合对侧经皮椎板关节突螺钉固定并椎间融合治疗腰椎病变的并发症分析[J]. 中国骨伤, 2016, 29(3): 232-241.
- [18] Tsatsarlis A, Efendy JL, Mannion RJ, et al. Complications from minimally invasive lumbar interbody fusion: experience from 100 patients[J]. J Clin Neurosci, 2013, 20(6): 813-817.
- [19] 王洋, 武汉, 张子言, 等. 腰椎椎旁肌间隙至棘突正中线距离的MRI测量及意义[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2013, 23(4): 316-319.
- [20] Kantelhardt SR, Bock CH, Larsen J, et al. Intraosseous ultrasound in the placement of pedicle screws in the lumbar spine[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2009, 34(4): 400-407.
- [21] Hart RA, Domes CM, Goodwin B, et al. High-grade spondylolisthesis treated using a modified Bohlman technique: results among multiple surgeons[J]. J Neurosurg Spine, 2014, 20(5): 523-530.
- [22] Chung T, Thien C, Wang YY. A rare cause of postoperative paraplegia in minimally invasive spine surgery[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2014, 39(3): E228-230.

(收稿日期: 2016-11-08)

(本文编辑: 于 倩)