

## 学龄前期儿童行寰椎椎弓根或侧块螺钉内固定的可行性

<https://doi.org/10.12307/2021.346>熊峰<sup>1</sup>, 李琨<sup>2</sup>, 周书宇<sup>3</sup>, 王鹏<sup>4</sup>, 党业兴<sup>4</sup>, 李志军<sup>2</sup>, 张少杰<sup>2</sup>

投稿日期: 2021-03-05

送审日期: 2021-03-06

采用日期: 2021-04-10

在线日期: 2021-05-08

中图分类号:

R323.1; R459.9; R726.1

文章编号:

2095-4344(2021)36-05804-06

文献标识码: A

## 文章快速阅读:

## 资料:

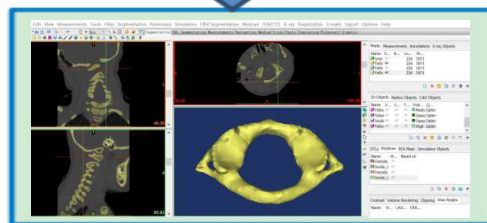
- (1) 54例1-6岁儿童枕颈区CT扫描;
- (2) 无上颈椎外伤骨折、肿瘤、既往手术史。

## 方法:

- (1) 将影像原始数据以DICOM格式导入Mimics 17.0;
- (2) 重建寰椎, 并测量内固定相关解剖学参数。

## 意义:

- (1) 提供学龄前期各年龄段儿童寰椎形态学参数;
- (2) 为临床经椎弓根或侧块内固定螺钉的置入提供解剖学参数。



## 文题释义:

**寰椎:**即第一颈椎,位于脊柱顶端与枕骨相连处,是头颈部重要枢纽和力学桥梁,外观呈环形,无椎体,由前后弓和两侧块构成,可灵活地满足头颈部多维运动并提供力学支撑,其内走行脊髓,其周走行椎血管、神经根等重要软组织结构。

**螺钉内固定:**内固定螺钉依靠其螺纹和骨质密切结合,深入骨皮质,较好地达到保持复位与内固定的作用,适用于撕裂骨折,特别是累及关节面的骨折,其骨折碎片小,肌肉的牵拉力量大,外固定难以保持复位。螺钉内固定术具有切口小、对软组织的损伤小、异物感少等优点。

## 摘要

**背景:**在治疗枕颈区寰椎骨折患者时需行椎弓根或侧块内固定术,此手术多用于成人骨折。迄今国内外尚无学龄前期儿童在寰椎的共性化内固定置钉发育解剖数据。

**目的:**观测学龄前期儿童寰椎形态结构,探索1-6岁儿童寰椎椎弓根或侧块置入3.50 mm螺钉进行内固定的可行性。

**方法:**在内蒙古医科大学附属医院、内蒙古医科大学第二附属医院和赤峰市医院收集54例1-6岁儿童头颈部螺旋CT扫描的影像资料,每2岁一组分为3组(1-2岁组、3-4岁组、5-6岁组)。将DICOM数据导入Mimics 17.0行三维重建,运用测量工具在影像资料和重建模型中测量寰椎各参数指标,并行统计学分析。

**结果与结论:**①各年龄段组儿童的寰椎各参数左右侧间比较差异均无显著性意义( $P > 0.05$ );②寰椎各指标随年龄增长呈上升趋势,其中椎弓根宽、椎弓根进钉点距中心线水平距离、椎弓根外偏角、尾偏角、侧块横径、侧块进钉点距中心线水平距离、侧块内倾角、上倾角在3组间比较有显著性意义( $P < 0.05$ );③椎弓根置钉的主要限制因素是椎弓根宽(AW)和椎弓根高(AH),测量结果显示椎弓根宽>椎弓根高,1-2岁组、3-4岁组、5-6岁组的椎弓根高分别为(4.23±0.46), (5.09±0.46), (5.47±0.69) mm,侧块钉无明显限制;④提示:1-6岁儿童寰椎椎弓根或侧块均具有置入3.50 mm螺钉的可行性,但不同年龄儿童的置钉角度、位置、进钉长度应有所差异,临床操作需进行影像扫描及个体化制定手术方案。

**关键词:**儿童;寰椎;数字化;CT扫描;解剖结构;形态测量;发育特征;内固定

## Feasibility of atlantoaxial pedicle screw or lateral mass screw fixation in preschool children

Xiong Feng<sup>1</sup>, Li Kun<sup>2</sup>, Zhou Shuyu<sup>3</sup>, Wang Peng<sup>4</sup>, Dang Yexing<sup>4</sup>, Li Zhijun<sup>2</sup>, Zhang Shaojie<sup>2</sup>内蒙古医科大学,<sup>1</sup>鄂尔多斯临床医学院,<sup>2</sup>人体解剖学教研室,<sup>3</sup>中医学院,<sup>4</sup>第一临床医学院,内蒙古自治区呼和浩特市 010000

第一作者:熊峰,男,1999年生,内蒙古自治区呼伦贝尔市人,汉族,主要从事脊柱与脊髓的数字化研究。

并列第一作者:李琨,女,1988年生,内蒙古自治区呼和浩特市人,汉族,硕士,主要从事脊柱与脊髓的数字化研究。

通讯作者:李志军,教授,博士生导师,内蒙古医科大学基础医学院解剖学教研室,内蒙古自治区呼和浩特市 010000

并列通讯作者:张少杰,教授,硕士生导师,内蒙古医科大学基础医学院解剖学教研室,内蒙古自治区呼和浩特市 010000

<https://orcid.org/0000-0003-2407-7670> (熊峰)

**基金资助:**国家自然科学基金(81860383),项目负责人:李志军;国家自然科学基金(81660358),项目负责人:张少杰;内蒙古自治区研究生科研创新基金项目(S20181120102),项目负责人:李琨;内蒙古医科大学实验室开放项目(2020ZN48),项目负责人:李琨;内蒙古医科大学大学生创新创业项目(202010132001),项目负责人:熊峰;内蒙古医科大学启蒙计划(FYQMJH2020034),项目负责人:李琨;内蒙古自然科学基金资助项目(2020LH08021),项目负责人:李志军;内蒙古自然科学基金资助项目(2019MS08017),项目负责人:张少杰;内蒙古自治区科技发展计划项目(2019GG158),项目参与人:李琨;内蒙古医科大学青年创新基金项目(YKD2020QNCX055),项目负责人:李琨

引用本文:熊峰,李琨,周书宇,王鹏,党业兴,李志军,张少杰.学龄前期儿童行寰椎椎弓根或侧块螺钉内固定的可行性[J].中国组织工程研究,2021,25(36):5804-5809.



<sup>1</sup>Ordos Clinical College, <sup>2</sup>Department of Human Anatomy, <sup>3</sup>College of Traditional Chinese Medicine, <sup>4</sup>First Clinical College, Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010000, Inner Mongolia Autonomous Region, China  
Xiong Feng, Ordos Clinical College, Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010000, Inner Mongolia Autonomous Region, China  
Li Kun, Master, Department of Human Anatomy, Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010000, Inner Mongolia Autonomous Region, China  
Xiong Feng and Li Kun contributed equally to this work.

**Corresponding author:** Li Zhijun, Professor, Doctoral supervisor, Department of Human Anatomy, Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010000, Inner Mongolia Autonomous Region, China

**Co-corresponding author:** Zhang Shaojie, Professor, Master's supervisor, Department of Human Anatomy, Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010000, Inner Mongolia Autonomous Region, China

## Abstract

**BACKGROUND:** In the treatment of occipitocervical atlas fractures, pedicle or lateral mass internal fixation is usually performed for adult fractures. There are no anatomic data on the development of common internal fixation screws in atlas in pre-school age children.

**OBJECTIVE:** To investigate the feasibility of 3.50 mm screw placement in atlas pedicle or lateral mass in 1–6-year-old children by observing morphological structure of atlas.

**METHODS:** Head and neck imaging data of 54 children aged 1–6 years were collected from Affiliated Hospital of Inner Mongolia Medical University, Second Affiliated Hospital of Inner Mongolia Medical University and Chifeng Hospital, and divided into three groups (1–2 year-old group, 3–4 year-old group, 5–6 year-old group). Three-dimensional reconstruction was performed by importing DICOM data into MIMICS17.0. All parameters of atlas were measured by measuring tools in image data and reconstruction model, and analyzed statistically.

**RESULTS AND CONCLUSION:** (1) Atlas parameters had no statistical difference between left and right sides in each group ( $P > 0.05$ ). Each index of atlas was on the rise along with the age growth. The pedicle width, pedicle nail into point away from the center line of the horizontal distance, pedicle angle, tail angle, lateral horizontal diameter, side piece into the nail points away from the center line of the horizontal distance, lateral block angle, and the upper tilting angle were statistically significant among groups ( $P < 0.05$ ). (3) The main limiting factor of pedicle was pedicle width and pedicle height. Measurement results showed that the pedicle width  $>$  pedicle height. Pedicle heights were  $(4.23 \pm 0.46)$ ,  $(5.09 \pm 0.46)$ , and  $(5.47 \pm 0.69)$  mm in the 1–2 year-old group, 3–4 year-old group, and 5–6 year-old group, respectively. There was no obvious limitation of lateral mass screws. (4) It is indicated that 3.50 mm screws can be inserted into the pedicle or lateral mass of atlas in children aged 1–6 years, but the angle, position and length should be different in children of different ages. Imaging scan and individualized surgical plan should be carried out for clinical operation.

**Key words:** children; atlas; digital; CT; anatomical structure; morphological measurement; developmental characteristics; internal fixation

**Funding:** National Natural Science Foundation of China, No. 81860383 (to LZJ); National Natural Science Foundation of China, No. 81660358 (to ZSJ); Graduate Research and Innovation Fund of Inner Mongolia Autonomous Region, No. S2018112010Z (to LK); Laboratory Open Project of Inner Mongolia Medical University, No. 2020ZN48 (to LK); College Student Innovation and Entrepreneurship Program of Inner Mongolia Medical University, No. 202010132001 (to XF); Inner Mongolia Medical University Enlightenment Program, No. FYQMJH2020034 (to LK); Inner Mongolia Natural Science Foundation of China, No. 2020LH08021 (to LZJ); Inner Mongolia Natural Science Foundation of China, No. 2019MS08017 (to ZSJ); Science and Technology Development Program of Inner Mongolia Autonomous Region, No. 2019GG158 (to LK); Youth Innovation Fund Project of Inner Mongolia Medical University, No. YKD2020QNCX055 (to LK)

**How to cite this article:** XIONG F, LI K, ZHOU SY, WANG P, DANG YX, LI ZI, ZHANG SJ. Feasibility of atlantoaxial pedicle screw or lateral mass screw fixation in preschool children. *Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu*. 2021;25(36):5804-5809.

## 0 引言 Introduction

儿童颈椎损伤的比例较高,其中上颈椎的损伤更为多见,占儿童脊柱损伤比例的40%–60%<sup>[1]</sup>。目前,上颈椎寰椎的螺钉内固定因其力学稳定性更强、融合率高等优点被广泛应用于成人上颈椎不稳的治疗<sup>[2–4]</sup>。儿童是寰椎发育的关键时期,1–6岁儿童的寰椎尚未发育成熟,椎体较小,骨骺未完全闭合且不同年龄段的个体差异较大,在发育特征、走行规律和生物力学等方面都与成人有明显差异,使得进行螺钉内固定的难度和风险较成人更大。为了使得螺钉能够精准置入,术前准确掌握寰椎侧块和椎弓根的形态特征有重要的现实意义。但对1–6岁年龄段儿童寰椎的形态研究、治疗方法、螺钉置入是否可行较少报道。该研究通过对54例1–6岁儿童上颈椎CT影像数据三维重建寰椎模型并进行数据测量,获得了不同年龄段正常儿童寰椎侧块或椎弓根螺钉置入的基本数据,并且探讨了不同年龄区间儿童置入3.50 mm螺钉进行固定的可行性,为1–6岁儿童寰椎经侧块或椎弓根螺钉置入术提供了可行的理论研究依据。

## 1 材料和方法 Materials and methods

**1.1 设计** 基于CT影像资料和重建模型的寰椎解剖学形态测量;计算机模拟置钉。组内左右两侧数据资料比较行配对样本 $t$ 检验;3组间数据满足正态齐性和方差齐性,运用单因素方差分析。

**1.2 时间及地点** 实验于2020–12–01在内蒙古医科大学数字医学中心完成。

**1.3 材料** 收集2013年9月至2020年8月在内蒙古医科大学附属医院、内蒙古医科大学第二附属医院和赤峰市医院行螺旋CT扫描涉及寰椎的原始儿童影像资料,均采用GE Light QX/I 64排螺旋CT,重建层厚和间距均为0.625 mm, Fov 30×30 cm, 矩阵512×512 dpi。排除上颈椎外伤骨折、肿瘤、既往手术等所致的寰椎形态异常的病例。

不分性别、民族选取年龄为1–6岁共54例,每隔2岁为1组,分为3组:1–2岁组,3–4岁组,5–6岁组,每组18例,每例均测两侧椎弓根和侧块各参数共36组数据。患儿监护人签署知情同意书,且研究得到内蒙古医科大学第一、第二附属医院和赤峰市医院伦理委员会批准。

### 1.4 方法

**1.4.1 测量方法** 将收集的影像资料以DICOM格式导入Mimics 17.0软件(Materialise公司,比利时),在Segmentation中运用Thresholding工具选取合适HU阈值生成Bone Mask,再利用软件的Edit Masks、Region Growing等工具将寰椎单独生成Mask,行三维重建。运用Centerline工具计算椎弓根及侧块的中心线(即中轴线),并在重建模型及3个轴位视图上调整相应椎弓根及侧块中轴线,延长其并标记与寰椎椎弓根整体前、后缘皮质的交点(分别为A、A'、B、B'),与寰椎侧块整体前、后缘皮质的交点(分别为C、C'、D、D')。观测椎

弓根及侧块上 B、B'、D、D' 的解剖位置以指导入钉点位置。运用软件的 Measure Distance 及 Measure Angle 三维测量工具，在重建模型上测量，见图 1。

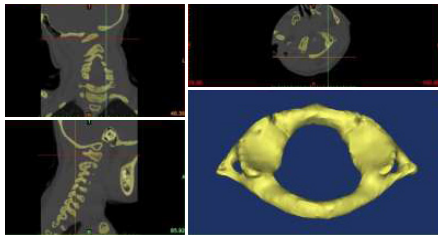
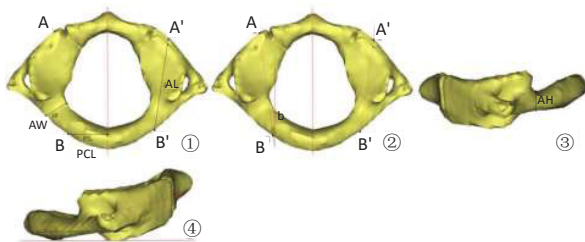


图 1 | Mimics 17.0 软件操作界面及儿童寰椎三维重建效果

Figure 1 | Mimics 17.0 software interface and 3D reconstruction of atlas in children

1.4.2 经椎弓根内固定相关指标的测量 见图 2。



图注：①为椎弓根宽 (AW)、椎弓根全长 (AL)、椎弓根进钉点距中心线水平距离 (PCL) 的测量；②为椎弓根外偏角 (b) 的测量；③为椎弓根高 (AH) 的测量；④为椎弓根尾偏角 (c) 的测量。A、A'、B、B' 分别为椎弓根中轴线与寰椎椎弓根整体前、后缘皮质的交点

图 2 | 椎弓根相关数据测量方法

Figure 2 | Measurement method of pedicle data

(1) 椎弓根宽 (AW)：推动脉沟基底部水平面上内外侧皮质的连线距离。

(2) 椎弓根高 (AH)：推动脉沟外侧缘上、下骨皮质之间的垂直距离即寰椎后弓最窄处的高度。

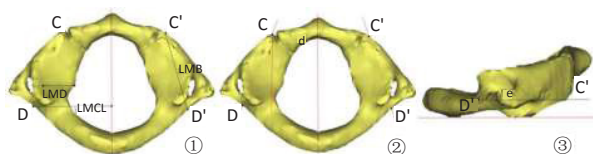
(3) 椎弓根全长 (AL)：沿椎弓根中轴线由椎体前缘骨皮质到后弓后缘骨皮质点间的距离。

(4) 椎弓根进钉点距中心线水平距离 (PCL)：椎弓根中轴线和寰椎后缘皮质交点与相应椎体矢状面垂直的连线距离。

(5) 椎弓根外偏角 (b)：椎弓根中轴线与相应椎骨矢状面形成的夹角。

(6) 椎弓根尾偏角 (c)：椎弓根中轴线与相应椎骨水平面在尾侧形成的夹角。

1.4.3 经侧块内固定相关指标的测量 见图 3。



图注：①为侧块横径 (LMD)、侧块螺钉进钉点距中心线水平距离 (LMCL)、侧块前后径 (LMB) 的测量；②为侧块内倾角 (d) 的测量；③为侧块上倾角 (e) 的测量。C、C'、D、D' 分别为侧块中轴线与寰椎侧块整体前、后缘皮质的交点

图 3 | 侧块相关数据测量方法

Figure 3 | Method of side block related data measurement

(1) 侧块横径 (LMD)：横突孔内侧壁和侧块内侧缘之间与相应椎体矢状面垂直的连线距离。

(2) 侧块前后径 (LMB)：沿侧块中轴线由侧块前缘皮质到侧块后缘皮质点间的距离。

(3) 侧块进钉点距中心线水平距离 (LMCL)：侧块中轴线和寰椎后缘皮质交点与相应椎体矢状面垂直的连线距离。

(4) 侧块内倾角 (d)：侧块中轴线与相应椎骨矢状面形成的夹角。

(5) 侧块上倾角 (e)：侧块中轴线与相应椎骨水平面在尾侧形成的夹角。

1.4.4 模拟置钉 3 组中分别随机抽取 1 例数据导入 Mimics 17.0 软件，按上述测量方法进行三维重建并构建直径为 3.50 mm 的钉棍模型模拟螺钉置入，各组均置入侧块螺钉和椎弓根螺钉，透明化模型后多角度观察置钉位置，验证 1-6 岁儿童寰椎经侧块或椎弓根螺钉置入的可行性。

1.5 主要观察指标 不同年龄组寰椎椎弓根和侧块置钉相关参数测量结果及模拟置钉的结果。

1.6 统计学分析 将所测结果导入 SPSS 25.0 统计软件进行数据分析处理，计量资料以  $\bar{x} \pm s$  形式表示。同一组组内左右两侧数据资料比较行配对样本 *t* 检验；3 组间数据满足正态齐性和方差齐性，运用单因素方差分析，两两比较采用 LSD 检验。以  $P < 0.05$  为差异有显著性意义。

## 2 结果 Results

2.1 参与者数量分析 54 例 1-6 岁儿童寰椎影像资料均进入结果分析。

2.2 不同年龄组寰椎椎弓根和侧块置钉相关参数测量结果 各组测量指标见表 1，各年龄段组内左右两侧比较差异均无显著性意义 ( $P > 0.05$ )，故合并处理。寰椎各参数指标的均值随着年龄的递增呈现增长趋势，椎弓根宽 (AW)、椎弓根进钉点距中心线水平距离 (PCL)、椎弓根外偏角 (b)、椎弓根尾偏角 (c)、侧块横径 (LMD)、侧块进钉点距中心线水平距离 (LMCL)、侧块内倾角 (d)、侧块上倾角 (e) 在 3 组间比较差异有显著性意义 ( $P < 0.05$ )；在椎弓根高 (AH) 的比较中，1-2 岁组与 3-4 岁、5-6 岁组相比差异有显著性意义 ( $P < 0.05$ )；椎弓根全长 (AL) 3 组中比较差异无显著性意义 ( $P > 0.05$ )；侧块前后径 (LMB) 的比较中，1-2 岁组与 3-4 岁、5-6 岁组相比差异有显著性意义 ( $P < 0.05$ )。

2.3 各组寰椎经椎弓根或侧块模拟螺钉置入 3 组中分别随机抽取 1 例数据导入 Mimics 17.0 软件，行三维重建并构建直径为 3.50 mm 的钉棍模型模拟螺钉置入，透明化模型后多角度观察置钉位置，螺钉中线与椎弓根或侧块的轴线很好重合，位置满意，置钉成功，见图 4-6。

## 3 讨论 Discussion

3.1 寰椎内固定的研究现状 上颈椎不稳是由骨性或软组织结构异常或损伤造成的，手术内固定是治疗该区域不稳的

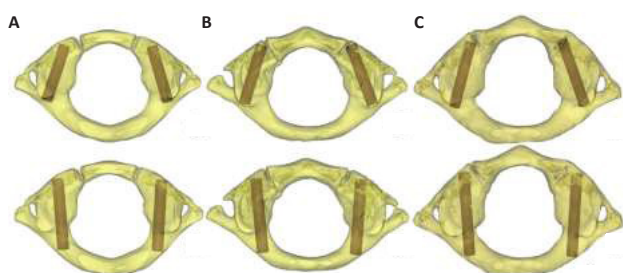
表 1 | 各年龄组寰椎弓根和侧块置钉相关参数测量结果

[ $\bar{x} \pm s(\min, \max), n=18$ ]

Table 1 | Measurement results of related parameters of pedicle and lateral mass screw placement in atlas of each age group

指标	1-2 岁组	3-4 岁组	5-6 岁组
椎弓根宽 AW (mm)	6.19±0.52 (5.99, 6.35)	7.53±0.96 <sup>a</sup> (7.22, 7.88)	8.10±0.63 <sup>ab</sup> (7.93, 8.34)
椎弓根高 AH (mm)	4.23±0.46 (4.08, 4.39)	5.09±0.83 <sup>a</sup> (4.81, 5.38)	5.47±0.69 <sup>a</sup> (5.23, 5.70)
椎弓根全长 AL (mm)	23.37±1.03 (23.02, 23.72)	26.90±1.50 (26.35, 27.37)	29.94±1.76 (29.35, 30.54)
椎弓根进钉点距中心线水平距离 PCL(mm)	14.01±0.81 (13.73, 14.28)	14.94±0.69 <sup>a</sup> (14.71, 15.18)	15.77±1.00 <sup>ab</sup> (15.44, 16.11)
椎弓根外偏角 b(°)	3.70±0.97 (3.37, 4.02)	4.22±0.36 <sup>a</sup> (4.10, 4.34)	5.14±0.57 <sup>ab</sup> (4.95, 5.33)
椎弓根尾偏角 c(°)	10.78±0.77 (10.52, 11.04)	14.85±1.27 <sup>a</sup> (14.42, 15.28)	16.71±0.59 <sup>ab</sup> (16.51, 16.91)
侧块横径 LMD (mm)	11.33±1.44 (10.84, 11.82)	13.27±1.65 <sup>a</sup> (12.71, 13.82)	18.17±3.62 <sup>ab</sup> (16.95, 19.40)
侧块前后径 LMB (mm)	19.52±1.47 (18.95, 19.94)	23.09±2.19 <sup>a</sup> (22.34, 23.83)	23.18±1.81 <sup>a</sup> (22.56, 23.79)
侧块进钉点距中心线水平距离 LMCL(mm)	19.24±2.16 (18.51, 19.97)	20.91±1.26 <sup>a</sup> (20.49, 21.34)	22.97±1.60 <sup>ab</sup> (22.43, 23.51)
侧块内倾角 d(°)	13.58±3.51 (15.39, 17.77)	18.72±1.96 <sup>a</sup> (18.05, 19.38)	22.58±2.45 <sup>ab</sup> (21.75, 23.41)
侧块上倾角 e(°)	7.28±2.72 (6.36, 8.20)	12.43±1.02 <sup>a</sup> (12.08, 12.77)	15.51±1.28 <sup>ab</sup> (15.08, 15.95)

表注：与 1-2 岁组相比，<sup>a</sup> $P < 0.05$ ；与 3-4 岁组相比，<sup>b</sup> $P < 0.05$



图注：上排为侧块螺钉置入模拟图；下排为椎弓根螺钉置入模拟图。A, B, C 分别为 1-2 岁组、3-4 岁组、5-6 岁组

图 4 | 寰椎置入模拟螺钉 (水平面)

Figure 4 | Simulated screw placement in atlas (horizontal plane)



图注：上排为侧块螺钉置入模拟图；下排为椎弓根螺钉置入模拟图。A, B, C 分别为 1-2 岁组、3-4 岁组、5-6 岁组

图 5 | 寰椎置入模拟螺钉 (冠状面)

Figure 5 | Simulated screw placement in atlas (coronal plane)



图注：上排为侧块螺钉置入模拟图；下排为椎弓根螺钉置入模拟图。A, B, C 分别为 1-2 岁组、3-4 岁组、5-6 岁组

图 6 | 寰椎置入模拟螺钉 (矢状面)

Figure 6 | Simulated screw placement in atlas (sagittal plane)

有效方式<sup>[5]</sup>。临床常见的寰椎内固定手术分为前路及后路，均能有效治疗寰椎不稳定性骨折<sup>[6-7]</sup>，但前路经口入路风险较大且属于污染性手术，更多学者倾向于后路手术。传统的后路手术包括钢丝固定、钉板固定、钉棒螺钉固定等。一般认为寰椎后路钉棒螺钉的固定主要有两种方式，经椎弓根螺钉置入固定和经侧块螺钉置入固定。国际上，GOEL 等<sup>[8]</sup>在 1994 年首先报道应用寰椎椎弓根螺钉技术；BHM 等<sup>[9]</sup>在 2006 年报道采用后路寰椎侧块螺钉固定治疗寰椎骨折患者，

术后患者上颈椎活动良好。国内，马维虎等<sup>[10]</sup>采用后路钉棒固定手术治疗寰椎骨折，术后患者恢复效果十分满意。寰椎经椎弓根内螺钉固定术是骨外科常用治疗寰椎骨折的手段<sup>[11-13]</sup>，但仍有部分患者不能应用椎弓根螺钉固定技术，如患儿有严重的枕颈畸形或者手术中过程出现椎弓根置钉失败等<sup>[14]</sup>，此时应更换置钉方式，选用侧块钉固定，因多次经椎弓根同一部位入钉导致螺钉易松动掉落，力学稳定性降低的同时又增加了对周围神经、血管的损伤概率。故进行寰椎的椎弓根和侧块的解剖形态双重测量十分必要，既可以为儿童寰椎骨折提供螺钉定位等参考依据又丰富了 1-6 岁儿童的寰椎形态数据资料库。

3.2 寰椎的形态及解剖结构 随着近年来医学数字化的发展，CT 影像等放射资料经过软件分析并重建，均能立体化显示寰椎的形态结构并测量上述相关指标。有学者得出剖面解剖测量数值与 CT 三维测量指数无统计学差别<sup>[15]</sup>，故可认为三维重建与实际寰椎测量干骨数据一致，为寰椎椎弓根或侧块置钉技术提供了治疗参数。寰椎位置特殊，上接颅底下连枢椎，占据枕寰枢关节的核心部位，且无椎体、椎间盘。儿童寰椎内外毗邻脊髓、神经根、椎血管等重要软组织，解剖结构较成人更加精细复杂，却又不是成人寰椎的单纯性缩小，有其特殊的生理结构部分如软骨未完全骨化等，使之力学稳定性和成人差距较大。对于新生儿来说，骨骼发育尚不完全，寰椎由 2 个单独骨块构成，每一骨块由一侧块和一不完整的后弓，前弓为软骨结构，随着年龄的增长骨块逐渐愈合骨化连接为前弓、侧块、后弓的环形结构。寰椎前、后弓较薄弱，侧块较坚固，侧块与前、后弓移行处细小脆弱，骨质疏松，易发生骨折<sup>[16]</sup>，侧块连接了前后弓，增加稳定性的同时也为螺钉置入提供了钉道位置。椎动脉沟处的骨质薄易骨折<sup>[17]</sup>，但也有利于术者将螺钉嵌入骨皮质内，为螺钉置入提供了可行性。无论以哪一种方式进行内固定都要对螺钉进行正确的定长、定位、定向。

3.3 经椎弓根置钉讨论 经椎弓根置钉是目前临床应用较广泛的置钉方式，而限制置钉的主要因素是椎弓根的宽度和高度，此次实验结果显示椎弓根的高度均小于宽度 ( $AH/AW < 1$ )，这与林斌等<sup>[18]</sup>对 6-8 岁儿童尸体标本测量结果相符合，

表明置钉过程中应该着重注意椎弓根的高度。此次实验中3组寰椎椎弓根高分别为(4.23±0.46), (5.09±0.83), (5.47±0.69) mm, 此测量长度与于永涛等<sup>[19]</sup>对学龄期儿童寰椎的测量报道结果接近。3组中椎弓根高度数值均大于4.00 mm, 可置入3.50 mm的螺钉进行内固定治疗。但不除外个别患儿因生长发育等问题导致椎弓根高小于4.00 mm, 这种情况下SUK等<sup>[20]</sup>认为儿童椎骨韧性较大, 即使螺钉突破皮质部分也不会造成严重后果, 但是也有大部分学者认为理论上不适合置入3.50 mm的螺钉<sup>[21]</sup>, 那么此时就需要进行侧块螺钉固定治疗此类患者, 在超过绝大多数1-6岁儿童经椎弓根置钉基本是可行的。

实验所测得椎弓根全长为螺钉钉道长度的定深、定长指标, BRANTLEY等<sup>[22]</sup>报道椎弓根螺钉钉道达到椎弓根全长的80%时, 已有足够的固定强度。此次研究中椎弓根全长1-2岁组、3-4岁组、5-6岁组分别为(23.37±1.03), (26.90±1.50), (29.94±1.76) mm, 3组结果显示均可为螺钉提供了充足的轨道长度。钉道长度越长螺钉的拔出力越大, 当钉道前缘位于骨实质和骨松质交界时最优<sup>[23-24]</sup>。椎弓根钉与侧块钉相比入钉更长, 把持力更大, 力学稳定性更高<sup>[25]</sup>。椎弓根螺钉进钉点距中心线的水平距离为螺钉定位提供了依据, 1-2岁组、3-4岁组、5-6岁组分别为(14.01±0.81), (14.94±0.69), (15.77±1.00) mm, 可见其随年龄增加呈递增趋势, 故可根据年龄适当增加或缩小操作切口评估手术创伤。

椎弓根螺钉的置入角度由椎弓根外偏角和尾偏角共同决定, 此次实验得出椎弓根置钉的入钉角度和角度范围波动, 实验结果显示1-2岁组外偏约3.70°尾偏约10.78°, 3-4岁组外偏约4.22°尾偏约14.85°, 5-6岁组外偏约5.14°尾偏约16.71°, 可见外偏角、尾偏角随年龄增长而角度增大, 椎弓根外偏角的范围是3.00°-6.00°、椎弓根尾偏角的范围是10.00°-17.00°, 范围偏差波动小, 相对侧块螺钉更易掌握入钉方向, 不至于严重偏离计划钉道, 实验结果也为术者提供了1-6岁儿童椎弓根入钉角度的医学参考范围。

**3.4 侧块置钉讨论** 因侧块体积较大, 有学者将侧块视为寰椎的椎体<sup>[26]</sup>。经侧块置钉的主要限制条件是侧块横径, 测量结果显示侧块横径均十分宽大, 1-2岁组、3-4岁组、5-6岁组分别为(11.33±1.44), (13.27±1.65), (18.17±3.62) mm, 3组中侧块横径逐渐增宽, 可为螺钉提供良好的力学支撑点。侧块前后径是侧块螺钉定深、定长指标, 与椎弓根螺钉相同, 钉道越长把持力越大, 固定稳定性越好, 螺钉长度的选择往往可以根据术前重建测量模型得出, 不是置钉的主要问题所在。侧块进钉点距中心线水平距离是入钉定位指标, 1-2岁组、3-4岁组、5-6岁组分别为(19.24±2.16), (20.91±1.26), (22.97±1.60) mm, 可见年龄越大入钉点距中心线距离越长, 同一年龄段相比侧块入钉点均较椎弓根入钉点更远, 导致手术野变大, 暴露程度、感染概率也有所增加。

侧块内倾角和侧块上倾角为侧块螺钉的定向指标, 1-2岁组螺钉内倾约13.58°上倾约7.28°, 3-4岁组螺钉内倾约

18.72°上倾约12.43°, 5-6岁组螺钉内倾约22.58°上倾约15.51°, 随着受试者年龄的增长内倾角度、上倾角度变化范围较大, 临床选择螺钉入钉方向时医生要仔细考虑全面, 术中也要防止倾角过度损伤周围组织结构<sup>[15]</sup>。从解剖关系可知内倾过度螺钉突破皮质进入椎管破坏脊髓, 上倾过度则可损伤椎动脉。儿童个体差异大, 安全范围内的细微差距不会影响置钉的成功率, 医生可根据既往经验和机器辅助随时纠正错误方向, 若有突破感后立即暂停操作, 行影像学扫描, 避免突破骨皮质进一步损伤周围血管等软组织造成术中大量出血。在临床应用中需制定个体化的治疗方案, 并根据重建模型适当调整置钉角度、方向。

**3.5 研究的不足之处和局限性** 首先, 1-6岁儿童行头颈部CT扫描检查数少、样本量较小, 且研究对象集中于内蒙古自治区, 受试者可能存在地区差异, 收集资料时排除了寰椎骨折、肿瘤和先天性骨质异常等疾病的患者, 故不能将测量结果推广至患病人群。其次, 螺钉固定慎用于侧块及椎弓根粉碎性骨折、典型的Jefferson骨折和前弓多点骨折<sup>[27]</sup>, 上述几类骨折需要更换固定方式, 如钉板系统固定等其他方法。另外, 关于儿童行螺钉固定术后, 后期是否需要取出螺钉和取出螺钉的时间目前暂未出现统一的观点。MOORTHY等<sup>[28]</sup>指出为防止出现矢状面失衡不平, 术后植骨融合后就可以取出螺钉。RUF等<sup>[29]</sup>认为过早取出固定螺钉时骨骼未完全愈合, 可能引起新的畸形变化。为解决上述困难需医生增加术后随访次数并延长随访时间, 进行更深一步的长期研究, 获得更加完善的临床资料。

此次实验通过对1-6岁儿童寰椎解剖学形态测量, 为螺钉置入内固定提供了理论依据, 丰富了对1-6岁儿童寰椎行内固定术的参考数值, 得到了儿童寰椎增龄变化特点。在寰椎内固定中为了规避手术意外和出现严重术后并发症<sup>[30]</sup>, 术前均需进行螺旋CT扫描获得清晰的影像学资料, 并行三维重建和虚拟螺钉置入, 必要时可利用3D打印技术获得患儿的寰椎模型实际模拟进钉。骨科医生需要针对不同患儿制定个体化数字化的治疗方案, 以期获得良好的术后效果。若在螺旋CT或床旁X光机的辅助下进行手术可实时扫描监控, 很大程度上可提高置钉的准确率并降低手术风险, 能得到最优疗效。

**致谢:**衷心感谢李志军教授、张少杰教授、李琨讲师对论文的指导。

**作者贡献:**熊峰负责设计及撰写, 李琨负责收集资料, 李志军、张少杰负责审核, 周书宇、王鹏、党业兴负责数据测量。

**经费支持:**该文章接受了“国家自然科学基金资助项目(81660358, 81860383); 内蒙古自治区研究生科研创新基金项目(S20181120102); 内蒙古医科大学实验室开放项目(2020ZN48); 内蒙古医科大学大学生创新创业项目(202010132001); 内蒙古医科大学启蒙计划(FYQMJH2020034); 内蒙古自治区自然科学基金资助项目(2020LH08021, 2019MS08017)内蒙古自治区科技发展计划项目(2019GG158)及内蒙古医科大学青年创新基金项目(YKD2020QNCX055)”的基金资助。所有作者声明, 经费支持没有影响文章观点和对研究数据客观结果的统计分析及其报道。

**利益冲突:**文章的全部作者声明, 在课题研究和文章撰写过程不存在利益冲突。

**机构伦理问题:** 临床试验研究的实施符合《赫尔辛基宣言》和医院对人体研究的相关伦理要求。研究得到内蒙古医科大学第一、第二附属医院和赤峰市医院伦理委员会批准。

**知情同意问题:** 参与实验患儿的监护人在充分了解实验方案的前提下签署了“知情同意书”。

**写作指南:** 该研究遵守国医学期刊编辑委员会《学术研究实验与报告和医学期刊编辑与发表的推荐规范》。

**文章查重:** 文章出版前已经过专业反剽窃文献检测系统进行3次查重。

**文章外审:** 文章经小同行外审专家双盲外审,同行评议认为文章符合期刊发稿宗旨。

**生物统计学声明:** 该文统计学方法已经内蒙古医科大学医学生物统计学专家审核。

**文章版权:** 文章出版前杂志已与全体作者授权人签署了版权相关协议。

**开放获取声明:** 这是一篇开放获取文章,根据《知识共享许可协议》“署名-非商业性使用-相同方式共享4.0”条款,在合理引用的情况下,允许他人以非商业性目的基于原文内容编辑、调整和扩展,同时允许任何用户阅读、下载、拷贝、传递、打印、检索、超级链接该文献,并为之建立索引,用作软件的输入数据或其它任何合法用途。

#### 4 参考文献 References

[1] 刘世敬,钟世镇,李佛保.儿童颈椎及脊髓损伤的研究进展[J].中国脊柱脊髓杂志,2007,17(11):875-877.

[2] WANG S, WANG C, WOOD KB, et al. Radiographic Evaluation of the Technique for C1 Lateral Mass and C2 Pedicle Screw Fixation in Three Hundred Nineteen Cases. *Spine*. 2011;36(1):3-8.

[3] 周树一,李豪杰,王扬,等.上颈椎后路内固定技术的研究进展[J].中医正骨,2020,32(11):24-28.

[4] 王正雷,王海斌,刘建辉,等.采用椎弓根螺钉内固定治疗寰枢椎骨折脱位[J].中国矫形外科杂志,2020,28(10):75-77.

[5] TAUCHI R, IMAGAMA S, ITO Z, et al. Complications and outcomes of posterior fusion in children with atlantoaxial instability. *Eur Spine J*. 2012;21(7):1346-1352.

[6] MA W, XU N, HU Y, et al. Unstable atlas fracture treatment by anterior plate C1-ring osteosynthesis using a transoral approach. *Eur Spine J*. 2013;22(10):2232-2239.

[7] 张岩,韩应超,李立钧,等.2例后路寰椎侧块螺钉内固定治疗不稳定性寰椎骨折的远期疗效观察[J].中国脊柱脊髓杂志,2017,27(2):92-95.

[8] GOEL A, LAHERI V. Plate and screw fixation for atlanto-axial subluxation. *Acta Neurochir (Wien)*. 1994;129(1):47-53.

[9] BHM H, KAYSER R, EL SAGHIR H, et al. Direct osteosynthesis of instable Gehweiler Type III atlas fractures. Presentation of a dorsoventral osteosynthesis of instable atlas fractures while maintaining function. *Unfallchirurg*. 2006;109(9):754-760.

[10] 马维虎,许楠健,徐荣明,等.经后路单纯寰椎椎弓根螺钉内固定治疗不稳定性寰椎骨折[J].脊柱外科杂志,2011,9(3):140-140.

[11] STULIK J, VYSKOCIL T, SEBESTA P, et al. Atlantoaxial fixation using the polyaxial screw-rod system. *Eur Spine J*. 2007;16(4):479-484.

[12] SAVAGE JG, FULKERSON DH, SEN AN, et al. Fixation with C-2 laminar screws in occipitocervical or C1-2 constructs in children 5 years of age or younger: a series of 18 patients. *J Neurosurg Pediatr*. 2014;14(1):87.

[13] 罗荣森,曹正霖,禰天航,等.寰枢椎脱位后路内固定的研究进展[J].广西医学,2019,41(13):91-95.

[14] 赵宙,王伟,曾小军.枢椎椎弓根钉板结合对侧椎板钉棒固定在寰枢椎及枕颈固定中的应用[J].临床外科杂志,2017,25(1):70-72.

[15] 王建华,李哲,付金利,等.寰枢椎弓根置钉技术的断面解剖和重建CT参数研究[J].河北医学,2019,25(10):1703-1706.

[16] 韩应超,李立钧,谭军.寰椎骨折的研究进展[J].中国脊柱脊髓杂志,2013,23(1):77-80.

[17] 吴春立,尤壮志,李志军,等.学龄前期儿童寰枢椎椎弓根形态特征发育的临床解剖学研究[J].局解手术学杂志,2017,26(8):547-551.

[18] 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.

[19] 于永涛,张少杰,刘颖,等.学龄期儿童寰枢椎数字化三维形态测量研究[J].中国脊柱脊髓杂志,2017,27(1):69-74.

[20] SUK SI, KIM WJ, LEE SM, et al. Thoracic pedicle screw fixation in spinal deformities: are they really safe? *Spine*. 2001;26(18):2049-2057.

[21] 马向阳,钟世镇,刘景发,等.寰椎后路椎弓根螺钉固定的解剖可行性研究[J].中国临床解剖学杂志,2003,21(6):554-555.

[22] BRANTLEY AGU, MAYFIELD JK, KOENEMAN JB, et al. The effects of pedicle screw fit. An in vitro study. *Spine*. 1994;19(15):1752-1758.

[23] 马向阳,赵卫东,尹庆水,等.寰椎后路单或双层皮质骨螺钉固定强度的生物力学评价[J].中国脊柱脊髓杂志,2005,15(1):34-37.

[24] 李琨,李志军,张少杰,等.1~6岁儿童枢椎经椎板螺钉内固定的可行性研究[J].中国临床解剖学杂志,2020,38(2):50-54.

[25] 左春光,刘夏君,王新虎,等.经后路寰枢椎椎弓根螺钉固定融合术治疗寰枢椎失稳[J].中国骨伤,2013,26(1):33-37.

[26] 冯世通,费琦,杨雍.颈椎后路侧块螺钉内固定术的应用进展[J].国际外科学杂志,2019,46(11):763-767.

[27] 李小峰,赵朵,李炜峰,等.后路椎弓根螺钉单节段内固定治疗寰椎骨折[J].脊柱外科杂志,2019,17(6):379-382.

[28] MOORTHY RK, RAJSHEKHAR V. Changes in cervical spine curvature in pediatric patients following occipitocervical fusion. *Childs Nerv Syst*. 2009;25(8):961-967.

[29] RUF M, HARMS J. Pedicle screws in 1- and 2-year-old children: technique, complications, and effect on further growth. *Spine*. 2002;27(21):E460.

[30] 宋士学,陈语,郑亮,等.寰枢椎螺钉内固定融合术治疗寰枢椎失稳的并发症分析[J].中医正骨,2020,32(4):74-77+80.

(责任编辑: ZN, ZH)