

单侧入路双侧减压术治疗退行性腰椎椎管狭窄症 相关并发症的研究进展

许锦超, 鲍剑航, 高文硕, 潘浩

(浙江中医药大学附属广兴医院, 浙江 杭州 310007)

摘要 退行性腰椎椎管狭窄症 (degenerative lumbar spinal stenosis, DLSS) 是临床常见腰椎退行性疾病。近年来, 单侧入路双侧减压术 (unilateral laminotomy for bilateral decompression, ULBD) 逐渐成为治疗 DLSS 的主要方式。随着脊柱外科微创技术的发展, 目前在显微镜、单通道内镜及双通道内镜下均可行 ULBD 治疗 DLSS。该术式减压充分、临床疗效显著, 但仍存在发生硬脊膜撕裂、硬脊膜外血肿、脊柱不稳、头痛等并发症的风险。为了提高临床医师对 ULBD 治疗 DLSS 的相关并发症的认识, 本文对其研究进展进行了综述。

关键词 腰椎; 椎管狭窄; 单侧入路双侧减压术; 手术中并发症; 手术后并发症; 综述

退行性腰椎椎管狭窄症 (degenerative lumbar spinal stenosis, DLSS) 是临床常见腰椎退行性疾病。经后路全椎板或半椎板切除是治疗 DLSS 的常用术式, 但该术式需广泛剥离椎旁肌并切除后方韧带复合体, 易导致脊柱不稳。单侧入路双侧减压术 (unilateral laminotomy for bilateral decompression, ULBD) 仅剥离单侧椎旁肌, 能够最大限度地保留后方韧带复合体和对侧的椎旁肌、韧带, 术后脊柱稳定性好^[1]。随着脊柱外科微创技术的发展, 目前在显微镜、单通道内镜及双通道内镜下均可行 ULBD。该方法治疗 DLSS, 减压充分、临床疗效显著, 但仍存在一些相关并发症。为了提高临床医师对 ULBD 治疗 DLSS 的相关并发症的认识, 本文对其研究进展进行了综述。

1 ULBD 概述

ULBD 于 1988 年由 Young 等^[2]首次提出, 早期行 ULBD 常采用开放手术。随着微创理念的深入发展, 显微镜下行 ULBD 逐渐成为主流。与传统切开手术相比, 显微镜下行 ULBD 创伤较小, 但仍需剥离肌肉和软组织, 术后脊柱稳定性较差; 为避免出现术后腰椎不稳, 常需联合椎体间融合内固定术; 此外, 术中对侧减压时需要倾斜手术床、调整显微镜角度, 操作较繁琐^[3]。近年来, 随着脊柱内镜技术的日趋成熟, 临床开始采用单通道内镜下行 ULBD, 具有创伤更小、出血更少、术野更清晰等优点。但由于手术器械和镜头同轴, 加上工作套管的限制, 术中向同侧倾斜的操作

比较困难; 而增加套管外径又需要切除较多的椎板和关节突, 增加术后并发关节突骨折与脊柱不稳定的风险。此外, 单通道内镜下行 ULBD 需专门的器械, 成本较高, 且学习曲线陡峭。De Antoni 等^[4]于 1996 年首次报道了采用双通道内镜下行腰椎间盘切除手术。Heo 等^[5]于 2017 年提出单侧双通道内镜技术, 该技术在脊柱一侧做 2 个切口, 建立 2 个工作通道, 内镜通道用于观察和生理盐水持续灌洗, 操作通道用于置入不同的手术器械。由于内镜通道与操作通道相互独立, 内镜镜头与手术器械活动范围更大、操作更灵活, 必要时还可将内镜通道与操作通道互换。该方法内镜和手术器械均可越过中线, 中央椎管及对侧侧隐窝视野良好, 对侧减压效果更好。此外, 手术操作可直接采用咬骨钳、骨刀等常规手术器械, 器械成本低, 学习曲线平滑。

2 ULBD 治疗 DLSS 的并发症

2.1 硬脊膜撕裂 硬脊膜撕裂是 ULBD 最常见的并发症, 在治疗 DLSS 患者中的发生率为 3.7%^[6]。硬脊膜撕裂的发生与 DLSS 的病理特点存在一定的联系, 椎管狭窄导致硬脊膜紧邻棘突基底和对侧椎板。因此, 术中磨除棘突基底部时容易损伤硬脊膜。部分严重的 DLSS 患者, 硬脊膜与黄韧带粘连, 牵拉黄韧带时牵连硬脊膜而导致其撕裂。研究表明, 膜椎韧带将硬脊膜连接于后方的椎板和黄韧带以及椎管内小动静脉的血管壁; 因此, 用力牵扯黄韧带则可使膜椎韧带连同部分硬脊膜及血管壁撕裂^[7]。Solaroglu 等^[8]认为, 膜椎韧带与硬脊膜撕裂关系密切, ULBD 术中

可通过切断膜椎韧带减少硬脊膜撕裂的发生。

临床可采取以下措施防止硬脊膜撕裂的发生:

- ①术中应先去除黄韧带浅层,保留黄韧带深层,以避免操作时误伤硬脊膜;
- ②手术最后再分块切除黄韧带深层,以降低拉扯黄韧带时引起硬脊膜撕裂的风险^[9];
- ③分离黄韧带与硬脊膜时,应注意仔细探查并切除膜椎韧带,并在生理盐水持续流入下,用神经剥离子或刮匙将二者完全分离,注意动作应轻柔^[10-11];
- ④术前控制血压、术中及时止血以确保视野清晰。

术中发生硬脊膜撕裂,一期缝合被认为是预防假性脊膜膨出和脑脊液持续渗漏的标准治疗方法^[12]。开放手术可直接缝合或用明胶海绵、人工硬脑(脊)膜补片修补,内镜下手术可采用无需缝合的人工硬脑(脊)膜补片或脂肪瓣覆盖裂口,或使用纤维蛋白胶直接粘合裂口^[13]。然而,如果内镜下硬脊膜撕裂较大,应改行开放手术缝合裂口。目前,对于硬脊膜撕裂是否修复仍存在争议。Park 等^[14]认为,硬脊膜裂口 < 4 mm,可采取卧床休息并持续观察的处理方法;硬脊膜裂口 > 12 mm,应在显微镜下进行修复。Menon 等^[15]认为,在脊髓蛛网膜完整的情况下,硬脊膜轻微撕裂不会导致脑脊液渗漏,不必进行修补。Strömquist 等^[16]研究发现,硬脊膜撕裂对手术治疗的远期疗效和患者生活质量无影响。

2.2 硬脊膜外血肿 硬脊膜外血肿是 ULBD 治疗 DLSS 常见术后并发症之一,患者通常在术后 24 h 表现出肢体运动障碍和膀胱功能障碍等。但 Anno 等^[17]研究发现,表现出硬脊膜外血肿相关临床症状的患者中,约 43% 在术后第 4 天及以后才出现症状。对于发生硬脊膜外血肿的患者,症状轻微者通常在术后 3 周内症状会自行消失,影像学上可观察到血肿在 3 个月内自然消退^[18]。在影像学上,ULBD 治疗 DLSS 术后硬脊膜外血肿发生率较高,但其中表现出相关临床症状的患者仅占 1.14%^[19]。然而,当硬脊膜外血肿直径占椎管直径的 50% 以上时,可能导致患者出现肌无力、严重的放射痛和马尾综合征^[20]。此外,硬脊膜外血肿消散后常会形成瘢痕组织,椎旁肌表面的纤维组织、骨膜纤维层及瘢痕组织共同作用,促使硬脊膜外形成纤维带,限制了硬脊膜扩张,导致减压手术不能达到预期效果^[20]。

诱发硬脊膜外血肿的因素较多,主要包括椎管压迫静脉丛、血压控制、水泵使用及术后引流等^[21-22]。

DLSS 患者因椎管狭窄,长期压迫椎管内静脉丛,导致椎管内静脉丛血管壁较薄;减压后椎管压力下降,血管破裂,引起硬脊膜外血肿^[23]。为了减少术中出血,术中通常会进行血压控制,而在麻醉结束后,血压突然升高,会导致出血。Yamada 等^[24]研究发现,麻醉结束后血压升高超过 6.65 kPa 是导致硬脊膜外血肿的重要因素。水泵的使用会产生较高的水压,能够掩盖少量出血。Kim 等^[25]研究发现,采用悬吊的方式注入生理盐水,能够显著降低硬脊膜外血肿的发生率。此外,负压闭式引流常用于预防硬脊膜外血肿,但引流与硬脊膜外血肿之间是否存在关系目前仍存在争议。Zeng 等^[26]认为,引流不畅是导致硬脊膜外血肿发生的重要因素。Ahn 等^[27]提出,术后是否引流对硬脊膜外血肿的发生率没有显著影响。Kao 等^[28]认为,术后引流是导致硬脊膜外血肿的危险因素之一。

为了预防硬脊膜外血肿的发生,血压控制是关键。Fujiwara 等^[21]研究发现,血压管理较差的高血压患者在拔管时血压升高更加明显。因此,不仅应控制术中血压,术前及麻醉结束后的血压控制更为重要。电凝是抑制术中出血的常用方法,但当电凝无法达到满意的止血效果时,可采用微纤维止血胶原(粉)等止血药物。但是粉末状止血药物使用后常残留药物颗粒,易导致炎症发生或肉芽肿形成,引起神经性疼痛。Altun^[29]提出,采用凝血酶明胶等流动性的止血剂可避免药物颗粒残留。Ahn 等^[30]研究认为,采用过量的凝血酶会导致血液迅速凝结,血块无法通过引流管排出,进而加速硬脊膜外血肿的形成。此外,术后 1 周内应密切监测患者情况,对于可能发生硬脊膜外血肿的患者,应及时行影像学检查。

2.3 脊柱不稳 关节突关节是重要的脊柱稳定结构。Ahuja 等^[31]研究发现,切除超过 30% 的关节突关节将增加脊柱的活动度和椎间盘内压力。然而,采用 ULBD 治疗 DLSS 对入路侧的侧隐窝进行探查或减压时,难以避免破坏入路侧的关节突关节。Dohzono 等^[3]研究发现,显微镜下行 ULBD,对侧关节突关节保留比例为 95.2%,入路侧为 79.2%。Pao 等^[32]研究发现,采用双通道内镜下行 ULBD,入路侧关节突关节保留比例为 84.2%。对关节突关节进行潜行切除是减少损伤的关键步骤^[25]。Heo 等^[33]研究发现,双通道内镜下行 ULBD,入路侧关节突关节切面与冠状

面的夹角 ($88.9^{\circ} \pm 2.7^{\circ}$) 显著低于显微镜下行 ULBD ($93.6^{\circ} \pm 3.8^{\circ}$) 和单通道内镜下行 ULBD ($92.9^{\circ} \pm 4.3^{\circ}$); 认为双通道内镜下行 ULBD 可以潜行切除入路侧关节突, 以保留更多的同侧关节突关节。

为了避免术后脊柱不稳的发生, 应尽可能的保护关节突关节, 可采取以下措施: ①对于关节突关节宽度较小的 $L_1 \sim L_3$ 以及棘突或关节突增生导致椎板宽度变窄的患者, 建议采用对侧入路进行减压, 可以为神经及硬脊膜囊的移动创造空间; ②磨除棘突基底部时在棘突根部去除更多的骨质, 可以减小同侧关节突关节的切除角度, 保留更多的入路侧关节突关节。此外, Lim 等^[34]提出, 在手术早期切开黄韧带进入椎管, 显露和保护同侧硬脊膜囊和行走根, 以同侧行走根作为关节突关节骨减压的参考, 见到神经根的形态和位置恢复正常即说明减压充分, 以避免减压过度。但即使在直视下操作, 缺少黄韧带的保护还是会增加术中损伤硬脊膜和神经根的风险。早期切开黄韧带的方式可在确保减压充分的基础上保留更多骨质, 但是降低了安全性, 其临床效果仍需进一步研究。

2.4 头痛 内镜下行 ULBD, 术中水压过高会增加脑脊液压力和颅内压, 导致术后头痛, 甚至诱发癫痫。因此, 对于内镜下行 ULBD 的患者, 术后应留意癫痫发作的早期症状, 如颈部疼痛、头痛、视力模糊和嗜睡等^[35]。随着颅内压的升高, 人体的自我调节机制使血压升高, 以维持正常的脑灌注压; 而血压升高会导致更严重的出血, 术者则会进一步提高水压, 由此形成恶性循环^[36]。为了避免术后头痛的发生, 防止颅内压过高是关键, 术中应保持生理盐水顺畅流动。对于较为肥胖或背部肌肉较厚的患者, 可通过横向切开深筋膜和使用引流槽帮助生理盐水畅通流动。此外, 术中应严格控制水压, Wu 等^[35]建议将术中生理盐水流速控制在 $150 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ 以下; 田大胜等^[37]等提出, 如采用体积为 3 L 的生理盐水, 悬吊高度应维持在 50 ~ 60 cm; Choi^[38]建议, 在使用水泵时, 将水泵的灌注压力控制在 3.99 kPa 以下。

2.5 减压不充分 双通道内镜下行 ULBD, 减压效果通常较好, 但对于严重的 DLSS 患者, 可能出现减压不充分。术前评估与术中减压范围存在偏差是导致减压不充分的主要原因^[39-40]。Wu 等^[11]认为, 对于单纯 DLSS 患者, 为达到确切的减压效果, 减压区域应达到椎弓根中段附近, 上半部分的侧隐窝、椎间盘间隙

以及椎间孔内部 3 个区域都应充分减压。

2.6 神经根损伤 术中不规范的操作和射频的热损伤是神经根损伤的主要原因, 尤其采用双通道内镜下行 ULBD, 在椎管内使用关节镜的射频消融刀头, 会对神经结构造成较大的热损伤。因此, 术中应动作轻柔, 仔细辨认神经结构, 必要时降低射频消融的电压。

3 小 结

ULBD 治疗 DLSS 具有减压充分、术后脊柱稳定性好的优势。随着脊柱微创技术的发展, ULBD 创伤逐渐减小, 但在采用 ULBD 治疗 DLSS 过程中, 仍存在诸如硬脊膜撕裂、硬脊膜外血肿、脊柱不稳、术后头痛等并发症。为了在充分减压的基础上减少并发症的发生, 临床医师应充分了解 ULBD 相关并发症的临床表现、诱发因素以及并发症发生后的处理措施, 并重视术前规划、术中操作以及术后监测 3 个环节。

参考文献

- [1] FALOWSKI S M, SAYED D, DEER T R, et al. Biomechanics and mechanism of action of indirect lumbar decompression and the evolution of a stand - alone spinous process spacer[J]. Pain Med, 2019, 20(Suppl 2): S14 - S22.
- [2] YOUNG S, VEERAPEN R, O'LAOIRE S A. Relief of lumbar canal stenosis using multilevel subarticular fenestrations as an alternative to wide laminectomy: preliminary report[J]. Neurosurgery, 1988, 23(5): 628 - 633.
- [3] DOHZONO S, TOYODA H, MATSUMURA A, et al. Clinical and radiological outcomes after microscopic bilateral decompression via a unilateral approach for degenerative lumbar disease: minimum 5 - year follow - up[J]. Asian Spine J, 2017, 11(2): 285 - 293.
- [4] DE ANTONI D J, CLARO M L, POEHLING G G, et al. Translaminar lumbar epidural endoscopy: anatomy, technique, and indications[J]. Arthroscopy, 1996, 12(3): 330 - 334.
- [5] HEO D H, SON S K, EUM J H, et al. Fully endoscopic lumbar interbody fusion using a percutaneous unilateral biportal endoscopic technique: technical note and preliminary clinical results[J]. Neurosurg Focus, 2017, 43(2): E8.
- [6] MÜLLER S J, BURKHARDT B W, OERTEL J M. Management of dural tears in endoscopic lumbar spinal surgery: a review of the literature[J]. World Neurosurg, 2018, 119: 494 - 499.
- [7] UCHIKADO H, NISHIMURA Y, HATTORI G, et al. Micro-anatomical structures of the lumbar intervertebral foramen

- for full-endoscopic spine surgery: review of the literatures[J]. J Spine Surg, 2020, 6(2): 405 – 414.
- [8] SOLAROGLU I, OKUTAN O, BESKONAKLI E. The ATA and its surgical importance: a newly described ligament lying between the dural sac and the ligamentum flavum at the L5 level[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2011, 36(16): 1268 – 1272.
- [9] ITO F, ITO Z, SHIBAYAMA M, et al. Step – by – step sub-laminar approach with a newly – designed spinal endoscope for unilateral – approach bilateral decompression in spinal stenosis[J]. Neurospine, 2019, 16(1): 41 – 51.
- [10] HUANG Y H, LIEN F C, CHAO L Y, et al. Full endoscopic uniportal unilateral laminotomy for bilateral decompression in degenerative lumbar spinal stenosis: highlight of ligamentum flavum detachment and survey of efficacy and safety in 2 years of follow – up[J]. World Neurosurg, 2020, 134: e672 – e681.
- [11] WU M H, WU P C, LEE C Y, et al. Outcome analysis of lumbar endoscopic unilateral laminotomy for bilateral decompression in patients with degenerative lumbar central canal stenosis[J]. Spine J, 2021, 21(1): 122 – 133.
- [12] TSUTSUMIMOTO T, YUI M, UEHARA M, et al. A prospective study of the incidence and outcomes of incidental dural tears in microendoscopic lumbar decompressive surgery[J]. Bone Joint J, 2014, 96 – B(5): 641 – 645.
- [13] RUETTEN S, KOMP M. Endoscopic lumbar decompression[J]. Neurosurg Clin N Am, 2020, 31(1): 25 – 32.
- [14] PARK H J, KIM S K, LEE S C, et al. Dural tears in percutaneous biportal endoscopic spine surgery: anatomical location and management[J]. World Neurosurg, 2020, 136: e578 – e585.
- [15] MENON S K, ONYIA C U. A short review on a complication of lumbar spine surgery: CSF leak[J]. Clin Neurol Neurosurg, 2015, 139: 248 – 251.
- [16] STRÖMQVIST F, SIGMUNDSSON F G, STRÖMQVIST B, et al. Incidental durotomy in degenerative lumbar spine surgery – a register study of 64,431 operations[J]. Spine J, 2019, 19(4): 624 – 630.
- [17] ANNO M, YAMAZAKI T, HARA N, et al. The incidence, clinical features, and a comparison between early and delayed onset of postoperative spinal epidural hematoma[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2019, 44(6): 420 – 423.
- [18] IKUTA K, TONO O, TANAKA T, et al. Evaluation of postoperative spinal epidural hematoma after microendoscopic posterior decompression for lumbar spinal stenosis: a clinical and magnetic resonance imaging study[J]. J Neurosurg Spine, 2006, 5(5): 404 – 409.
- [19] LIU J M, DENG H L, ZHOU Y, et al. Incidence and risk factors for symptomatic spinal epidural haematoma following lumbar spinal surgery[J]. Int Orthop, 2017, 41(11): 2297 – 2302.
- [20] KIM J E, CHOI D J, PARK E J. Evaluation of postoperative spinal epidural hematoma after biportal endoscopic spine surgery for single – level lumbar spinal stenosis: clinical and magnetic resonance imaging study[J]. World Neurosurg, 2019, 126: e786 – e792.
- [21] FUJIWARA Y, MANABE H, IZUMI B, et al. The impact of hypertension on the occurrence of postoperative spinal epidural hematoma following single level microscopic posterior lumbar decompression surgery in a single institute[J]. Eur Spine J, 2017, 26(10): 2606 – 2615.
- [22] KIM J E, CHOI D J, KIM M C, et al. Risk factors of postoperative spinal epidural hematoma after biportal endoscopic spinal surgery[J]. World Neurosurg, 2019, 129: e324 – e329.
- [23] MA L T, DAI L J, YANG Y, et al. Comparison the efficacy of hemorrhage control of surgiflo haemostatic matrix and absorbable gelatin sponge in posterior lumbar surgery: a randomized controlled study[J]. Medicine (Baltimore), 2018, 97(49) [2020 – 11 – 15]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6310587/pdf/medi-97-e13511.pdf>.
- [24] YAMADA K, ABE Y, SATOH S, et al. Large increase in blood pressure after extubation and high body mass index elevate the risk of spinal epidural hematoma after spinal surgery[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2015, 40(13): 1046 – 1052.
- [25] KIM W, KIM S K, KANG S S, et al. Pooled analysis of unsuccessful percutaneous biportal endoscopic surgery outcomes from a multi – institutional retrospective cohort of 797 cases[J]. Acta Neurochir (Wien), 2020, 162(2): 279 – 287.
- [26] ZENG X J, WANG W, ZHAO Z, et al. Causes and preventive measures of symptomatic spinal epidural haematoma after spinal surgery[J]. Int Orthop, 2017, 41(7): 1395 – 1403.
- [27] AHN D K, SHIN W S, KIM J W, et al. Why cannot suction drains prevent postoperative spinal epidural hematoma? [J]. Clin Orthop Surg, 2016, 8(4): 407 – 411.
- [28] KAO F C, TSAI T T, CHEN L H, et al. Symptomatic epi-

- dural hematoma after lumbar decompression surgery [J]. Eur Spine J, 2015, 24(2): 348 – 357.
- [29] ALTUN I. An experimental study of histopathologic effects of hemostatic agents used in spinal surgery [J]. World Neurosurg, 2016, 90: 147 – 153.
- [30] AHN D K, SHIN W S, KIM G W, et al. Postoperative spinal epidural hematoma: the danger caused by the misuse of thrombin – containing local hemostatics [J]. Asian Spine J, 2017, 11(6): 898 – 902.
- [31] AHUJA S, MOIDEEN A N, DUDHNIWALA A G, et al. Lumbar stability following graded unilateral and bilateral facetectomy: a finite element model study [J]. Clin Biomech (Bristol, Avon), 2020, 75 [2020 – 10 – 15] [https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0268-0033\(20\)30120-0](https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0268-0033(20)30120-0).
- [32] PAO J L, LIN S M, CHEN W C, et al. Unilateral biportal endoscopic decompression for degenerative lumbar canal stenosis [J]. J Spine Surg, 2020, 6(2): 438 – 446.
- [33] HEO D H, LEE D C, PARK C K. Comparative analysis of three types of minimally invasive decompressive surgery for lumbar central stenosis: biportal endoscopy, uniportal endoscopy, and microsurgery [J]. Neurosurg Focus, 2019, 46(5): E9.
- [34] LIM K T, MECEDA E J A, PARK C K. Inside – out approach of lumbar endoscopic unilateral laminotomy for bilateral decompression: a detailed technical description, rationale and outcomes [J]. Neurospine, 2020, 17 (Suppl 1): S88 – S98.
- [35] WU J B, FANG Y, JIN W J. Seizures after percutaneous endoscopic lumbar discectomy: a case report [J]. Medicine (Baltimore), 2020, 99(47): e22470.
- [36] KANG T, PARK S Y, LEE S H, et al. Assessing changes in cervical epidural pressure during biportal endoscopic lumbar discectomy [J]. J Neurosurg Spine, 2020 [2020 – 10 – 15] <https://thejns.org/spine/view/journals/j-neurosurg-spine/34/2/article-p196.xml>.
- [37] 田大胜, 刘建军, 朱斌, 等. 单边双通道内镜技术治疗腰椎间盘突出症和腰椎椎管狭窄症 [J]. 中华骨科杂志, 2020, 40(17): 1155 – 1164.
- [38] CHOI C M. Biportal endoscopic spine surgery (BESS): considering merits and pitfalls [J]. J Spine Surg, 2020, 6(2): 457 – 465.
- [39] KIM S K, KANG S S, HONG Y H, et al. Clinical comparison of unilateral biportal endoscopic technique versus open microdiscectomy for single – level lumbar discectomy: a multi-center, retrospective analysis [J]. J Orthop Surg Res, 2018, 13(1): 22.
- [40] CHOI D J, CHOI C M, JUNG J T, et al. Learning curve associated with complications in biportal endoscopic spinal surgery: challenges and strategies [J]. Asian Spine J, 2016, 10(4): 624 – 629.

(收稿日期: 2021 – 01 – 16 本文编辑: 吕宁)

(上接第 43 页)

- [23] 代凤雷, 刘艺, 李钦亮, 等. 大鼠腰椎管狭窄模型的制作及三维有限元分析 [J]. 中国组织工程研究, 2012, 16(39): 7312 – 7316.
- [24] FU T, AOKI Y, MARUO S, et al. A study of compressed spinal cord by confocal laser scanning microscopy using potential – sensitive molecular probes and electron probe X – ray microanalysis [J]. Pathophysiology, 1994, 1 (Suppl 1): 489.
- [25] SARABIA – ESTRADA R, ZADNIK P L, MOLINA C A, et al. A rat model of metastatic spinal cord compression using human prostate adenocarcinoma: histopathological and functional analysis [J]. Spine J, 2013, 13(11): 1597 – 1606.
- [26] ARBIT E, GALICICH W, GALICICH J H, et al. An animal model of epidural compression of the spinal cord [J]. Neurosurgery, 1989, 24(6): 860 – 863.
- [27] LONG H Q, XIE W H, CHEN W L, et al. Value of micro – CT for monitoring spinal microvascular changes after chronic spinal cord compression [J]. Int J Mol Sci, 2014, 15(7): 12061 – 12073.
- [28] 李金轩. 一种新型脊髓压迫动物模型的建立及自噬因子 beclin1 表达研究 [D]. 太原: 山西医科大学, 2016.
- [29] HOSODA Y, YOSHIMURA Y, HIGAKI S. A new breed of mouse showing multiple osteochondral lesions – twy mouse [J]. Ryumachi, 1981, 21 (Suppl): 157 – 164.
- [30] YATO Y, FUJIMURA Y, NAKAMURA M, et al. Decreased choline acetyltransferase activity in the murine spinal cord motoneurons under chronic mechanical compression [J]. Spinal Cord, 1997, 35(11): 729 – 734.
- [31] SONG H, FANG X, WEN M, et al. Role of M2 signaling pathway in the chronic compression of cervical spinal cord [J]. Am J Transl Res, 2015, 7(11): 2355 – 2363.

(收稿日期: 2020 – 08 – 24 本文编辑: 李晓乐)