

三维 CT 模拟双通道螺钉置入同一腰椎椎弓根成功率的影响因素分析

段伟¹ 谭瑞¹ 甘璐² 常乐¹ 朱慧阳¹ 王飞¹ 叶正旭¹

【摘要】 目的 通过三维 CT 模拟椎弓根螺钉(pedicle screw, PS)和皮质骨通道螺钉(cortical bone trajectory, CBT)置入同一腰椎椎弓根,并分析置钉成功率的影响因素。方法 应用 Mimics 10.0 软件重建 49 例病人腰椎三维图像,测量双侧 L₁~L₅椎弓根直径(横径和纵径)。将横径及纵径各分为 3 档,横径: < 8.0 mm、[8.0 mm, 12.0 mm)、≥12.0 mm;纵径: < 10.0 mm、[10.0 mm, 14.0 mm)、≥14.0 mm。将年龄分为 3 档: < 40 岁、[40 岁, 60 岁)、≥60 岁。制定 3 种不同置钉方案:方案 A,先置入 PS 并固定位置,后置入 CBT;方案 B,先置入 CBT 并固定位置,后置入 PS;方案 C,同时置入 PS 和 CBT,并保持 PS 偏下、CBT 偏上,各螺钉可自行调整进钉点及角度。每个椎弓根均进行 3 种方案的置钉,统计 49 例病人共计 1 470 次置钉的成功次数。按照置钉是否成功进行分组,比较两组间横径、纵径、置钉方案的差异,并采用二元 Logistic 回归分析模型筛选置钉成功率的独立影响因素。结果 1 470 次模拟置钉中,23 例女性的置钉成功次数为 159(159/690, 23.04%),26 例男性的置钉成功次数为 407(407/780, 52.18%)。年龄 < 40 岁者 17 例,置钉成功次数为 247(247/510, 48.43%);年龄为 [40 岁, 60 岁)者 19 例,置钉成功次数为 189(189/570, 33.16%);年龄 ≥60 岁者 13 例,置钉成功次数为 130(130/390, 33.33%)。单因素分析结果显示置钉成功组和置钉失败组间横径、纵径及置钉方案的差异均有统计学意义(P 均 < 0.05)。二元 Logistic 回归分析结果显示椎弓根横径、纵径、置钉方案是置钉成功率的独立影响因素(P 均 < 0.05)。结论 本研究显示在腰椎同一节段同时置入 PS 和 CBT 具有可行性。椎弓根横径及纵径、置钉方案均可影响置钉成功率。双通道螺钉技术可以为脊柱后路内固定手术方式提供更多选择,扩展现有的腰椎内固定方式。

【关键词】 腰椎;皮质骨通道螺钉;椎弓根螺钉;三维 CT;腰椎融合术

Analysis of influencing factors on implantation of dual trajectory screw in the same lumbar pedicle under 3D CT. DUAN Wei¹, TAN Rui¹, GAN Lu², CHANG Le¹, ZHU Hui-yang¹, WANG Fei¹, YE Zheng-xu¹.
¹Department of Orthopaedics, the First Affiliated Hospital of Air Force Medical University of PLA (Xijing Hospital), Xi'an 710032, China; ²Department of Orthopaedics, Air Force Characteristic Medical Center, Beijing 100142, China

Corresponding author: YE Zheng-xu, E-mail: yzengx@163.com

【Abstract】 Objective To analyze the main influencing factors on implantation of cortical bone trajectory and pedicle screw in one lumbar pedicle based on 3D computed tomography. **Methods** Mimics 10.0 software was applied in this study, and each lumbar pedicle diameter (transverse and longitudinal diameter) was measured. The parameters were divided into three levels according to the different transverse and longitudinal diameters, transverse diameter: < 8.0 mm, [8.0 mm, 12.0 mm), ≥12.0 mm; longitudinal diameter: < 10.0 mm, [10.0 mm, 14.0 mm), ≥14.0 mm. Three age levels were set up: < 40 years old, [40 years old, 60 years old), ≥ 60 years old. Three plans were developed to simulate screw implantation: for plan A, pedicle screws were first inserted and fixed, followed by cortical bone trajectory screws; for plan B, cortical bone trajectory screws were first inserted and fixed, followed by pedicle screws; for plan C, pedicle screw and cortical bone trajectory screw were inserted simultaneously at the meantime to keep the pedicle screw lower and cortical bone trajectory screw upper. Each pedicle was subjected to screw implantation of three plans. The success amount and rate in each lumbar pedicle under three different screw implantation plans of 49 patients (49 × 5 × 2 × 3 simulating

DOI: 10.3969/j.issn.1674-8573.2021.02.002

基金项目:国家重点研发计划(2017YFB1104104)

作者单位:1. 中国人民解放军空军军医大学第一附属医院(西京医院)骨科,西安 710032;2. 空军特色医学中心骨科,北京 100142

通信作者:叶正旭, E-mail: yzengx@163.com

implantations) were calculated. They were divided into two groups according to the success of screw implantation, and the effects of transverse and longitudinal diameter, different screw implantation plans were compared. Binary Logistics regression was used to screen the independent influencing factors of screw implantation success rate. **Results** In the 1 470 simulating implantations, the number and rate of successful implantations in 23 females was 159 and 23.04% (159/690), and was 407 and 52.18% (407/780) in 26 males respectively, and those were 247 and 48.43% (247/510) in the patients < 40 years old, 189 and 33.16% (189/570) in the patients with the age of [40, 60) years old, 130 and 33.33% (130/390) in the patients ≥60 years old respectively. Univariate analysis showed that there were statistically significant differences in transverse diameter, longitudinal diameter and screw implantation plans between the two groups ($P < 0.05$). Binary Logistics regression showed that transverse diameter, longitudinal diameter, and screw implantation plans were independent risk factors for the success rate ($P < 0.05$). **Conclusion** This study suggests implantation of cortical bone trajectory and pedicle screw in one lumbar pedicle is feasible for dual trajectory screws. The pedicle transverse and longitudinal diameter, screw implantation plan can affect the success rate of screw implantation. Dual trajectory screw technology may provide more possibilities for posterior spinal internal fixation and may even extend the existing lumbar fusion.

【Key words】 Lumbar vertebrae; Cortical bone trajectory screws; Pedicle screws; Three-dimensional computed tomography; Lumbar fusion

自1959年Boucher等^[1]应用螺钉固定椎弓根治疗腰椎退变性疾病以来,椎弓根螺钉(pedicle screw, PS)固定技术已成为脊柱内固定术常用技术。然而,随着PS的广泛应用,其不足也日渐凸显,如相邻腰椎节段退变、内固定断裂、钉道切割等^[2]。此外,面对老年骨质疏松病人,PS的应用受到了更大的限制。2009年,Santoni等^[3]提出皮质骨通道(cortical bone trajectory, CBT)螺钉。与传统PS相比, CBT螺钉具备更强的抗拔出力,更小的手术切口,更少的肌肉组织剥离;特别是治疗严重骨质疏松病人、肥胖病人以及翻修的病人, CBT螺钉体现出更大的优势和更好的疗效^[4-5]。然而,对于严重骨质疏松导致的退变性侧弯,单独应用其中一种螺钉均易导致内固定失败,二者的联合应用可以互补,让脊柱后路手术有更多的选择。目前国内外已有少量报道针对其联合应用进行研究^[6-7],结果显示其成功率不一,且相关影响因素还缺乏足够研究。本研究通过三维数字成像技术模拟双通道螺钉同时置入同一椎弓根,研究椎弓根直径、置钉方案对于置钉成功率的影响,从而提高置钉成功率,避免盲目置钉导致医源性椎弓根破坏,同时进一步验证该技术在临床中的适用性。

退变,无法分辨结构;④腰椎数据不全或漏扫,无法重建;⑤既往有腰椎手术史。

二、一般资料

筛选空军军医大学第一附属医院2018年8月至2019年8月期间符合纳入标准与排除标准的49例病人纳入本研究,其中男26例,女23例,年龄为(45.19±14.89)岁。将年龄分为3档:<40岁、[40岁,60岁)、≥60岁。对L₁~L₅椎体共490个椎弓根样本进行测量并模拟置钉。经前期测量后设定L₁、L₂、L₃、L₄、L₅ PS直径和CBT螺钉直径,见表1。

三、研究方法

(一)腰椎三维影像数据的获取

所有病人腰椎三维CT应用西门子SOMATOM Definition扫描,参数:间距1 mm,层厚1 mm,电压130 kV,电流自动毫安秒,矩阵512×512;所有CT数据以DICOM的标准格式储存。将本研究49例病人的腰椎CT数据以DICOM格式导入Mimics 10.0软件(Materialise公司,比利时)重建三维腰椎模型。

(二)椎弓根直径测量及分组标准

椎弓根形状不规则,故我们测量其横径及纵径间接表示椎弓根的直径。横径和纵径测量标准见图

资料与方法

一、纳入标准与排除标准

纳入标准:①病人年龄≥18岁;②椎体、椎弓根三维CT数据完整;③三维CT数据由同一台CT扫描完成。

排除标准:①椎体或附件发育异常、缺如;②骨折、感染或肿瘤等破坏椎体或附件结构;③严重增生

表1 各椎弓根直径及模拟置钉螺钉直径参数

腰椎节段	椎弓根参数(mm)		螺钉参数(mm)	
	椎弓根横径	椎弓根纵径	PS直径	CBT直径
L ₁	6.62±1.49	14.97±1.45	5.0	4.0
L ₂	6.79±1.39	14.24±1.60	5.0	4.0
L ₃	8.12±1.72	13.67±1.50	6.0	4.5
L ₄	9.93±1.64	12.23±1.63	6.5	4.5
L ₅	12.56±1.90	11.44±2.14	6.5	5.0

1. 根据病例横径和纵径的分布特点,将横径及纵径均分为 3 档。横径: < 8.0 mm、[8.0 mm, 12.0 mm)、 \geq 12.0 mm; 纵径: < 10.0 mm、[10.0 mm, 14.0 mm)、 \geq 14.0 mm。

(三) PS 及 CBT 螺钉进钉点及进钉角度的设定

将纳入本研究的 49 例病人的 L₁~L₅ 椎体三维 CT 数据,通过 Mimics 10.0 软件进行数据测量及模拟置钉,在每个椎弓根均采用 3 种不同方案置入传统 PS 和 CBT 螺钉,置钉方案样本量为 1470(490×3)。选定预设螺钉直径,根据两螺钉的置钉点及置钉角度不同,分为 3 种置钉方式。方案 A:先置入 PS,进钉点为乳副突间凹^[8],PS 在矢状位及轴位均位于椎弓根中轴线,置入深度到椎体前缘 80%处,保持 PS 位

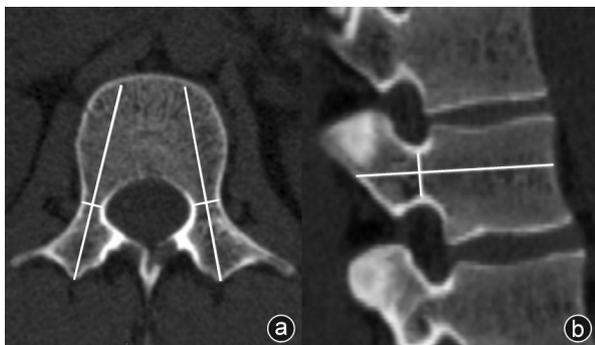


图 1 横径和纵径测量标准 a:椎弓根横径,三维 CT 轴位上标记椎弓根中轴线,在椎弓根最狭窄处作一垂直于此线的直线,此直线在椎弓根两侧皮质骨的交点间的距离即为横径;b:椎弓根纵径,三维 CT 矢状位上标记平行于上终板椎弓根中轴线,在椎弓根最狭窄处作一垂直于此线的直线,此直线在椎弓根两侧皮质骨的交点间的距离即为纵径

置不变后置入 CBT 螺钉, CBT 螺钉进钉位置为峡部,由内下向外上置钉,其位置及角度可任意调节。方案 B:先置入 CBT 螺钉,从椎弓根投影峡部 5 点方位(左侧)、7 点方位(右侧)置入,置钉方向由内下向外上,置入深度接近椎体后外侧缘皮质,螺钉中心在矢状位及轴位均位于椎弓根正中,保持 CBT 螺钉位置不变后置入 PS,椎弓根进钉位置为椎弓根开口处,由外侧斜向内侧,其位置及角度可任意调节。方案 C:同时置入 PS 和 CBT 螺钉,并保持 PS 位于椎弓根下方, CBT 螺钉位于椎弓根上方,在符合两者进钉要求前提下其进钉位置及角度均可任意调节(见图 2、3)。

(四) 置钉成功的判断标准

置入的两螺钉均未穿破通道皮质骨且两螺钉间无相互通道重叠,即为置钉成功。如果模拟置钉过程中通过调整螺钉所有可能位置及角度后仍出现螺钉刺破通道皮质骨或两螺钉间有相互重叠的现象,则视为置钉失败(图 4)。完成模拟置钉后统计不同方案下各椎弓根置钉成功率及其可能的影响因素。

所有测量结果均经两位高年资脊柱外科医生进行相互核对。经双方确认置钉成功则记录为成功,置钉失败则由上述医生进行调整,直至反复尝试仍旧失败则记录为失败,如调整后成功,经核对后则记录为成功。

四、统计学分析

采用 SPSS 21.0 统计学软件(IBM 公司,美国)对数据进行统计分析。符合正态分布的计量资料用均数 \pm 标准差($\bar{x}\pm s$),采用 χ^2 检验对计数资料(横径大

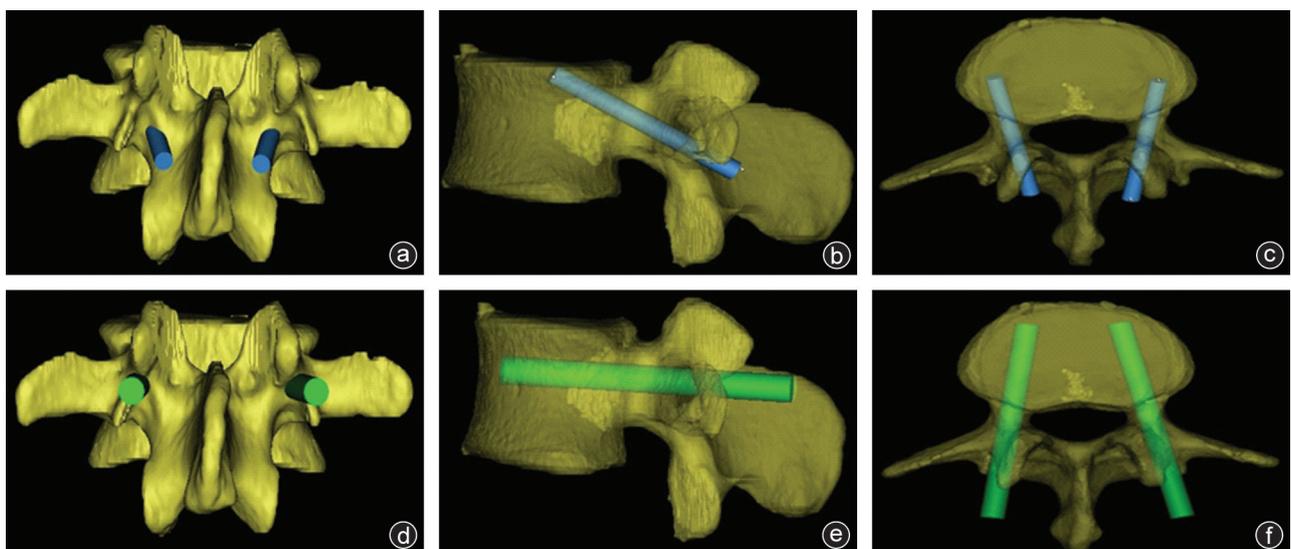


图 2 PS 和 CBT 螺钉置钉点及角度,蓝色为 CBT 螺钉,绿色为 PS a: CBT 螺钉从椎弓根投影峡部 5 点方位(左侧)、7 点方位(右侧)置入;b、c: CBT 螺钉置钉方向由内下向外上,置入深度接近椎体后外侧缘皮质,螺钉中心在矢状位及轴位均位于椎弓根正中;d: PS 进钉点为乳副突间凹; e、f: PS 在矢状位及轴位均位于椎弓根中轴线,置入深度到椎体前缘 80%处

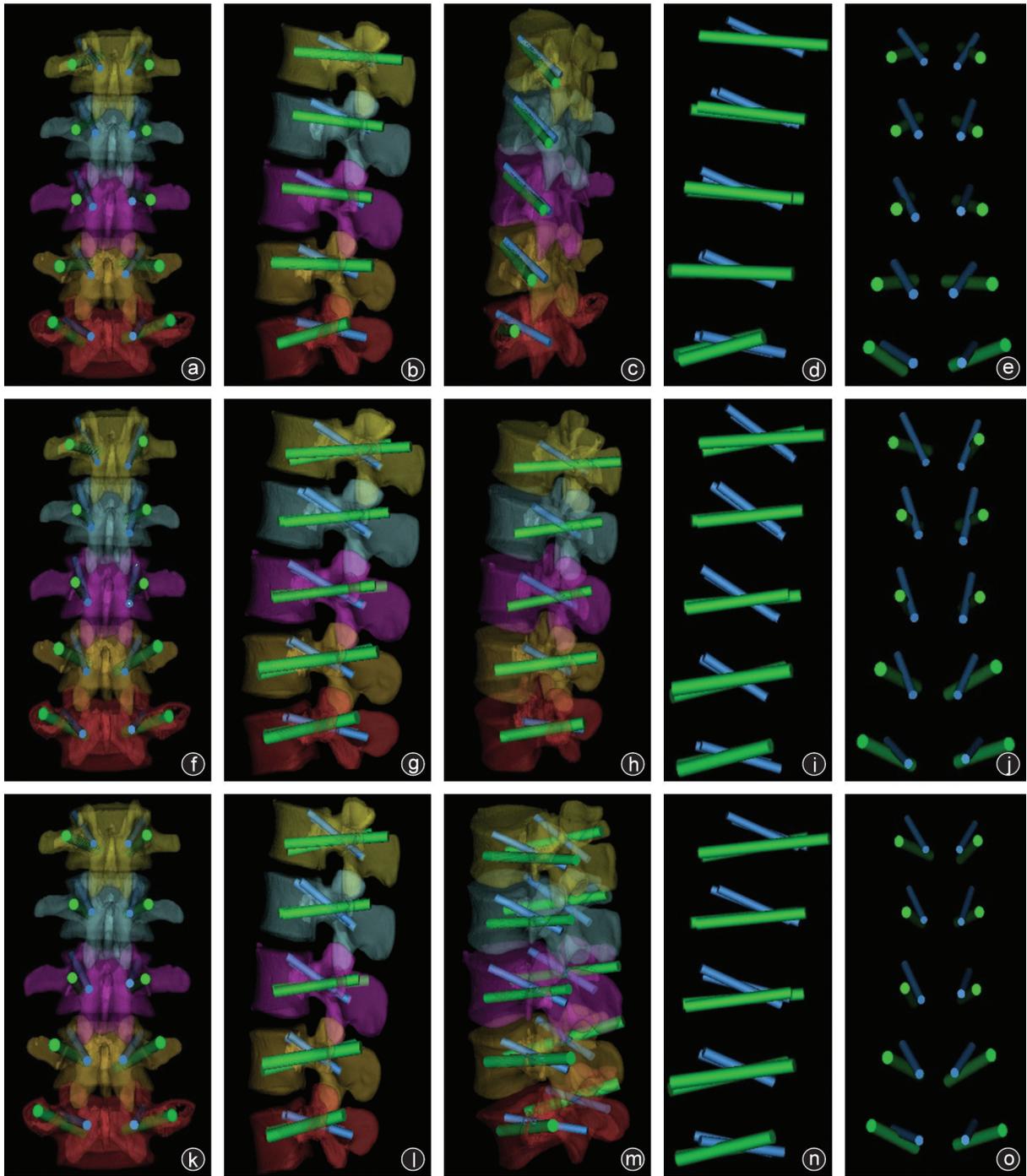


图3 双通道螺钉在不同方案下置钉后相对位置关系,蓝色为CBT螺钉,绿色为PS a~e:方案A置钉正位、侧位、斜位,隐去骨质后侧位、正位; f~j:方案B置钉正位、侧位、斜位,隐去骨质后侧位、正位;k~o:方案C置钉正位、侧位、斜位,隐去骨质后侧位、正位

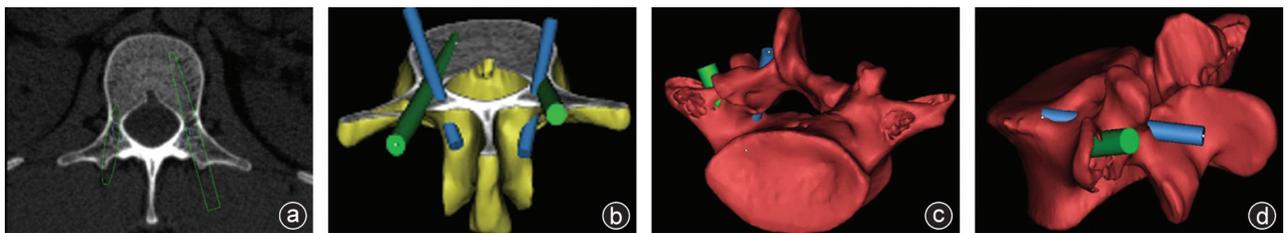


图4 各种方案模拟置钉后置钉失败表现,蓝色为CBT螺钉,绿色为PS a:二维图像上显示螺钉耦合重叠状态;b:去除部分骨质显示螺钉重叠;c:三维重建模型下螺钉突破椎弓根内壁;d:三维重建模型下螺钉突破椎弓根上壁

小、纵径大小、置钉方案)进行单因素分析,将差异有统计学意义的自变量带入二元 Logistic 回归分析模型,筛选出置钉成功率的影响因素。

结 果

一、不同性别、年龄病人椎弓根置钉的成功次数及成功率

49 例病人共进行了 1 470 次模拟置钉,按照置钉是否成功进行分组,其中置钉成功组 566 次,置钉失败组 904 次。女 23 例,置钉成功次数为 159(159/690, 23.04%),男 26 例,置钉成功次数为 407(407/780, 52.18%)。

年龄 < 40 岁者 17 例,置钉成功次数为 247(247/510, 48.43%);年龄为 [40 岁, 60 岁] 者 19 例,置钉成功次数为 189(189/570, 33.16%);年龄 ≥ 60 岁者 13 例,置钉成功次数为 130(130/390, 33.33%)。

二、影响置钉成功率的单因素分析

椎弓根横径 < 8.0 mm、[8.0 mm, 12.0 mm)、≥ 12.0 mm 这 3 个分级的置钉成功率分别为: 25.23%

(162/642)、47.73%(295/618)、51.90%(109/210)。椎弓根纵径 < 10.0 mm、[10.0 mm, 14.0 mm)、≥ 14.0 mm 这 3 个分级的置钉成功率分别为: 16.67%(12/72)、32.37%(268/828)、50.18%(286/570)。A、B、C 三个置钉方案的成功率分别为: 16.94%(83/490)、23.27%(114/490)、75.31%(369/490)。经过单因素分析结果显示置钉成功组和置钉失败组间横径、纵径及置钉方案的差异均有统计学意义(P 均 < 0.05)。见表 2。

三、Logistic 回归分析椎弓根横径及纵径、置钉方案对成功率的影响

将上述单因素分析结果差异有统计学意义的因素纳入二元 Logistic 回归分析模型中,结果发现椎弓根横径、椎弓根纵径及置钉方案均是置钉成功率的独立影响因素(P 均 < 0.05, 表 3)。

讨 论

一、CBT 螺钉的应用

脊柱内固定手术在近 20 年来逐渐增多,而由于固定失败、相邻节段退变等并发症导致的手术翻修

表 2 影响置钉成功率的单因素分析[例(%)]

项目	置钉成功组(566次)	置钉失败组(904次)	χ^2 值	P 值
椎弓根横径				
< 8.0 mm	162(25.23%)	480(74.77%)	85.912	< 0.001
[8.0 mm, 12.0 mm)	295(47.73%)	323(52.27%)		
≥ 12.0 mm	109(51.90%)	101(48.10%)		
椎弓根纵径				
< 10.0 mm	12(16.67%)	60(83.33%)	60.462	< 0.001
[10.0 mm, 14.0 mm)	268(32.37%)	560(67.63%)		
≥ 14 mm	286(50.18%)	284(49.82%)		
置钉方式				
方案 A	83(16.94%)	407(83.06%)	424.575	< 0.001
方案 B	114(23.27%)	376(76.73%)		
方案 C	369(75.31%)	121(24.69%)		

表 3 影响置钉成功率的 Logistic 多因素分析

变量	β	$SE(\beta)$	Wald χ^2 值	OR 值	95% CI	P 值
椎弓根横径						
[8.0 mm, 12.0 mm) vs. < 8.0 mm	2.083	0.179	135.527	8.031	5.655, 11.405	< 0.001
≥ 12.0 mm vs. < 8.0 mm	2.814	0.247	129.794	16.681	10.279, 27.070	< 0.001
椎弓根纵径						
[10.0 mm, 14.0 mm) vs. < 10.0 mm	2.139	0.403	28.122	8.491	3.851, 18.720	< 0.001
≥ 14 mm vs. < 10.0 mm	3.871	0.428	81.792	41.997	20.743, 111.061	< 0.001
置钉方案						
方案 B vs. 方案 A	0.497	0.180	7.575	1.643	1.154, 2.340	0.006
方案 C vs. 方案 A	3.587	0.207	298.793	36.117	24.048, 54.241	< 0.001

率也相应增高^[9]。此外,随着人类平均寿命的大幅提高,骨质疏松病人的数量明显增加^[10]。骨质疏松导致的退行性脊柱侧弯成为老年脊柱畸形的重要原因之一^[11]。PS在骨密度较低的椎体中抗拔出强度明显下降^[12],可能导致PS的早期松动和假关节发生。因此,越来越多的学者将目光聚焦于CBT螺钉。不同于PS,CBT螺钉由内向外大部分走行于皮质骨,共途经峡部皮质、椎弓根内外侧皮质、椎体后外侧缘皮质四层皮质,有研究报道更短更细的CBT螺钉即能提供与PS相同甚至更强的抗拔除力^[13],在骨质疏松病人中应用可增强内固定稳定性^[14]。不同于PS走行于椎弓根及椎体松质骨,骨质疏松对CBT螺钉影响更小。同时CBT螺钉置钉方式可以减小伤口,避免了置钉过程中相邻的关节突损伤,从而减少相邻节段退变^[15],为相邻节段退变手术及翻修手术带来更多可能。近年来,不断有国内外学者探索PS与CBT螺钉使用方式。胡惠强等^[7]使用CBT螺钉加传统PS结合卫星棒固定治疗11例退变性脊柱侧凸病人,取得良好矫形及术后疗效。王洋等^[16]在12例骨质疏松腰椎退变性疾病病人中使用CBT螺钉,治疗取得了良好的效果。鲁增辉等^[17]在部分椎体破坏的结核病人中将CBT螺钉与PS混用,在取得良好效果前提下减少了固定节段。Mullin等^[18]通过47例腰椎三维CT数据模拟双通道置钉并分析其可行性,但其未就相关影响因素进一步分析。在这些研究的基础上,为了研究双通道置钉影响因素及更进一步验证混合置钉的可行性,我们设计并测量了3种不同的置钉方案,研究椎弓根直径、置钉方案对于置钉成功率的影响,从而提高置钉成功率。

二、试验结果分析

本研究结果显示年龄较低的病人拥有较高的置钉成功率,虽然椎体及附件发育成熟后随年龄增长体积变化多表现在椎体或椎间盘^[19],但是如果腰椎出现退变后可能导致椎体扁平化发展^[20],同时椎体出现骨质疏松后其边缘易引起骨折或塌陷,造成椎体一定程度上出现楔形变^[21],在这类病人中模拟置钉时容易穿出骨皮质,这可能与中老年病人置钉成功率变低有关。男性置钉成功率明显高于女性,性别主要与椎弓根直径相关,男性椎弓根直径多数大于女性椎弓根直径。而椎弓根直径及置钉方案均为置钉成功率的影响因素。椎弓根本身形态为近圆柱状,多数椎弓根中纵径大于横径,PS与CBT螺钉置钉均需要内外倾斜角度,这就会占用更多椎弓根横径,越大的椎弓根横径其置钉成功率会越高,当然

如果双通道螺钉置钉满足其穿过椎弓根中心部位而无重合,则更大的横径对提高置钉成功率影响也会相对减小。而在三种置钉方案中两种螺钉均为上下并排方式,如横径已经满足两组椎弓根直径大小穿过中心位置而不重合,则更大的纵径甚至可以满足两种螺钉完全上下并排置入,在我们的数据中可以看到不少椎弓根纵径长度超过了两种螺钉的直径之和。2013年Ueno等^[6]报道描述了需要经过术前三维CT模拟精心设计后才可以最大程度实现双通道螺钉置入。本研究设计了三种置钉方案,方案A、方案B分别模拟已置入PS和CBT螺钉,后置入另一种螺钉并调节,其置钉成功率均不高,且两者差别不显著,这主要是因为先置入的螺钉占据了椎弓根中央的部位,剩余的面积通过调节不易容纳另一种螺钉。而方案C同时置入进钉位置稍低的PS、进钉位置稍高的CBT螺钉和Ueno等^[6]选择相同,统计结果显示有较高成功率。在采用与本研究方案C类似置钉方案的文献中,本研究置钉成功率略高于赵永辉等^[22]研究结果,这可能与我们的研究中纳入更多男性病人及使用更小的螺钉直径有关;而在Mullin等^[18]的研究中其置钉成功率稍低于本研究结果,可能与其术后部分数据由病人提供有关,螺钉金属尾影影响模拟置钉成功率。这也提示我们置钉方案对于置钉成功率也会有影响。对于今后需要两种螺钉同时使用或混用的手术病人均需术前完成三维CT,再进行设计后实施,可以最大程度提高置钉成功率。

三、展望与不足

双通道螺钉技术拥有很强的应用潜力和研究价值,它可以使脊柱后路手术拥有更多选择。该技术应用于临床病患仍较少,无法完全确定其手术适应证,从理论及现有应用情况来看,其可广泛适用于腰椎翻修手术^[5]及严重骨质疏松腰椎退变性疾病、腰椎退变性侧弯或后凸^[7],以及腰椎螺钉置钉过程中失败后抢救性改换置钉方式^[23]。在翻修手术中不用取出原有内固定,也可以在需要矫形的严重退变性脊柱侧弯合并骨质疏松疾患中提供更加坚强的固定。对于潜在翻修风险较大的病人可在第一次手术时注意置钉位置及方向,为可能的翻修手术置钉预留足够空间。双通道螺钉技术并发症报道仍较少,可能与皮质骨螺钉类似,存在螺钉钉棒断裂、椎弓根骨折等^[24]。故而,在能实现双通道螺钉置钉的前提下可考虑使用更大直径的螺钉,这可以提供更好的生物力学效应^[25],但也要避免螺钉直径过大而引起椎弓根骨折,出现无法再次置钉情况。本文虽然对

双通道置钉影响因素进行了较为全面的分析,可以避免临床使用中的一些误区。但是本研究也存在一些不足:第一,本研究为利用 Mimics 软件对影像文件的重建分析,虽然在三维 CT 模拟置钉过程中大部分椎弓根均能置钉成功,但置钉成功的分析中也可能存在骨皮质即将破裂、螺钉即将重叠、置钉点不易寻找或易损伤椎弓根结构等极限情况,实际临床应用中其置钉成功率受各种情况限制可能会降低,其实际置入时的临床效果还有待临床验证。第二,本研究的重点是明确置钉方式及椎弓根直径对置钉成功率的影响,没有分析螺钉的直径对置钉成功率的影响,而在其他文献中发现不同的螺钉直径也会带来不同的置钉成功率。关于螺钉直径对置钉成功率的影响,还需要去除其他干扰因素后有针对性的进一步研究来验证。第三,本研究仅讨论了双通道螺钉内固定的影响因素,而脊柱内固定主要目标为实现融合,其临床应用后对脊柱融合的影响还需要进一步研究。综上所述,双通道螺钉固定技术是腰椎后路内固定的一种可行的选择,特别是对于退变性腰椎侧弯合并严重骨质疏松症病人或相邻节段退变的翻修病人,它甚至可能改变脊柱后路内固定的方式。

参 考 文 献

- [1] Boucher HH. A method of spinal fusion[J]. J Bone Joint Surg Br, 1959, 41-B(2): 248-259.
- [2] Okuda S, Nagamoto Y, Matsumoto T, et al. Adjacent segment disease after single segment posterior lumbar interbody fusion for degenerative spondylolisthesis: minimum 10 years follow-up[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2018, 43(23): E1384-E1388.
- [3] Santoni BG, Hynes RA, McGilvray KC, et al. Cortical bone trajectory for lumbar pedicle screws[J]. Spine J, 2009, 9(5): 366-373.
- [4] Mizuno M, Kuraishi K, Umeda Y, et al. Midline lumbar fusion with cortical bone trajectory screw[J]. Neurol Med Chir (Tokyo), 2014, 54(9): 716-721.
- [5] 王燕燕, 张建锋, 范顺武, 等. 皮质骨轨迹螺钉固定技术在腰椎翻修中的应用[J]. 中华骨科杂志, 2017, 37(18): 1143-1149.
- [6] Ueno M, Imura T, Inoue G, et al. Posterior corrective fusion using a double-trajectory technique (cortical bone trajectory combined with traditional trajectory) for degenerative lumbar scoliosis with osteoporosis: technical note[J]. J Neurosurg Spine, 2013, 19(5): 600-607.
- [7] 胡惠强, 赵峥, 杜钰堃, 等. 皮质骨螺钉加传统椎弓根螺钉结合卫星棒固定治疗退变性脊柱侧凸的疗效观察[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2020, 30(1): 8-12.
- [8] 阎德强, 谢志军, 李炳辉, 等. 胸腰椎乳副突间凹进钉点的解剖学研究与应用[J]. 中国矫形外科杂志, 2001, 8(5): 506-509.
- [9] Rajae SS, Kanim LE, Bae HW. National trends in revision spinal fusion in the USA: patient characteristics and complications[J]. Bone Joint J, 2014, 96-B(6): 807-816.
- [10] Wright NC, Looker AC, Saag KG, et al. The recent prevalence of osteoporosis and low bone mass in the United States based on bone mineral density at the femoral neck or lumbar spine[J]. J Bone Miner Res, 2014, 29(11): 2520-2526.
- [11] Grubb SA, Lipscomb HJ, Coonrad RW. Degenerative adult onset scoliosis[J]. Spine (Phila Pa 1976), 1988, 13(3): 241-245.
- [12] Halvorson TL, Kelley LA, Thomas KA, et al. Effects of bone mineral density on pedicle screw fixation[J]. Spine (Phila Pa 1976), 1994, 19(21): 2415-2420.
- [13] Matsukawa K, Yato Y, Imabayashi H, et al. Biomechanical evaluation of the fixation strength of lumbar pedicle screws using cortical bone trajectory: a finite element study[J]. J Neurosurg Spine, 2015, 23(4): 471-478.
- [14] Rexiti P, Aierken G, Wang S, et al. Anatomical research on strength of screw track fixation in novel cortical bone trajectory for osteoporosis lumbar spine[J]. Am J Transl Res, 2019, 11(11): 6850-6859.
- [15] Sakaura H, Ikegami D, Fujimori T, et al. Early cephalad adjacent segment degeneration after posterior lumbar interbody fusion: a comparative study between cortical bone trajectory screw fixation and traditional trajectory screw fixation[J]. J Neurosurg Spine, 2019, 32(2): 155-159.
- [16] 王洋, 席焱海, 吴学铭, 等. 应用皮质骨轨迹螺钉内固定治疗骨质疏松腰椎退变性疾病的临床疗效[J]. 中国矫形外科杂志, 2016, 24(21): 1938-1942.
- [17] 鲁增辉, 罗卓荆, 段伟. 皮质骨轨迹螺钉固定技术在单间隙腰椎结核治疗中的效果分析[J]. 中国防痨杂志, 2018, 40(4): 397-403.
- [18] Mullin JP, Perlmutter B, Schmidt E, et al. Radiographic feasibility study of cortical bone trajectory and traditional pedicle screw dual trajectories[J]. J Neurosurg Spine, 2016, 25(6): 727-732.
- [19] Miękisiak G, Łątka D, Janusz W, et al. The change of volume of the lumbar vertebrae along with aging in asymptomatic population: a preliminary analysis[J]. Acta Bioeng Biomech, 2018, 20(4): 25-30.
- [20] 孟宪中, 孟宪国, 申勇, 等. 腰椎间盘退变后椎体的变化及其临床意义[J]. 脊柱外科杂志, 2006, 4(1): 21-24.
- [21] 刘欣, 王全平, 柏树令. 骨质疏松腰椎椎体形态变化规律的影像学研究[J]. 中国医科大学学报, 2005, 34(6): 529-530.
- [22] 赵永辉, 王龙, 陆维, 等. 探讨同一椎弓根内置入传统椎弓根螺钉和皮质骨通道螺钉的可行性[J]. 生物骨科材料与临床研究, 2019, 16(3): 1-7.
- [23] Calvert GC, Lawrence BD, Abtahi AM, et al. Cortical screws used to rescue failed lumbar pedicle screw construct: a biomechanical analysis[J]. J Neurosurg Spine, 2015, 22(2): 166-172.
- [24] Glennie RA, Dea N, Kwon BK, et al. Early clinical results with cortically based pedicle screw trajectory for fusion of the degenerative lumbar spine[J]. J Clin Neurosci, 2015, 22(6): 972-975.
- [25] Matsukawa K, Yato Y, Kato T, et al. In vivo analysis of insertional torque during pedicle screwing using cortical bone trajectory technique[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2014, 39(4): E240-E245.

(收稿日期: 2020-10-11)

(本文编辑: 龚哲妮)

引用格式

段伟, 谭瑞, 甘璐, 等. 三维 CT 模拟双通道螺钉置入同一腰椎椎弓根成功率的影响因素分析[J]. 骨科, 2021, 12(2): 103-109. DOI: 10.3969/j.issn.1674-8573.2021.02.002.