

综述

经皮内镜下颈椎间盘切除术治疗颈椎病的研究进展

Advances in the application of percutaneous endoscopic cervical discectomy in cervical spondylopathy

王铭麒^{1,2}, 陈旭¹, 高浩然¹, 周程沛¹, 钱济先¹

(1 空军军医大学唐都医院骨科 710038 西安市; 2 解放军第 96605 医院 134001 通化市)

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2019.02.13

中图分类号: R608 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2019)-02-0174-06

颈椎病是成人非创伤性脊髓损伤的重要原因^[1]。其经保守治疗无效或症状加重时手术减压治疗可以获得良好疗效^[2]。传统的手术减压入路可分为前路和后路。颈椎前路椎间盘切除融合术 (anterior cervical discectomy and fusion, ACDF) 是前路手术的代表, 被誉为治疗颈椎病的“金标准”^[3,4]。但随着手术例数的增加, 入路相关并发症、相邻椎体退变、内置物松动下沉等相关问题日益凸显^[5,6]。后路手术如后路椎间孔成形术 (posterior cervical foraminotomy, PCF) 等, 其在治疗神经根型颈椎病时可以获得理想疗效^[7,8]。但是, 颈椎后路术后轴性疼痛、C5 神经根麻痹、脊髓损伤等相关并发症不容忽视^[9,10]。随着微创技术的发展和脊柱内镜系统的完善, 经皮内镜下颈椎间盘切除术 (percutaneous endoscopic cervical discectomy, PECD) 已成为一种有效的颈椎病微创治疗手段。与传统开放手术相比, PECD 能够大大降低手术创伤, 减少术中出血, 最大限度保护手术节段运动功能, 缩短住院时间和康复时间^[11,12], 并且其与椎间盘镜 (microendoscopic, MED) 及显微镜辅助下颈椎手术技术相比, 也有其独特优势^[13,14]。笔者就经皮内镜技术治疗颈椎病的发展、手术适应证、疗效、并发症及最新进展进行综述, 为经皮内镜在颈椎病治疗中的应用提供参考。

1 颈椎经皮内镜技术发展简史

Kambin 等^[15]最先提出了腰椎经皮技术的概念, Hijikata 等^[16]最先提出了颈椎经皮技术的概念。随后, Tajima 等^[17]最先于 1989 年描述了前路颈椎经皮内镜技术。此后此项技术不断被改良, 但都以前路为主, 并且在 2000 年前后被广泛关注^[18,19]。此时 PECD 适应证还比较狭窄, 仅对来自间盘层面“软”性间盘突出疗效尚可。随着内镜动力系统发展, 2007 年和 2008 年 Rutten 等^[20,21]成功在颈椎

“key-hole”技术的基础上完成后路 PECD 治疗颈椎病, 自此 PECD 分为前路 PECD (anterior PECD, APECD) 和后路 PECD (posterior PECD, PPECD)。此时的 PECD 可以完成部分骨性结构的磨除, 对于伴有椎间孔骨性狭窄的患者也可以获得良好疗效, 其手术适应证相对广泛。但是对于伴有骨化及较大的头或尾端游离间盘的病例, 其疗效有限。2016 年, 邓忠良等^[22]成功应用经皮全内镜下前路经椎体椎间盘切除术 (percutaneous full-endoscopic anterior transcorporeal cervical discectomy, PEATCD) 治疗颈椎病, 自此 APECD 又可分为经间盘入路及颈椎体入路。PEATCD 技术可以最大限度保护正常间盘组织, 降低相邻节段退变的风险。并且对于存在较大的头、尾端游离间盘的病例, 可以避免椎体次全切除, 并能获得较好疗效。在短期随访中, 杜谦等^[23]也证实了该术式的安全、有效。此后, 邓忠良等^[24]又将垂直锚定技术与 PPECD 结合, 达到了降低学习曲线, 减少手术时间和放射剂量的目的。

目前导航技术已应用于颈椎手术^[25], 机器人技术也已逐步开始应用于脊柱领域。随着这些技术的不断完善和微创理念的发展, 在不久的将来, 会有更精准、更微创、更易掌握的手术技术应用于颈椎。

2 前路经皮内镜技术

颈前重要脏器及血管位置相对容易确定, 周围软组织较疏松且有相对较好移动度。这些有利条件为手术穿刺、定位及工作套管的置入提供了“安全区”^[26]。穿刺定位针及工作套管可以快速、安全地通过“安全区”, 抵达椎体前方。

2.1 前路经椎间盘入路内镜技术

到达椎体前方后, 经椎间盘入路是通过椎间盘层面将工作套管置入, 直达突出的间盘组织, 解除来自脊髓前方的压迫。由于整个减压过程都是经椎间盘完成, 多采用局部麻醉^[27]。患者术中意识清醒, 出现任何不适可及时与术者沟通, 大大降低了神经损伤的风险。手术多采用仰卧位。入路选择上, 左、右侧入路没有本质区别, 但要考虑术者习惯和术区皮肤状况等因素。Gulsen 等^[28]测得椎体距食

第一作者简介: 男 (1989-), 硕士研究生在读, 研究方向: 微创脊柱外科

电话: (029)847778358 E-mail: 278008684@qq.com

通讯作者: 钱济先 E-mail: 278008684@qq.com

管最小距离平均为 1.1mm,而椎体侧面右侧颈长肌与食管间隙较大,因此右侧入路可以减少入路周围组织水肿导致的术后吞咽困难。但对于侧方型椎间盘突出多采用突出方向的对侧入路,这样可以提供更好的对侧椎间孔区域视野和更大的操作空间。成功置入工作套管后,开始减压操作。减压时用生理盐水对脊髓及神经根连续不断冲洗,以避免局部热量传递造成神经根损伤。为了防止颈椎局部后凸畸形,减压时应保留椎间盘的前半部分。在一些患者中,椎间盘内的髓核结构碎裂、移位,导致髓核内结构紊乱,减压同时需要做髓核成形,以减少退变间盘内容量及压力,继而减轻对神经根的压迫。术中术者的每一步操作都应在高清屏幕显示下进行。

经椎间盘入路可有效治疗中央型及旁中央型颈椎间盘突出,对于“软”性椎间盘突出所致的椎间孔狭窄亦有较好疗效。但为了降低入路相关并发症的发生,椎间高度应至少大于 3mm,并且脱出的间盘头或尾方向的游离范围不能超过半个椎体高度。其适应证主要包括^[20]:(1)在 CT 及 MRI 影像上的“软”性颈椎间盘突出,中央型及旁中央型为主;(2)颈部疼痛和神经根性症状符合影像学表现;(3)有全麻风险的“软”性椎间盘突出导致的脊髓型颈椎病;(4)至少 6 周的保守治疗后症状无改善甚至加重。对于存在多节段压迫的病例,要通过椎间盘造影明确责任节段后的再行手术治疗。禁忌证包括:(1)突出间盘组织有明显的骨化;(2)超过椎体高度一半的头或尾方向游离的间盘突出;(3)存在明显的后纵韧带骨化;(4)明确的颈椎失稳;(5)严重的脊髓型颈椎病;(6)小关节、黄韧带等增生导致的来自脊髓后方的压迫;(7)考虑存在骨折、肿瘤、感染及责任椎体之前手术史等。另外,2007 年 Lee 在报道中提到了经皮入路的安全范围^[20],作者认为 C4/5 和 C5/6 椎间盘突出是比较容易到达的,而 C2/3 水平椎间盘突出则不适合采用这用技术,因为下颌骨会遮挡工作套管置入。

经间盘入路的内镜技术的早期经验来自韩国学者 Ahn^[21],作者在文中探讨了 APECD 治疗颈椎间盘突出症的疗效差异。他发现术后症状缓解率高病例中,椎间孔突出型占 65.4%,后外侧型突出占 51.4%,中央型 34%;合并上肢放射痛的外侧型突出预后比合并颈痛的中央型突出疗效好,并且颈椎曲度改变不影响愈合。随后, Ruetten 等^[22]的一项前瞻性随机对照研究中,纳入 103 例颈椎间盘突出症患者,分别行 APECD(54 例)和标准 ACDF(49 例),术后随访 2 年;手术时间 APECD 时间显著短于 ACDF(62min vs 32min, $P<0.001$);术后短暂吞咽困难 7 例 (ACDF vs APECD=5 vs 2);ACDF 组 2 例皮下血肿;两组均无严重并发症。ACDF 组 2 例由于持续上肢疼痛行再次手术,再手术率为 6.1%;APECD 组 2 例在经历了疼痛缓解期后复发上肢疼痛,2 例术后上肢仍持续疼痛,行再次手术治疗,再手术率为 7.4%,两组数据无显著差异。另外, Tzaan^[23]也报道了 86 例颈椎间盘突出症 APECD 术后 1 年疗效,改良 Macnab 评分 29(34%)例优秀,49(57%)例良好,6(7%)例

一般,2(2%)例术后效果差,其中 1 例出现颈动脉损伤行动脉修复手术,1 例术后持续头痛,经保守治疗好转。91% 患者获得优良的手术效果。

2017 年韩国学者 Oh 等^[24]分析了其所在中心 2007~2012 年行 PECD 手术患者资料 101 例,术后平均随访 34 个月,其中 87% 的患者获得了理想的疗效。在随访过程中有 12 例因疗效不佳再次行手术治疗,二次手术时间平均在第一次术后 4.8 个月 (2d~18 个月),其中 3 例再次行 PECD,3 例行人工间盘置换,2 例椎体次全切,2 例 ACDF 手术,2 例转至其他医院手术。这 12 例共同点是年龄均较大和男性患者。

2.2 前路经椎体入路内镜技术

最早的颈椎经椎体入路是由 George 等^[24]描述的,但由于其损伤较大,在术中极易损伤椎动脉,并有导致椎体塌陷的风险。随后 Jho 等^[25]尝试经钩椎关节入路治疗神经根型颈椎病,该术式虽然保留了椎间盘容积,但破坏了钩椎关节,对颈椎的远期稳定性影响较大。此后在这两种术式的基础上逐渐演变为“经钩椎关节前路椎间孔切开术(transuncal anterior foraminotomy)”和“经椎体椎间盘切除术(transvertebral discectomy)”。前者主要应用于神经根型颈椎病,而后者主要应用于中央型颈椎间盘突出。虽然这些技术都在一定程度上保留了正常的间盘组织,但创伤仍较大,远期疗效不确切。2000 年, Nakai 等^[26]通过小的通道和显微内镜改良了经椎体入路手术技术,成为微创颈椎经椎体入路技术的开端。之后的数年,不断有学者利用微创及导航技术完善颈椎体入路^[25,27,28],并取得了良好疗效。

2016 年,邓忠良等^[22]最先报道了 PEATCD 技术。该技术可以根据盘突出位置相对灵活制定椎体内入路轨迹。对于一些存在较大头、尾端游离的间盘突出病例,PEATCD 可以避免椎体次全切及融合手术,在手术适应证上补充了经间盘入路的不足。其主要适用于与影像学结果一致的单节段中央型或旁中央型软性椎间盘突出,至少 4 周保守治疗失败,对于非完全游离型间盘突出和轻度的脊髓型颈椎病(Nurick 分级Ⅲ级以下)也能获得较好疗效^[23]。对于同时存在椎管狭窄、多节段间盘突出、后外侧型间盘突出、严重脊髓型颈椎病(Nurick 分级Ⅳ级以上者)、责任节段既往手术治疗史、间盘突出伴钙化和肥胖的患者,此项技术是禁忌证。

由于此项技术较新,临床证据尚少。杜谦等^[23]回顾分析了 2015~2016 年遵义医学院附属医院的 36 例行 PEATCD 治疗颈椎间盘突出的手术,所有患者术后和随访期间的颈部及上肢疼痛较术前均有明显缓解,神经症状的 JOA 改善率从 60%~100% 不等,平均为 (85.47±9.32)%,椎体无塌陷,椎体骨隧道在术后 3 个月有明显愈合倾向,无手术入路相关并发症。文中作者阐明建立精准的椎体隧道和钻取隧道过程中的骨止血是此项技术的关键点。术前精准的影像学测量和术中在“O”形臂导航辅助下有利于术中建立精准的骨隧道达到突出间盘组织,但是术中使用“O”

手臂会增加患者的经济负担^[25]。2018 年邓忠良等^[26]描述了他们对此项技术的改进。他们在术中应用含有放射显影剂的骨蜡,给予充分的骨隧道止血的同时还能够对骨隧道显影,有利于建立精准隧道。另外,该团队^[40]还报道了该技术在 C4 椎体上的有限元力学分析。研究显示不切除上终板的情况下,直径不超过 6mm 椎体通道与完整椎体的力学强度相当。并且建议不切除上终板时椎体通道直径不应该大于 10mm,切除上终板时椎体通道直径不应该大于 8mm。

3 后路经皮内镜技术

PPECD 是在颈椎“key-hole”技术上发展而来的。它在开放 PCF 或者 PCD 保留运动节段等优势的基础上,还能够保证充分减压的同时避免了大面积的颈后肌群剥离,从而降低了术后轴性疼痛的发生率;并且能减少术中出血及软组织损伤,从而降低了切口感染等风险。

患者术中多采用俯卧位,为避免患者的活动影响手术操作多采用全身麻醉^[41]。但是最近也有报道对于“软”性间盘突出采用局麻^[42],并取得良好疗效。麻醉成功后,经皮将内镜置入椎间关节处、磨除部分小关节、椎间孔扩大成形、切除部分黄韧带、暴露突出的椎间盘及神经根,最终在内镜下完成神经减压。其中有几个关键点:(1)根据术中透视将工作通道置入正确的手术节段的椎间关节;(2)椎间孔扩大成形及暴露神经根过程中,小关节磨除不要超过 50%^[7],过度切除小关节会增加颈椎不稳的可能性,从而导致术后颈部疼痛;(3)往往间盘组织与出口神经根有粘连,此时在工作套管的保护下分离神经根,避免损伤,如果在切除间盘组织时损伤神经根,需要及时转为开放手术进行修复;(4)良好的止血是减压的关键。硬膜外有丰富的静脉丛,一旦损伤将导致大量出血。运用双极电凝沿着间盘周围逐步凝血是减少出血的有效办法。

PPECD 适应证包括:椎间孔区或神经根出口区狭窄导致的单侧神经根型颈椎病;症状与影像学相符;至少六周保守治疗症状无好转或加重^[29]。目前其禁忌证包括:(1)致压物来自脊髓前方的脊髓型颈椎病;(2)严重的颈椎管狭窄;(3)颈椎后纵韧带骨化症以及存在颈椎不稳或者颈椎畸形。近年来,已有学者在脊髓型颈椎病等疾病的治疗方面进行了尝试,也取得了良好的效果,但远期效果还有一些争议。

根据文献报道后路经皮内镜的临床疗效可以与 ACDF 及开放后路手术相媲美。Ruetten 等^[20]最早的经验来自一组随机对照试验,比较颈椎间盘突出症患者行后路全内镜颈椎椎间孔切开术(full-endoscopic posterior cervical foraminotomy, FECF)和显微镜辅助下的 ACDF 的疗效,175 例患者(ACDF 84 例, FECF 91 例)随访 2 年, FECF 组手术平均时间显著短于 ACDF 组(28min vs 68min),术中出血量 ACDF 组小于 10ml,而 FECF 组因双极电凝产热及生理盐水稀释等因素所测出血量几乎为 0。术后满意度

ACDF 组和 FECF 组分别为 91%和 96%。两组术后均无严重并发症, ACDF 组 2 例出现短暂的吞咽困难, 1 例皮下血肿, 1 例切口瘢痕挛缩; FECF 组 3 例出现短暂的术区麻木。ACDF 组 3 例由于持续的上肢疼痛再次手术,再手术率为 4.7%; FECF 组 3 例再次手术都是术后经历过一段的无痛期的患者,其中 2 例行再次 ACDF 手术, 1 例再次行 FECF 手术,再手术率为 6.7%,两者无显著差异。

2018 年 Lee 等^[43]对 PPECD 术后患者肌力变化进行评估,纳入的神经根型颈椎病患者术前 76(76/106,72%)例存在肌力减退(49%为轻度, 23%为重度),术后 72(95%)例得到肌力提升,并且在 1、3、6、12 个月的术后随访中都有持续提升。虽然部分重度肌力减退患者未进行标准化,但也可证实其疗效。同年,郑长坤等^[45]对长征医院 PPECD 不成功病例进行分析,2013 到 2016 年 249 例手术,其中 3 例因复发或后凸加重行 ACDF; 1 例出现硬膜外血肿,行减压手术; 2 例因疼痛不缓解转为开放手术; 1 例在使用电钻时损伤硬膜,但是蛛网膜完整;最终随访 216(86.7%)例无或轻度上肢疼痛, 33(13.3%)例存在偶尔的上肢疼痛。随访期间未出现因邻近节段退变需要手术的病例。无医源性神经损伤或脑脊液漏等并发症。作者认为 PPECD 安全有效,但是建议重视入路相关并发症。

2018 年吴鹏飞等^[13]的荟萃分析中指出,在治疗神经根型颈椎病时,全内镜技术的总发病率为 5.8%,与 MED 组 3.5%无统计学差异;其中在单节段神经根病亚组中,全内镜组(4.5%)与 MED 组(3.5%)也无差异。但是在并发症组成上,全内镜组以短暂神经根麻痹(78.9%)为主, MED 组以硬膜撕裂(42.6%)为主,两组有明显差异。作者分析差异的产生可能与手术入路不同相关,但两种术式均相对安全有效。

在运动功能保护方面,一项有关三种术式治疗 C5-C6 单节段神经根型颈椎病术后颈椎瞬间转动轴(instantaneous axis of rotation, IAR)改变的比较研究^[43]中显示, PPECD 术后的 IAR 较术前几乎无变化,颈椎间盘置换(total disc replacement, TDR)术后 IAR 的变化在正常范围内, PCF 术后 IAR 改变最大且超过正常范围。由此也可推断三种术式中 PPECD 对手术节段运动功能影响最小。

4 前、后路入路的选择

APECD 具有直接、准确地到达病变靶点,在直视下去除病变组织,对于来自椎管前方的压迫可以较处理好等特点。但许多专家认为微创技术学习曲线陡峭,对于初学者而言,并发症发生率会有所增加^[46,47]。气管、食管会随呼吸及吞咽活而移动,这使得前路如何确定穿刺针的安全角度和区域变得困难;另外,前路经椎间盘入路多采用局麻,患者的痛阈和状态将直接影响手术操作和术后效果。对于颈椎前路手术融合手术对于是否加速邻近节段退变尚有争议^[48,49]。而 APECD 属于非融合颈椎手术,是否能够降低邻近节段退变的发生尚不明确。另外,对于 APECD 术后间

盘高度变化^[50]、间盘 Modic 信号^[51]、颈椎生理曲度等影像学变化与术后远期疗效尚少。

相对于前路,后路优势为:无重要脏器及神经、血管,入路相关并发症较少;运动节段保护;对于上位颈椎(C3-C4)及下位颈椎(C6-T1)手术更有优势;可以置入更大直径的手术通道,获得更大、更清晰的手术视野;手术过程与腰椎经皮内镜手术更相似。同样其学习曲线陡峭,并且多数需要完成骨性结构的切除,在未能熟练掌握内镜手术的情况下,会大大增加手术并发症的风险;另外,一次手术只能完成一侧减压,对于双侧压迫无法同时获得良好疗效。

APECD 与 PPECD 在手术器械方面也略有差别。由于无椎间高度限制,后入路工作通道和器械口径可大于前路,并可完成更多操作;前路多采用 0°角内镜,可以直视病变间盘组织,而后路采用 20°~30°角内镜允许更大角度的视野;后路多需要完成骨切除,所以多动力系统要求较高。

对于术式选择^[11, 52, 53],是要根据影像学判断颈椎间盘突出部位,对于中央型和旁中央型的突出,前路处理更优;对于椎间孔区或者外侧型椎间盘突出,后路更理想。其次,需要考虑是否存在神经根入口和椎间孔区的狭窄,此类患者行后路手术更适合,前路很难取得良好疗效。另外,对于之前已行颈部手术的患者,手术入路正常解剖结构改变、瘢痕形成,会对再次手术造成较大干扰^[54]。为规避风险,不同入路是较好选择。最后,前路手术可采用局部麻醉,对于无法耐受全身麻醉手术的病人是很好的选择。

目前对于双侧神经根型颈椎病,PECD 技术尚无法对完成类似于腰椎内镜技术的单侧入路双侧减压。对于多节段的神经根型颈椎病的疗效报道尚少^[55],疗效有待观察。在治疗脊髓型颈椎病方面部分学者做出尝试^[56],但很多学者认为脊髓型颈椎病退变导致的多因素压迫致脊髓损伤,单纯 PECD 很难完全解除压迫,另外有神经损伤风险存在,所以目前争议较大。

综上所述,PECD 是一项新兴的微创技术,可广泛应用于多种类型的颈椎病,且已有大量文献证实其短期疗效良好,但在应用时需要严格把握适应证。

5 参考文献

1. Nouri A, Tetreault L, Singh A, et al. Degenerative cervical myelopathy: epidemiology, genetics, and pathogenesis[J]. Spine, 2015, 40(12): E675-693.
2. Fehlings MG, Tetreault LA, Riew KD, et al. A clinical practice guideline for the management of patients with degenerative cervical myelopathy: recommendations for patients with mild, moderate, and severe disease and nonmyelopathic patients with evidence of cord compression [J]. Global Spine J, 2017, 7(3 Suppl): 70S-83S.
3. Rhee JM, Ju KL. Anterior cervical discectomy and fusion[J]. JBJS Essent Surg Tech, 2016, 6(4): e37.
4. Marawar S, Girardi FP, Sama AA, et al. National trends in

anterior cervical fusion procedures[J]. Spine, 2010, 35(15): 1454-1459.

5. Veeravagu A, Cole T, Jiang B, et al. Revision rates and complication incidence in single- and multilevel anterior cervical discectomy and fusion procedures: an administrative database study[J]. Spine J, 2014, 14(7): 1125-1131.
6. Fountas KN, Kapsalaki EZ, Nikolakakos LG, et al. Anterior cervical discectomy and fusion associated complications [J]. Spine, 2007, 32(21): 2310-2317.
7. Riew KD, Cheng I, Pimenta L, et al. Posterior cervical spine surgery for radiculopathy[J]. Neurosurgery, 2007, 60(Suppl_1): S57-S63.
8. Kang MS, Choi KC, Lee CD, et al. Effective cervical decompression by the posterior cervical foraminotomy without discectomy[J]. J Spinal Disorders, 2014, 27(5): 271-276.
9. Dayananda S, Mehta A, Agarwal N, et al. Impact of perioperative neurologic deficits on clinical outcomes after posterior cervical fusion[J]. World Neurosurg, 2018, 116(5): 217-227.
10. Guzman JZ, Baird EO, Fields AC, et al. C5 nerve root palsy following decompression of the cervical spine: a systematic evaluation of the literature[J]. Bone Joint J, 2014, 96-B(7): 950-955.
11. Papavero L, Kothe R. Minimally invasive posterior cervical foraminotomy for treatment of radiculopathy[J]. Oper Orthop Traumatol, 2018, 30(1): 36-45.
12. Ruetten S, Komp M, Merk H, et al. Full-endoscopic anterior decompression versus conventional anterior decompression and fusion in cervical disc herniations[J]. Int Orthop, 2009, 33(6): 1677-1682.
13. Wu PF, Liu BH, Wang B, et al. Complications of full-endoscopic versus microendoscopic foraminotomy for cervical radiculopathy: a systematic review and meta-analysis [J]. World Neurosurg, 2018, 114(9): 217-227.
14. Kim CH, Kim KT, Chung CK, et al. Minimally invasive cervical foraminotomy and discectomy for laterally located soft disk herniation[J]. Eur Spine J, 2015, 24(12): 3005-3012.
15. Kambin P, Sampson S. Posterolateral percutaneous suction-excision of herniated lumbar intervertebral discs. Report of interim results [J]. Clin Orthop Relat Res, 1986, 207: 37-43.
16. Hijikata S. Percutaneous nucleotomy. A new concept technique and 12 years' experience [J]. Clin Orthop Relat Res, 1989, 238: 9-23.
17. Tajima T, Sakamoto H, Yamakawa H. Discectomy cervicale percutanee. Rev med discectomy cervicale percutanee[J]. Rev Med Orthop, 1989, 17: 7-10.
18. Ahn Y, Lee SH, Shin SW. Percutaneous endoscopic cervical discectomy: clinical outcome and radiographic changes [J]. Photomed Laser Surg, 2005, 23(4): 362-368.
19. Nakai S, Yoshizawa H, Kobayashi S, et al. Anterior transvertebral herniotomy for cervical disk herniation [J]. J Spinal Disorders, 2000, 13(1): 16-21.
20. Ruetten S, Komp M, Merk H, et al. Full-endoscopic cervi-

- cal posterior foraminotomy for the operation of lateral disc herniations using 5.9-mm endoscopes [J]. *Spine*, 2008, 33(9): 940-948.
21. Ruetten S, Komp M, Merk H, et al. A new full-endoscopic technique for cervical posterior foraminotomy in the treatment of lateral disc herniations using 6.9-mm endoscopes: prospective 2-year results of 87 patients [J]. *Minim Invasive Neurosurg*, 2007, 50(4): 219-226.
 22. Deng ZL, Chu L, Chen L, et al. Anterior transcorporeal approach of percutaneous endoscopic cervical discectomy for disc herniation at the C4-C5 levels: a technical note[J]. *J Spine*, 2016, 16(5): 659-666.
 23. Du Q, Wang X, Qin JP, et al. Percutaneous full-endoscopic anterior transcorporeal procedure for cervical disc herniation: a novel procedure and early follow-up study[J]. *World Neurosurg*, 2018, 112(5): e23-e30.
 24. Liao C, Ren Q, Chu L, et al. Modified posterior percutaneous endoscopic cervical discectomy for lateral cervical disc herniation: the vertical anchoring technique[J]. *Eur Spine J*, 2018, 27(6): 1460-1468.
 25. Kim JS, Eun SS, Prada N, et al. Modified transcorporeal anterior cervical microforaminotomy assisted by O-arm-based navigation: a technical case report[J]. *Eur Spine J*, 2011, 20(S2): 147-152.
 26. Bohlman HH, Emery SE, Goodfellow DB, et al. Robinson anterior cervical discectomy and arthrodesis for cervical radiculopathy. Long-term follow-up of one hundred and twenty-two patients[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1993, 75(9): 1298-1307.
 27. Tzaan WC. Anterior percutaneous endoscopic cervical discectomy for cervical intervertebral disc herniation [J]. *J Spinal Disorders*, 2011, 24(7): 421-431.
 28. Gulsen S, Caner H, Altinors N. An Anatomical variant: low-lying bifurcation of the common carotid artery, and its surgical implications in anterior cervical discectomy [J]. *J Korean Neurosurg Soc*, 2009, 45(1): 32-34.
 29. Ahn Y. Percutaneous endoscopic cervical discectomy using working channel endoscopes [J]. *Expert Rev Med Devices*, 2016, 13(6): 601-610.
 30. Lee SH, Kim KT, Jeong BO, et al. The safety zone of percutaneous cervical approach [J]. *Spine*, 2007, 32 (20): E569-E574.
 31. Ahn Y, Lee SH, Lee SC, et al. Factors predicting excellent outcome of percutaneous cervical discectomy: analysis of 111 consecutive cases[J]. *Neuroradiology*, 2004, 46(5): 378-384.
 32. Tzaan WC. Anterior percutaneous endoscopic cervical discectomy for cervical intervertebral disc herniation: outcome, complications, and technique[J]. *J Spinal Disorders*, 2011, 24 (7): 421-431.
 33. George B, Zerah M, Lot G, et al. Oblique transcorporeal approach to anteriorly located lesions in the cervical spinal canal [J]. *Acta Neurochir*, 1993, 121(3-4): 187-190.
 34. Oh HS, Hwang BW, Park SJ, et al. Percutaneous endoscopic cervical discectomy (PECD): an analysis of outcome, causes of reoperation[J]. *World Neurosurg*, 2017, 102(3): 583-592.
 35. Jho HD. Microsurgical anterior cervical foraminotomy for radiculopathy: a new approach to cervical disc herniation[J]. *J Neurosurg Spine*, 1996, 84(2): 155-160.
 36. Nakai S, Yoshizawa H, Kobayashi S, et al. Anterior transvertebral herniotomy for cervical disk herniation [J]. *J Spinal Disorders*, 2000, 13(1): 16-21.
 37. Sakai T, Katoh S, Sairyo K, et al. Anterior transvertebral herniotomy for cervical disc herniation[J]. *J Spinal Disorders*, 2009, 22(6): 408-412.
 38. Umabayashi D, Hara M, Nakajima Y, et al. Transvertebral anterior cervical foraminotomy: midterm outcomes of clinical and radiological assessments including the finite element method[J]. *Eur Spine J*, 2013, 22(12): 2884-2890.
 39. Chu L, Yang JS, Yu KX, et al. Usage of bone wax to facilitate percutaneous endoscopic cervical discectomy via anterior transcorporeal approach for cervical intervertebral disc herniation[J]. *World Neurosurg*, 2018, 118(3): 102-108.
 40. Wu Wk, Yan Zj, Zhang Tf, et al. Biomechanical influences of transcorporeal tunnels on C4 vertebra under physical compressive load under flexion movement: a finite element analysis[J]. *World Neurosurg*, 2018, 114(5): e199-e208.
 41. Komp M, Oezdemir S, Hahn P, et al. Full-endoscopic posterior foraminotomy surgery for cervical disc herniations [J]. *Oper Orthop Traumatol*, 2018, 30(1): 13-24.
 42. Wan Q, Zhang D, Li S, et al. Posterior percutaneous full-endoscopic cervical discectomy under local anesthesia for cervical radiculopathy due to soft-disc herniation: a preliminary clinical study[J]. *J Neurosurg Spine*, 2018, 39(1): 1-7.
 43. Kim CH, Park TH, Chung CK, et al. Changes in cervical motion after cervical spinal motion preservation surgery [J]. *Acta Neurochir*, 2018, 160(2): 397-404.
 44. Lee U, Kim CH, Chung CK, et al. The recovery of motor strength after posterior percutaneous endoscopic cervical foraminotomy and discectomy[J]. *World Neurosurg*, 2018, 115 (3): e532-e538.
 45. Zheng C, Huang X, Yu J, et al. Posterior percutaneous endoscopic cervical discectomy: a single-center experience of 252 cases[J]. *World Neurosurg*, 2018, 118(5): e532-e538.
 46. 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.
 47. Wang B, Lü G, Patel AA, et al. An evaluation of the learning curve for a complex surgical technique: the full endoscopic interlaminar approach for lumbar disc herniations[J]. *J Spine*, 2011, 11(2): 122-130.
 48. Matsumoto M, Okada E, Ichihara D, et al. Anterior cervical decompression and fusion accelerates adjacent segment degeneration: comparison with asymptomatic volunteers in a ten-year magnetic resonance imaging follow-up study [J].

血-脊髓屏障修复在脊髓损伤治疗中作用的研究进展

Research progress in the effect of blood-spinal cord barrier repairment
in the treatment of spinal cord injury

余正然, 王晓波, 龙厚清

(中山大学附属第一医院东院脊柱外科 510700 广州市)

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2019.02.14

中图分类号: R683.2 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2019)-02-0179-06

由于现代社会交通、工业的发展, 脊髓损伤(spinal cord injury, SCI)的患者不断增加, 我国 SCI 年患病率为 37 人/100 万, 尤以青壮年男性高发, 但对于 SCI 目前缺乏有效的治疗手段, 临床预后较差^[1], 其导致的瘫痪和劳动力丧失给患者、家庭和社会带来沉重的经济负担^[2]。血-脊髓屏障(blood-spinal cord barrier, BSCB)是循环系统中在中枢神经系统中形成的特殊结构, 介导血管内外的物质交换^[3]。研究表明, SCI 后 BSCB 的破坏可导致脊髓水肿、出血、氧化应激和过度炎症反应等继发性损伤^[4], BSCB 的修复可促进 SCI 后脊髓形态的重建和功能的恢复^[5]。笔者对 BSCB 修复在 SCI 治疗中作用的研究进展综述如下。

1 BSCB 的生理结构及功能

BSCB 是血液和脊髓的神经组织之间隔着一层功能

性解剖结构, 在生理状态下介导血管和神经组织之间氧气、营养物质与代谢废物交换, 并保护中枢系统免受血液中有毒物质及免疫细胞的影响^[6]。它主要由三种成分组成: 细胞、细胞间连接蛋白和基底膜。它们作为一个整体互相作用, 严格限制了物质的跨膜运输^[5]。

构成 BSCB 的细胞包括血管内皮细胞(endothelial cells, ECs)、周细胞(pericytes)和星形胶质细胞^[6]。ECs 是 BSCB 中最重要的组成部分。相对于外周的 ECs, 中枢神经系统(CNS)的 ECs 的细胞间连接更加紧密, 胞吞跨细胞转运速率更低, 且表达的白细胞黏附分子更少, 从而有助于增强 BSCB 的屏障作用和减少炎性物质的通过^[6]。周细胞和星形胶质细胞覆盖在 ECs 周围, 参与 BSCB 的发育和维持, 并共同调节其屏障功能^[7]。

BSCB 血管内皮细胞间连接方式主要有紧密连接和黏附连接^[8]。紧密连接蛋白主要包括闭合蛋白(claudins)、咬合蛋白(occludin)、连接粘附分子(junctional adhesion molecules, JAMs)和闭合小环蛋白(zona occludens, ZO-1、ZO-2 和 ZO-3)。它们连接起了相邻细胞的细胞骨架, 奠定了 BSCB 最基本的结构基础。黏附连接蛋白主要包括血管

第一作者简介: 男(1993-), 住院医师, 硕士研究生, 研究方向: 脊柱外科

电话: (020)82379597 E-mail: zr_yu@126.com

通讯作者: 龙厚清 E-mail: houqinglong@163.com

Spine, 2010, 35(1): 36-43.

49. Lee JH, Lee SH. Clinical and radiographic changes after percutaneous endoscopic cervical discectomy: a long-term follow-up[J]. Photomed Laser Surg, 2014, 32(12): 663-668.
50. Yao N, Wang C, Wang W, et al. Full-endoscopic technique for anterior cervical discectomy and interbody fusion: 5-year follow-up results of 67 cases[J]. Eur Spine J, 2011, 20(6): 899-904.
51. Nakamura S, Taguchi M. Percutaneous endoscopic cervical discectomy: surgical approaches and postoperative imaging changes[J]. Asian Spine J, 2018, 12(2): 294-299.
52. Quillo-Olvera J, Lin GX, Kim JS. Percutaneous endoscopic cervical discectomy: a technical review[J]. Ann Transl Med, 2018, 6(6): 100. doi: 10.21037/atm.2018.02.09.
53. Ahn Y. Percutaneous endoscopic cervical discectomy using

working channel endoscopes [J]. Expert Rev Med Devices, 2016, 13(6): 601-610.

54. Burkhardt BW, Müller S, Oertel JMK. Influence of prior cervical surgery on surgical outcome of endoscopic posterior cervical foraminotomy for osseous foraminal stenosis[J]. World Neurosurg, 2016, 95(5): 14-21.
55. Youn MS, Shon MH, Seong YJ, et al. Clinical and radiological outcomes of two-level endoscopic posterior cervical foraminotomy[J]. Eur Spine J, 2017, 26(9): 2450-2458.
56. Yadav Y, Parihar V, Rathe S, et al. Endoscopic decompression of cervical spondylotic myelopathy using posterior approach[J]. Neurol India, 2014, 62(6): 640-645.

(收稿日期: 2018-07-06 末次修回日期: 2018-10-19)

(本文编辑 姜雅浩)