

基于虚拟现实技术的旋提手法下颈椎间孔结构变化动态分析

刘广伟¹, 冯敏山^{1, 2}, 朱立国^{1, 2}, 尹逊路², 陈焯贤²

<https://doi.org/10.12307/2023.252>

投稿日期: 2022-02-08

采用日期: 2022-04-18

修回日期: 2022-05-06

在线日期: 2022-05-30

中图分类号:

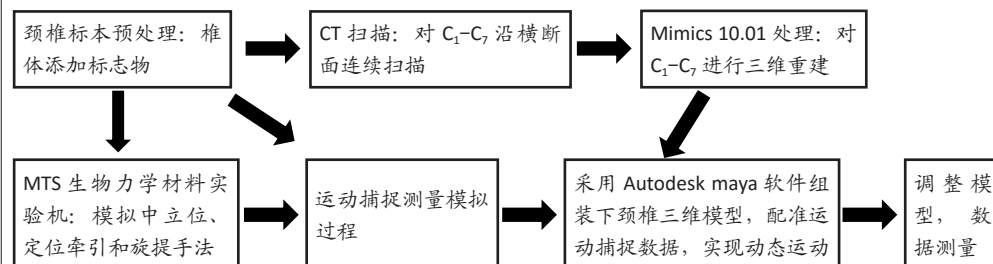
R459.9; R318; R25

文章编号:

2095-4344(2023)09-01346-06

文献标识码: A

文章快速阅读: 不同状态下旋提手法对下颈椎间孔结构变化的影响



文题释义:

旋提手法: 是一种定位牵引的颈椎治疗手法, 患者在治疗前经过适度的颈部放松, 在医生的指导下自主完成极限位的旋转-屈曲-再旋转, 使颈椎处于关节绞索状态, 医生使用手臂固定患者头部, 依靠自身力量迅速完成预牵引、提扳等动作, 以达到颈椎治疗的目的。

运动捕捉: 是一种用于准确测量运动物体在三维空间运动状况的技术, 其工作原理是在运动物体的关键部位设置跟踪器(Marker点), 经计算机处理得到三维运动数据, 具有精度高、可实现动态三维运动分析的特点, 被广泛应用于虚拟现实、人体工程学、模拟训练、生物力学、运动学等研究方面。

摘要

背景: 神经根型颈椎病是一类临床常见病, 旋提手法是治疗神经根型颈椎病的有效手段, 椎间孔的测量是临床上重要的参考标准。

目的: 分析不同状态下旋提手法对下颈椎间孔结构变化的影响, 探讨旋提手法的生物力学作用机制。

方法: 颈椎标本置入螺钉方便CT成像时定位, 首先应用MTS材料机在新鲜颈段标本上模拟不同状态下的旋提手法, 同时利用运动捕捉技术获取旋提手法过程中Marker点的运动轨迹; 然后, 通过螺旋CT薄层扫描颈椎标本, 运用Mimics软件进行三维颈椎实体重建, 依据旋提手法过程下颈椎体的运动轨迹, 通过Autodesk maya软件进行多模医学图像三维配准实现动态虚拟现实仿真, 进行动态图像处理; 最后, 分别采用ImageJ软件及Adobe photoshop软件测量旋提手法前后下颈椎间孔的纵径及面积。

结果与结论: ①定位牵引有利于提前打开下颈椎间孔, 牵引效果略差于中立位牵引, 但定位牵引具有更好的安全性; ②扳动力在150 N以内, 旋提手法的扳动力越小, 颈椎间孔的纵径及面积的增加幅度也越小; 扳动力超过150 N之后, 颈椎间孔纵径及面积的增加幅度影响不大; ③旋提手法通过增大下颈椎间孔可能有助于松解椎间孔周缘的粘连, 从而缓解神经根刺激症状。

关键词: 神经根型颈椎病; 旋提手法; 颈椎间孔; 虚拟现实; 动态; 定位牵引; 中立位牵引

Dynamic analysis of structural changes in the lower cervical intervertebral foramen during rotation-traction manipulation by virtual reality technology

Liu Guangwei¹, Feng Minshan^{1, 2}, Zhu Liguo^{1, 2}, Yin Xunlu², Chen Zhuoxian²

¹Beijing Key Laboratory of Manipulative Technique, ²Second Department of Spine, Wangjing Hospital of China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100102, China

Liu Guangwei, Master, Assistant researcher, Beijing Key Laboratory of Manipulative Technique, Wangjing Hospital of China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100102, China

Corresponding author: Feng Minshan, MD, Chief physician, Beijing Key Laboratory of Manipulative Technique, and Second Department of Spine, Wangjing Hospital of China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100102, China

Abstract

BACKGROUND: Cervical spondylotic radiculopathy is a common clinical disease. Rotation-traction manipulation is an effective means to treat cervical spondylotic radiculopathy. The measurement of intervertebral foramen is an important reference standard in clinic.

OBJECTIVE: To analyze the effects of different states of rotation-traction manipulation on the structural changes of lower cervical intervertebral foramen, and to explore the biomechanical mechanism of rotation-traction manipulation.

中国中医科学院望京医院, ¹中医正骨技术北京市重点实验室, ²脊柱二科, 北京市 100102

第一作者: 刘广伟, 男, 1989年生, 河南省漯河市人, 汉族, 硕士, 助理研究员, 主要从事运动类医学研究。

通讯作者: 冯敏山, 医学博士, 主任医师, 中国中医科学院望京医院, 中医正骨技术北京市重点实验室, 脊柱二科, 北京市 100102

<https://orcid.org/0000-0002-3753-2081> (刘广伟)

基金资助: 国家自然科学基金青年科学基金项目(81302992), 项目负责人: 冯敏山; 国家中医药管理局中医药创新团队及人才支持计划项目(ZYYCXTD-C-202003), 项目负责人: 朱立国

引用本文: 刘广伟, 冯敏山, 朱立国, 尹逊路, 陈焯贤. 基于虚拟现实技术的旋提手法下颈椎间孔结构变化动态分析[J]. 中国组织工程研究, 2023, 27(9):1346-1351.



METHODS: Cervical spine specimens were implanted with screws to facilitate positioning during CT imaging. Firstly, MTS material machine was used to simulate the rotation manipulation with different positioning angles on fresh cervical specimens. The motion trajectory of Marker points was obtained by motion capture technology. Then, the cervical specimens were scanned by thin-layer spiral CT. The three-dimensional cervical solid reconstruction was carried out by using Mimics software. According to the motion trajectory of cervical vertebra under the process of rotation-traction manipulation, the multi-mode medical image three-dimensional registration was carried out by Autodesk Maya software to realize dynamic virtual reality simulation, and then the dynamic image processing was carried out. Finally, ImageJ software and Adobe Photoshop software were used to measure the longitudinal diameter and area of lower cervical intervertebral foramen before and after rotation-traction manipulation.

RESULTS AND CONCLUSION: (1) Positioning traction was helpful to open the lower cervical intervertebral foramen in advance. The traction effect was slightly worse than neutral traction, but positioning traction had better safety. (2) When the pulling force was within 150 N, the smaller the pulling force of rotation-traction manipulation, the smaller the increase of the longitudinal diameter and area of the lower cervical intervertebral foramen. After the pulling force exceeded 150 N, the increase of longitudinal diameter and area of cervical intervertebral foramen had little effect. (3) Rotation-traction manipulation may help to loosen the adhesion around the intervertebral foramen by increasing the lower cervical intervertebral foramen, so as to alleviate the symptoms of nerve root stimulation.

Key words: cervical spondylotic radiculopathy; rotation-traction manipulation; cervical intervertebral foramen; virtual reality; dynamic; positioning traction; neutral traction

Funding: National Natural Science Foundation of China (Youth Program), No. 81302992 (to FMS); Chinese Medicine Innovation Team and Talent Support Plan Project of the State Administration of Traditional Chinese Medicine, No. ZYCXTD-C-202003 (to ZLG)

How to cite this article: LIU GW, FENG MS, ZHU LG, YIN XL, CHEN ZX. Dynamic analysis of structural changes in the lower cervical intervertebral foramen during rotation-traction manipulation by virtual reality technology. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu. 2023;27(9):1346-1351.

0 引言 Introduction

旋提手法是治疗神经根型颈椎病的有效手段^[1-2],该手法具有降低颈椎髓核内压力、减轻患者痛苦的作用。已有研究从旋提手法的临床效果、安全性和影像学特征进行分析,这些研究手段多是对比患者治疗前后的特征。三维立体地观察手法作用时颈椎结构的变化进而对其机制研究是必要的。颈椎间孔狭窄在神经根型颈椎病的发病机制中具有重要意义^[3-5],因此分析旋提手法作用下颈椎间孔的结构变化有助于对该手法进行机制探讨。由于解剖结构的复杂性^[6],颈椎间孔的动态测量具有较大的难度,而研究高速度低振幅的旋提手法作用下颈椎间孔的空间结构变化技术难度更大。目前尚未见针对颈椎旋转手法前后的颈椎间孔变化的文献报道。此次研究拟借助虚拟现实互动技术实现动态的颈椎间孔测量^[7-8],从而对旋提手法作用下颈椎间孔结构变化进行测量分析,探讨该手法可能的作用机制。

1 材料和方法 Materials and methods

1.1 设计 单一样本观察。

1.2 时间及地点 实验于2014年10月至2015年3月在南方医科大学解剖教研室完成。

1.3 材料 实验材料为1具颈椎尸体标本(C₀-T₁),来自于广东南方医科大学解剖实验室。修整颈椎标本时尽可能剔除皮肤肌肉,保留颈椎诸韧带及小关节的完整。采用聚甲基丙烯酸甲酯(牙托粉)包埋,仅露出颈段(C₁-C₇)。将直径为1 mm的螺钉拧入C₄-C₇椎体内,每个椎体拧入3个,4个椎体共计12个,位置分别为各椎体前缘中点及双侧横突后结节处,见图1。实验方案经中国中医科学院中医基础理论研究所动物实验伦理委员会批准,批准号为#WJEC-KT-2012-005-P002。

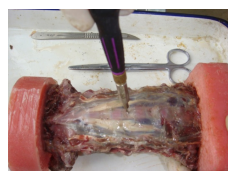


图1 | 在椎体前缘中点置入椎体外标志物(直径约1 mm螺钉)
Figure 1 | In vitro vertebral marker (screw with a diameter of about 1 mm) implanted at the midpoint of anterior margin of vertebral body

MTS生物力学材料实验机:型号 MTS858.02, America. Minnesota. Company 生产。

运动捕捉系统:由6台数字动作捕捉镜头(型号 Hawk, Motion Analysis 公司制作,像素值为500万,最高采集频率为500帧/s,精度为0.01 mm)围绕于场地周边组成。

Cortex 分析软件:Motion Analysis 公司开发,用于动作捕捉数据的分析和三维图像重建。

螺旋CT:型号 Philips/Brilliance 6, 飞利浦公司生产。

Mimics 10.01 软件:比利时 Materialise 公司设计。

Autodesk Maya 2009 版软件:美国 Autodesk 公司设计。

1.4 实验方法

1.4.1 模拟牵引和旋提手法 采用 MTS 生物力学材料实验机模拟牵引和旋提手法,同时采用运动捕捉技术测量模拟过程中下颈椎体的三维运动,见图2,3。



图2 | 模拟旋提手法操作
Figure 2 | Simulated rotation-traction manipulation

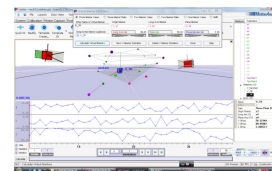


图3 | 虚拟探针确定虚拟点的空间位置
Figure 3 | Virtual probe to determine the spatial position of virtual points

中立位牵引是在颈椎无旋转的情况下进行牵引加载,定位牵引是模拟旋提手法旋转70°、前屈10°的定位角度下进行牵引。模拟手法不同扳动力加载时,先给予150 N缓慢上牵持续5 s,模拟预牵引过程,然后给予设定的加载力在0.11 s内快速向上扳动,加载数据见表1。

表1 | MTS材料机模拟牵引及不同状态下的旋提手法
Table 1 | MTS material machine simulated traction and rotation-traction manipulation in different states

加载项	角度(°)		预加载力(N)	加载力(N)	加载时间(s)
	旋转	前屈			
中立位牵引	0	0	0	300	10
定位牵引	70	10	0	300	10
50 N 扳动力	70	10	150	50	0.11
150 N 扳动力	70	10	150	150	0.11
250 N 扳动力	70	10	150	250	0.11

1.4.2 对颈椎标本进行 CT 薄层扫描 采用螺旋 CT 对 C₁-C₇ 沿横断面连续扫描, 扫描条件: 选择骨组织窗, 电压 120 kV, 像素大小 0.264 mm, 层距 0.4 mm, 共 412 层, 扫描数据以 Dicom 格式直接存入光盘备用。

1.4.3 应用 Mimics 10.01 软件进行颈椎三维实体建模 Mimics 软件直接读取 Dicom 格式的螺旋 CT 断层图像。采用阈值选取功能, 界定阈值在 226-436 CT 值单位, 定位图像后自动显示骨组织窗图像, 见图 4。接着采用选择性编辑功能将骨组织窗图像进行除噪及补洞处理, 去除冗余数据, 同时确认及标记每个椎体的螺钉位置, 见图 5。然后, 采用三维区域增长功能及三维计算功能, 将已修正的骨组织窗图像进行三维成像, 见图 6, 从而建立下颈椎几何模型以及植入螺钉与模型的空间关系。

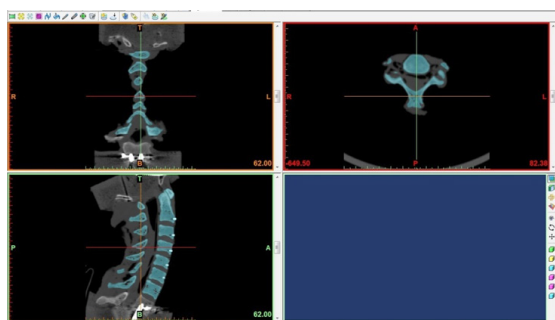


图 4 | Mimics 软件显示骨组织
Figure 4 | Mimics software showing bone tissue

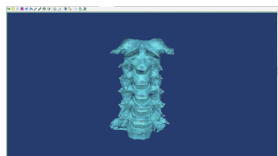


图 5 | 确认螺钉位置
Figure 5 | Confirmation of screw position

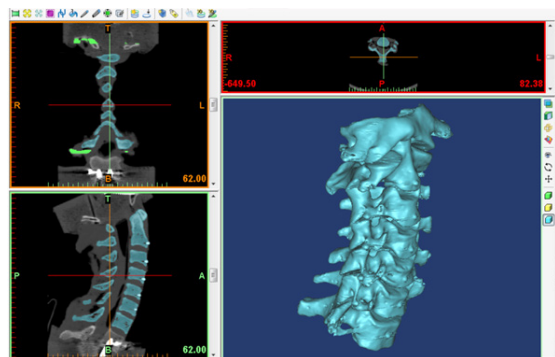


图 6 | 颈椎骨三维成像
Figure 6 | Three-dimensional imaging of cervical spine

1.4.4 运动捕捉数据与三维模型的配准 采用 excel 打开运动捕捉数据, 选定某一虚拟 marker 点的三维运动数据 (X 轴, Y 轴, Z 轴) 另存为后缀为 .txt 文件。接着打开 Autodesk maya 软件, 在软件程序中运行附带脚本, 将后缀为 .txt 文件导入 Autodesk maya 程序并创建一个骨骼点。该骨骼点的动作就是运动捕捉数据中所选定虚拟 marker 点的三维运动过程。其他骨骼点的创建方法同上。当 12 个虚拟 marker 点均创建

到同一文件中, 运动捕捉数据就完成了数据导入, 并转化为 Autodesk maya 的可执行文件, 见图 7。然后, 将 Mimics 建立的下颈椎三维模型 (binary STL 格式文件) 导入该程序中。将下颈椎三维模型的螺钉位置与运动捕捉数据的虚拟 marker 点进行三维配准及绑定, 实现颈椎体与三维模型的精确立体定位。最后形成基于真实骨性结构反映旋提手法操作过程的下颈椎运动数据, 见图 8, 并保存为后缀名 .mb 的 maya 文件。

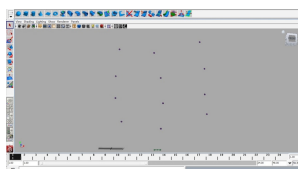


图 7 | 运动捕捉数据导入 Maya
Figure 7 | Motion capture data into Maya

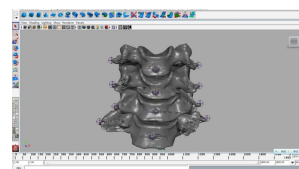
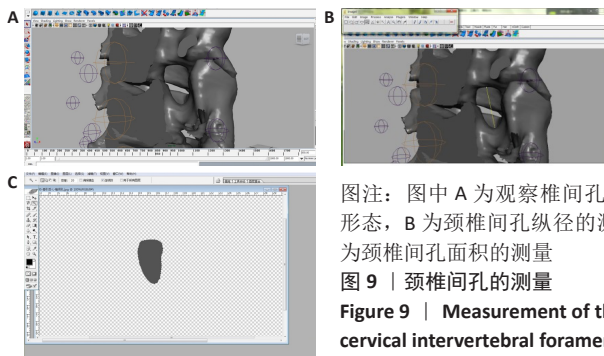


图 8 | 螺钉位置与 marker 配准绑定
Figure 8 | Screw position and marker registration binding

1.4.5 颈椎间孔的测量 椎间孔的测量通常包括椎间孔纵径、横径及面积, 旋提手法主要是垂直方向的提扳, 对椎间孔纵径和面积影响较大, 因此主要测量颈椎间孔纵径和颈椎间孔面积。采用 Autodesk maya 软件打开已配准的具有真实骨性结构的下颈椎运动数据, 将部分颈椎体及横突进行切割舍弃, 达到可直观双侧颈椎间孔的目的, 见图 9A。对颈椎三维模型的运动数据进行动态分析, 然后在同一视角下将直视下的椎间孔图像进行截图, 先后导入 Photoshop 软件及 ImageJ 软件进行测量。

颈椎间孔纵径测量方法: 打开 ImageJ 软件, 导入图像, 采用软件中直线测量工具测量椎间孔的纵径。颈椎间孔纵径的测量方法为上下椎弓根缘中点的连线, 见图 9B。

颈椎间孔面积测量方法: 打开 Photoshop 软件, 导入图像, 采用磁性套索功能对椎间孔周缘进行描边, 随后将描边内图像另存为新图层, 然后采用魔棒功能选定新图层, 通过直方图获取椎间孔图像的像素; 该像素值即为颈椎间孔面积, 最后根据比例将像素值换算为实际大小, 见图 9C。



图注: 图中 A 为观察椎间孔外口的形态, B 为颈椎间孔纵径的测量, C 为颈椎间孔面积的测量
图 9 | 颈椎间孔的测量
Figure 9 | Measurement of the cervical intervertebral foramen

1.5 主要观察指标 不同牵引状态下, 牵引前后, 左右两侧 C_{4/5}、C_{5/6}、C_{6/7} 颈椎间孔纵径及颈椎间孔面积。

2 结果 Results

2.1 中立位和定位牵引前后颈椎间孔纵径与面积分析

中立位和定位牵引颈椎间孔纵径的动态变化: 相较于中

立位牵引，定位牵引在牵引前下颈椎的纵径都有明显增大，其中左侧比右侧增大的更明显，并且 C_{4/5}、C_{6/7} 颈椎间孔纵径比 C_{5/6} 增大的更明显；两种牵引前后的颈椎间孔纵径差值 C_{4/5}、C_{5/6} 相差不大，C_{6/7} 颈椎间孔纵径差值中立位牵引变化更大，见表 2，3。

表 2 | 中立位牵引作用下颈椎间孔纵径的动态变化 (cm)

节段	牵引前		牵引后		牵引前后差值	
	左侧	右侧	左侧	右侧	左侧	右侧
C _{4/5}	1.032	0.781	1.112	0.927	0.080	0.146
C _{5/6}	0.883	0.896	0.977	0.995	0.094	0.099
C _{6/7}	0.590	0.449	0.725	0.540	0.135	0.091

表 3 | 定位牵引作用下颈椎间孔纵径的动态变化 (cm)

节段	牵引前		牵引后		牵引前后差值	
	左侧	右侧	左侧	右侧	左侧	右侧
C _{4/5}	1.347	1.074	1.418	1.140	0.071	0.066
C _{5/6}	1.105	0.850	1.196	0.933	0.091	0.083
C _{6/7}	0.949	0.552	0.983	0.555	0.034	0.003

中立位和定位牵引颈椎间孔面积的动态变化：相较于中立位牵引，定位牵引在牵引前下颈椎的颈椎间孔面积明显增大，其中左侧比右侧增大的更明显，并且 C_{4/5}、C_{6/7} 颈椎间孔面积比 C_{5/6} 增大的更明显；两种牵引前后的面积差值 C_{4/5}、C_{5/6} 相差不大，C_{6/7} 颈椎间孔面积差值中立位牵引变化更大，见表 4，5。

表 4 | 中立位牵引作用下颈椎间孔面积的动态变化 (cm²)

节段	牵引前		牵引后		牵引前后差值	
	左侧	右侧	左侧	右侧	左侧	右侧
C _{4/5}	0.502	0.332	0.540	0.412	0.038	0.080
C _{5/6}	0.186	0.302	0.214	0.389	0.028	0.087
C _{6/7}	0.190	0.131	0.251	0.166	0.061	0.035

表 5 | 定位牵引作用下颈椎间孔面积的动态变化 (cm²)

节段	牵引前		牵引后		牵引前后差值	
	左侧	右侧	左侧	右侧	左侧	右侧
C _{4/5}	0.713	0.578	0.698	0.592	0.015	0.014
C _{5/6}	0.166	0.319	0.234	0.337	0.068	0.018
C _{6/7}	0.370	0.164	0.371	0.174	0.001	0.010

2.2 不同扳动力作旋提手法用下颈椎间孔纵径与面积分析
在定位条件下，使用 50，150，250 N 不同大小扳动力的旋提手法作用于标本，记录颈椎间孔纵径和颈椎间孔面积的动态变化。

不同扳动力下颈椎间孔纵径动态变化：由数据可知，手法扳动前颈椎间孔纵径差距不大，在不同的载荷作用下，

50~150 N 中颈椎间孔纵径差值变化较大，手法作用随着扳动力的增大作用明显增大，扳动力超过 150 N 之后，颈椎间孔纵径差值无明显变化，继续增加扳动力手法效果无明显变化，见表 6~8。

表 6 | 模拟 50 N 扳动力旋提手法作用下颈椎间孔纵径的动态变化 (cm)

节段	扳动前		扳动后		扳动前后差值	
	左侧	右侧	左侧	右侧	左侧	右侧
C _{4/5}	1.125	0.941	1.176	0.970	0.051	0.029
C _{5/6}	1.115	0.888	1.186	0.920	0.071	0.032
C _{6/7}	0.956	0.816	0.964	0.862	0.008	0.046

表 7 | 模拟 150 N 扳动力旋提手法作用下颈椎间孔纵径的动态变化 (cm)

节段	扳动前		扳动后		扳动前后差值	
	左侧	右侧	左侧	右侧	左侧	右侧
C _{4/5}	0.965	0.795	1.043	0.882	0.078	0.087
C _{5/6}	0.912	0.702	1.011	0.856	0.099	0.154
C _{6/7}	0.786	0.680	0.828	0.705	0.042	0.025

表 8 | 模拟 250 N 扳动力旋提手法作用下颈椎间孔纵径的动态变化 (cm)

节段	扳动前		扳动后		扳动前后差值	
	左侧	右侧	左侧	右侧	左侧	右侧
C _{4/5}	1.248	1.100	1.323	1.183	0.075	0.083
C _{5/6}	1.090	0.879	1.128	0.963	0.038	0.084
C _{6/7}	0.932	0.807	0.972	0.832	0.040	0.025

不同扳动力下颈椎间孔面积动态变化：由数据可知，手法扳动前颈椎间孔面积差距不大，在不同的载荷作用下，C_{4/5} 的颈椎间孔面积差值随着扳动力的增大而增大，C_{5/6}、C_{6/7} 的颈椎间孔面积差值随着扳动力的增加无明显变化，反而见有部分减少，见表 9~11。

表 9 | 模拟 50 N 扳动力旋提手法作用下颈椎间孔面积的动态变化 (cm²)

节段	扳动前		扳动后		扳动前后差值	
	左侧	右侧	左侧	右侧	左侧	右侧
C _{4/5}	0.525	0.429	0.555	0.440	0.030	0.011
C _{5/6}	0.162	0.349	0.204	0.367	0.042	0.018
C _{6/7}	0.425	0.290	0.459	0.297	0.034	0.007

表 10 | 模拟 150 N 扳动力旋提手法作用下颈椎间孔面积的动态变化 (cm²)

节段	扳动前		扳动后		扳动前后差值	
	左侧	右侧	左侧	右侧	左侧	右侧
C _{4/5}	0.440	0.346	0.480	0.369	0.040	0.023
C _{5/6}	0.176	0.329	0.198	0.314	0.022	0.015
C _{6/7}	0.317	0.208	0.337	0.209	0.020	0.001

表 11 | 模拟 250 N 扳动力旋提手法作用下颈椎间孔面积的动态变化 (cm^2)
Table 11 | Dynamic change of cervical intervertebral foramen area under simulated 250 N rotation-traction manipulation

节段	扳动前		扳动后		扳动前后差值	
	左侧	右侧	左侧	右侧	左侧	右侧
C _{4/5}	0.639	0.605	0.714	0.662	0.075	0.057
C _{5/6}	0.174	0.347	0.178	0.395	0.004	0.048
C _{6/7}	0.398	0.259	0.417	0.286	0.019	0.027

3 讨论 Discussion

3.1 颈椎间孔测量的难点及研究概况 颈椎间孔狭窄在神经根型颈椎病的发病机制中具有重要意义^[9-11], 颈椎间孔的测量随之成为研究的热点。颈椎间孔是相邻的椎弓间切迹构成的骨性管道, 是一个三维结构, 呈漏斗型^[12], 由于解剖结构的复杂性, 颈椎间孔的准确测量具有一定的难度。目前有关颈椎间孔测量的报道多属于静态测量, 主要方法包括游标卡尺直接测量法、探针法、模型法、影像学测量等^[13-14]。采用游标卡尺或探针法在尸体标本上进行实体测量, 测量手段比较粗糙, 多为线性测量高度, 精度较差, 文献报道的结果相差较大。双斜位 X 射线摄片是临床上用于评估颈椎间孔是否狭窄及狭窄程度最常用的手段, 但颈椎间孔的显示受投照角度的影响较大^[15-17]。MRI 检查可以很好地显示椎间孔周围软组织和神经根的情况, 但对骨结构的显示不敏感, 可能会高估椎间孔的面积^[18-20]。CT 检查可以很好地显示椎间孔的大小以及判断骨性狭窄的原因, 采用三维 CT 重建技术可以通过切割方法, 多角度展现椎间孔的形状及其与相邻结构的解剖关系, 能较容易地断定病变的程度和范围, 提供更丰富的信息^[21]。但上述方法均不能实现动态的颈椎间孔测量。近年, 杨睿等^[22]提出了椎间孔多平面动态测量法, 即采用激光扫描三维重建、三维配准及模拟退变的方法实现颈椎间孔三维空间的动态分析, 但该实验未能实现基于椎间孔真实运动过程的动态测量和分析。回顾文献发现, 目前国内尚未见针对旋转手法前后颈椎间孔变化的文献报道。

3.2 虚拟现实互动技术的原理及其对于颈椎间孔测量的优势 为了实现颈椎旋提手法前后颈椎间孔变化的动态测量和分析, 此次项目采用了虚拟现实互动技术进行研究。虚拟现实技术是一种综合应用各种技术制造逼真的人工模拟环境, 并能有效模拟人在自然环境中各种感知系统行为的高级人机交互技术^[23-24]。简单的说, 虚拟现实就是一种可以创建和体验虚拟世界的计算机系统^[25]。虚拟现实技术有 3 个基本特征, 即想象、交互和沉浸。虚拟现实已经被人们公认为是 21 世纪重要发展学科以及影响人们生活的重要技术之一。在医学上, 虚拟现实技术主要用于虚拟人体 (解剖)、虚拟实验室和虚拟手术等^[26-28], 但尚未见采用该方法进行中医手法的研究。

根据虚拟现实技术的理论, 通过计算机图形方式建立实时的三维视觉效果可以进行颈椎间孔的测量和分析。但要实现在旋转手法作用前后颈椎间孔的动态测量需要解决 3 个

主要难点: 第一, 需要真实记录手法操作过程颈椎间孔的变化; 第二, 颈椎模型的三维重建; 第三, 虚拟与现实的三维配准。为了突破上述难点, 此次研究分别采用了运动捕捉技术、Mimics 三维重建技术及多模医学图像配准技术。运动捕捉技术是一项在国际上广泛应用的高新技术, 该项技术最大的优点在于实现了动态精确地三维空间运动测量。Mimics 是一套高度整合而且易用的 3D 图像生成及编辑处理软件, 具有将影像图片转化成三维实体的功能。Mimics 能输入 CT 扫描的数据, 建立 3D 模型进行编辑, 然后输出通用的计算机辅助设计、有限元分析, 快速成型格式, 实现大规模数据的计算机转换处理^[29]。医学图像配准技术是医学图像处理的一个重要分支, 就是实现人体上的同一解剖点在两张匹配图像上有相同的空间位置。常用的空间几何变换有刚体变换和非刚体变换两类, 其中非刚体变换又可分为仿射变换、投影变换和非线性变换 3 种^[30-31]。具体实现方法如下: 首先, 通过高精度的运动捕捉技术获取旋提手法操作过程颈椎结构 (标记于骨性结构的虚拟点) 的动态变化; 然后, 通过颈椎薄层三维 CT 扫描、Mimics 三维重建的方法实现基于真实颈椎三维结构的还原; 最后, 通过 Maya 软件对安放于颈椎标本骨性结构的标记点与运动捕捉数据中的虚拟点进行刚体交换, 实现断层扫描图像 (CT) 及时序图像 (运动捕捉数据) 的配准问题。采用该方法不仅实现了旋提手法操作过程中颈椎间孔结构变化的动态仿真, 还可以从不同角度根据不同目的进行空间结构的分析, 获取更丰富更全面的实验结果。

3.3 研究的局限性 鉴于研究只测量了 1 具颈椎标本的数值, 因此无法进行统计学分析。上述数据分析是根据数值大小以及数据间趋势进行推测, 有待扩大样本量后进一步验证。再者, 研究尚未对该实验方法的精度进行评价, 也有待进一步探讨。

3.4 实验结果分析及其临床意义 中立位牵引前的下颈椎颈椎间孔纵径在 0.449~1.032 cm 之间, 颈椎间孔面积在 0.131~0.502 cm^2 , 且颈椎间孔纵径及面积呈由上向下递减的趋势。观察此次研究中下颈椎标本的三维立体图像可见, 下颈椎间孔以近似椭圆型为主, 左侧 C_{5/6} 颈椎间孔面积最小, 呈细长型, 原因在于颈椎退变、椎体缘及钩椎关节周缘骨赘增生造成椎间孔的骨性狭窄。此次研究所获得的椎间孔数据与既往文献报道较为一致^[32], 提示此次研究方法用于测量颈椎间孔是可行的。

根据左侧 C_{5/6} 椎间孔结构变化可见, 在同一外力作用下颈椎间孔的纵径与面积变化并不一致, 纵径的增加并不一定伴随面积的增加。颈椎间孔面积的变化受到颈椎间孔纵径、横径以及运动方向等多因素的影响, 因此, 单纯分析椎间孔的纵径变化不能充分解释椎间孔结构变化的临床意义。

分析模拟 150 N 扳动力的旋提手法操作前后下颈椎间孔结构的变化可以发现, 旋提手法操作后双侧椎间孔的纵径及面积均有一定程度的增加, 其中对侧椎间孔的面积变化要大于同侧椎间孔, 提示旋提手法对颈椎间孔结构有一定的影响,

尤其对于对侧椎间孔的影响较大,可能有助于松解粘连的神经根,从而缓解神经根性刺激症状。模拟 50 N 扳动力旋提手法操作前后下颈椎间孔的纵径及面积变化均小于模拟 150 N 及模拟 250 N 扳动力旋提手法的数据,提示扳动力越小对于下颈椎间孔的影响也越小。但是比较模拟 150 N 扳动力旋提手法与模拟 250 N 扳动力旋提手法操作前后下颈椎间孔结构变化,并未发现“扳动力越大对下颈椎间孔的影响越大”的趋势,可能与软组织刚度随作用力增大而急剧增高有关。分析模拟 150 N 扳动力的旋提手法前后下颈椎间孔纵径数值变化时发现, $C_{6/7}$ 的变化最小,提示 $C_{6/7}$ 节段受到模拟 150 N 扳动力旋提手法的力学影响小于 $C_{4/5}$ 及 $C_{5/6}$ 节段,说明模拟 150 N 扳动力的旋提手法的作用力主要集中于 $C_{4/5}$ 及 $C_{5/6}$ 节段。

作者贡献: 实验设计为冯敏山、朱立国,实验操作为冯敏山、刘广伟、尹逊路,结果检测为刘广伟、尹逊路、陈焯贤,统计分析为冯敏山、刘广伟,质量控制为朱立国。

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: 该研究遵守国际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。

4 参考文献 References

- [1] 冯天笑,霍路遥,符碧峰,等.旋提手法治疗颈型颈椎病疗效观察[J].现代中西医结合杂志,2021,30(25):2754-2758+2768.
- [2] 王槐旌,王平,李嘉钰,等.旋提手法治疗颈椎病临床效果和安全性 Meta 分析[J].实用中医内科杂志,2021,35(9):29-33+152-153.
- [3] 韩芳苗,徐兆辉,张万标,等.定点旋转复位手法对神经根型颈椎病椎间孔面积的影响[J].中国中医骨伤科杂志,2021,29(8):54-57.
- [4] 宋超一,邵翠娟.神经根型颈椎病椎间孔狭窄特点及多层螺旋 CT(MSCT) 诊断价值[J].影像研究与医学应用,2021,5(7):207-208.
- [5] 孙小军.对颈椎病病人实施 X 线平片诊断效果分析[J].影像研究与医学应用,2021,5(4):105-106.
- [6] 高强,范磊,李晓彬,等.颈椎椎间孔外口区韧带的解剖学观测[J].中国临床解剖学杂志,2021,39(4):375-378.
- [7] 陈博来,许鸿智,赵卫东,等.现实虚拟互动技术对角度牵引治疗根型颈椎病研究[J].广州中医药大学学报,2012,29(2):127-132.
- [8] 谢扬,韩溟,陈泽锋,等.动态虚拟现实互动技术对手部运动功能检测的生物力学研究[J].现代医院,2011,11(10):6-7.
- [9] 梁栋,周红海,苏少亭,等.颈椎椎间孔狭窄因素及其动态变化情况的研究进展[J].中国中医骨伤科杂志,2017,25(7):76-79.

- [10] 刘陈平,陆娜,强金伟.神经根型颈椎病患者椎间孔狭窄的特点及原因[J].山东医药,2013,53(43):41-43.
- [11] 张明才,程英武,詹红生,等.神经根型颈椎病椎间孔狭窄因素的影像学分析[J].北京中医药大学学报,2009(3):199-203.
- [12] NGFUSA A, AN HS, LIM TH, et al. Anatomic changes of the spinal canal and intervertebral foramen associated. Spine (Phila Pa 1976). 1996; 21(21):2412-2420.
- [13] YOO JU, ZOU DW, EDWARDS WT. Effect of cervical motion on the neuroforaminal dimensions of human cervical spine. Spine (Phila Pa 1976). 1992;17(10):1131.
- [14] STEPHEN MM, EVAN JH, OBRIEN JP. Lumbar intervertebral foramens:an invitro study of their shape in relation to intervertebral disc pathology. Spine (Phila Pa 1976). 1991;16(15):525-529.
- [15] 李雷.X 线平片、CT 检查对颈椎病的诊断价值比较[J].中国实用医药,2021,16(23):81-83.
- [16] 孙彬.X 线平片和 CT 对颈椎病诊断的临床效果[J].影像研究与医学应用,2021,5(11):183-184.
- [17] 康哲华.X 线片 CT 及磁共振成像在颈椎病诊断中的对比分析[J].实用医学影像杂志,2021,22(2):193-195.
- [18] 徐伟善,程永远.颈椎多体位 MRI 对颈椎病的诊断价值分析[J].中国实用医药,2021,16(7):37-39.
- [19] 李建洲.X 线平片、CT、MRI 诊断颈椎病的临床应用研究价值[J].影像研究与医学应用,2021,5(4):169-170.
- [20] LU J, EBRAHEIM NA, HUNTOON M, et al. Cervical intervertebral disc space narrowing and size of intervertebral foramina. Clin Orthop Relat Res. 1999;370:259-264.
- [21] 喻忠,龚建平,桂鉴超,等.颈椎间孔三维 CT 测量的实验研究[J].中国脊柱脊髓杂志,2003,13(8):480-483.
- [22] 杨睿,黄霖,李卫平,等.激光扫描多平面动态测量下颈椎间高度退变后椎间孔的变化[J].中国临床解剖学杂志,2011,29(5):527-531+535.
- [23] 苏建明,张续红,胡庆夕.展望虚拟现实技术[J].计算机仿真,2004, 21(1):18-21.
- [24] 穆琳,裴昀,李叶,等.虚拟现实和增强现实技术在《医学影像学》教学中的研究与应用进展[J].中华医学教育探索杂志,2021, 20(9):947-950.
- [25] 张占龙,罗辞勇,何为.虚拟现实技术概述[J].计算机仿真,2005, 22(3):1-3+7.
- [26] 阿拉腾巴根,刘相辰.虚拟现实技术联合心理治疗对惊恐障碍患者疗效的影响[J].心理月刊,2021,16(24):52-53+78.
- [27] 袁宗毅,明华伟,张兴安,等.混合现实技术辅助股前外侧皮瓣穿支血管定位解剖的临床应用[J/OL].口腔疾病防治,2022,30(1):45-50.
- [28] 陶敏,朱红娟,吴春燕.虚拟现实技术在血液科 PICC 置管患者中的应用[J].齐鲁护理杂志,2021,27(18):66-67.
- [29] 赵峰,高勃,刘震侠.Dicom 标准和 Mimics 软件辅助建立下颌骨三维有限元模型[J].西南国防医药,2005,15(5):479-481.
- [30] 于颖,聂生东.医学图像配准技术及其研究进展[J].中国医学物理学杂志,2009,26(6):1485-1489.
- [31] 李雄飞,张存利,李鸿鹏,等.医学图像配准技术进展[J].计算机科学,2010,37(7):27-33.
- [32] 喻忠,龚建平,沈均康,等.正常成年人颈椎间孔的三维 CT 测量[J].实用骨科杂志,2002,8(6):468-471.

(责任编辑:GW, ZN, ZH)