

• 临床研究 •

胸腰段脊柱骨折内固定术后对运动协调的影响

福建医科大学附属第二医院骨科 (泉州 362000) 戴章生¹ 谢俊杰 何立江 巫海鹏

【摘要】 目的 分析胸腰段脊柱骨折内固定术后患者不同步行速度下的胸椎、腰椎、骨盆及下肢的水平旋转幅度 (TRA) 及其节段间的旋转的幅度 (RFP), 探讨脊柱僵硬程度和步态水平旋转协调性之间的关系。**方法** 比较 40 名胸腰段脊柱骨折内固定术后患者 (治疗组) 和 40 名健康志愿者 (对照组) 的步态运动, 计算其胸廓、腰椎、骨盆及下肢 TRA, 胸廓、腰椎、骨盆各个节段间 RFP。**结果** 治疗组患者, 胸廓、腰椎、骨盆和下肢 TRA 随步行速度提高而增加, 与对照组比较的差异有统计学意义 ($P < 0.01$); 骨盆与腰椎节段间 RFP, 腰椎和胸廓节段间 RFP 和骨盆和胸廓节段间 RFP, 均随速度提高而增加, 与对照组比较的差异有统计学意义 ($P < 0.01$)。**结论** 胸腰段脊柱骨折内固定术后脊柱僵硬, 胸廓、腰椎、骨盆及下肢 TRA 及其节段间 RFP 均明显减少, 运动协调性下降。

【关键词】 胸腰段脊柱骨折; 水平旋转幅度; 相对傅立叶相; 运动协调

【中图分类号】 R322.7 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1002-2600(2019)05-0001-04

Effect of internal fixation surgery for thoracolumbar spinal fractures on motion coordination DAI Zhang sheng, XIE Junjie, HE Lijiang, WU Haipeng. Department of Orthopedics, the Second Affiliated Hospital, Fujian Medical University, Quanzhou, Fujian 362000, China

【Abstract】 Objective To investigate the relationship between degree of spinal stiffness and transverse rotation coordination of gait through analyzing the transverse rotation amplitude (TRA) and relative Fourier phase (RFP) of the thoracic vertebra, lumbar vertebra, pelvis and lower extremities of patients receiving internal fixation surgery for thoracolumbar spinal fractures at different walking speeds. **Methods** Gait motions of 40 healthy volunteers (control group) and 40 patients receiving internal fixation surgery for thoracolumbar spinal fractures (treatment group) were compared. The TRA of the thorax, lumbar vertebra, pelvis and lower extremities, and the RFP between segments were calculated. **Results** The TRA of the thorax, lumbar vertebra, pelvis and lower extremities increased with the walking speed, and the difference between the two groups was statistically significant ($P < 0.01$). The RFP between pelvic and lumbar vertebra, the RFP between lumbar vertebra and thorax, and the RFP between pelvic and thorax all increased with the waking speed. The difference between the treatment group and the control group was statistically significant ($P < 0.01$). **Conclusion** After the internal fixation surgery for thoracolumbar spinal fractures stiff spines are observed. The TRA as well as the RFP of thorax, lumbar vertebra, pelvis and lower extremities significantly decreased, and the motion coordination also decreased.

【Key words】 thoracolumbar spinalfractures; relative fourier phase; transverse rotation amplitude; gait and movement coordination

胸腰段脊柱骨折是临床的常见病多发病, 骨折内固定术后病人的步态及运动协调性如何变化却鲜有报到。而且胸腰段脊柱骨折内固定术后脊柱僵硬程度与步态水平旋转协调性之间的关系存在诸多争议^[1-3]。部分学者^[4]认为, 胸腰段脊柱骨折内固定术后患者脊柱刚性增加, 在行走过程中可产生下腰痛并影响患者的运动协调性。本研究通过记录胸腰段脊柱骨折内固定术后患者步态变化, 描述胸腰段脊柱骨折内固定术后病人步态协调性改变情况, 并

与健康人群步态协调性变化对比, 旨在阐明脊柱刚性增加和步态水平旋转协调性之间的关系。

1 对象与方法

1.1 对象: 本研究入组的 40 名患者均满足如下条件: 1) 年龄: 20~50 岁; 2) 曾有单节段胸腰椎骨折, 并行胸腰椎骨折内固定术后, 内固定节段在 T₁₁~L₂ 之间; 3) 胸腰段脊柱骨折内固定术后已超过 3 个月; 4) 双下肢肌力恢复至正常并自由步行而无需助行器; 5) 无其他影响步行的全身或下肢

疾病。另选取 40 名年龄、性别、BMI 与每例病人相匹配的健康自愿者作为对照组。入组对象排除以下疾病：高血压、糖尿病、甲状腺疾患、慢性腹泻、尿失禁、关节或脊柱疾患、肢体麻木、恶性肿瘤、情绪不佳、抑郁感等。所有实验对象需填写以下表格：美国脊柱损伤协会损伤评分表（AIS）、胸腰椎损伤分类及损伤程度评分系统（TLICS）、 Oswestry 功能障碍指数（ODI）、视觉模拟评分（VAS）及在步行仪上步行时的疼痛程度。如实告知实验对象整个实验过程，取得充分合作并签署知情同意书。本研究获得医院伦理委员会的批准。

1.2 方法：

1.2.1 主要仪器：NDI 三维运动采集系统 OPTO-TRAK Certus Position Sensors（加拿大）；EN-BO 多功能步行仪（荷兰）。

1.2.2 操作步骤：观察前，将 3 个红外线发光点固定在三角形硬板的三个角上，将三角形硬板用胶带固定在体表相应的标识点，如图 1 所示：T_{5~7} 棘突代表胸廓节段，L_{2~3} 棘突代表腰椎节段，两侧髂后上棘连线的中点代表骨盆节段，双侧上臂的中段、双侧大腿的中段及双侧小腿的中上段，足后跟及第五跖骨头外侧标识点均仅固定单个红外线发光点以准确记录足跟及前足接触地面时的即刻位置。以红外线发光点的运动表示各节段的三维运动轨迹。观察中，通过三维运动采集系统采集实验对象步行过程中身上放置的红外线标识发光点，进行数据收集，再对数据进行处理分析，最终获得人体运动位置的即时参数。空间系统坐标的设定：取实验对象矢状轴为 X 轴，实验对象冠状轴为 Y 轴，实验对象垂直轴为 Z 轴。

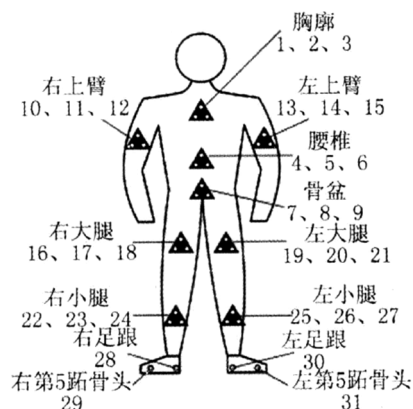


图 1 红外线标识点的放置图

测试前，取带红外线发光点的三角硬板固定于实验对象身体上相应的标识点，先让观察对象在步行仪上进行不同步行速度的适应性步行练习，直至完全适应步行仪上行走。再让观察对象在设定速度（1.0、2.0、3.0、4.0、5.0 km/h）的步行仪上步行，并采集步行过程中身体各个红外线发光点的动态信息。

1.2.3 实验参数：1) 水平旋转幅度（TRA）：通过计算胸廓、腰椎、骨盆及下肢在 xy 象限的反正切角度得出各个节段在水平面上的旋转角度时序。在不同步行速度下对各节段的步态周期的 TRA 进行计算再取其平均值，分别确定各相应节段的 TRA，并计算出相应的标准差。2) 相对傅立叶相（RFP）：应用能量谱分析的方法，对各节段的旋转角度时序进行分析，得出其相应的主频率。应用快速傅立叶变换的方法计算各个旋转角度时序的时相。重建主频率信号，产生傅立叶相的旋转角度时序。使对应的两个节段的傅立叶相的旋转角度时序相减，产生 RFP 差时序，处理数据得出 RFP 差。计算骨盆—腰椎、腰椎—胸廓和骨盆—胸廓 RFP 值。

1.3 统计学处理：应用 Matlab R2007a 对三维运动采集系统所采集的数据进行分析处理，再计算胸廓、腰椎、骨盆及下肢 TRA 及骨盆-腰椎，腰椎-胸廓和骨盆-胸廓 RFP。应用 SPSS 15.0 软件，采用单因素方差分析及重复测量方差分析方法比较不同步行速度下各实验参数的差异，组间多重比较采用 LSD-t 检验，以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

40 例胸腰椎脊柱骨折内固定术后患者和 40 例与每例病人相匹配的健康自愿者，全部入选结果分析，无脱失。两组胸廓 TRA 随着速度增加而显著性增加（ $P < 0.01$ ），而治疗组的胸廓 TRA 随着步行速度增加 TRA 增幅逐渐变小（ $P < 0.01$ ）。详见表 1。两组腰椎 TRA 随着速度的增加呈显著性增加（ $P < 0.01$ ），治疗组腰椎 TRA 更小（ $P < 0.01$ ）。详见表 2。两组骨盆 TRA 在随着速度增加逐渐增加（ $P < 0.01$ ），治疗组的骨盆 TRA 随步行速度提高增加更为明显（ $P < 0.01$ ）。详见表 3。两组下肢 TRA 随着速度的增加呈显著性增加（ $P < 0.01$ ），治疗组下肢 TRA 比对照组减小（ $P < 0.01$ ）。详见表 4。

表 1 两组胸椎 TRA 5 种步行速度下的比较 ($n=40, \bar{x} \pm s$)

组别	1.0 km/h	2.0 km/h	3.0 km/h	4.0 km/h	5.0 km/h
治疗组	4.213±1.156	4.957±1.488	5.743±1.480	6.652±1.533	7.557±1.609
对照组	4.9±1.419	5.029±1.564	6.174±2.269	7.259±1.798	8.346±1.992
<i>t</i> 值	5.623	4.391	5.358	3.229	2.982
<i>P</i> 值	0.000	0.008	0.000	0.009	0.000

表 2 两组腰椎 TRA 5 种步行速度下的比较 ($n=40, \bar{x} \pm s$)

组别	1.0 km/h	2.0 km/h	3.0 km/h	4.0 km/h	5.0 km/h
治疗组	6.271±1.284	7.359±1.345	8.029±1.168	9.341±1.357	10.768±1.448
对照组	7.568±1.359	8.756±1.362	9.054±1.467	10.583±1.603	11.908±1.523
<i>t</i> 值	7.852	5.096	6.382	3.890	3.493
<i>P</i> 值	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000

表 3 两组骨盆 TRA 5 种步行速度下的比较 ($n=40, \bar{x} \pm s$)

组别	1.0 km/h	2.0 km/h	3.0 km/h	4.0 km/h	5.0 km/h
治疗组	5.826±1.354	6.652±1.295	7.591±1.358	8.643±1.240	9.573±1.401
对照组	6.573±1.491	7.465±1.384	8.496±1.416	9.502±1.280	10.564±1.408
<i>t</i> 值	3.546	1.582	3.544	5.904	6.182
<i>P</i> 值	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000

表 4 两组下肢 TRA 5 种步行速度下的比较 ($n=40, \bar{x} \pm s$)

组别	1.0 km/h	2.0 km/h	3.0 km/h	4.0 km/h	5.0 km/h
治疗组	7.065±1.458	8.259±1.352	9.358±1.283	10.197±1.483	11.389±1.497
对照组	7.842±1.587	8.904±1.459	10.195±1.684	11.372±1.504	12.680±1.503
<i>t</i> 值	2.570	2.901	5.641	5.172	3.551
<i>P</i> 值	0.000	0.000	0.006	0.000	0.003

骨盆与腰椎节段间 RFP, 腰椎和胸廓节段间 RFP 和骨盆和胸廓节段间 RFP, 3 组的 RFP 均随速度增加而增加 ($P<0.01$), 而治疗组 RFP 均比对照组小 ($P<0.01$)。详见表 5~7。

表 5 两组骨盆-腰椎节段 RFP 5 种步行速度下的比较 ($n=40, \bar{x} \pm s$)

组别	1.0 km/h	2.0 km/h	3.0 km/h	4.0 km/h	5.0 km/h
治疗组	9.246±2.019	18.267±2.286	28.640±1.972	37.019±2.186	45.264±2.351
对照组	10.58±1.854	22.568±1.952	35.043±2.251	49.021±2.315	60.458±2.159
<i>t</i> 值	3.538	5.325	7.217	3.265	1.059
<i>P</i> 值	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

表 6 两组腰椎-胸廓节段 RFP 5 种步行速度下的比较 ($n=40, \bar{x} \pm s$)

组别	1.0 km/h	2.0 km/h	3.0 km/h	4.0 km/h	5.0 km/h
治疗组	5.126±1.351	14.826±1.456	24.251±1.326	33.910±1.359	45.249±1.450
对照组	6.182±1.254	17.258±1.348	28.650±1.320	40.892±1.356	53.186±1.268
<i>t</i> 值	3.882	7.642	1.053	2.558	4.326
<i>P</i> 值	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000

表 7 两组骨盆-胸廓节段 RFP 5 种步行速度下的比较 ($n=40, \bar{x} \pm s$)

组别	1.0 km/h	2.0 km/h	3.0 km/h	4.0 km/h	5.0 km/h
治疗组 ($n=40$)	6.411±1.562	18.568±1.452	29.154±1.386	42.870±1.238	54.213±1.352
对照组 ($n=40$)	7.251±1.523	22.419±1.465	37.25±1.560	52.870±1.620	68.213±1.703
<i>t</i> 值	2.602	1.946	5.164	5.149	1.348
<i>P</i> 值	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005

3 讨论

3.1 TRA: 观察结果显示, 随着速度增加两组的胸廓 TRA 均显著性增加, 而治疗组的胸廓 TRA 随着步行速度增加 TRA 增幅逐渐变小明显。这是因为胸腰段脊柱骨折内固定术后躯干轴向刚性增加更明显^[5], 治疗组病人随步行速度逐渐增加, 骨盆最大旋转时间更向步态周期的起始端移动, 从而引起胸廓 TRA 增幅减少。本文结果与 Ana Cristina de^[6]等的报道一致。大部分学者认为, 高速行走时躯干刚性增加有利于维持头部的稳定, 并允许胸廓、腰椎、骨盆与下肢节段之间进行缓冲, 躯干刚性增加还有利于高速行走时躯干高频旋转的需要^[7-8]。本文结果还提示, 胸腰段脊柱骨折内固定术可能对快速步行时躯干轴向刚性增加有积极作用。

观察结果显示, 骨盆 TRA 在随着速度增加逐渐增加。治疗组的骨盆 TRA 随步行速度提高增加更为明显。Cédric 和 Wen 等^[9-10]研究均发现, 骨盆 TRA 随步行速度增加逐渐增加, 而胸腰段脊柱骨折内固定术后脊柱活动度受限制, 运动协调性下降, 而骨盆与腰椎的运动时相上呈同向改变, 骨盆在行走过程中的水平旋转也相应减少, 以维持行走过程的稳定。

随着速度的增加腰椎 TRA 逐渐增加, 与对照组相比治疗组腰椎 TRA 小。当胸腰段脊柱骨折内固定术后腰椎的活动度下降, 腰椎水平旋转同时也被抑制^[11-12], 所以腰椎的 TRA 增加幅度减少; 但两组数值差别不大, 考虑是否因为本治疗组行椎旁肌入路手术, 该种术式减少对邻近椎体活动度的影响, 从而减少了对腰椎活动度的影响。这还需要进一步加大病例样本量来证实。

治疗组中下肢的 TRA 比对照组显著性变小。根据 Ailish 等^[13]学者研究结果, 对身体下半部分角动量和扭矩起主要作用的是下肢, 身体上下两部分的角动量和扭矩需要相互协调以保证躯体水平方向上的旋转稳定性^[7,14]。当胸腰段脊柱骨折内固定术后, 胸廓、腰椎以及骨盆的水平旋转均明显减小, 与之相适应的身体上半部分的角动量和扭矩也随之明显变小, 下肢 TRA 也相应减小, 最终减少扭矩和角动量来维持脊柱的平衡^[5]。因而, 当胸腰段脊柱骨折手术后, 人体为实现下肢的角动量和扭矩的平衡是通过减小下肢 TRA, 而不是通过增大脊柱 TRA。

3.2 RFP: 胸廓-骨盆 RFP 随步行速度增加而逐渐

增大, 这和 Mahmoudian 等学者的报道一致^[15]; 但与对照组相比, 治疗组的胸廓-骨盆 RFP 明显变小。由此可见, 胸腰段脊柱骨折内固定术对胸廓、骨盆之间的相对运动有明显的影响。胸腰段脊柱骨折内固定术后胸廓-骨盆的相对运动较对照组更趋于同相, 且胸廓-骨盆的相对运动随步行速度的增加而变小, 这与 Prins 等^[16]的研究结果一致。即高速步行时胸廓水平旋转峰值出现在整个步态周期的开始阶段, 造成胸廓-骨盆和胸廓-腰椎 RFP 减小。胸廓-下肢 RFP 在不同步行速度下均处于较高水平, 即胸廓-下肢相对运动在整个步行周期中表现为反相运动。这与 Prins 等^[17]报道的结果相一致。

骨盆与腰椎节段间, 腰椎和胸廓节段间和骨盆和胸廓节段间, 两组的 RFP 均随速度增加而增加, 这与以往报道结果相似^[18]。本次研究发现, 治疗组 RFP 均比对照组小, 尤其是在较高速度的时候, 考虑与胸腰段脊柱骨折内固定术后患者脊柱僵硬性增加, 其运动步态协调性和控制上发生相应变化, 而且高速步行时胸廓旋转峰值出现在步态周期的开始阶段, 造成骨盆-腰椎, 腰椎-胸廓和骨盆-胸廓 RFP 增加幅度减小有关。这时胸廓-骨盆的相对运动较对照组更趋于同相, 并且此时胸廓-骨盆的相对运动不随步行速度增加而增大, 而胸廓-腰椎的运动难以像对照组随速度增加逐渐趋于反相, 从而维持胸腰段脊柱骨折内固定术后步态水平旋转的协调性^[19]。

综上所述, 胸腰段脊柱骨折内固定术后, 身体发生了一系列的变化以适应水平方向上运动所发生的改变。胸腰段脊柱骨折内固定术后, 患者脊柱僵硬, 胸廓、腰椎、骨盆及下肢的水平旋转及其节段间的旋转幅度均明显减少, 运动协调性下降。

参考文献

- [1] Bruijn S M, Meijer O G, Dienen van J H, et al. Coordination of leg swing, thorax rotations, and pelvis rotations during gait: the organisation of total body angular momentum [J]. *Gait Posture*, 2008, 27 (3): 455-462.
- [2] Yong L, Zhen L, Feng Z, et al. Validation and reliability analysis of the new SRS-Schwab classification for adult spinal deformity [J]. *Spine*, 2013, 38 (11): 902-908.
- [3] Lamoth C J, Claudine J C, Meijer O G, et al. Pelvis-thorax coordination in the transverse plane during walking in persons with Nonspecific low back pain [J]. *Spine*, 2002, 27 (4): E92-E99.
- [4] Galey S A, Lerner Z F, Bulea T C, et al. Effectiveness of surgical and non-surgical management of crouch gait in cerebral palsy: A systematic review [J]. *Gait Post*, 2017, 54 (8):

- 93-105.
- [5] Johnny P, Luca P A. Vertebral rotation in adolescent idiopathic scoliosis calculated by radiograph and back surface analysis-based methods: correlation between the Raimondi method and rasterstereography [J]. Eur Spine J, 2013, 22 (2): 2336-2337.
- [6] Ana Cristina de D, Felipe P C, Darren S. Effects of changing speed on knee and ankle joint load during walking and running [J]. Journal of Sports Sciences, 2015, 33 (4): 391-397.
- [7] Hirofumi K, Koichi S, Ashok B, et al. Pathomechanism of loss of elasticity and hypertrophy of lumbar ligamentum flavum in elderly patients with lumbar spinal canal stenosis [J]. Spine, 2007, 32 (25): 2805-2811.
- [8] Furunes H, Storheim K, Brox J I, et al. Total disc replacement versus multidisciplinary rehabilitation in patients with chronic low back pain and degenerative discs: Eight-year follow-up of a randomized controlled multicenter trial [J]. The Spine Journal, 2017, 17 (10): 1480-1488.
- [9] Cédric B, Jérôme J, Olivier N. Sagittal balance of the pelvis-spine complex and lumbar degenerative diseases. A comparative study about 85 cases [J]. European Spine Journal, 2007, 16 (9): 1459-1467.
- [10] Wen H W, Onno M, Sjoerd M B, et al. Gait in pregnancy-related pelvic girdle pain: amplitudes, timing, and coordination of horizontal trunk rotations [J]. Eur Spine J, 2008, 17 (9): 1160-1169.
- [11] Kara N R, Ashley M P, Kaori T, et al. Asymmetry between lower limbs during rested and fatigued state running gait in healthy individuals [J]. Gait & Posture, 2017, 51 (4): 268-274.
- [12] Devan H, Carman A, Hendrick P, et al. Spinal, pelvic, and hip movement asymmetries in people with lower-limb amputation: Systematic review [J]. Journal of Rehabilitation Research and Development, 2015, 52 (1): 1-20.
- [13] Ailish McDermott, Ciaran B, Louise K, et al. Reliability of three-dimensional gait analysis in cervical spondylotic myelopathy [J]. Gait & Posture, 2010, 32 (4): 552-558.
- [14] Liang B W, Wu W H, Meijer O, et al. Pelvic step: The contribution of horizontal pelvis rotation to step length in young healthy adults walking on a treadmill [J]. Gait & posture, 2014, 39 (1): 105-110.
- [15] Mahmoudian A, Bruijn S M, Yakhani H R F, et al. Phase-dependent changes in local dynamic stability during walking in elderly with and without knee osteoarthritis [J]. Journal of biomechanics, 2016, 49 (1): 80-86.
- [16] Prins M R, van der Wurff P, Meijer O G, et al. Mechanical perturbations of the walking surface reveal unaltered axial trunk stiffness in chronic low back pain patients [J]. PloS one, 2016, 16 (6): 157-163.
- [17] Prins M R, Bruijn S M, Meijer O G, et al. Axial thorax-pelvis coordination during gait is not predictive of apparent trunk stiffness [J]. Scientific reports, 2019, 15 (1): 1066-1076.
- [18] Pluijter N, de Wit Lieke P W, Bruijn S M, et al. Tactile pavement for guiding walking direction: An assessment of heading direction and gait stability [J]. Gait & posture, 2015, 42 (4): 534-538.
- [19] van den Hoorn W, Hug F, Hodges P W, et al. Effects of noxious stimulation to the back or calf muscles on gait stability [J]. Journal of biomechanics, 2015, 48 (15): 4109-4115.

• 临床研究 •

高频超声、X 线和 MRI 在银屑病关节炎手关节病变中的对照研究

福建医科大学附属漳州市医院超声科 (漳州 363000) 蔡晓菡 杨舒萍 沈浩霖 钟 嵘 江文婷 赖振汉 吕国荣¹

【摘 要】 目的 分析对比高频超声、X 线和 MRI 在银屑病关节炎手关节病变中的应用价值。**方法** 选取有关节病变的银屑病关节炎患者 30 例, 分别应用高频超声、X 线及 MRI 对其进行观察, 分析比较 3 种方法的优缺点。**结果** 超声与 MRI 对银屑病关节炎手关节病变 (滑膜增厚、关节腔积液、骨质破坏和血流信号增多) 均有较高的检出率, 但两者间差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。MRI 可检查出骨髓水肿, 对关节腔内病变更有优势, 而超声侧重于关节腔外的病变。在关节的骨质破坏和新骨形成方面, X 线与超声和 MRI 比较有更高的检出率 ($P < 0.05$)。**结论** 高频超声、X 线和 MRI 在银屑病关节炎手关节病变中的应用价值各有优势, 可以相互补充。超声和 MRI 较 X 线可以更加准确、全面地诊断病变, 可成为银屑病关节炎手关节病变诊断的首选方法。

基金项目: 2017 年福建省自然科学基金项目 (2017J01385)

¹ 福建省泉州医高专母婴健康服务技术应用协同创新中心, 通信作者, Email: lgr_feus@sina.com