

## 2023 脊柱微创技术新方向与进展

随着微创理念在脊柱外科的不断深化与发展，脊柱微创技术也在不断进行改良、更新及迭代。射频调控、机器人和人工智能的引入为脊柱微创注入了新鲜血液，医工结合、学科交叉也逐渐成为本领域新的热点。本文就通道下 OLIF 5-1、介入神经调控治疗脊源性疼痛、内镜下融合、机器人辅助脊柱手术、人工智能与脊柱外科、椎体强化术六大脊柱微创方向的 2023 最新亮点进行汇总盘点。

### 一、通道下 OLIF 5-1

腰椎斜外侧腰椎椎间融合术 ( oblique lumbar interbody fusion, OLIF ) 是治疗腰椎退变性疾病的一种微创新技术，通过侧前方入路进行充分的椎间隙处理及大 Cage 植入，对脊柱侧弯及后凸有良好的矫形效果<sup>[1]</sup>。该手术方式作为脊柱微创技术已经较为广泛的开展，但由于局部解剖及手术工具的限制，临床上多数将该技术用于 L<sub>2-5</sub> 节段的融合。对于 L<sub>5</sub>-S<sub>1</sub> 节段行 OLIF 手术存在诸多障碍，例如：髂血管遮挡、髂棘遮挡、手术工具限制等。随着对 L<sub>5</sub>-S<sub>1</sub> 节段 OLIF 入路的解剖学研究的深入及手术器械的发展，OLIF (L<sub>5</sub>/S<sub>1</sub>) 技术逐渐得到国内外脊柱外科医师的青睐，本年度有多名学者对 OLIF (L<sub>5</sub>/S<sub>1</sub>) 进行了进一步研究。

Kotani Y<sup>[2]</sup>将 OLIF (L<sub>5</sub>/S<sub>1</sub>)+经皮椎弓根钉固定技术与 MIDLF (L<sub>5</sub>/S<sub>1</sub>) 技术两种脊柱微创技术进行对比研究，显示 OLIF 以其入路的优势，

可达到对植骨床的充分准备、大 Cage 的植入以及经皮钉固定减少后方结构的破坏，最大程度为手术节段的坚强固定及融合创造了条件。但需要警惕的是，由于血管的变异和椎间盘-静脉粘连等因素存在，导致 OLIF 入路遮挡及血管损伤。有文献报道大约 28.3% 的人群因为 Cage 入口被大血管阻塞<sup>[3]</sup>，而不适合通过 L<sub>5</sub>/S<sub>1</sub> 双侧髂血管之间的通道进行 OLIF。Hernandez NS<sup>[4]</sup> 将其与机器人导航置钉结合，并在手术中由两位医师位于患者一前一后同时完成手术。该入路可以将椎间盘充分松解，可以更大程度改善腰骶椎间盘角度，从而更好的增加腰椎前凸。国内学者<sup>[5]</sup> 在经 OLIF (L<sub>5</sub>/S<sub>1</sub>) 植入 Cage 后，同时行内镜下椎管减压缓解根性症状。Kumar BS<sup>[6]</sup>、Tanaka M<sup>[7]</sup> 对 OLIF (L<sub>5</sub>/S<sub>1</sub>) 和 TLIF (L<sub>5</sub>/S<sub>1</sub>) 进行对比，同样得出 OLIF (L<sub>5</sub>/S<sub>1</sub>) 对于恢复腰椎前凸具有明显优势（图 1）。



图 1 ( 图片来源 : Kotani Y, Ikeura A, Saito T. Comparative Clinical Analysis of Oblique Lateral Interbody Fusion at L<sub>5</sub>/S<sub>1</sub> versus Minimally Invasive Transforaminal Interbody Fusion (MIS-TLIF) for Degenerative Lumbosacral Disorders. Spine Surg Relat Res. 2022 Jul 11;7(1):66-73. doi: 10.22603/ssrr.2022-0028. PMID: 36819631; PMCID: PMC9931403. )

综上所述，OLIF (L<sub>5</sub>/S<sub>1</sub>) 有着更微创、更好恢复腰椎前凸、出血更少的天然优势。虽然入路存在风险，但随着局部解剖的清晰和手术工具的改善，OLIF (L<sub>5</sub>/S<sub>1</sub>) 逐渐被脊柱外科医生所认可。值得一提的是，术前根据 MRI 及 CTA 对局部血管、脏器的仔细观察对于减少手术并发症非常重要。如果脊柱外科医生能够掌握血管与腹部脏器修补技术，更是锦上添花。

## 二、介入神经调控治疗脊源性疼痛

对于脊柱外科医生而言，非机械压迫、非椎间盘来源化学刺激导致的神经病理性疼痛（比如带状疱疹后神经痛、腰椎手术后综合征等）很难通过传统脊柱内镜或开放手术得到治疗，临床中非常棘手。X 线、CT 或超声引导下的脉冲射频（Pulsed Radiofrequency, PRF）神经调控技术在一定程度上弥补这一空白（图 2）。



图 2（图片来源：北京市海淀区医院微创脊柱团队）

由于脉冲射频对神经的调控作用机制目前还不明确，许多学者仍然在不断探索。Fathy W<sup>[8]</sup>等对背根神经节（DRG）行 PRF 联合类固醇注

射与单纯类固醇注射对患者 TNF $\alpha$ 水平的影响进行对比研究，发现术后 3 个月 PRF 联合类固醇注射组的 TNF $\alpha$ 水平明显低于单纯类固醇注射；Sluijt et al<sup>[9]</sup>提出假说：PRF 可以通过自由基对的重组引起自由基的减少，其治疗慢性疼痛不同于消融和刺激，而是通过调控神经功能缓解症状。De la Cruz J<sup>[10]</sup>认为“PRF 是一种有效的神经调节技术”。虽然机制仍不完全明确，但 PRF 在低于热损伤阈值的温度下是有效的，且不会引起明显的感觉丧失，在经典的 PRF 手术中即使接触到感觉神经，一般也不会导致症状加重。新的基础研究<sup>[11]</sup>对神经病理痛的大鼠模型行 PRF，可促进神经元损伤的恢复，同时恢复相关受体功能和降钙素基因相关肽，通过增加逆转脑源性神经营养因子，发挥镇痛作用。有体外细胞学研究<sup>[12]</sup>表明 PRF 是通过降低 pERK 改变 Ca<sup>2+</sup>内流增加胞质 ATP 水平来减轻背根神经节细胞的致敏反应。

在射频参数上，目前研究仍然是推崇高电压、长时程、温度可控的脉冲射频调控。国内学者 Dai Z<sup>[13]</sup>等认为高电压 PRF 比标准 PRF 应用于大鼠 DRG 具有更好的镇痛作用。Jia Y<sup>[14]</sup>等学者的一项前瞻性、多中心、随机、双盲对照临床研究，提供了强有力的证据，表明高压 PRF 可以比神经阻滞治疗三叉神经痛（TN）取得更令人满意的疗效，是在手术或神经破坏性治疗选择之前的首选。Erker B<sup>[15]</sup>的一项 RCT 研究提出高电压（60V）PRF 比标准电压（45V）PRF 治疗腰骶神经根性疼痛的远期效果（术后 6 个月）更好。对脊神经相关疼痛的 PRF 调控，背根神经节（DRG）作为常用的调控靶点，有学者对其进行解剖学研究。Ahimsadasan N 等<sup>[17]</sup>系统性综述了 DRG 的解剖结构、功能、胚

胎学发育、血液淋巴供应、生理变异、手术干预方式、临床意义等，有助于临床医师对 DRG 的理解和认识。

对于射频导入的引导方式，目前常用的为 X 线、CT 及超声引导。X 线的优势为全局性更强，缺点是有辐射及不能良好的显影血管及软组织。CT 引导辐射量更大，但穿刺的精准性高，常用于高风险、精穿刺的部位。超声引导可以实时动态可视化操作，可以帮助医师有效避开穿刺路径上的血管及器官直达靶点，但对于位置深在或隐藏与骨性结构中的神经组织辨识度较差。几种引导方式各有利弊，临床上可根据穿刺靶点的实际情况灵活选择。

总之，对于脉冲射频的神经调控机制仍不明确，仍需要更多的基础及临床试验不断完善对机制的探索。目前研究结果已经表明 PRF 确实为一种有效且安全的神经调控手段，临床医师应用时，需要在痛源诊断、靶点位置及穿刺技术上不断强化认知，以达到稳定的临床疗效。

### **三、内镜下融合**

由于内镜下融合技术与其他融合技术相比，具有良好的安全性、有效性，可减少术后并发症发病率，从而得到了较大的发展。随着脊柱内镜的手术技术与器械的不断改进，内镜下椎间融合术已然成为脊柱微创技术的热点问题。在国际期刊上，此类研究发文量以国内学者为主，Pubmed 搜索“(lumbar interbody fusion) AND (endoscopy)”2023 年国内学者的发文量占比可达 70%，其次为韩国(11%)和美国(4%) (图 3)。

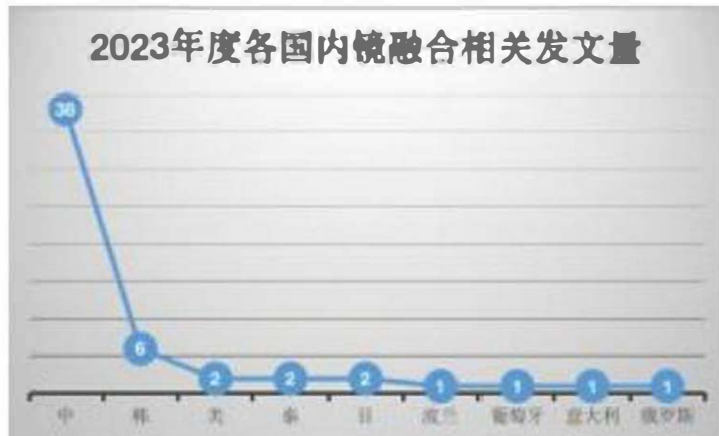


图 3

近年来双通道脊柱内镜浪潮涌现。2023 年度国内期刊中<sup>[17-26]</sup>，单轴内镜下融合占 45%，仍占主流趋势，单侧双通道（UBE）镜下融合发文量占比 37%，呈逐年升高趋势，单双通道镜下融合对比占 6%。既往由于内镜微创通道较小，器械进出及操作空间受限，从而导致手术时间较长，椎间处理不充分等，单侧双通道镜下融合很大程度上解决了这些问题。2023 年国内期刊文献表明<sup>[22,23]</sup>，与 Endo-TLIF 相比，UBE 进行镜下融合手术效率更高，视野更大，而并发症发生率、融合率及疗效恢复情况，两组相比无明显差异。目前仍缺乏多中心、多样本的前瞻性队列研究提供高级别证据。在并发症发生率上，有学者进行 Meta 分析<sup>[27]</sup>，UBE-LIF 的总并发症率 9%，其中包括术后硬膜外血肿（5%），硬膜撕裂损伤（3%），神经根损伤或短暂性麻痹（2%），相较于传统手术，整体并发症发生率更小。

在镜下融合手术方式的改良上，Tsai PC 等<sup>[28]</sup>提出 Kambin Torpedo FELIF (KT-FELIF)，通过外移皮肤切口（图 4），在单轴全内镜下达到对更大范围椎间盘、关节突关节、同侧椎板、棘突基底部、对侧腹侧

椎板、对侧侧隐窝、对侧椎间孔进行减压，有利于创造更大植骨床及椎管减压空间，以期待达到更高的融合率和症状缓解率。

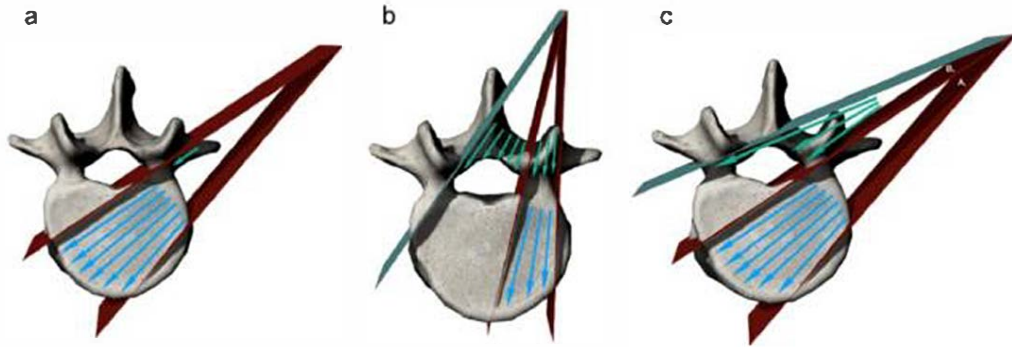


图 4 ( 图片来源 : Tsai PC, Liu YC, Chang TK, Chen LP, Huang YC, Lian YS, Chien KT. The novel Kambin Torpedo full-endoscopic lumbar interbody fusion technique: a case series. Eur Spine J. 2023 Jun 30. doi: 10.1007/s00586-023-07836-9. Epub ahead of print. PMID: 37389696. )

国内张伟团队<sup>[29]</sup>通过改良入路及器械( 图 5 ) ,提出经极外侧入路 UBE 下“单边钉+前后双 Cage”的椎间融合技术，有利于充分撑开椎间隙，纠正脊柱序列，成为一种镜下融合的可选方案。

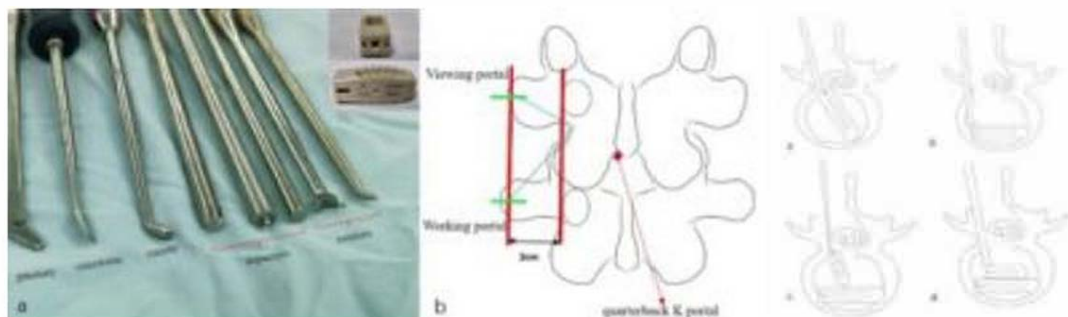


图 5 图片来源 : Zhu C, Liang J, Pan H, Zhang W. Far lateral lumbar interbody fusion with unilateral pedicle screw fixation and

double traversing cages using a biportal endoscopic technique.

Acta Neurochir (Wien). 2023 Aug;165(8):2165-2169. doi:

10.1007/s00701-023-05702-7. Epub 2023 Jul 13. PMID:

37439886. )

同样也有学者<sup>[30]</sup>通过极外侧入路，在椎间隙水平外侧增加一个横行切口，在 UBE 下放置大 Cage(长 40mm，宽 16mm，前凸角，如图 6)，并取得良好的效果。

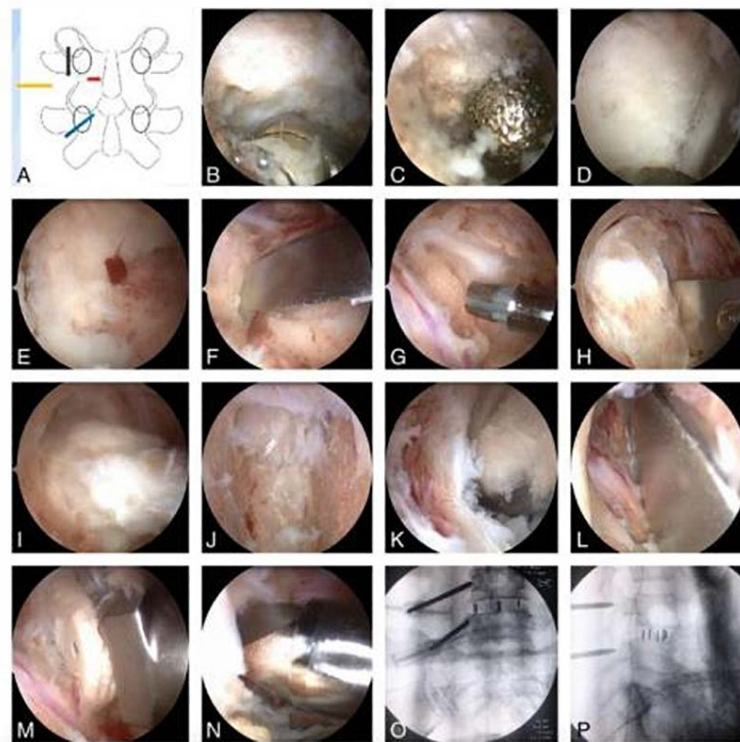


图 6 ( 图片来源 : Tian D, Liu J, Zhu B, Chen L, Jing J. Unilateral biportal endoscopic extreme transforaminal lumbar interbody fusion with large cage combined with endoscopic unilateral pedicle screw fixation for lumbar degenerative diseases: a technical note and preliminary effects. Acta Neurochir (Wien).



2023 Jan;165(1):117-123. doi: 10.1007/s00701-022-05422-4.

Epub 2022 Nov 23. PMID: 36418757. )

总之，2023 年单双通道镜下融合技术齐头并进，国内外学者对入路、器械的不断探索与优化，对手术流程的不断完善，使得内镜下融合正逐渐成为一种普适化技术。它作为微创融合的一种解决方案，将被更多脊柱外科医师广泛应用。

#### 四、机器人辅助脊柱手术

机器人在减压、融合和截骨手术等各个方面的应用量均有所增长，行腰椎前路手术且有医保的腰椎滑脱病人更有可能在机器人辅助下接受腰椎融合术，同时，机器人的应用也逐渐从前路向后路转变<sup>[31,32]</sup>。

机器人辅助脊柱手术在学习曲线上具有较大优势，使低年资医师的椎弓根螺钉植入更容易、更安全。无论是动物试验、仿真模型、大体标本还是实际手术应用，机器人辅助手术在螺钉置入的精度和准确性方面都表现出显著的优势<sup>[33-40]</sup>（图 7）。Mazor X 机器人对比 Renaissance 机器人有了实质性的改进，尤其是 S2AI 螺钉精度提高近 8 倍，机器人可靠性提高近 10 倍<sup>[36]</sup>。

Table 3 Robot Score Result on Bilaminar and Other Intraoperative Complications

	Rob		Conventional		P value	
	n	%	n	%		
total number of patients	45		31			
total number of S2AI screws	170		207			
displacement of S2AI screws	8	4.7%	3	1.4%	0.04	0.001
any screw breach (for total S2AI screws)	20	11.8%	11	5.2%	0.02	0.001
total screw misplacement	41	24%	4	1.9%	0.001	0.001
Exchange of screw direction	10	5.9%	3	1.4%	0.001	0.001
Insertion distance (mm) error (sd)			1.1 ± 2.1		1.0 ± 1.1	0.001
Insertion error						
A	103	60.6%	200	96.8%	70	33%
B	1	0.6%	1	0.5%	0	0%
C	1	0.6%	1	0.5%	1	0.5%
D	4	2.4%	2	1.0%	1	0.5%
E	1	0.6%	1	0.5%	1	0.5%
SD error						
Any error	2	1.2%	0	0%	1	0.5%
Exchange of screw to S2AI	1	0.6%	0	0%	1	0.5%
Insertion distance (mm) error (sd)			1.1 ± 2.1		1.0 ± 1.1	0.001
Insertion error						
A	103	60.6%	200	96.8%	70	33%
B	1	0.6%	1	0.5%	0	0%
C	1	0.6%	1	0.5%	1	0.5%
D	4	2.4%	2	1.0%	1	0.5%
E	1	0.6%	1	0.5%	1	0.5%
(P value represents interquartile range (IQR))						
S2AI error	0	0%	0	0%	0	0%
total of multibeamer / surface	2	1.2%	0	0%	1	0.5%
insertion distance (mm) error (sd)			0.7 ± 0.4		1.0 ± 0.8	0.001
C2-C6 multibeamer S2AI multibeamer	10	5.9%	2	1.0%	0	0%
total of S2AI screws (sd)			1.0 ± 1.1		1.0 ± 1.1	0.001

图 7 ( 图片来源 : Lee NJ, Zuckerman SL, Buchanan IA, Boddapati V, Mathew J, Marciano G, Robertson D, Lakomkin N, Park PJ, Leung E, Lombardi JM, Lehman RA. Is There a Difference in Screw Accuracy, Robot Time Per Screw, Robot Abandonment, and Radiation Exposure Between the Mazor X and the Renaissance? A Propensity-Matched Analysis of 1179 Robot-Assisted Screws. *Global Spine J.* 2023 Jun;13(5):1286-1292. doi: 10.1177/21925682211029867. Epub 2021 Jul 8. PMID: 34235996; PMCID: PMC10416583. )

## 新技术

北京大学第三医院李危石教授团队开发了全球首例颈椎板机器人自主识切手术<sup>[41]</sup>。该手术机器人融合基于切削能量的人体组织识别技术、基于深度学习的图像分割技术、精密机器人和导航位置跟踪技术，实现了手术路径个性化智能规划、切削过程生物组织特征自动识别、颈椎板板的精准自主切削操作，将机器人自主切削操作精度达到亚毫米级别，大大降低了椎板减压手术风险。新近出现的主从式骨科内镜全手术机器人相继完成了科研手术和 5G 远程骨科内镜手术机器人科研手术，使脊柱手术机器人从手术局部导航定位走向了全部关键手术步骤全流程辅助，可以辅助医生完成包含远程手术操作在内的所有骨科微创手术的所有核心操作步骤。

## 新应用

机器人辅助下单体位 OLIF 可以显著缩短手术时间，减少术中透视次数，且精度与同期俯卧位机器人置钉相同。机器人辅助下单体位 L<sub>5</sub>/S<sub>1</sub>ALIF，由第二术者植入椎弓根螺钉疗效肯定，可改善整体力线和脊柱前凸分布指数<sup>[42,43]</sup>（图 10）。



图 10（图片来自：Zhao W, Wang Y, Zhang H, Guo J, Han J, Lin A, Zhou C, Ma X. Analysis of the Screw Accuracy and Postoperative Efficacy of Screw Placement in Single Position and Bipedal Position in Robot-Assisted Oblique Lumbar Interbody Fusion: Preliminary Results of Mazor X Stealth Usage. Orthop Surg. 2023 Dec 27. doi: 10.1111/os.13972. Epub ahead of print. PMID: 38151861.）

## 新问题

与 x 线引导椎体强化术相比，机器人辅助在手术精准度、辐射暴露和并发症发生率方面并不占优势<sup>[44]</sup>。新一代机器人 Mazor X Stealth Edition T M并未减少机器人相关并发症的发生( 暂时或永久性神经根损伤，螺钉错位，调钉 )。一半的机器人相关并发症 ( 3/6 ) 是由参照系误差引起的<sup>[45]</sup>。需要注意的是寰枢外侧关节在冠状面上的严重倾斜、椎弓根内径 < 1mm、上胸椎水平和高 BMI 是机器人操作时螺钉偏差的相关因素<sup>[46-50]</sup> ( 图 11 )。

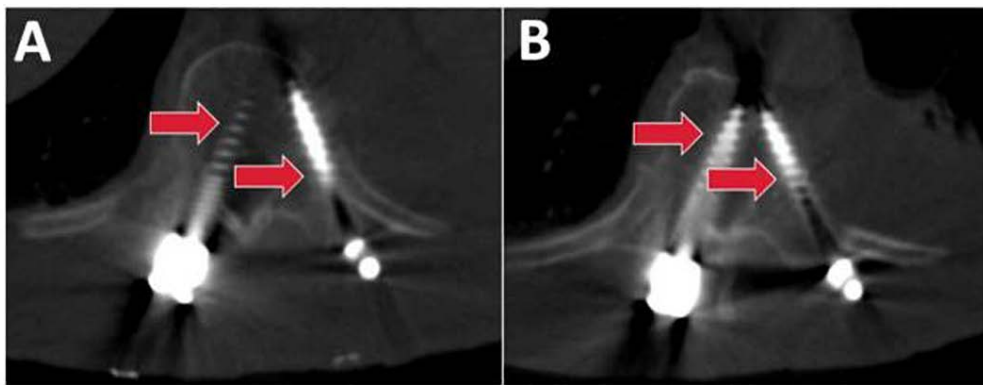


图 11 机器人置钉偏移骚扰椎管 ( 图片来自 : Akazawa T, Torii Y, Ueno J, Umehara T, Iinuma M, Yoshida A, Tomochika K, Ohtori S, Niki H. Safety of robotic-assisted screw placement for spine surgery: Experience from the initial 125 cases. *J Orthop Sci.* 2023 Jun 21:S0949-2658(23)00146-X. doi: 10.1016/j.jos.2023.06.003. Epub ahead of print. PMID: 37353398. )

总的来说，机器人辅助技术在脊柱手术中展现出了广泛的前景和潜力。虽然仍存在一些挑战和限制，但随着技术的不断进步

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/638077017044006034>