

新型枢椎椎板钉导向器的应用研究

孙玛骥¹, 王秋安², 张星辰², 袁峰², 郭开今¹

(1. 南京医科大学, 江苏 南京 211166; 2. 徐州医科大学附属医院骨科, 江苏 徐州 221006)

【摘要】 目的:通过体外试验探讨新型枢椎椎板钉导向器的安全性及准确性。方法:选取 2018 年 1 月至 2018 年 6 月行颈椎三维 CT 的患者 40 例,男 21 例,女 19 例;身高 165~180(172.9±9.5) cm,年龄 38~55(51.1±12.8) 岁,排除枢椎椎板缺损及发育不全患者。每例患者的颈椎三维 CT 数据制作两套 3D 打印标本,共 80 个颈椎标本,均用于体外置钉试验。根据置钉方式的不同,体外试验部分分为导向器置钉组 40 个和徒手置钉组 40 个。同时,在计算机上重建出该 40 例患者的颈椎三维模型,通过计算机模拟置钉,得到理想出针点数据与理想内倾角度,此为 3D 模拟置钉组(理想钉道),40 例。在体外试验中,分别测量导向器置钉组、徒手置钉组置入螺钉的位置危险等级、出针点位置及内倾角度。并以出针点精确性及钉道内倾角度为基准,将导向器置钉组、徒手置钉组与 3D 模拟置钉组数据对比,并将各组数据进行统计学分析以确定准确性。**结果:**导向组螺钉位置可接受的为 75 例,位置危险的为 5 例,可接受率为 94%,双皮质率为 93%。徒手组螺钉位置可接受为 62 例,位置危险为 18 例,可接受率为 78%,双皮质率 33%,两组比较差异有统计学意义($P<0.05$)。导向器置钉组与 3D 模拟置钉组的出针点精确性及钉道内倾角度比较,差异无统计学意义($P>0.05$),徒手置钉组与 3D 模拟置钉组出针点精确性及钉道内倾角度比较,差异有统计学意义($P<0.05$)。**结论:**本导向器为通用型,结构稳定,导向精确,操作简便,可同时置入双侧椎板钉,缩短置钉时间,同时可有效避免双向交叉螺钉的碰撞,增加双皮质率,有效提高枢椎椎板钉置钉的效率和安全性。

【关键词】 枢椎, 颈椎; 打印, 三维; 计算机模拟

中图分类号:R687.3

DOI:10.12200/j.issn.1003-0034.2021.09.009

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Study on the application of a new type of vertebral plate nail guide SUN Ma-ji, WANG Qiu-an, ZHANG Xing-chen, YUAN Feng, and GUO Kai-jin*. *Nanjing Medical University, Nanjing 211166, Jiangsu, China

ABSTRACT Objective: To explore safety and accuracy of novel C₂ lamina staple guide through in vitro experiments. **Methods:** From January 2018 to June 2018, 40 patients who underwent three-dimensional CT of cervical spine were selected, including 21 males and 19 females, heighted from 165 to 180 cm with an average of (172.9±9.5) cm, aged from 38 to 55 years old (51.1±12.8) years old, excluding patients with axis lamina defect and hypoplasia. Two sets of 3D printed specimens were made from the three-dimensional CT data of cervical spine of each patient, and both of them were used for the in vitro nailing experiment. According to different nail placement methods, in vitro experimental part of this experiment was divided into guide nail placement group and hand nail placement group, 40 pieces in each group. At the same time, the three-dimensional model of cervical spine of 40 patients was reconstructed on computer, and the ideal needle point data and inclination angle were obtained by computer simulation of the nail placement. This is 3D simulation nail placement group, 40 pieces. With vitro experiment, the risk level of screw placement, the position of needle exit point and inclination angle were measured in guide nail group and hand nail group. Based on the accuracy of needle point and inclination angle of nail path, the data of guide nail group, the hand nail group and 3D simulation nail group were compared, and the data of each group were statistically analyzed to determine the accuracy. **Results:** In guide nail group, 75 screws were acceptable and 5 were dangerous. The acceptable rate was 94%, and the double cortical rate was 93%. There were 62 position-acceptable screws in hand nail group, and 18 positions were dangerous, with an acceptable rate of 78% and a double cortical rate of 33%. The difference between two groups was statistically significant ($P<0.05$). There was no significant difference in accuracy of needle exit point and inclination angle of nail path between guide nail group and 3D simulation nail group ($P>0.05$), but there was significant difference in the accuracy of needle exit point and inclination angle of nail path between hand nail group and 3D simulation nail group ($P<0.05$). **Conclusion:** The guide is universal, with stable structure, accurate guidance, and easy operation. It could be placed with bilateral lamina screws at the same time, shortening the time of nail placement, avoiding collision of two-way cross screws, increase the rate of double cortex. Ultimately, efficiency and security can be improved.

KEYWORDS Asix, cervical vertebra; Printing, three-dimensional; Computer simulation

通讯作者:郭开今 E-mail:301810212309@stu.xzhmu.edu.cn

Corresponding author:GUO Kai-jin E-mail:301810212309@stu.xzhmu.edu.cn

上颈椎外伤以寰枢椎骨折伴脱位最为常见,该类疾病往往需要行后路颈椎内固定术治疗。固定方式较为多样,而固定方式的选择临床仍存在争议。目前后路 C₁-C₂ 固定的主要技术有后路寰枢椎经关节突加寰椎侧块固定法及寰枢椎双侧椎弓根内固定法。虽然这两种技术都可获得坚强的生物力学特性,但在操作技术及经验上对主刀医师有较高要求,并且容易损伤椎动脉^[1]。经关节突操作时椎动脉的损伤率达到 4%^[2-3]。王超等^[3]尸体解剖研究表明,约 20% 标本的椎弓根直径明显狭小 (<3.5 mm), 同时有 25% 的标本存在 C₂ 侧块发育畸形且伴有高悬迂曲的椎动脉畸形。对于这种情况, C₂ 椎板交叉螺钉内固定技术具有一定优势^[4-5]。Wright^[6]提出枢椎椎板钉基于宽大的椎板结构可以提供稳定的生物力学,并可以避开椎动脉,实用性也通过临床证实^[7]。C₂ 椎板螺钉的精确性及安全性受到手术操作者操作经验、透视效果、术中体位等因素的影响,部分病例由于置钉方向误差导致螺钉侵犯脊髓,造成高位脊髓损伤^[8-9]。辅助导向器置钉可以有效减少该并发症,提高置钉效率。而现已有的枢椎导向器多为个体化模型^[10],需要提前定制,费用昂贵,术前准备时间较长,同时必须与椎板紧密贴合才能保证准确性,一旦术中软组织清理不当或椎板结构损毁则会影响导向器的精确性;另外,聚乙烯等材质的硬度不足会导致结构不稳,三维模拟的误差以及固定点位的不足都会影响导向的准确性。目前临床正需要一种操作简单、结构稳定、导向精确、使用安全、可重复使用的导向装置。为了更精确更安全地置入椎板螺钉,本试验以枢椎椎板钉出针点为标记点,利用弧形滑轨向心性原理结合枢椎椎板及棘突的解剖结构,通过 3D 打印技术设计出枢椎椎板钉置入的枢椎椎板钉双向滑轨式导向器,在体外行置钉准确性试验以验证其安全性及精确性,以期为临床提供一种更简便安全的辅助器械,提高手术安全性及效率。

1 资料与方法

1.1 导向器的结构原理和使用方法

1.1.1 原理、材料和结构 确定枢椎椎板钉置入的准确性和安全性主要有 3 个指标,即进针点、出针点和内倾角度,在置钉过程中只要锁定合适的进针点和出针点即可获得安全有效的钉道。其中,想要确定合适的进针点容易,而准确的出针点往往难以控制,故本导向器以枢椎椎板钉出针点为标记点,先锁定出针点,同时,由于不同患者枢椎解剖的差异性,枢椎椎板钉的进针点也需要相应调节以达到理想位置,为了同时解决这两个问题,本研究导向器的导向套筒在调节过程中,其导航方向需始终以出针点为

圆心,并指向出针点。导向器的主干设有弧形滑轨,导向套筒可在滑轨上做向心性微调,可以保证导向套筒始终以出针点为圆心并指向出针点(图 1)。在计算机上重建出三维模型模拟置钉,螺钉远端锁定出针点后,在螺钉不穿透枢椎内外侧皮质的前提下,模拟椎板内螺钉尾端可活动角度,获得微调角度(图 2)。为了避免交叉钉磨损,通过 3D 模拟活动最佳交叉螺钉角度,结合导向器微调角度及滑轨向心性原理在 MedCAD 模块中建模出导向器三维模型,将设计出的导向器主框架模型以使用 eos m400 激光金属 3D 打印机打印,使用聚乳酸材料打印出导向套筒及滑轨连接环。通过 3D 打印技术设计出辅助枢椎椎板钉置入的新型枢椎椎板钉导向器,该导向器含有固定架主体,双向导向器套筒,弧形向心性滑轨,滑轨连接环等部分;固定架主体包括弧形双向固定架,上端为棘突锁定套筒,可穿入克氏针将导向器固定于棘突上,中部为弧形向心性滑轨,可通过滑轨连接环将导向器导通固定于滑轨内部,保证套筒的向心性,同时导向筒为三级套筒结构,可以完成全部的置钉操作;同时为了获得更佳的稳定性,本导向器主体采用金属结构,减少操作过程中的变形(图 3)。

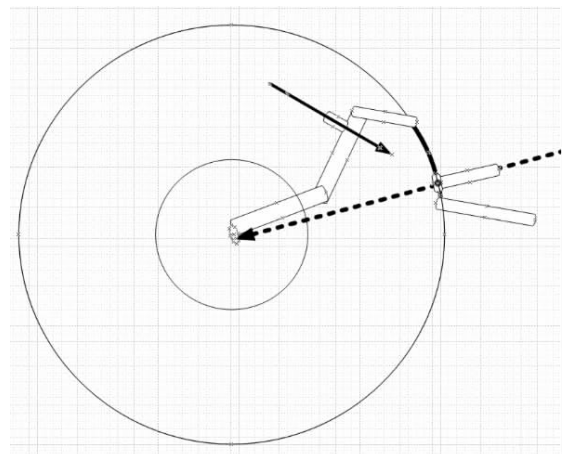


图 1 导向器设计原理:滑轨向心性原理

Fig.1 Design principle:centripetality principle of slide rail

1.1.2 使用方法 术中后正中入路显露拟手术节段后部结构,再将新型枢椎椎板钉导向器的出针点接口套筒固定于出针点位置,通过滑轨调节滑轨导向套筒位置,锁定在理想进钉点位置,将 1.5 mm 克氏针穿入棘突锁定套筒固定在枢椎棘突,再于导向器套筒置入克氏针,按套筒方向置入克氏针用电钻将 1.5 mm 克氏针通过枢椎椎板钉双向滑轨式导向器的导航孔钻探椎板螺钉通道,位置满意后置入空心螺钉。

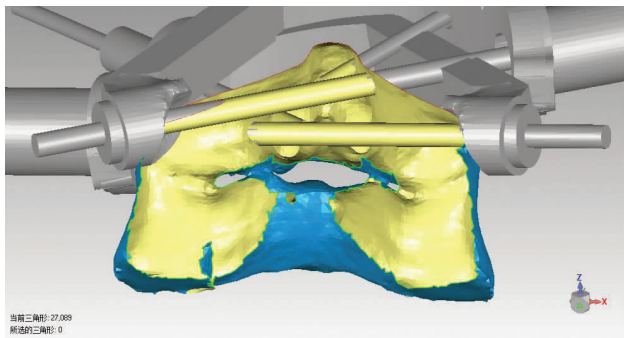


图 2 导向器设计原理:通过三维模拟微调钉道角度,避免钉道碰撞
Fig.2 Design principle: fine adjustment of nail path angle through three-dimensional simulation

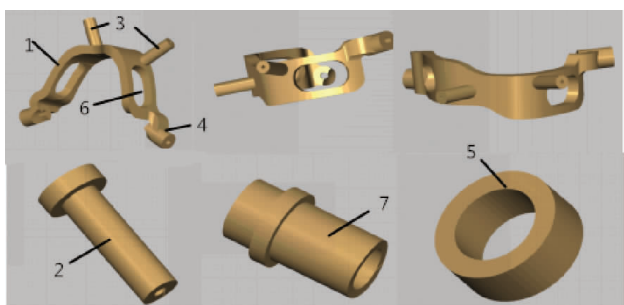


图 3 双向滑轨式导向器结构示意图:其中 1 为固定架主体,2 为三级导向器套筒,3 为棘突锁定套筒,4 为出针点接口,5 为滑轨连接外环,6 为弧形向心性滑轨,7 为滑轨连接内环

Fig.3 Structure diagram of bidirectional slide rail guider: 1 is the main body of fixed frame, 2 is the sleeve of three-stage guider, 3 is the locking sleeve of spinous process, 4 is the interface of needle exit point, 5 is the outer ring of slide rail connection, 6 is arc-shaped centripetal slide rail, 7 is slide rail connecting inner ring

1.2 研究对象与分组

选取 2018 年 1 月至 2018 年 6 月行颈椎三维 CT 患者数据 40 例,其中男 21 例,女 19 例,身高 165~180(172.9±9.5) cm,年龄 38~55(51.1±12.8)岁。选取病例的参数统一扫描窗位宽度为 1 000,管位电流为 280 mA,距值 0.938,厚间距度为 1 mm,扫描距 0.5 mm,管电压 120 kV,窗值 300。排除枢椎椎板缺损及发育不全患者。体外试验部分根据置钉方式的不同,将两组相同的颈椎标本分为导向器置钉组(40 个)和徒手置钉组(40 个)。由于两组置钉都在枢椎椎板上,一组置钉完成后标本即产生不可逆性损坏,所以为了保证试验结果的准确性,另一组需要使用另一个同样的标本进行置钉操作。故将选取的 40 例患者颈椎数据的每例均制作 2 个相同的颈椎标本,一个用于自制导向器置钉组,另一个用于徒手置钉组,同时,在计算机上重建出该 40 例患者的颈椎三维模型,通过计算机模拟置钉,得到理想出针点

数据与理想内倾角度,此为 3D 模拟置钉组(理想钉道),40 个。

1.3 试验方法

1.3.1 模型制备 所选取的颈椎三维 CT 等影像资料数据以医学图像数据格式转入 3D 重建医学图像处理软件(Mimics 10.01 比利时)。通过图像阈值化分割阈值获得上颈椎原始蒙照。利用三维区域增长技术修复空间漏洞,在结合空洞填充技术填补,通过模型编辑工具分离并构建出上颈椎标本的三维模型,获取无缺损模型数据,以 stl 格式保存模型数据。将设计出的导向套筒及滑轨连接环模型数据转换后连接 3D 打印机(FDM-3000,Stratasys)并使用全透明聚乙烯材料将 40 例患者颈椎数据打印成两组相同的颈椎标本,一组应用于导向器置钉组,相同的另一组应用于徒手置钉组。

1.3.2 导向器置钉组 统一由尚无枢椎椎板交叉螺钉置钉经验的脊柱外科医生进行操作。采用导向器置钉组标本,在新型枢椎椎板钉导向器的辅助下置入 3.5 mm 克氏针,将全透明颈椎 3D 打印标本背侧朝上置于操作台,再将新型枢椎椎板钉导向器的出针点接口套筒固定于出针点位置,通过滑轨调节滑轨导向套筒位置,锁定在理想进钉点位置(上位椎板钉:棘突于椎板交界顶点,距椎板上缘 5 mm。下位椎板钉:棘突于椎板交界顶点,距椎板上缘 9 mm。自下关节突中心点穿出);将克氏针穿入棘突锁定套筒固定在枢椎棘突,再于导向器套筒置入克氏针,将克氏针穿出椎板外缘背侧皮质,获得出针点与枢椎椎板上下侧块的距离值(上位椎板钉与侧块外缘距离 L1 及上缘距离 L2,下位椎板钉与侧块外缘距离 L3 及下缘距离 L4)。见图 4a。

本置钉标本为透明材质,可以通过肉眼辅助游标卡尺评价测量螺钉与枢椎椎板前后侧皮质的关系(1~2 级可接受,3~4 级为位置危险,1 级螺钉位于椎板中间或仅引起轻微的皮质外形改变,2 级螺钉穿破皮质<1/3 螺钉直径,3 级螺钉穿破皮质介于 1/3~1/2 螺钉直径,4 级螺钉穿破皮质>1/2 螺钉直径,5 级螺钉穿破皮质>整个螺钉直径)及双皮质率。

1.3.3 徒手置钉组 徒手置钉组标本应用 3.5 mm 直径克氏针代替螺钉。使用电钻根据标准交叉置钉方向置入枢椎椎板钉。将克氏针穿出椎板外缘背侧皮质,测量螺钉危险等级及双皮质率及出针点位置。见图 4b。

1.3.4 模拟置钉组 计算机上将相同的 40 例标本数据重建成三维模型并模拟置钉(图 4c)。将标本数据导入 MedCAD 模块中重建,用 3.5 mm 直径的圆柱体代替螺钉,采用标准交叉置钉方向模拟置钉,将模

拟椎板钉穿出椎板外缘背侧皮质, 获得理想出针点数据, 测量理想出针点位置的理想内倾角度。

1.4 观察项目与方法

在体外试验中, 根据上述方法分别测量并比较导向器置钉组、徒手置钉组置入螺钉的位置危险等级及双皮质率。分析并比较导向器置钉组、徒手置钉组与 3D 模拟置钉组出钉点位置及内倾角度分析以确定准确性。

1.5 统计学处理

采用 SPSS 21.0 软件进行统计分析, 定量资料以均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示, 两组比较采用独立样本 *t* 检验; 定性资料比较采用 χ^2 检验。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

导向器置钉组 80 枚枢椎椎板钉在全透明标本内通过观察位置可接受为 75 例, 位置危险为 5 例, 可接受率为 94%, 其中达到双皮质的为 74 枚, 双皮质率 93%; 徒手置钉组 80 枚枢椎椎板钉在全透明标本内通过观察位置可接受为 62 例, 位置危险为 18 例, 可接受率为 78%, 其中达到双皮质的为 26 枚, 双皮质率 33%; 两组比较差异有统计学意义 ($P<0.05$)。见表 1。导向器置钉组与 3D 模拟置钉组的出针点精确性及钉道内倾角度比较, 差异无统计学意义 ($P>0.05$), 徒手置钉组与 3D 模拟置钉组出针点精确性及钉道内倾角度比较, 差异有统计学意义 ($P<0.05$), 见表 2。

3 讨论

3.1 枢椎椎板钉技术的优势

枢椎的固定作用在颈椎固定手术中至关重要, 其术式主要有 C₁-C₂ 关节螺钉及经椎弓根固定技术。但经寰枢椎关节固定技术在临床应用中的椎动

表 1 导向器置钉组和徒手置钉组位置危险度及双皮质率比较 ($\bar{x}\pm s, mm$)

Tab.1 Comparison of risk grade and double cortical rate between guid nail placement group and hand nail placement group ($\bar{x}\pm s, mm$)

组别	标本数	置钉数 (枚)	位置(例)		双皮质 (枚)
			可接受	危险	
导向器置钉组	40	80	75(94%)	5	74(93%)
徒手置钉组	40	80	62(78%)	18	26(33%)
χ^2 值			8.58		61.44
<i>P</i> 值			0.00		0.00

脉损伤率能达到 4.1%, 且部分标本的 C₂ 椎动脉孔区域会发生椎动脉高悬迂曲畸形, 侵及枢椎峡部和椎板, 闫明等^[11]研究发现有 5% 的患者枢椎椎弓根存在空腔畸形, 该类解剖变异也会增加枢椎椎弓根螺钉的风险。而交叉螺钉技术可以有效减少动脉损伤率^[12]。胡勇等^[13]通过解剖学研究发现枢椎的椎板厚度 >5 mm 的达到 70%, 厚度 >4 mm 的达到 92%, 椎板实际可行钉道平均长度为 24 mm, >20 mm 的标本达到 99%, 表明枢椎椎板螺钉固定在解剖结构上对大部分人群有实际可行性, 验证了国人枢椎椎板螺钉置钉的可行性。

另外枢椎椎板钉基于宽大的枢椎椎板可以提供稳定的生物力学, 在生物力学效应上可与椎弓根螺钉及经关节螺钉固定达到相同效果。Jea 等^[14]在临床应用中对单皮质螺钉固定法进行改进, 在选择相同进钉方式的情况下, 将螺钉穿破枢椎椎板外侧皮质, 出针点位于枢椎关节突与椎板连接处的椎板外缘, 形成理想的双皮质固定以达到更强调生物力学稳定性。

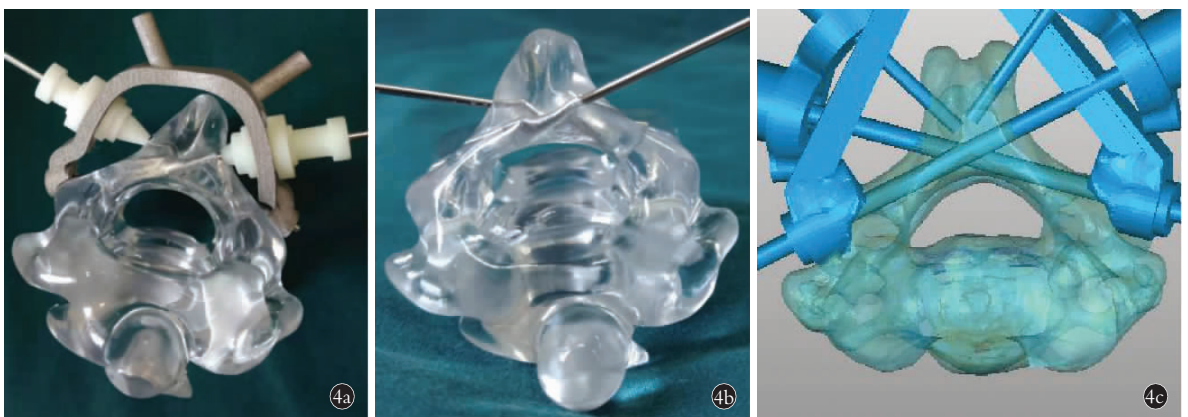


图 4 试验分组示意图 4a. 导向器辅助下 3D 打印标本置入枢椎椎板钉 4b. 徒手置于 3D 打印标本上置入枢椎椎板钉 4c. 3D 模拟下于标本上置入枢椎椎板钉

Fig.4 Schematic diagram of experimental grouping 4a. Placement of axial laminar screw with 3D printing specimen assisted by guide device 4b. Placing the axial laminar screw on the 3D printed specimen by hand 4c. Placement of axial laminar screw in specimen under 3D simulation

表 2 各组出针点位置及内倾角度对比 ($\bar{x}\pm s$)

Tab.2 Comparison of sets of needle point positions and inclination angles among the groups ($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	L1(mm)	L2(mm)	L3(mm)	L4(mm)	内倾角(°)
导向器置钉组	40	6.55±0.75 ^①	7.61±1.05 ^②	3.86±0.84 ^③	4.97±0.68 ^④	55.73±1.54 ^⑤
徒手置钉组	40	4.71±0.84 ^⑥	6.03±0.79 ^⑦	5.11±0.83 ^⑧	6.13±0.58 ^⑨	51.92±3.11 ^⑩
3D 模拟置钉组	40	6.44±0.52 ^a	7.05±0.84 ^b	3.55±0.75 ^c	5.09±0.74 ^d	55.51±1.62 ^e

注:①与^a比较: $t=0.428, P=0.671$;②与^b比较: $t=0.424, P=0.674$;③与^c比较: $t=0.685, P=0.498$;④与^d比较: $t=0.493, P=0.625$;⑤与^e比较: $t=0.505, P=0.630$;⑥与^a比较: $t=-7.697, P=0.00$;⑦与^b比较: $t=-6.031, P=0.00$;⑧与^c比较: $t=6.411, P=0.00$;⑨与^d比较: $t=4.498, P=0.00$;⑩与^e比较: $t=-8.310, P=0.00$

Note: ①compared with ^a: $t=0.428, P=0.671$; ②compared with ^b: $t=0.424, P=0.674$; ③compared with ^c: $t=0.685, P=0.498$; ④compared with ^d: $t=0.493, P=0.625$; ⑤compared with ^e: $t=0.505, P=0.630$; ⑥compared with ^a: $t=-7.697, P=0.00$; ⑦compared with ^b: $t=-6.031, P=0.00$; ⑧compared with ^c: $t=6.411, P=0.00$; ⑨compared with ^d: $t=4.498, P=0.00$; ⑩compared with ^e: $t=-8.310, P=0.00$

因此, 枢椎椎板钉固定技术的优势在解剖学上具有明显优势, 而为了进一步提高该技术的精确性及安全性, 临床中多使用导向装置进行辅助置钉。

3.2 导向辅助技术在枢椎椎板钉技术中的应用

C₂ 椎板螺钉固定技术在手术操作过程中, 置钉的精确性及安全性会受到手术操作者操作经验、透视效果、术中体位等因素的影响。研究显示有部分病例由于置钉方向误差导致螺钉侵犯脊髓, 造成高位脊髓损伤, 并且置钉过程中若对螺钉长度或方向把握不当也有损伤椎动脉的可能^[15]。而通过导向辅助技术可以有效提高安全性, 现有的导向辅助技术为三维透视导航系统和数字成型导向器技术两种方式。

三维透视导航系统辅助置钉可以提高枢椎椎板钉的置钉成功率, 并且可以将置入螺钉的直径提高到 4 mm^[16]。但是该导航系统同样存在一些不足, 如整个三维导航系统费用高昂, 导致手术成本增加, 同时类似三维导航系统往往需要专业技术人员进行操作, 增加了手术的复杂性, 大部分医院不满足配置和应用条件。而应用导向器辅助置钉可以解决以上问题。

数字成型导向器技术是基于三维数据模拟及合成技术。目前三维数字模拟成型技术已应用于 C₂ 椎板螺钉的内固定中, 通过提取颈椎三维 CT 数据, 建立个性化的辅助 C₂ 椎板螺钉置入的导向装置, 对枢椎椎板钉的置钉精确性起到一定作用。陆声等^[17]获得原始数据的完整结构和钉道, 并通过薄层 CT 扫描数据重建了模型及钉道, 在计算机上通过 UG Imageware 软件锁定并重建的螺旋轨道板, 设计了三维模具并补充后脊椎结构, 重建定位轨道与虚拟螺钉模具, 最后通过光固化快速成型技术, 以光敏树脂为材料, 制作定制型导向器, 基于该技术的定制型

导向器可以有效的增加螺钉植入的效率。

3.3 枢椎椎板钉双向滑轨式导向器系统改进意义

临床现有的枢椎椎板钉导向器仍然有一些缺陷:(1)导航模板在设计过程中, 需要使用的软件较多, 数据传输转换过程容易缺失, 从而影响最终建模的准确性。(2)软件操作和专业脊柱手术知识的要求极高, 导致设计和操作的学习曲线较长。因为光固化技术(stereo lithography appearance, SLA)技术的原理是利用激光或紫外线照射液态光敏树脂一层一层地巩固, 所以它有更高要求的工作环境, 并且液体树脂容易凝结不利于成型, 树脂在固化过程中很容易收缩和变形。(3)较高的设计及生产成本限制了该技术的发展。(4)由于计算机仿真设计过程的复杂性和加工生产过程的耗时性, 阻碍了其在急诊手术中的应用。(5)现有导向器多为树脂材料, 其热分解产物具有生物毒性, 临床应用中有潜在的安全隐患。(6)成型后, 模板上的导向管位置不能改变, 材料变形极易引起的导向误差。(7) 现有导向器多接触面积较大, 在软组织存留或椎板结构损坏的情况下难以有效导向, 并且做不到双皮质固定。

而本课题研制的导向器系统为金属框架结构, 硬度大, 变形率低, 结构稳定, 无须反复透视, 可以极大减少手术时间及放射量。由于可重复使用, 在成本上优于定制导向器。体外试验中在导向器辅助置钉下的位置危险等级的可接受率明显高于徒手置钉, 表明该导向系统可以有效提高置钉安全性, 这得益于该导向器可以同时锁定进针点、出针点和内倾角度, 获得安全有效的钉道, 避免钉道破如内壁损伤脊髓, 并且其双向锁定的结构可以获得比徒手置钉更高的双皮质率, 提高力学稳定性。另外, 弧形结构的主体符合枢椎的解剖结构, 结合固定点位的结构可以有效提高其稳定性及精确性, 实验结果也表明其精确性明显优于徒手置钉方式。本导向器系统只需

要导向筒与椎板行点位接触,在软组织存留或椎板结构损坏的情况下也可以有效地准确导向,具有极大的临床价值,为枢椎椎板螺钉的置入提供了一种经济可靠的辅助方法。

参考文献

- [1] Wright NM, Laurysen C. Vertebral artery injury in C₁₋₂ transarticular screw fixation: results of a survey of the AANS/CNS section on disorders of the spine and peripheral nerves. American Association of Neurological Surgeons/Congress of Neurological Surgeons[J]. J Neurosurg, 1998, 88: 634-640.
- [2] Lgarashi T, Kikuchi S, Sato K, et al. Anatomic study of the axis for surgical planning of transarticular screw fixation[J]. Clin Orthop Relat Res, 2003, 408: 162-166.
- [3] 王超,尹绍猛,闫明,等.使用枢椎椎弓根螺钉和枕颈固定板的枕颈融合术[J].中华外科杂志,2004,42(12):707-711.
WANG C, YIN SM, WEN M, et al. Occipital-cervical fusion using axial pedicle screw and occipital-cervical fixation plate[J]. Zhonghua Wai Ke Za Zhi, 2004, 42(12): 707-711. Chinese.
- [4] Cassinelli EH, Lee M, Skalak A, et al. Anatomic considerations for the placement of C₂ laminar screws[J]. Spine, 2006, 31: 2767-2771.
- [5] Yue B, Kwak DS, Kim MK, et al. Morphometric trajectory analysis for the C₂ crossing laminar screw technique[J]. Eur Spine J, 2010, 19(5): 828-832.
- [6] Wright NM. Translaminar rigid screw fixation of the axis: technical note[J]. J Neurosurg Spine, 2005, 3(5): 409-414.
- [7] Wang MY. C₂ crossing laminar screws: cadaveric morphometric analysis[J]. Neurosurgery, 2006, 59(Suppl 1): 84-88.
- [8] Dorward IG, Wright NM. Seven years of experience with C₂ translaminar screw fixation: clinical series and review of the literature[J]. Neurosurgery, 2011, 68(6): 1491-1499.
- [9] Xu R, Burgar A, Ebraheim NA, et al. The quantitative anatomy of the laminae of the spine[J]. Spine, 1999, 24: 107-113.
- [10] Brown GA, Firoozbakhsh K, DeCoster TA, et al. Rapid prototyping: the future of trauma surgery[J]. J Bone Joint Surg Am, 2003, 85(Suppl 4): 49-55.
- [11] 闫明,王超.经寰椎侧块和枢椎峡部内固定的解剖学基础[J].中国脊柱脊髓杂志,2003,13(1):25-27.
YAN M, WANG C. The anatomical basis of internal fixation via atlas lateral mass and axial isthmus[J]. Zhongguo Ji Zhu Ji Sui Za Zhi, 2003, 13(1): 25-27. Chinese.
- [12] Kabir SM, Casey AT. Modification of Wright's technique for C₂ translaminar screw fixation: technical note[J]. Acta Neurochir (Wien), 2009, 151(11): 1543-1547.
- [13] 胡勇,徐荣明,马维虎,等.枢椎后路椎板螺钉固定技术的可行性研究[J].中国骨伤,2008,21(8):581-584.
HU Y, XU RM, MA WH, et al. Feasibility study on posterior laminar screw fixation techniques in the axis[J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2008, 21(8): 581-584. Chinese with abstract in English.
- [14] Jea A, Sheth BN, Vanni S, et al. Modification of Wright's technique for placement of bilateral crossing C₂ translaminar screws: technical note[J]. Spine J, 2007, 6: 1-5.
- [15] Harms J, Melcher RP. Posterior C₁₋₂ fusion with polyaxial screw and rod fixation[J]. Spine, 2001, 26(22): 2467-2471.
- [16] Nottmeier EW, Foy AB. Placement of C₂ laminar screws using three-dimensional fluoroscopy-based image guidance[J]. Euro Spine J, 2008, 17(4): 574-576.
- [17] 陆声,张元智,徐永清,等.脊柱椎弓根定位数字化导航模板的设计[J].中华创伤骨科杂志,2008,10(2):128-131.
LU S, ZHANG YZ, XU YQ, et al. Design of digital navigation template for spine pedicle positioning[J]. Zhonghua Chuang Shang Gu Ke Za Zhi, 2008, 10(2): 128-131. Chinese.

(收稿日期:2020-11-20 本文编辑:王玉蔓)