

数字化导航模板辅助儿童胸椎椎弓根螺钉置钉的准确性

张少杰^{1,2}, 王星^{1,2}, 史君³, 陈杰¹, 马世峰¹, 王建¹, 李志军^{1,2}, 张元智², 刘红伟¹(内蒙古医科大学, ¹基础医学院人体解剖学教研室, ²数字医学中心, ³基础医学院生理学教研室, 内蒙古自治区呼和浩特市 010059)

文章亮点:

- 1 文章利用计算机辅助设计与快速成型技术制作的导航模板辅助儿童胸椎椎弓根螺钉的置入, 为其提供一种个性化、精确化的定位方法, 并与传统胸椎椎弓根螺钉置入法进行置钉准确率的比较, 验证该方法的临床可行性及置钉准确性。
- 2 文章结果显示传统椎弓根内固定法置钉准确率为 58%, 而个体化数字导航模板法的置钉准确率为 81%, 置钉成功率优于传统手术组, 提示个体化导航模板辅助儿童胸椎椎弓根螺钉置入具有较高的准确率。
- 3 个体化导航模板辅助儿童胸椎椎弓根螺钉置入具有较高的准确率, 充分体现了置钉的个体化原则, 为儿童胸椎椎弓根螺钉的准确置入提供了一种新的可行方法。该技术虽额外增加了个性化导航模板的设计及制作费用, 但尽量避免了其他导航技术在术中儿童的反复透视的损伤, 并且手术操作简单、易于掌握, 节约术中时间, 可有效地降低手术风险, 提高置钉成功率。

关键词:

植入物; 脊柱植入物; 儿童; 胸椎椎弓根; 数字化; 个体化导航模板; 螺钉置入; 国家自然科学基金

主题词:

内固定器; 胸椎; 计算机辅助设计

基金资助:

国家自然科学基金(30660072, 81260269); 内蒙古自然科学基金(2009MS1112, 2012MS1149); 内蒙古医科大学青年创新基金(YKD2013QNCX018)

摘要

背景: 目前国内外学者已将椎弓根螺钉内固定技术应用于儿童脊柱损伤治疗中, 儿童胸椎椎弓根细小, 解剖结构变异大、毗邻关系复杂, 如将以成人数据为依据的椎弓根螺钉技术简单地应用于处于不断生长发育的儿童, 手术风险极大, 提高置钉的准确性和降低失误率成为儿童椎弓根内固定技术能否深入开展的关键所在。

目的: 利用计算机辅助设计与快速成型技术为儿童胸椎椎弓根螺钉置入提供一种个性化、精确化的定位方法。

方法: 对 4 例儿童尸体标本 CT 扫描后将原始数据利用软件进行三维重建, 将标本随机分为 2 组: 一组采用传统椎弓根内固定法, 另一组采用逆向工程原理及快速成型技术设计并制造出个体化导航模板, 利用个体化导航模板在标本上辅助置入腰椎椎弓根螺钉, 随后分别根据 CT 扫描评价椎弓根螺钉置钉位置。

结果与结论: 传统椎弓根内固定法置钉准确率为 58%; 而个体化数字导航模板法的置钉准确率为 81%, 置钉成功率优于传统手术组, 且经过卡方检验两者之间差异有显著性意义($P < 0.05$)。提示个体化导航模板辅助儿童胸椎椎弓根螺钉置入具有较高的准确率, 充分体现了置钉个体化原则, 为儿童胸椎椎弓根螺钉的准确置入提供了一种新的可行的方法。

张少杰, 王星, 史君, 陈杰, 马世峰, 王建, 李志军, 张元智, 刘红伟. 数字化导航模板辅助儿童胸椎椎弓根螺钉置钉的准确性[J]. 中国组织工程研究, 2014, 18(35):5660-5665.

Accuracy of screw placement in child's thoracic pedicle assisted by digital navigation template

Zhang Shao-jie^{1,2}, Wang Xing^{1,2}, Shi Jun³, Chen Jie¹, Ma Shi-feng¹, Wang Jian¹, Li Zhi-jun^{1,2}, Zhang Yuan-zhi², Liu Hong-wei¹ (¹Teaching and Research Office of Human Anatomy, the School of Basic Medicine, Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010059, Inner Mongolia Autonomous Region, China; ²Digital Medical Center, Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010059, Inner Mongolia Autonomous Region, China; ³Teaching and Research Office of Physiology, the School of Basic Medicine, Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010059, Inner Mongolia Autonomous Region, China)

Abstract

BACKGROUND: Many scholars at home and abroad have already attempted to apply the technique of the internal fixation pedicle screw placement to cure children's spinal injuries in recent years, because the children's thoracic pedicle is more small, anatomical structure variation is big and adjacent relationship is complicated, so the application of adult's pedicle screw technology simply to children who was in a continuous growth and development can increase operation risk greatly. Above this, improving the accuracy of nailing and reducing error rate become keys for further development of cervical pedicle fixation.

OBJECTIVE: To provide an individualized and accurate positioning method for screw placement in thoracic

张少杰, 男, 1981年生, 内蒙古自治区呼和浩特市人, 硕士, 讲师, 主要从事儿童脊柱脊髓的数字解剖学研究。

并列第一作者: 王星, 男, 1979年生, 内蒙古自治区巴彦淖尔市人, 硕士, 助教, 主要从事脊柱脊髓的应用解剖学研究。

通讯作者: 李志军, 硕士, 教授, 博士生导师, 内蒙古医科大学基础医学院人体解剖学教研室, 内蒙古自治区呼和浩特市 010059

doi:10.3969/j.issn.2095-4344.2014.35.015
[http://www.crter.org]

中图分类号:R318
文献标识码:A
文章编号:2095-4344
(2014)35-05660-06
稿件接受: 2014-08-01

Zhang Shao-jie, Master, Lecturer, Teaching and Research Office of Human Anatomy, the School of Basic Medicine, Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010059, Inner Mongolia Autonomous Region, China; Digital Medical Center, Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010059, Inner Mongolia Autonomous Region, China

Wang Xing, Master, Teaching assistant, Teaching and Research Office of Human Anatomy, the School of Basic Medicine, Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010059, Inner Mongolia Autonomous Region, China; Digital Medical Center, Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010059, Inner Mongolia Autonomous Region, China

Zhang Shao-jie and Wang Xing contributed equally to this paper.

Corresponding author: Li Zhi-jun, Master, Professor, Doctoral supervisor, Teaching and Research Office of Human Anatomy, the School of Basic Medicine, Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010059, Inner Mongolia Autonomous Region, China; Digital Medical Center, Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010059, Inner Mongolia Autonomous Region, China

Accepted: 2014-08-01

pedicle of children by computer aided design and rapid prototyping technology.

METHODS: After computed tomography scan of four cases of child specimens, the original data were made for three-dimensional reconstruction by the software, then the specimens were randomly divided into two groups: one group used the traditional pedicle internal fixation method, and the other group, first created the individual navigation template using the principle of reverse engineering and rapid prototyping technology. The lumbar pedicle screws were put into the samples by the individual navigation template. The position of the pedicle screws was evaluated according to the computer tomography scan.

RESULTS AND CONCLUSION: The accurate rate of screw placement of the traditional pedicle internal fixation method was 58%; and the accurate rate of screw placement of the individual digital navigation template method was 81%. The success rate was better than the traditional surgery group. Furthermore, chi square test showed that there was a significant difference between two groups ($P < 0.05$). These findings suggested that there has a high accuracy of the screw placement in thoracic pedicle of children assisted by the individual navigation template, fully reflects the principle of individualization of screw placement, and provides a new feasible method for accurate screw placement in thoracic pedicle of children.

Subject headings: internal fixators; thoracic vertebrae; computer-aided design

Funding: the National Natural Science Foundation of China, No. 30660072, 81260269; the Natural Science Foundation of Inner Mongolia Autonomous Region of China, No. 2009MS1112, 2012MS1149; the Youth Innovation Project of Inner Mongolia Medical University, No. YKD2013QNCX018

Zhang SJ, Wang X, Shi J, Chen J, Ma SF, Wang J, Li ZJ, Zhang YZ, Liu HW. Accuracy of screw placement in child's thoracic pedicle assisted by digital navigation template. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu. 2014; 18(35):5660-5665.

0 引言 Introduction

随着椎弓根螺钉内固定技术的迅速发展,椎弓根内固定技术已被广泛应用于治疗脊柱创伤、退变、矫形、肿瘤等的治疗^[1-3]。国内外学者已将此技术应用于儿童脊柱损伤内固定中,Ruf等^[4]报道28例1-6岁先天性脊椎侧凸患者,行半椎体切除椎弓根钉内固定,取得满意疗效;19例一至两岁患者的胸、腰椎同样实施了椎弓根螺钉内固定^[5]。李晶等^[6]对10例1-3岁幼儿下胸椎及腰椎、陈立言等^[7]对19例10岁以下儿童(平均6.5岁)胸腰椎、林斌等^[8]对6-8岁上颈椎都成功地实施了椎弓根螺钉内固定术,均认为在详细的术前计划、选择恰当直径的椎弓根螺钉、精湛的外科技术下行小儿脊柱椎弓根螺钉固定是安全可行的。

儿童脊柱椎弓根形态与成人亦有不同,不同年龄、不同节段椎弓根形态相差也较大,实施椎弓根螺钉内固定术风险较高,提高置钉的准确性和降低失误率成为儿童胸椎椎弓根内固定能否深入开展的关键所在。近年来国内外学者将数字化技术应用于成人椎弓根螺钉置入的基础研究、术前病情评估、钉道设计与置钉模拟、术后评估等方面^[9-11],使椎弓根螺钉置入更准确化、安全化、个体化。数字化技术尚可与逆向工程、快速成型技术结合对脊柱椎弓根螺钉置入进行更精确化的设计,陆声等^[12]提出了一种新型的数字化导航模板,具有较好的准确性。相继国内学者对成人尸体胸腰椎、腰椎、寰枢椎进行数字化导航模板指导下置钉实验研

究,均认为该法置钉准确率高^[13-15]。陈国平等^[16]则将该法运用于临床,术后显示置钉准确,具有个体化、准确化、安全化等特点。儿童胸椎椎弓根细小,解剖结构变异大、毗邻关系复杂,如以成人数据为依据的椎弓根螺钉技术简单地应用于处于不断生长发育的儿童,手术风险极大,为降低儿童脊柱椎弓根螺钉内固定的手术风险,更应强调个体化和精确化,发挥数字骨科的技术优势,以提高置钉的准确率^[17]。故应用数字化技术对未成年人脊柱椎弓根形态发育及椎弓根螺钉置入相关领域深入研究十分必要^[18-21]。

实验探讨个体化导航模板辅助儿童脊柱椎弓根螺钉置入的准确性并与传统徒手置钉进行比较,旨在为儿童脊柱椎弓根螺钉的安全置入寻找一种新的可行方法。

1 对象和方法 Subjects and methods

设计: 方法学验证实验。

时间及地点: 于2011年3月在内蒙古医科大学基础医学院人体解剖学实验室完成。

材料: 选取甲醛灌注儿童新鲜尸体4具,男2具分别为6, 8岁,女2具均为7岁,由内蒙古医科大学解剖教研室提供,有详细年龄记录。标本均通过X射线扫描检查,排除胸椎骨折、结核、肿瘤及严重畸形等病变。

实验器材: 电钻,直径2.0 mm的钻头,咬骨钳,尖锥,直径2 mm的椎弓根探子,球形探针,最小刻度为0.5 mm的直尺,直血管

钳, 直径2.5–5.0 mm的丝锥, 各种型号的钛质螺钉, 电动摆锯等, 上述实验器材均由呼和浩特市迈得佳医疗器械有限公司提供。

实验方法:

螺钉置入前准备^[22]: 将选取的4具尸体标本行64排螺旋CT(Light Speed 64, 美国GE公司)扫描, 扫描部位为T₁₋₁₂。扫描条件: 层厚及间距均为0.625 mm, Fov 30×30 cm, 矩阵512×512 dpi, 球管电压150 kV, 电流260 mA。将CT连续断层图像数据以DICOM格式保存后, 导入三维重建软件Mimics 15.0(Materialise company, Belgium, 由内蒙古医科大学数字医学中心提供)进行胸椎三维模型重建, 测量胸椎椎弓根置钉参数。传统手术组根据术前CT测量结果确定置入螺钉的直径和长度, 螺钉直径为椎弓根横径的70%–80%, 长度为椎弓根通道总长的80%; 导航模板组根据Mimics 15.0软件设计每个腰椎椎弓根螺钉通道长度及椎弓根直径并选择置入螺钉的直径和长度。将4具标本均沿T₁₋₁₂棘突后方皮肤切开, 清除所要固定的胸椎椎板及棘突后方的软组织, 切除棘突上方的棘上和棘间韧带, 充分暴露椎板及横突后部、棘突根部背侧等骨性解剖结构。

传统螺钉置入法: 传统螺钉置入组2具尸体标本按照已测的儿童椎弓根参数准备合适的螺钉, 参照Kim法^[23]置入螺钉: T₁₋₃以横突上缘与椎板外缘延长线的交点为进钉点; T₄₋₉以横突上嵴延长线与椎板的交点为进钉点, 该点位于上关节突的基底部; T₁₀₋₁₂以横突的平分线与椎板外缘的交点为进钉点。确定位置后, 用胸椎开口器根据进钉角度等参数置入椎弓根, 探入20 mm(各椎弓根中部)左右时, 拔出开口器, 利用球形探探测钉道四壁是否光滑连续(如有落空感证明发生骨皮质穿破, 重新确定钉道), 明确后缓慢置入螺钉。

个体化模板导航技术: 将导航模板组2具尸体标本的CT连续断层图像数据以DICOM格式导入三维重建Mimics 15.0软件进行胸椎三维重建, 以STL格式导出模型。利用Geomagic Studio 9软件打开三维重建模型, 在每一个胸椎椎板后部及棘突根部背侧建立与其解剖形状一致的反向模板, 设计模拟螺钉置入重建模型上, 确定螺钉进钉方向及长度、直径。将螺钉的最佳进钉通道和模板拟合为一体, 形成带有双侧定位导向孔的单椎骨个体化导航模板, 在三维重建胸椎模型上将各椎模板贴合于相应椎骨后部并在各个方向上转动模型, 观察定位导向孔与椎弓根对应的准确性(图1A, B), 通过SPS350B固体激光快速成型机(陕西恒通智能机器有限公司制造, 成型精度为0.1 mm采用光同化成型技术(SLA)将个体化实物模板制作出来, 将制作的导航模板贴附于相应椎骨的椎板后部及棘突上(图1C), 并保持其在椎骨上的稳定性, 通过定位导向孔用胸椎开口器在进钉点钻出进钉通道, 距离与螺钉长度一致, 用球形探子探测四壁, 确定为光滑连续的骨质后缓慢置入螺钉(图1D)。

手术评价方法: 术后对4具儿童尸体胸段再次行MSCT

扫描(层厚0.625 mm), 将CT连续断层图像数据以DICOM格式保存后, 导入 Mimics 15.0软件进行三维重建, 由一位骨科主任医师分别在冠状位、水平位和矢状位3个平面上观察螺钉在椎弓根及椎体的位置, 观测螺钉穿破椎弓根皮质并计算穿破发生率, 评价两种手术可行性与准确性(图2)。

主要观察指标: 置入螺钉在不同胸椎节段的置钉准确性。

统计学分析: 由本文作者使用SPSS 13.0软件包, 采用 χ^2 检验分别对螺钉穿破椎弓根的发生率及T₁₋₄, T₅₋₈和T₉₋₁₂3个胸椎节段的置钉准确性进行统计学分析。检验水准 $\alpha=0.05$, $P < 0.05$ 为差异有显著性意义。

2 结果 Results

通过对传统螺钉置入组与导航模板组比较发现: 2组标本分别置入螺钉48枚, 经CT扫描后发现, 在传统螺钉置入组中T₁₋₄节段螺钉7枚(44%)穿破椎弓根, T₅₋₈节段穿破10枚(63%), T₉₋₁₂节段穿破3枚(19%), 其余28枚(58%)则完全置入椎弓根内; 在导航模板组中在T₁₋₄节段螺钉仅3枚(19%)穿破椎弓根, T₅₋₈节段穿破6枚(38%), 而T₉₋₁₂节段未见穿破, 完全置入椎弓根内达39枚(81%)。传统螺钉置入组和导航模板组置钉在胸椎3个节段间比较差异均无显著性意义, 但在总的成功率上差异有显著性意义($P < 0.05$), 导航模板组要明显优于传统螺钉置入组(表1)。

表1 两种方法在儿童胸椎椎弓根置钉的准确率比较

Table 1 Comparison of the accuracy of the thoracic pedicle screw implantation in children using the two methods (n/%)

胸椎节段	传统螺钉置入组		导航模板组	
	完全置入	穿破	完全置入	穿破
T ₁₋₄	9/56	7/44	13/81	3/19
T ₅₋₈	6/38	10/63	10/63	6/38
T ₉₋₁₂	13/81	3/19	16/100	0/0
合计	28/58 ^a	20/42 ^a	39/81	9/19

表注: 与导航模板组比较, ^a $P < 0.05$ 。提示总的置钉成功率比较, 导航模板组要明显优于传统螺钉置入组($P < 0.05$)。

3 讨论 Discussion

3.1 儿童胸椎椎弓根螺钉的选择 胸椎椎弓根螺钉内固定技术已成为胸椎疾患不可或缺的手术方法, 是脊柱外科矫形手术中较为成熟的内固定技术之一^[24-25], 但儿童中上胸椎椎弓根较成人小, 极易穿破椎弓根发生危险, 且专用于儿童的螺钉较缺乏, 因此选择合适的螺钉在椎弓根手术中极为重要。临床报道10岁以下儿童置入螺钉的直径应为胸椎椎弓根宽的70%–80%^[26-28]; Suk等^[29]认为儿童椎弓根具有一定的弹性和延展性, 椎弓根螺钉直径可达拟固定椎弓根横径的115%, 即使有部分螺纹突破椎弓根皮质, 也不会造成不良后果。国内也有报道幼儿椎弓根所用螺钉直径



图1 个体化模板导航置钉

Figure 1 Screw placement of individual template navigation

图注: 图中 A 通过逆向工程软件设计出的 T₁-T₆ 导航模板; B 通过逆向工程软件设计出的 T₇-T₁₂ 导航模板; C 导航模板与胸椎贴合良好; D 通过导航模板成功置钉。



图2 螺钉穿破椎弓根皮质的观察结果

Figure 2 Observational results of screw piercing the pedicle cortex

图注: 图中 A 为椎弓根螺钉未穿破椎弓根; B 为 2 侧椎弓根螺钉均穿破椎弓根; C 为仅一侧椎弓根螺钉穿破椎弓根(右侧)。

可大于椎弓根宽^[30], 因此儿童椎弓根可参照成人法选用较理论值稍粗的螺钉^[31]。本实验选用目前临床最小直径为 3.5 mm 的螺钉置入儿童标本, CT 扫描未见置入的螺钉造成椎弓根胀裂, 结果证实选择成人螺钉(3.5 mm 以上)在儿童椎弓根内固定术中是可行的, 但对操作的准确度要求较高。

3.2 传统椎弓根螺钉置入法 本实验利用传统手术方法进行儿童标本椎弓根螺钉内固定, 实验总体 58.3% 的准确率证明儿童行椎弓根螺钉内固定是可行的, 但儿童中上胸椎椎弓根更为纤细, T₅-T₈ 段置入率仅为 37.5%, 准确性明显低于 T₁-T₄ 的 56.3% 和 T₉-T₁₂ 的 81.3%, 故传统手术方法的局限性与危险性不容忽视。如在手术操作过程中, 进钉点定位很难掌握, 易致较高的螺钉误置率; 由于儿童胸椎椎弓根横径较细且毗邻组织及解剖结构极为特殊, 螺钉置入时极易损伤神经根、血管、脊膜甚至脊髓; 手术过程操作步骤复杂, 需要通过系统的学习不断积累经验; 同时对局部解剖标志的识别及认知要求较高, 术中应根据胸椎椎弓根节段性变化调整进钉点和入钉角度。文献报道成人肋横

突结合区螺钉的误置率明显低于椎弓根螺钉误置率^[32]; 韦兴等^[33]发现, 成人尸体经“椎弓根-肋骨”置钉抗拔出力量明显小于经椎弓根置钉的抗拔出力量, 认为经“椎弓根-肋骨间”置钉只能作为经椎弓根置钉的一种补充, 而儿童的类似研究尚未见报道, 有待进一步深入研究。

3.3 个体化导航模板辅助置入螺钉技术 逆向工程和快速成型制造技术是个体化模板导航技术的关键, 利用模板的导向性置入螺钉, 较传统手术法而言显著降低了螺钉的误置率^[34]。但儿童是否可行未见相关报道, 本实验以儿童标本验证其有效性, 得出个体化模板导航技术用于儿童准确置入螺钉为 81.3%, T₅-T₈ 段置入率为 62.5%, 也优于传统组的 37.5%, 证实导航模板组置入成功率明显高于前者, 实验结果显示快速成型个体化导航模板辅助儿童胸椎椎弓根螺钉置入也是可行的, 王星等^[22]利用个体化导航模板对 2 例儿童腰椎行 20 枚椎弓根螺钉置入, 置钉成功率达 100%。儿童个体化模板导航技术作为一种准确性较高的手术方法, 18.7% 的穿破率仍显不足: 一是在导航模板制作过程中, 某些环节会直接影响到其精确性, 如 CT 扫描仪的精度

(包括层厚、层间距、螺距), 建立胸椎三维模型时出现的误差、快速成型过程中转化STL格式时的精度、快速成型材料硬度及材料质量等, 控制好以上各个环节非常必要; 目前所知的快速成型技术的变形误差基本控制在0.1 mm左右^[35-36], 可以满足成人胸椎椎弓根定位及定向的精度要求。二是模板与标本的贴合度会影响手术效果, 因此术中应用模板时, 应将模板对应的胸椎椎板后部及棘突根部背侧的软组织剥离干净, 使模板紧贴于相对应的胸椎椎板后部及棘突, 不可破坏胸椎后部的骨性结构, 否则直接影响置钉的准确度。三是手术操作的稳定性, 当模板紧贴于椎板后, 因没有固定装置, 须一只手稳定模板, 否则会发生定位、定向的偏差从而影响准确率。本实验虽未达到完美置钉率, 究其原因一是将所有穿破椎弓根的均统计为失败螺钉, 其中部分仅为穿破并未影响周围重要结构, 二是本实验操作者初次使用导航模板法, 操作难免有误, 所以应用该技术成功率较低, 如果进一步提高导航精度及操作经验, 则置钉成功率将会明显提高。

3.4 个体化导航模板辅助椎弓根螺钉置入术与目前临床常见导航技术比较 螺钉直径、长度、进钉及入钉方向等均是胸椎椎弓根螺钉内固定术成功与否的关键指标。儿童椎弓根的解剖参数具有较大的变异性, 不同年龄、不同节段均存在显著差异。为提高置钉准确性, 近年较多的学者提出了个体化原则, 即对每个不同个体、不同节段的椎弓根置入的螺钉都有不同的进钉点和进钉方向, 螺钉直径和长度也各不相同。虽然在临床应用中降低了误置率, 但仍曝露出各自的不足。近年来, 术中使用“C”形臂X射线机指导入钉, 显示89.3%的置入率^[37-38], 但成像质量仍会影响置入螺钉的准确率, 且有较大辐射对医患双方造成伤害。利用CT导航行胸椎椎弓根置钉也取得良好的治疗效果^[39], 但其不足之处是影像学资料是术前采集, 术中存有误差会影响置入率; 医生学习使用时间较长; 且不是实时监控, 增加了手术时间。术中实时三维导航具有良好的应用前景并有可能逐渐替代其他导航技术^[40-42], 但受限于设备价格昂贵, 一般医院难以普及; 术中一旦系统出现故障, 对初学和初用者存有巨大隐患。以上都是针对成人的研究, 缺乏关于儿童的报道, 因此, 探讨一种操作简单、置钉准确率高、临床易推广且适用于儿童的椎弓根螺钉置钉方法更显重要。本文应用现代数字化技术探讨了儿童胸椎椎弓根个体化置钉的实验方法, 根据儿童胸椎不同节段的实际数值, 利用逆向工程原理设计出个体化的导航模板, 通过快速成型技术将模板实物生产出来, 体现了个体化置钉的原则。该方法手术操作相对简单, 初学者学习后也可操作; 模板使用比较便利, 只需术前带入手术室消毒即可; 术中不需注册和X射线透视, 避免了术中医患双方X射线的暴露时间, 为儿童胸椎椎弓根螺钉的置入提供了一种新的实验方法, 但仍需扩大样本量, 进一步探索应用于临床的可行性。

实验证实儿童个体化导航模板技术有着比传统徒手置入法更好的手术效果和准确率。但从目前国内医疗水平的发展分析, 个体化模板导航技术并不能很快地全面开展。原因分析如下: 首先, 个体化模板导航技术术前采集的CT影像资料要求较高, 对大多数医院有一定难度; 其次, 快速成型技术发展的不平衡, 造成模板制作过程相对较长会影响到急诊手术的诊治, 也无形中增加了患者的医疗费用。

3.5 结论 个体化导航模板辅助儿童胸椎椎弓根螺钉置入术具有较高的准确率, 充分体现了置钉的个体化原则, 为儿童胸椎椎弓根螺钉的准确置入提供了一种新的可行方法。该技术虽额外增加了个性化导航模板的设计及制作费用, 但尽量避免其他导航技术在术中对儿童的反复透视的损伤, 并且手术操作简单、易于掌握, 节约术中时间, 可有效地降低手术风险, 提高手术成功率。

3.6 展望 本次实验应用数字化技术探讨了儿童胸椎椎弓根个体化置钉的方法, 根据儿童胸椎不同节段的实际情况, 利用逆向工程原理设计个体化导航模板, 通过快速成型技术将模板实物生产出来, 充分体现了个体化置钉原则, 提高了置钉准确率, 随着数字医学的不断发展与深入, 该技术必将对于结构复杂、畸形、儿童及以下年龄段的脊柱椎弓根置钉有着广阔的应用前景。

致谢: 感谢内蒙古医科大学基础医学院人体解剖学教研室汪剑威教授、高尚副教授以及内蒙古医科大学附属医院骨科刘瑞医生对文章的帮助。

作者贡献: 张少杰、王星、马世峰、王建、刘红伟实施实验, 张元智、李志军观察置钉成功率, 陈杰、史君统计资料。王星在实验和成文中起重要作用, 与张少杰为并列第一作者。

利益冲突: 文章及内容不涉及相关利益冲突。

伦理要求: 实验标本由内蒙古医科大学人体解剖学教研室提供, 实验方案得到医院伦理委员会批准。

学术术语: 数字化导航模板辅助置钉-利用患者CT连续扫描数据集重建三维椎骨数字解剖表面模型, 以此模型为基础寻找椎弓根最佳置钉钉道, 然后利用逆向工程软件提取椎板后部表面解剖形态一致的模板并与椎弓根置钉孔道拟合合成定位模板, 通过3D打印制作出该导航板, 术中将该导航板与相应的椎骨椎板贴合, 沿导向孔道对椎弓根进行置钉。

作者声明: 文章为原创作品, 无抄袭剽窃, 无泄密及署名和专利争议, 内容及数据真实, 文责自负。

4 参考文献 References

- [1] Fuster S, Vega A, Barrios G, et al. Accuracy of pedicle screw insertion in the thoracolumbar spine using image-guided navigation. *Neurocirugia (Astur)*. 2010;21(4): 306-311.
- [2] 刘磊, 孙琳, 孙记航, 等. 1-6岁正常小儿胸椎椎弓根形态学研究[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2013, 23(8): 713-717.

- [3] 周松,朱泽章,邱勇,等.青少年特发性胸椎侧凸顶椎区椎弓根及椎管的形态学特征[J].中国脊柱脊髓杂志,2013,23(2):113-118.
- [4] Ruf M,Harms J.Posterior hemivertebra resection with transpedicular instrument- tation:early correction in children aged 1 to 6 years. Spine. 2003;28(18): 2132-2138.
- [5] Ruf M,Harm J.Pedicle screws in 1-and 2-year-old children. technique,complication,and effect on further growth. Spine. 2002;27(21):460-466.
- [6] 李晶,吕国华,王冰.幼儿胸腰椎置入椎弓根螺钉可行性临床研究[J].中华骨科杂志,2009,29(11):1005-1008.
- [7] 陈立言,彭新生,李佛保,等.椎弓根钉固定在10岁以下小儿胸腰椎疾患治疗中的应用[J].中国脊柱脊髓杂志,2006,16(4):263-266.
- [8] 林斌,邓雄伟,刘晖,等.儿童寰枢椎后路椎弓根螺钉固定的解剖与影像学研究[J].中国临床解剖学杂志,2008,26(4):359-362.
- [9] 李鉴轶,张余,郑小飞.儿童脊柱测量及三维重建对脊柱侧凸治疗的意义[J].解剖学杂志,2007,30(3):344-346.
- [10] Murakami S,Mizutani J,Fukuoka M,et al.Relationship between screw trajectory of C1 lateral mass screw and internal carotid artery. Spine. 2008;33(24):2581-2585.
- [11] 张永刚,王岩,刘郑生,等.数字化三维重建技术定量评估青少年特发性脊柱侧弯胸椎椎弓根的形态变化[J].中国临床康复,2005,9(22):13-15.
- [12] 陆声,徐永清,李严兵,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.
- [13] 师继红,陆声,张元智,等.数字化脊柱椎弓根导航模板在胸腰椎骨折中的应用[J].中华创伤骨科杂志,2008,10(2):138-141.
- [14] 陈玉兵,陆声,徐永清,等.个体化导航模板辅助胸腰椎椎弓根螺钉置钉准确性实验研究[J].中国脊柱脊髓杂志,2009,19(8):623-626.
- [15] 覃炜,权正学,刘洋,等.寰枢椎椎弓根螺钉个体化导向模板的研制与实验研究[J].中国修复重建外科杂志,2010,24(10):1168-1173.
- [16] 陈国平,陆声,徐永清,等.数字化导航模板在下颈椎椎弓根定位定向中的应用[J].西南国防医药,2010,20(6):596-598.
- [17] 王建华,夏虹,吴增晖,等.数字骨科技术在儿童上颈椎手术中的应用[J].中国脊柱脊髓杂志,2012,22(6):516-519.
- [18] 陈昆,刘爱刚,蔡惠民,等.腰椎椎弓根螺钉置入内固定前三维测量的临床应用[J].中国组织工程研究,2013,17(39):6941-6919.
- [19] 洪伟.数字化技术在脊柱骨折椎弓根螺钉置入中的基础研究与临床评价[D].第三军医大学,2013.
- [20] Karaikovic EE, Yingsakmongkol W, Gaines RW Jr. Accuracy of cervical pedicle screw placement using the funnel technique. Spine. 2001;26(22):2456-2462.
- [21] Li SG, Sheng L, Zhao H, et al. Clinical applications of computer-assisted navigation technique in spinal pedicle screw internal fixation. Zhonghua Yi Xue Za Zhi. 2009; 89(11):736-739.
- [22] 王星,张少杰,史君,等.个体化导航模板辅助儿童腰椎椎弓根螺钉置钉准确性实验研究[J].中华临床医师杂志(电子版),2013,7(23):10784-10787.
- [23] Kim YJ, Lenke LG, Bridwell KH, et al. Free hand pedicle screw placement in the thoracic spine: is it safe? Spine. 2004; 29(3):333-342.
- [24] 李明,顾苏熙,朱晓东,等.全节段椎弓根螺钉系统矫治青少年特发性胸腰椎/腰椎侧凸的疗效[J].中国脊柱脊髓杂志,2007,17(4): 261-265.
- [25] Fan CY, Tsai TT, Chen LH,et al. Computed tomography-based navigation-assisted pedicle screw insertion for thoracic and lumbar spine fractures. Chang Gung Med J. 2012,35(4): 332-338.
- [26] 陈立言,彭新生,李佛保,等.椎弓根钉固定在10岁以下小儿胸腰椎疾患治疗中的应用[J].中国脊柱脊髓杂志,2006,16(4):263-266.
- [27] 郑昌坤,黄其衫,胡月正,等.正常儿童胸椎椎弓根的参数测量[J].中华小儿外科杂志,2008,29(7):430-433.
- [28] 李晶,吕国华,王冰.幼儿胸腰椎置入椎弓根螺钉可行性临床研究[J].中华骨科杂志,2009,29(11):1005-1008.
- [29] Suk SI, Kim WJ, Lee SM, et al. Thoracic pedicle screw in spinal deformities: are they really safe? Spine.2001;26(18): 2049- 2057.
- [30] 王迎松,张颖,赵智,等.儿童中上胸椎可容纳椎弓根钉直径临床研究[J].脊柱外科杂志,2010,8(1):26-30.
- [31] 王欢喜,邓展生,燕好军.肋横突结合区进钉途径研究[J].中国医学工程, 2007,15(11):909-912.
- [32] Labrom RD.Growth and maturation of the spine from birth to adolescence.J Bone Joint Surg Am.2007;89(1):3-7.
- [33] 韦兴,侯树勋,赵卫东,等.胸椎椎弓根螺钉抗拔出强度的生物力学测试[J].中国临床解剖学杂志,2002,20(5):386-387.
- [34] 陈玉兵,陆声,徐永清,等.数字化导航模板辅助胸椎椎弓根螺钉置钉研究[J].中国骨科临床与基础研究杂志,2010,2(2):125-129.
- [35] 陈玉兵,陆声,徐永清,等.快速成型个体化导航模板辅助胸椎椎弓根螺钉置入可行性研究[J].中国矫形外科杂志,2009,17(20): 1557-1561.
- [36] 陆声,徐永清,张元智,等.计算机辅助导航模板在下颈椎椎弓根定位中的临床应用[J].中华骨科杂志,2008,28(12):1002-1007.
- [37] Braga BP,de Moraes JV,Vilela MD. Free-hand placement of high thoracic pedicle screws with the aid of fluoroscopy: evaluation of positioning by CT scans in a four-year consecutive series. Arq Neuropsiquiatr. 2010;68(3):390-395.
- [38] 温世锋,刘恩志,郭东明,等. CT三维重建立体导航引导技术在胸椎椎弓根置入手术中的应用[J].脊柱外科杂志,2008,6(6): 339-342.
- [39] Wu H,Gao ZL,Wang JC,et al. Pedicle screw placement in the thoracic spine: a randomized comparison study of computer-assisted navigation and conventional techniques. Chin J Traumatol. 2010;13(4):201-205.
- [40] 田伟,刘亚军,刘波,等.计算机导航在脊柱外科手术应用实验和临床研究[J].中华骨科杂志,2006,26(10):671-675.
- [41] 陆声,徐永清,李严兵,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.
- [42] 周栋,徐南伟,农鲁明,等. CT三维导航系统辅助胸椎椎弓根钉治疗胸椎骨折[J].中华医学杂志,2010,90(23):1612-1614.