

人体步态时相对称性评价指标的对比研究*

王人成¹ 张美芹¹

摘要

目的:对比分析现有步态时相对称性评价指标的有效性。

方法:利用健康人和患者的步态分析数据,计算时相对称性指数、基于 Fitts 定律的综合对称性指标、不对称性指标等 5 类指标,然后进行对比分析。

结果:不同评价指标对患者的打分有所差异,其原因是不同指标对同步态参数的敏感度不同。

结论:现有方法都有局限,在临床上应该综合应用这些指标,并探索适应性更强的步态对称性评价方法。

关键词 步态分析;时相对称性;对比分析

中图分类号:R496,R318.01 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-1242(2011)-10-0957-03

人体正常步态的一个突出特点是运动的对称性。特殊或者异常情况在步态整体特征上的反映是破坏了行走的对称性。因此步态的对称性成为步态运动质量评定和行走功能综合评定的重要指标。人体步行是日常生活中最为普遍的一种行为过程,可以说正常的步行不需要思考,但对于医学、生物力学工作者来说,人体步行却蕴含着大量人体生命系统的信息。广义上讲步行是由四百多块肌肉,两百多块骨骼在神经系统的控制下实现的复杂协调动作。狭义上讲在步行的平衡和协调过程中,主要参与的肌肉和关节包括足、踝、膝、髋、躯干、颈、肩和臂协调运动。这其中任何环节的失调都可能影响步行状况,同时某些异常也可能被代偿或掩盖。

传统步态分析方法主要是以医生的经验为主,辅助一些定性或者宏观数据的测试方法,这就带来了一些不可避免的局限性。随着计算机的普及,步态分析系统的应用越来越广泛。刘永彬等^[1-2]通过对健康人和残疾人的步态分析实验,提出了通过步态周期的时间相位判断左右侧腿步态的时相对称性指数(phase symmetry index);White 等^[3]提出通过左右侧腿步态支撑期时间来评价的不对称系数;王人成等人^[4]基于 Paul Fitts^[5]提出的难度指标(index of difficulty)与执行度指标(index of performance)提出了一组对称性综合指标。

因此本文利用健康人和患者的步态数据,计算时相对称性指数、Fitts 定律的综合对称性指标、不对称性指标等 5 类指标,对比研究这些指标的有效性和可靠性,为临床应用提供指导。

1 步态对称性指标

1.1 时相对称性指数

通过步态周期的时间相位判断左右侧腿步态的对称性。

$$ID_{ps} = \sqrt{\frac{T_0}{T}} (0.62 \frac{S_s}{S_m} + 0.38 \frac{W_s}{W_m})$$

式中, T_0 为健康人步态周期平均值; T 为被测对象步态周期; S_s, S_m 为单独支撑期的最小值和最大值; W_s, W_m 为单独摆动期的最小值和最大值。

1.2 基于 Fitts 定律的综合对称性指标

①步长对称性指标

$$ID_{sl} = \frac{\log_2(2S_l/S_{l0})}{\log_2(2S_r/S_{r0})}$$

其中: S_l, S_r 分别为左、右两腿的步长; S_{l0}, S_{r0} 分别为健康人正常步态下左、右两腿的步长精度误差值。

②跨步长对称性指标

$$ID_{sp} = \frac{\log_2(2ST_l/ST_{l0})/t_l}{\log_2(2ST_r/ST_{r0})/t_r}$$

式中, ST_l, ST_r 分别为左、右两腿的跨步长; ST_{l0}, ST_{r0} 分别为健康人正常步态下左、右两腿的跨步长精度误差值; t_l, t_r 分别为左右两腿跨步执行的时间,也就是摆动相所用时间。

③极角和极径对称性指标

$$ID_{sd\theta} = \frac{\log_2(2\theta_{sy}/\theta_{s0})}{\log_2(2\theta_{sm}/\theta_{s0})}$$

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2011.10.015

*基金项目:863 项目(2008AA040203);国家自然科学基金项目(51175289)

1 清华大学摩擦学国家重点实验室智能与生物机械分室,北京,100084

作者简介:王人成,男,副研究员;收稿日期:2011-08-02

$$ID_{sd\rho} = \frac{\log_2(2\rho_{ss}/\rho_{s0})}{\log_2(2\rho_{sm}/\rho_{s0})}$$

$$ID_{sp\theta} = \frac{\log_2(2\theta_{STs}/\theta_{ST0})/t_s}{\log_2(2\theta_{STm}/\theta_{ST0})/t_m}$$

$$ID_{sp\rho} = \frac{\log_2(2\rho_{STs}/\rho_{ST0})/t_s}{\log_2(2\rho_{STm}/\rho_{ST0})/t_m}$$

式中, θ 和 ρ 是运动起点和运动终点脚尖相对于髋关节的极角和极径差值的绝对值; θ_{ss} 、 ρ_{ss} 和 θ_{STs} 、 ρ_{STs} 为步长和跨步长中的较小值; θ_{sm} 、 ρ_{sm} 和 θ_{STm} 、 ρ_{STm} 为步长和跨步长中的较大值; t_s 和 t_m 分别为 $\log_2(2\theta_{STs}/\rho_{ST0})/t$ 值较小侧和较大侧跨步执行时间; θ_{s0} 、 ρ_{s0} 和 θ_{ST0} 、 ρ_{ST0} 分别为正常人正常步态下步长和跨步长的精度误差值。

1.3 不对称系数

$$ASI = \left| \frac{2(X_L - X_R)}{X_L + X_R} \right| \times 100\%$$

X_L 、 X_R 分别为单支撑相左右脚的支撑时间, 在理想状况下 $ASI = 0$ 。

1.4 偏差指标

$$DV = \frac{\text{患者参数值} - \text{正常人参数值}}{\text{正常人参数值}} \times 100\%$$

DV 是偏差指标, DV 越大, 表明该患者偏离正常值越多, 其得分也就越少。

0分—— $|DV| \geq 90\%$

1分—— $60\% \leq |DV| < 90\%$

2分—— $30\% \leq |DV| < 60\%$

3分—— $10\% \leq |DV| < 30\%$

4分—— $0 \leq |DV| < 10\%$

用 DV_i 表示对步幅、步速、步频、左侧步长、右侧步长和步长对称度步态时空参数的偏差指标, 用 DV_{pl} 和 DV_{pr} 表示左右侧腿支撑初期、支撑中期、支撑末期、摆动期和步态周期步态时相参数的偏差指标(表5)。

1.5 对称度指标

$$SI = \left| \frac{\text{左右两侧差值}}{\text{均值}} \right| \times 100\%$$

SI 是对称度指标, SI 越大, 表明该患者偏离正常值越多, 其得分也就越少。

0分—— $|SI| \geq 90\%$

1分—— $60\% \leq |SI| < 90\%$

2分—— $30\% \leq |SI| < 60\%$

3分—— $10\% \leq |SI| < 30\%$

4分—— $0 \leq |SI| < 10\%$

2 实验

应用上述评定指标对 29 例健康志愿者和 7 例患者的步态进行了评定。志愿者的年龄、身高、体重和见表 1—2。

表 1 受试者自然状况 ($\bar{x} \pm s$)

受试者	例数	年龄(岁)	身高(cm)	体重(kg)
女性	13	33.5 ± 7.1	162.2 ± 4.0	59 ± 8.4
男性	16	29.2 ± 8.9	175.4 ± 6.1	71.6 ± 11.0
全体	29	31.1 ± 8.3	169.4 ± 8.4	65.7 ± 11.8

表 2 患者的自然状况及分类 ($\bar{x} \pm s$)

按步态分类	例数	年龄(year)	身高(cm)	体重(kg)
划圈	2	73.3 ± 1.15	167.3 ± 4.04	62 ± 20.78
足外翻	2	56 ± 5.65	169 ± 5.65	77.5 ± 3.53
膝过伸	1	38	167	65
步态不稳	2	57 ± 21.21	183.5 ± 0.71	78.5 ± 4.95

受试者的左右侧面各布置有 6 个标志点, 分别位于肩部、跨部、大转子、膝关节、踝关节和足尖(第二跖骨处)。大转子、膝关节和踝关节处的标志点用于定义下肢的三个主要的关节(髋关节、膝关节和踝关节)中心。肩部的标志点用于记录躯干的运动, 足尖标志点用于记录足的运动。

3 结果与讨论

表 3 是患者与健康人时空参数, 从表中可以看出, 除步频外, 其他患者的其他四项时空参数指标都小于正常人的值, 而步频则远远高于正常人, 其中划圈步态的患者步频增高的尤为显著。

表 4 是患者与健康人时相参数, 从表中可以看出划圈步态的两个患者左右两侧的步态周期都明显低于常人, 而且划圈步态患者 1 的左右时相不对称的程度严重。步态不稳的患者表现在支撑初期与正常人差别比较大, 其他的时相指标接近正常人。

表 5 是评价患者步态 9 个指标, 其中偏差指标 DV 共有 3 个: DV_t 是时空参数偏差指标, DV_{pl} 是左侧时相参数偏差指标, DV_{pr} 是右侧时相参数偏差指标。从表中可以看出, 不同评价指标对 7 个患者的打分有所差异, 其原因是有些指标对不同步态参数的敏感度是不同的, 因此临床上要综合应用这些指标。表 6 列出了影响 FITTS 评价指标的主要因素。

从表 5 中步态不稳的 1 号患者的评价指标可看出其恢复情况最好, 其中 9 个指标 11 个数值中, 只有 ID_{sd} 指标偏低, 但是这项指标也达到 0.6—1 健康人指标范围了。

从上述实验结果分析可以看出, 这 5 类指标, 对患者的

表3 患者与正常人时空参数的对比

时空参数	正常男性	划圈		足外翻		膝过伸		步态不稳	
		1	2	1	2	1	1	2	2
步幅(m)	1.27	0.21	0.35	0.63	1.17	0.59	1.18	1.12	
步速(m/s)	1.03	0.06	0.14	0.52	0.82	0.23	0.98	1.02	
步频(Hz)	0.99	15.86	6.97	1.93	1.21	4.48	1.02	1.11	
左侧步长(m)	0.64	0.08	0.19	0.34	0.67	0.26	0.55	0.53	
右侧步长(m)	0.63	0.14	0.16	0.29	0.49	0.33	0.63	0.59	

表4 患者与正常人时相参数的对比结果

时相参数	正常男性	划圈		足外翻		膝过伸	步态不稳	
		1	2	1	2	1	1	2
左侧								
支撑初期	11.13	20	56	13	11	36	17	11
支撑中期	33.53	32	6	32	45	18	33	43
支撑末期	19.07	10	12	14	12	29	15	14
摆动期	36.27	36	24	39	30	14	33	30
步态周期	1.21	2.8	2.32	1.36	1.24	2.02	1.56	1.56
右侧								
支撑初期	11.13	2	72	15	17	8	15	17
支撑中期	33.53	85	10	47	39	67	34	39
支撑末期	19.07	5	7	16	14	13	15	14
摆动期	36.27	6	9	20	29	10	34	29
步态周期	1.21	2.62	2.76	1.44	1.28	3.18	1.4	1.28

打分有所差异,其原因是这些方法都有局限,不同指标对不同步态参数的敏感度不同。因此在临床上应该综合应用这些指标,并探索适应性更强的步态对称性评价方法。

参考文献

[1] 刘永斌,闫宁. 行走功能定量评定方法研究[J]. 中国康复理论与实践,1996,2(4): 154—158.

[2] 刘永斌,严宁,赵吉凤,等.步态时相对称性与假肢穿着者行走功能直观评价的相关分析[J].中国康复医学杂志,1996,11(1):

表5 患者对称性评价指标值

评价指标	划圈		足外翻		膝过伸		步态不稳	
	1	2	1	2	1	1	2	2
ID _{ad}	0.45865	0.9061	0.67012	0.54098	0.44569	0.60984	0.73091	
ID _{sp}	0.99755	0.69224	0.90064	0.88508	0.80647	0.98762	0.88642	
ID _{adθ}	0.85437	0.73257	0.85117	0.96916	0.92852	0.93523	0.96946	
ID _{adp}	0.48415	0.51977	0.8393	0.54165	0.38286	0.78382	0.40317	
ID _{spθ}	0.64148	0.40983	0.64987	0.87545	0.97576	0.99174	0.90954	
ID _{sp p}	0.12364	0.98022	0.54239	0.55596	0.01368	0.85423	0.59347	
ID _{ps}	0.32	0.45	0.62	0.95	0.58	0.89	0.90	
SI	5	10	13	14	8	19	17	
DV _t	5	7	12	19	10	22	20	
DV _{pl}	11	5	17	15	6	15	16	
DV _{pr}	3	3	13	15	6	16	15	

表6 影响Fitts评价指标的主要因素

评价指标	ID _{ad}	ID _{sp}	ID _{adθ}	ID _{adp}	ID _{spθ}	ID _{sp p}
步长	△		△			
跨步长		△			△	
髋关节角度			△	△	△	△
膝关节角度				△		△
步态周期		△			△	△

19—21.

[3] White R, Agouris I, Selbie RD,et al. The variability of force platform data in normal and cerebral palsy gait[J]. Clinical Biomechanics, 1999, 14:185—192.

[4] 王人成,张美芹,华超,等. 基于Fitts定律的人体步态对称性评定指标[J]. 清华大学学报(自然科学版),2005,45(2):190—192.

[5] Fitts PM. The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement[J]. J Exp Psychol, 1954, 47(6):381—391.