

## 围手术期周围神经损伤研究进展

马云龙<sup>1</sup> 王云<sup>2</sup>

<sup>1</sup>北京市和平里医院麻醉科 100013; <sup>2</sup>北京市朝阳区医院麻醉科 100020

通信作者:王云, Email: wangyun129@ccmu.edu.cn

**【摘要】** 周围神经损伤(peripheral nerve injury, PNI)是围手术期常见临床并发症之一,可引起患者短时间感觉、运动异常,甚至造成永久性感觉运动障碍。现有研究强调通过提高围手术期周围神经保护意识,实施有效预防措施,可降低围手术期 PNI 发生率。文章围绕围手术期 PNI 发生率、易感因素、损伤因素、损伤机制、预防措施及治疗方案进行综述,为临床麻醉工作中如何避免 PNI 提供参考。

**【关键词】** 围手术期; 周围神经损伤

DOI:10.3760/cma.j.issn.1673-4378.2019.11.015

### Progress in the studies of perioperative peripheral nerve injury

Ma Yunlong<sup>1</sup>, Wang Yun<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Anesthesiology, Beijing Hepingli Hospital, Beijing 100013, China; <sup>2</sup>Department of Anesthesiology, Beijing Chaoyang Hospital, Capital Medical University, Beijing 100020, China

Corresponding author: Wang Yun, Email: wangyun129@ccmu.edu.cn

**【Abstract】** Peripheral nerve injury (PNI) is one of the common perioperative complications, which can cause short-term sensory and motor abnormalities in patients, and even permanent sensorimotor disorders. Current studies emphasize that the incidence of perioperative PNI can be reduced through enhancing the awareness of perioperative peripheral nerve protection and implementing effective preventive measures. This paper reviewed the incidence, predisposing factors, injury factors, injury mechanism, preventive measures and treatment regimens of perioperative PNI, so as to provide reference to avoid PNI during clinical anesthesia.

**【Key words】** Perioperative; Peripheral nerve injury

DOI:10.3760/cma.j.issn.1673-4378.2019.11.015

周围神经损伤(peripheral nerve injury, PNI)是围手术期临床常见并发症之一,可发生在围手术期任意阶段,通常会造成受损神经支配区域功能障碍、慢性疼痛及生活质量下降,严重时甚至可导致患者残疾<sup>[1]</sup>,由此会引发医疗纠纷。美国麻醉医师协会于 1990 年首次进行了有关神经损伤的医疗索赔分析,研究发现神经损伤相关索赔比例约占全部索赔事件的 15%,随后经过近 10 年不断研究,发现神经损伤索赔比例并未发生明显改变,由此提高了人们对 PNI 的关注与认识<sup>[2]</sup>。随着不断的研究,学者们发现引起围手术期 PNI 的原因往往是多因素的(如患者自身因素、外科手术因素、麻醉因素等)。对于麻醉医师来讲,了解围手术期 PNI 发生的特点、损伤机制,术中实施有效预防并及时发现周围神经的损伤,对已发生的 PNI 给予恰当治疗,无疑

是非常重要的。因此,本文就围手术期 PNI 的发生率、易感因素、损伤因素、损伤机制、预防措施及治疗方案进行综述,并对今后如何避免 PNI 提出建议。

### 1 围手术期 PNI 发生率

美国麻醉医师协会研究发现,在围手术期相关医疗赔偿事件中,约 15%与神经损伤相关。其中尺神经损伤的发生率最高,约占全部神经损伤事件的 1/3,其次是臂丛神经损伤(约 23%)及腰骶神经根损伤(约 16%)<sup>[2]</sup>。对于不同手术方式,围手术期 PNI 发生率各不相同,Welch 等<sup>[3]</sup>对同一医疗机构近 10 年间 380 680 例经历手术麻醉的患者进行了回顾性研究,发现医源性神经损伤总发生率为 0.03%,其中心脏外科、神经外科、骨科以及普外科手术患者围手术期 PNI 发生率显著升高,并总结发现高血压、糖尿病

以及长期吸烟史均与围手术期 PNI 的发生相关。

## 2 围手术期 PNI 易感因素

临床研究发现,对于某些亚临床或预先存在 PNI 的患者,如糖尿病患者多存在一定 PNI,在围手术期出现 PNI 的概率显著增高,且这些患者易伴随长期的神经功能损害<sup>[4-5]</sup>。另外,还有学者发现对于存在先天性胸廓出口异常、关节炎及肘关节不稳的患者易出现围手术期 PNI<sup>[5]</sup>。在体型偏瘦的患者中,较为表浅的尺神经、腓总神经等则易受到损伤<sup>[4]</sup>。

## 3 围手术期 PNI 损伤因素

### 3.1 手术相关因素

围手术期 PNI 的发生与外科手术本身密切相关。一方面外科手术操作可引起术区周围组织及神经的损伤,另一方面不同手术及不同术式所需体位不同,患者在麻醉状态下长时间处于某一特定体位,局部压迫或肢体过伸过屈都极易造成 PNI。尽管术中常规应用肢体填充物及维持患者舒适体位等保护策略,但术后 PNI 还是时有发生。

心脏外科手术中,采用正中切开术式的患者,臂丛神经损伤概率往往较高(6%~38%),术中患者肩部过度伸展、撑开器的使用及手术操作都是造成臂丛神经损伤的常见原因<sup>[6]</sup>。

全髋关节置换术中患肢过度外旋或髋关节过度屈曲常引起坐骨神经、股神经或闭孔神经损伤,Brown 等<sup>[7]</sup>对初次接受全髋关节置换术的患者进行了回顾性研究,发现坐骨神经损伤占 0.05%~1.90%,股神经损伤占 0.01%~2.30%,闭孔神经损伤占 0.01%。

还有一些下腹部或腹股沟区域的手术,如腹股沟疝气手术,可因手术操作不当引起髂腹下神经、髂腹股沟神经及生殖股神经被结扎或离断而引起神经的直接损伤。

### 3.2 麻醉相关因素

麻醉过程同样可引起围手术期 PNI 的发生。全身麻醉气管插管及喉罩置入过程可引起咽部神经损伤<sup>[8-9]</sup>;在局部麻醉、神经阻滞及椎管内麻醉操作过程中,穿刺针可造成神经束外或神经束内血肿,或直接损伤神经,并且实施麻醉后难以及时发现,造成患者术后损伤神经支配区感觉或运动异常。

多项前瞻性研究表明,外周神经阻滞术后远期

神经功能障碍发生率为 0.024%~0.040%<sup>[10-12]</sup>,而持续 2 周的短暂性神经功能障碍发生率更高(8.2%~15.3%)<sup>[13]</sup>。不同部位的神经阻滞所引起的神经损伤发生率不同,但腋路臂丛、肌间沟、股神经及坐骨神经阻滞发生神经损伤风险明显高于其他神经阻滞<sup>[11]</sup>。

椎管内麻醉后神经并发症主要由于脊髓或神经根损伤而产生,据统计这类损伤在产科椎管内麻醉后发生率相对较高,损伤因素主要与穿刺、置管及放置术后镇痛泵有关<sup>[14]</sup>。

## 4 围手术期 PNI 损伤机制

能够了解围手术期 PNI 的原因与机制,对于神经损伤的风险评估及预防具有重要意义。在人们刚开始关注围手术期 PNI 时,通常认为机械损伤是造成 PNI 发生的直接原因,并且有人认为只要护理得当 PNI 就不会发生。但事实并非如此,在临床工作中尽管应用了标准的预防措施,如对患者易受压部位进行充分填充及软性包裹等,PNI 的发生并没有因此而减少<sup>[2]</sup>。这也许正是因为造成围手术期 PNI 的原因是多因素的,可由局部(直接创伤、压迫、拉伸、缺血、神经毒性)以及全身性(慢性微血管病变)的损害共同引起;最终 PNI 的表现还要取决于神经损害程度、持续时间以及是否预先存在神经病变。因此,临床中常常难以对 PNI 进行预防和预测。

### 4.1 局部机械损伤

术中体位不当、器械过度牵拉或挤压神经是造成围手术期 PNI 常见的机械性损伤原因,此外还有麻醉期间气管插管、针刺损伤及直接手术相关损伤等<sup>[15-16]</sup>。过度牵拉或压迫可导致神经直接变形及缺血性损伤,研究发现外周神经对牵张非常敏感,拉伸仅 5%就可能造成神经横径减小、静脉回流受阻、动脉血流中断,进而导致神经缺血<sup>[15]</sup>。缺血损伤会造成神经外膜血管通透性增加,导致神经束内水肿,增加神经内压力,进一步降低了神经灌注压,加重 PNI<sup>[17]</sup>。Campbell<sup>[17]</sup>对神经牵拉损伤进行了动物研究,发现将神经拉伸 6%,1 h 动作电位将可逆性降低 70%,而拉伸 12%则超过外周神经生理弹性限度,造成永久性损伤。临床中常见牵拉相关的围手术期 PNI,如俯卧位肩过度外展及胸骨撑开器相关的臂丛神经损伤等。

局部长时间压迫同样可引起周围神经机械变

形及缺血性损伤,继而发生 PNI。通常可由患者体位摆放不当或易受压部位未进行充分填充保护,导致局部神经长时间受压而造成损伤。如“星期六麻痹”正是神经受压损伤的经典例子,主要由于患者睡着后手臂受压造成桡神经损伤,导致患者出现手腕下垂、手指麻木、手指无法伸直等临床症状<sup>[16]</sup>。此外, van Ooijen 等<sup>[18]</sup>通过临床观察发现,全身麻醉后血压袖带反复及长时间测量产生的局部压迫也可导致短暂性 PNI,并认为其也可作为围手术期 PNI 的解释。

在全身麻醉进行气管插管或放置喉罩后可引起舌咽神经损伤。Su 等<sup>[8]</sup>对全身麻醉气管插管或放置喉罩术后舌咽神经损伤相关危险因素进行了回顾性研究,统计术后舌咽神经损伤发生率为 0.066%,研究认为麻醉相关因素大多与气管插管或喉罩型号选择不当或麻醉医师技术经验不足有关。针刺损伤通常被认为是局部麻醉、神经阻滞以及椎管内麻醉造成 PNI 的主要原因。研究发现针刺所致神经损伤程度取决于穿刺针斜面类型、入针角度及针型号大小。Selander 等<sup>[19]</sup>进行了长斜面(14°)针与短斜面(45°)针造成神经损伤的对比,结果表明短斜面针造成神经损害的发生率远远低于长斜面针;而对于进针角度,相比沿神经长轴入针,斜面横向插入神经纤维引起神经损伤程度势必是更大的。Steinfeldt 等<sup>[20]</sup>通过动物实验对比了 3 种不同大小穿刺针对神经的损伤程度,实验证明穿刺针规格大小与神经损伤程度呈正比。

#### 4.2 缺血性损伤

局部或全身性损害都可造成周围神经组织低灌注或缺血损伤,引起组织水肿,细胞完整性破坏,神经内压力升高,神经内灌注压进一步降低,往复循环最终导致神经细胞坏死。典型病例即骨筋膜室综合征及全身性低血压。Swenson 等<sup>[21]</sup>对全身麻醉患者阻断肱动脉后进行体感诱发电位(somatosensory evoked potential, SSEP)变化的测定,发现相比正中神经和桡神经,尺神经的 SSEP 变化更早,且幅度减小更明显,表明外周神经对缺血反应敏感,应注意保证充分的灌注。研究发现术中低血压会引起 SSEP 异常,术中持续低血压[MAP<55 mmHg (1 mmHg=0.133 kPa)]持续 5 min 或以上与发生异常 SSEP 的风险性相关,因此建议术中避免持续性低血压以降低周围神经缺血性损伤的发生风险<sup>[22]</sup>。

#### 4.3 神经毒性

局部麻醉药均具有神经毒性,在椎管内及周围神经阻滞后可因局部麻醉药神经毒性造成 PNI。有关局部麻醉药神经毒性的动物在体及离体实验结果表明,神经损伤程度呈浓度依赖性,局部麻醉药浓度越高,损伤程度越重<sup>[23-24]</sup>,可出现神经细胞水肿、运动与感觉功能障碍甚至不可逆性损伤,且轴突直径越小越易受到损伤。临床研究表明<sup>[25-28]</sup>,临床常规浓度的局部麻醉药同样存在神经毒性损伤的可能性,可引起神经细胞水肿、细胞膜内外离子浓度分布失衡、动作电位紊乱、兴奋性氨基酸释放过多等病理学、电生理学、生物化学改变,由此导致的神经运动与感觉功能损伤多可在数小时或数天恢复,少数恢复时间更长,甚至发生永久性损伤。尤其对于周围神经同时受到机械性牵拉或压迫的,更易受到局部麻醉药神经毒性的影响,增加神经功能损伤的发生率。

#### 4.4 双卡压综合征

双卡压综合征是造成围手术期 PNI 的另一重要因素。1973 年, Upton 和 McComas<sup>[29]</sup>两位学者对腕管或肘管综合征患者进行了回顾性分析,发现 70.4% 的患者伴有颈部不适、上肢放射性疼痛、上肢感觉异常等临床症状或颈神经根电生理损害表现,因而据此提出“双卡压综合征”这一假说,认为神经近端受压,可导致轴浆运输变慢或减少,从而使该神经其他部位对于卡压的易感性增高。因此,对于围手术期预先存在神经卡压或术中产生神经第 2 次挤压时, PNI 发生率会明显升高,并可导致永久性神经损害。同时高血压、糖尿病及吸烟都可能引起全身性慢性微血管病变<sup>[3]</sup>,造成周围神经缺血性损伤,导致具有潜在神经病变的周围神经对其他损伤因素的易感性增加,最终发生 PNI。

### 5 围手术期 PNI 种类

#### 5.1 臂丛神经

臂丛神经损伤是 PNI 中最严重的一种,易造成患者上肢功能部分或完全丧失,甚至遗留终生残疾。臂丛神经损伤多与臂丛神经受到过度牵拉有关,常发生在患者头转向对侧、同侧肩部外展及过度外旋伸展手臂牵拉臂丛神经时<sup>[30-31]</sup>。另外,正中开胸的心脏手术,胸骨切开后撑开器牵拉或压迫臂丛

神经造成损伤,部分患者臂丛神经损伤还与“双卡压综合征”相关<sup>[6]</sup>。

## 5.2 尺神经

尺神经损伤较臂丛神经损伤更为常见。梅奥诊所所有关围手术期尺神经损伤的回顾性和前瞻性研究数据表明,其发生率分别为 0.04% 和 0.50%<sup>[1,32]</sup>。由于其解剖因素,尺神经沿肱骨内上髁后侧的尺神经沟,走行于尺侧腕屈肌尺骨头与肱骨头之间,行经较为表浅,易受到手术台压迫,特别在前臂伸展并旋前时易发生损伤。在肘关节屈曲时,肘管管腔变窄,尺神经易受到内侧韧带及弓状韧带的压迫,导致损伤,并且男性尺骨冠状突结节明显较大,相比女性易对神经血供造成影响,因此围手术期尺神经损伤的病例中,男性明显多于女性<sup>[33]</sup>。

## 5.3 桡神经

桡神经在肱骨中下 1/3 处紧贴肱骨,常常由于术中该处局部受压而造成桡神经损伤,也就是经典的“星期六麻痹”<sup>[34]</sup>。术中上臂使用止血带时间过长或压力过大,同样可造成桡神经损伤。桡神经浅支在桡骨茎突水平与桡动脉紧密伴行,Hickman 和 Chekairi<sup>[35]</sup>发现桡动脉穿刺置管期间可造成桡动脉浅支损伤,并进行了相关病例报道。

## 5.4 下肢神经损伤

下肢神经损伤常见于腓总神经、坐骨神经、股神经、股外侧皮神经以及闭孔神经,多发生于直接机械损伤(牵拉、压迫),体型偏瘦患者更为常见,如截石位时,由于腓总神经位置表浅,易受到腿架压迫损伤,坐骨神经因髋关节外旋、屈曲而过度伸展或手术台直接压迫而造成损伤。下肢手术常会使用到止血带,止血带超时、超压、反复多次使用,会导致缺血性神经损伤,Saw 和 Hee<sup>[36]</sup>对有关术中应用止血带造成的腓总神经损伤进行了报道。研究发现<sup>[37]</sup>,在心脏手术后也出现了坐骨神经病变,分析其原因可能由于经同侧股动脉置入主动脉球囊反搏导管并长时间使用,造成了同侧坐骨神经缺血性损伤。股神经及股外侧皮神经损伤常见于腹部及盆腔手术,术中拉钩或撑开器在向腰大肌方向牵拉时,会压迫走行于骨盆壁与腰大肌之间的股神经引发损伤,股动脉反复穿刺造成局部血肿同样可压迫股神经导致损伤<sup>[38]</sup>。在下肢神经损伤中闭孔神经损伤发生相对较少,如腹腔镜盆腔淋巴清扫术中直接

手术损伤或全髋置换术中应用骨水泥的部位过于靠近闭孔神经而造成损伤<sup>[39-41]</sup>。

## 6 围手术期 PNI 的预防

围手术期 PNI 的发生通常是多因素共同作用的结果,我们需充分了解并识别所有可导致 PNI 的潜在危险因素,采取综合性预防策略,逐一进行干预,最小化可能相互作用的危险因素,尽可能减少甚至避免围手术期 PNI 的发生。

### 6.1 术中体位

多数围手术期 PNI 的发生与术中体位摆放不当或易受压部位未得到充分填充保护而造成局部神经牵拉受压有关,因此我们需要了解术中体位的正确摆放以及及时发现可能受压的部位并进行保护,相信与之相关的神经损伤是完全可以避免的。围手术期上肢神经损伤明显多于下肢,臂丛神经及尺神经损伤最为常见。为避免臂丛神经损伤,患者手臂外展角度应控制在 90°以下,如手术体位需要 90°外展,则该侧肘关节应屈曲,不可完全伸直;同时应避免肩关节过度外展;当患者颈部转向一侧或侧屈时会增加对侧臂丛的张力,因此还应尽量保持患者头部在正中位置<sup>[30-31]</sup>。对于俯卧位手术,如必须将手臂放置在头部上方,手臂外展需小于 90°手肘弯曲,手掌朝下放置于托手架上。轻微的压迫便可引起上肢神经损伤,尺神经由于位置表浅,易受到手术台等硬物压迫,尤其对于体型偏瘦的患者,要注意对易受压部位放置软垫或用布单充分包裹,避免尺神经受压;固定上臂时应将手臂旋后放置,手臂旋前及肘关节极度屈曲时均易引起尺神经受压损伤。手术结束搬运患者时,注意避免暴力造成上肢神经牵拉损伤。截石位是造成下肢神经损伤(腓总神经、坐骨神经、隐神经等)的常见原因,对于取截石位的患者,应对患者下肢与腿架接触部位进行充分的软性填充包裹,以避免 PNI 的发生。

### 6.2 针刺损伤

局部麻醉、神经阻滞以及椎管内麻醉均可由于操作不熟练、定位不够精准或局部药量过大导致局部神经机械性与化学损伤。作为医务人员术前应熟悉局部神经血管等重要解剖结构及可能的变异情况,避免盲目操作;准确熟练掌握基本操作技能,避免粗暴操作;增强神经保护意识与措施,常规操作结束前检查有无神经受损,利于及时发现 PNI。随着

神经定位技术的不断进步,目前神经刺激器、超声引导等手段已广泛应用于临床,并且随着超声技术在麻醉领域的应用越来越广,以及超声设备图像质量的不断提高,使得我们对神经组织学、注射部位及神经损伤之间关系的理解也逐步深入,近年来超声引导神经定位技术越发得到推崇<sup>[42]</sup>,凭借超声可视化的优势不仅可以提供对目标神经更加精准的定位,降低周围神经血管损伤的发生率,而且还能减少局部麻醉药用量,从而一定程度降低局部麻醉药神经毒性引发的神经损害。

### 6.3 手术损伤

由手术操作造成的 PNI 大多是因为手术医师缺乏经验,对手术区域局部解剖不熟悉,层次不清、操作粗暴、盲目切割分离、术中神经组织辨认不清又未进行保护而造成的。因而对于手术医师,术前应熟悉局部解剖特点,并熟练掌握基本医疗技能,规范操作,术中做好对血管、神经等重要组织的保护,避免神经损伤的发生。另外,术中神经监测是辅助预防 PNI 的重要策略,如 SSEP、运动诱发电位及肌电图常用于全肩关节置换术、肩袖修复、肱骨骨折复位手术和肩关节镜手术中相关神经损伤的监测<sup>[43-44]</sup>。其中 SSEP 可用于 PNI 的早期监测,尤其对于脊柱手术或神经外科手术,术中可指导周围神经减压,以及监测脊髓损伤和脑缺血损伤<sup>[45]</sup>;通过规范的手术操作及术中神经电生理监测,手术相关神经损伤很大程度是可以避免的。

### 6.4 其他因素

对于与围手术期 PNI 相关的患者,自身高危因素如高血压、糖尿病及吸烟史,均应在术前对血压、血糖进行有效控制,并严格戒烟<sup>[3]</sup>。术前已知或怀疑预先存在神经功能病变的患者,应进行全面检查,及时发现已受损神经,麻醉及手术操作时注意对已受损神经的保护,避免加重损伤或出现“双卡压综合征”。

相信通过以上综合性的预防策略,围手术期 PNI 的发生率可得到明显改善。

## 7 术后 PNI 的诊治

PNI 可在麻醉恢复后立即显现,也可能延迟几天出现。常见的临床症状有感觉异常(感觉减退、感觉过敏),受累神经支配区疼痛以及运动无力等。大

多数患者在术后几周内可完全恢复,部分患者在 1~3 个月后可痊愈,少数患者临床症状持续 1 年以上甚至出现永久性神经损害。临床上诊断围手术期 PNI 的部位及严重程度多依赖患者的临床症状、体格检查以及神经电生理检查,神经传导和肌电图是术后诊断神经损伤的常用检查手段,在明确诊断、定位损伤部位、判断预后及指导手术治疗中起到重要作用<sup>[16]</sup>。在神经损伤后 1 周内,进行神经传导检查可通过发现周围神经上的异常传导从而对损伤部位进行定位,这就有助于帮助麻醉医师辨别神经具体损伤原因(麻醉因素、体位因素还是手术直接损伤);而在神经损伤后 3~4 周时进行电生理检查有助于判断神经损伤严重程度。随着超声在麻醉领域的应用越来越广泛,超声凭借其可视化的优势在诊断 PNI 中同样发挥了重要作用,高频超声软组织分辨率好,操作简便、灵活、无创,可沿神经走行动态追查、清晰显示神经的内部结构,可提供电生理检查无法获得的信息,协助 PNI 的明确诊断<sup>[46]</sup>。

PNI 的治疗应根据损伤时间、损伤部位及程度的不同,采取不同的治疗方法。对于术中发现的神经离断或撕裂,应及时探查修复或 2~3 周内早期二次修复<sup>[47]</sup>。然而更多的 PNI 是在术后才被发现,对于 PNI 时间短于 3 个月或处于恢复期的患者,应及时、足量、长时间应用糖皮质激素,并给予神经营养、电刺激治疗、针灸、手法推拿、运动功能训练等规范化的康复或中医治疗,对减轻病痛、促进神经恢复、降低伤残起到积极作用。经过保守治疗 3 个月无效的患者,应接受外科手术治疗,包括神经修复、神经松解、神经移植、神经移位等,术后继续进行规范化康复治疗<sup>[47]</sup>。

## 8 结 语

围手术期 PNI 是临床重要并发症之一,可引起短时间感觉、运动异常,甚至造成永久性感觉运动障碍。导致围手术期 PNI 的发生往往是多因素的,临床中常认为其难以预测及预防,但通过对患者术前的全面评估,及早发现可能导致 PNI 的危险因素并予以干预,加强术中患者体位保护,麻醉及术中操作时提高神经保护意识并采取术中神经监测技术,采取综合性预防措施,相信将有助于早期识别 PNI 并降低围手术期 PNI 的发生率。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

# 参考文献

- [1] Warner MA, Warner ME, Martin JT. Ulnar neuropathy. Incidence, outcome, and risk factors in sedated or anesthetized patients[J]. *Anesthesiology*, 1994, 81(6): 1332-1340. DOI:10.1097/00132586-199506000-00053.
- [2] Kroll DA, Caplan RA, Posner K, et al. Nerve injury associated with anesthesia [J]. *Anesthesiology*, 1990, 73 (2): 202-207. DOI:10.1097/0000542-199008000-00002.
- [3] Welch MB, Brummett CM, Welch TD, et al. Perioperative peripheral nerve injuries: a retrospective study of 380,680 cases during a 10-year period at a single institution [J]. *Anesthesiology*, 2009, 111(3): 490-497. DOI:10.1097/ALN.0b013e3181af61cb.
- [4] Bonner SM, Pridie AK. Sciatic nerve palsy following uneventful sciatic nerve block [J]. *Anaesthesia*, 1997, 52 (12): 1205-1207. DOI:10.1111/j.1365-2044.1997.258-az0396.x.
- [5] Blumenthal S, Borgeat A, Maurer K, et al. Preexisting subclinical neuropathy as a risk factor for nerve injury after continuous ropivacaine administration through a femoral nerve catheter[J]. *Anesthesiology*, 2006, 105 (5): 1053-1056. DOI:10.1097/0000542-200611000-00028.
- [6] Gavazzi A, de Rino F, Boveri MC, et al. Prevalence of peripheral nervous system complications after major heart surgery[J]. *Neurol Sci*, 2016, 37(2): 205-209. DOI:10.1007/s10072-015-2390-z.
- [7] Brown GD, Swanson EA, Nercissian OA. Neurologic injuries after total hip arthroplasty[J]. *Am J Orthop (Belle Mead NJ)*, 2008, 37 (4): 191-197. DOI:10.1201/9780849375682.ch5.
- [8] Su YK, Wang JH, Hsieh SY, et al. Incidence and risk factors for postoperative lingual neuropraxia following airway instrumentation: a retrospective matched case-control study[J/OL]. *PLoS One*, 2018, 13(1): e0190589. DOI:10.1371/journal.pone.0190589.
- [9] Thiruvengadkaran V, Van Wijk RM, Elhalawani I, et al. Lingual nerve neuropraxia following use of the Laryngeal Mask Airway Supreme[J]. *J Clin Anesth*, 2014, 26(1): 65-68. DOI:10.1016/j.jclinane.2013.10.003.
- [10] Auroy Y, Benhamou D, Bagues L, et al. Major complications of regional anesthesia in France: the SOS regional anesthesia hotline service[J]. *Anesthesiology*, 2002, 97(5): 1274-1280. DOI: 10.1097/0000542-200211000-00034.
- [11] Brull R, McCartney CJ, Chan VW, et al. Neurological complications after regional anesthesia: contemporary estimates of risk[J]. *Anesth Analg*, 2007, 104(4): 965-974. DOI:10.1213/01.ane.0000258740.17193.ec.
- [12] Borgeat A, Ekatodramis G, Kalberer F, et al. Acute and nonacute complications associated with interscalene block and shoulder surgery: a prospective study [J]. *Anesthesiology*, 2001, 95 (4): 875-880. DOI:10.1097/0000542-200110000-00015.
- [13] Fredrickson MJ, Kilfoyle DH. Neurological complication analysis of 1 000 ultrasound guided peripheral nerve blocks for elective orthopaedic surgery: a prospective study [J]. *Anaesthesia*, 2009, 64(8): 836-844. DOI:10.1111/j.1365-2044.2009.05938.x.
- [14] Chambers DJ, Howells ACL. Neurological complications in obstetric regional anaesthesia[J]. *Anaesthesia and Intensive Care Medicine*, 2016, 17 (8): 372-374. DOI:10.1016/j.mpaic.2016.05.006.
- [15] Johnson RL, Warner ME, Staff NP, et al. Neuropathies after surgery: Anatomical considerations of pathologic mechanisms[J]. *Clin Anat*, 2015, 28(5): 678-682. DOI:10.1002/ca.22564.
- [16] Sondekoppam RV, Tsui BC. Factors associated with risk of neurologic complications after peripheral nerve blocks: a systematic review [J]. *Anesth Analg*, 2017, 124 (2): 645-660. DOI:10.1213/ANE.0000000000001804.
- [17] Campbell WW. Evaluation and management of peripheral nerve injury[J]. *Clin Neurophysiol*, 2008, 119(9): 1951-1965. DOI:10.1016/j.clinph.2008.03.018.
- [18] van Ooijen MR, Ketelaars R, Scheffer GJ. Nerve injury associated with intraoperative blood pressure cuff compression[J/OL]. *Analg Resusc: Curr Res*, 2015, 4 (2): 1-2. DOI:10.4172/2324-903X.1000134.
- [19] Selander D, Dhunér KG, Lundborg G. Peripheral nerve injury due to injection needles used for regional anesthesia. An experimental study of the acute effects of needle point trauma[J]. *Acta Anaesthesiol Scand*, 1977, 21(3): 182-188. DOI:10.1111/j.1399-6576.1977.tb01208.x.
- [20] Steinfeldt T, Nimphius W, Werner T, et al. Nerve injury by needle nerve perforation in regional anaesthesia: does size matter?[J]. *Br J Anaesth*, 2010, 104 (2): 245-253. DOI:10.1093/bja/aep366.
- [21] Swenson JD, Hutchinson DT, Bromberg M, et al. Rapid onset of ulnar nerve dysfunction during transient occlusion of the brachial artery[J]. *Anesth Analg*, 1998, 87(3): 677-680. DOI:10.1097/0000539-199809000-00035.
- [22] Kamel I, Zhao H, Koch SA, et al. The use of somatosensory evoked potentials to determine the relationship between intraoperative arterial blood pressure and intraoperative upper extremity position-related neuropraxia in the prone surrender position during spine surgery: a retrospective analysis [J]. *Anesth Analg*, 2016, 122(5): 1423-1433. DOI:10.1213/ANE.0000000000001121.
- [23] Borgeat A, Blumenthal S. Nerve injury and regional anaesthesia [J]. *Curr Opin Anaesthesiol*, 2004, 17 (5): 417-421. DOI:10.1097/00001503-200410000-00011.
- [24] Loo CC, Irestedt L. Cauda equina syndrome after spinal anaesthesia with hyperbaric 5% lignocaine: a review of six cases of cauda equina syndrome reported to the Swedish pharmaceutical insurance 1993-1997 [J]. *Acta Anaesthesiol Scand*, 1999, 43(4): 371-379. DOI:10.1034/j.1399-6576.1999.430402.x.
- [25] Kitagawa N, Oda M, Totoki T. Possible mechanism of irreversible

- nerve injury caused by local anesthetics: detergent properties of local anesthetics and membrane disruption [J]. *Anesthesiology*, 2004, 100 (4): 962-927. DOI:10.1097/00000542-200404000-00029.
- [26] Sinnott CJ, Cogswell III LP, Johnson A, et al. On the mechanism by which epinephrine potentiates lidocaine's peripheral nerve block [J]. *Anesthesiology*, 2003, 98 (1): 181-188. DOI:10.1097/00000542-200301000-00028.
- [27] Neal JM. Effects of epinephrine in local anesthetics on the central and peripheral nervous systems: Neurotoxicity and neural blood flow[J]. *Reg Anesth Pain Med*, 2003, 28(2): 124-134. DOI: 10.1053/rapm.2003.50024.
- [28] Kitagawa N, Oda M, Totoki T. Possible mechanism of irreversible nerve injury caused by local anesthetics: detergent properties of local anesthetics and membrane disruption [J]. *Anesthesiology*, 2004, 100 (4): 962-967. DOI:10.1097/00000542-200404000-00029.
- [29] Upton AR, McComas AJ. The double crush in nerve entrapment syndromes [J]. *Lancet*, 1973, 2 (7825): 359-362. DOI:10.1016/s0140-6736(73)93196-6.
- [30] Ben-David B, Stahl S. Prognosis of intraoperative brachial plexus injury: a review of 22 cases[J]. *Br J Anaesth*, 1997, 79(4): 440-445. DOI:10.1093/bja/79.4.440.
- [31] Kaushal A, Mahajan C, Kapoor I, et al. Prevention of perioperative brachial plexus injury: a modified position [J]. *J Neuroanaesth Crit Care*, 2018, 5(2): 129-130. DOI:10.1055/s-0038-1660529.
- [32] Warner MA, Warner DO, Matsumoto JY, et al. Ulnar neuropathy in surgical patients[J]. *Anesthesiology*, 1999, 90(1): 54-59. DOI: 10.1097/00000542-199901000-00009.
- [33] Prielipp RC, Morell RC, Butterworth J. Ulnar nerve injury and perioperative arm positioning [J]. *Anesthesiol Clin North Am*, 2002, 20(3): 589-603. DOI:10.1016/s0889-8537(02)00009-3.
- [34] Latef TJ, Bilal M, Vetter M, et al. Injury of the radial nerve in the arm: a review [J/OL]. *Cureus*, 2018, 10 (2): e2199. DOI:10.7759/cureus.2199.
- [35] Hickman J, Chekairi A. Superficial branch of the radial nerve injury: a case for conscious perioperative arterial cannulation[J]. *J Perioper Pract*, 2018, 28 (4): 99-100. DOI:10.1177/1750458918762326.
- [36] Saw KM, Hee HI. Tourniquet-induced common peroneal nerve injury in a pediatric patient after knee arthroscopy-raising the red flag[J]. *Clin Case Rep*, 2017, 5(9): 1438-1440. DOI:10.1002/ccr3.1060.
- [37] McManis PG. Sciatic nerve lesions during cardiac surgery[J]. *Neurology*, 1994, 44(4): 684-687. DOI:10.1212/wnl.44.4.684.
- [38] Moore AE, Stringer MD. Iatrogenic femoral nerve injury: a systematic review[J]. *Surg Radiol Anat*, 2011, 33(8): 649-658. DOI: 10.1007/s00276-011-0791-0.
- [39] Kim DH, Murovic JA, Tiel RL, et al. Intrapelvic and thigh-level femoral nerve lesions: management and outcomes in 119 surgically treated cases[J]. *J Neurosurg*, 2004, 100(6): 989-996. DOI:10.3171/jns.2004.100.6.0989.
- [40] Abdalmageed OS, Bedaiwy MA, Falcone T. Nerve injuries in gynecologic laparoscopy[J]. *J Minim Invasive Gynecol*, 2017, 24 (1): 16-27. DOI:10.1016/j.jmig.2016.09.004.
- [41] Hasiija R, Kelly JJ, Shah NV, et al. Nerve injuries associated with total hip arthroplasty [J]. *J Clin Orthop Trauma*, 2018, 9(1): 81-86. DOI:10.1016/j.jcot.2017.10.011.
- [42] Koscielniak -Nielsen ZJ. Ultrasound-guided peripheral nerve blocks: what are the benefits? [J]. *Acta Anaesthesiol Scand*, 2008, 52(6): 727-737. DOI:10.1111/j.1399-6576.2008.01666.x.
- [43] Warrender WJ, Oppenheimer S, Abboud JA. Nerve monitoring during proximal humeral fracture fixation: what have we learned? [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2011, 469 (9): 2631-2637. DOI:10.1007/s11999-010-1760-3.
- [44] Pitman MI, Nainzadeh N, Ergas E, et al. The use of somatosensory evoked potentials for detection of neuropraxia during shoulder arthroscopy [J]. *Arthroscopy*, 1988, 4 (4): 250-255. DOI:10.1016/s0749-8063(88)80039-2.
- [45] Alcantara SD, Wuamett JC, Lantis JC 2nd, et al. Outcomes of combined somatosensory evoked potential, motor evoked potential, and electroencephalography monitoring during carotid endarterectomy[J]. *Ann Vasc Surg*, 2014, 28(3): 665-672. DOI: 10.1016/j.avsg.2013.09.005.
- [46] Podnar S. Contribution of ultrasonography to the evaluation of peripheral nerve disorders [J]. *Neurophysiol Clin*, 2018, 48(2): 119-123. DOI:10.1016/j.neucli.2018.01.001.
- [47] Radtke C, Vogt PM. Nerve injuries and posttraumatic therapy[J]. *Unfallchirurg*, 2014, 117 (6): 539-555; quiz 556. DOI:10.1007/s00113-014-2574-7.

(本文编辑:祁寒)