

· 综 述 · doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2022.03.035

网络首发 [https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1097.R.20211206.1036.002.html\(2021-12-07\)](https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1097.R.20211206.1036.002.html(2021-12-07))

颈后路单开门椎管成形术术式改良的研究进展*

刘法敬¹综述,许海委¹,田金辉²,王 雪¹审校

(1.天津市天津医院脊柱外科 300000;2.河北省邯郸市中心医院脊柱外科 056001)

[摘要] 脊髓型颈椎病(CSM)是临床常见的一种脊柱退行性疾病,可导致四肢麻木、无力,甚至大小便功能障碍。单开门椎管成形术是治疗CSM的经典术式,但术中颈后肌群的大范围剥离及韧带复合体的破坏,使得术后颈部肌肉萎缩、颈椎曲度丢失及轴性疼痛症状在患者的恢复过程中如影随形。因此,临床上针对单开门椎管成形术的术式改良从未中断过,如保留或重建颈半棘肌的C2棘突止点、重建韧带复合体、在通道下椎管成形减少肌群损伤及设计新型内固定装置来重建颈后伸肌附着点等,以期获得一定程度的临床改善。本文就近年来关于肌肉附着点和韧带复合体保留及重建技术进行综述。

[关键词] 脊髓型颈椎病;单开门椎管成形术;肌肉韧带复合体;轴性症状

[中图分类号] R681.5

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-8348(2022)03-0520-05

Research progress of muscle ligament complex and muscle attachment point preservation or reconstruction in open door laminoplasty*

LIU Fajing¹, XU Haiwei¹, TIAN Jinhui², WANG Xue¹

(1. Department of Spine Surgery, Tianjin Hospital, Tianjin 300000, China; 2. Department of Spine Surgery, Handan central Hospital, Handan, Hebei 056001, China)

[Abstract] Cervical spondylotic myelopathy (CSM) is a clinically common spinal degenerative disease, can lead to numbness and weakness of the limbs and even defecation and urination dysfunction. Open door laminoplasty is a classic procedure in treating CSM, but it can cause extensive posterior cervical muscle stripping and ligament complex destruction in the surgery, which makes the postoperative cervical muscle atrophy, cervical curvature loss and axial pain during the recovery process. Therefore, the surgical improvement of open door laminoplasty has never been interrupted. Such as retaining or reconstructing the semispinalis muscle in the C2 spinous process, reconstructing the ligament complex, laminoplasty under mobile micro endoscopic and designing a new fixation device to reconstruct the attachment point, etc. This paper review the preservation and reconstruction of muscle ligament complex and muscle attachment point at present.

[Key words] cervical spondylotic myelopathy; open door laminoplasty; muscle ligament complex; axial symptoms

颈后路单开门椎管成形术(laminoplasty)是治疗多节段脊髓型颈椎病(M-CSM)的一种常用术式,术中将后方椎板掀开一定角度来增加椎管容积,脊髓可以在“弓弦”原理的作用下向后漂移,从而避开前方致压物的压迫,达到缓解脊髓压迫的目的^[1-2]。颈后路单开门椎管成形术与颈前路减压固定术相比,具有手术视野大、手术时间短、操作简单、术后颈椎活动度影响小及可同时解除多节段脊髓压迫等优点^[3];但颈后肌肉组织的广泛剥离、棘突及韧带组织的切除、椎板

原有解剖结构的改变,可导致术后出现颈后肌肉萎缩、生物力学失衡及轴性症状的发生^[2,4-6]。颈后肌肉韧带复合体(MLC)是颈椎重要的维稳结构,其包括棘突、棘上韧带、棘间韧带及棘突上所附着的肌肉组织,对颈椎的静/动态力学平衡及生理曲度的维持起到重要作用^[7]。因此,国内外的专家学者不断尝试对单开门椎管成形术术式进行改良,以期减小术中对关键肌肉止点及MLC的破坏^[2,6,8]。作者查阅并总结现有文献发现,目前以保留或重建颈半棘肌C2止点、保护

* 基金项目:国家自然科学基金青年科学基金项目(31500781);河北省医学科学研究重点课题计划项目(20191830)。 作者简介:刘法敬(1982-),副主任医师,博士,主要从事脊柱退行性疾病的诊断及治疗。

MLC及重建颈后肌群附着点的临床报道居多。

1 保留或重建颈伸肌的C2及C7止点

颈半棘肌是颈后伸肌群中最重要的组成肌束,起始于上位胸椎的横突,止于C2~5的棘突,其中以C2的棘突止点最为重要,颈半棘肌在维持颈椎后方张力、保持颈椎前凸等方面具有重要的作用。有文献报道,其收缩时产生的后伸力矩占到颈后伸肌群总收缩力矩的37%^[5]。除颈半棘肌外,颈后第四层肌群里的头下斜肌、多裂肌、头后大直肌、回旋肌及棘突间肌均止于C2棘突,上述肌肉止点一旦被破坏,容易出现颈后肌群张力不足问题^[9]。在常规的单开门椎管成形术中,为显露C3的侧块和C2/3之间的黄韧带,需部分剥离C2棘突上的肌肉止点,如果术中得不到很好的修复,可使颈椎的张应力作用减弱,导致术后颈椎曲度丢失及后凸畸形发生^[2,9-10]。C7棘突是项韧带的重要止点,同时亦是斜方肌和小菱形肌的起点,作为韧带复合体的重要组成部分,可增加颈后韧带复合体的力臂长度^[11]。

1.1 重建颈半棘肌C2止点

常规单开门椎板成形术需要暴露C3~7节段的棘突和椎板,术中为显露C3椎板的外上缘,须离断C2棘突止点的下半部分^[12];因此,部分学者首先考虑到的是如何做好颈半棘肌完整性的重建。有研究对累及C2水平的CSM患者,术中将颈半棘肌剥离后穿线捆扎备用,待椎板开门后再将颈半棘肌缝合重建到C2棘突根部^[2,13]。由于肌纤维呈纵向走形,术中有时很难重建被剥离肌肉在枢椎棘突上的止点,即使强行将颈半棘肌等颈后伸肌群缝合重建,术后仍有18%的患者出现颈椎后伸无力,严重者将导致颈椎后凸畸形发生^[14]。考虑到丝线缝合肌肉断端所提供的力学强度略差,CHENG等^[10]将C2的棘突顶端连同附着的肌肉一起截除,下方椎板开门后再将所截除的髓骨结构重新原位固定到棘突上,这种重建方法无论从固定后的力学强度还是远期骨愈合所提供的稳定性上均优于前者。LAU等^[15]认为,即使术中对颈半棘肌附着点进行重建,术后仍然有18%~32%的患者出现轴性症状。因此,如何保持颈半棘肌的完整性似乎要比重建肌肉止点更为有效。

1.2 保留颈半棘肌C2止点

在解剖结构上,C2椎板下缘部分覆盖到C3椎板的上缘,这就给C3节段的开门造成不便;因此,有研究尝试采用C3椎板切除联合C4~7单开门的方法来消除椎板叠加所造成的影响,同时又不影响脊髓的减压效果^[16-17]。这一术式改良不仅解决了C3椎板开门问题,还保留了颈半棘肌在C2棘突止点的完整性,从而使轴性症状的发生率从50.0%降低到17.5%^[16]。张亘瑛等^[14]采用的C3椎板切除、C4~7棘突重建术式不仅兼顾了C3椎板切除,还重建了开门后的棘突-

韧带复合体结构,成功解决了颈半棘肌完整性问题,使轴性症状严重程度明显降低。C3椎板的切除不会影响到颈椎术后的整体稳定性,相反,颈椎生理曲度^[12]及颈椎活动度^[9]得到更好的维持。SECKER等^[18]建议在术中显露时,应尽量保留棘上及棘间韧带,尤其是附着在C2和C7棘突上的肌肉组织,这样可以避免肌肉萎缩和轴性症状发生。

1.3 保留或重建C7肌肉附着点

在解剖结构上,C7棘突最长,而且处于颈椎序列的最低端,颈椎在行屈伸运动时,所承受的张应力最大,同时在维持颈椎稳定性上发挥重要作用。梁昌详等^[9]认为C7棘突是小斜方肌和菱形肌的重要附着点,因此,对累及C7水平的M-CSM,其推荐采用C3椎板切除、C4~C6椎板开门、保留C7棘突的椎板上缘切除术治疗。YEH等^[19]所开展的单开门椎管成形改良术式中,兼顾了颈半棘肌的重建和C7棘突的保留;术中切除C7部分椎板但保留棘突结构,联合行C3~6节段的单开门钛板固定,同时将剥离的颈半棘肌重新缝合到C2棘突上,此举可以降低轴性症状的严重程度和减轻颈椎活动度的丢失。KÖNIG等^[20]考虑到保留C7棘突的重要性,于是在行椎板切除脊髓减压后,尝试在椎板两侧采用钛板支撑固定的方法来重建棘突的完整性,为肌肉的附着创造条件。保留C7棘突的潜行椎板减压不会影响到颈髓的减压效果,但却可以维持颈后关键肌的附着并增加伸肌群的力臂,在减轻患者术后轴性症状及维持颈椎活动度上优势明显^[9,11,19-21]。

2 保护MLC及重建附着点

常规单开门椎管成形术需要切断棘上/棘间韧带、黄韧带等结构,部分去除颈椎棘突,不仅影响到颈椎结构的完整性和稳定性,还影响到颈后不同层次伸肌的附着,因此,术后容易出现轴性症状和曲度丢失等并发症^[2,5-8,13];术中尽量保留或重建颈后MLC已成为脊柱外科专家的共识^[8,13-14,22]。UMEDA等^[23]对采用保护后方韧带复合体单开门椎管成形术的40例患者进行短期临床随访发现,术后2年时患者的颈椎前凸角为12.0°,较术前的11.7°无明显丢失,但颈椎活动度出现显著丢失,仅为术前的86%($P < 0.05$)。MLC具有很好地抵抗屈曲并提供颈椎张力的作用,因此,单开门术中针对MLC的各种保护性和重建性措施已在临床上不断涌现。

2.1 保护MLC

徐宝山等^[22]对局限性(≤ 2 个节段)颈椎管狭窄患者采用可移动式椎间盘镜(MMED)对椎管进行扩大成形,而ZHANG等^[24]则在全脊柱内镜辅助下行双侧椎板成形术,之后双侧钛板支撑固定椎板,这样不仅保留了棘突-韧带复合体和深层的伸肌,还使椎板减压节段不再受限。这两种内镜手术除兼具肌肉损

伤小、出血量少及卧床时间短等优点外,均完整地保留了颈后方韧带复合体结构。安忠诚等^[25]对 M-CSM 患者采用改良的肌间隙入路单开门椎管成形术治疗,即沿头半棘肌和头最长肌之间的间隙双侧显露颈半棘肌,之后沿颈半棘肌外缘进一步显露椎板开槽处,松解棘间韧带后将椎板掀开并固定。此方法能最大限度保留颈后方结构,有利于术后早期的功能锻炼,但棘突、韧带及两侧附带的肌肉亦会成为潜在性地影响椎板开门的不利因素。李东风等^[26]建议在单开门术中可将棘上韧带连同对侧的肌肉组织一起剥离,并尽量维持原棘突长度,这样可以较好地保留棘上和棘间韧带组织,有利于减少术后颈椎曲度的丢失。

对于单开门术后颈椎曲度变小这一问题存在很多推论,其中颈椎后方骨性结构的破坏^[1,5]、肌肉及韧带复合体的损伤^[8-12,14-15,26-28]、术后关键伸肌横截面积的萎缩^[8,26-27]等。有学者认为术前颈椎后凸是颈髓受压后的一种代偿性或保护性反应,因为过伸状态下颈椎容积减小,而屈曲状态下颈椎管容积会相应变大^[29]。在一项大样本的影像学研究发现,术后 3 年时,尽管有 7.2%(33/457)的患者颈椎生理曲度由前凸变为后凸,但仍有 13.8%(63/457)的病例由后凸畸形恢复为前凸状态。当然,患者在颈椎减压术后能否恢复为生理性前凸,除了坚强内固定物提供的矫形作用外^[30],仍需颈后伸肌和韧带复合体发挥关键作用。国外学者 NORI 等^[28]进行的一项回顾性研究发现,MLC 保留越多,术后发生颈椎后凸的风险越低。

2.2 重建 MLC 附着点

MLC 的重建分为简单的肌肉附着点重建和肌-骨结构的整体重建。有研究通过在棘突根部钻孔的方法来重建 MLC,此方法简单,只需用慕丝线将肌肉-韧带重新缝合到棘突根部,术后颈后肌群横径面积获得较好维持^[2,26]。随着新技术临床转化的提速,新型内置物也为重建 MLC 提供了便利条件。苗军等^[31]设计了新型多孔钛板,近端两孔用于固定椎板,远端一孔可以为 MLC 提供缝合的附着点。上述两种重建方法均以最简单的方式实现了 MLC 的重建,但仍存在单纯缝线所提供的生物力学强度差等缺点。

夏天等^[27]研究发现,椎旁肌肉一旦被剥离后其肌肉容积会出现明显减小。因此,有限剥离联合肌-骨结构的重建方法受到越来越多的关注。相关研究多采用截骨重建的方式来保留 MLC 结构,即只剥离一侧的椎旁肌肉组织,显露棘突及椎板后,在棘突根部截断,之后继续沿对侧椎板剥离至小关节边缘,完成开门后再将棘突及 MLC 用丝线缝合固定到棘突残端根部^[17]或用钛缆固定到去皮质化的开门侧椎板上^[27],甚至采用可塑型的多孔钛板来固定漂浮的肌-骨结构^[8]。此术式将传统开门后的肌腱-肌肉-骨愈合界面

改为棘突骨-椎板骨愈合界面,其稳定性要优于棘突-韧带复合体去除的单开门手术,有利于早期功能锻炼,从而减少颈后肌群的萎缩和筋膜炎的发生。与保留双侧半棘肌的改良肌间隙入路术式^[25,32]相比,具有明显优势,因为肌间隙入路在椎板开门前不仅需要破坏头尾端的棘间韧带,而且开门后棘突-韧带复合体处于偏中心位置,改变了颈椎原有的冠状面力线及左右侧肌肉的力学平衡。

2.3 保护或重建 MLC 的影像学体现

术后颈后肌群的萎缩情况常采用肌肉横截面积来评估,可以在颈椎磁共振成像(MRI)横断面上测量 C3~4 或 C4~5 水平斜方肌、头夹肌、头半棘肌、颈半棘肌、多裂肌的横截面积^[2,26,33],亦可以测量每个椎间隙水平的面积,取其平均值作为最终结果^[8,27]。经临床对比研究发现,肌肉附着点重建虽然方法简单,但其颈后肌群横截面积要明显超过肌肉对层缝合的患者(未重建)^[26,31]。有研究发现,截骨重建法单开门术后,开门侧椎旁肌横截面积较术前减少,门轴侧横截面积无明显变化^[6,8]。夏天等^[27]研究发现,MLC 被保留的门轴侧,术后早期肌肉非但没有萎缩,其横截面积还有所增加;中期(术后 2 年)时,脂肪浸润程度明显减轻,所代表的是实际有效面积明显增加。因此,无论是肌肉附着点重建还是肌-骨结构整体重建的相关术式改良,对于减轻和避免肌肉萎缩均发挥了重要作用。

3 展 望

颈后路单开门椎管成形术中保留或重建肌肉附着点及韧带复合体尤为重要,不仅可以保持颈后伸肌的张应力来维持颈椎生理曲度,还能减轻颈后肌群的萎缩,降低轴性症状的发生。但保留或重建附着点及韧带复合体每种有益尝试,都可能会潜在性地增加椎板开门的难度和手术操作的复杂性;随着新型手术器械和内固定装置的不断研发与临床应用,有理由相信,新的、更加完备的单开门改良术式会源源不断地在临床上涌现,从而推动脊柱外科技术及学术水平的发展与飞跃。

参考文献

- [1] HIRANO Y, OHARA Y, MIZUNO J, et al. History and evolution of laminoplasty [J]. *Neurosurg Clin N Am*, 2018, 29(1): 107-113.
- [2] 王涛, 尚平福, 徐钦华, 等. 颈椎后路不同减压内固定术治疗累及 C2 节段脊髓型颈椎病的疗效对比[J]. *山东医药*, 2019, 59(17): 66-69.
- [3] ZHOU C, LIU C, PANCHAL R R, et al. Modified expansive laminoplasty and fusion compared with anterior cervical surgeries in treat-

- ting four-level cervical spondylotic myelopathy [J]. *J Int Med Res*, 2019, 47(6):2413-2423.
- [4] HEALY A T, LUBELSKI D, WEST J L, et al. Biomechanics of open-door laminoplasty with and without preservation of posterior structures [J]. *J Neurosurg Spine*, 2016, 24(5):746-751.
- [5] KIMURA A, SHIRAISHI Y, INOUE H, et al. Predictors of persistent axial neck pain after cervical laminoplasty [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2018, 43(1):10-15.
- [6] CHEN C, YANG C, YANG S, et al. Clinical and radiographic outcomes of modified unilateral open-door laminoplasty with posterior Muscle-Ligament complex preservation for cervical spondylotic myelopathy [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2019, 44(24):1697-1704.
- [7] LIN S R, ZHOU F F, SUN Y, et al. The severity of operative invasion to the posterior muscular-ligament complex influences cervical sagittal balance after open-door laminoplasty [J]. *Euro Spine J*, 2015, 24(1):127-135.
- [8] 陈超, 杨操, 杨述华, 等. 保留后伸肌肉韧带复合体的椎管成形术治疗颈椎后纵韧带骨化症 [J]. *中华骨科杂志*, 2018, 38(24):1511-1521.
- [9] 梁昌详, 梁国彦, 肖丹, 等. C3 椎板切除、保留 C7 棘突的改良椎管成形术治疗颈椎后纵韧带骨化症 [J]. *中华骨科杂志*, 2018, 38(24):1502-1510.
- [10] CHENG Z H, CHEN W S, YAN S G, et al. Expansive Open-Door cervical laminoplasty; in situ Reconstruction of extensor muscle insertion on the C2 spinous process combined with Titanium miniplates internal fixation [J]. *Medicine (Baltimore)*, 2015, 94(28):e1171.
- [11] TAKEUCHI T, SHONO Y. Importance of preserving the C7 spinous process and attached nuchal ligament in French-door laminoplasty to reduce postoperative axial symptoms [J]. *Eur Spine J*, 2007, 16(9):1417-1422.
- [12] 梁昌详, 梁国彦, 昌耘冰, 等. 改良椎板成形术治疗颈椎后纵韧带骨化症术后颈椎矢状位参数变化与临床疗效关系 [J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2020, 30(3):240-247.
- [13] 田金辉, 李志远, 刘法敬, 等. 颈后伸肌附着点重建椎管成形术对累及 C2 节段脊髓型颈椎病的疗效 [J]. *中国康复理论与实践*, 2019, 25(2):224-229.
- [14] 张亘瑗, 侯宇, 陈迎春, 等. C3 椎板切除并重建 C4-7 棘突的改良单开门椎板成形术 [J]. *首都医科大学学报*, 2019, 40(4):522-527.
- [15] LAU D, WINKLER E A, THAN K D, et al. Laminoplasty versus laminectomy with posterior spinal fusion for multilevel cervical spondylotic myelopathy: influence of cervical alignment on outcomes [J]. *J Neurosurg Spine*, 2017, 27(5):508-517.
- [16] TAKEUCHI K, YOKOYAMA T, ABURAKA WA S, et al. Axial symptoms after cervical laminoplasty with C3 laminectomy compared with conventional C3-C7 laminoplasty: a modified laminoplasty preserving the semispinalis cervicis inserted into axis [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2005, 30(22):2544-2549.
- [17] HOSONO N, SAKAURA H, MUKAI Y, et al. C3-6 laminoplasty takes over C3-7 laminoplasty with significantly lower incidence of axial neck pain [J]. *Eur Spine J*, 2006, 15(9):1375-1379.
- [18] SECER H I, HARMAN F, AYTAR M H, et al. Open-door Laminoplasty with Preservation of Muscle Attachments of C2 and C7 for Cervical Spondylotic Myelopathy: Retrospective Study [J]. *Turk Neurosurg*, 2018, 28(2):257-262.
- [19] YE H K T, CHEN I H, YU T C, et al. Modified expansive open-door laminoplasty technique improved postoperative neck pain and cervical range of motion [J]. *J Form Med Assoc*, 2015, 114(12):1225-1232.
- [20] KÖNIG S A, SPETZGER U. Modified open-door laminoplasty for the surgical treatment of cervical spondylotic myelopathy in elderly patients [J]. *Acta Neurochir (Wien)*, 2014, 156(6):1225-1230.
- [21] KUDO H, TAKEUCHI K, YOKOYAMA T, et al. Severe C8 or T1 symptoms after cervical laminoplasty and related factors; are there any differences between C3-C6 laminoplasty and C3-C7 laminoplasty? [J]. *Asian Spine J*, 2019, 13(4):592-600.
- [22] 徐宝山, 马信龙, 杨强, 等. 可动式椎间盘镜下保留后韧带复合体的颈椎管扩大成形术的设计与临床应用 [J]. *天津医药*, 2017, 45(4):409-412.
- [23] UMEDA M, SASAI K, KUSHIDA T, et al. A less-invasive cervical laminoplasty for spondylotic myelopathy that preserves the semispinalis cervicis muscles and nuchal ligament [J]. *J Neurosurg Spine*, 2013, 18(6):545-552.
- [24] ZHANG C, LI D, WANG C, et al. Cervical en-

- doscopy laminoplasty for cervical myelopathy [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2016, 41 (Suppl 19):B44-B51.
- [25] 安忠诚,曹瑞,盛伟斌,等.保留双侧半棘肌改良单开门椎管扩大钢板置入:减少轴性症状及颈椎曲度丢失[J].*中国组织工程研究*,2016,20(13):1873-1879.
- [26] 李东风,刘法敬,胡成栋,等.单开门椎管扩大成形术中保留棘突及颈后韧带复合体的意义及疗效分析[J].*河北医科大学学报*,2017,38(5):535-538.
- [27] 夏天,孙宇,王少波,等.保留单侧肌肉韧带复合体单开门椎管扩大成形术治疗颈椎后纵韧带骨化症对颈后肌群的影响[J].*中国脊柱脊髓杂志*,2020,30(3):212-218.
- [28] NORI S, SHIRAIISHI T, AOYAMA R, et al. Muscle-Preserving selective laminectomy maintained the compensatory mechanism of cervical lordosis after surgery [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2018, 43(8):542-549.
- [29] KIM C H, HWANG J M, PARK J S, et al. Predictability of severity of disc degeneration and disc protrusion using horizontal displacement of cervical dynamic radiographs: A retrospective comparison study with MRI[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2018, 97(25):e11098.
- [30] ZHAO Y J, CHENG C, CHEN H W, et al. Limited laminectomy and foraminal decompression combined with internal fixation for treating multi-segment cervical spondylotic myelopathy: Does it effectively improve neurological function and prevent C5 palsy? [J]. *Medicine (Baltimore)*, 2018, 97(47):e13327.
- [31] 苗军,刘艳成,兰杰,等.改良微型钛板重建伸肌附着点在颈后路单开门椎管扩大成形术中的应用[J].*中华医学杂志*,2019,99(17):1312-1316.
- [32] SINHA S, JAGETIA A. Bilateral open-door expansive laminoplasty using unilateral posterior midline approach with preservation of posterior supporting elements for management of cervical myelopathy and radiculomyelopathy--analysis of clinical and radiological outcome and surgical technique [J]. *Acta Neurochir (Wien)*, 2011, 153(5):975-984.
- [33] MATSUMOTO M, OKADA E, ICHIHARA D, et al. Changes in the cross-sectional area of deep posterior extensor muscles of the cervical spine after anterior decompression and fusion: 10-year follow-up study using MRI[J]. *Eur Spine J*, 2012, 21(2):304-308.

(收稿日期:2021-05-10 修回日期:2021-08-08)

(上接第 519 页)

- [26] PHROMMINTIKUL A, HAAS S J, ELSIK M, et al. Mortality and target haemoglobin concentrations in anaemic patients with chronic kidney disease treated with erythropoietin: a meta-analysis[J]. *Lancet*, 2007, 369:381-388.
- [27] BARBIERI C, MARI F, STOPPER A, et al. A new machine learning approach for predicting the response to anemia treatment in a large cohort of End Stage Renal Disease patients undergoing dialysis[J]. *Comput Biol Med*, 2015, 61:56-61.
- [28] BARBIERI C, MOLINA M, PONCE P, et al. An international observational study suggests that artificial intelligence for clinical decision support optimizes anemia management in hemodialysis patients [J]. *Kidney Int*, 2016, 90(2):422-429.
- [29] RODRIGUEZ M, SALMERON M D, MARTIN-MALO A, et al. A new data analysis system to quantify associations between biochemical parameters of chronic kidney disease-mineral bone disease[J]. *PLoS One*, 2016, 11(1):e0146801.
- [30] 孔鸣,何前锋,李兰娟.人工智能辅助诊疗发展现状与战略研究[J].*中国工程科学*,2018,20(2):86-91.
- [31] 王海星,田雪晴,游茂,等.人工智能在医疗领域应用现状、问题及建议[J].*卫生软科学*,2018,32(5):3-5,9.

(收稿日期:2021-04-21 修回日期:2021-08-29)