

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

付松¹ 邵诗泽¹ 王龙强¹ 王亚楠¹ 侯海涛¹ 刘海军¹ 王欢¹ 黄相鹏¹ 朱洪英¹ 吕仁花²

【摘要】目的 比较Quadrant通道下减压、椎间融合辅助机器人经皮置入椎弓根螺钉和传统后路开放手术治疗老年单节段腰椎退变性疾病临床疗效及影像学情况。**方法** 前瞻性收集2014年8月至2015年1月手术治疗单节段腰椎退变性疾病患者50例,随机分为经通道减压、融合辅助机器人经皮置钉组(机器人组)及传统后路开放手术组(开放组)。机器人组24例,通过机器人进行术前规划,机器人臂经皮置入椎弓根螺钉,在Mast Quadrant通道辅助下进行减压、椎间融合。开放组26例,采用传统的后路开放手术。观察两组患者术中出血量、手术时间、术中及术后并发症发生情况,分别于术后3周、1、6、12个月随访并比较两组患者的疼痛视觉模拟评分(VAS),Oswestry功能障碍指数(ODI)及MRI上测量的多裂肌面积及萎缩比,并通过CT观察术后12个月的椎间融合情况。**结果** 所有患者均获得满意随访,随访时间12~15个月,平均(12.9±0.4)个月。机器人组手术时间为99.7(20.1)min,开放组为101.6(31.7)min,差异无统计学意义($Z=-0.197, P>0.05$)。机器人组患者的术中出血量和术后引流量分别为207.9(59.8)ml、90.6(45.6)ml少于开放组[297.5(80.1)ml、180.6(78.4)ml],差异具有统计学意义($Z=1.517, P<0.05; Z=2.168, P<0.05$)。两组患者术前及术后各个时间点的ODI、VAS评分随着随访时间的延长,均明显降低。术后12个月机器人组多裂肌的萎缩比[(6.2±1.1)%]低于开放手术组[(17.1±2.1)%],差异具有统计学意义($\chi^2=0.008, P<0.001$)。CT显示术后12个月椎间均达到骨性愈合,未见内固定相关并发症。**结论** 经通道减压、融合辅助机器人经皮置钉和传统的后路开放手术治疗单节段腰椎退变性疾病均能取得较好的临床疗效,但经通道减压、融合辅助机器人经皮置钉术对局部肌肉的创伤较小,更有利于恢复。

【关键词】 微创手术; 腰椎; 老年人; 机器人

Clinical research on interbody fusion assisted by Quadrant system and robot in the treatment of single segment lumbar degenerative Fu Song¹, Shao Shize¹, Wang Longqiang¹, Wang Yanan¹, Hou Haitao¹, Liu Haijun¹, Wang Huan¹, Huang Xiangpeng¹, Zhu Hongying¹, Lyu Renhua². ¹Department of Spinal Cord, Shandong Wendeng Orthopedic Hospital, Weihai 264400, China; ²Department of Neurosurgery, The Affiliated Weihai Central Hospital, 264400, China

【Abstract】 Objectives To compare the clinical effect and imaging changes between robot assisted percutaneous pedicle screws insertion via interbody fusion and decompression under quadrant system and conventional posterior open surgery in senile lumbar degenerative patients with single segment. **Methods** A prospective study was performed in 50 lumbar degenerative patients involved one level segment from August 2014 to January 2015, they were divided into robot group and open surgery group randomly. Preoperative plans and percutaneous pedicle screw insertion of twenty-four patients in robot group were achieved by robot, decompression and interbody fusion were carried out under Quadrant Mast channel. Twenty-six patients in open surgery group underwent traditional open surgery. The intraoperative blood loss, duration of operation, intraoperative and postoperative complications were compared between two groups. The amount and ratio of muscle atrophy were measured by MRI, visual analogue scale (VAS) and oswestry disability index (ODI) were observed at 3 weeks, 1, 6, 12 months postoperatively. The lumbar interbody fusion were observed through CT images at 12 months postoperatively. **Results** All cases were well followed-up with a times pan of 12-15

months (12.9 ± 0.4) months on the average). The operation time in the robot group was 99.7 (20.1) min compared to 101.6 (31.7) min in open surgery group, there was no significant difference between two groups ($Z=0.197$, $P>0.05$). In the robot group, the median intraoperative blood loss and postoperative suction drainage were 207.9 (59.8) ml and 90.6 (45.6) ml, which were significantly lower than the open surgery group [297.5 (80.1) ml and 180.6 (78.4) ml], with statistical significance ($Z=1.517$, $P<0.05$; $Z=2.168$, $P<0.05$). ODI and VAS scores of both groups decreased significantly over time. The muscle atrophy ratio in robot group [$(6.2 \pm 1.1)\%$] was significantly lower than that in open group [$(17.1 \pm 2.1)\%$] at 12 months postoperatively with statistically significant differences ($\chi^2=0.008$, $P<0.001$). CT scan showed interval bone healing at 12 months follow-up in two groups, and no internal fixation related complications were found. **Conclusion** Both robot assisted percutaneous pedicle screws insertion via a channel decompression and fusion and conventional posterior open surgery can achieve excellent clinical efficacy in lumbar degenerative diseases with single segment. But less local muscle injury and better recovery were observed using robot assisted percutaneous pedicle screws insertion via a channel decompression and fusion.

【Key words】 Minimally invasive surgical procedures; Lumbar vertebrae; Aged; Robot

传统腰椎后路开放手术减压彻底,不易伤及神经,但创伤大,术后恢复慢,其慢性腰背部疼痛、无力已成为传统后路开放手术的一个较为严重的并发症,因需要广泛剥离而造成的多裂肌损伤,越来越受到脊柱外科医师的关注^[1-2]。近年来开展的Quadrant通道下椎间融合辅助机器人手术创伤小,术后恢复快,最大限度的保留了多裂肌等腰背部肌肉功能,已有大量文献报道该手术方式较传统手术具有较大的优势^[1,3],但是既往多采用回顾性研究,不可避免的存在回忆偏倚,影响结果的准确性。

本研究采用前瞻性随机对照研究,收集2014年8月至2015年1月采用手术治疗单节段腰椎退变性疾病患者,比较两种手术方式治疗老年单节段腰椎退变性疾病的临床效果。目的在于:(1)评价两种手术方法的临床疗效及差异;(2)观察经通道减压、椎间融合、机器人置钉的操作对多裂肌的影响;(3)总结机器人操作的手术经验,缩短学习曲线。

资料与方法

一、一般资料与分组方法

前瞻性收集2014年8月至2015年1月在山东省

文登整骨医院行手术治疗的老年单节段腰椎退变性疾病患者50例。根据随机数字表法将患者随机分为经通道减压、融合辅助机器人经皮置钉组(简称机器人组)及传统后路开放手术组(简称开放组)。所有患者均存在腰痛及双下肢麻木、无力症状,由2位副主任医师以上职称医师讨论明确诊断。术前均行常规腰椎正侧位及动力位X线片、CT和MRI检查。

机器人组患者24例,男性11例,女性13例,年龄60~77岁,平均年龄(67 ± 4)岁,手术节段L₃₋₄3例(12.5%)、L₄₋₅11例(45.8%)、L₅~S₁10例(41.7%)。

开放组患者26例,男性12例,女性14例,年龄61~79岁,平均年龄(69 ± 5)岁,手术节段L₃₋₄2例(7.6%)、L₄₋₅15例(57.7%)、L₅~S₁9例(34.6%)。

两组患者术前一般资料比较,差异无统计学意义(均 $P>0.05$,表1),本研究已获得本院医学伦理委员会批准及所有入选患者的知情同意。

二、纳入及排除标准

纳入标准:(1)年龄>60岁;(2)腰痛病史,伴有下肢麻木、无力;(3)单个间隙退变;(4)经过严格的保守治疗无效;(5)患者知情同意。

排除标准:(1)多节段病变;(2)存在Ⅱ°或者Ⅲ°以上的滑脱;(3)存在手术禁忌证;(4)患者拒绝。

表1 两组腰椎退变性疾病患者的一般情况

组别	例数	性别 (例,男/女)	年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$)	体重指数 (kg/cm ² , $\bar{x} \pm s$)	手术节段 (例, L ₃₋₄ /L ₄₋₅ /L ₅ ~S ₁)
机器人组	24	11/13	67±4	27±6	3/11/10
开放组	26	12/14	69±5	29±7	2/15/9
统计值		$\chi^2=0.068$	$t=1.514$	$t=1.627$	$\chi^2=0.018$
P值		0.813	0.157	0.207	0.239

三、手术方法

(一)机器人组

机器人置钉:采用经口插管全麻,俯卧位在脊柱手术支架上。在双侧髂后上棘、L₂棘突置入固定针,将机器人固定架固定在固定针上。透视正、斜位,与机器人术前CT计划进行匹配,匹配吻合后,安装机械臂,根据术前计划经皮依次置入椎弓根螺钉(图1~4),透视见椎弓根螺钉位置满意后,撤除机器人操作设备,根据术前计划选择适当的固定棒置入、固定。

切口位置:一般将症状侧或者预置入Cage侧的经皮置钉皮肤切口中间连起,长约5~5.5 cm。切开腰背筋膜,沿着 Wiltse^[4]入路,用食指及中指钝性分

离至椎板及外侧下关节突,向内侧感觉多裂肌束间的间隙^[5](MRI示手术间隙,图5~6),将通道扩张管插入多裂肌间隙内,逐级扩张,安装Quadrant通道臂,固定通道。保留多裂肌在上关节突的起点^[5]。咬骨钳咬除上位大部分椎板连同下关节突,下位椎板的上部小部分,内侧棘突与椎板移行部位及黄韧带。显露上关节突的冠状部,咬除冠状部,扩大侧隐窝及神经根管以解除局部压迫。处理椎间隙、准备好植骨床后,椎间隙内进行植骨,斜行45°置入Cage 1枚。透视位置良好后,抬高、倾斜操作侧手术床,潜行扩大中央椎管、对侧的侧隐窝及神经根管。

采用 Mast Quadrant 通道(美敦力枢法模·丹力

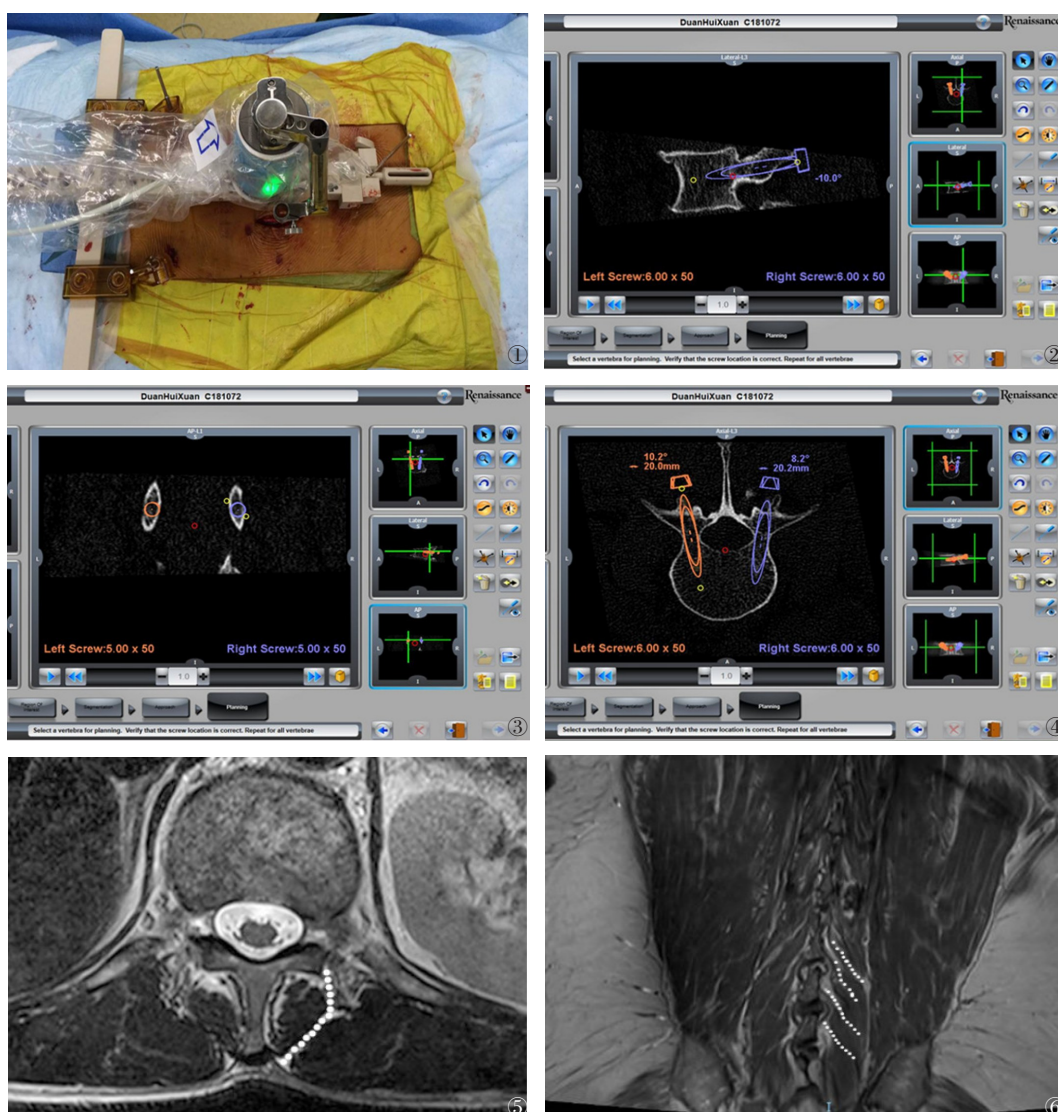


图1 安装机器人进行经皮椎弓根螺钉的置入 图2 术前计划矢状位,椎弓根螺钉完全位于椎弓根内 图3 术前计划冠状位,椎弓根螺钉完全位于椎弓根内 图4 术前计划横断位,椎弓根螺钉完全位于椎弓根内 图5 虚线所示为wiltse间隙,自内后方向外前方 图6 虚线所示为多裂肌的间隙,自内上向外下

公司,美国),Renaissance 机器人(以色列,Mazor 公司),钉棒系统(威高公司)。

(二)开放组

俯卧位,常规正中切口,骨膜下剥离椎旁肌在中线的止点,显露突间关节,置入椎弓根螺钉,咬除棘上、棘间韧带、黄韧带,咬除下关节突及上关节突的冠状部,扩大双侧侧隐窝及神经根管,处理椎间隙,植骨、置入 Cage1 枚,安放钉棒系统固定。

四、术后处理

术后常规预防性应用抗生素4次(头孢硫脒2 g,静脉滴注,2次/日),24~48 h拔除引流管,指导功能锻炼,术后3周佩戴腰围下地活动。

五、随访及观察指标

为了减少混杂因素对结果造成的影响,所有手术均由同一组医师完成。记录患者手术时间、术中出血量、术中及术后并发症。术后3周、1、6、12个月进行门诊随访,测量疼痛视觉模拟评分(visual analogue scale, VAS), Oswestry 功能障碍指数(Oswestry disability index, ODI),评估患者腰痛及下肢疼痛情况。

在MRI上测量术前和术后12个月时多裂肌的面积。通过(术前面积-术后面积)/术前面积×100%,计算出多裂肌的萎缩百分数,该数值越大,表明多裂肌萎缩越明显。术后12个月进行CT检查,

了解椎间融合情况。

六、统计学方法

采用 SPSS 17.0(SPSS 公司,美国)统计软件进行分析。采用 Kolmogorov-Smirnov 检验是否符合正态分布,符合正态分布的两组患者的年龄、BMI、多裂肌的面积比较采用两独立样本的 t 检验,手术前后多裂肌面积的比较采用配对 t 检验,术后不同时间点的 ODI 和 VAS 比较采用重复测量的方差分析,以 $\bar{x} \pm s$ 表示。不符合正态分布的组间手术时间、术中出血量及术后引流量的比较采用秩和检验,以 $M(Q_R)$ 表示。组间性别、损伤节段等计数资料的比较采用 Pearson χ^2 检验,组间多裂肌萎缩比采用 Fisher 确切概率法比较,检验水准 α 值取双侧 0.05。

结 果

一、一般结果

50 例患者均顺利完成手术,并获得完整随访,随访时间 12~15 月,平均 12.9 ± 0.4 个月。机器人组和开放组患者的手术时间分别为 $99.7(20.1)$ min 和 $101.6(31.7)$ min,差异无统计学意义($Z = -0.197$, $P > 0.05$)。机器人组的术中中位出血量和术后中位引流量分别为 $207.9(59.8)$ ml、 $90.6(45.6)$ ml,少于开

表2 机器人和开放组两组患者腰痛VAS、腿痛VAS、ODI功能障碍指数的比较($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	腰痛VAS					F值	P值
		术前	术后3周	术后1月	术后6月	术后12月		
机器人组	24	8.1±1.1	2.1±0.6	2.0±0.5	2.0±0.6	1.9±0.7	5.111	<0.001
开放组	26	8.2±0.9	2.2±0.7	2.1±0.4	2.0±0.8	2.0±1.1	4.137	<0.001
F值		-1.121	-1.513	-1.118	-0.921	-0.908		
P值		>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05		
组别	例数	腿痛VAS					F值	P值
		术前	术后3周	术后1月	术后6月	术后12月		
机器人组	24	5.6±1.2	1.1±0.3	1.2±0.4	1.2±0.3	1.1±0.4	2.015	<0.001
开放组	26	6.1±1.3	1.1±0.4	1.1±0.3	1.1±0.4	1.1±0.3	1.141	<0.001
F值		-2.314	0.928	1.124	1.116	0.871		
P值		>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05		
组别	例数	ODI(%)					F值	P值
		术前	术后3周	术后1月	术后6月	术后12月		
机器人组	24	60±15	26±11	25±10	24±11	24±12	231.623	<0.001
开放组	26	59±18	25±17	24±11	24±9	23±10	463.412	<0.001
F值		1.925	1.821	1.067	1.082	1.009		
P值		>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05		

注:VAS为疼痛视觉模拟评分;ODI为Oswestry功能障碍指数

放组 297.5(80.1)ml、180.6(78.4)ml 差异具有统计学意义($Z=1.517, P<0.05; Z=2.168, P<0.05$)。

二、疗效评价

机器人组与开放组术后3周、1、6、12个月的ODI指数与术前比较差异均有统计学意义($P<0.01$, 表2)。经重复测量设计的方差分析,不同组别间差异有统计学意义($F=13.214, P<0.001$),不同时间点间差别有统计学意义($F=11.168, P<0.001$)。手术前后各时间点两组患者组间比较差别无统计学意义($P>0.05$),机器人组和开放组患者各时间点的组内比较差异有统计学意义($F=231.623, F=463.412, P<0.05$),且随着随访时间的延长,ODI指数逐渐降低(见表2)。

术后各个时间点腰痛VAS评分与术前比较差异均有统计学意义($P<0.01$, 表2)。经重复测量设计的方差分析,不同组别间差异有统计学意义($F=11.274, P<0.001$),不同时间点间差别有统计学意义($F=9.169, P<0.001$),组别与时间点间存在交互作用($F=3.167, P<0.001$),进一步分析单独效应,手术前后各时间点两组患者组间比较差别无统计学意义($P>0.05$),机器人组和开放组患者各时间点的组内比较差异有统计学意义($F=2.015, F=1.141, P<0.05$),且随着随访时间的延长,腰部VAS评分逐渐降低(见表2)。

术后各个时间点腿痛VAS评分与术前比较差异均有统计学意义($P<0.01$, 表2)。经重复测量设计的方差分析,不同组别间差异有统计学意义($F=4.674, P<0.001$),不同时间点间差别有统计学意义($F=2.554, P<0.001$),组别与时间点间存在交互作用($F=4.228, P<0.001$),进一步分析单独效应,手术前后各时间点两组患者组间比较差别无统计学意义($P>0.05$),机器人组和开放组患者各时间点的组内比较差异有统计学意义($F=231.623, F=463.412, P<0.05$),且随着随访时间的延长,腿部VAS评分逐渐降低(见表2)。

三、多裂肌变化

术前机器人组与开放组患者的多裂肌面积分别为 $(5.6\pm1.7)\text{cm}^2$ 、 $(5.9\pm1.6)\text{cm}^2$,差异无统计学意义($t=0.591, P>0.05$),术后机器人组多裂肌面积 $[(5.2\pm1.3)\text{cm}^2]$ 大于开放组 $[(4.9\pm1.4)\text{cm}^2]$,差异有统计学意义($t=2.976, P<0.05$)。机器人组多裂肌萎缩比 $[(6.2\pm1.1)\%]$ 低于开放组 $[(17.1\pm2.1)\%]$,差异有统计学意义($\chi^2=0.008, P<0.001$)。术后12个月CT检查显示椎间隙内均形成骨性融合并,显示术中减压范围(典型病例见图7~11)。

四、并发症

机器人组术中6枚螺钉未完全位于椎弓根内,

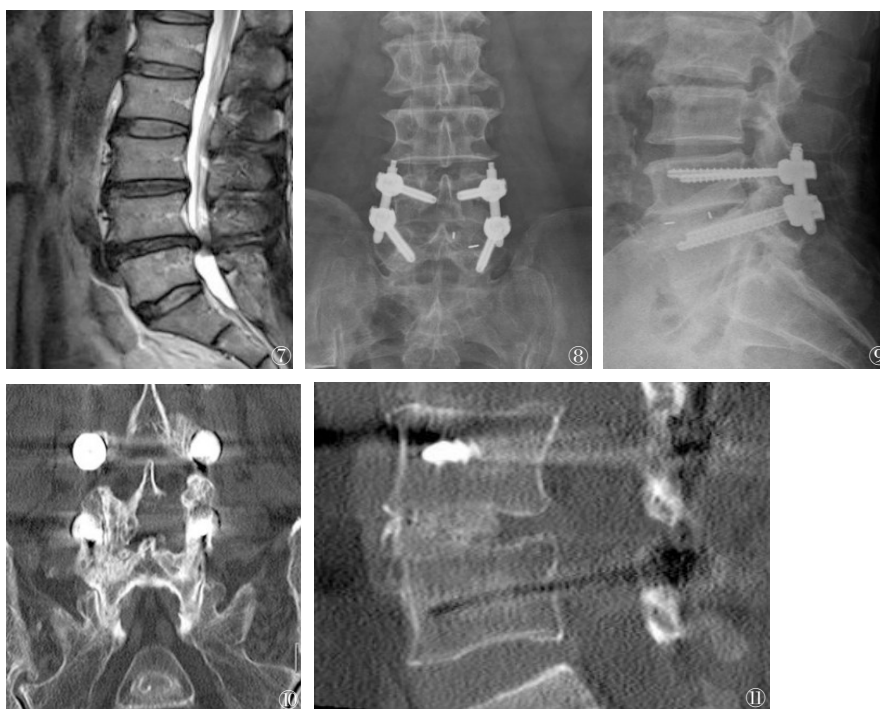


图7~11 男性,52岁,L4/5节段椎管狭窄患者,采用机器人组手术方式进行手术。图8,9 术后腰椎正、侧位片;图10 术后CT冠状位可见椎板的减压范围,保留了对侧大部分椎板和下关节突,减压侧的上关节突;图11 术后1年矢状位CT可见椎间骨性融合

其中5枚螺钉突破了椎弓根外侧壁,主要因为术中未严格按照机器人操作流程所致,严格按照流程操作后,未再出现螺钉位置欠佳。另一枚为术前计划未做仔细所致,更改术前计划后重新置入,螺钉完全位于椎弓根内。

机器人组2例、开放组3例患者因局部粘连,导致硬膜囊破裂,其中3例裂口整齐给予修复,其余2例裂口不规则,给予人工硬脊膜覆盖,局部肌肉覆盖,术后未出现脑脊液漏。机器人组2例术后出现减压侧的神经根症状,考虑为神经根水肿所致,给予激素、脱水等治疗,1周后缓解。

讨 论

一、机器人术前计划、术中置钉

常规开放手术或者经通道置入椎弓根螺钉,需要清晰显露进钉点,多篇荟萃文章及meta分析指出:这种徒手置钉容易造成多裂肌的损伤、支配多裂肌的神经损伤及有较高的螺钉位置欠佳的发生率^[6-9]。而且徒手置钉主要依靠术前二维的影像学检查和术者的置钉技术,很难达到精准的置钉要求,同时需要较长期的学习曲线^[10]。近些年,计算机辅助的导航技术应用于椎弓根螺钉的置入,也取得了较好的效果^[11]。这些技术缺乏三维影像支持,滞后于其它脊柱外科技术的发展。随着机器人置钉的发展,原本需要高级医师才能完成的高难度手术普通医师也可能完成^[3]。Tian等^[12]利用机器人进行椎弓根螺钉的置入,取得了较好的效果。机器人置钉前进行严谨地术前计划意义非常重大^[13],可以通过术前计划在冠状位、矢状位、横断位等各个角度、层面设置螺钉的位置,按照手术的要求精确选定进钉点,使手术更加的合理和精确。减少了开放手术所造成的损伤及徒手经皮置钉或者经通道置钉带来的一系列并发症^[14]。机器人组术中先进行术前CT和术中定位相匹配,匹配满意后,置钉时不需要对进钉点进行任何处理。机器人组术中存在6枚螺钉位置欠佳,全部来自最初的3例患者,主要是操作流程未严格按照要求。按照标准流程操作后,术中通过C臂未见螺钉位置欠佳的病例。按照Raley^[15]标准,对机器人置钉进行CT检查确认准确率,发现术后CT置钉位置欠佳的发生率为1.4%,这一数据与其他相关报道^[16-18]相似。

二、Quadrant通道的置入范围及撑开的大小

在手术时间、减压效果及预防神经、血管损伤等

方面,微创手术相比开放手术并没有优势可言^[19]。微创经肌间隙入路使用的是wiltse^[4]间隙。肌肉之间潜在的天然间隙能减少肌肉组织的损伤,但wiltse间隙并非一个直线的间隙(图5),而是最长肌向内侧覆盖在多裂肌的浅层,然后向外接近垂直的分开多裂肌和最长肌,术中按照这一间隙将到达突间关节外侧,多裂肌的止点横跨在突间关节的外侧,进行TLIF手术时必然损伤多裂肌的止点。在X-Tube技术的提示下,Quadrant通道系统应运而生,并且越来越受到大家的重视。通过叶片的旋转能显露“浅窄深宽”的视野。既往的手术在一个通道下同时完成椎弓根螺钉的置入和Cage的置入,均取得了较好的临床效果^[20-21]。但相关的文献并未总结多裂肌的萎缩情况。笔者根据临床经验发现,在通道下显露融合节段相邻两个进钉点时,容易导致多裂肌的唯一支配神经(脊神经后支的内侧支)损伤,该神经位于上关节突副突韧带深层。同时,术中进行TLIF手术在打开椎间孔通道时,需要剥离多裂肌在上关节突的止点,使多裂肌回缩,造成多裂肌的直接损伤^[5]。在机器人手术中,不需要经通道进行置钉,只是在通道下进行减压、融合,减少了对wiltse入路上下端的牵拉,且不需要显露置钉点。在通道下并未进行TLIF手术,而是保留了多裂肌的起止点。术中主要操作为经wiltse入路,食指和中指在浅层向外、稍向下分离最长肌和多裂肌,但在深层,基本垂直向下分离,接近突间关节时能清楚地感觉到突间关节,此时不再向下或者向下向外分离到突间关节的外侧,而是将手指指腹转向内侧朝向中线方向感觉多裂肌的间隙。此处多裂肌的间隙之间亦是疏松结缔组织,通常情况较易分开。将手指自中线向外下方钝性地插入多裂肌肌束间隙,然后经多裂肌肌束间隙置入通道并慢慢撑开。有学者研究发现,多裂肌及最长肌的萎缩能明显导致腰部疼痛^[22]。

三、Quadrant通道下减压、椎间融合辅助机器人经皮置入椎弓根螺钉和传统后路开放手术治疗老年单节段腰椎退变性疾病比较

对于老年单节段腰椎退变性疾病患者,Quadrant通道下减压、椎间融合辅助机器人经皮置入椎弓根螺钉和传统后路开放手术均能取得较好的临床疗效。传统开放手术手术时间稍短,但机器人组在术中的出血量、术后的引流量均明显少于开放组。术后多裂肌的萎缩情况机器人组也明显的优于开放组。机器人组术前需要进行严格而精密的术前

规划,规划的“毫厘”差异可能导致术中“千里”之外的失误,且机器人组术中的每一步操作均需要按照设定的步骤进行,操作稍有失误可能导致灾难性的后果。机器人组在Quadrant通道下进行减压、置钉,较小的操作空间对术者的手术技巧要求更高。对于老年单节段腰椎退变性疾病患者,机器人组的术中指标及术后指标均明显优于开放手术组,但仍需要进行严格的术前规划,并进行长时间的微创手术训练,才能更好的完成机器人手术的相关操作。

四、本研究的不足与展望

本文存在许多不足之处,对多裂肌的萎缩情况分析只是从MRI上测量相应的面积,未对多裂肌的功能状态进行相关的分析。对于机器人手术的学习曲线笔者认为:要非常严格按照操作流程操作,具有丰富的开放手术经验。微创技术可减少手术创伤,机器人手术必将越来越受到广大医师的关注和使用,但昂贵的价格和复杂的操作步骤成为使用的桎梏,尽快开发出操作简单、价格适中的机器人硬件、软件可能是将来发展的方向和追求的目标。

参 考 文 献

- Lee KH, Yue WM, Yeo W, et al. Clinical and radiological outcomes of open versus minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion [J]. *Eur Spine J*, 2012, 21(11): 2265-2270.
- Waschke A, Hartmann C, Walter J, et al. Denervation and atrophy of paraspinal muscles after open lumbar interbody fusion is associated with clinical outcome-- electromyographic and CT- volumetric investigation of 30 patients [J]. *Acta Neurochir (Wien)*, 2014, 156 (2): 235-244.
- Bederman SS, Lopez G, Ji T, et al. Robotic guidance for en bloc sacrectomy: a case report [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2014, 39(23): E1398-E1401.
- Wiltse LL, Spencer CW. New uses and refinements of the paraspinal approach to the lumbar spine [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 1988, 13(6): 696-706.
- 邵诗泽, 张恩忠, 付松, 等. 腰骶段多裂肌的形态特点及功能意义 [J]. *中国临床解剖学杂志*, 2010, 28(1): 17-19.
- Tian NF, Huang QS, Zhou P, et al. Pedicle screw insertion accuracy with different assisted methods: a systematic review and meta-analysis of comparative studies [J]. *Eur Spine J*, 2011, 20(6): 846-859.
- Gelalis ID, Paschos NK, Pakos EE, et al. Accuracy of pedicle screw placement: a systematic review of prospective in vivo studies comparing free hand, fluoroscopy guidance and navigation techniques [J]. *Eur Spine J*, 2012, 21(2): 247-255.
- Kosmopoulos V, Schizas C. Pedicle screw placement accuracy: a meta-analysis [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2007, 32(3): E111-E120.
- Verma R, Krishan S, Haendlmayer K, et al. Functional outcome of computer- assisted spinal pedicle screw placement: a systematic review and meta- analysis of 23 studies including 5,992 pedicle screws [J]. *Eur Spine J*, 2010, 19(3): 370-375.
- Gang C, Haibo L, Fancai L, et al. Learning curve of thoracic pedicle screw placement using the free- hand technique in scoliosis: how many screws needed for an apprentice? [J]. *Eur Spine J*, 2012, 21(6): 1151-1156.
- 吴超, 谭伦, 林旭, 等. 二维计算机辅助手术导航系统引导腰椎弓根螺钉植入及术后CT重组断面评价 [J]. *中国修复重建外科杂志*, 2015, 29(4): 452-456.
- Tian W, Han X, Liu B, et al. A robot-assisted surgical system using a force- image control method for pedicle screw insertion [J]. *PLoS One*, 2014, 9(1): e86346.
- Fujishiro T, Nakaya Y, Fukumoto S, et al. Accuracy of pedicle screw placement with robotic guidance system: a cadaveric study [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2015, 40(24): 1882-1889.
- Kim MC, Chung HT, Cho JL, et al. Factors affecting the accurate placement of percutaneous pedicle screws during minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion [J]. *Eur Spine J*, 2011, 20 (10): 1635-1643.
- Raley DA, Mobbs RJ. Retrospective computed tomography scan analysis of percutaneously inserted pedicle screws for posterior transpedicular stabilization of the thoracic and lumbar spine accuracy and complication rates [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2012, 37 (12): 1092-1100.
- Pechlivanis I, Kiriyanthan G, Engelhardt M, et al. Percutaneous placement of pedicle screws in the lumbar spine using a bone mounted miniature robotic system: first experiences and accuracy of screw placement [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2009, 34(4): 392-398.
- Van Dijk JD, Van Den Ende RP, Stramigioli S, et al. Clinical pedicle screw accuracy and deviation from planning in robot- guided spine surgery: robot- guided pedicle screw accuracy [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2015, 40(17): E986-E991.
- Hu X, Ohnmeiss DD, Lieberman IH. Robotic-assisted pedicle screw placement: lessons learned from the first 102 patients [J]. *Eur Spine J*, 2013, 22(3): 661-666.
- Wang J, Zhou Y, Zhang ZF, et al. Comparison of one-level minimally invasive and open transforaminal lumbar interbody fusion in degenerative and isthmic spondylolisthesis grades 1 and 2 [J]. *Eur Spine J*, 2010, 19(10): 1780-1784.
- 康辉, 蔡贤华, 徐峰, 等. MED、Quadrant、Sextant-R系统联合治疗腰椎滑脱症的临床研究 [J]. *中国修复重建外科杂志*, 2013, 27(4): 399-403.
- 滕海军, 王亮, 郭志良, 等. Quadrant通道下单切口治疗腰椎滑脱近期疗效观察 [J]. *中国修复重建外科杂志*, 2010 (5): 517-520.
- Kalichman L, Hodges P, Li L, et al. Changes in paraspinal muscles and their association with low back pain and spinal degeneration: CT study [J]. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*, 2010, 19(7): 1136-1144.

(收稿日期:2016-07-18)

(本文编辑:吕红芝)

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/CD]. *中华老年骨科与康复电子杂志*, 2017, 3(2): 70-76.