

坐位下腰椎前屈后伸时轴向载荷对 下腰椎在体运动的影响

寇博文^{1,2}, 张泽佩¹, 刘健超^{1,3}, 徐瀚鹏^{1,3}, 吴金成^{1,3}, 兰杰¹, 苗军¹

(1 天津市天津医院脊柱外科 300211 天津市; 2 武汉市第四医院骨科 430030 武汉市;

3 天津医科大学 300000 天津市)

【摘要】目的:研究坐位下轴向载荷对腰椎前屈后伸时下腰椎节段运动的影响。**方法:**招募 10 名志愿者进行研究,其中男性 5 例,女性 5 例,年龄 31(26,34)岁,体质指数(body mass index,BMI)22.5(22.0,23.4)kg/m²。用 CT 扫描获取受试者仰卧位时 L3~S 椎体的影像并进行三维重建。在双透视成像系统中采集受试者坐位 L3~S1 在中立、最大前屈及最大后伸姿势时的瞬时影像。在 Rhinoceros 软件环境中将不同坐位姿势的瞬时影像与三维模型配准。测量由仰卧位变化为中立坐位时椎体的相对位移距离和相对旋转角度;在生理条件下和额外轴向载荷(背负 10kg 特制背心)的坐位下,比较两种状态下最大前屈到最大后伸运动中椎体的活动度(range of motion,ROM),由中立坐位到最大前屈、后伸坐位姿势时腰椎活动度的差异。**结果:**生理坐位下,由仰卧位变成中立坐位,L5 相对于 S1 向背侧位移 1.4 (0.6,2.4)mm,前屈旋转 11.4°(10.2°,17.9°),L3/4、L4/5 在矢状面上旋转 0.8°(-2.1°,3.8°)、4.4°(-1.0°,8.9°),旋转幅度较 L5/S1 无显著性差异($P>0.05$);在前屈后伸过程中,L3~S1 各节段在左右方向位移分别为 2.0(1.6,2.5)mm、1.8(1.0,2.4)mm、5.9(3.7,6.4)mm;近远端方向位移分别为 1.0(0.7,1.2)mm、0.7(0.6,1.3)mm、3.3(1.7,4.0)mm,L5/S1 在左右方向及近远端方向的位移较 L3/4、L4/5 有显著性差异($P<0.05$);在由中立坐位到最大后伸坐位运动过程中,L3~S1 各节段在左右方向上的位移分别为 0.7(0.3,1.4)mm、0.5 (0.3,0.6)mm、2.6 (1.3,3.8)mm;在矢状面上的旋转角度分别为 4.2°(1.1°,5.6°)、2.2°(1.4°,3.3°)、9.5°(4.6°,12.2°)。加载额外轴向载荷后,与生理坐位相比,由仰卧位变成中立坐位,L5/S1 在矢状面上旋转减小 1.2°、在头尾方向上压缩 1.5mm;前屈后伸运动中,L5/S1 在前后、左右及近远端方向的位移分别减少 2.8、4.1、1.3mm;中立到最大后伸坐位运动过程中,L5/S1 的旋转范围减小 6.1°($P=0.038$)。**结论:**由仰卧位转换为中立坐位,下腰椎偏向前屈位置。生理坐位前屈后伸运动中,L5/S1 有较大的活动度。伴随着额外轴向载荷的加载,L5/S1 活动度减少。相比较于 L5/S1,有或无加载额外轴向载荷对 L3/4、L4/5 在坐位前屈后伸中运动学参数影响较小。

【关键词】腰椎;椎间运动;坐位;在体运动

doi:10.3969/j.issn.1004-406X.2022.07.07

中图分类号:R318.01 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2022)-07-0631-08

Biomechanics analysis of the effect of axial loading on the in vivo movement of the lower lumbar spine during flexion and extension in sitting position/KOU Bowen, ZHANG Zepei, LIU Jianchao, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2022, 32(7): 631-638

【Abstract】 Objectives: To study the the effect of axial loading on the motion characteristics of the lumbar spine during flexion and extension in the sitting position. **Methods:** Ten subjects were included in the study, five males and five females, aged 31(26, 34) years, with a body mass index(BMI) of 22.5(22.0, 23.4)kg/m². CT images of the L3-S vertebrae in the supine position were acquired and 3D reconstructed. Transient images of the L3-S1 segments in upright, maximum flexion and extension sitting positions were acquired in dual fluoroscopic imaging system (DFIS). The images were aligned with the 3D model in the Rhinoceros software environment. Relative displacement distances and relative rotation angles of vertebrae from supine to upright sit-

第一作者简介:男(1996-),硕士研究生,研究方向:脊柱外科

电话:(027)83353591 E-mail:bowiekou222@163.com

通讯作者:苗军 E-mail:mj6688@163.com

ting position were measured. Range of motion(ROMs) of the vertebrae from maximum flexion to maximum extension in sitting position under physiological conditions and additional axial load(bearing a 10kg special vest) were measured and compared. And the differences in lumbar ROMs from upright sitting to maximum flexion and maximum extension sitting positions were compared. **Results:** In the physiological sitting position, from supine to upright sitting position, L5 displaced 1.4 (0.6, 2.4)mm dorsally relative to S1, and rotated 11.4° (10.2°, 17.9°) in flexion and L3/4 and L4/5 rotated 0.8°(-2.1°, 3.8°) and 4.4°(-1.0°, 8.9°) in the sagittal plane. The rotation magnitudes of L3/4 and L4/5 were with no significant difference from L5/S1($P>0.05$). During anterior flexion and posterior extension, the displacement of each segment of L3-S1 in the left-right direction was 2.0(1.6, 2.5)mm, 1.8(1.0, 2.4)mm, and 5.9(3.7, 6.4)mm, respectively; the displacement in the proximal and distal directions was 1.0(0.7, 1.2)mm, 0.7(0.6, 1.3) mm, 3.3(1.7, 4.0)mm, and the displacements of L5/S1 in the left-right and proximal-distal directions were significantly different from those of L3/4 and L4/5 ($P<0.05$); during the movement from neutral sitting to maximum posterior extension sitting, the displacements of each segment of L3-S1 in the left-right direction were 0.7(0.3, 1.4)mm, 0.5(0.3, 0.6)mm, 2.6(1.3, 3.8)mm; the rotation degrees in the sagittal plane were 4.2°(1.1°, 5.6°), 2.2°(1.4°, 3.3°), and 9.5°(4.6°, 12.2°), respectively. Comparing with physiological sitting position, after additional axial loading, the rotation of L5/S1 in the sagittal plane decreased by 1.2° and cranial-caudal direction compressed by 1.5 mm from supine to upright sitting; during flexion and extension, the displacements of L5/S1 reduced by 2.8, 4.1, and 1.3mm at anterior-posterior, left-right, and proximal-distal directions respectively; from upright sitting to maximum extension sitting, the rotation ranges of L5/S1 reduced by 6.1°($P=0.038$). **Conclusions:** Converting from supine to neutral sitting position, the lower lumbar spine tends to be the forward flexion position. There is a greater mobility of L5/S1 in physiological sitting forward flexion and back extension motion. With additional axial loading, L5/S1 mobility decreases. Comparing with L5/S1, the effects on kinematic parameters of additional axial loading on L3/4 and L4/5 during flexion and extension motion in sitting position are less.

[Key words] Lumbar spine; Intervertebral motion; Sitting position; In-vivo movement

[Author's address] Department of Spine Surgery, Tianjin Hospital of Tianjin University, Tianjin, 300211, China

由于现代生活方式的改变,从事坐位办公的人员越来越多,且坐位工作的时间大大增加,与之伴随的是腰椎退变性疾病发生率增加并逐渐年轻化^[1]。与站立位和卧位姿势相比,坐位时椎间盘内压力、应变更大,更易加速椎间盘的退变^[2]。椎间盘退变是腰背部疼痛、腰椎间盘突出症、腰椎滑脱等疾病的病理原因,最常发生在 L4/5 和 L5/S1 节段^[3]。在不同姿势中和静态轴向负荷过载下的运动学改变,可能是导致椎间盘退变的生物力学因素^[4-6]。对椎间盘加载周期性的前屈负荷会诱发纤维环的扭曲,加速椎间盘的退变^[7]。后伸姿势下的坐姿普遍被认为是更好的坐姿,有助于分散椎间盘的应力分布,缓解腰背部疼痛^[8]。由于研究手段所限制,以往对腰椎在不同姿势下运动学的研究对象大多是卧位或站立位^[9,10]。而坐位前屈后伸运动和轴向负载对易发生退变节段的下位腰椎的运动学改变,以及对相应节段椎间盘的影响并不清楚。本研究采用双透视成像系统(dural fluoroscopic image system,DFIS)结合 CT,探讨轴向

载荷对坐位时 L3~S1 椎体前屈后伸运动的影响。

1 资料与方法

1.1 研究对象

本研究共招募 10 名志愿者。纳入标准:(1)脊柱无畸形,腰部活动度可,腰椎活动度在正常范围;(2)既往无腰痛、腰部扭伤、外伤等病史;(3)体质指数 (body mass index,BMI) 处于正常范围;(4)椎间盘退变 Pfirrmann 分级 $\leq$ II 级。排除标准:(1)腰椎退行性病变,如:椎间盘突出或膨出、腰椎管狭窄;(2)脊柱侧凸患者;(3)脊柱既往手术史患者;(4)下肢肌肉骨骼病变患者;(5)其他可能影响到实验结果的疾病患者等。

男性 5 名,女性 5 名,年龄 31(26,34)岁,BMI 22.5(22.0,23.4)kg/m²。本研究得到了天津医院研究伦理委员会的伦理许可,所有受试者在开始研究前都签署了知情同意书。

1.2 腰椎三维模型的重建

所有受试者在仰卧位用 CT(Siemens, Ger-

many)扫描 L3~S 节段,参数为 $0.4 \times 0.4 \times 0.625 \text{ mm}$ 。将获得的腰部扫描数据导入 MIMICS (version 19.0, Materialise Inc., Leuven, Belgium)进行重建。骨性阈值区间为 245~1520,以便更好地将周围的软组织与腰椎分开,得到重建的腰椎(L3~S)三维图像(图 1)。

1.3 坐位前屈后伸中腰椎实时运动的采集

受试者坐在可调节高度的椅子上,双脚分开与肩同宽,小腿垂直于地面,大腿与地面平行,双臂垂于胸前,双手握拳置于颈部两侧,在整个实验过程中保持这一姿势。两台 C 型臂荧光透视机(Phillips, German)的位置相互交叉,但有一定距离,以避免因 X 射线的衍射而造成图像干扰。可调节高度的座椅放在接收器附近。受试者在生理载荷和负重载荷(10kg 特制背心负重)下分别进行测试。最大限度地模拟日常生活,让受试者进行坐位最大前屈后伸运动,运动幅度在个人承受最大限度。在坐位最大前屈(maximal forward flexion sitting, MFFS)、坐位中立、坐位最大后伸(maximal posterior extension sitting, MPES)运动姿态下(图 2)。要求受试者保持 2 秒,并分别获得两张瞬时腰椎荧光影像。两台 C 型臂所获取图像以 1/30s 的恒定时间差同步进行,以避免同时曝光引起“康普顿散射”^[11]。

1.4 软件环境中腰椎运动状态的重现

根据 Li 等的方法,在 Rhinoceros (Robert McNeel & Associates, Seattle, Washington)软件中

根据 C 型臂荧光透视机的球管及影像增强器的位置,模拟两对发射源和接收器平面^[9]。然后,三维重建的腰椎模型以及由 C 型臂荧光透视机获得坐位运动过程中腰椎的透视影像被同时导入软件中。最后,在软件中根据两张透视影像中腰椎像素值与周围软组织的差异来描绘腰椎边缘,同时在软件内使用平移和旋转命令改变三维腰椎的位置,使三维模型的边缘与描绘的腰椎边缘相吻合。通过这种方法,可以再现腰椎运动的具体情况(图 3、4)。

1.5 建立坐标系

建立笛卡尔右手三维坐标系,选择每个椎体上、下终板的几何中心为坐标系原点,X 轴由右侧指向左侧,代表左右方向,Y 轴由腹侧指向背侧,代表前后方向,Z 轴由尾部指向头侧,代表近远端方向(图 5)。

1.6 椎体间运动学参数的测量

以下位椎体为参照物,通过测量上位椎体坐标相对下位椎体坐标的运动,计算出椎体间的相对位移和相对旋转角度。获得下列运动学参数:(1)由仰卧位变为中立坐位(生理载荷下和负重载荷下)时,各椎体间的相对位移距离和相对旋转角度;(2)在坐位(生理载荷下和负重载荷下)前屈-后伸运动过程中,椎体的位移和旋转活动度;(3)将坐位前屈-后伸运动分解为由中立坐位到最大前屈坐位,以及由中立坐位到最大后伸坐位两个亚运动过程,测量各亚运动过程中腰椎的位

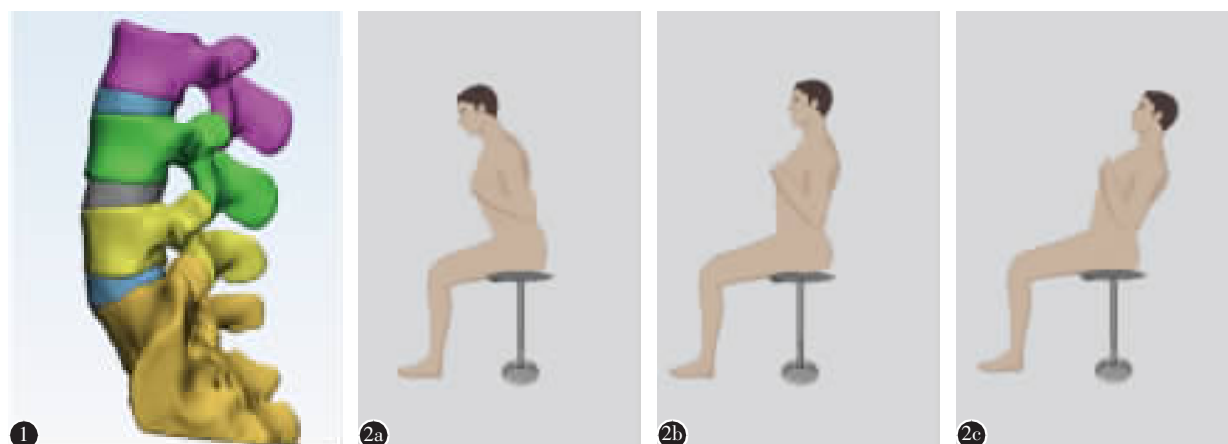


图 1 MIMICS 软件环境下基于 CT 成像技术的 L3-S1 的三维重建 图 2 a 受试者保持身体稳定,进行坐位前屈后伸运动,该姿势处于最大前屈坐位 b 受试者处于中立坐位 c 受试者处于最大后伸坐位

Figure 1 3D reconstruction of L3-S1 based on CT imaging technology in MIMICS software environment **Figure 2** a The subject in the maximum flexion sitting position while keeping body stability b The subject in upright sitting position c The subject in the maximum extension sitting position

移和旋转活动度。

1.7 统计学分析

统计分析在 SPSS (International Business Machines Corp.) 软件环境下进行, 测量参数是以无轴向负荷的仰卧位作为参考, 生理条件及加载额外轴向载荷条件时坐位前屈后伸运动中腰椎的 6 自由度 (6 degrees of freedom, 6-DOF), 以及由中立位分别进行前屈, 后伸运动时腰椎的活动度 (range of motion, ROM)。所有结果均以中位数和四分位数“P50 (P25, P75)”表示。通过 Kruskal-Wallis 检验比较两种负重不同姿势下的腰椎的 DOF 及由中立位到不同坐位姿势时的 ROM。检验水准为 $P < 0.05$ 。

2 结果

2.1 由仰卧位变换为中立坐位

从仰卧位变换为中立坐位, 在生理载荷下, 姿势的改变对 L3/4 及 L4/5 影响较小, 对 L5/S1 有较大的影响, 尤其在前后方向上位移和矢状面旋转

角度大于 L3/4、L4/5 节段。额外轴向载荷的加载主要作用于 L5/S1 节段, 其增大了 L5/S1 椎间盘的轴向的压缩, 减小了前后方向的平移及矢状面上的旋转。加载额外轴向载荷后 L5~S1 在前后方向上位移较生理载荷下位移减小 1mm; 在矢状面上旋转较生理载荷下旋转减小 1.2° ; 而在近远端方向上位移较生理时压缩 1.5mm。统计学差异不显著 (表 1)。

2.2 坐位时腰椎前屈后伸运动的活动度

生理坐位时进行前屈后伸运动, L5/S1 节段在三个方向上的位移均大于 L3/4、L4/5, 尤其在左右方向上 L5/S1 位移显著大于 L3/4、L4/5 ($P = 0.037$); 在近远端方向上 L5/S1 位移显著大于 L3/4、L4/5 ($P = 0.045$)。与生理载荷相比, 额外轴向载荷的加载减小了 L5/S1 节段在三个方向上的位移, 在前后、左右、近远端方向上较生理坐位的位移分别减小 2.8、4.1、1.3mm (表 2)。

我们将坐位前屈后伸运动分解为由中立坐位到最大前屈坐位, 以及由中立坐位到最大后伸坐

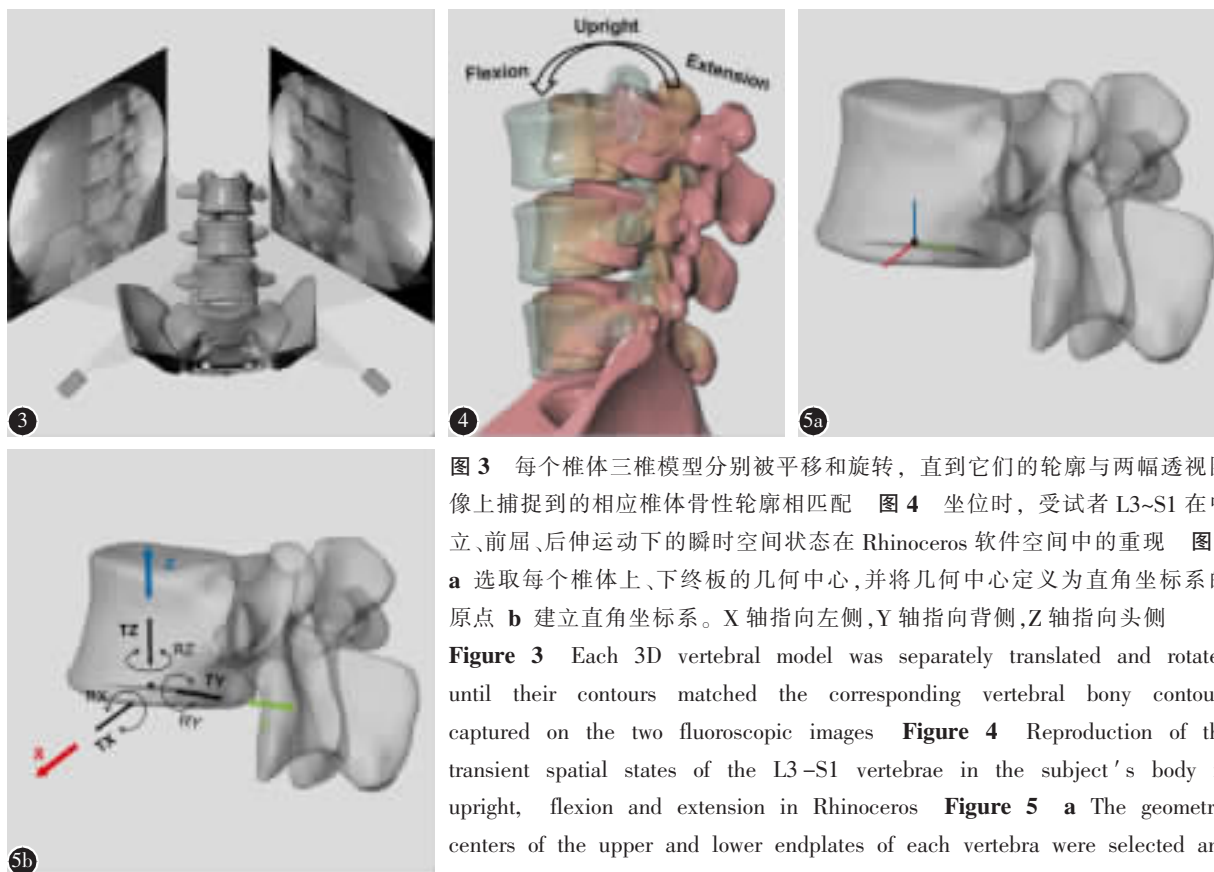


图 3 每个椎体三维模型分别被平移和旋转, 直到它们的轮廓与两幅透视图像上捕捉到的相应椎体骨性轮廓相匹配 图 4 坐位时, 受试者 L3~S1 在中立、前屈、后伸运动下的瞬时空间状态在 Rhinoceros 软件空间中的重现 图 5 a 选取每个椎体上、下终板的几何中心, 并将几何中心定义为直角坐标系的原点 b 建立直角坐标系。X 轴指向左侧, Y 轴指向背侧, Z 轴指向头侧

Figure 3 Each 3D vertebral model was separately translated and rotated until their contours matched the corresponding vertebral bony contours captured on the two fluoroscopic images Figure 4 Reproduction of the transient spatial states of the L3-S1 vertebrae in the subject's body in upright, flexion and extension in Rhinoceros Figure 5 a The geometric centers of the upper and lower endplates of each vertebra were selected and defined as the origin of the right-angle coordinate system b A coordinate system was established, with X-axis pointing to the left, Y-axis pointing to the dorsal side, and Z-axis pointing to the cephalic side

位两个亚运动过程。生理及加载额外轴向载荷坐位下两个亚运动过程中腰椎的活动度见表 3。生理情况下,中立坐位到最大后伸坐位的过程中,L5/S1 较 L4/5 在左右方向位移及矢状面旋转角度上分别增大 2.1mm($P=0.039$)、 7.3° ($P=0.007$)。然而,在加载额外轴向载荷后,中立到最大后伸坐位下,L5/S1 的旋转范围较生理运动范围减小 6.1° ($P=0.038$)。进一步,我们对比了最大前屈-中立和 中立-最大后伸两个过程中腰椎活动度的差异,从中发现,生理坐位下,在前后方向上 L3/4 的位

移在前屈过程较后伸过程大 0.7mm($P=0.001$);在矢状面上 L3/4、L4/5 前屈过程的旋转角度均大于后伸过程,而 L5/S1 在前屈过程中的旋转角度较后伸过程小 6.9° ($P=0.017$)。当处于额外轴向载荷下进行中立坐位到前屈、后伸运动过程中,在前后方向上 L4/5 前屈过程中位移较后伸过程减小 0.9mm ($P=0.048$),L3/4 前屈较后伸范围旋转小 2.1° ;L5/S1 在前屈过程中的位移距离和旋转角度均略大于后伸过程。

表 1 由仰卧位变化为坐位时各腰椎节段的位移和旋转

[P50(P25,P75)]

Table 1 Displacement and rotation of each lumbar segment changing from supine to sitting position

	生理载荷坐位 Sitting under physiological load			额外轴向载荷坐位 Sitting under additional axial load		
	L3/4	L4/5	L5/S1	L3/4	L4/5	L5/S1
位移(mm) Displacement						
前后方向 Anterior-posterior	0.4(0.1,0.6)	-0.3(-0.8,0.5)	1.4(0.6,2.4)	0.4(0.1,0.6)	-0.4(-1.5,0.2)	0.4(0.1,1.1)
左右方向 Left-right	-0.2(-0.6,0.3)	-1.9(-2.3,-0.6)	-1.3(-3.1,-0.9)	-0.9(-1.8,-0.7)	-1.5(-3.3,-0.2)	-1.7(-3.4,-0.2)
近远端方向 Proximal-distal	-0.8(-0.8,-0.6)	-0.4(-0.9,-0.2)	-0.2(-2.2,0.3)	-0.6(-0.8,-0.4)	-1.0(-1.3,-0.4)	-1.7(-2.1,0)
旋转($^{\circ}$) Rotation						
矢状面屈伸 Flexion-extension	0.8(-0.9,3.0)	4.4(-1.0,8.9)	11.4(10.2,17.9)	3.0(1.1,3.2)	3.8(-2.8,11.4)	10.2(7.8,12.4)
冠状面左右弯 Left-right bending	-0.2(-1.0,2.1)	1.2(-3.1,3.1)	-0.2(-0.8,1.0)	-0.7(-1.9,2.9)	0(-3.0,1.8)	-0.4(-1.6,2.4)
水平面左右旋 Left-right twisting	0.4(-0.5,1.4)	0.2(-2.7,0.6)	0.4(-0.1,2.0)	-0.4(-0.8,0.5)	-1.1(-3.6,0.9)	0.4(-0.7,0.6)

表 2 生理载荷和额外轴向载荷时坐位前屈后伸运动时各节段腰椎的活动度

[P50(P25,P75)]

Table 2 ROM of each segment of L3-S1 during anterior flexion and extension movements in sitting position under physiological and additional axial loads

	生理载荷坐位 Sitting under physiological load			额外轴向载荷坐位 Sitting under additional axial load		
	L3/4	L4/5	L5/S1	L3/4	L4/5	L5/S1
位移(mm) Displacement						
前后方向 Anterior-posterior	1.5(1.1,1.8)	1.8(0.7,2.0)	3.9(1.9,5.0)	1.5(0.5,1.9)	1.8(1.6,2.5)	1.1(0.8,2.7)
左右方向 Left-right	2.0(1.6,2.5)	1.8(1,2.4)	5.9(3.7,6.4) ^①	3.0(2.4,4.1)	1.7(1.6,2.2)	1.8(0.8,4.4)
近远端方向 Proximal-distal	1.0(0.7,1.2)	0.7(0.6,1.3)	3.3(1.7,4.0) ^①	1.0(0.8,1.5)	1.4(1.0,1.4)	2.0(0.6,2.8)
旋转($^{\circ}$) Rotation						
矢状面屈伸 Flexion-extension	7.0(6.5,11.7)	4.8(4.1,9.3)	11.4(7.1,16.7)	5.0(4.2,10.2)	7.4(6.8,7.5)	8.6(5.4,9.1)
冠状面左右弯 Left-right bending	2.6(0.9,2.7)	3.3(2.3,3.9)	2.0(1.2,2.2)	3.3(2.8,3.6)	1.9(1.5,3.3)	2.1(1.1,2.2)
水平面左右旋 Left-right twisting	5.5(2.7,5.6)	3.5(2.0,5.6)	3.6(2.6,3.9)	3.1(2.4,4.0)	3.7(2.1,4.8)	4.2(2.3,4.5)

3 讨论

目前大部分有关腰椎在不同姿势下运动参数的改变的研究内容是站立位^[9,10]。但坐位也是日常生活常见的生理体位^[12,13]。大量人群在日常生活中一半以上的时间在坐位上^[14-17]。因此研究坐位条件下的腰椎运动学特征是十分必要的,一些学者曾对坐位时脊柱的运动特征进行了初步研究。孙卓然等^[14]采用拍正侧位 X 线片的方法研究了国人青年人群坐-立位时脊柱-骨盆矢状位序列的变化;张原诚等^[16]采用 EOS-X 线成像系统研究了汉族青年男性志愿者站立位、中立坐位和自然坐位 X 线片上的脊柱-骨盆矢状位参数的差异。Fryer 等^[8]采用开放性 MRI 研究了 6 例健康青年志愿者自然坐位时椎间盘高度的变化。Berry 等^[18]应用开放性 MRI 测量并分析了 13 例中年人坐位下前屈和旋转时腰椎前凸角度及腰椎椎间角的改变。Axelsson 等^[19]采用经皮置入钽珠后通过 X 线片研究志愿者从仰卧位到坐位腰椎的空间运动学参数。

由于研究方法所限制,这些研究所获得的坐位时腰椎运动学参数大多局限在一个平面,对腰

椎在三维空间中的运动了解较少。另外,这些研究大多是以腰椎整体为研究对象,又或者对志愿者进行有创操作置入标记物来测量腰椎运动学参数,缺少对单一节段腰椎或其解剖结构,如椎间盘、小关节的运动学改变进行精确的分析。本研究中所采用的 DFIS 系统能获取实时状态下每一节段的腰椎在三维空间中的位置信息,并能对其运动学改变进行精确测量。经体外实验验证,该测量方法对于 6-自由度的测量仅有 0.3mm 的位移误差及 0.7° 的旋转误差,能较好地反映坐位运动时腰椎运动学特征^[9,10]。因此我们应用此方法研究了生理载荷下和加载额外轴向载荷情况下坐位前屈后伸运动中的腰椎运动学特征。

孙卓然等^[14]发现相比于站立位,中立坐位时腰椎曲度变得平直。Fryer 等^[8]发现从仰卧位到中立坐位时 T12~S1 前凸角平均减小 8.6°,再进行双手支撑下的后伸运动时腰椎前凸角增大 7.2°。Axelsson 等^[19]发现从仰卧位到坐位,前后方向上 L5/S1 的位移大于 L3/4 的位移,近远端方向上 L4/5 有最大的压缩位移。Berry 等^[18]也发现在矢状面上,坐位姿势变化对 L5/S1 节段有更大的影响。

表 3 生理载荷和额外轴向载荷时由中立坐位到最大前屈位和最大后伸位时各节段腰椎的活动度 [P50(P25,P75)]

Table 3 ROM of each segment of L3-S1 from upright to maximum flexion and extension sitting under physiological and axial loads

	位移(mm) Displacement			旋转(°) Rotation		
	前后方向 Anterior-posterior	左右方向 Left-right	近远端方向 Proximal-distal	矢状面屈伸 Flexion-extension	冠状面左右弯 Left-right bending	水平面左右旋 Left-right twisting
生理坐位前屈 Flexion sitting in physiological condition						
L3/4	1.0(0.8, 1.3)	1.5(0.9, 1.9)	0.5(0.4, 0.7)	5.0(3.2, 6.8)	0.6(0.6, 1.0)	2.0(1.6, 2.1)
L4/5	0.8(0.5, 0.9)	1.0(0.7, 1.0)	0.3(0.3, 0.5)	3.5(1.9, 6.7)	2.0(1.5, 3.0)	1.6(1.0, 3.9)
L5/S1	2.3(0.6, 2.8)	2.4(1.8, 3.0)	1.3(0.7, 1.6)	2.6(2.0, 3.9)	0.4(0.3, 0.4)	1.4(0.9, 2.8)
生理坐位后伸 Extension sitting in physiological condition						
L3/4	0.3(0.1, 0.5)	0.7(0.3, 1.4)	0.2(0.2, 0.5)	4.2(1.1, 5.6)	0.3(0.2, 1.1)	1.8(1.5, 3.5)
L4/5	0.8(0.3, 1.1)	0.5(0.3, 0.5)	0.4(0.2, 0.6)	2.2(1.4, 3.2)	1.3(0.3, 1.4)	1.2(0.2, 2.1)
L5/S1	1.1(0.5, 2.6)	2.6(1.3, 3.8) ^①	1.5(0.9, 2.7)	9.5(4.6, 12.2) ^①	1.5(0.6, 1.9)	1.7(0.6, 2.5)
额外轴向载荷坐位前屈 Flexion sitting under axial load						
L3/4	0.6(0.4, 0.8)	1.6 (1.0, 2.2)	0.5(0.3, 0.5)	1.6 (1.3, 2.2)	0.3(0.2, 1.2)	1.9(1.1, 3.2)
L4/5	0.4(0.3, 1.0)	0.9(0.6, 1.2)	0.8(0.6, 0.9)	4.8(1.6, 5.0)	1.4(1.2, 1.8)	1.4(0.9, 1.7)
L5/S1	0.7(0.4, 1.5)	0.4(0.1, 2.2)	0.7(0.2, 1.1)	4.1(1.6, 4.3)	1.1(0.6, 1.1)	2.0(1.4, 2.1)
额外轴向载荷坐位后伸 Extension sitting under axial load						
L3/4	0.9(0.1, 1.1)	1.4(1.3, 2.2)	0.4(0.3, 0.8)	3.7(2.7, 6.7)	2.7(1.7, 2.9)	1.1(0.3, 1.6)
L4/5	1.3(1.2, 1.4)	0.7(0.6, 1.0)	0.5(0.3, 0.5)	2.8(2.2, 5.2)	0.6(0.2, 1.5)	2.6(1.0, 3.4)
L5/S1	0.5(0.3, 1.3)	0.8(0.5, 1.3)	0.4(0.2, 1.0)	3.4(2.5, 3.7) ^②	0.8(0.6, 0.9)	1.9(1.1, 2.4)

本研究发现,生理条件下从仰卧位到中立坐位,各腰椎节段均有一定的前屈旋转,整体腰椎曲度变平直,坐位前屈后伸过程中,L5/S1 在前后、左右和近远端方向上比 L3/4、L4/5 位移距离平均增大 2.2mm、4mm、2.4mm;L5/S1 的矢状面上旋转角度比 L3/4、L4/5 平均增大 5.5°。这些结果表明生理载荷坐位前屈后伸运动中,L5/S1 在三个方向的位移及矢状面旋转运动明显大于 L3/4 及 L4/5,说明 L5/S1 可能更多参与了生理坐位下的腰椎活动。这可以解释临床中很多进行了 L5/S1 内固定的患者常常抱怨坐位时剪脚趾甲或如厕时擦屁股困难,L5/S1 内固定对患者术后生活影响更大。流行病学研究表明,最常见的椎间盘退行性改变是 L5/S1,是腰椎间盘突出症高发的节段^[20,21]。我们的研究发现,相比较于仰卧位,中立坐位时,L3~S1 在矢状面上均呈现前屈的状态,尤其是 L5/S1 节段前屈角度较上位腰椎节段大约 5.5°。

轴向增加负重能反映出很多生理条件下无法发现的问题,因而学者们对负重状态下的腰椎运动也十分重视。过去有学者研究了额外负重时站立位姿势下脊柱运动学改变,而对于负重坐位时的研究较少。Wu 等^[10]研究了负重时站立位屈伸运动下的腰椎运动学特征,他们发现负重的腰椎前屈后伸运动中,L4/5 前后方向上位移范围 2.9mm,显著大于 L5/S1 位移 1.4mm。本研究中加载额外轴向载荷时发现坐位负重前屈后伸运动中,L4/5 前后方向上的位移距离为 1.8mm,大于 L5/S1 的位移 1.1mm。本研究所表现的腰椎运动的规律与 Wu 等的实验相似,但所测得的实验数据值偏小,可能由于相比较于站立位,坐位时骨盆相对固定,在站立前屈后伸过程中骨盆的活动可能会导致所测量的腰椎活动度的增加。本研究结果表明额外轴向载荷的加载减小了 L5/S1 在坐位前屈后伸运动中活动度,尤其在坐位后伸运动中,加载额外轴向载荷时的 L5/S1 在矢状面上的旋转度显著减小。

以往研究中较少涉及在坐位时中立-最大前屈位及最大后伸位两个运动过程中腰椎活动度的分析,本研究尝试对其进行描述。生理情况下,L5/S1 前屈旋转角度小于后伸;加载额外轴向载荷后,L5/S1 前屈的旋转角度大于后伸。在生理坐位后伸运动中,L5/S1 在左右方向上的位移距离及矢状面上旋转角度显著大于 L3/4、L4/5。此外,

中立到最大前屈和从中立到最大后伸运动时 L3/4 及 L4/5 三维运动范围差异不显著。从中我们发现,生理情况下的坐位前屈后伸运动时,L5/S1 更多地参与坐位后伸运动,尤其在矢状面的旋转上。此外,L3/4、L4/5 的活动度在由中立到前屈或者后伸的运动过程中与 L5/S1 形成互补,进而维持腰椎矢状面平衡。因此,长期处于中立至最大后伸坐位可能对 L5/S1 节段影响较大。

本研究的意义在于:(1)阐明了健康的青年国人从仰卧位到中立坐位时的下腰椎空间位置变化,相比较于仰卧位,腰椎椎间高度减小;且偏向于前屈位置。(2)通过与加载额外轴向载荷下的坐位运动进行比较,发现 L5/S1 节段在生理坐位时椎间高度更高,同时有更大的活动度。(3)研究发现中立坐位到最大前屈和最大后伸坐位时不同节段的腰椎运动范围存在差异。

在本研究中通过 DFIS 系统与 CT 的结合,我们对生理及加载额外轴向载荷条件下腰椎在坐位屈伸运动中的运动学参数进行了分析。从我们的实验可以得出,生理条件下 L5/S1 在坐位前屈后伸运动中,在空间中产生了较大的移动和旋转,具有最大的活动度。然而,伴随轴向载荷的加载,L5/S1 活动度下降,尤其是在姿势处于后伸坐位时,L5/S1 在矢状面上旋转范围较生理坐位明显减小。不同坐位姿势的改变及轴向载荷的改变对 L3/4、L4/5 影响较小。这些运动数据的分析,有助于我们了解坐位时腰椎运动的生理特点和腰椎疾病发生的潜在机制,为指导临床实践提供理论依据。我们的研究有几个局限性。首先,只比较了仰卧位、前屈坐位、中立坐位和后伸坐位的运动,缺乏对坐位的其他位置如侧屈和旋转的分析;其次,样本量较小,第三,只选择了无症状的年轻参与者,今后应进一步分析不同年龄组、不同疾病组等生物力学参数。

4 参考文献

1. Yoshida G, Ushirozako H, Hasegawa T, et al. Preoperative and postoperative sitting radiographs for adult spinal deformity surgery: upper instrumented vertebra selection using sitting C2 plumb line distance to prevent proximal junctional kyphosis[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2020, 45(15): E950-E958.
2. Harrison DD, Harrison SO, Croft AC, et al. Sitting biomechanics part I: review of the literature [J]. J Manipulative Physiol Ther, 1999, 22(9): 594-609.

3. Jacobsen S, Sonne-Holm S, Røvsing H, et al. Degenerative lumbar spondylolisthesis: an epidemiological perspective: the copenhagen osteoarthritis study[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2007, 32(1): 120-125.
4. Paul CP, de Graaf M, Bisschop A, et al. Static axial overloading primes lumbar caprine intervertebral discs for posterior herniation[J]. *PLoS One*, 2017, 12(4): e0174278.
5. Zhang YG, Sun Z, Zhang Z, et al. Risk factors for lumbar intervertebral disc herniation in Chinese population: a case-control study[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2009, 34(25): E918-922.
6. Sato H, Kikuchi S. The natural history of radiographic instability of the lumbar spine[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 1993, 18(14): 2075-2079.
7. Hollingsworth NT, Wagner DR. The stress and strain states of the posterior annulus under flexion[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2012, 37(18): E1134-1139.
8. Fryer JC, Quon JA, Smith FW. Magnetic resonance imaging and stadiometric assessment of the lumbar discs after sitting and chair-care decompression exercise: a pilot study[J]. *Spine J*, 2010, 10(4): 297-305.
9. Li G, Wang S, Passias P, et al. Segmental in vivo vertebral motion during functional human lumbar spine activities[J]. *Eur Spine J*, 2009, 18(7): 1013-1021.
10. Wu M, Wang S, Driscoll SJ, et al. Dynamic motion characteristics of the lower lumbar spine: implication to lumbar pathology and surgical treatment[J]. *Eur Spine J*, 2014, 23(11): 2350-2358.
11. Lin CC, Lu TW, Wang TM, et al. In vivo three-dimensional intervertebral kinematics of the subaxial cervical spine during seated axial rotation and lateral bending via a fluoroscopy-to-CT registration approach[J]. *J Biomech*, 2014, 47(13): 3310-3317.
12. Sun Z, Zhou S, Wang W, et al. Differences in standing and sitting spinopelvic sagittal alignment for patients with posterior lumbar fusion: important considerations for the changes of unfused adjacent segments lordosis [J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2020, 21(1): 760.
13. Chevillotte T, Coudert P, Cawley D, et al. Influence of posture on relationships between pelvic parameters and lumbar lordosis: Comparison of the standing, seated, and supine positions: a preliminary study[J]. *Orthop Traumatol Surg Res*, 2018, 104(5): 565-568.
14. 孙卓然, 姜帅, 邹达, 等. 国人青年人群坐-立位脊柱-骨盆矢状位序列变化研究[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2018, 28(4): 325-329.
15. Phimphasak C, Swangnetr M, Puntumetakul R, et al. Effects of seated lumbar extension postures on spinal height and lumbar range of motion during prolonged sitting [J]. *Ergonomics*, 2016, 59(1): 112-120.
16. 张原诚, 舒诗斌, 鲍虹达, 等. 汉族男性青年志愿者不同体位脊柱-骨盆矢状位参数变化的影像学[J]. *中华解剖与临床杂志*, 2019, 24(5): 442-448.
17. 刘阳, 徐宝山, 许海委, 等. 退变性腰椎滑脱患者坐-立位脊柱-骨盆矢状面序列的影像变化 [J]. *中国组织工程研究*, 2020, 24(24): 3857-3861.
18. Berry DB, Hernandez A, Onodera K, et al. Lumbar spine angles and intervertebral disc characteristics with end-range positions in three planes of motion in healthy people using upright MRI[J]. *J Biomech*. 2019, 89: 95-104.
19. Axelsson P, Karlsson BS. Standardized provocation of lumbar spine mobility: three methods compared by radiostereometric analysis[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2005, 30(7): 792-797.
20. Takatalo J, Karppinen J, Niinimäki J, et al. Prevalence of degenerative imaging findings in lumbar magnetic resonance imaging among young adults[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2009, 34(16): 1716-1721.
21. Sengupta DK, Herkowitz HN. Degenerative spondylolisthesis: review of current trends and controversies[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2005, 30(6 Suppl): S71-81.

(收稿日期:2021-12-06 修回日期:2022-05-26)

(英文编审 谭 啸)

(本文编辑 姜雅浩)