

13-18 岁青少年颈椎关节突关节发育特征的数字化三维形态分析

李贵花¹, 和雨洁², 史君³, 李琨^{2,4}, 张少杰^{2,4}, 刘路², 李志军^{2,4}, 王星^{2,4}

<https://doi.org/10.12307/2025.102>

投稿日期: 2023-09-05

采用日期: 2023-11-30

修回日期: 2024-01-11

在线日期: 2024-01-22

中图分类号:

R459.9; R318; R681.5

文章编号:

2095-4344(2025)21-04486-06

文献标识码: A

文章快速阅读: 13-18 岁青少年颈椎关节突关节数字化三维形态的发育特征

资料:

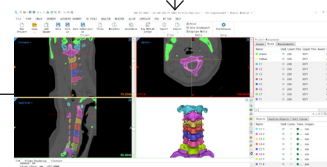
13-18 岁青少年颈椎 62 例, 无骨质破坏、肿瘤、畸形、骨折等, 椎骨形态结构未发生改变, 既往无脊柱相关手术, 行颈椎螺旋 CT 扫描。

研究意义:

探索 13-18 岁青少年颈椎关节突关节相关骨性结构参数, 并与 4-6 岁、7-12 岁儿童及成人进行对比, 探讨颈椎小关节形态发育的增龄变化规律, 为临床颈椎小关节源性颈椎病的诊治和预防提供理论依据。

方法:

将连续扫描的颈椎断层影像原始数据以 DICOM 格式导入 Mimics 21.0, 分别重建 C₁-C₇, 并测量关节突关节相关参数。



文题释义:

青春期: 女孩从 11-12 岁开始到 17-18 岁、男孩从 13-14 岁开始到 18-20 岁为青春期, 是人一生的第二个生长高峰, 以身高的快速增长为特点。

颈椎关节突关节: C₂₋₃-C₆₋₇ 间关节突关节为滑膜关节, 由上位颈椎的下关节突与下位颈椎的上关节突构成, 关节囊附着于关节软骨的边缘, 是椎管后壁构成的一部分, 前方与椎动脉相邻, 其活动范围较大, 创伤时易引起脱位或半脱位。

摘要

背景: 颈椎关节突关节作为颈椎后柱的重要解剖结构, 在颈部活动、应力传导以及维持颈椎稳定性中发挥重要的作用。近年来通过解剖学和生物力学研究表明, 颈椎关节突关节不对称可引起关节突关节的退变, 颈椎关节突关节的退变可能是引起青年人颈椎退变的主要原因。现有研究多集中在成人, 国内对于学龄前儿童、学龄期儿童也有报道, 而对于青少年颈椎小关节形态相关参数鲜有报道。

目的: 通过三维重建青少年颈椎关节突关节, 测量其相关形态参数, 并与儿童和成年人进行比较分析, 探讨颈椎小关节形态发育的增龄变化规律, 为临床颈椎小关节源性颈椎病的诊治和预防提供理论依据。

方法: 选择 13-18 岁青少年 62 例, 行颈椎螺旋 CT 扫描后三维重建, 要求无骨质破坏、肿瘤、畸形、骨折等, 椎骨形态结构未发生改变, 既往无脊柱相关手术, 监护人对试验方案知情同意。按年龄分组, A 组年龄为 13-14 岁, B 组年龄为 15-16 岁, C 组年龄为 17-18 岁。对各组青少年进行 C₂-C₇ 关节突关节相关形态测量及统计分析。

结果与结论: ① 3 组关节突关节面高和关节面宽在随椎序的变化中, 分别呈递减和递增趋势, 下关节突关节面的高和宽均大于上关节面的相应指标; ② 关节突关节内高在 3 组年龄中, 最小值均位于 C₅, 且与年龄呈正相关变化; ③ 关节突关节面间隙在 3 组中, A 组 C₄₋₅、B 组 C₃₋₄ 和 C 组 C₄₋₅ 明显大于各组其余间隙; A、B 组除 C₄₋₅ 外, 其余无显著性差异; C 组除 C₂₋₃ 其余椎序间关节面间隙均明显大于 A、B 组; ④ 提示颈椎关节突关节面的形态随椎序的增加, 逐渐由圆形过渡到椭圆形; 在组间比较中, 关节面高较关节面宽受年龄影响明显; 各节段下关节面的面积均大于上关节面的面积, 仅在 C₄₋₅ 和 C₅₋₆ 形态和面积有显著性差异; 加之关节突关节内高最小值均位于 C₅, 关节突关节面间隙明显增宽处也主要位于 C₃₋₄ 和 C₄₋₅, 因此颈椎失稳多发生于中位节段。

关键词: 青少年; 颈椎; 关节突关节; 数字化形态; 三维重建

Digital three-dimensional morphological analysis of developmental characteristics of cervical facet joints in adolescents aged 13-18 years

Li Guihua¹, He Yujie², Shi Jun³, Li Kun^{2,4}, Zhang Shaojie^{2,4}, Liu Lu², Li Zhijun^{2,4}, Wang Xing^{2,4}

¹First Hospital of Prison Administration Bureau of Inner Mongolia Autonomous Region, Hohhot 010000, Inner Mongolia Autonomous Region, China;

²Department of Anatomy, ³Department of Physiology, ⁴Digital Medicine Center, School of Basic Medicine, Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010110, Inner Mongolia Autonomous Region, China

¹ 内蒙古自治区监狱管理局第一医院, 内蒙古自治区呼和浩特市 010000; 内蒙古医科大学基础医学院, ² 解剖学教研室, ³ 生理学教研室, ⁴ 数字医学中心, 内蒙古自治区呼和浩特市 010110

第一作者: 李贵花, 女, 1986 年生, 内蒙古自治区呼和浩特市人, 汉族, 2018 年内蒙古医科大学毕业, 硕士, 主治医师, 主要从事脊柱与脊髓的数字化研究。

并列第一作者: 和雨洁, 女, 1988 年生, 内蒙古自治区呼和浩特市人, 汉族, 讲师, 主要从事影像解剖学研究。

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, 数字医学中心, 内蒙古自治区呼和浩特市 010110

并列通讯作者: 王星, 博士, 副教授, 内蒙古医科大学基础医学院, 解剖学教研室, 数字医学中心, 内蒙古自治区呼和浩特市 010110

<https://orcid.org/0009-0006-1205-3566> (李贵花)

基金资助: 国家自然科学基金资助项目 (81860383), 项目负责人: 李志军; 内蒙古自治区自然科学基金资助项目 (2020LH08021), 项目负责人: 李志军; 国家自然科学基金资助项目 (81860382), 项目负责人: 王星; 内蒙古自治区自然科学基金资助项目 (2020MS03061), 项目负责人: 王星; 内蒙古自治区高等学校青年科技英才支持计划资助 (NJYT22009), 项目负责人: 王星; 内蒙古自治区科技计划项目 (2019GG158), 项目负责人: 王星; 内蒙古医科大学科研重点项目 (YKD2021ZD011), 项目负责人: 王星; 内蒙古自治区卫生健康委医疗卫生科技计划项目 (202201217), 项目负责人: 王星; 内蒙古自治区自然科学基金资助项目 (2019MS08017), 项目负责人: 张少杰; 内蒙古医科大学青年基金项目 (YKD2021QN011), 项目负责人: 和雨洁; 内蒙古医科大学青年基金项目 (YKD2020QNCX055), 项目负责人: 李琨

引用本文: 李贵花, 和雨洁, 史君, 李琨, 张少杰, 刘路, 李志军, 王星. 13-18 岁青少年颈椎关节突关节发育特征的数字化三维形态分析 [J]. 中国组织工程研究, 2025, 29(21):4486-4491.



Li Guihua, MS, Attending physician, First Hospital of Prison Administration Bureau of Inner Mongolia Autonomous Region, Hohhot 010000, Inner Mongolia Autonomous Region, China

He Yujie, Lecturer, Department of Anatomy, School of Basic Medicine, Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010110, Inner Mongolia Autonomous Region, China

Li Guihua and He Yujie contributed equally to this article.

Corresponding author: Li Zhijun, Professor, Doctoral supervisor, Department of Anatomy, and Digital Medicine Center, School of Basic Medicine, Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010110, Inner Mongolia Autonomous Region, China

Co-corresponding author: Wang Xing, MD, Associate professor, Department of Anatomy, and Digital Medicine Center, School of Basic Medicine, Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010110, Inner Mongolia Autonomous Region, China

Abstract

BACKGROUND: The cervical facet joint, as an important anatomical structure of the posterior column of the cervical spine, plays an important role in neck activity, stress transmission, and maintaining cervical stability. In recent years, anatomical and biomechanical studies have shown that asymmetry of cervical facet joints can cause degeneration of facet joints, which may be the main cause of cervical spine degeneration in young people. Existing research is mostly focused on adults, and there are also reports on preschool and school-age children in China, while there are few reports on the morphological parameters of cervical facet joints in adolescents.

OBJECTIVE: Through three-dimensional reconstruction of the cervical facet joints in adolescents, measuring their relevant morphological parameters, and comparing them with those in children and adults, we explored the age-related changes in the morphological development of cervical facet joints, providing a theoretical basis for the diagnosis, treatment, and prevention of cervical spondylosis arising from cervical facet joints.

METHODS: A total of 62 adolescents aged 13–18 years were selected to undergo spiral CT scan of cervical vertebrae and 3D reconstruction, requiring no bone destruction, tumor, deformity, or fracture, no changes in vertebrae morphology and structure, no previous spinal operations. The guardian's informed consent to the experimental protocol was obtained. By age group, group A was 13–14 years old; group B was 15–16 years old; group C was 17–18 years old. The correlation morphometry and statistical analysis of C₂–C₇ facet joints were performed in adolescents of each group.

RESULTS AND CONCLUSION: (1) In three groups of subjects, the facet joint surface heights and widths displayed decreasing and increasing trends in relation to the change of vertebra order. The facet joint surfaces on the inferior surface showed larger height and width compared to the corresponding indicators on the superior surface. (2) The intra-articular height of the articular process was lowest in C₅ among the three groups of ages, and it showed a positive correlation with age. (3) Among the three groups, the gaps between the articular surfaces of the joints in C_{4,5} of group A, C_{3,4} of group B, and C_{4,5} of group C were significantly larger than the rest of the gaps in each group. Except for C_{4,5}, there were no significant differences between the two groups. Except for C_{2,3}, the remaining gaps between the vertebrae in group C were significantly larger than those in the two groups. (4) It is indicated that the morphology of the cervical facet joint surface gradually transitions from circular to elliptical as the vertebral order increases. In inter-group comparison, facet joint surface height is significantly affected by age compared to facet joint surface width. The area of the lower facet joint surface of each segment is greater than that of the upper facet joint surface, with only significant differences in the shape and area of C_{4,5} and C_{5,6}. In addition, the minimum height of the facet joint is located at C₅, and the significantly widened gap between the facet joint surfaces is mainly located at C_{3,4} and C_{4,5}. Therefore, cervical instability often occurs at the mid-level.

Key words: adolescents; cervical vertebrae; facet joint; digital morphology; three-dimensional reconstruction

Funding: National Natural Science Foundation of China, No. 81860383 (to LZJ); Natural Science Foundation of Inner Mongolia Autonomous Region, No. 2020LH08021 (to LZJ); National Natural Science Foundation of China, No. 81860382 (to WX); Natural Science Foundation of Inner Mongolia Autonomous Region, No. 2020MS03061 (to WX); Youth Science and Technology Talents Support Program of Higher Education Institutions of Inner Mongolia Autonomous Region, No. NJYT22009 (to WX); Science and Technology Plan Project of Inner Mongolia Autonomous Region, No. 2019GG158 (to WX); Key Research Project of Inner Mongolia Medical University, No. YKD2021ZD011 (to WX); Health Commission Medical Health Technology Project of Inner Mongolia Autonomous Region, No. 202201217 (to WX); Natural Science Foundation of Inner Mongolia Autonomous Region, No. 2019MS08017 (to ZSJ); Youth Fund Project of Inner Mongolia Medical University, No. YKD2021QN011 (to HYJ); Youth Fund Project of Inner Mongolia Medical University, No. YKD2020QNCX055 (to LK)

How to cite this article: LI GH, HE YJ, SHI J, LI K, ZHANG SJ, LIU L, LI ZJ, WANG X. Digital three-dimensional morphological analysis of developmental characteristics of cervical facet joints in adolescents aged 13–18 years. *Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu*. 2025;29(21):4486–4491.

0 引言 Introduction

近年来,随着手机和电子产品的广泛应用,“低头族”的数量不断增加,颈椎病的发病率正大幅增加,流行病学抽样调查结果显示,颈肩部人数高达抽样人数的 73.2%,且呈年轻化趋势,尤其多见于青少年^[1-4],目前已成为国内现代社会中复杂且重要的公共卫生问题之一^[5]。颈椎关节突关节具有复杂的生物力学结构,对维持脊柱稳定及正常生理活动起着至关重要的作用,小关节的发育异常可导致骨关节炎、椎管狭窄、椎间盘突出、椎体滑脱及脊柱畸形等病理改变^[6-7]。国外学者 TAKESHIMA 等^[8]在分析 141 例退行性颈椎病患者危险因素中发现,小关节不规则的动态平移活动是造成退行性颈椎病快速进展的高风险因素。青少年的身体各部处于快速发育时期,脊柱尚未发育成熟,易发生某个部位结构间的位移而造成椎间盘突出、椎体滑脱及脊柱侧弯畸形等病变,一般早期不易出现相应症状,但经年累月就会造成永久性损伤。目前,现有研究多集中在成人^[9-11],国内对于学龄前儿童^[12]、学龄期儿童也有报道^[13],而对于青少年颈椎小关节形态相关参数鲜有报道。此次研究旨在通过三维重建青少年颈椎关节突关节,

测量其相关形态参数,并与儿童和成年进行比较分析,探讨颈椎小关节形态发育的增龄变化规律,为临床颈椎小关节源性颈椎病的诊治和预防提供理论依据。

1 对象和方法 Subjects and methods

1.1 设计 回顾性研究,基于 CT 资料的三维形态测量,左右侧别间和同侧相邻椎骨上、下关节突关节面间采用配对 *t* 检验;同一测量参数在不同椎序间比较采用随机区组设计的方差分析;多样本均数的两两比较选用 SNK 法。

1.2 时间及地点 试验于 2019 年 1 月至 2022 年 12 月在内蒙古医科大学数字医学中心、第一附属医院、第二附属医院及内蒙古自治区国际蒙医医院完成。

1.3 对象 收集内蒙古医科大学附属医院、第二附属医院、内蒙古自治区人民医院和内蒙古国际蒙医医院 2019 年 1 月至 2022 年 12 月行薄层 CT 扫描,无骨质破坏、畸形、骨折、肿瘤等,椎骨形态结构未发生改变及既往未行脊柱相关手术的 13–18 岁青少年的颈椎影像资料,共获得 62 例,平均 (16.15±1.79) 岁。按年龄分组如表 1。此次研究经内蒙古医科大学医学伦理委员会批准 (批准号:

YKD2015049, 审批时间: 2015-03-11)。所有患者或家属对影像学资料的使用均知情同意, 并签署知情同意书。

表 1 | 研究对象基本信息

Table 1 | Basic information of the research subjects

组别	年龄段 (周岁)	人数
A 组	13-14	23
B 组	15-16	17
C 组	17-18	22
合计	13-18	62

表注: 文中各年龄段分别以 A、B、C 组表示, 以 2 岁为一个年龄段。

1.4 仪器设备与相关软件 美国 GE 公司 Light Speed 64 排螺旋 CT, 扫描参数: 螺旋扫描模式, 管球电压 80 kV, 管电流 200 mA, 矩阵 512×512, 螺距 1.375 : 1, 层厚 1.25 mm, 扫描图像以 DICOM 格式导出存盘; 比利时 Materialise 公司的 Mimics 21.0(由内蒙古医科大学数字医学中心提供) 进行后处理; 移动工作站 Lenovo X220i 笔记本电脑: CPU Inte 酷睿 i3-2350M 2.30 GHz, 内存 4 G, 硬盘 SATA512G、5 400 r, ATI Mobility Radeon HD 545v 显卡, 操作系统为 Windows10 旗舰版 64 位。

1.5 方法

原始数据导入及图像重建: 将连续扫描的颈椎断层影像原始数据以 DICOM 格式导入 Mimics 21.0, 定义方位后显示矢状面、冠状面和水平面 3 个平面的二维图像, 点击 Threshold, 进行“图像二值化”, 选择“Bone”窗口, 通过 Edit Mask 对二值化图像进行切割, 单个椎骨进行“Region Grown”后采用软件的 3D Calculation 对区域增长后的单个椎骨分别进行重建, 可清晰直观显示青少年颈椎三维形态 (图 1)。确定测量点, 点击 Measurements 工具栏下 Measure Distance 进行相关指标测量。

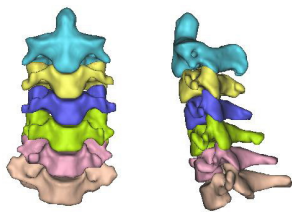


图 1 | C₂-C₇ 三维重建后的效果图 (前面观和左侧面观)

Figure 1 | Effect of C₂-C₇ after three-dimensional reconstruction (front and left side views)

1.6 主要观察指标

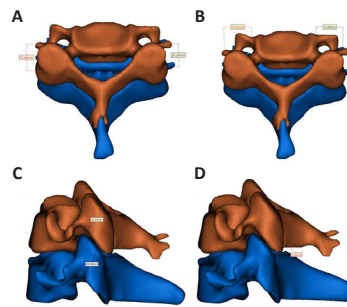
1.6.1 关节突关节面高 关节突关节面的上、下边缘经关节突关节面中心点的距离 (图 2)。

1.6.2 关节突关节面宽 关节突关节面的内、外侧缘经关节突关节面中心点的距离 (图 2)。

1.6.3 关节突关节内高 (inter facet height, IFH) 同侧关节突关节上、下关节面中心点间距离 (图 2)。

1.6.4 关节突关节面间隙 同侧相邻关节突关节面间最宽距离 (图 2)。

1.7 统计学分析 将数据录入 Excel, 采用 SPSS 23.0 统计软件对测得的数值数据统计并分析, 数据采用 $\bar{x} \pm s$ 表示;



图注: 图 A 为关节突关节面高; B 为关节突关节面宽; C 为关节突关节内高; D 为关节突关节面间隙。

图 2 | 颈椎关节突形态测量参数示意图

Figure 2 | Schematic diagram of morphometric parameters of cervical articular process

左右侧别间和同侧相邻椎骨上、下关节突关节面间采用配对 t 检验; 同一测量参数在不同椎序间比较采用随机区组设计的方差分析; 多样本均数的两两比较选用 SNK 法, 以 $P < 0.05$ 为差异有显著性意义。文章统计学方法已经内蒙古医科大学统计学专家审核。

2 结果 Results

2.1 参与者数据分析 纳入观察对象 62 例, 每一观察指标进行左右侧、上下比较分析, 全部进入统计结果分析, 无脱落。

2.2 试验流程图 见图 3。

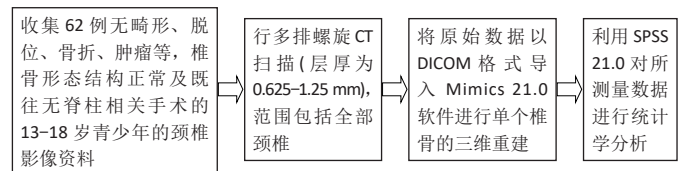


图 3 | 试验流程图

Figure 3 | Trial flow chart

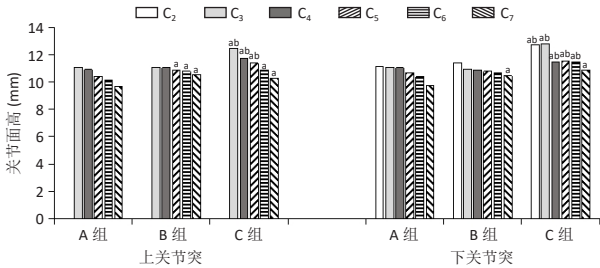
2.3 关节突关节面高 相同年龄段内, 上、下关节突关节面高在左右侧别比较中差异均无显著性意义 ($P > 0.05$); 在同侧相邻椎骨上、下关节突关节面高比较中, 显著性差异 ($P < 0.05$) 仅位于 A 组 C₅₋₆ 与 C 组 C₃₋₄、C₆₋₇。A、B、C 组的上、下关节突关节面高均随椎序的增加, 整体呈递减趋势, 上、下关节突关节面高最小值均位于 C₇。C 组 C_{3-C5} 的上、下关节突关节面高和 C₆ 下关节突关节面高均明显高于 A、B 组 ($P < 0.05$), A 组 C₆ 的上关节突关节面高与 C₇ 的上、下关节突关节面高明显小于 B、C 组 ($P < 0.05$)。见表 2 及图 4。

表 2 | 相邻椎骨上、下关节突关节面高比较的 P 值

Table 2 | P -values for the comparison of joint height between adjacent vertebral upper and lower articular processes

节段	A 组		B 组		C 组	
	左侧	右侧	左侧	右侧	左侧	右侧
C ₂₋₃	0.65	0.98	0.26	0.29	0.76	0.18
C ₃₋₄	0.32	0.36	0.60	0.64	0.00	0.02
C ₄₋₅	0.99	0.48	0.77	0.31	0.97	0.63
C ₅₋₆	0.04	0.02	0.92	0.81	0.12	0.14
C ₆₋₇	0.15	0.30	0.93	0.41	0.00	0.00

表注: A 组年龄为 13-14 岁; B 组年龄为 15-16 岁; C 组年龄为 17-18 岁。



图注: A组年龄为13-14岁; B组年龄为15-16岁; C组年龄为17-18岁。与A组相比, ^a $P < 0.05$; 与B组相比, ^b $P < 0.05$ 。

图4 | 不同年龄青少年颈椎关节突关节面高的比较

Figure 4 | Comparison of cervical facet joint height among adolescents of different ages

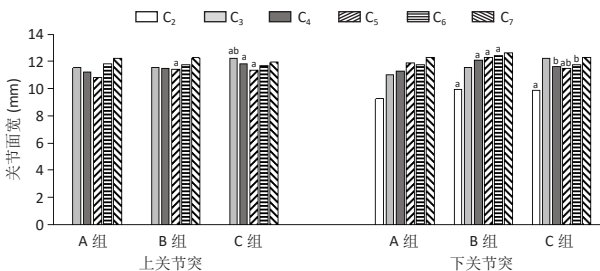
2.4 关节突关节面宽 A、B、C组内, 上、下关节突关节面宽在左右侧别比较中差异均无显著性意义 ($P > 0.05$); 同侧相邻椎骨上、下关节突关节面高比较, 有显著性差异的仅位于A组右侧C₄₋₅、C₆₋₇, B组右侧C₄₋₅、C₅₋₆以及C组C₃₋₄ ($P < 0.05$)。3组的上关节突关节面宽随椎序的增加总体呈“V”字型, 最小值均位于C₅, 下关节突关节面宽随椎序的增加, 整体呈递增趋势, 最大值均位于C₇。上关节突关节面宽中, C组的C₃-C₅和B组的C₅明显大于A组 ($P < 0.05$), 下关节突关节面宽中, 除C₂、C₇, 其余B组和C组均高于A组 ($P < 0.05$), 且C组C₃-C₅也明显高于B组 ($P < 0.05$)。见表3及图5。

表3 | 相邻椎骨上、下关节突关节面宽比较的P值

Table 3 | P-values for the comparison of joint width between adjacent vertebral upper and lower articular processes

节段	A组		B组		C组	
	左侧	右侧	左侧	右侧	左侧	右侧
C ₂₋₃	0.43	0.16	0.18	0.24	0.06	0.39
C ₃₋₄	0.45	0.31	0.92	0.48	0.02	0.02
C ₄₋₅	0.17	0.00	0.16	0.01	0.27	0.14
C ₅₋₆	0.75	0.36	0.17	0.03	0.31	0.28
C ₆₋₇	0.07	0.00	0.56	0.76	0.58	0.26

表注: A组年龄为13-14岁; B组年龄为15-16岁; C组年龄为17-18岁。



图注: A组年龄为13-14岁; B组年龄为15-16岁; C组年龄为17-18岁。与A组相比, ^a $P < 0.05$; 与B组相比, ^b $P < 0.05$ 。

图5 | 不同年龄青少年颈椎关节突关节面宽的比较

Figure 5 | Comparison of cervical facet joint width among adolescents of different ages

2.5 关节突 IFH 同一椎骨左右侧别间除A组C₆外, 其余差异均无显著性意义 ($P > 0.5$)。3组IFH随椎序的增加整体呈“V”字型, 最小值均位于C₅。B组的C₃、C₅和C₆明显高于A组 ($P < 0.05$), C组与A、B组相比, 差异均有显

著性意义 ($P < 0.05$), 见表4及图6。在发育早期4-6岁时, IFH随椎序的变化整体趋于平缓, 随年龄的增长, 逐渐趋于“V”字形, 谷值主要位于C₄和C₅椎序(图7)。

表4 | 同一椎骨左、右两侧关节突关节内高比较的P值

Table 4 | Comparison of P-values for intra-articular height of left and right facet joints of the same vertebra

节段	A组	B组	C组
C ₃	0.57	0.32	0.75
C ₄	0.42	0.61	0.78
C ₅	0.91	0.14	0.14
C ₆	0.04	0.70	0.08
C ₇	0.70	0.14	0.19

表注: A组年龄为13-14岁; B组年龄为15-16岁; C组年龄为17-18岁。

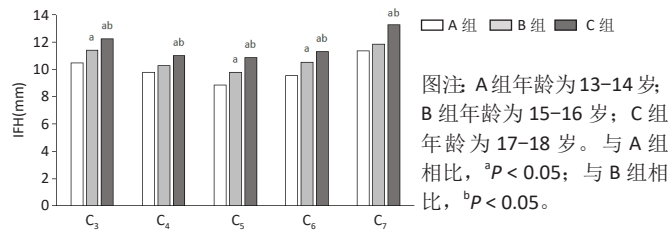
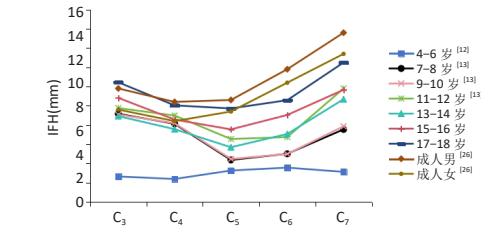


图6 | 各组青少年颈椎关节突关节内高(IFH)的比较

Figure 6 | Comparison of cervical intra-articular height among adolescents of three groups



图注: 在发育早期4-6岁时, IFH随椎序的变化整体趋于平缓, 随年龄的增长, 逐渐趋于“V”字形, 谷值主要位于C₄和C₅椎序。

图7 | 不同年龄段颈椎关节突关节内高(IFH)的比较

Figure 7 | Comparison of cervical intra-articular height among different ages

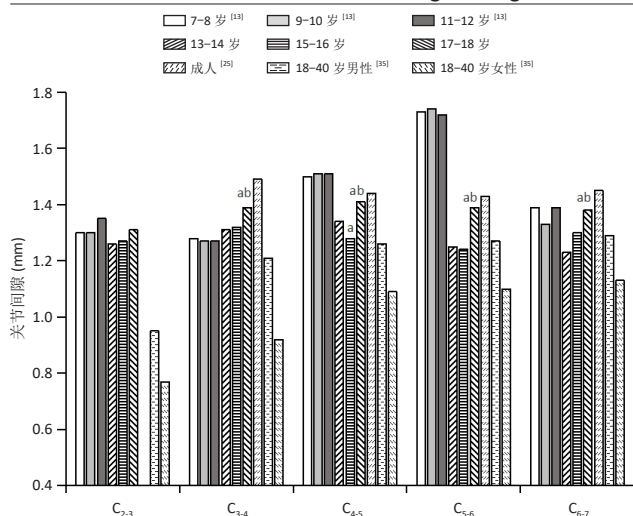
2.6 关节突关节面间隙 3组内左、右侧别比较差异均无显著性意义 ($P > 0.05$), 随椎序的增加, 走势较为平坦, 在不同椎序间比较中, 与其余椎序间存在显著性差异的椎序分别位于A组C₄₋₅、B组C₃₋₄和C组C₂₋₃ ($P < 0.05$)。随年龄的增加, 关节突关节面间隙呈递减趋势, B组C₂₋₃-C₅₋₆和C组C₂₋₃-C₄₋₅与A组相比差异有显著性意义; 与B组相比, C组C₂₋₃关节突关节面间隙较小 ($P < 0.05$)。见表5及图8。

表5 | 相邻椎骨间左、右两侧关节面间隙比较的P值

Table 5 | Comparison of P-values of left and right facet joint surface gap between adjacent vertebrae

节段	A组	B组	C组
C ₂₋₃	0.38	0.20	0.07
C ₃₋₄	0.16	0.14	0.23 ^a
C ₄₋₅	0.74 ^{abde}	0.68 ^b	0.31 ^a
C ₅₋₆	0.09 ^c	0.97 ^c	0.49 ^a
C ₆₋₇	0.71 ^c	0.29 ^c	0.59 ^a

表注: A组年龄为13-14岁; B组年龄为15-16岁; C组年龄为17-18岁。a-e为同一年龄内不同椎序间比较, 与C₂₋₃相比, ^a $P < 0.05$; 与C₃₋₄相比, ^b $P < 0.05$; 与C₄₋₅相比, ^c $P < 0.05$; 与C₅₋₆相比, ^d $P < 0.05$; 与C₆₋₇相比, ^e $P < 0.05$ 。a-e分别为各节段之间的比较。



图注：与 13-14 岁相比，^a $P < 0.05$ ；与 15-16 岁相比，^b $P < 0.05$ 。

图 8 | 不同年龄青少年颈椎关节突关节间隙的比较

Figure 8 | Comparison of cervical facet gap among adolescents of different ages

3 讨论 Discussion

颈椎关节突关节作为颈椎后柱的重要解剖结构，在颈部活动、应力传导以及维持颈椎稳定性中发挥重要的作用^[14]。近年来通过解剖学和生物力学研究表明，颈椎关节突关节不对称可引起关节突关节的退变，进而引起脊柱生理性曲度的改变，引起颈椎失稳，是退行性颈椎滑脱、颈椎间盘突出及慢性颈肩痛发生的重要原因之一^[15-21]。随着医学影像技术的迅速发展相继出现了一系列的医学影像三维重建软件，它们和医学影像数据直接兼容，并能快速完成三维模型重建，可直接与临床 CT 或 MRI 数据对接，直观立体地观察研究小关节的形态结构，克服了传统影像学单一角度静态观察的技术局限性，并相对提高了形态学测量的准确性^[22]。

3.1 颈椎关节突关节面高和关节面宽的形态发育特点 颈椎关节突关节的形态面积与关节的运动和稳定关系密切。此次研究中所测量关节突关节面的关节面高和关节面宽，在 3 组年龄段内，各椎序的下关节面关节面高和关节面宽均大于上关节面相应测量指标，随椎序的增加关节面高呈递减趋势，关节面宽呈递增趋势，除 C 组 C₂ 和 C₃ 椎序外，其余各椎序关节面高均小于关节面宽，这与以往国内外所测成人颈椎关节突关节面关节面高和关节面宽指标变化规律一致^[23-26]，由此验证无论在何年龄段内，颈椎关节突关节面的形态随椎序的增加，逐渐由圆形过渡到椭圆形。在组间比较中，C 组年龄段各椎序的关节面高均明显高于 A、B 组（图 4），而关节面宽仅在个别椎序中大于 A、B 组，说明关节面高较关节面宽受年龄影响明显。结合赵卫东等^[27]生物力学研究结果，证实在上、下关节面相适应的前提下，关节面的面积越大，其运动时所受应力和应变越小，关节越稳定不易损伤，由此推断出同一椎骨的下关节

突受力始终大于上关节突。

国内学者孟庆兰^[24]通过观测对比研究 50 套增生颈椎骨和 45 套正常成人颈椎标本椎间关节面的形态和面积，将颈椎间关节面的形态分为圆型、椭圆型和不规则型，以椭圆型占优势，各节段下关节面的面积均大于上关节面的面积，仅在 C₄₋₅ 和 C₅₋₆ 形态和面积有显著性差异，因此颈椎失稳多发生于中位节段。此次研究分别在 A、B、C 组中，比较分析相邻椎骨间关节面形态是否相适应，发现双侧相邻椎骨上、下关节面存在显著性差异的节段分别位于 A 组 C₅₋₆，C 组 C₃₋₄ 和 C₆₋₇ 节段，单侧存在上、下关节面不适应情况也多集中于 C₄₋₅ 和 C₅₋₆（表 2，3），与以往对退行性颈椎滑脱多发节段的研究一致^[10, 19]。

3.2 颈椎关节突 IFH 的形态发育特点 颈椎关节突 IFH 测量指标目前尚无统一的名称，刘观毅等^[26]在探讨颈椎经关节螺钉固定可行性分析时测量成人下颈椎关节突关节解剖形态中，将其命名为侧块高度。目前下颈椎后路螺钉植入技术最常采用的就是侧块螺钉固定技术^[28-29]，其关键点就在于螺钉锚点的选择，目前临床常用且较安全的置钉点以侧块中心点内侧 1 mm^[30]。此次研究经测量发现，3 组的关节突关节内高即侧块高度在左、右侧别间除 A 组 C₆ 外，其余均无显著性差异，即将左、右两侧合算为同一总体，分别与以往研究比较发现，IFH 的形态发育从 4 岁至成人主要有两个快速生长期，分别始于 7 岁和 13 岁，到 18 岁左右基本接近成人水平，在发育早期 4-6 岁时，IFH 随椎序的变化整体趋于平缓，随年龄的增长，逐渐趋于“V”字形，谷值主要位于 C₄ 和 C₅ 椎序（图 7）。JAUMARD 等^[31]通过解剖学和生物力学研究发现在屈伸运动应力试验中，25% 关节突切除的标本间无显著性差异，而在切除 50% 关节突关节时较正常颈椎应力增加了 2.5%，在切除 75% 和 100% 的标本上则增加了 25%，即体积越小应力越大，结合此次研究所测关节面宽的值，最小值也均位于 C₅，说明颈椎关节突关节的应力主要集中在 C₅。

3.3 颈椎关节突关节面间隙的形态发育特点 颈椎关节突关节间隙在临床常用于某些疾病影像学诊断的参考依据，如当关节突关节间隙增宽时，可考虑关节囊内是否存在有积液^[32]；当关节突关节间隙减小或变窄时，可作为评定关节突关节退变等级的参考依据^[25, 33]，同时 SHANG 等^[7]研究发现颈椎关节突关节退变可能是引起青年人颈椎退变的主要原因。卢海波^[25]在测量关节突关节间隙时，分别选取关节面内、外侧缘和中心点间的间隙，结果显示，所选取的两关节面中心点间的距离是关节突关节间隙最宽处，此次研究的关节面间隙仅选取相邻关节突关节间隙最宽处测量，而未测量关节面间接接触的最窄间隙，经对比不同椎序间的关节面间隙，明显增宽的椎序主要位于 C₃₋₄ 和 C₄₋₅，与卢海波^[25]和 WANG 等^[34]所测成人关节面间隙最

颈椎序 C_{3-4} 基本一致。在与刘路^[13]所测量的颈椎关节突关节间隙比较中,除 C_{3-4} 椎序外,此次研究所测 3 组的关节面间隙均小于 7-12 岁儿童(图 6),这可能与所选取的测量位置有关。

3.4 研究的不足和局限性 此次试验由于各组的样本量不足,并未进行性别分组;由于测量部位选择、径线的标定等均需测量者主观判断,容易造成误差,这是此次研究的不足之处。另外研究对象均来自于内蒙古自治区,受试者民族、身高与颈椎发育程度有相关性,能够反映国人青少年颈椎关节突关节形态发育的结论还有待于进一步开展多中心大样本的研究。

致谢: 感谢内蒙古医科大学数字医学中心、第一附属医院、第二附属医院及内蒙古自治区国际蒙医医院影像科全体老师在资料收集过程给与的支持和帮助。

作者贡献: 试验设计者为李贵花、王星,实施者为和雨洁、史君、刘路,评估者为李志军、王星,资料收集者为张少杰、李琨、刘路,和雨洁成文,李志军、王星校审并对文章负责。和雨洁与李贵花对试验的贡献相同,故并列为一作者。李志军和王星对试验提供技术指导贡献相同,故并列通讯作者。

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中不存在利益冲突。

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。

版权转让: 文章出版前全体作者与编辑部签署了文章版权转让协议。

出版规范: 该文章撰写遵守了《观察性临床研究报告指南》(STROBE 指南)。文章出版前已经过专业反剽窃文献检测系统进行 3 次文字和图表查重,文章经小同行外审专家双盲审稿,同行评议认为文章符合期刊发稿宗旨。

4 参考文献 References

- [1] DAVID D, GIANNINI C, CHIARELLI F, et al. Text Neck Syndrome in Children and Adolescents. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(4):1565-1579.
- [2] ZIREK E, MUSTAFAOGLU R, YASACI Z, et al. A systematic review of musculoskeletal complaints, symptoms, and pathologies related to mobile phone usage. *Musculoskelet Sci Pract*. 2020;10(49):102-112.
- [3] YONGJUN Z, TINGJIE Z, XIAOQIU Y, et al. A survey of chronic pain in China. *Libyan J Med*. 2020;15(1):1-5.
- [4] 武宇轩,郑殿芳,云文科,等. “解痉”针法干预颈椎小关节紊乱症 100 例 [J]. *武警医学*, 2022,33(11):990-992.
- [5] 王宝剑,李俊海,黄沪,等. 北京市某三甲医院 2018-2020 年颈椎病门诊患者临床流行病学特征分析 [J]. *中国病案*, 2022,23(12):40-43.
- [6] O'LEARY SA, PASCHOS NK, LINK JM, et al. Facet Joints of the Spine: Structure-Function Relationships, Problems and Treatments, and the Potential for Regeneration. *Annu Rev Biomed Eng*. 2018;4(20):145-170.
- [7] SHANG Q, WANG D, WANG D, et al. Facet joint degeneration-An initial procedure of the cervical spine degeneration. *JOR Spine*. 2023;6(1):e1241-1251.
- [8] TAKESHIMA Y, OKAMOTO A, YOKOYAMA S, et al. Facet Articular Irregularity Is the Most Relevant Risk Factor for Rapidly Progressive Degenerative Cervical Myelopathy. *Neurospine*. 2023;20(1):365-373.

- [9] BÜSKEN F, LATASTER A, HERRLER A. The innervation of the cervical facet joints-an anatomical and histological approach. *Clin Anat*. 2022;35(6):780-788.
- [10] 李志军,丁韶龙,周强. 关节突关节横截面积与退行性颈椎滑脱的关系 [J]. *颈腰痛杂志*, 2022,43(6):794-797.
- [11] 徐聪,徐庆平,艾雯,等. 颈椎关节突关节矢状位角的不对称性和关节突关节退变关系的影像学研究 [J]. *中国临床解剖学杂志*, 2021,39(5):535-545.
- [12] 和雨洁,张少杰,李志军,等. 4-6 岁儿童下颈椎关节突关节的三位数字化形态特征 [J]. *中国组织工程研究*, 2019,23(28):4558-4563.
- [13] 刘路. 7-12 岁儿童颈椎关节突关节数字化三维形态研究及其有限元分析 [D]. 呼和浩特: 内蒙古医科大学, 2016.
- [14] DENIS F. The three column spine and its significance in the classification of acute thoracolumbar spinal injuries. *Spine*. 1983;8(8):817-831.
- [15] ELFIKY T, BESSADA B, STIENEN MN, et al. Endplate and Facet Joint Changes in Cervical Spondylotic Myelopathy. *World Neurosurg*. 2023;7:361-366.
- [16] BISSON DG, SHENG K, KOCABAS S, et al. Axial rotation and pain are associated with facet joint osteoarthritis in adolescent idiopathic scoliosis. *Osteoarthritis Cartilage*. 2023;31(8):1101-1110.
- [17] 田杰,刘慧. 颈椎小关节源性疼痛治疗进展及超声应用价值 [J]. *中国疼痛医学杂志*, 2019,25(8):618-623.
- [18] 徐庆平. 颈椎小关节矢状化与颈椎小关节退变和椎间盘退变的相关性研究 [D]. 南昌: 南昌大学, 2019.
- [19] 楚加胜. 关节突关节角与退变性下颈椎不稳的相关性分析 [D]. 沈阳: 中国医科大学, 2020.
- [20] 文传兵,刘柳,林涛,等. 超声横截面扫描探测颈椎关节突关节的可行性及准确性研究 [J]. *中国疼痛医学杂志*, 2021,27(11):825-828.
- [21] 张俊麒,王型金,刘浩,等. 颈椎关节突关节倾斜角及其不对称的临床意义 [J]. *中国骨与关节杂志*, 2022,11(7):481-485.
- [22] 王琪,郭明明,徐森,等. 应用影像归档和通信系统测量成人下颈椎关节突关节的临床意义 [J]. *脊柱外科杂志*, 2017,15(3):171-176.
- [23] PAL GP, ROTAL RV, SAGGU SK, et al. The orientation of the articular facets of the zygapophyseal joints at the cervical and upper thoracic region. *J Anat*. 2001;4(4):431-441.
- [24] 孟庆兰. 颈椎间关节面的形态和面积与颈椎病的关系 [J]. *中国康复理论与实践*, 2002,8(3):134-135.
- [25] 卢海波. 成人下颈椎关节突关节螺旋 CT 测量及临床意义 [D]. 汕头: 汕头大学, 2010.
- [26] 刘观葵,徐荣明,马维虎,等. 下颈椎关节突关节的解剖学测量与经关节螺钉固定的关系 [J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2007,17(2):140-144.
- [27] 赵卫东,徐波,张美超,等. 颈椎三维运动对关节突关节压力的作用 [J]. *中国组织工程研究与临床康复*, 2010,14(22):3996-3999.
- [28] 赵刘军,徐荣明. 中下颈椎经关节螺钉的基础与临床研究进展 [J]. *中国骨伤*, 2007,20(6):430-432.
- [29] 颜滨,李振宇,闫洪印,等. 经关节螺钉固定在下颈椎骨折脱位中的应用 [J]. *中国骨与关节损伤杂志*, 2008,23(6):447-449.
- [30] 周雷杰,陆继业,梁彪,等. 下颈椎经关节螺钉钉棒系统形式固定的临床研究 [J]. *中国骨伤*, 2011,24(7):538-540.
- [31] JAUMARD NV, WELCH WC, WINKELSTEIN BA. Spinal facet joint biomechanics and mechanotransduction in normal, injury and degenerative conditions. *J Biomech Eng*. 2011;133(7):1-31.
- [32] KULKARNI AG, SAGANE SS. Cervical facet joint effusion: A sign of instability in cervical degenerative spondylosis. *J Craniovertebr Junction Spine*. 2022;13(1):38-41.
- [33] PARK MS, LEE YB, MOON SH, et al. Facet joint degeneration of the cervical spine: a computed tomographic analysis of 320 patients. *Spine*. 2014;39(12):E713-E718.
- [34] WANG QA, GUO C, SUN MJ, et al. Three-dimensional spiral CT observation of the facet joints of the lower cervical spine and its clinical significance. *Eur Spine J*. 2021;30(6):1536-1541.

(责任编辑: LUY, GD, ZN, QY)