

脊柱手术机器人在脊柱外科手术中的应用进展

李玉希¹, 黄浚燊¹, 刘婷², 黄家俊¹, 黄霖¹

(1. 中山大学孙逸仙纪念医院骨科 广东 广州 510120; 2. 中山大学孙逸仙纪念医院麻醉科 广东 广州 510120)

摘要 过去十年间, 智能医疗技术已经成为研究的热点方向, 并衍生出图像辅助 AI 和肿瘤诊断辅助系统等一系列技术。在外科领域, 外科机器人是最有吸引力的智能技术之一。经过近十年的发展, 机器人在脊柱外科手术中显露出巨大优势, 已有大量关于准确性和辐射量的研究报道。但是, 文献查阅过程中亦暴露出机器人的一些不足, 促使我们对脊柱机器人的综合评价进行了回顾。此综述总结了已发表文章中提到的结果和我们已总结而未发表的结论, 希望这些总结有助于研究人员将来对机器人进行针对性的改进, 并拓宽脊柱手术机器人的未来方向。脊柱手术机器人技术被认为在未来应用中前景光明, 但是与其他现有的应用技术相比, 亟须解决应用范围窄、应用深度浅和优势不突出的缺点。

关键词 脊柱手术机器人; 外科机器人; 智能骨科

中图分类号 R681.5 **文献标识码** A **文章编号** 2096-7721 (2021) 02-0143-08

Application progress of spinal surgical robot

LI Yuxi¹, HUANG Junshen¹, LIU Ting², HUANG Jiajun¹, HUANG Lin¹

(1. Department of Orthopedics, Sun Yat-sen Memorial Hospital, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510120, China;

2. Department of Anesthesia, Sun Yat-sen Memorial Hospital, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510120, China)

Abstract In the past decade, intelligent medical technology has become a hot research direction, and a series of technologies such as image-assisted artificial intelligence (AI) and tumor diagnosis assistant systems have been derived. In the field of surgery, surgical robot is one of the most attractive intelligent technologies. After nearly ten years of development, surgical robots have shown tremendous advantages in spinal surgery and have been reported by a large number of studies on accuracy and radiation level. However, the literature review also exposed some shortcomings of robots, which prompted us to make a

收稿日期: 2020-03-14 录用日期: 2020-07-12

Received Date: 2020-03-14 Accepted Date: 2020-07-12

基金项目: 广东省自然科学基金 (2017A030310554, 2020A1515010371, 2017A030313652)

Foundation Item: Natural Science Foundation of Guangdong Province(2017A030310554, 2020A1515010371, 2017A030313652)

通讯作者: 黄霖, Email: huangl5@mail.sysu.edu.cn

Corresponding Author: HUANG Lin, Email: huangl5@mail.sysu.edu.cn

引用格式: 李玉希, 黄浚燊, 刘婷, 等. 脊柱手术机器人在脊柱外科手术中的应用进展 [J]. 机器人外科学杂志, 2021, 2(2): 143-150.

Citation: LI Y X, HUANG J S, LIU T, et al. Application progress of spinal surgical robot [J]. Chinese Journal of Robotic Surgery, 2021, 2(2):143-150.

comprehensive evaluation on spine robot. This review summarized the results in published articles and unpublished conclusions, hoping to help researchers to improve the functions of spine robot and broaden its application in the future. Compared with other existing applied technologies, although robot-assisted spine surgical technology is considered of bright future, it has to extend and deepen its clinical application and strengthen its advantages urgently.

Key words Spinal surgical robot; Surgical robot; Intelligent orthopedic

目前, 外科手术机器人被认为是人工智能技术最具有代表性的技术之一, 并且其在外科手术中的应用也被认为是未来外科手术发展的趋势。集成多种先进医疗技术, 类似达芬奇之类的外科手术机器人已广泛用于普外科手术, 同时用于脊柱外科领域的机器人也已经更新迭代。这些机器人不仅为外科医生提供更高的精度, 而且可以消除人为操作错误、提高手术效率、减少术后并发症。但是, 外科手术机器人的技术和应用仍处于发展阶段, 缺乏术前、术中和术后可能发生的潜在风险分析和系统回顾。此外, 不良事件和风险管理制​​度仍在完善之中。到目前为止, 很少有文章报道关于脊柱机器人缺陷的相关信息^[1-3]。因此, 有必要总结脊柱外科手术机器人的潜在风险和弊端, 以达到改善临床治疗效果的目的。本综述试图从以下几个方面总结目前外科手术机器人在临床脊柱外科中的应用不足。

1 脊柱手术中应用范围局限

所有脊柱疾病中, 椎间盘突出症、脊柱退行性变、脊柱滑脱和椎体骨折等是临床上很常见的几种疾病, 需要通过钉棒系统固定完成手术治疗。传统的徒手置入椎弓根螺钉容易引起椎弓根损伤^[4]。另外, 尽管发生率不高, 但螺钉移位会导致严重的临床并发症, 如神经血管损伤、硬膜囊损伤、脏器和肌肉损伤^[5]。因此, 设计脊柱手术辅助机器人的初衷之一是帮助脊柱外科医师更精确、更方便地置入椎弓根螺钉,

同时尽可能减少人为失误和术后并发症。过去的十年间, 大多数临床研究都侧重于脊柱手术机器人辅助椎弓根螺钉固定^[6]。根据文献回顾, 机器人手术系统仅应用于螺钉置入以便进行脊柱内固定, 似乎没有太多其他应用。这点可能恰恰表明, 目前大量关于脊柱手术机器人辅助螺钉置入准确性的研究已达瓶颈状态。毫无疑问, 未来脊柱手术机器人绝不能仅仅局限于协助手术医生完成椎弓根螺钉置入, 还应全方位和多维度地辅助完成各类疾病的不同手术方式, 例如机器人辅助椎间孔成形术、机器人辅助经皮椎体成形术(PVP)、机器人辅助截骨术和机器人辅助椎间盘切除术等, 这些均应被纳入未来的研究方向。

2 脊柱手术机器人的使用部位有限

文献回顾发现, 绝大多数机器人辅助脊柱手术的研究在腰椎或腰骶椎开展, 只有一小部分研究针对其他节段。可能考虑到机器人辅助手术尚处于相对初级的阶段, 还不能保证机器人执行的准确性和稳定性。另外颈椎和胸椎区域的周围神经、血管和相关解剖组织非常重要, 研究人员尚未对这些节段的临床研究给予太多关注。尽管如此, Solomiichuk V等^[7]学者发现, 与传统透视辅助置钉技术相比, 在胸腰椎手术中脊柱手术机器人置入螺钉同样精确和有效。这意味着, 在确保机器人的准确性和稳定性的前提下, 机器人辅助手术用于颈椎和胸椎节段具有广泛的应用价值。借助一定方式的机器人

辅助，颈椎和胸椎手术也将变得非常准确、快速和方便。此外，颈椎与颅底的解剖结构关系密切，此部位的手术通常与神经外科密切相关。因此，脊柱手术机器人在神经外科手术的应用也是一种具有价值和开创性的尝试。根据所提供的结果和数据，Mazor Robotics™ 系统正在扩展其应用范围，并将其扩展到颅脑手术，甚至用于放置深部脑刺激（DBS）电极^[8-9]。神经外科和脊柱外科医生将越来越频繁地尝试利用此技术来完成手术，并且在不久的将来会进行大量测试^[10-11]。从上述结论可以看出，脊柱手术辅助机器人用于颈椎、胸椎手术和神经外科手术具有相当大的价值和可行性。但是，该领域仍缺乏系统研究，需要更多的临床研究提供数据和验证证据。因此可以断定，未来该领域的研究将成为重要的研究热点。

3 术前、术中和术后错误可能叠加

手术机器人旨在提高准确性、确保稳定性、提供便利性，并减少人为错误，每个步骤都采用最新的技术。但是，临床实际使用过程中也会产生错误。机器人手术系统可能在手术前、手术中或者手术后发生错误，这些错误叠加起来会造成更大的偏差，最终造成可能影响手术质量的潜在风险，甚至威胁到患者的安全。这些会对脊柱手术造成很大影响，尤其影响到椎弓根螺钉的固定精度，因为错误的钉道可能会对脊髓、神经和血管造成严重损伤。与人手的灵活调整不同，机器人手术系统由于具有较高的稳定性和复杂的参数，在避免错误发生时处于劣势，并且有许多因素会降低机器人的精度。例如，当套管位于入口时，可能会发生横向滑移^[12]；在钻孔过程中，施加的压力可能会使测量过的椎体发生移位^[13]；另外，床架的固定不够充分时，可能造成机器人和患者之间的相对

运动，从而导致横向滑移位^[13]。由于参数设置的原因，机器人的软件可能会造成错误^[14]，并且机器人连接到脊柱的方式也应考虑为其中一个因素^[15]。此外，还应考虑到软组织压力成为机械臂偏移的因素之一^[16]。一些组织又厚又硬，机器人钻孔时可能会因为高压发生偏离。当然，还有本综述没有提到的其他潜在风险，但是必须避免和解决上述问题。因此，这些问题也是后续机器人研究的一个方向。

4 脊柱手术机器人优越性的疑问

目前，对机器人辅助置入椎弓根螺钉的评估结果主要包括螺钉置入的准确性、放射剂量/时间、手术时间和失血量等。尽管在大多数研究中，与对照组（徒手置钉或者透视辅助置钉）相比，实验组（机器人辅助置钉）均显示阳性结果，但有些研究仍持不同意见。一些研究提到，当解剖结构足够清晰时，机器人辅助手术系统较传统徒手手术并不具有准确性优势，这使得它对外科医生没那么大吸引力^[17-18]。而且，一项RCT研究确实显示使用Mazor™ 机器人置入螺钉会降低精度^[12]。对机器人准确性的质疑可能源自术前计划、图像质量、术中操作和其他因素。大多数机器人参数的自动运算仍然需要外科医生验证、微调或人工规划。另外，规划的效率、准确性与图像校正处理和图像模式密切相关。目前，2D和3D多模式图像可以自动融合在一起，但是可能需要花费更多时间，或者复杂情况下无法达到高精度。螺钉置入的设计主要依靠人工评估，缺乏结合运动和身体条件的自我规划、验证。至于影响手术准确性的术中因素，定位针的侧向滑移被认为是一个主要问题，通常发生在人字嵴的凹面上^[18-19]。因此，定位针进针点错误很容易造成引导针偏离规划路径。此外，由于手术医生操作和患者呼吸运动的影响，胸

腰椎手术时很容易引起身体位置的细微变化，从而影响位置精度。术中透视引起的放射暴露是另一个问题，尤其是微创手术时手术医生和操作人员会更多^[20-21]。手术机器人设计的优点之一是将术中辐射量降到最低。Roser F等^[22]学者比较了机器人导航技术与徒手技术的辐射剂量，发现标准导航组的辐射剂量最低，并且机器人组比徒手组低。然而，Ringel F等^[12]学者报道机器人和徒手操作相比，术中辐射量没有显著差异。Schizas C等^[13]报道两组对象之间辐射时间相同。从上述机器人手术结果可以看出，目前机器人辅助手术并未显示出可以减少辐射时间的优势，并且分析显示，主刀医生的信心和经验是决定辐射暴露的重要因素。

5 缺乏有关术后并发症和成本效益的研究

每次一种手术技术被发明出来和改进时，不仅要评估其对手术效果改善的程度，还应评估术后康复情况、并发症、社会因素或其他相关因素。一项研究表明，机器人置入椎弓根螺钉可以防止侵入近端小关节，从而减少脊柱手术常见并发症——邻近节段退变的发生^[23]。但是，尚未找到太多证据表明机器人辅助手术在以下方面具有优势：降低并发症发生率、减少术后肌肉疼痛、减少术后引流、降低术后伤口感染率、减小手术切口、减少术后住院时间。上述内容都是患者在尝试新技术之前会考虑的方面。Lieber A M等^[24]未发现常规手术与机器人辅助手术之间在各种并发症方面存在明显差异。另一个需要考虑的重要因素是成本效益，目前似乎对机器人技术的成本效益研究不多。文献查阅鲜有评估其成本效益的研究，它将仍然是全球卫生系统中接受和使用机器人技术的阻碍，直到此新技术的经济影响得到解决。因

为脊柱机器人尚处于开发阶段，患者仍然需要支付更多费用才能完成机器人辅助手术，机器人技术很容易被视为高成本或者盈利性的商业手术工具。斯坦福大学的一份报告显示，每位患者采用机器人辅助肾切除术比传统腹腔镜切除术的费用多2 700美元^[25]。但是Menger博士等认为机器人手术更具成本效益，因为在他们中心的模型上每年可节省约608 546美元^[26]。由于缺乏数据，目前尚不清楚与传统手术相比，机器人辅助手术的平均费用怎样。无论如何，在将这项新技术整合到医院的手术系统之前，很有必要清楚并确定其成本效益。

6 缺乏与O臂和其他技术的对比研究

过去，徒手脊柱手术通常依赖于手术医生的经验和术中手感，极大地限制了外科医生高准确度、方便快捷性和低手术并发症的追求。然而，当透视技术应用用于脊柱手术时，手术医生可以更直观、快捷、方便地完成手术，因此透视技术已经成为当前主流方式。作为一种新的手术助手，脊柱手术机器人的主要对比对象是透视技术。目前为止，已经发表了大量关于两者间效果比较的文章。但是，目前经过多年O臂导航的临床应用和研究，O臂的辅助作用在复杂手术中尤为突出。目前，机器人技术与图像引导之间的比较尚缺乏研究，没有大规模的研究直接比较机器人和图像引导放置椎弓根螺钉。Roser F等^[22]将图像指导与机器人技术、徒手技术进行比较，但是由于数据太少（3种治疗方式共37例病例），未能进行分析并得出结论。然而，瑞典的一项研究认为3种技术在放置椎弓根螺钉的精度方面没有差异^[27]。同样，FAN Y等^[28]进行了一项类似的研究，对机器人辅助技术、O臂和透视技术进行比较，同样发现机器人在精

度方面没有明显优势。由于目前对机器人和O臂导航的比较研究较少，尚不能作出机器人辅助是否比导航更有优势的判断。因此，将来需要在这方面进行更多研究以补充当前的空缺。

7 学习曲线及其他问题

学习曲线是一个很容易被忽略的关键问题，但与初级手术医生能否广泛使用机器人手术系统有关。现有的手术规划软件对一些初学者不是很友好，特别是那些年龄大的手术医生，而其所占的比例却越来越大^[26]。不完整学习医学影像和机器人手术的手术医生将无法明白如何快速掌握这项技术，也无法促进机器人的临床应用。这也是不同研究小组对同一机器人的研究评估出现巨大差异的体现。不同的研究小组对手术机器人技术掌握程度不同，但是由于手术医生的可变性，其数据尚无定论。另外，绝大多数骨科医生都忙于各种任务，没有太多时间实施详细的手术计划和手术策略^[29]。两篇关于机器人辅助脊柱手术的文献指出，约2%的手术失败与机器人本身和手术医生的注册有关，而由手术医生操作失误导致的失败占85.7%^[30-31]。一些研究还建议整个团队和其他工作人员应关注学习曲线，并了解脊柱机器人的手术过程，而不仅仅是手术医生^[32]。

目前为止，大多数研究都以Mazor™机器人作为研究对象，并且似乎Mazor™有大量的技术支持文献引领该领域^[10-11]。即便如此，这些结果也只是其特殊经验，还不能完全反映当前市场上脊柱手术机器人的特点和创新。回顾脊柱机器人的历史，Mazor™并不是目前唯一正在使用的机器人，ROSA™、TiRobot™和Renaissance™等机器人的临床试验也在进行中。因此，Mazor™的研究结果不能完全代表当前机器人的整体水平，也不能完全预测机器人未来

的功能、性能。单一机器人使用经验尚不足，需要对其他机器人进行更多研究以验证结论。

手术机器人使用的技术仍然有很大的改进空间。如高分辨率的可视化和实时导航技术可用于保证操作安全。目前，一些新的注册方法（如光学3D扫描注册、自动注册更新和弹性注册）尚未与脊柱手术机器人有效结合，需要进一步研究和临床测试。

8 展望

当前脊柱手术机器人的研发关注点更多还是在其安全性方面，因为手术安全是脊柱手术的根本，所以目前大多数研究团队都以机器人的穿刺精确度作为主要研究目标。我们认为，当未来脊柱手术机器人在提高安全性至一个稳定可接受的水平后，提高其功能性将作为脊柱手术机器人的主要研发方向。提高安全性是指提高机器人执行的准确性，减少错误、规避风险；而提高功能性则意味着未来脊柱手术机器人要打破自动化与智能化的局限。当前脊柱机器人应用于辅助手术的不足之处也可能是因为受制于自动化与智能化的局限，使得手术关键的步骤依然受到人不稳定性的干预，如路径规划和置钉操作；而另一方面，提高功能性也能实现机器人在脊柱手术领域的不同功能、不同部位的应用。

在提高自动化程度的推进上，主要通过人机交互模式的发展来实现。人机交互模式通常存在3种操作模式：遥控模式、共享操作模式和监督模式^[33]。遥控模式下借助缆线、网络主刀医生可以离开手术床和患者，在另一个位置通过操作手柄遥控从端机器人，典型代表是达芬奇机器人。甚至，近年来这种遥控模式与5G通讯相结合，可实现专家医生在远距离空间进行手术机器人操作。共享操作模式下，主刀医

生和机器人都有对手术器械的控制权，即机器人在执行命令的过程中可受到医生的控制，而医生的操作又受到机器人对于操作空间和区域的限制与约束。而在监督模式下，机器人按照规划的手术路径自主运动，医生在一旁监督，仅在出现机器人故障或出现紧急情况时启动急停按钮，这也是最符合人们对未来机器人手术期望的模式。这3种模式反映了机器人自动化能力、操作效率的逐级提高，但也要求机器人的安全标准逐级提高，尤其在监督模式下，机器人必须具有高度的操作稳定性、充分的术区状态监测和偏差矫正能力等^[34]。

而智能化程度的提升则主要通过人工智能数据分析处理的发展来实现。国际医疗机器人领域的学者联合提出了手术数据学的概念，认为手术数据学是推动下一代外科技术的主要引擎^[35]。脊柱手术微创化和智能化的发展过程中，必然会出现数据的类型和规模急剧增加的现象，因为手术机器人需要大规模的数据以形成自己的“手术经验”。因此亟须新型的数据处理手段以获取和处理机器人手术所需的有用信息，如果能够均质化地分析和归纳这些数据，必然会促进手术数据学支持下的脊柱手术机器人技术的发展。当前，人工智能数据分析处理已开始应用于双目摄像头识别、三维空间坐标转换、手术路径自动规划、多模态图像配准、机器人动作评价和手术环境评估等方面，从而实现高效的数据识别、获取与分析处理，减少了关键数据的获取与分析对于人的依赖。

9 结论

大多数已发表文章仍广泛认为脊柱手术机器人技术未来应用前景光明。无论在横向领域还是在纵向领域，脊柱手术机器人都具有巨大的应用价值，尽管尚无数据定论。脊柱手术机

器人辅助置入椎弓根螺钉似乎比徒手法和透视法更准确。只要主要缺陷和不足得以改进，脊柱手术机器人将在临床实践中得到广泛应用。我们认为这只是时间和技术的问题，而不是研究方向的问题。

对脊柱手术机器人的不足分析，上述几点是目前比较突出或普遍的方面，还有很多尚未发现或提及的内容需要继续补充。如上所述，如果脊柱手术机器人想在将来被广泛使用，则需要解决其他不足，如与现有技术相比应用不够深、不够广、优势不突出的缺点。此外，关于不良事件管理和风险管理的研究很少，缺乏应用指南和标准可能也是潜在的风险。因此，还需要开发一套在临床实践中适用的风险分析和管理系统。

参考文献

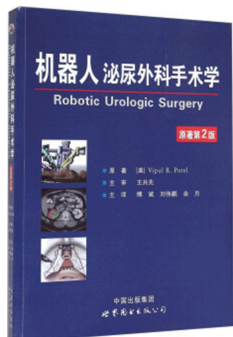
- [1] Korb W, Engel D, Boesecke R, et al. Risk analysis for a reliable and safe surgical robot system[J]. *International Congress Series*, 2003. DOI:10.1016/S0531-5131(03)00402-3.
- [2] Korb W, Kornfeld M, Birkfellner W, et al. Risk analysis and safety assessment in surgical robotics: a case study on a biopsy robot[J]. *Minim Invasive Ther Allied Technol*, 2005, 14(1): 23-31.
- [3] Morandi A, Verga M, Oleari E, et al. A methodological framework for the definition of patient safety measures in robotic surgery: the experience of SAFROS project[M]. In: *Frontiers of Intelligent Autonomous Systems*. edn. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013: 381-390.
- [4] Lau D, Terman S W, Patel R, et al. Incidence of and risk factors for superior facet violation in minimally invasive versus open pedicle screw placement during transforaminal lumbar interbody fusion: a comparative analysis[J]. *J Neurosurg Spine*, 2013, 18(4): 356-361.
- [5] Aoude A A, Fortin M, Figueiredo R, et al. Methods to

- determine pedicle screw placement accuracy in spine surgery: a systematic review[J]. *Eur Spine J*, 2015, 24(5): 990–1004.
- [6] Johnson N. Imaging, navigation, and robotics in spine surgery[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2016, 41 (Suppl 7) : S32.
- [7] Solomiichuk V, Fleischhammer J, Molliqaj G, et al. Robotic versus fluoroscopy-guided pedicle screw insertion for metastatic spinal disease: a matched-cohort comparison[J]. *Neurosurg Focus*, 2017, 42(5): E13.
- [8] Faria C, Erhagen W, Rito M, et al. Review of robotic technology for stereotactic neurosurgery[J]. *IEEE Rev Biomed Eng*, 2015.DOI:10.1109/RBME.2015.2428305.
- [9] Hu X, Scharschmidt T J, Ohnmeiss D D, et al. Robotic assisted surgeries for the treatment of spine tumors[J]. *Int J Spine Surg*, 2015.DOI:10.14444/2001.
- [10] Overlay S C, Cho S K, Mehta A I, et al. Navigation and robotics in spinal surgery: Where are we now? [J]. *Neurosurgery*, 2017, 80(3S): S86–S99.
- [11] Joseph J R, Smith B W, Liu X, et al. Current applications of robotics in spine surgery: a systematic review of the literature[J]. *Neurosurg Focus*, 2017, 42(5): E2.
- [12] Ringel F, Stürer C, Reinke A, et al. Accuracy of robot-assisted placement of lumbar and sacral pedicle screws: a prospective randomized comparison to conventional freehand screw implantation[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2012, 37(8): E496–E501.
- [13] Schizas C, Thein E, Kwiatkowski B, et al. Pedicle screw insertion: robotic assistance versus conventional C-arm fluoroscopy[J]. *Acta Orthop Belg*, 2012, 78(2): 240–245.
- [14] Kim H J, Lee S H, Chang B S, et al. Monitoring the quality of robot-assisted pedicle screw fixation in the lumbar spine by using a cumulative summation test[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2015, 40(2): 87–94.
- [15] Kim H J, Jung W I, Chang B S, et al. A prospective, randomized, controlled trial of robot-assisted vs freehand pedicle screw fixation in spine surgery[J]. *Int J Med Robot*, 2017, 13(3): 10.
- [16] Barzilay Y, Liebergall M, Fridlander A, et al. Miniature robotic guidance for spine surgery-introduction of a novel system and analysis of challenges encountered during the clinical development phase at two spine centres[J]. *Int J Med Robot*, 2006, 2(2): 146–153.
- [17] LIU H, CHEN W, WANG Z, et al. Comparison of the accuracy between robot-assisted and conventional freehand pedicle screw placement: a systematic review and meta-analysis[J]. *Int J Comput Assist Radiol Surg*, 2016, 11(12): 2273–2281.
- [18] Schatlo B, Molliqaj G, Cuvinciuc V, et al. Safety and accuracy of robot-assisted versus fluoroscopy-guided pedicle screw insertion for degenerative diseases of the lumbar spine: a matched cohort comparison[J]. *J Neurosurg Spine*, 2014, 20(6): 636–643.
- [19] KUO K L, SU Y F, WU C H, et al. Assessing the intraoperative accuracy of pedicle screw placement by using a bone-mounted miniature robot system through secondary registration[J]. *PLoS One*, 2016, 11(4): e0153235
- [20] Grelat M, Zairi F, Quidet M, et al. Assessment of the surgeon radiation exposure during a minimally invasive TLIF: Comparison between fluoroscopy and O-arm system[J]. *Neurochirurgie*, 2015, 61(4): 255–259.
- [21] Yu E, Khan S N. Does less invasive spine surgery result in increased radiation exposure? A systematic review[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2014, 472(6): 1738–1748.
- [22] Roser F, Tatagiba M, Maier G. Spinal robotics: current applications and future perspectives[J]. *Neurosurgery*, 2013, 72 (Suppl 1): 12–18.
- [23] Kim H J, Kang K T, Park S C, et al. Biomechanical advantages of robot-assisted pedicle screw fixation in posterior lumbar interbody fusion compared with freehand technique in a prospective randomized controlled trial-perspective for patient-specific finite element analysis[J]. *Spine J*, 2017, 17(5): 671–680.
- [24] Lieber A M, Kirchner G J, Kerbel Y E, et al. Robotic-assisted pedicle screw placement fails to reduce overall

- postoperative complications in fusion surgery[J]. Spine J, 2019, 19(2): 212–217.
- [25] Jeong I G, Khandwala Y S, Kim J H, et al. Association of robotic-assisted vs laparoscopic radical nephrectomy with perioperative outcomes and health care costs, 2003 to 2015[J]. JAMA, 2017, 318(16): 1561–1568.
- [26] Ha Y. Robot-assisted spine surgery: A solution for aging spine surgeons[J]. Neurospine, 2018, 15(3): 187–188.
- [27] Laudato P A, Pierzchala K, Schizas C. Pedicle screw insertion accuracy using O-arm, robotic guidance, or freehand technique: A comparative study[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2018, 43(6): E373–E378.
- [28] FAN Y, DU J, ZHANG J, et al. Comparison of accuracy of pedicle screw insertion among 4 guided technologies in spine surgery[J]. Med Sci Monit, 2017. DOI: 10.12659/msm.905713.
- [29] LIU Y. Potential risk of intelligent technologies in clinical orthopedics[J]. Adv Exp Med Biol, 2018. DOI: 10.1007/978-981-13-1396-7_21.
- [30] Devito D P, Kaplan L, Dietl R, et al. Clinical acceptance and accuracy assessment of spinal implants guided with SpineAssist surgical robot: retrospective study[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2010, 35(24): 2109–2115.
- [31] Tsai T H, Tzou R D, Su Y F, et al. Pedicle screw placement accuracy of bone-mounted miniature robot system[J]. Medicine (Baltimore), 2017, 96(3): e5835
- [32] Herron D M, Marohn M, Group S-MRSC. A consensus document on robotic surgery[J]. Surg Endosc, 2008, 22(2): 313–312.
- [33] Nathoo N, Cavaşođlu M C, Vogelbaum M A, et al. In touch with robotics: neurosurgery for the future[J]. Neurosurgery, 2005, 56(3): 421–433.
- [34] TIAN W, WANG H, LIU Y J. Robot-assisted anterior odontoid screw fixation: A case report[J]. Orthopaedic Surgery, 2016, 8(3): 400–404.
- [35] Maier-Hein L, Vedula S S, Speidel S, et al. Surgical data science for next-generation interventions[J]. Nature Biomedical Engineering, 2017, 1(9): 691–696.

《机器人泌尿外科手术学（原著第2版）》译著购书信息

《机器人泌尿外科手术学（原著第2版）》译著于2015年8月出版发行。该书由美国佛罗里达医院的全球机器人研究所主任、美国机器人学会创立者、The Journal of Robotic Surgery的创办者及主编、美国泌尿外科学会机器人手术高级课程主讲者 Vipul R. Patel 教授主编。近年来，泌尿外科腹腔镜和机器人辅助手术得到广泛开展，显著提高了患者的生活质量。然而，



泌尿外科腹腔镜和机器人辅助手术的训练，方法变化非常大，一项结构化的训练方案对当代泌尿外科医师掌握这些技术并将其发挥到最佳水平非常必要。本书的主要目的是通过展示所有标准化腹腔镜和机器人辅助手术步骤，认真指导泌尿外科医师的临床实践。每个手术通过大量腹腔镜照片和注解得以详细地展示。由此读者能了解到手术步骤的方方面面，从而逐步提高自己在机器人辅助手术方面的技术。



本刊编辑部