

文章编号:1004-7220(2012)02-0166-05

双 X 线透视成像系统进行颈椎在体运动 研究方法学的探索

白剑强, 夏群, 苗军, 贺金亮, 刘恺
(天津市天津医院 脊柱外科, 天津 300211) 学

摘要: 目的 观察应用双 X 线透视成像系统在颈椎在体运动学研究中下颌骨对颈椎图像的干扰度, 探索颈椎在体运动学最佳位置的透视方法, 为颈椎在体运动学研究提供方法学的可行性论证。方法 应用双 X 线透视成像系统分别在两个 C 型臂夹角呈正交(90°)位、60°位及 45°位采集健康志愿者 5 名(男 4 名, 女 1 名)颈椎双平面 X 线图像, 包括中立位、前屈后伸位、左右旋转位、左右侧屈位, 比较各个不同位置时下颌骨对颈椎椎体图像的遮挡; 采用下颌骨对颈椎的干扰程度来作为评价的标准, 通过对各个不同位置时下颌骨对颈椎图像干扰程度的评分, 筛选最佳角度的透视方法。在做颈椎左右旋转运动透视时, 比较躯干固定-头颅旋转模式和头颅固定-躯干旋转模式下下颌骨对颈椎图像的干扰程度, 分别采集两种模式下的透视图像。结果 90°、60°和 45°位时中立位、前屈后伸位、左右侧屈位、左右旋位透视下颌骨对颈椎图像干扰度均存在显著性差异($P < 0.05$)。45°位在上述位置时干扰度最小。在相同角度 60°位, 躯干固定-头颅旋转组与头颅固定-躯干旋转组相比有显著性差异($P < 0.05$)。结论 颈椎在体运动学研究中应用双 X 线透视成像系统在交角 45°位时可以最大限度的减少下颌骨的阻挡, 坐位同轴躯干旋转代替头颅旋转可以减少下颌骨的干扰度, 基本满足双 X 线成像系统二维-三维图像的匹配条件。

关键词: 颈椎; 在体运动学; 双 X 线透视成像系统; 下颌骨; 干扰度

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

Dual fluoroscopic image study on *in vivo* kinematics of cervical spine

BAI Jian-qiang, XIA Qun, MIAO Jan, HE Jin-liang, LIU Kai (Department of Spine Surgery, Tianjin Hospital, Tianjin 300211, China)

Abstract; Objective To observe the obstacle of mandible to the cervical spine with the aid of dual fluoroscopic imaging system, explore the optimal perspective methods of *in vivo* kinematics of cervical spine, and verify the feasibility of cervical *in vivo* kinematic researches. **Methods** A dual fluoroscopic imaging system composed of two C-arms placed in different angles was utilized. X ray images of the cervical spine for five healthy volunteers (4 male, 1 female) with standing, flexion-extension, twisting and bending positions were obtained with the C-arms in the angle of 90°, 60° and 45°, respectively. The obstacles of mandible to the cervical spine in different positions were compared and the obstacle degree of mandible to the cervical spine was evaluated to screen the optimal perspective methods. The perspective images under conventional head rotation and coaxial trunk rotation were collected during cervical twisting to compare the obstacle of mandible to cervical images. **Results** There were significant differences in mandibular obstacle degrees among the three angles measured in standing, flexion-extension, twisting and bending positions ($P < 0.05$). With two C-arms in 45°, the cervical spine was best imaged with the least obstacle. With two C-arms in 60°, significant differences could be found between the coaxial trunk rotation and the head rotation group. **Conclusions** For *in vivo* kinematics study of cervical spine, the ob-

收稿日期:2012-03-12; 修回日期:2012-03-22

基金项目:天津市卫生局重点科技基金资助项目(2011KR15),天津市卫生局攻关项目(2011KG138)。

通讯作者:夏群, Tel: (022)28336343; E-mail: xiaqun6@163.com。

stacle of mandible to the cervical spine can be minimized with C-arms of dual fluoroscopic imaging system in 45°, and the coaxial trunk rotation can decrease the mandibular obstacle degrees as compared with the head rotation, which satisfy the requirement of 2D-3D image matching.

Key words: Cervical spine; *in vivo* kinematics; Dual fluoroscopic imaging system; Mandible; Obstacles degree

脊柱运动学的进展不仅对脊柱退变性疾病的病因学研究提供帮助,而且对脊柱退变性疾病的治疗和预防起指导作用。脊柱运动学研究方法包括体外研究和在体研究。体外研究主要是利用人和动物的尸体标本进行离体的生物力学测试^[1-2]。脊柱在体运动学研究相对于脊柱离体解剖标本的研究,能够反映出人体在正常神经、肌肉参与下各个椎体之间真实的相对运动变化情况,在研究人体脊柱在体运动特性方面具有不可替代的作用。目前国内外脊柱在体运动学研究主要采用双 X 线透视成像系统,它的精确度和可重复性已得到验证,在已知的测量方法中最为精确。相关腰椎运动学研究已有文献报道,包括方法学的建立^[3]及腰椎各个解剖部位间运动学特性的研究^[4-5]。而颈椎在体运动学研究鲜见报道,其中最重要的原因是用研究腰椎的方法做颈椎运动学透视时,由于下颌的骨骼阻挡,存在透视图像不清的问题,导致从二维到三维的图像匹配的精确性受到影响,使准确的测量无法进行。因此,如何获得最佳的颈椎双 X 线透视图像就成为研究必须突破的瓶颈,而该研究在国内外尚未见相关文献报道^[6-8]。

1 材料与方 法

1.1 研究对 象

招募 25 ~ 45 岁健康志愿者 5 名(男 4 名,女 1 名,平均年龄 34.3 岁,平均体重(68 ± 13) kg);均签署知情同意书,符合医学伦理审查委员会要求。

1.2 试 验 设 备

两台相同型号的“C”型臂透视机(Toshiba SXT-1000A 日本);CT 机(Sensation 16 Siemens 德国);Rhinoceos® (Robert McNeel & Associates, 美国)三维造模及计算软件;MATLAB 7.01 (MathWorks, 美国);以及用于校正 X 线图像的校准设备。

1.3 试 验 过 程

1.3.1 生理载荷条件下不同透视角度、体位时颈椎双 X 线透视图像的获取 两台“C”型臂 X 线透

视机组成双 X 线透视系统(dual fluoroscopic imaging system, DFIS),受试者颈椎活动时处于两台“C”型臂机的交叉投射范围之内。分别将两台“C”型臂按照投射夹角 90°、60°和 45°设置(见图 1);低于 45°夹角因两个发射源及两个接收器的相互距离太近无法实现设置,另外成像交点过于远离接收器,所获颈椎图像放大率太大无法完整包括全部颈椎,故双 X 线透视夹角不能低于 45°。首先采集 X 线校准设备图像,用以校正两台“C”型臂 X 线透视机的相对位置、角度及系统误差,保证这一系统的精确性。

受试者穿铅围裙,保护下体不受放射线照射。受试者采用正中矢状面与透视夹角的角平分线垂直的朝向(见图 1)。在双“C”臂 3 种角度位置下分别做前屈后伸、最大范围的左右旋转、最大范围的左右侧屈运动,由 DFIS 同步采集上述 7 个位置的瞬时 X 线透视图像,并将所得图像转化为 DICM 或 Bitmap 格式的文件导入计算机系统(见图 2)。

为避免下颌骨对图像的遮挡,在左右旋转运动时尝试比较躯干固定头颅旋转模式和头颅固定躯干旋转模式,分别采集两种模式下的透视图像,并将所得图像转化为 DICM 或 Bitmap 格式的文件导入计算机系统。

1.3.2 在计算机辅助下再现人体生理载荷下颈椎三维运动状态 通过高分辨率的 CT 扫描获得在仰卧位横断面下的颈椎模型(影像厚 0.625 mm,间隔 0.625 mm,分辨率 512 × 512 像素)。把颈椎的 CT 像输入 Rhinoceos 软件绘制该节段的三维解剖学模型。根据影像明暗度用 B 样曲线将椎体轮廓数字化,将这些线在空间内进行拟合,椎体表面 match 处理,创建出该节段的三维网状模型。在三维图像处理软件支持下,模拟 DFIS 透视环境。调整受试者每一节段颈椎 CT 三维重建模型的空间位置,按照颈椎解剖结构特点使其投射影像分别与两个平面颈椎 X 线透视影像完全匹配,即实现二维 - 三维图像的匹配,从而再现生理载荷条件下人体各种运动体位时颈椎的真实运动状态^[9](见图 3)。

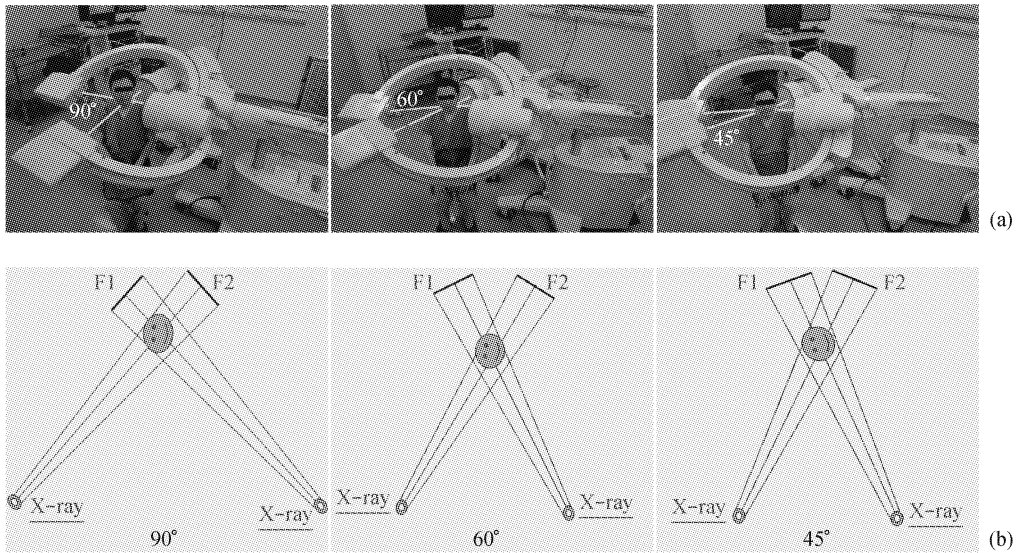


图1 双X线透视机实际位置(a)及其成角示意图(b) (F1、F2分别代表两台“C”型臂编号)
Fig.1 Position of dual orthogonal fluoroscopic imaging system (a) and schematic diagram of angles (b)

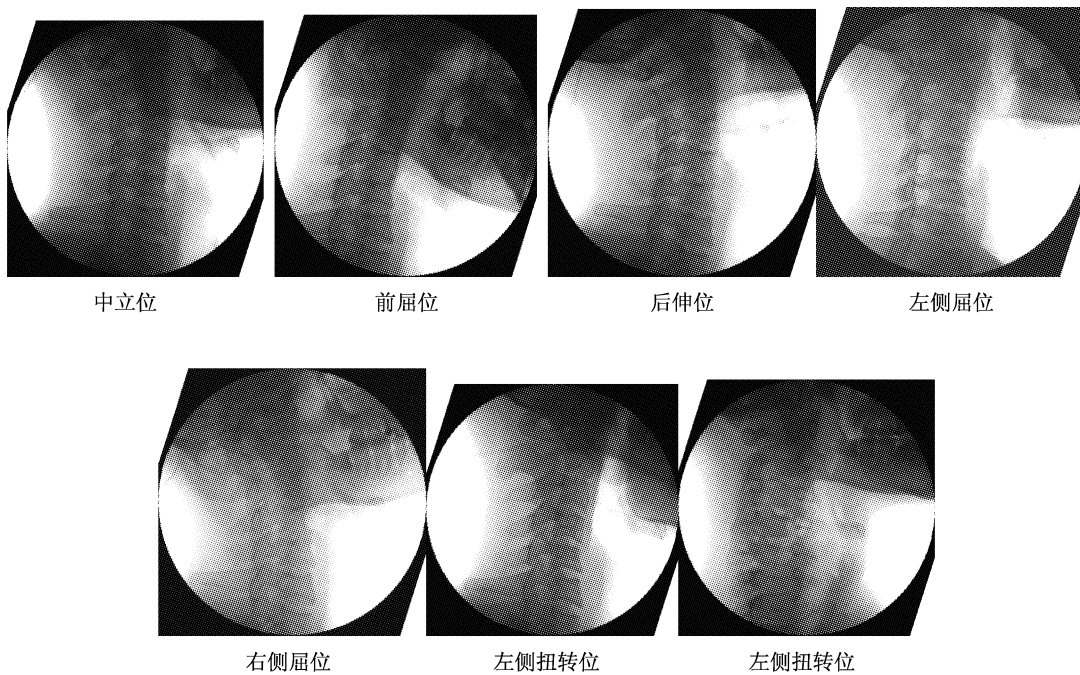


图2 双X线透视机成45°位时所获图像(以F2为例)
Fig.2 Images obtained when two C-arms of DFIS placed in 45°

1.3.3 比较各个不同位置时下颌骨对图像的遮挡, 筛选最佳的透视方法 采用下颌角对颈椎的干扰度来作为评价标准(见表1), 将颈椎在影像学上分为

3等份, 下颌角对颈椎的干扰度可以分为完全遮挡为0分, $\geq 2/3$ 为1分, $2/3 \sim 1/3$ 为2分, $\leq 1/3$ 为3分, 不遮挡为4分。由两名高年资影像科医生分别

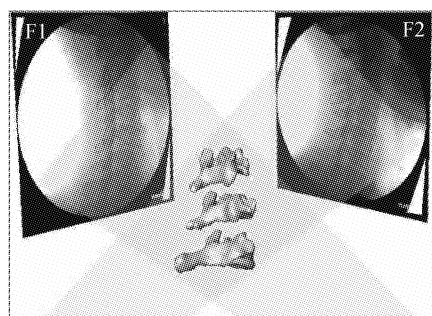


图3 颈椎二维到三维模型匹配(F1、F2为同时获取的透视背景图)
Fig.3 2D-3D image matching of the cervical spine model

依据标准进行独立判断,对 90°、60°和 45°成角站立位;前屈、后伸位;左、右旋转和左、右侧屈位双 X 线图像下颌角对颈椎的干扰进行评分,将两位医生每一项评价分值进行平均,得出最终的评分。比较躯干固定-头颅旋转模式和头颅固定-躯干旋转模式下两者获得的透视图像在下颌角对颈椎干扰度的差别(见图 4)。

表 1 下颌角对颈椎的干扰度的评价标准

Tab.1 Evaluation criterion in mandibular obstacle degrees to the cervical spine

完全遮挡	≥2/3	2/3 ~ 1/3	≤1/3	不遮挡
干扰度	0	1	2	3

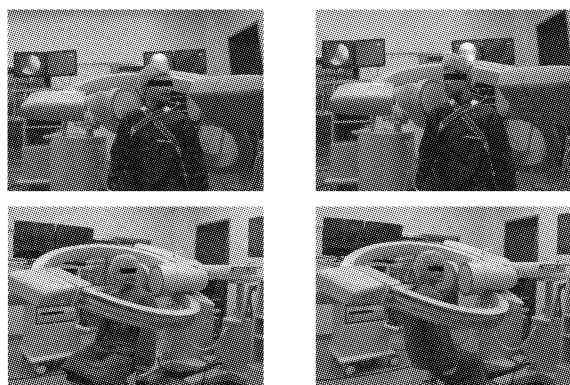


图 4 传统的躯干固定-头颅旋转模式和改良后的头颅固定-躯干旋转模式

Fig.4 Conventional trunk-head rotation and improved coaxial trunk rotation model

1.4 统计学处理

采用 SPSS 13.0 统计学软件,对于所得数据采用单因素方差分析, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

在双 X 线透视成像系统中 45°、60°和 90°透视所获得图像,三者的下颌角对颈椎的干扰度相互比较均存在显著性差异($P < 0.05$,见表 2)。在站立位 F1 各组之间均有显著性差异,45°组与 60°组相比($P = 0.041$),60°组与 90°组相比($P = 0.013$),45°组与 90°组相比有显著性差异($P = 0.001$);同样在后伸位,左右扭转位三者相比均有显著性差异($P < 0.05$),在左右侧屈位 F1 中 45°组与 60°组相比两者无显著性差异($P = 0.46$),90°组与 45°及 60°组相比有显著性差异($P < 0.05$)。在双 X 线透视成像系统 3 种夹角下,躯干旋转-头颅固定组与躯干固定-头颅旋转组相比有显著性差异($P < 0.05$)。

表 2 不同透视角度下颌角对颈椎干扰度总评分($\bar{x} \pm s$, $n=5$)

Tab.2 Total scores on valuating mandibular obstacle degrees to the cervical spine

	F1	F2
45°	22.67 ± 2.17	22.67 ± 1.57
60°	17.33 ± 2.31	16.67 ± 2.31
90°	9.33 ± 2.30	10.67 ± 1.15

F1、F2 分别代表两台“C”型臂编号

3 讨论

脊柱在体运动学研究中关于腰椎的研究已有报道^[3-5,14,16]。这些研究为解释腰椎退变性疾病的发生、发展和变化,以及指导治疗提供参考数据。然而颈椎在体运动学研究在国内文献报道罕见^[6-8]。本实验研究显示颈椎双 X 线透视不同的投照角度,45°、60°、90°位投照均能清晰地显示下颈椎的结构,而上位颈椎受到下颌骨骨骼的阻挡影响成像的清晰度,只能局限于下位颈椎二维到三维的图像精确匹配,而无法完成上位颈椎的精确匹配,导致无法完整采集颈椎在体运动学数据。因此,如何获得最佳的颈椎双 X 线透视图像(即干扰度最小的图像)就成为研究必须突破的瓶颈^[10-12]。本文尝试采用不同的双 X 线透视角度、受试者不同的朝向以及躯干旋转替代头颅旋转来达到最大限度地减少下颌骨的干扰度。

在进行颈椎在体运动学检测的过程中,开始延续

腰椎透视正交 90° 位的透视方法,采集志愿者 7 个方向上的运动,所获图像在进行后期的二维到三维的匹配过程中发现因为下颌骨的阻挡无法实现精确匹配,下颌骨对图像的干扰度较大,最低甚至达到颈 4、5 水平。Anderst 等^[13]在颈椎在体测量时直接采用双 X 线相互成角 55° 来进行测量颈椎前屈后伸,成角 90° 位加正位仰角 15° 测量颈椎旋转,未涉及颈椎侧屈;所获得图像背景下颌骨阻挡明显,但作者并未提及如何减少下颌骨的阻挡问题。本试验通过对双 X 线相交成 90°、60° 和 45° 位时受试者颈椎处于中立位、前屈后伸位、左右侧屈位、左右旋位透视干扰度的比较,45° 位与各组比较均有显著性差异,在上述位置时干扰度最小,90° 位最大。45° 位成角基本可以满足图像进行二维 - 三维图像的匹配条件。在颈椎运动的 7 个位置中左右侧屈位 45° 组与 60° 组相比两者无显著性差异,说明在下颌骨侧屈过程中对颈椎的干扰度并未因增加 15° 而产生变化,但两者与 90° 组比较都有显著性差异。

本试验同时发现,低于 45° 以下因 2 个发射源及 2 个接收器的相互距离太近无法摆放 C 臂;成像交点过于远离接收器,所获颈椎图像放大率太大无法完整包括全部颈椎,故双 X 线透视成角低于 45° 无法实现。当双 X 线透视成角为 0° 时,所获得双 X 线图像背景是完全相同的,达不到双 X 线图像匹配的目的;而在 90° 位时获得双 X 线图像背景彼此相差最大,匹配的效果最好。结合下颌骨对颈椎的干扰度从 0° ~ 90° 位逐渐增大的特点,本研究结果显示在 45° 位是颈椎在体运动最佳的双 X 线成像角度,兼顾了图像清晰度和匹配效果。

在腰椎的在体运动学测试中受试者的正中矢状面与透视双 C 臂夹角的角平分线(见图 1)是重合的,这样可以减少双侧髂骨的阻挡,在颈椎的在体运动测试中首先也采用这样的朝向,随着双 X 线夹角逐渐减少,下颌骨在颈椎上的投影也越来越多,阻挡也越来越大。在试验中尝试采用受试者的正中矢状面与透视夹角的角平分线垂直的朝向,发现随着双 X 线夹角逐渐减少,下颌骨在颈椎上的投影也越来越少,阻挡也越来越小。

在测量颈椎左右旋转运动透视时,传统方法是躯干固定受试者最大限度的旋转头颅来完成^[14],在旋转头颅的时候下颌骨随之相应旋转,使其对上颈

椎的干扰度增加。为了避免头颅旋转所带来的下颌骨对透视清晰度的干扰,本文创造性地采用坐位同轴躯干旋转代替头颅旋转来实现颈椎旋转动作。这样可以保持下颌骨在透视成像中的位置基本不变(即保持下颌骨干扰度最小的位置),通过同轴躯干旋转达到了颈椎旋转的目的,通过两种方法的比较,发现躯干旋转-头颅固定组与躯干固定-头颅旋转组相比明显减少了下颌骨对颈椎图像的干扰度。

通过试验,本研究得到了颈椎在体运动测试中双 X 线透视系统成像的最佳角度为 45° 位及受试者最佳体位,结合二维到三维的图像匹配技术可为开展颈椎在体研究打下基础。

参考文献:

- [1] Panjabi MM, Duranceau JS, Oxland TR, *et al.* Multidirectional instabilities of traumatic cervical spine injuries in a porcine model [J]. *Spine*, 1989, 14(10): 1111-1115.
- [2] 季伟,王向阳,徐华梓,等. 脊柱三维运动测试实验装置的研制[J]. *医用生物力学*, 2011, 26(5): 454-459.
Ji W, Wang XY, Xu HZ, *et al.* Development of an experimental device for measuring three-dimensional movement of the spine [J]. *J Med Biomech*, 2011, 26(5): 454-459.
- [3] Wang S, Passias P, Li G, *et al.* Measurement of vertebral kinematics using noninvasive image matching method-validation and application [J]. *Spine*, 2008, 33(11): E355-361.
- [4] Xia Q, Wang S, Passias P, *et al.* In vivo range of motion of the lumbar spinous processes [J]. *Eur Spine J*, 2009, 18(9): 1355-1362.
- [5] Xia Q, Wang S, Kozanek M, *et al.* In-vivo motion characteristics of lumbar vertebrae in sagittal and transverse planes [J]. *J Biomech*, 2010, 43(10): 1905-1909.
- [6] Tashman S, Anderst W. In vivo measurement of dynamic joint motion using high-speed biplane radiography and CT: Application to canine ACL deficiency [J]. *J Biomech Eng*, 2003, 125(2): 238-245.
- [7] Ishii T, Mukai Y, Hosono N, *et al.* Kinematics of the cervical spine in lateral bending: in vivo three-dimensional analysis [J]. *Spine*, 2006, 31(2): 155-160.
- [8] Reitman CA, Hipp JA, Nguyen L, *et al.* Changes in segmental intervertebral motion adjacent to cervical arthrodesis: A prospective study [J]. *Spine*, 2004, 29(11): E221-226.

(下转第 206 页)