

· Meta 分析 ·

机器人辅助椎弓根置钉治疗老年 脊柱退行性疾病的 Meta 分析

韩鹏飞^{1,2} 张芝良² 陈成龙² 陈韬予² 李晓东¹ 李鹏翠² 魏垒² 吕智² 卫小春²

【摘要】 目的 通过 Meta 分析比较机器人辅助与透视引导椎弓根置钉在治疗老年脊柱退行性疾病时的准确性及安全性差异。方法 检索 2008 年 04 月至 2018 年 04 月国内外已发表的临床对照研究。所检索的数据库包括 Embase、Pubmed、中国知网、维普、万方等数据库。依据检索策略,共检索到相关文献 377 篇,并最终纳入 10 篇外文文献,1 篇中文文献。提取数据后,采用 Review Manager 5.3 软件进行数据分析。结果 椎弓根置钉治疗老年脊柱退行性疾病时,机器人辅助组的置钉准确度优于透视引导组(95% CI: 1.38~2.43, $P<0.001$),机器人辅助组的不良事件发生率(95% CI: 0.22~0.90, $P=0.02$)及翻修率(95% CI: 0.17~0.91, $P=0.03$)均少于透视引导组,而透视引导组术中辐射强度要少于机器人辅助组(95% CI: 0.09~0.89, $P=0.02$),余结局指标两组差异均无统计学意义。结论 在治疗老年脊柱退行性疾病时,机器人辅助椎弓根螺钉置入较传统透视引导置入具有更高的置钉准确度、更低的不良事件发生率。虽然术中辐射强度略高于透视引导组,但是机器人辅助技术仍不失为是一种安全可靠的治疗选择。

【关键词】 脊柱疾病; 外科手术,计算机辅助; 椎弓根钉; 机器人辅助

Robot-assisted placement of pedicle screws for treatment of spine degenerative diseases: A Meta-Analysis Han Pengfei^{1,2}, Zhang Zhiliang², Chen Chenglong², Chen Taoyu², Li Xiaodong¹, Li Pengcui², Wei Lei², Lyu Zhi², Wei Xiaochun². ¹Department of Orthopaedic Surgery, Second People's Hospital of Changzhi City, Changzhi 046010, China; ²Key Laboratory of Bone and Soft Tissue Injury Repair, Second Hospital of Shanxi Medical University, Taiyuan 030001, China

Corresponding author: Wei Xiaochun, Email: sdeygsys@163.com

【Abstract】 Objective To compare the accuracy and security between robot-assisted and fluoroscopy-guided pedicle screw placement s in the treatment of spine degenerative disease. **Methods** This study included clinical trials published both at demestic and abroad from April 2008 to April 2018. The retrieval was performed inonline databases include Embase, Pubmed, CNKI, CQVIP, Wanfang Data, etc. Based on the search strategy, a total of 377 related literatures were retrieved and 10 foreign documents and 1 Chinese document were included. After data extraction, statistical software Review manager 5.3 was used for data-analysis. **Results** It was found that when the pedicle screws were used to treat elderly patients with degenerative diseases of the spine, the accuracy of placement of the robot-assisted group was superior to that of the fluoroscopy-guided group (95% CI: 1.38-2.43, $P<0.001$). The robot-assisted number of adverse events (95% CI: 0.22-0.90, $P=0.02$) and revisions (95% CI: 0.17-0.91, $P=0.03$) were less than the fluoroscopy guidance group. But fluoroscopy exposure was more than the robot-assisted group (95% CI: 0.09-0.89, $P=0.02$). Other differences between the two groups were not statistically significant. **Conclusions** In the treatment of elderly degenerative diseases of the spine, robot-assisted pedicle screw implantation has higher accuracy and fewer complications than conventional fluoroscopy guided. Although intraoperative fluoroscopy exposure is slightly higher the fluoroscopy-guided group, robot-assisted technology is still a safe and reliable treatment option.

【Key words】 Spinal diseases; Surgery, computer-assisted; Pedicle screws; Robot-assisted

脊柱退行性疾病是导致老年人残疾的最常见原因之一^[1]。尤其是发生在腰椎的患者,因其可引起腰背部疼痛,严重者可出现跛行和移动能力下降,从而导致老年患者生活质量低下^[2-3]。虽然目前有众多非融合技术可用于该病的治疗,但是椎弓根置钉内固定术作为重建脊柱稳定性的重要手段,目前仍然是老年退行性疾病最常用的手术方法之一^[4-5]。传统椎弓根螺钉置入,大多由脊柱外科医生在透视引导下徒手完成,有报道称透视引导的置钉成功率约为90.3%~94.1%^[6],且与术者技术经验有直接关系。当椎弓根解剖形态与结构发生改变或术者技术经验不足时,仍有较大置钉失误的可能^[7]。因此,机器人辅助导航系统应运而生。通过将老年患者计算机断层扫描图像数据上传到机器人辅助系统中,术者能够设计出椎弓根螺钉置入的最优路径^[8]。二者究竟孰优孰劣仍存在争议。因此本文拟通过Meta分析的方法系统比较二者的差异,以期为临床实践提供一定的理论指导依据。

资料与方法

一、一般资料

检索2008年04月至2018年04月国内外已发表的,根据患者病史、体格检查及影像学检查确诊为脊柱退行性改变(椎体滑脱、椎管狭窄、椎间盘突出)且需椎弓根置钉内固定手术者。排除非病例对照研究、个案报道、综述类文献、书信以及重复报告的文献。文献中纳入病例平均年龄<60岁或未提供足够相关数据等文献亦排除在外。干预措施为机器人辅助与透视引导椎弓根螺钉置入。结局指标为椎弓根置钉准确度、不良事件发生率、术后翻修率、术中辐射强度、术中透视时间、术后背部VAS评分、术后腿部VAS评分、手术时间和住院时间共9项。

二、检索策略

所检索的数据库包括 Embase、Pubmed、Central、Cinahl、PQDT、中国知网、维普、万方、Cochrane Library、CBM等数据库。手工检索杂志目录以及参考文献,并查找相关灰色文献如未发表的学术论文,专著中的章节等。同时不限制语言搜索,必要时进行翻译。中文检索的关键词为机器人辅助、透视引导、传统徒手、椎弓根螺钉,检索策略为椎弓根螺钉并且机器人辅助或透视引导或传统徒手。英文检索

的关键词为“Robot assisted、Fluoroscopy guided、Conventional、Freehand、Pedic screw”,检索策略为“Pedic screw AND Robot assisted OR Fluoroscopy guided OR Conventional OR Freehand”。

三、纳入文献质量评价

由两名医师对纳入文献进行独立分析,如遇分歧则讨论解决或交由第三位高年资医师共同裁定文献的质量。严格按照Cochrane偏倚风险评估标准进行评估:(1)实验设计是否采用了随机原则;(2)受试者、实施者及测量者是否使用了双盲原则;(3)实验数据是否完整可信;(4)是否采用了分配隐蔽法;(5)实验是否采用了选择性数据报告方法;(6)其他偏倚因素。同时根据改良Jadad量表评价文献质量,总分7分,充分随机2分、随机化隐藏2分,双盲原则2分、失访1分,文献总分≥4分为高质量病例研究文献。

四、统计分析

使用Cochrane协作网提供的Review manager 5.3软件对提取的数据进行Meta分析。二分类变量采用比值比(odds ratio, OR)及95%可信区间(confidence interval, CI)表示,连续性变量采用均数差(mean difference, MD)或标准化均数差(standard mean difference, SMD)及95% CI表示,计算 I^2 值来检验不同研究之间的异质性,当 $I^2 < 50\%$ 时,提示研究间的异质性较小,则采用固定效应模型(fixed effect);若 $I^2 > 50\%$ 时,提示研究间的异质性较大,此时分析异质性原因,并采用随机效应模型(random effect)。通过去除某些研究进行敏感性分析,制作漏斗图评估发表偏倚。检验水准 α 值取双侧0.05。

结 果

一、纳入文献的基本特征

依据上述检索策略,共检索到相关文献337篇。通过阅读文题和摘要,排除非对照研究、重复发表以及与研究目的不相关的文献275篇,初筛出62篇相关文献;进一步阅读全文,并严格按照纳入标准和排除标准进行筛查,最终纳入10篇外文文献,1篇中文文献。各纳入文献研究均比较了患者年龄、病程等基线情况,具有可比性($P > 0.05$)。纳入文献研究的基本特征见表1,文献筛选流程及结果见图1。

表1 纳入文献研究基本特征表

纳入研究	类型	国家	年份	组别	例数	年龄(岁)	性别 (男/女)	结局指标	改良Jadad 质量评价
Hyun 等 ^[9]	随机对照	韩国	2016	RA	30	66.5	9/21	(1)(4)(5)(6)(7)(8)(9)	7
				FG	30	66.8	8/22		
Kantelhardt 等 ^[10]	回顾性	德国	2011	RA	55	63.1	52/60	(1)(5)(8)(9)	3
				FG	57				
Keric 等 ^[11]	回顾性	德国	2016	RA	66	72.3±11.1	36/30	(1)(2)(3)(5)(6)(7)(8) (9)	2
				FG	24	68±11.23	13/11		
Kim 等 ^[12]	随机对照	韩国	2015	RA	20	64.4±11.9	11/9	(1)(8)	6
				FG	20	64.7±8.6	8/12		
Kim 等 ^[13]	回顾性	韩国	2016	RA	37	65.4±10.4	19/18	(1)(2)(3)(6)(7)(8)	3
				FG	41	66±8.6	22/19		
Laudato 等 ^[14]	回顾性	瑞士	2014	RA	11	65	-	(1)	2
				FG	48	60.7			
Lonjon 等 ^[15]	随机对照	法国	2015	RA	10	63.4±11	4/6	(1)(2)(3)(4)(5)(8)(9)	7
				FG	10		4/6		
Ringel 等 ^[16]	随机对照	德国	2012	RA	30	68	14/16	(1)(2)(3)(5)(8)(9)	7
				FG	30	67	12/18		
Schizas 等 ^[17]	随机对照	瑞士	2012	RA	11	65	6/5	(1)(4)(5)	6
				FG	23	66	8/15		
Solomiichuk 等 ^[18]	回顾性	瑞士	2017	RA	35	63.7±10.6	21/14	(1)(2)(3)(4)(5)(8)	3
				FG	35	62.2±11.1	23/12		
付松等 ^[19]	随机对照	中国	2017	RA	24	67±4	11/13	(2)(3)(6)(7)(8)	5
				FG	26	69±5	12/14		

注:RA 为机器人辅助;FG 为透视引导。结局指标:(1)椎弓根置钉准确度;(2)不良事件发生率;(3)术后翻修率;(4)术中辐射强度;(5)术中透视时间;(6)术后背部VAS评分;(7)术后下肢VAS评分;(8)手术时间;(9)住院时间

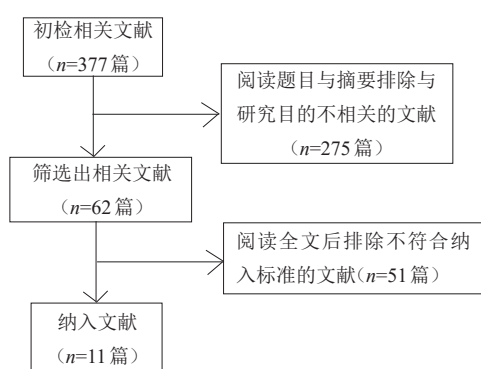


图1 文献筛选流程图

二、纳入文献的质量评价

此研究纳入6篇随机对照试验和5篇回顾性研究。采用改良Jadad评分法进行质量评价。其中3篇试验7分、2篇6分、1篇5分,共6篇高质量文献,以及3篇3分和2篇2分,共5篇低质量文献,虽然纳入文献数量有限,存在一定偏倚,但整体质量适中。

三、观察指标及结果

(一)椎弓根置钉准确度的比较

机器人辅助置钉根据经皮或开放入路不同分为2个亚组,共纳入10篇文献。对比经皮/开放机器人辅助和透视引导椎弓根置钉治疗老年脊柱退行性疾病的准确度,因为各研究结果及亚组间异质性不大($I^2 < 50\%$),故采用固定效应模型进行Meta分析。结果显示:在椎弓根置钉治疗老年脊柱疾病时,开放机器人辅助和透视引导置钉准确度相当(95% CI: 0.92~4.67, $P=0.08$),差异无统计学意义。但是经皮机器人辅助置钉准确度优于透视引导组(95% CI: 1.34~2.48, $P=0.001$),总的置钉准确度也是机器人辅助组优于透视引导组(95% CI: 1.38~2.43, $P<0.001$),差异均有统计学意义,见图2。

(二)不良事件发生率的比较

纳入的6篇文献对于机器人辅助和透视引导椎

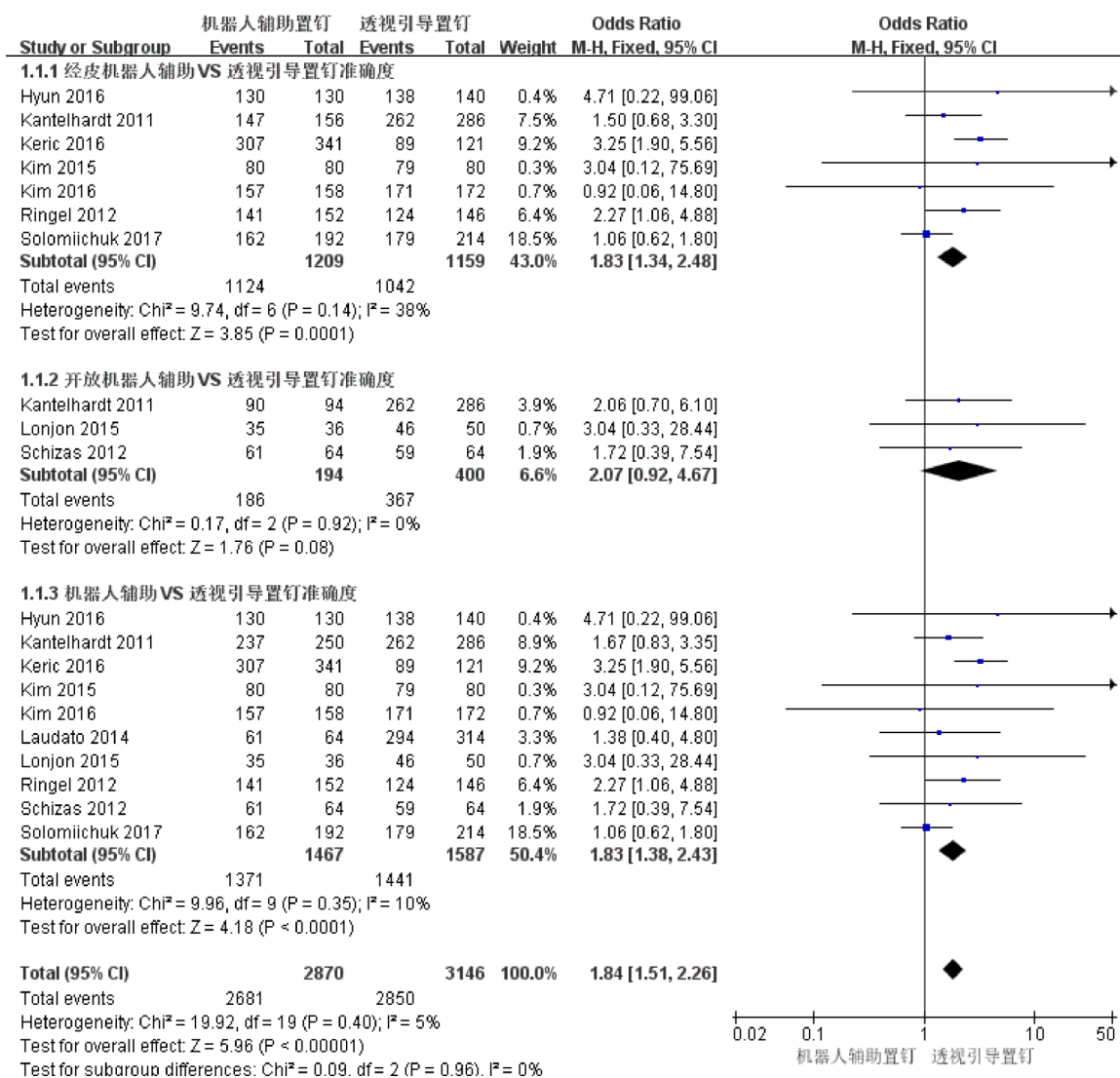


图2 机器人辅助和透视引导椎弓根置钉治疗老年脊柱疾病准确度的Meta分析

弓根置钉治疗老年脊柱退行性疾病的不良事件发生率做了比较,因为各研究结果间异质性不大($I^2 < 50\%$),故采用固定效应模型进行Meta分析。结果显示:在椎弓根置钉治疗老年脊柱退行性疾病时,机器人辅助组的不良事件发生率低于透视引导组,差异有统计学意义(95% CI: 0.22~0.90, $P = 0.02$),见图3。

(三)术后翻修率的比较

纳入的6篇文献对于机器人辅助和透视引导椎弓根置钉治疗老年脊柱退行性疾病翻修手术率做了比较,因为各研究结果间异质性不大($I^2 < 50\%$),故采用固定效应模型进行Meta分析。结果显示:采用椎弓根置钉治疗老年脊柱退行性疾病时,机器人辅助组的翻修率低于透视引导组,差异有统计学意义(95% CI: 0.17~0.91, $P = 0.03$),见图4。

(四)术中辐射强度的比较

纳入的4篇文献对于机器人辅助和透视引导椎弓根置钉治疗老年脊柱退行性疾病的术中辐射强度做了比较,因为各研究结果间异质性较大($I^2 > 50\%$),故采用随机效应模型进行Meta分析。结果显示:在椎弓根置钉治疗老年脊柱退行性疾病时,透视引导组术中辐射强度少于机器人辅助组,差异有统计学意义(95% CI: 0.09~0.89, $P = 0.02$),见图5。

(五)术中透视时间的比较

纳入的7篇文献对于机器人辅助和透视引导椎弓根置钉治疗老年脊柱退行性疾病的术中透视时间做了比较,因为各研究结果间异质性较大($I^2 > 50\%$),故采用随机效应模型进行Meta分析。结果显示:在椎弓根置钉治疗老年脊柱退行性疾病时,术中透视时间两组相当,差异无统计学意义

(95% CI: -11.63~20.22, $P=0.60$), 见图6。

(六)术后背部VAS评分的比较

纳入的4篇文献对于机器人辅助和透视引导椎弓根置钉治疗老年脊柱退行性疾病的术后背部VAS评分做了比较,因为各研究结果间异质性不大($I^2<50\%$),故采用固定效应模型进行Meta分析。结果显示:在椎弓根置钉治疗老年脊柱疾病时,两组

术后发生背部疼痛评分相当,差异无统计学意义(95% CI: -0.60~0.22, $P=0.37$),见图7。

(七)术后下肢VAS评分的比较

纳入的4篇文献对于机器人辅助和透视引导椎弓根置钉治疗老年脊柱退行性疾病的术后腿部VAS评分做了比较,因为各研究结果间异质性不大($I^2<50\%$),故采用固定效应模型进行Meta分析。

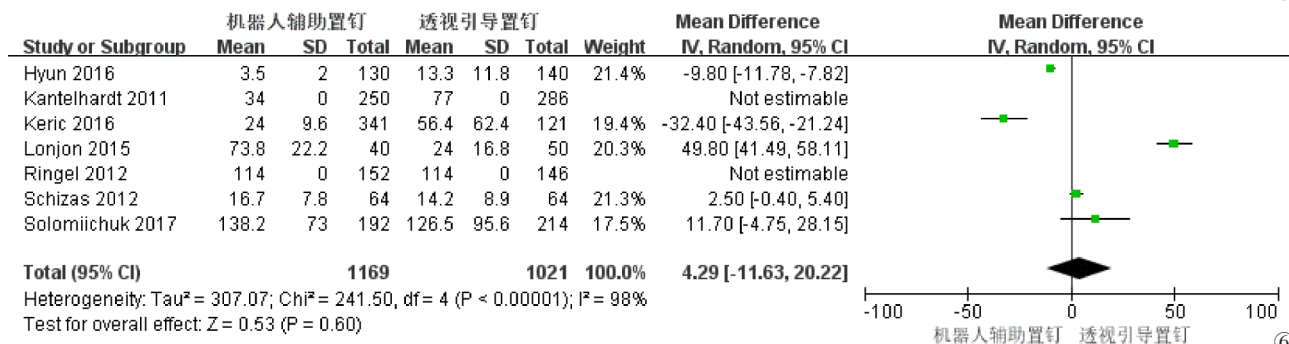
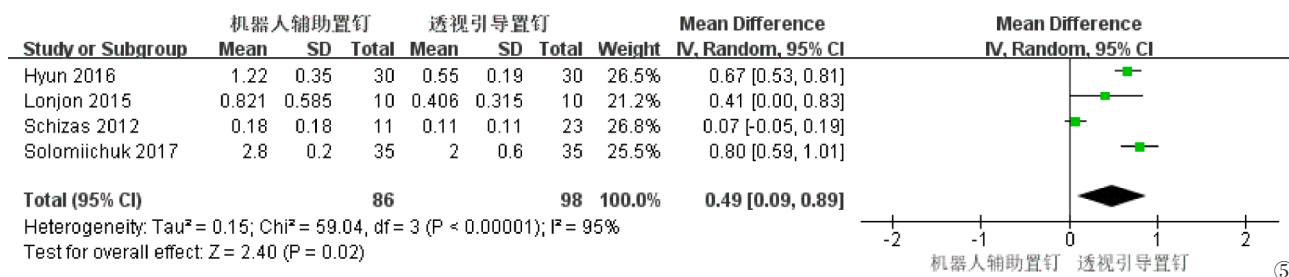
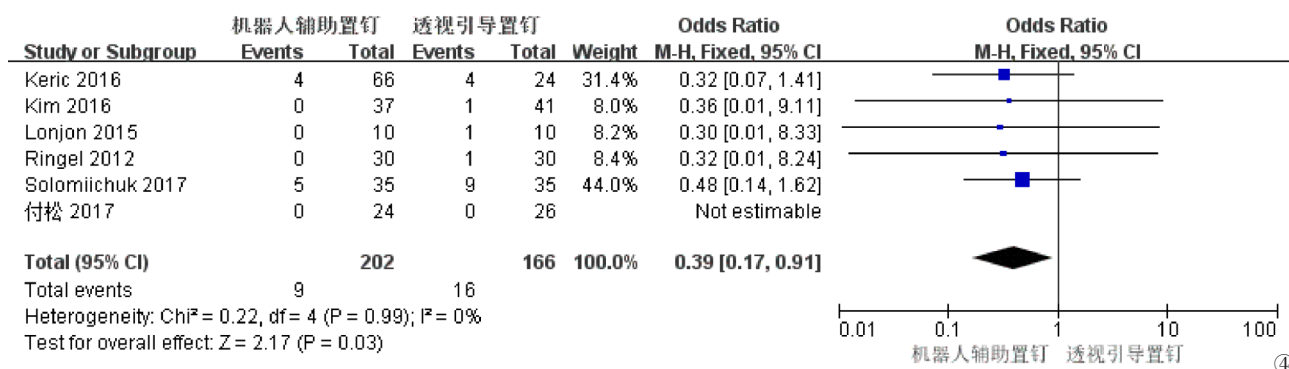
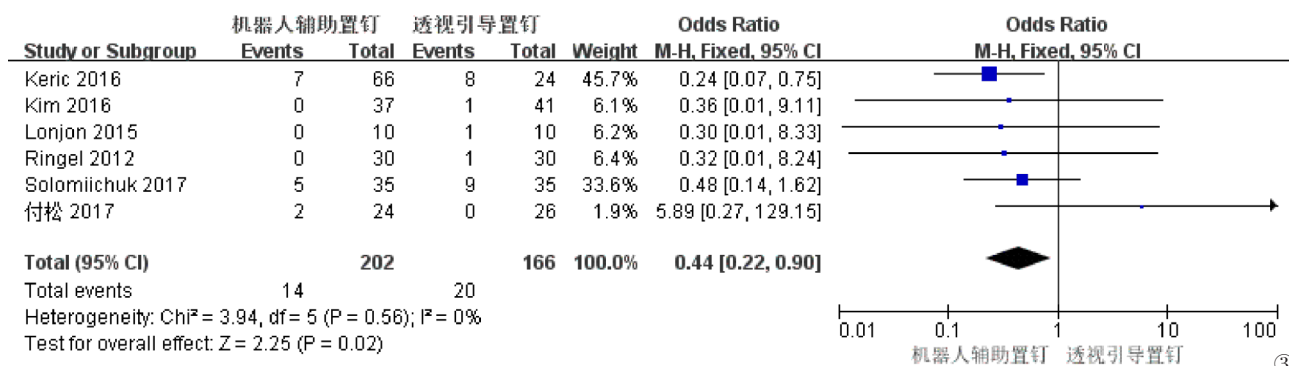


图3 机器人辅助和透视引导椎弓根置钉治疗老年脊柱疾病不良事件率的Meta分析 图4 机器人辅助和透视引导椎弓根置钉治疗老年脊柱疾病翻修率的Meta分析 图5 机器人辅助和透视引导椎弓根置钉治疗老年脊柱疾病术中辐射强度的Meta分析 图6 机器人辅助和透视引导椎弓根置钉治疗老年脊柱疾病术中透视时间的Meta分析

结果显示:在椎弓根置钉治疗老年脊柱疾病时,两组术后发生下肢疼痛评分相当,差异无统计学意义(95% CI: -0.21~0.16, $P=0.79$),见图8。

(八)手术时间的比较

纳入的9篇文献对于机器人辅助和透视引导椎弓根置钉治疗老年脊柱退行性疾病的手术时间做了比较,因为各研究结果间异质性较大($I^2>50\%$),故采用随机效应模型进行Meta分析。结果显示:在椎弓根置钉治疗老年脊柱疾病时,两组手术时间相当,差异

无统计学意义(95% CI: -12.67~39.17, $P=0.32$),见图9。

(九)住院时间的比较

纳入的5篇文献对于机器人辅助和透视引导椎弓根置钉治疗老年人脊柱退行性疾病的住院时间做了比较,因为各研究结果间异质性不大($I^2<50\%$),故采用固定效应模型进行Meta分析。结果显示:在椎弓根置钉治疗老年脊柱疾病时,两组住院时间相当,差异无统计学意义(95% CI: -4.61~1.51, $P=0.32$),见图10。

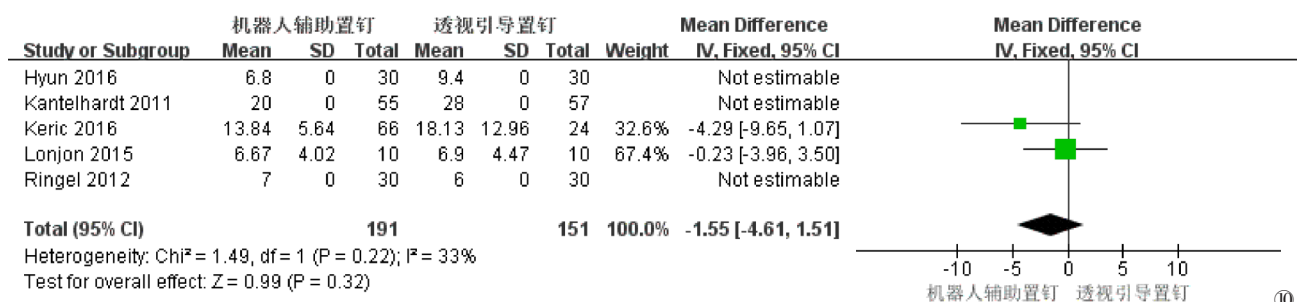
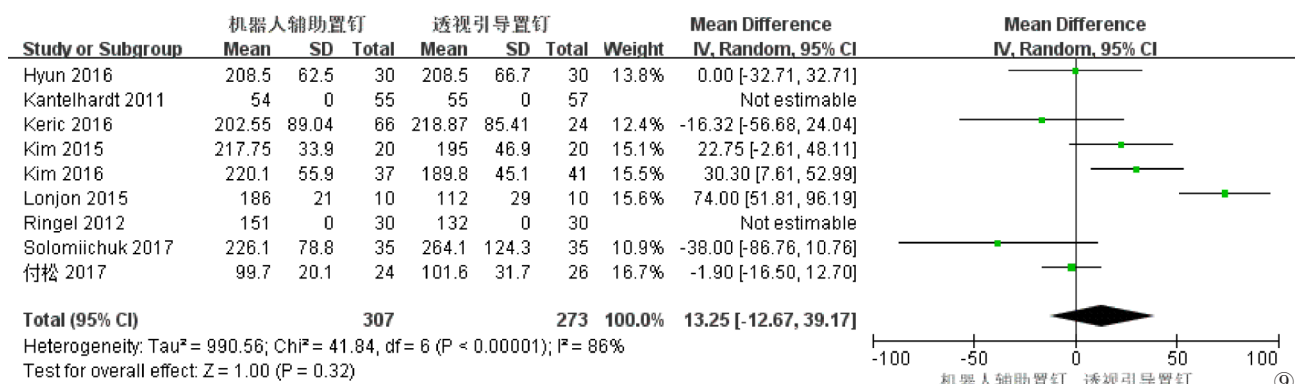
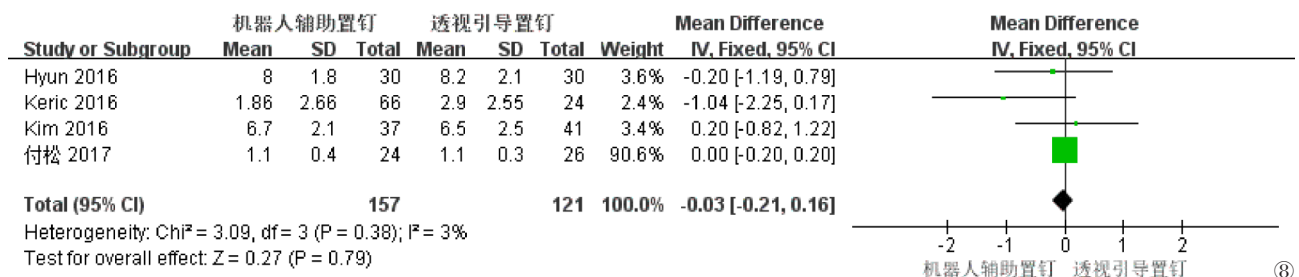
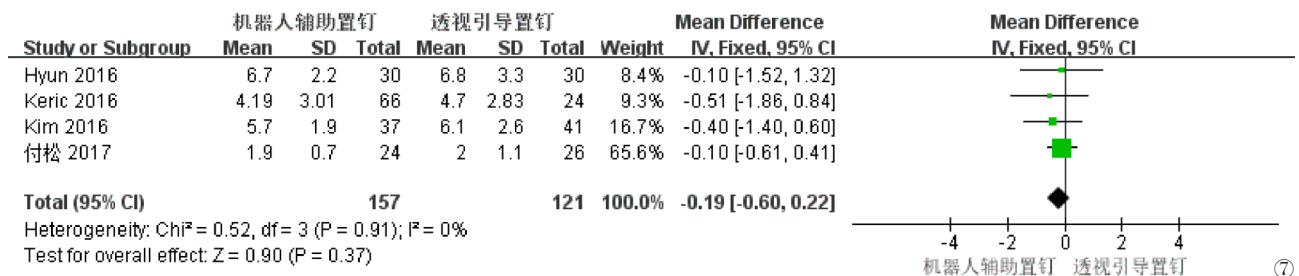


图7 机器人辅助和透视引导椎弓根置钉治疗老年脊柱疾病术后背部VAS评分的Meta分析 图8 机器人辅助和透视引导椎弓根置钉治疗老年脊柱疾病术后下肢VAS评分的Meta分析 图9 机器人辅助和透视引导椎弓根置钉治疗老年脊柱疾病手术时间的Meta分析 图10 机器人辅助和透视引导椎弓根置钉治疗老年脊柱疾病住院时间的Meta分析

四、发表偏倚及敏感性分析

采用Cochrane协作网提供的Review manager5.3统计学软件对椎弓根置钉准确度、不良事件发生率、术后翻修率、术中辐射强度、术中透视时间、术后背

部VAS评分、术后下肢VAS评分、手术时间和住院时间等观察指标进行发表偏倚分析,结果显示各漏斗图基本对称,提示不存在明显发表偏倚(见图11~19)。经过敏感性分析也认为该数据稳定可靠。

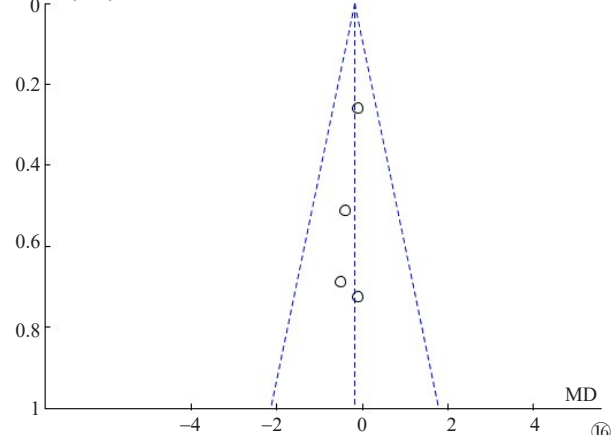
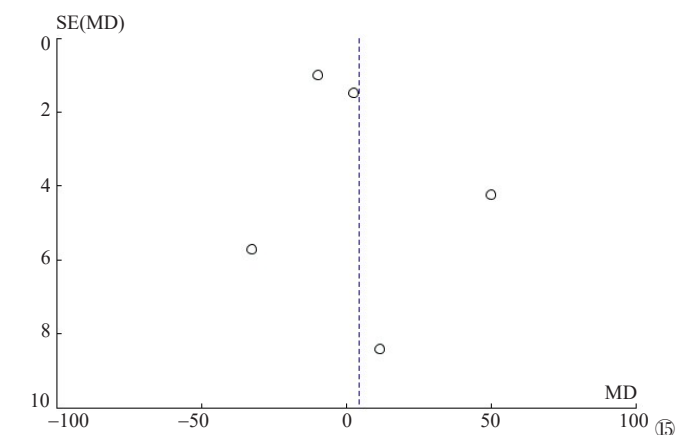
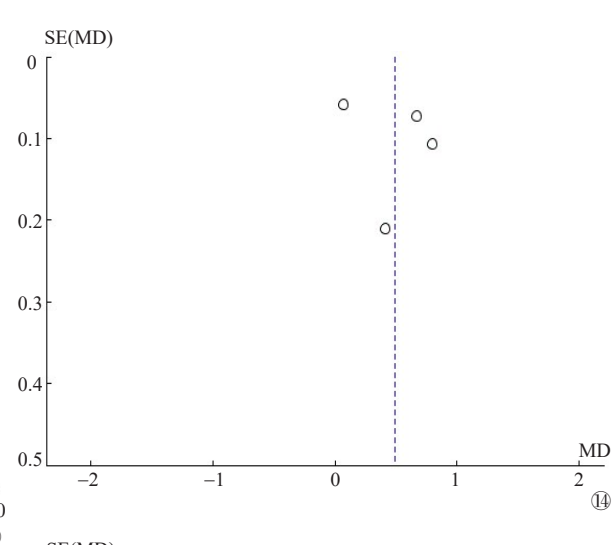
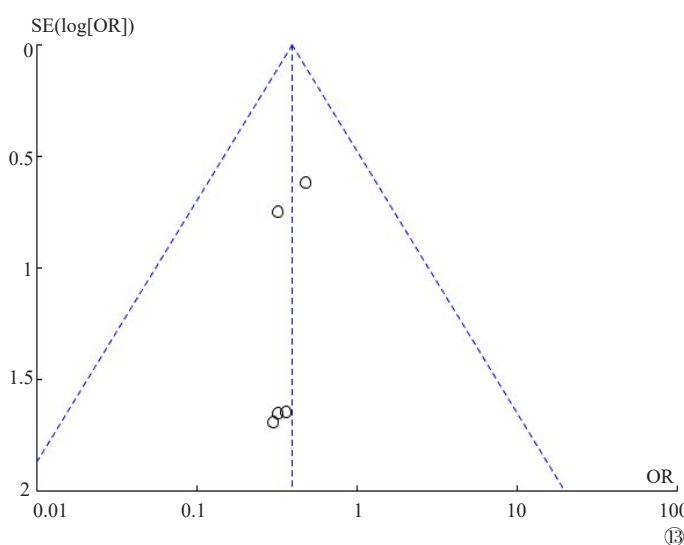
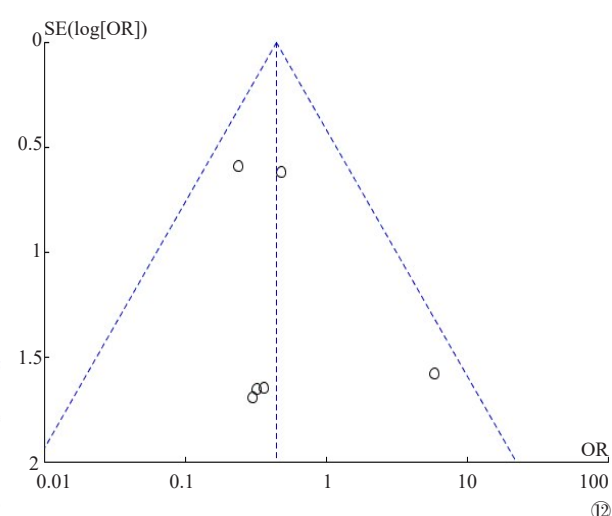
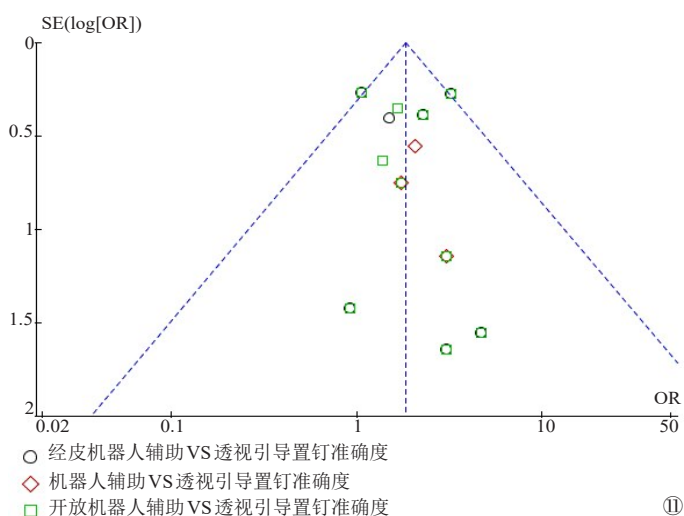


图11 椎弓根置钉准确度发表偏倚漏斗图 图12 不良事件发生率发表偏倚漏斗图 图13 术后翻修率发表偏倚漏斗图
图14 术中辐射强度发表偏倚漏斗图 图15 术中透视时间发表偏倚漏斗图 图16 术后背部VAS评分发表偏倚漏斗图

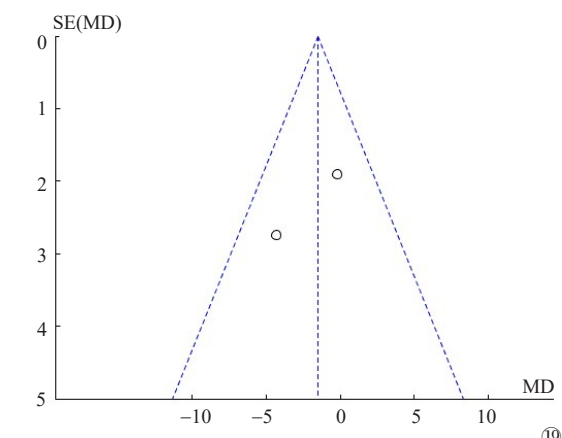
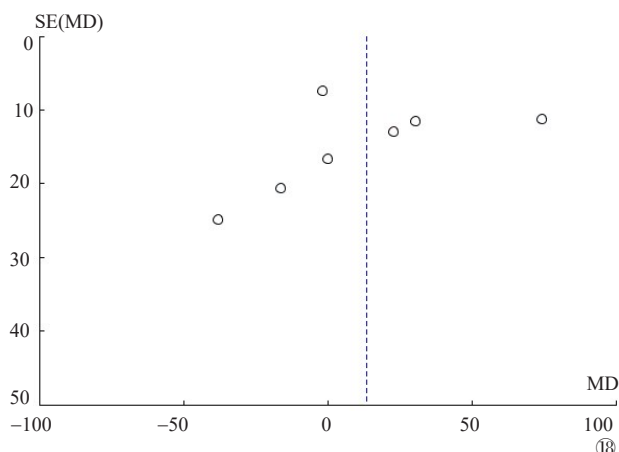
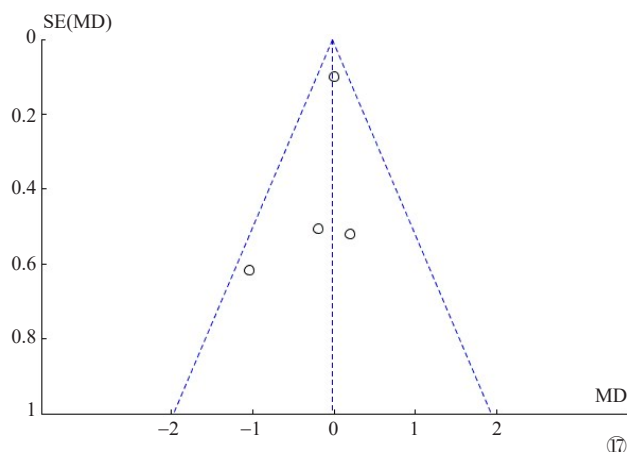


图 17 术后腿部 VAS 评分发表偏倚漏斗图 图 18 手术时间发表偏倚漏斗图 图 19 住院时间发表偏倚漏斗图

讨 论

脊柱退行性疾病是老年骨科的常见病、多发病,尤以腰椎为好发^[20],常包括有:椎管狭窄、椎间盘突出、椎体滑脱等疾病^[21-22]。目前临床以手术治疗作为主要治疗手段之一^[23-24]。脊柱手术时,为防止术后脊柱不稳等并发症的发生,通常需要进行椎弓根螺钉置入,以利于脊柱生物力学的重建^[25]。由于椎弓根形态复杂与变异情况的存在,且椎弓根旁有包括脊髓、神经根等重要的组织结构,一旦椎弓根螺钉的置入位置不佳则极有可能造成严重的手术并发症。因此,椎弓根置钉的准确性及安全性一直是脊柱外科医师关注的问题。传统徒手置入椎弓根螺钉,需要清晰显露进钉点,易造成多裂肌及支配神经的损伤^[26]。而且徒手置钉主要依靠术前术中二维影像学检查和术者的手术技术,需要较长的学习周期和学习曲线^[27]。近些年,机器人辅助导航技术应用于椎弓根螺钉置入领域,也已取得了较好的效果^[28]。机器人辅助置钉前,通过术中定位和术前影像资料相匹配,可按照

手术的要求精确选定进钉点,且置钉时不需要对进钉点进行任何处理,减少了多裂肌的损伤等并发症^[29]。但也有报道称由于术中匹配不理想,术者很难完全按照术前设计的螺钉路径完美置钉,导致即便使用机器人辅助系统,置钉失败率仍然较高^[30]。

本次 Meta 分析的目的在于比较椎弓根治疗老年脊柱退行性疾病两种置钉方式的疗效差异,选择椎弓根置钉准确度、不良事件发生率、术后翻修率、术中辐射强度、术中透视时间、术后背部 VAS 评分、术后下肢 VAS 评分、手术时间和住院时间 9 个结局指标,力求全面细致比较二者之间准确性和安全性差异。然而,通过比较发现,机器人辅助组的置钉准确度优于透视引导组(95% CI: 1.38~2.43, $P<0.001$),而且机器人辅助组的不良事件发生率(95% CI: 0.22~0.90, $P=0.02$)及翻修率(95% CI: 0.17~0.91, $P=0.03$)均低于透视引导组。虽然透视引导组在术中辐射强度(95% CI: 0.09~0.89, $P=0.02$)上较机器人辅助组略有优势,但是这种优势差异不大。在治疗老年脊柱疾病时,机器人辅助技术具有良好的安全准确性和应用前景。当然考虑到机器人辅助技术昂贵的价格和复杂的操作步骤,具体的置钉方式选择仍应遵循个体化治疗原则。

本研究尚存在以下不足,有待进一步完善和改进:(1)本次 Meta 分析系统评价共纳入 10 篇外文文献,1 篇中文文献,其中只纳入 6 篇随机对照试验,证据等级不高;(2)非随机对照研究采用 Jadad 评分法评价纳入的研究质量低;(3)结局评价指标中,同一评价方式最多纳入文献 10 篇,少则只有 3 篇,组间异质性也会略有增加;(4)临床研究要求患者知情同意,涉及到具体治疗方案的选择和医学伦理问题时,也可能造成文献质量评价低,不可避免产生偏倚,影响 Meta 分析结论的可靠性。因此,上述结论尚需更多的大样本随机对照研究进一步加以验证。

参 考 文 献

- 1 黄伟敏, 于秀淳, 梁进, 等. PEEK 棒椎弓根螺钉系统治疗老年腰椎退行性疾病的疗效分析 [J]. 中华老年骨科与康复电子杂志, 2016, 2(4): 211-216.
- 2 Shchedrenok VV, Sebelev KI, Anikeev NV, et al. Algorithm of the diagnostics of trauma and degenerative diseases of the spine [J]. Vestn Khir Im I I Grek, 2011, 170(4): 102-104.
- 3 Epstein NE. Lower complication and reoperation rates for laminectomy rather than MI TLIF/other fusions for degenerative lumbar disease/spondylolisthesis: A review [J]. Surg Neurol Int, 2018, 9: 55.
- 4 Xiong Y, Xu L, Yu X, et al. Comparison of 6-year Follow-up Result of Hybrid Surgery and Anterior Cervical Discectomy and Fusion for the Treatment of Contiguous 2-segment Cervical Degenerative Disc Diseases [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2018: [Epub ahead of print].
- 5 Wang H, Lv B. Comparison of clinical and radiographic results between posterior Pedicle-Based dynamic stabilization and posterior lumbar intervertebral fusion for lumbar degenerative disease: a 2-Year retrospective study [J]. World Neurosurg, 2018, 114: e403-e411.
- 6 Wang MY, Pineiro G, Mummaneni PV. Stimulus-evoked electromyography testing of percutaneous pedicle screws for the detection of pedicle breaches: a clinical study of 409 screws in 93 patients [J]. J Neurosurg Spine, 2010, 13(5): 600-605.
- 7 Avila MJ, Baaj AA. Freehand thoracic pedicle screw placement: review of existing strategies and a Step-by-Step guide using uniform landmarks for all levels [J]. Cureus, 2016, 8(2): 501.
- 8 Joseph JR, Smith BW, Liu X, et al. Current applications of robotics in spine surgery: a systematic review of the literature [J]. Neurosurg Focus, 2017, 42(5): 2.
- 9 Hyun SJ, Kim KJ, Jahng TA, et al. Minimally invasive robotic versus open fluoroscopic-guided spinal instrumented fusions: a randomized controlled trial [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2017, 42(6): 353-358.
- 10 Kantelhardt SR, Martinez R, Baerwinkel S, et al. Perioperative course and accuracy of screw positioning in conventional, open robotic-guided and percutaneous robotic-guided, pedicle screw placement [J]. Eur Spine J, 2011, 20(6): 860-868.
- 11 Keric N, Eum DJ, Afghanyar F, et al. Evaluation of surgical strategy of conventional vs. percutaneous robot-assisted spinal trans-pedicular instrumentation in spondylodiscitis [J]. J Robot Surg, 2017, 11(1): 17-25.
- 12 Kim HJ, Lee SH, Chang BS, 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.
- 13 Kim HJ, Jung WI, Chang BS, 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): Epub 2016 Sep 27.
- 14 Laudato PA, 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.
- 15 Lonjon N, Chan-Seng E, Costalat V, et al. Robot-assisted spine surgery: feasibility study through a prospective case-matched analysis [J]. Eur Spine J, 2016, 25(3): 947-955.
- 16 Ringel F, Stür 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.
- 17 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.
- 18 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): 13.
- 19 付松, 邵诗泽, 王龙强, 等. Quadrant 系统下椎间融合辅助机器人治疗老年单节段腰椎退变的临床研究 [J]. 中华老年骨科与康复电子杂志, 2017, 3(2): 70-76.
- 20 Purvis TE, Neuman BJ, Riley LH et al. Discriminant Ability, Concurrent Validity, and Responsiveness of PROMIS Health Domains Among Patients With Lumbar Degenerative Disease Undergoing Decompression With or Without Arthrodesis [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2018, [Epub ahead of print].
- 21 Lee YC, Zotti MG, Osti OL. Operative management of lumbar degenerative disc disease [J]. Asian Spine J, 2016, 10(4): 801-819.
- 22 Ghobrial GM, Williams KA, Arnold P, et al. Iatrogenic neurologic deficit after lumbar spine surgery: A review [J]. Clin Neurol Neurosurg, 2015, 139: 76-80.
- 23 O'lynnng TM, Zuckerman SL, Morone PJ, et al. Trends for spine surgery for the elderly: implications for access to healthcare in North America [J]. Neurosurgery, 2015, 77(Suppl 4): S136-S141.
- 24 Salzmann SN, Shue J, Hughes AP. Lateral lumbar interbody Fusion-Outcomes and complications [J]. Curr Rev Musculoskelet Med, 2017, 10(4): 539-546.
- 25 Lattig F, Weckbach S. S2-Ala-iliac screws for extended pelvic fixation in longer lumbar instrumentations : Description of a freehand technique [J]. Oper Orthop Traumatol, 2017, 29(4): 360-372.
- 26 Palejwala SK, Sheen WA, Walter CM, et al. Minimally invasive lateral transpsoas interbody fusion using a stand-alone construct for the treatment of adjacent segment disease of the lumbar spine: Review of the literature and report of three cases [J]. Clin Neurol Neurosurg, 2014, 124: 90-105.
- 27 Perna F, Borghi R, Pilla F, et al. Pedicle screw insertion techniques: an update and review of the literature [J]. Musculoskelet Surg, 2016, 100(3): 165-169.
- 28 Park SM, Kim HJ, Lee SY, et al. Radiographic and clinical outcomes of Robot-Assisted posterior pedicle screw fixation: Two-Year results from a randomized controlled trial [J]. Yonsei Med J, 2018, 59(3): 438-444.
- 29 付松, 邵诗泽, 王龙强, 等. 机器人经皮置钉 Quadrant 通道下减压, 椎间融合治疗腰椎滑脱症 [J]. 脊柱外科杂志, 2017, 15(1): 7-12.
- 30 王洪伟, 张鹤, 李长青, 等. 术前计划在脊柱微创手术机器人椎弓根螺钉置入操作中的价值探讨 [J]. 中国矫形外科杂志, 2013, 21(03): 275-279.

(收稿日期: 2018-04-11)

(本文编辑: 吕红芝)

韩鹏飞, 张芝良, 陈成龙, 等. 机器人辅助椎弓根置钉治疗老年脊柱退行性疾病的 Meta 分析 [J/CD]. 中华老年骨科与康复电子杂志, 2019, 5(1): 39-47.