

胸椎间盘突出症后路手术围术期并发症的研究进展

董骥源 综述 王伟 陈仲强* 审校

(北京大学第三医院骨科,北京 100191)

文献标识:A 文章编号:1009-6604(2020)10-0939-06

doi:10.3969/j.issn.1009-6604.2020.10.017

胸椎间盘突出症(thoracic disc herniation, TDH)是一种较少见的椎间盘疾病,发病率1/1 000 000,占椎间盘突出症0.15%~0.4%^[1,2]。TDH在男性中发病率高于女性,高发年龄在40~50岁^[3]。由于下胸椎缺乏胸廓保护、黄韧带相对薄弱、活动度较高,因此,病变节段多见于T₈以下,T₁₁~T₁₂为主^[3,4]。TDH常见临床表现包括轴性疼痛或者放射到胸腹前后的疼痛,渐进性胸脊髓病表现出的感觉障碍、无力、括约肌功能障碍以及麻木等^[5],约4%的TDH患者以急性截瘫为主要表现^[6]。首选的治疗方法为卧床休息、减少负荷、佩戴支具、限制活动等非手术治疗,但当神经症状逐渐加重、保守治疗无效时,必须手术治疗^[2,7]。手术治疗的核心是去除突出椎间盘对脊髓或神经根的压迫。后路手术因入路简单,更为脊柱外科大夫熟悉。随着手术技术的进步,后路手术适应范围扩大,死亡风险逐渐降低,但仍因视野狭窄、难以跨越中线减压而存在一定风险,并发症发生率可高达55.5%^[8]。围术期并发症影响患者预后,降低患者满意度,严重者甚至危及生命。常见围术期并发症包括神经系统并发症(永久性/暂时性神经功能恶化、疼痛)、脑脊液相关并发症(硬膜撕裂、脑脊液漏)、术区并发症[术区感染(surgical site infection, SSI)、血肿]、技术相关并发症(手术节段错误、椎间盘残留、后缘骨赘残留等)及其他系统并发症(下肢深静脉血栓、动脉栓塞^[9]、卒中、癫痫、骨化性肌炎等)等。本文对TDH后路手术围术期常见并发症进行文献总结,分析危险因素、预防措施及处理方法,为临床治疗提供参考。

1 神经系统并发症

神经系统并发症包括由脊髓或神经根损伤导致的神经功能恶化、神经损伤所致疼痛等。脊髓损伤所致神经功能恶化是TDH手术治疗中最严重的并发症之一。主要危险因素为椎间盘钙化及巨大椎间盘(>40%椎管面积^[10])。Gong等^[11]系统综述对于巨大钙化型椎间盘突出症的手术治疗,后路手术的永久性神经功能恶化达13%(2/15)。Börm等^[12]报道1例经关节突、椎弓根入路,手术后暂时性运动功能障碍。目前普遍认为后路手术造成脊髓损伤的主要原因有以下几点。①对脊髓的直接损伤:胸椎的生理后凸,导致硬膜囊与突出间盘接触紧密,加之齿状韧带限制脊髓移动,胸脊髓易受到牵拉损伤^[7];术中减压时磨钻的震动,椎板咬骨钳、骨刀操作不当都有可能对脊髓造成直接损伤^[13]。②脊髓血供受损:胸脊髓血供主要由脊髓前动脉(来自椎动脉)及根髓动脉(来自肋间动脉)提供。其特殊的供血模式使中胸段脊髓存在乏血区^[1,14]。TDH患者脊髓前方血管受到压迫,脊髓供血主要由后方的侧支循环代偿。后路手术可能破坏脊髓后方代偿血管,进而导致该节段脊髓缺血性损伤^[14]。③缺血-再灌注损伤:是由于缺血而导致的继发性损害^[15],术中低血压、周围血管的破坏,均有可能加重脊髓缺血。随着压迫解除、术后血压上升,随之而来的缺血-再灌注可能对脊髓产生二次打击^[1]。目前,对脊髓缺血-再灌注损伤的研究多停留在动物模型节段,机制非常复杂,可能与氧自由基、Ca²⁺、兴奋性氨基酸、细胞因子等有关^[15]。

* 通讯作者, E-mail: puh3_czq@bjmu.edu.cn

预防神经功能恶化的首要措施是术前影像学的详细评估以及周密的手术规划^[10,16]。根据患者的一般情况,椎间盘性质、突出节段、压迫情况乃至术者经验综合制定手术方案。对于 TDH 巨大、钙化、中央型,一般情况较好,无心肺相关疾病的患者,可选用前路手术^[17]。选择成熟有效的后路术式,能获得良好的结局并降低并发症发生率^[18]。术中精细操作,明确责任节段,神经剥离子仔细探查脊髓压迫程度及粘连情况,术中彻底暴露硬膜囊区域以获得良好的视野^[7],避免在粘连未剥离的情况下牵拉椎板、盲目减压。对于巨大、钙化的椎间盘,可先不处理椎间盘突出部分,对其前方进行减压,待前方空虚后再用剥离子小心处理突出部分。慎用骨刀,避免震动对脊髓造成损伤^[16]。进行较高风险操作前可应用脑棉片保护神经。此外,手术中可监测躯体感觉诱发电位(somatosensory evoked potentials, SSEP)及运动诱发电位(motor evoked potentials, MEP),可以降低发生永久神经损伤的几率^[6,19,20]。术中需维持平均动脉压高于 80 mm Hg,以维持脊髓血供^[6,19]。对于可能发生的脊髓损伤,以糖皮质激素、甘露醇脱水及营养神经药物是常规的治疗方法。Strom 等^[21]建议在术前应用大剂量糖皮质激素,但是这种方法并无高级别证据研究证实。目前,激素应用方法主要以 NASCIS III 期临床试验为根据,对于术前、术中、术后均可给予甲强龙,术后若出现神经症状恶化则加大应用剂量,临床效果较为满意^[16]。Daltaban 等^[22]报道应用糖皮质激素对缺血-再灌注模型小鼠无明显效果。因此,糖皮质激素作用机制尚不十分明确,需进一步进行高质量研究。

后路手术中进一步暴露术野、增加脊髓活动度,神经根也存在损伤可能。神经根损伤是导致术后神经性疼痛的主要原因之一。Coppes 等^[23]采用经硬膜囊切开减压的新入路治疗 13 例 TDH,其中 1 例因术中被迫牺牲掉一条神经根而导致术后暂时性疼痛。肋间神经痛更多见于前路手术,岳学锋等^[24]报道 1 例环形减压术后出现肋间神经痛症状,经脱水消肿并应用神经营养剂治疗处理后症状消失。经椎弓根入路术后可能会出现局部背痛,可能与椎弓根切除有关^[19]。预防术后疼痛的根本为预防神经损伤,平衡暴露术野与减少周围组织破坏之间的矛盾。如果术后出现疼痛,处理方法除与神经损伤治疗方法相同的部分之外,对症应用镇痛药物。

2 脑脊液相关并发症

硬膜撕裂是脊柱手术常见的并发症之一。一项大样本研究结果表明在胸腰段后路手术中,硬膜撕裂发生率达 2.1%^[25],如果硬膜撕裂未得到有效的修补,可能进一步发展成脑脊液漏,可能会导致手术切口愈合不良,严重时引发椎管内感染甚至感染向颅内播散^[13]。巨大且钙化的椎间盘是硬膜撕裂及脑脊液漏发生的主要危险因素^[7]。此外,相邻节段黄韧带骨化、粘连也容易导致硬膜撕裂^[26]。钙化的椎间盘或黄韧带与硬膜粘连紧密,剥离时容易发生硬膜囊撕裂。王善夫等^[27]采用后路环形减压术治疗 25 例钙化型 TDH,其中 5 例出现脑脊液漏。Pei 等^[28]报道 12 例硬化的突出椎间盘与硬膜囊存在粘连,其中 1 例因为术中操作而产生脑脊液漏。吴沁民等^[29]采用经关节突入路减压植骨内固定手术治疗 TDH,20% (5/25) 的硬膜撕裂发生率,其中 3 例因无法行术中修补出现脑脊液漏。Kang 等^[5]总结 38 例后路双侧全关节突切除入路,其中脑脊液漏发生 2 例。不当操作以及减压时神经牵拉同样可能出现硬膜撕裂。Sivakumaran 等^[30]采用经椎弓根和(或)经关节突术式治疗 24 例 TDH,2 例因神经根牵拉而发生硬膜撕裂。

为尽量避免硬膜撕裂发生,术者需仔细规划手术入路,精细操作,用神经剥离子仔细剥离黄韧带、椎间盘与硬膜的粘连带,对于巨大、钙化的椎间盘,术中可以保留一部分与硬膜粘连的椎间盘,可有效减少硬膜撕裂的可能^[7,28]。Yang 等^[26]采用类似的方法治疗 25 例硬化 TDH,仅 2 例发生硬膜撕裂。

多数硬膜撕裂在术中即可发现,对其处理学界尚无一致意见。如果撕裂位于可缝合的部位,应予以缝合^[31]。王伍贵^[13]建议对于破损 > 3 mm 的患者行马尾缝线缝合,保证边距和针距为 2 mm 左右。采用生物蛋白胶、明胶海绵等方式压迫,并以肌肉、筋膜填塞死腔^[7]等方法也能获得较为满意的结局^[32-34]。切口严密缝合,留置引流管。对于术中未发现的硬膜撕裂,术后需密切观察症状及体征改变,以早期诊断脑脊液漏。主要症状包括头痛、畏光、恶心、呕吐、术区肿胀、引流量大且清亮等。若明确存在脑脊液漏可能,通常先采取保守治疗的方式,包括大量补液。取平卧位绝对卧床 1 周,持续引流,延长拔管时间,切口加压包扎^[26]。Grannum 等^[35]认为不经修补通过卧床至症状稳定,也可获得满意的结

果,平均卧床时间 2.6 d。经保守治疗无效、引流量过多患者尽早安排脑脊液分流术治疗^[13],同时患者需采取俯卧位或 Trendelenburg 体位以降低脑脊液压力^[36]。Khazim 等^[37]对 5 例经保守治疗无效后采用脑脊液分流术,症状均完全缓解。王善夫等^[27]报道 1 例硬膜撕裂后发生脑脊液漏,术后因渗漏量大,形成皮下假性囊肿,为避免进一步发展行腰大池引流,16 d 后渗漏停止,患者长期随访未出现其他并发症。若假性囊肿治疗无效,出现压迫脊髓症状,需采取手术治疗^[38]。采取上述处理方式后,多篇文献^[2,5,8,20,30]均未报道进一步并发症。

3 切口相关并发症

3.1 SSI

TDH 手术有 1% ~ 5% 的切口感染风险^[21,39],后路手术感染风险较前路手术高 (5.0% vs. 2.3%)^[40]。浅表感染累及皮肤、皮下,深部感染可累及筋膜及肌肉,甚至累及椎管内,严重的感染可能会导致假关节形成、神经功能恶化、脓毒血症甚至死亡,是二次手术的主要原因之一^[41]。常见的病原菌包括革兰氏阳性金黄色葡萄球菌、痤疮丙酸杆菌、棒状杆菌^[39],有内植物的手术常常可发现表皮葡萄球菌,即使未发生感染的内植物也有以上种类细菌附着^[42]。术区感染的危险因素包括^[43,44]:①患者相关因素,高龄、肥胖 (BMI > 30.0)、糖尿病、吸烟史、低血浆白蛋白水平等;②手术相关因素,手术椎体节段 > 7^[45]、手术时间长、出血量大等。此外,长期应用类固醇、围术期输血也是感染的高危因素^[46,47]。SSI 的诊断时限为:无植入物手术 30 d,有内植物 1 年内发生的术区周围感染^[39]。TDH 术后感染报道不多。Carr 等^[3]报道 3.9% (2/51) 的浅表感染发生率,经过切开引流后,感染控制满意。Kang 等^[5]报道 1 例由于 T₇₋₈ 椎间盘切除不彻底而发生感染性椎间盘炎。Nishimura 等^[48]报道 1 例切深部感染,通过二次清创翻修手术及长期抗生素治疗,12 个月后随访未留下明显的后遗症。Arnold 等^[49]报道改良经关节突入路治疗 15 例 TDH,其中 1 例切口感染,经过清创及抗生素应用后症状缓解。

预防脊柱手术中感染,应从以下几个方面开展。

①控制危险因素:术前做好患者危险因素控制,包括控制血糖、戒烟、改善营养水平。②完善手术环节、严格无菌操作:术前应用氯己定及酒精进行皮肤准备^[50],术中严格遵守手术技术流程及无菌技术的要

求。③合理应用抗生素:术前预防性应用抗生素可以降低 63% 的感染风险^[50],术中可以采用万古霉素播撒切口,可有效降低革兰氏阳性菌阳性菌感染发生率,但需警惕革兰氏阴性菌感染风险^[40];术后预防性应用抗生素。④其他特殊材料:包括抗菌缝线,切口真空负压引流、银离子敷料^[39,50]。

SSI 发生后,尤其是严重感染,在早期明确诊断后,公认的治疗方法包括:清创、负压引流、规范抗生素治疗^[51]。通过症状、体征、感染指标 (血象、降钙素原、C 反应蛋白)、影像学对感染进行早期诊断,可以有效避免感染造成更加严重的后果。清创需清除术区所有坏死组织,感染严重时甚至需要移除植入物 (螺钉、椎间融合器等),清创过程中采用过氧化氢、络合碘、生理盐水进行冲洗。清创后,可采用负压引流,条件允许时应用持续负压封闭引流,可有效排出渗出液、增加局部血流、促进组织愈合、减少逆行感染的风险^[51]。在明确感染微生物类型时,经验性应用抗生素,术中留取培养,根据药敏试验针对性用药。对于抗生素应用的时限,Yin 等^[51]建议采用静脉 6 周,口服 6 周的方案治疗切口深部感染。

3.2 血肿

硬膜外血肿在脊柱手术中发生率为 0.1% ~ 3%。大多数血肿无明显临床症状,不需要进一步干预。起始症状通常为局部疼痛,血肿进展可能产生脊髓压迫。血肿的危险因素:年龄 > 60 岁、术前应用非甾体类抗炎药、大量饮酒、脊柱手术史、术前凝血功能障碍、Rh 阳性血型、引流不畅、多节段手术、术中血红蛋白 < 100 g/L、出血量 > 1000 ml、术后 48 h 内 INR > 2.0 等^[52]。Zeng 等^[52]总结 4457 例脊柱手术,11 例术后发生硬膜外血肿,9 例经过二次手术,最终 6 例完全恢复,3 例不完全恢复,2 例较二次手术前无明显改善。血肿可能导致神经功能恶化。Arts 等^[53]报道 1 例经椎弓根入路手术因术后出血而导致下肢神经功能恶化。Yang 等^[26]报道 1 例术后 8 h 下肢神经功能恶化,经过手术探查,原因为引流管不畅,手术清除血肿,重新放置引流管,经过激素、脱水治疗后,症状得到明显改善。Carr 等^[3]报道后路经关节面保留椎弓根减压内固定术 51 例,其中 1 例 62 岁男性发生硬膜外血肿,并出现术后即时的神经压迫,急诊行二次探查手术,清除血肿后,神经功能恢复。为预防血肿发生、改善预后,术前需仔细评估患者凝血功能,围术期维持血压平稳;术中精细止血,术后把握拔除引流管指征,密切关注患者切口

周围体征及神经功能改变。如果出现切口周围胀痛、张力高,下肢神经功能不明原因恶化,需要考虑是否已出现血肿,可通过 B 超、MR 协助诊断。如果血肿诊断明确,首先要检查引流管是否通畅,必要时可考虑间断拆除切口缝线减压^[52]。如果症状无明显改善,积极行二次手术清除血肿。

4 减压不彻底

减压不彻底可能由于椎间盘残留,也可能由于合并黄韧带骨化、椎体后缘骨赘等原因。术后出现神经功能无明显改善甚至加重,是二次手术的主要原因之一^[54]。通常由术后即刻 MR 检查确诊^[55]。Kang 等^[5]总结 38 例中央型巨大 TDH,其中 1 例因椎间盘残留而导致的迟发型下肢无力。Sivakumaran 等^[30]报道 1 例巨大 TDH,经过分期手术后,突出椎间盘仍有小块残留不得不进行第 3 次手术。为避免减压不彻底、间盘残留,术前需对突出间盘进行详尽的影像学分析,选择合适的入路进行手术。旁中央型、侧方型突出可以采用单侧入路,如经椎弓根及经肋骨横突入路等;突出中央型可采用双侧入路或采用前路经胸入路^[10]。术中要充分暴露术野,对于合并椎体后缘骨赘可行楔形切除,合并黄韧带骨化可以选择环形减压并切除椎板及骨化黄韧带。此外,术中影像学技术也有助于预防减压不彻底。Deinsberger 等^[56]采用术中三维成像技术评估减压情况,术中明确 1 例(1/7)存在减压不彻底情况,并及时进行补救。术中超声可以判断不同部位脊髓减压的效果^[57-59]。江凌等^[60]报道在胸椎环形减压术中应用超声可以直接观察硬膜囊形态及搏动,经超声明确减压彻底后结束手术,术后 10 例症状改善明显,CT 结果证实减压彻底。杨万石等^[61]认为术中超声实时监测可以减少脊髓损伤的风险,有效解除脊髓压迫。复发常常出现在术后 5 个月左右,术后随访时需密切关注患者症状、体征改变及影像学资料,评估可能残留的压迫,若残留较少,患者症状较轻,可采取保守治疗,口服或硬膜外注射糖皮质激素,症状较重者需二次手术彻底减压。

5 小结

TDH 较颈椎间盘突出、腰椎间盘突出发病率更低,但胸椎及胸脊髓解剖结构特殊为临床治疗增加更多的挑战。对于手术并发症,尚无高质量的文献报道其发病机制、预防和治疗方法,未来仍需要更多

样本量大、高级别证据乃至前瞻性研究以指导临床治疗。术者术前细致的评估,明确 TDH 的类型及位置,选择合适的手术入路,可以最大限度避免并发症的发生。并发症发生时,主治医师需明确并发症发生的原因,选择对症的治疗措施,以改善患者预后,提高患者满意率,获得更好的临床结局。

参考文献

- 1 Brotis AG, Tasiou A, Paterakis K, et al. Complications associated with surgery for thoracic disc herniation: A systematic review and network meta-analysis. *World Neurosurg*, 2019, 132:334-342.
- 2 Yamasaki R, Okuda S, Maeno T, et al. Surgical outcomes of posterior thoracic interbody fusion for thoracic disc herniations. *Eur Spine J*, 2013, 22(11):2496-2503.
- 3 Carr DA, Volkov AA, Rhoiney DL, et al. Management of thoracic disc herniations via posterior unilateral modified transfacet pedicle-sparing decompression with segmental instrumentation and interbody fusion. *Global Spine J*, 2017, 7(6):506-513.
- 4 Kim M, Oh SK, Choi I, et al. Clinical outcomes of posterior thoracic cage interbody fusion (PTCIF) to treat trauma and degenerative disease of the thoracic and thoracolumbar junctional spine. *J Clin Neurosci*, 2019, 60:117-123.
- 5 Kang J, Chang Z, Huang W, et al. The posterior approach operation to treat thoracolumbar disc herniation. *Medicine (Baltimore)*, 2018, 97(16):e0458.
- 6 Cornips EM, Janssen ML, Beuls EA. Thoracic disc herniation and acute myelopathy: clinical presentation, neuroimaging findings, surgical considerations, and outcome. *J Neurosurg Spine*, 2011, 14(4):520-528.
- 7 Court C, Mansour E, Bouthors C. Thoracic disc herniation: Surgical treatment. *Orthop Traumatol Surg Res*, 2018, 104(1S):S31-S40.
- 8 Oltulu I, Cil H, Berven S, et al. Surgical management of thoracic disc herniation: anterior vs posterior approach. *Turk Neurosurg*, 2019, 29(4):584-593.
- 9 Kuklo TR, Lenke LG, O'Brien MF, et al. Accuracy and efficacy of thoracic pedicle screws in curves more than 90 degrees. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2005, 30(2):222-226.
- 10 Robinson WA, Nassr AN, Sebastian AS. Thoracic disc herniation, avoidance, and management of the surgical complications. *Int Orthop*, 2019, 43(4):817-823.
- 11 Gong M, Liu G, Guan Q, et al. Surgery for giant calcified herniated thoracic discs: A systematic review. *World Neurosurg*, 2018, 118:109-117.
- 12 Börm W, Bänzner U, König RW, et al. Surgical treatment of thoracic disc herniations via tailored posterior approaches. *Eur Spine J*, 2011, 20(10):1684-1690.
- 13 王伍贵. 脊柱后路手术合并脑脊液漏的相关因素及处理. *国际医药卫生导报*, 2013, 19(19):3021-3022.

- 14 周源, 齐强, 陈仲强. 胸脊髓血供与胸椎间盘突出症患者术后神经症状加重关系的研究进展. 中国脊柱脊髓杂志, 2014, 24(12): 1120 - 1123.
- 15 宋岳, 孙永明, 周越. 脊髓缺血再灌注损伤的发生机制及其防治. 沈阳医学院学报, 2018, 20(5): 449 - 454.
- 16 马迅, 乔军杰, 关晓明, 等. 胸椎管狭窄症后路手术神经系统并发症发生原因及处理. 中国脊柱脊髓杂志, 2014, 24(7): 605 - 608.
- 17 Kerezoudis P, Rajjoub KR, Goncalves S, et al. Anterior versus posterior approaches for thoracic disc herniation: Association with postoperative complications. Clin Neurol Neurosur, 2018, 167: 17 - 23.
- 18 Qi Q, Chen ZQ, Liu N, et al. Circumspinal decompression through a single posterior incision to treat thoracolumbar disc herniation. Chin Med J (Engl), 2011, 124(23): 3852 - 3857.
- 19 Moon S, Lee J, Jang J, et al. The transdural approach for thoracic disc herniations: a technical note. Eur Spine J, 2010, 19(7): 1206 - 1211.
- 20 Vanichkachorn JS, Vaccaro AR. Thoracic disk disease: diagnosis and treatment. J Am Acad Orthop Surg, 2000, 8(3): 159 - 169.
- 21 Strom RG, Mathur V, Givans H, et al. Technical modifications and decision-making to reduce morbidity in thoracic disc surgery: An institutional experience and treatment algorithm. Clin Neurol Neurosur, 2015, 133: 75 - 82.
- 22 Daltaban IS, Misir S, Turksoy VA, et al. The effects of barmidipine on an experimental ischemia reperfusion model of spinal cord injury and comparison with methyl prednisolone. North Clin Istanbul, 2018, 6(2): 103 - 109.
- 23 Coppes MH, Bakker NA, Metzemaekers JDM, et al. Posterior transdural discectomy: a new approach for the removal of a central thoracic disc herniation. Eur Spine J, 2012, 21(4): 623 - 628.
- 24 岳学锋, 郭海忠, 施建党, 等. 后路椎管环形减压椎间融合内固定术治疗胸腰段椎间盘突出并椎体后缘离断症. 宁夏医科大学学报, 2017, 39(4): 449 - 453.
- 25 Guerin P, El Fegoun AB, Obeid I, et al. Incidental durotomy during spine surgery: Incidence, management and complications. A retrospective review. Injury, 2012, 43(4): 397 - 401.
- 26 Yang S, Chen Q, Ning S, et al. Modified eggshell procedure via posterior approach for sclerosing thoracic disc herniation: a preliminary study. J Orthop Surg Res, 2016, 11(1): 102.
- 27 王善夫, 李光磊, 李怡然, 等. 后路环形减压治疗胸椎椎间盘突出伴骨化的疗效. 武警医学, 2014, 25(9): 898 - 901.
- 28 Pei B, Sun C, Xue R, et al. Circumferential decompression via a modified costotransversectomy approach for the treatment of single level hard herniated disc between T10 - L1. Orthop Surg, 2016, 8(1): 34 - 43.
- 29 吴沁民, 徐兆万, 庄青山, 等. 硬化性胸椎间盘突出症手术并发症及防治策略. 实用骨科杂志, 2016, 22(2): 144 - 146.
- 30 Sivakumaran R, Uschold TD, Brown MT, et al. Transfacet and transpedicular posterior approaches to thoracic disc herniations: Consecutive case series of 24 patients. World Neurosurg, 2018, 120: e921 - e931.
- 31 Menon SK, Onyia CU. A short review on a complication of lumbar spine surgery: CSF leak. Clin Neurol Neurosur, 2015, 139: 248 - 251.
- 32 Hannallah D, Lee J, Khan M, et al. Cerebrospinal fluid leaks following cervical spine surgery. J Bone Joint Surg Am, 2008, 90(5): 1101 - 1105.
- 33 Wong AP, Shih P, Smith TR, et al. Comparison of symptomatic cerebral spinal fluid leak between patients undergoing minimally invasive versus open lumbar foraminotomy, discectomy, or laminectomy. World Neurosurg, 2014, 81(3-4): 634 - 640.
- 34 Guerin P, El FA, Obeid I, et al. Incidental durotomy during spine surgery: incidence, management and complications. A retrospective review. Injury, 2012, 43(4): 397 - 401.
- 35 Grannum S, Patel MS, Attar F, et al. Dural tears in primary decompressive lumbar surgery. Is primary repair necessary for a good outcome? Eur Spine J, 2014, 23(4): 904 - 908.
- 36 Fang Z, Tian R, Jia YT, et al. Treatment of cerebrospinal fluid leak after spine surgery. Chin J Traumatol, 2017, 20(2): 81 - 83.
- 37 Khazim R, Dannawi Z, Spacey K, et al. Incidence and treatment of delayed symptoms of CSF leak following lumbar spinal surgery. Eur Spine J, 2015, 24(9): 2069 - 2076.
- 38 王永强, 刘晓光, 姜亮, 等. 胸椎管狭窄症术后脑脊液漏继发皮下积液的治疗. 北京大学学报(医学版), 2018, 50(4): 657 - 661.
- 39 Butler JS, Wagner SC, Morrissey PB, et al. Strategies for the prevention and treatment of surgical site infection in the lumbar spine. Clin Spine Surg, 2018, 31(8): 323 - 330.
- 40 Zhou J, Wang R, Huo X, et al. Incidence of surgical site infection after spine surgery. Spine, 2020, 45(3): 208 - 216.
- 41 Hoffer RC, Swong K, Martin B, et al. Risk of pseudoarthrosis after spinal fusion: analysis from the healthcare cost and utilization project. World Neurosurg, 2018, 120: e194 - e202.
- 42 Hu X, Lieberman IH. Revision spine surgery in patients without clinical signs of infection: How often are there occult infections in removed hardware? Eur Spine J, 2018, 27(10): 2491 - 2495.
- 43 宇洪浩, 原泉, 王欢. 胸腰椎后路内固定术后早期切口感染的影响因素. 中国医科大学学报, 2019, 48(5): 406 - 409.
- 44 Ferry T, Valour F, Lustig S, et al. The challenge of infection prevention in spine surgery: an update. Eur J Orthop Surg Traumatol, 2013, 23(S1): 15 - 19.
- 45 Fei Q, Li J, Lin J, et al. Risk factors for surgical site infection after spinal surgery: A meta-analysis. World Neurosurg, 2016, 95: 507 - 515.
- 46 He Y, Li H, Lu H. Is blood transfusion associated with an increased risk of infection among spine surgery patients? Medicine, 2019, 98(28): e16287.
- 47 De la Garza-Ramos R, Abt NB, Kerezoudis P, et al. Deep-wound and organ-space infection after surgery for degenerative spine disease: an analysis from 2006 to 2012. Neurol Res, 2016, 38(2): 117 - 123.

- 48 Nishimura Y, Thani NB, Tochigi S, et al. Thoracic discectomy by posterior pedicle-sparing, transfacet approach with real-time intraoperative ultrasonography: Clinical article. *J Neurosurg Spine*, 2014, 21(4):568 – 576.
- 49 Arnold PM, Johnson PL, Anderson KK. Surgical management of multiple thoracic disc herniations via a transfacet approach: a report of 15 cases. *J Neurosurg Spine*, 2011, 15(1):76 – 81.
- 50 Anderson PA, Savage JW, Vaccaro AR, et al. Prevention of surgical site infection in spine surgery. *Neurosurgery*, 2017, 80(3): S114 – S123.
- 51 Yin D, Liu B, Chang Y, et al. Management of late-onset deep surgical site infection after instrumented spinal surgery. *Bmc Surg*, 2018, 18(1):121.
- 52 Zeng X, Wang W, Zhao Z, et al. Causes and preventive measures of symptomatic spinal epidural haematoma after spinal surgery. *Int Orthop*, 2017, 41(7):1395 – 1403.
- 53 Arts MP, Bartels RHMA. Anterior or posterior approach of thoracic disc herniation? A comparative cohort of mini-transthoracic versus transpedicular discectomies. *Spine J*, 2014, 14(8):1654 – 1662.
- 54 Kim W, Kim S, Kang S, et al. Pooled analysis of unsuccessful percutaneous biportal endoscopic surgery outcomes from a multi-institutional retrospective cohort of 797 cases. *Acta Neurochir*, 2020, 162(2):279 – 287.
- 55 Qin R, Liu B, Hao J, et al. Percutaneous endoscopic lumbar discectomy versus posterior open lumbar microdiscectomy for the treatment of symptomatic lumbar disc herniation: a systemic review and meta-analysis. *World Neurosurg*, 2018, 120:352 – 362.
- 56 Deinsberger R, Regatschnig R, Ungersböck K. Intraoperative evaluation of bone decompression in anterior cervical spine surgery by three-dimensional fluoroscopy. *Eur Spine J*, 2005, 14(7):671 – 676.
- 57 Tian W, Weng C, Liu B, et al. Intraoperative 3-dimensional navigation and ultrasonography during posterior decompression with instrumented fusion for ossification of the posterior longitudinal ligament in the thoracic spine. *J Spinal Disord Tech*, 2013, 26(6): E227 – E234.
- 58 Aoyama T, Hida K, Akino M, et al. Detection of residual disc hernia material and confirmation of nerve root decompression at lumbar disc herniation surgery by intraoperative ultrasound. *Ultrasound Med Biol*, 2009, 35(6):920 – 927.
- 59 Lerch K, Volk M, Heers G, et al. Ultrasound-guided decompression of the spinal canal in traumatic stenosis. *Ultrasound Med Biol*, 2002, 28(1):27 – 32.
- 60 江 凌, 刘晓光, 姜 亮, 等. 术中超声在胸椎管狭窄减压术中的应用价值. *中国医学科学院学报*, 2012, 34(2):99 – 103.
- 61 杨万石, 赵小魁, 王 强, 等. 超声在脊柱脊髓手术中实时监测的应用研究. *中华医学超声杂志(电子版)*, 2010, 7(12):2139 – 2144.

(收稿日期:2020-04-26)

(修回日期:2020-08-07)

(责任编辑:李贺琼)