

· 临床研究 ·

功能性踝关节不稳患者踝关节背伸/跖屈和外翻/内翻峰值力矩比值与姿势控制能力的相关性研究

郑绍敏¹, 黄墩兵¹, 姜财², 林坚¹, 林忠华², 全俊¹, 陈雨翔¹, 贾小飞³

【摘要】 目的:探讨功能性踝关节不稳(FAI)患者踝关节背伸/跖屈(D/P)和外翻/内翻(E/I)峰值力矩比值与其姿势控制能力的相关性。方法:纳入符合标准的FAI患者30例,采用等速肌力测试评估患者健侧和患侧踝关节在不同角速度下的D/P值和E/I值,同时采用Pro-Kin 254评估患者健侧和患侧静态平衡能力、动态平衡能力和本体感觉,并将不同角速度下患侧踝关节的D/P值和E/I值分别与前后运动速度、左右运动速度、运动长度、运动椭圆面积、总体偏移指数、平均轨迹错误率和总负重标准差进行相关性分析。结果:与健侧足比较,FAI患者患侧足静态平衡能力(左右运动速度和运动长度)、动态平衡能力(总体偏移指数)和本体感觉(平均轨迹错误率和总负重标准差)均显著下降($P<0.05$)。FAI患者患侧踝关节在角速度 $60^\circ/\text{s}$ 和 $120^\circ/\text{s}$ 下的D/P值和E/I值均小于健侧($P<0.05$),其比值均与前后运动速度、左右运动速度、运动长度、运动椭圆面积、总体偏移指数、平均轨迹错误率和总负重标准差呈负相关($P<0.05$)。结论:FAI患者患侧踝关节的D/P值和E/I值与其姿势控制能力相关,将踝关节的D/P值和E/I值作为FAI患者姿势稳定性的临床评测指标具有一定的潜力。

【关键词】 功能性踝关节不稳;姿势控制;峰值力矩比值

【中图分类号】 R49;R684 **【DOI】** 10.3870/zgkf.2021.07.002

Relationship between the ratio of dorsiflex/plantar and eversion/inversion peak torque of ankle and postural control function in functional ankle instability Zheng Shaomin, Huang Dunbing, Jiang Cai, et al. Rehabilitation Centre, Zhejiang Hospital, Hangzhou 310013, China

【Abstract】 Objective: To explore the relationship between the ratio of dorsiflex/plantar (D/P) and eversion/inversion (E/I) peak torque of ankle and postural control function in functional ankle instability. **Methods:** Totally, 30 stroke patients were recruited for this study. Isokinetic muscle test was used to assess the ankle D/P and E/I value, and Pro-Kin 254 was used to assess the static balance ability, dynamic balance ability and proprioception. The correlation between the D/P value and E/I value and the affected ankle joint at different angular velocities and forward-backward motion velocity, left-right motion velocity, movement length, area of ellipse of motion, total deviation index, average trajectory error rate and standard deviation of total load was analyzed by the correlation analysis. **Results:** As compared with the unaffected ankle joint, the static balance ability (left-right motion velocity and movement length), dynamic balance ability (overall deviation index) and proprioception (average trajectory error rate and standard deviation of total load) of the affected ankle joint in FAI patients were significantly reduced ($P<0.05$). The D/P and E/I value of the affected ankle joint at $60^\circ/\text{sec}$ and $120^\circ/\text{sec}$ was significantly lower than that of the unaffected ankle joint ($P<0.05$), and that of the affected ankle joint at $60^\circ/\text{sec}$ and $120^\circ/\text{sec}$ was negatively correlated with forward-backward motion velocity, left-right motion velocity, movement length, area of ellipse of motion, total deviation index, average trajectory error rate and standard deviation of total load ($P<0.05$). **Conclusion:** The D/P value and E/I value of the affected ankle joint in FAI patients are related to their posture control ability, and have certain potential as the clinical evaluation index of the postural stability of FAI patients.

【Key words】 functional ankle instability; postural control; peak torque ratio

基金项目:国家自然科学基金项目(81904271)

收稿日期:2020-11-25

作者单位:1. 浙江医院康复中心, 杭州 310013; 2. 福建省立医院康复二科, 福州 350001; 3. 宁夏回族自治区人民医院康复医学科, 银川 750002

作者简介:郑绍敏(1990-),男,主管技师,主要从事肌骨及疼痛康复方面的研究。

通讯作者:贾小飞,495067109@qq.com

踝关节扭伤是最常见的运动损伤之一,由于许多人对踝关节损伤认知的不足、缺乏有效的治疗及过早的运动等原因,近80%的患者的踝关节会再次损伤,其中32%~47%会发展为功能性踝关节不稳(Functional Ankle Instability, FAI)^[1]。FAI患者踝关节周

围肌群存在不同程度的力量缺失^[2-3],导致背伸/跖屈(dorsiflex/plantar, D/P)和外翻/内翻(eversion/inversion, E/I)肌力失衡,是引起踝关节不稳和姿势控制能力下降的重要因素之一^[4]。然而,国内外研究对于FAI患者踝关节D/P值和E/I值与姿势控制能力的相关性鲜有报道。本研究探讨FAI患者D/P值和E/I与姿势控制能力的相关性,为FAI患者姿势控制能力的客观评估提供理论依据。

1 资料与方法

1.1 一般资料 本研究为FAI患者踝关节D/P值和E/I值与姿势控制能力相关性的横断面研究,根据国际踝关节协会提出的慢性踝关节不稳者筛选标准^[5],纳入标准:在进行本实验研究之前12个月,至少出现过一次严重的踝关节扭伤,严重程度达踝关节扭伤严重程度分级Ⅱ级和Ⅲ级标准^[6],并出现患侧疼痛、肿胀等症状,导致至少1d无法正常活动;参加本实验研究前1年内单侧踝关节出现失控和/或扭伤和/或不稳的感觉2次及以上;坎伯兰踝关节不稳量表(Cumberland Ankle Instability Tool, CAIT)得分 ≤ 27 分;另一侧踝关节未出现过扭伤、失控及不稳的情况;无机械性踝关节不稳的情况(踝关节前抽屉实验和距骨倾斜实验结果均呈阴性)。排除标准:下肢曾骨折或接受手术;下肢其他关节和躯干存在机械性或功能性不稳定;下肢2周内存在新伤、急性炎症或红肿,且关节活动度受限及功能性活动存在疼痛感;全身性神经肌肉系统失调、前庭系统功能异常和视觉缺损;患者为双侧功能性踝关节不稳者。收集2020年1月~2020年10月在本院康复医学科门诊及住院的30例FAI患者。其中,男21例,女9例,左侧损伤12例,右侧18例,年龄 (27.5 ± 4.4) 岁,身高 (169.6 ± 8.6) cm,体重 (69.3 ± 14.8) kg, BMI (23.8 ± 3.5) , CAIT (21.0 ± 3.1) 分。本研究已通过福建省立医院伦理委员会批准(K2019-03-035),所有患者均签署知情同意书。

1.2 评定标准

1.2.1 等速肌力测试 应用Biodex System 4型多关节等速系统,受试者髌、膝关节角度大约维持在 45° 屈曲位置,踝关节处于中立位置,并以皮带固定髌、膝关节,待受试者熟悉等速肌力测试后,让受试者在角速度以 $60^\circ/\text{s}$ 和 $120^\circ/\text{s}$ 下做5次背伸/跖屈和外翻/内翻重复最大收缩,记录两侧肢体背伸/跖屈和外翻/内翻的峰值力矩比值^[7-8]。

1.2.2 静态平衡能力测试 采用Pro-Kin254评估FAI患者静态平衡能力。在安静、明亮的环境中,受试者单腿站立于平台上。在正式测试前获得受试者健患

侧的压力中心(Center Of Pressure, COP)变换情况^[9]。COP的主要指标包括前后向运动速度、左右向运动速度、运动长度和运动椭圆面积,其中:①运动速度(mm/s):代表COP的移动速度,速度越大则表示稳定性越差;②运动长度(mm):指COP运动轨迹的长度,反映人体重心移动的总距离和晃动程度,运动长度越大表示稳定性越差。③运动椭圆面积(mm^2):指COP运动轨迹所包绕的面积,反映人体重心移动的区域面积,面积越大表示稳定性越差。这些指标在临床应用中具有指导价值^[9]。

1.2.3 动态平衡能力测试 采用Pro-Kin254评估FAI患者动态平衡能力。将仪器灵敏度调节按钮选择至“5”的位置,平台倾斜角度设置为前、后、左、右各 $5 \sim 10^\circ$ 。患者单腿站于平台上,ProKin测试系统主要记录FAI者在前后、左右方向的姿势晃动情况。COP的主要指标为总偏移指数,代表受试者整体偏移的位置与垂直中线形成的角度,反映受试者姿势控制能力,其数值越大代表姿势控制能力越差,跌倒风险程度越高^[10]。

1.2.4 本体感觉评定 采用Pro-Kin254评估患者的本体感觉。将仪器灵敏度调节按钮选择至“5”的位置,平台倾斜角度设置为前、后、左、右各 $5 \sim 10^\circ$ 。患者下肢轻置于平台上,对侧下肢站立于固定支持台上。患者在单轴评定模式下适应性训练3min后选择多轴评定模式进行正式本体感觉评定,其通过踝关节的不同方向运动控制显示器上的光标努力地跟随评定程序指定的轨迹。评定指标主要有平均轨迹误差(average track error, ATE)和平均负重力量差。ATE=(患者踝足控制光标所描记轨迹长度-理想轨迹长度)/理想轨迹长度。ATE数值越小代表患者运动控制能力越强,本体感觉越好^[11]。平均负重力量差反应的是踝关节运动时负重力量控制的均一性,数值越小代表关节的力量控制能力越强,本体感觉越好^[11]。

所有符合纳入和排除标准的受试者在就诊当天进行康复评估,为避免因临床因素和主观因素造成的误差,以上所有评估均由同一名经专业培训的治疗师完成。

1.3 统计学方法 所有数据采用SPSS 21.0统计软件进行分析。计量资料符合正态分布以 $\bar{x} \pm s$ 表示,不符合则以中位数(四分位间距)表示。比较健侧和患侧的D/P值、E/I值和姿势控制能力指标采用独立样本t检验。通过相关性分析探讨患侧D/P值与E/I值与姿势控制能力的相关性,若数据符合正态分布,采用Pearson相关性分析,不符合正态分布则采用Spearman相关性分析。以 $P < 0.05$ 为差异具有统计

学意义。

2 结果

2.1 FAI 患者健侧和患侧的单足姿势控制能力比较
与健侧足比较,患侧足静态平衡能力(左右运动速度和运动长度)、动态平衡能力(总体偏移指数)和本体感觉(平均轨迹错误率和总负重标准差)均显著下降($P < 0.05$),而静态平衡能力(前后运动速度、运动椭圆面积)差异无统计学意义。见表 1。

表 1 30 例 FAI 患者健侧和患侧的单腿姿势控制能力比较

指标	患侧($n=30$)	健侧($n=30$)	$\bar{x} \pm s$	
			t	P
静态平衡				
前后运动速度(mm/s)	23.41±4.81	21.61±2.68	1.793	0.078
左右运动速度(mm/s)	25.72±2.93	23.60±3.02	2.754	0.008
运动长度(mm)	1117.02±195.65	983.81±139.83	3.034	0.004
运动椭圆面积(mm ²)	655.03±120.14	603.16±117.47	1.662	0.102
动态平衡				
总体偏移指数(°)	2.16±0.23	1.20±0.24	15.486	0.000
本体感觉				
平均轨迹错误率(%)	20.52±1.48	18.04±1.24	7.024	0.000
总负重标准差(kg)	1.97±0.11	1.83±0.10	5.191	0.000

2.2 不同角速度下 FAI 患者健侧和患侧的 D/P 值和 E/I 值比较
60°/s 角速度下,FAI 患者患侧 D/P 值和 E/I 值均小于健侧($P < 0.01$)。120°/s 角速度下,FAI 患者患侧 D/P 值和 E/I 值均小于健侧($P < 0.01$)。见表 2。

表 2 不同角速度下 FAI 患者健侧和患侧的 D/P 值和 E/I 值比较

组别	n	D/P 值		E/I 值	
		60°/s	120°/s	60°/s	120°/s
		$\bar{x} \pm s, \%$			
患侧	30	30.91±3.17	27.01±3.50	81.15±4.96	69.26±4.83
健侧	30	34.38±2.77	35.09±2.03	85.68±4.31	82.82±3.65
t		-4.513	-10.945	-3.776	-10.680
P		0.000	0.000	0.000	0.000

2.3 不同角速度下 FAI 患者患侧 D/P 值和 E/I 值与姿势控制能力的相关性
60°/s 和 120°/s 角速度下,前后运动速度数据不符合正态分布,其余数据均符合正态分布,使用 Spearman 分析探讨 D/P 值和 E/I 值与前后运动速度的相关性,使用 Pearson 分析探讨 D/P 值和 E/I 值与左右运动速度、运动长度、运动椭圆面积、总体偏移指数、平均轨迹错误率和总负重标准差的相关性。结果显示在 60°/s 和 120°/s 角速度下,患侧 D/P 值和 E/I 值均与前后运动速度、左右运动速度、运动长度、运动椭圆面积、总体偏移指数、平均轨迹错误率和总负重标准差呈负相关($P < 0.05$)。见表 3。

3 讨论

姿势控制能力是人体维持、达到或恢复平衡状态

表 3 不同角速度下 FAI 患者患侧 D/P 值和 E/I 值与姿势控制能力的相关性

指标	D/P 值(60°/s)		D/P 值(120°/s)		E/I 值(60°/s)		E/I 值(120°/s)	
	r	P	r	P	r	P	r	P
静态平衡								
前后运动速度(mm/s)	-0.567	0.001	-0.767	0.000	-0.691	0.000	-0.771	0.000
左右运动速度(mm/s)	-0.700	0.000	-0.714	0.000	-0.676	0.000	-0.645	0.000
运动长度(mm)	-0.478	0.008	-0.733	0.000	-0.396	0.030	-0.683	0.000
运动椭圆面积(mm ²)	-0.680	0.000	-0.754	0.000	-0.516	0.003	-0.672	0.000
动态平衡								
总体偏移指数(°)	-0.477	0.008	-0.702	0.000	-0.594	0.001	-0.624	0.000
本体感觉								
平均轨迹错误率(%)	-0.459	0.011	-0.734	0.000	-0.617	0.000	-0.683	0.000
总负重标准差(kg)	-0.525	0.003	-0.864	0.000	-0.590	0.001	-0.823	0.000

的内在能力,包括静态平衡能力,动态平衡能力和本体感觉等。踝关节是连接身体与足的重要关节,其主要运动方式有跖/背屈和内/外翻等功能,协同这些运动功能的肌群构成了踝关节动态稳定结构。FAI 患者踝关节周围肌群的肌力失衡会改变踝关节运动时的力学特性,进而产生运动模式错误,引起踝关节失控,导致姿势稳定性下降,增加了跌倒风险^[12-13]。既往研究表明,踝关节周围肌群力量不平衡是踝关节损伤的重要预测因子之一,与姿势控制能力关系密切^[14]。基于此,本研究将探讨 FAI 患者 D/P 值和 E/I 值与其姿势控制能力的相关性。

D/P 值和 E/I 值分别是踝关节背伸/跖屈和外翻/内翻在峰值力矩下的比值,该比值反应关节活动中肌肉平衡情况,间接判断关节稳定性。McKnight 等^[15]研究显示正常成人踝关节背伸峰值力矩仅为跖屈峰值力矩的 31.43%。王向东等^[16]也发现正常青年背伸肌群峰值力矩仅为跖屈肌群峰值力矩的 1/3 左右,并认为踝关节背伸/跖屈峰值力矩比值异常可能是身体姿势失控和踝关节扭伤的原因之一。本研究结果显示,无论在 60°/s 和 120°/s 角速度下,FAI 患者患侧 D/P 值均低于 1/3,结果表明 FAI 患者身体失控和踝关节扭伤风险可能较正常人更大。Baumhauer 等^[17]在研究中发现踝扭伤大学生踝关节 D/P 值与未受伤大学生比相对较小,也与本研究结果相一致。外踝扭伤是踝扭伤的最常见类型,常受累到腓骨长短肌等外翻肌群,导致外翻肌力下降。Willems 等^[18]研究发现 FAI 患者不仅外翻的向心肌力存在不足,而且离心肌力也同样较弱,并猜测外翻肌力不足可能是踝关节不稳和姿势失控的主要原因之一。此外,许多研究者认为外翻肌力薄弱是功能性踝关节不稳的重要因素之一,并将腓侧肌的力量训练作为 FAI 的主要治疗方案^[19]。本研究结果显示 FAI 患者患侧 E/I 值较健侧低,提示患侧外翻肌力缺损程度较内翻大,与上述研究结果相一致。由此可见,FAI 患者 D/P 值和 E/I 值失调,跖屈/背伸和内翻/外翻肌肉失衡,动态稳定结构破

坏,增加踝关节不稳和姿势失控的风险。

Pro-Kin 作为一种新型的平衡测试仪,通过电脑数字化评估,给出准确的量化评分,能够全面、详细和客观的评估受试者的感觉整合能力、应变能力和姿势控制能力,目前已有研究表明其评定踝关节稳定性的数据具有良好的信效度^[20]。本研究的相关性分析结果表明无论是 60°/s 和 120°/s 角速度下,D/P 值和 E/I 值与静态平衡能力、动态平衡能力和本体感觉均呈负相关,提示 D/P 值和 E/I 值是影响 FAI 患者姿势稳定性的潜在因素,两者用来预测 FAI 患者姿势控制能力具有一定潜力。Docherty 等^[21]认为功能性踝关节不稳对单足静态平衡能力的影响不大,本研究结果显示 FAI 患者患侧左右运动速度和运动长度较健侧降低,而前后运动速度、运动椭圆面积却无差异,表明 FAI 患者健侧与患侧单足静态平衡能力相差可能不大,而患侧单足动态平衡和本体感觉较健侧下降。这可能与 FAI 患者不能快速选择合适的动作策略来应对外界环境的变化有关^[22],如落地过程中稳定时间的延迟及功能活动中踝关节周围肌肉激活程度的降低等^[23]。此外,FAI 患者踝关节反复扭伤后,肌肉和韧带中负责感受位置、张力和关节运动等信息的本体感受器和传入神经纤维被破坏,中枢神经系统对踝关节本体感觉的准确感知受到干扰,影响神经肌肉控制对关节运动和负荷做出反应,从而增加踝关节不稳和姿势失控风险^[24]。

综上所述,本研究结果表明 FAI 患者踝关节 D/P 值和 E/I 值与姿势控制能力存在一定相关性。相较于量表,D/P 值和 E/I 值更详细和客观,该比值作为量表的补充对于评估 FAI 患者姿势控制能力具有一定潜力。然而,受限于样本量较少等因素,今后仍需进一步研究对本结果予以验证。

【参考文献】

- [1] Delahunt E, Bleakley CM, Bossard DS, et al. Clinical assessment of acute lateral ankle sprain injuries (ROAST): 2019 consensus statement and recommendations of the International Ankle Consortium[J]. *Br J Sports Med*,2018,52(20):1304-1310.
- [2] Park YH, Park SH, Kim SH, et al. Relationship Between Isokinetic Muscle Strength and Functional Tests in Chronic Ankle Instability[J]. *J Foot Ankle Surg*,2019,58(6):1187-1191.
- [3] 张阳,张秋霞. 单侧功能性踝关节不稳者两侧踝内外翻等速肌力差异性的研究[J]. *北京体育大学学报*,2013,36(12):88-92.
- [4] Kesar TM, Tan A, Eicholtz S, et al. Agonist-Antagonist Coactivation Enhances Corticomotor Excitability of Ankle Muscles[J]. *Neural Plast*,2019,2019:5190671.
- [5] Gribble PA, Delahunt E, Bleakley CM, et al. Selection criteria for patients with chronic ankle instability in controlled research: a position statement of the International Ankle Consortium[J]. *J Athl Train*,2014,49(1):121-127.
- [6] Roemer FW, Jomaah N, Niu J, et al. Ligamentous Injuries and the Risk of Associated Tissue Damage in Acute Ankle Sprains in Athletes: A Cross-sectional MRI Study[J]. *Am J Sports Med*,2014,42(7):1549-1557.
- [7] Fox J, Docherty CL, Schrader J, et al. Eccentric Plantar-Flexor Torque Deficits in Participants With Functional Ankle Instability[J]. *J Athl Train*,2008,43(1):51-54.
- [8] 朱燕,陈永强,丁莹,等. 功能性踝关节不稳的运动员与非运动员踝内外翻肌等速向心及等速离心测试的比较分析[J]. *中国康复医学杂志*,2012,27(5):437-441.
- [9] 王盛,杨菊,朱奕,等. 平衡反馈训练仪用于脑损伤偏瘫患者静态平衡测试的信度与效度研究[J]. *中国康复医学杂志*,2011,26(11):1035-1038.
- [10] Cakar E, Durmus O, Tekin L, et al. The ankle-foot orthosis improves balance and reduces fall risk of chronic spastic hemiparetic patients[J]. *Eur J Phys Rehabil Med*,2010,46(3):363-368.
- [11] 韩肖华,谢凌晨,黄晓琳. 移动式平板训练对踝关节扭伤后本体感觉的影响[J]. *中国康复医学杂志*,2012,27(6):547-550.
- [12] van Lith B, de Niet M, van de Warrenburg B, et al. Excessive short-latency stretch reflexes in the calf muscles do not cause postural instability in patients with hereditary spastic paraplegia[J]. *Clin Neurophysiol*,2019,130(8):1188-1195.
- [13] Ha SY, Han JH, Sung YH. Effects of ankle strengthening exercise program on an unstable supporting surface on proprioception and balance in adults with functional ankle instability[J]. *J Exerc Rehabil*,2018,14(2):301-305.
- [14] Wikstrom EA, McKeon PO. Predicting balance improvements following STARS treatments in chronic ankle instability participants[J]. *J Sci Med Sport*,2017,20(4):356-361.
- [15] Rosen A, Swanik C, Thomas S, et al. Differences in lateral drop jumps from an unknown height among individuals with functional ankle instability[J]. *J Athl Train*,2013,48(6):773-781.
- [16] 王向东,刘学贞,仰红慧,等. 中国青年踝关节跖屈、背屈肌群力量的研究[J]. *中国运动医学杂志*,2003(6):569-572.
- [17] Baumhauer JF, Alosa DM, Renstrom AF, et al. A prospective study of ankle injury risk factors[J]. *Am J Sports Med*,1995,23(5):564-570.
- [18] Willems T, Witvrouw E, Verstuyft J, et al. Proprioception and Muscle Strength in Subjects With a History of Ankle Sprains and Chronic Instability[J]. *J Athl Train*,2002,37(4):487-493.
- [19] Cao S, Wang C, Zhang G, et al. In vivo kinematics of functional ankle instability patients during the stance phase of walking[J]. *Gait Posture*,2019,73:262-268.
- [20] 高敏,梁英,王萍芝,等. 动静态平衡仪评定踝关节稳定性的信效度研究[J]. *中国康复*,2015,30(6):451-454.
- [21] Docherty CL, Valovich MT, Shultz SJ. Postural control deficits in participants with functional ankle instability as measured by the balance error scoring system [J]. *Clin J Sport Med*,2006,16(3):203-208.
- [22] Moisan G, Mainville C, Descarreaux M, et al. Unilateral jump landing neuromechanics of individuals with chronic ankle instability[J]. *J Sci Med Sport*,2020,23(5):430-436.
- [23] Kim H, Son S J, Seeley M K, et al. Altered movement strategies during jump landing/cutting in patients with chronic ankle instability[J]. *Scand J Med Sci Sports*,2019,29(8):1130-1140.
- [24] Hopkins J T, Son S J, Kim H, et al. Characterization of Multiple Movement Strategies in Participants With Chronic Ankle Instability[J]. *J Athl Train*,2019,54(6):698-707.