

脑瘫儿童下肢肌电信号和踝关节角度特性分析

杜文静^{1,2}, 李慧奇^{1,2}, 李慧慧^{1,2}, 赵国如^{1,2}, 王磊^{1,2}

1. 中国科学院深圳先进技术研究院, 广东 深圳 518055; 2. 深圳市低成本健康重点实验室, 广东 深圳 518055

【摘要】分析脑瘫儿童下肢肌电信号复杂度特性和行走过程中踝关节跖屈角度和背伸角度大小特性, 指导医生选择合适的治疗和康复措施。选择2014年6~7月间深圳市残疾人辅助器具资源中心的脑瘫儿童25例, 患者下肢均异常, 患者及家长自愿完成实验。25例脑瘫儿童年龄2~8岁, 平均(5.44±1.85)岁, 平均身高(108.44±13.39) cm, 平均体质量(18.24±5.46) kg。受试者沿着5 m步态平台以自己最为舒适的步速行走, 采用美国BIOPAC公司的MP150数据采集分析系统, 获得下肢腓肠肌和胫骨前肌的表面肌电信号, 采用加速度传感器记录踝关节角度参数, 采用Footscan足底压力系统记录患儿足底压力参数, 并在测试前由专业医师进行粗大运动功能测试。采用SPSS19.0软件对数据进行统计学分析。结果显示行走过程中脑瘫患儿下肢严重侧腓肠肌和胫骨前肌肌电信号平均样本熵分别为1.78和1.76, 而较轻侧腓肠肌和胫骨前肌肌电信号平均样本熵分别为1.45和1.39, 表明严重侧肌肉参加运动的运动单元数量比较轻侧有所增加。严重侧踝关节跖屈和背伸运动的角度峰值平均值分别为49.89°和-5.29°, 而较轻侧踝关节跖屈和背伸运动的角度峰值平均值分别为54.28°和-8.20°, 表明严重侧比较轻侧踝关节角度小。脑瘫患儿足底压力分布不均匀, 足弓部位压力分布最大, 并且足跟触地初期、足前部触地期、整足支撑期和足前部蹬离期时间依次呈增长趋势。

【关键词】脑瘫; 信号复杂度; 踝关节角度; 腓肠肌; 胫骨前肌

【中图分类号】R742.3; R337.5

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2017)03-0259-07

Feature analysis of low limb in children with cerebral palsy based on electromyography and angle of ankle joint

DU Wenjing^{1,2}, LI Huiqi^{1,2}, LI Huihui^{1,2}, ZHAO Guoru^{1,2}, WANG Lei^{1,2}

1. Shenzhen Institutes of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenzhen 518055, China; 2. Shenzhen Key Lab for Low-cost Healthcare, Shenzhen 518055, China

Abstract: The study aims to analyze the features of low limb based on electromyography complexity, the angle of ankle plantar flexion and dorsiflexion in children with cerebral palsy, and to provide guidance for doctors to select appropriate treatments and rehabilitation measures. Twenty-five children with cerebral palsy in Shenzhen Disabled Equipment Resource Center from Jun. 2014 to Jul. 2014 volunteered to participate in the experiment. All the patients with abnormal low limb aged 2-8 years old, with an average age of (5.44±1.85) years, average height of (108.44±13.39) cm and average weight of (18.24±5.46) kg. During the subjects walks straight for 5 meters at their self-selected comfortable speed toward a target line on the floor, the MP150 analysis system of U.S. BIOPAC was used to acquire the information of ankle joints, including the surface electromyography signals of gastrocnemius and tibialis anterior of low limb; acceleration sensors was used to record the angle of ankle joints; Footscan plantar pressure system was used to record the plantar pressure parameters, and the gross motor function test was performed by professional doctors before the experiment. Statistical analysis was carried out using SPSS 19.0 software. The experimental results showed that mean values of sample entropy from gastrocnemius and tibialis anterior muscle of the more-affected side were 1.78 and 1.76, respectively, and those of the less-affected side were 1.45 and 1.39, respectively, which showed that the number of gastrocnemius and tibialis anterior muscle motor unit of the more-affected side was much more than that of less-affected side in children with cerebral palsy during walking. The mean values of the angle peak of ankle plantar flexion and dorsiflexion of the more-affected side were 49.89° and -5.29°, respectively, and those of the less-affected

【收稿日期】2016-10-09

【基金项目】国家自然科学基金(61401454); 中科院技术攻关项目(KFZO-SW-202); 广东省科技计划国际合作项目(2012B050200004); 深圳市南山区项目(CXZZ20150401152602734)

【作者简介】杜文静, 女, 研究方向: 人体运动信号和图像处理, E-mail: wj.du@siat.ac.cn

side were 54.28° and -8.20°, respectively, which showed that angle of the more-affected side was smaller than that of the less-affected side. The distribution of planter pressure of children with cerebral palsy was asymmetrical, and the pressure of mid foot was largest. The time of initial contact phase, forefoot contact phase, foot flat phase and forefoot push off phase were increasing in turn.

Keywords: cerebral palsy; complexity of the signal; angle of ankle joint; gastrocnemius; tibialis anterior

前言

脑性瘫痪(Cerebral Palsy, CP)是指出生前、出生时或出生后的胎儿和婴幼儿脑部受非进行性损伤而出现的中枢性运动障碍,常伴有持续性运动和姿势异常,有认知、感觉、交流或行为障碍^[1-2]。脑瘫是造成患儿致残的主要疾病之一,随着新生儿医学、产科学及康复医学的发展,脑瘫的患病人数不但没有减少,反而有增长趋势,主要原因是脑瘫虽是非进行性的,但运动障碍却长久存在,因此现存的大量患者和新生患儿都增加了总体数量。深圳市目前登记在案的脑瘫患儿 500 多人,在市残联等医疗康复机构,每例脑瘫患儿年康复治疗费用 3 万~4 万元,这给家庭和社会带来沉重的负担。因此,研究脑瘫患者下肢异常特性,帮助医生制定和选择合适、有效的治疗和康复措施,使患者早日康复是刻不容缓的。

1 对象和方法

1.1 研究对象

选择 2014 年 6~7 月间在深圳市残疾人辅助器具资源中心进行康复评估的 25 例脑瘫儿童作为测试对象。入选儿童均符合以下标准:(1)符合 2006 年第二届全国儿童康复、第 9 届中国小儿脑瘫康复学术会议讨论通过的脑性瘫痪的定义、诊断条件;(2)非其他病因导致的下肢异常;(3)年龄为 2~12 岁脑瘫儿童。所有受试者家长及本人均自愿参加此次测试,受试前 24 h 内未做剧烈运动,以排除过度运动残余疲劳的影响。实验进行前,康复医师先对每例患儿进行粗大运动功能分级(Gross Motor Function Classification System, GMFCS),其中对第 D 项站立能力(Gross Motor Function measure: GMFM_D)以及第 E 项走、跑、跳能力(Gross Motor Function measure: GMFM_E)进行了评估,将患儿划分为 I 级和 II 级。I 级表示可以在没有双手帮助的情况下自行进行室内外走动、爬楼梯,简单跑跳等能力;II 级表示需要扶持或支撑的情况下爬楼梯坐立,行走一定距离,但不能跑跳等活动。患儿基本信息见表 1。

1.2 试验仪器

实验系统采用 Xsens 公司 MTX 运动跟踪器,获

表 1 脑瘫患儿基本信息
Tab.1 Information of children with cerebral palsy

Parameters	CP	I	II
Number	25	16	9
Age (year)	5.44±1.85	5.38±1.86	5.56±1.94
Height/cm	108.44±13.39	110.94±14.26	104.00±11.03
Weight/kg	18.24±5.46	18.75±5.60	17.33±5.39
GMFM_D	35.96±6.79	38.44±1.03	40.44±15.12
GMFM_E	83.91±18.29	62.31±8.20	40.44±15.12
Berg	49.08±10.73	54.31±1.25	49.08±10.73

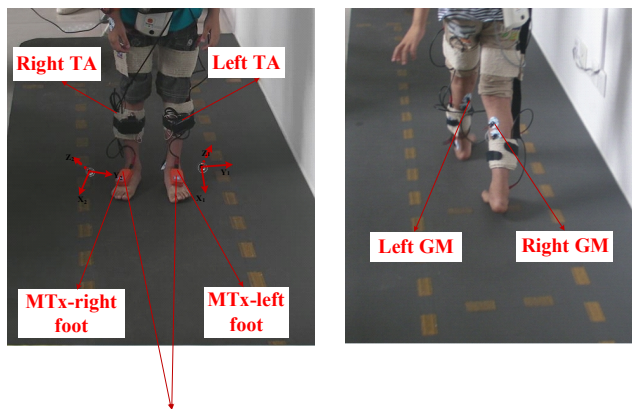
CP: Cerebral palsy; GMFM: Gross motor function measure

取人体姿态踝关节角度,数据采集不需要精确踝关节与相应传感器之间的距离;美国 BIOPAC 公司的 MP150 数据采集系统最大可达 400 000 点/s,TEL100C-RF 四通道无线遥测系统(遥测距离 75 m),操作软件 Acqknowledge 4.2 版本,可在放大器上选择增益,采样率自由设定,用于采集患儿行走过程中下肢腓肠肌和胫骨前肌肌肉表面肌电信号,电极采用该公司生产的一次性 Ag/Cl 电极片,电极粘附区直径 52 mm,导电区直径 10 mm;比利时 RS Scan 公司出品 Footscan Version 7 足底压力步态分析系统测量并记录儿童行走中足底接触面压力分布的轮廓和各种数据。

1.3 试验方法

实验一:由专业医师对每位测试者进行 GMFCS 和平衡能力评估测试。

实验二:受试者暴露下肢腓肠肌(Gastrocnemius, GM)和胫骨前肌(Tibialis anterior, TA),室温 25 ℃左右,电极定位,记录电极与参考电极两电极中心连接方向与采样肌肉纤维的长轴方向平行,两电极中心间距 20 mm。受试者佩戴好测试仪器后,在测试平台上静止站立 1 min 后,开始沿着规定轨道以自己最为舒适的姿势和步速在 5 m 平台上自由行走,利用 MP150 采集系统同时采集左侧腓肠肌、右侧腓肠肌、左侧胫骨前肌和右侧胫骨前肌 4 块肌肉的表面肌电信号,采样率为 1 000 Hz,如图 1 所示。每人测试 3 次,每次测试前受试者休息 2~3 min,以避免肌肉疲劳。



Two Bil Nomadix physiological recording modules

GM: Gastrocnemius; TA: Tibialis anterior

图1 脑瘫受试者测试过程

Fig.1 Test process for children with cerebral palsy

实验三:在实验一进行的过程中,受试者同时佩戴加速度传感器,同时记录下关节角度信号。

实验四:在实验一的过程中,受试者在5 m测试步态测试平台上行走,并记录下足底压力分布数据。

1.4 数据分析

1.4.1 数据与处理 将采集的.acq 和.mtb 数据分别通过Acqknowledge和MT Manager软件转化为.txt文件。

1.4.2 样本熵参数提取 用Matlab R2010b 软件对左右侧腓肠肌和胫骨前肌4个通道的表面肌电信号进行50 Hz工频去燥,去噪后进行5 000样本点的样本熵参数提取。样本熵是样本点在一段之间中出现某种特定模式的概率大小,而脑瘫儿童行走时,由于下肢的异常面出现非正常化行走模式。因此,探究脑瘫患者肌电信号的样本熵,有助于了解患者下肢异常程度,即可作为一种标准去评估患者下肢康复疗效。

样本熵最早是由Richman^[3]提出,是将原始 $x(1), x(2), x(3), \dots, x(N)$ 共 N 个点的数据,组成 m 维矢量,即

$$X(i)=[x(i), x(i+1), \dots, x(i+m-1)] \quad (1)$$

定义矢量 $X(i)$ 和矢量 $X(j)$ 之间的距离为:

$$d[X(i), X(j)]=\max |x(i+k)-x(j+k)| \quad (2)$$

其中, $k=0, 1, 2, \dots, m-1, 1 \leq i, j \leq N-m+1$,给定相似容限 r ,计算当 $1 \leq i \leq N-m$ 时, $d[X(i), X(j)] < r$ 的数目与矢量总数 $N-m-1$ 的比值,即

$$B_i^m(r)=\frac{\text{num}\{d[X(i), X(j)] < r\}}{N-m-1} \quad (3)$$

得对 i 所有的平均值:

$$B^m(r)=\frac{\sum_{i=1}^{N-m} B_i^m(r)}{N-m} \quad (4)$$

将维数加1,同理可得:

$$B^{m+1}(r)=\frac{\sum_{i=1}^{N-m+1} B_i^{m+1}(r)}{N-m+1} \quad (5)$$

当 N 为有限值时,该序列的样本熵为:

$$\text{Sampen}(m, r, N)=-\ln \frac{B^{m+1}(r)}{B^m(r)} \quad (6)$$

根据肌电信号处理方法^[4],选择 $m=2, r=0.15$ 。

1.4.3 踝关节角度提取 足部坐标系如下:Z轴与足平面垂直,指向向上;X轴与足平面平行,指向向前;Y轴由X轴、Z轴的正交得到。利用人体解剖学上的特征点,人体下肢坐标系能精确确立。惯性传感器节点坐标经过转换后与人体下肢坐标系方向一致,则人体下肢姿态角可由传感器节点表示。采用Matlab2010b对角度信号进行姿态角解析,并进行滤波处理,提取出踝关节角度参数。

行走过程,踝关节主要有两种主要的运动模式:跖屈和背伸。跖屈角度是指步行时水平地面到脚后跟抬起最大脚尖未离开地面的角度,设定这个方向为正;背伸角度是指水平地面到脚尖抬起最大且脚后跟未离开地面时的角度,指定这个方向为负。

提取踝关节最大跖屈角度(α)与背伸角度(β)。取单次踝关节跖屈和背伸峰值各4个,即为 $\alpha_1, \beta_1; \alpha_2, \beta_2; \alpha_3, \beta_3; \alpha_4, \beta_4$,则可得受试者单次踝关节跖屈角度 $\alpha=(\alpha_1+\alpha_2+\alpha_3+\alpha_4)/4; \beta=(\beta_1+\beta_2+\beta_3+\beta_4)/4$,每位测试者共采集3次,如图2所示。

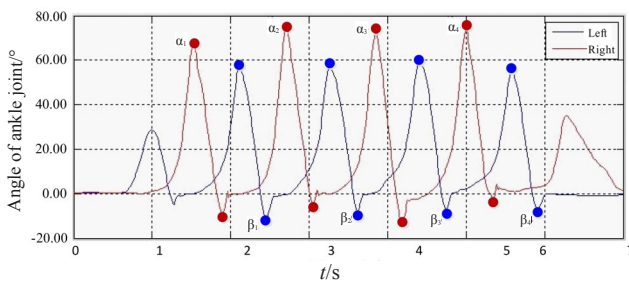


图2 提取一位受试者测量1次的踝关节角度图

Fig.2 Acquired angle of ankle joint in a subject

1.4.4 足底参数 一般包括足底压力峰值、支撑期时相等。足底基于解剖学的分区分为10个区域:第1趾骨(T1)、第2~5趾骨(T2-5)、第1跖骨(M1)、第2跖骨(M2)、第3跖骨(M3)、第4跖骨(M4)、第5跖骨(M5)、足弓(MF)、足跟内侧(HM)和足跟外侧(HL)^[5],见图3。或简单将足底分为3个区域:后足(HM, HL)、中足(MF)、前足(T1, T2-5, M1, M2, M3, M4, M5)。

1.5 统计学分析

采用SPSS19.0统计学软件对各参数进行分析,采用单因素方差分析分别检验性别和年龄对脑瘫儿童肌电信号样本熵、踝关节角度、足底压力等参数是否有显著性影响;I级和II级两组患儿在肌电信号样

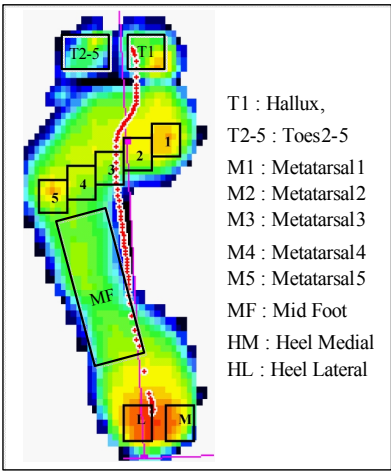


图 3 足底各区域分布图
Fig.3 Plantar regional distribution

本熵、踝关节角度、足底压力等参数之间的差异性采用独立样本 *t* 检验。数据以均数±标准差表示。

2 结果

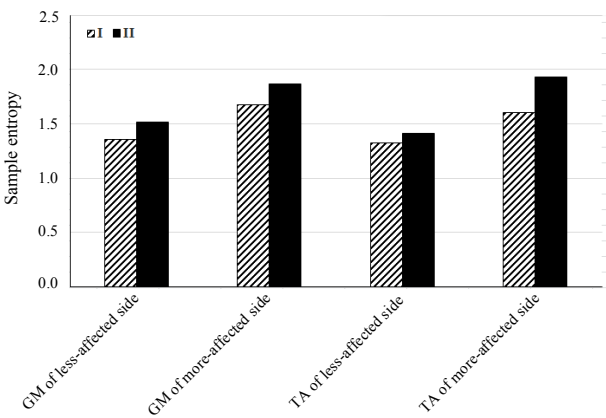
对 25 例脑瘫儿童肌电信号样本熵、踝关节角度、足底压力等参数是否存在性别、年龄影响进行了单因素方差分析,结果显示肌电信号样本熵、踝关节角度、足底压力等参数在性别、不同年龄之间无显著差异性($P>0.05$)。由于脑瘫患儿下肢异常时,往往存在两侧下肢严重程度不一致的情况,根据医生的诊断和测试者行走过程中下肢表现出的外在异常程度,将每位受试者的左右下肢分为较轻侧和严重侧。对总体样本而言,较轻侧/严重侧=25/25。

2.1 脑瘫患儿下肢肌电信号样本熵值特性

GMFCS 是对脑瘫患者下肢行走能力进行评估的量表,分为 5 级(I~V),等级越高,患者下肢运动能力越差^[6]。25 例脑瘫患儿中,19 例患者 GMFCS 为 I 级,6 例患者为 II 级,比较不同级患者样本熵值,结果如图 4 所示。等级为 I 级的脑瘫患儿腓肠肌和胫骨前肌肌肉的表面肌电信号样本熵值明显小于等级为 II 级的患者,说明下肢运动功能越差,患者行走过程中出现不同运动模式的频率越大;并且在 I 级和 II 级中,下肢严重侧比较轻侧样本熵值大,也验证了下肢越严重行走过程中出现异常运动模式的频率越大。此外,I 级和 II 级患儿严重侧胫骨前肌肌电信号样本熵值存在显著性差异($P=0.019<0.050$)。

2.2 脑瘫患儿踝关节角度峰值特性

踝关节角度峰值,体现了行走过程中患者本身中枢神经控制关节运动的能力^[7]。比较不同等级下踝关节角度峰值,结果如图 5 所示。结果显示 GMFCS 为 I 级的脑瘫患者,行走过程中踝关节跖屈运动角度



GMFCS: Gross motor function classification system
图 4 GMFCS 不同级之间的样本熵值大小比较
Fig.4 Comparison of the value of sample entropy in different ranks of GMFCS

峰值和背伸运动角度峰值均大于评估为 II 级的脑瘫患儿,说明下肢异常程度越严重,患者在行走过程中大脑对下肢关节的自主控制能力越差,同时 I 级和 II 级中的较轻侧跖屈和背伸运动角度峰值大于严重侧的角度峰值,也验证了该结果。I 级和 II 级患儿仅仅严重侧跖屈角度存在显著性差异($P=0.044<0.050$),揭示了患者下肢的异常对患儿踝关节跖屈运动影响较为显著。

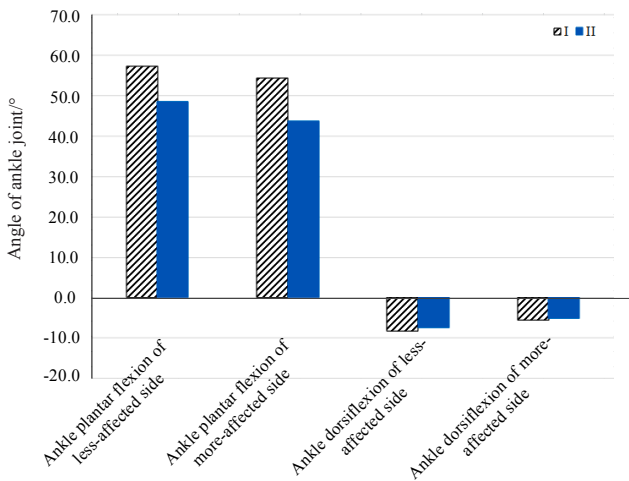


图 5 不同 GMFCS 等级之间踝关节角度峰值比较
Fig.5 Comparison of angle peak value of ankle joints in different ranks of GMFCS

2.3 脑瘫儿童足底各区域压力分布

脑瘫儿童异常步态对患者的生长发育及日常活动造成很大的影响。帮助脑瘫儿童建立及改善步行能力,是脑瘫儿童康复治疗的主要目标之一。步态分析作为运动功能评定的一部分,在脑瘫儿童的康复功能评定中具有重要作用。了解脑瘫患儿足底压力特性,

在给予适合的矫形器穿戴后,由于力线纠正,孩子的一些关节尤其是足的发育,会出现一个突飞猛进的补偿性恢复阶段。本文探究脑瘫儿童足底压力特性,结果显示脑瘫儿童足底10个区域压力峰值分布,如图6所示。由图6可见,脑瘫患儿自然行走时,左足最大压强的部位为足弓部,其他部位的受力由大到小依次是:第1趾骨、足跟外侧、第5跖骨、第2~5趾骨、足跟内侧、第4跖骨、第2跖骨、第3跖骨、第1跖骨;右足最大压强的部位也为足弓部,其他部位的受力由大到小依次是:足跟外侧、第1趾骨、足跟内侧、第1跖骨、第2~5趾骨、第2跖骨、第3跖骨、第4跖骨、第5跖骨,左右足分布规律基本一致。

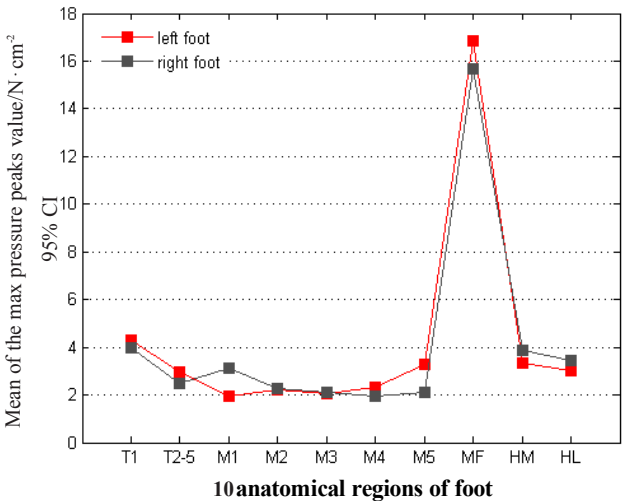
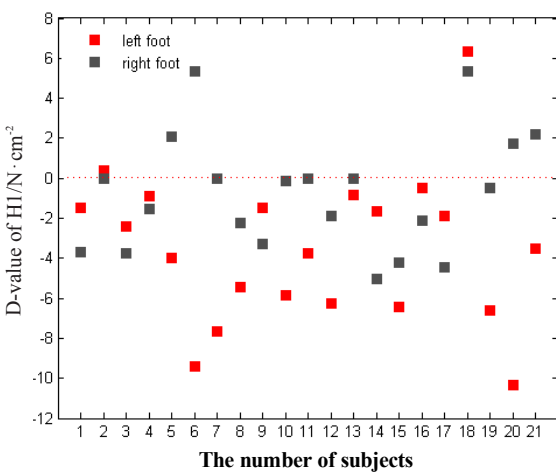
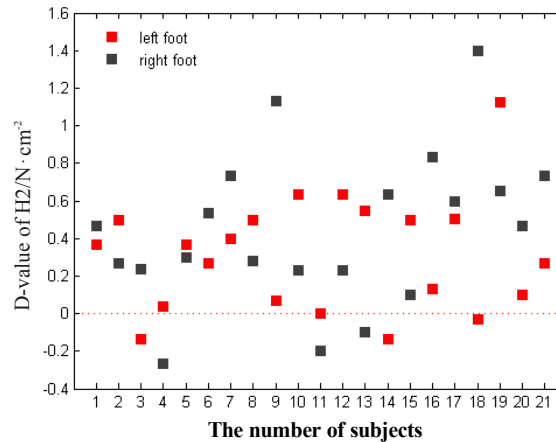


图6 脑瘫儿童足底最大压力峰值分布图
Fig.6 Maximum pressure distribution of a foot

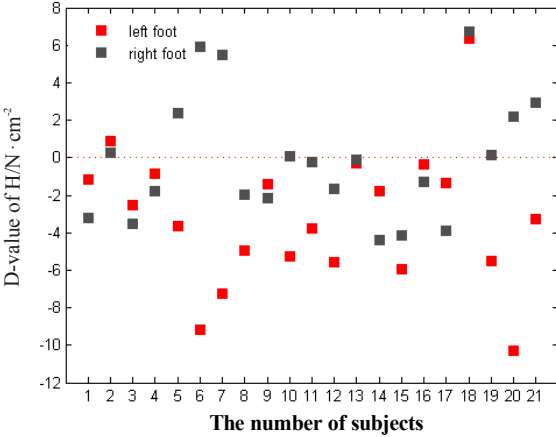
再者,测定不同部位的足底压力,当 $(M1+M2)>(M3+M4+M5)$ 时,认为存在前足部外翻,反之则为内翻,因此足前部平衡值 $H1=(M1+M2)-(M3+M4+M5)$ 。同时,当 $HM>HL$ 时,足跟部外翻,反之则为内翻,足跟部平衡值 $H2=HM-HL$;当 $(HM+M1+M2)>(HL+M3+M4+M5)$ 时,足外翻,反之则为内翻,足平衡值 $H=(HM+M1+M2)-(HL+M3+M4+M5)^{[8]}$ 。25例患儿在测试中,由于足底压力设备的异常,4例患儿足底压力数据未采集到,因此21例患儿足部平衡参数分布见图7。图7a所示左足前脚掌外翻占3.45%,内翻占89.66%,平衡占6.89%;右足前脚掌外翻占24.14%,内翻占48.27%,平衡占27.59%;图7b所示,左足足跟外翻、内翻、平衡所占比例依次为:79.32%、10.34%、10.34%;右足足跟外翻、内翻、平衡所占的比例依次为:79.31%、6.90%、13.79%;图7c图所示左足外翻、内翻、平衡所占比例依次为:6.90%、86.20%、6.90%;右足外翻、内翻、平衡所占比例依次为:31.03%、48.28%、20.69%。



a: Distribution of the balance parameter H1 in the front foot



b: Distribution of the balance parameter H2 in foot heel



c: Distribution of the balance parameter H in the foot

图7 足部平衡参数分布
Fig.7 Distribution of plantar balance parameters

此外,脑瘫儿童在平地自然行走时,左右足支撑期各阶段时间分布如图8所示。脑瘫患儿左右足接触时间的分布规律一致,无显著性差异。支撑期各阶段时间所占比例由大到小依次是:足离地阶段、整足接触阶段、足接触阶段、开始着地阶段,左右足支撑期各阶段时间呈增长趋势。

2.4 不同年龄段平衡能力及GMFXS得分变化趋势

平衡能力主要是评估患者运动时整体的协调能

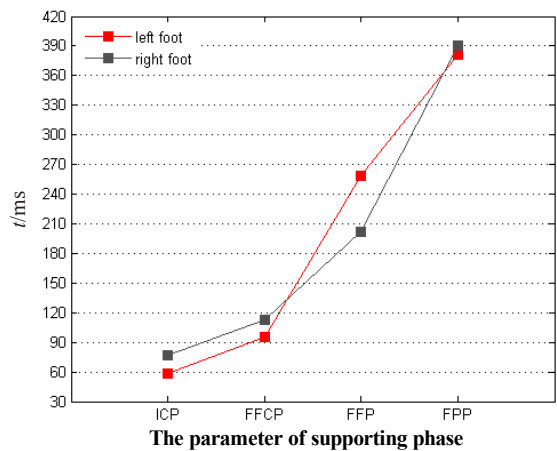


图8 脑瘫儿童各支撑时相时间分布
Fig.8 Supporting phase of children with cerebral palsy

力。正常儿童在行走过程中肌肉、关节、骨骼等会相互协调作用保持身体平衡,而脑瘫患者由于中枢神经异常,很难控制人体各部位关节、肌肉、骨骼等相互协调作用,从而表现出较差的平衡能力。脑瘫儿童平衡能力测试一般采用 Berg 测试,根据受试者完成 14 项测试内容的情况给出评分,每一项根据完成情况分为 0~4 分,总分 56 分。以百分比系数 B 表示患者的平衡能力, B 越大平衡能力越强, B 定义如下:

$$B = \frac{\text{Berg (实际得分)}}{56} \times 100\%$$

(1)

比较不同年龄段脑瘫儿童平衡能力,结果如图 9 所示。对于有行走能力的脑瘫儿童,2~3 岁平衡能力有增强的转变,3~5 岁平衡能力趋于稳定,而 5~6 岁平衡能力有减小的趋势,6~8 岁有增强的趋势。6 岁为平衡能力一个较大的转折点。粗大运动功能评估是 1989 年 Russell 等^[9] 制定的小儿脑瘫临床疗效评估量表,分 5 个运动功能区,本文进行的是第 4 和第 5 运动功能区的测试评估。第 4 区为站立运动评估,共 13 项内容,每项分为 0~3 分,共 39 分;第 5 区为走/跑/跳及攀登运动评估,共 24 项内容,每项分为 0~3 分,共 72 分。图 10 所示脑瘫患儿随着年龄的增长,站立/行走/跑跳不断增强,6 岁显示出较大的转折点。

3 讨论与结论

由于不同状态的肌肉在产生收缩运动时,肌肉中参加运动的神经单元数量、神经传导速度及运动单元放电的频率有所不同,从而导致运动复杂性的程度产生差异。样本熵是通过度量信号中产生新模式的概率大小来衡量时间序列的复杂度特性。研究表明肌肉在 3 种不同损伤模式下的样本熵存在较大差异,神经源性损伤比健康肌肉的样本熵值小,因为较少的肌肉运动单元数量会进行放电发放,而肌源性损伤会有较多的运动单元以正常运动单元模式进

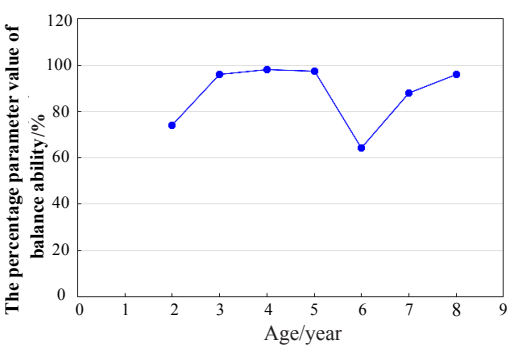


图9 不同年龄段脑瘫儿童平衡能力百分比
Fig.9 Percentage parameter value of the balance ability of children with cerebral palsy of different ages

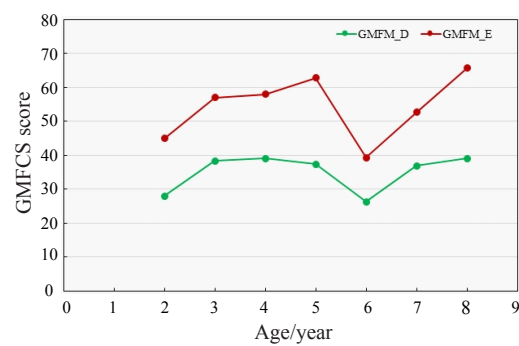


图10 不同年龄段脑瘫儿童粗大运动功能评估得分
Fig.10 GMFCS score of children with cerebral palsy of different ages

行放电,新模式出现频率增大,信号复杂度增强^[10]。本研究发现脑瘫儿童的下肢腓肠肌和胫骨前肌肌肉的肌电信号样本熵与该理论一致,该理论所说的肌肉不同损伤模式,是在正常健康肌肉的基础上神经源肌肉损伤,未考虑肌肉的痉挛状态,而脑瘫患儿下肢往往会出现肌力过大,肌肉痉挛,运动过程中肌肉不能协调进行收缩和舒张^[11],肌肉不受个体本身意识的控制过度收缩。长此以往,患者大脑意识中产生了这种非正常化行走模式,肌肉长期处于过度痉挛状态,从而在行走过程中肌肉参加运动的运动单元数量增加,使得样本熵值大于正常肌肉。

脑瘫儿童往往下肢异常比上肢严重,存在一定的痉挛、偏瘫、肌力增强或降低等症状,会导致关节畸形、运动功能障碍^[12]。踝关节是人体重量承载的重要部位,踝关节的畸形会引起人体下肢力线发生变化从而影响足的健康发育。本研究结果显示下肢异常严重的患者行走时,踝关节跖屈和背伸角度出现过度较大或过度较小,可能原因是患者腓肠肌张力增高、膝关节屈曲痉挛^[13],患儿膝关节处于僵硬的伸直状态,不能使得膝关节进行轻度的屈曲,导致膝关节在行走过程中处于过伸状态,并且踝关节以上感觉的减退和丧失,使得关节上下肌肉群收缩不协调,不能很好地支撑身体进行行走运动。因此,踝关节跖屈和背伸运动的角度峰

值均比异常较轻的患者小,本身的平衡能力较差。

人体足底压力分布反映有关足部的结构、功能及整个身体姿势控制等情况^[14]。足底压力分布在生物力学、临床医学等方面的重要性,正在引起人们的高度重视^[15]。目前对不同状态下足底压力参数进行分析研究,进一步掌握足的运动机能和特征,是人体运动机能研究的热点问题。

足底压强(单位面积的足底压力)是研究足底局部相关组织承受过高过长时间压力而引起该部位损伤的一个指标^[16]。脑瘫患儿自然行走时,左右足底各部位承受压力最大处均为足中部,左足最小处为第1跖骨,右足最小处为第5跖骨,并且左足与右足在第1跖骨和第5跖骨所受压强存在显著性差异。孟昭莉等^[17]发现健康小孩的足底压力特性为自然行走时左右足底承受压力最大部位为足跟、最小为足中部。说明脑瘫患者在自然行走过程中足部压力分布与健康儿童压力分布不同,左右足底部位足中部受到很大压力,长时间将会严重损伤患者该区的足底组织。临床上,尖足症状容易被发现,但是足内翻、足外翻尤其是较轻程度的患者往往易被忽视,长此以往形成这种行走方式后,将很难矫正得到康复,所以利用足底压力测试系统可以通过传感器比较敏感地测知足底压力的分布情况,比肉眼观察更早发现足部过度翻转情况。本研究中,足各部位出现过度翻转现象,以足前部内翻和足跟部外翻多见,提示存在病理性足内翻和足外翻。足部触地时间分析显示,脑瘫患儿行走过程中,足跟触地初期、足前部触地期、全足支撑期和足前部蹬离期时间依次呈增长趋势。足平衡值显示,患者在行走过程中,足内翻出现的较多,主要是因为患儿小腿三头肌张力较高,步行时会出现足跟外侧先触地或者足前部外侧缘承受压力增强的情况,长期的步行习惯易形成足过度内翻,建议进行康复训练矫正患者的行走姿态。

【参考文献】

- [1] VAN DEN NOORT J C, SCHOLTES V A, HARLAAR J. Evaluation of clinical spasticity assessment in cerebral palsy using inertial sensors[J]. *Gait Posture*, 2009, 30(2): 138-143.
- [2] 张莉, 马扎丹, 苟毅, 等. 康复护理对脑性瘫痪患儿膝反张的影响[J]. *中国医药导报*, 2015, 12(35): 119-122.
ZHANG L, MA Z D, GOU Y, et al. Effect of rehabilitation nursing on the knee hyperextension in children with cerebral palsy [J]. *China Medical Herald*, 2015, 12(35): 119-122.
- [3] RICHMAN J S, MOORMAN J R. Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy [J]. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*, 2000, 278(6): H2039-H2049.
- [4] 赵晓华, 许士丽, 荣建, 等. 基于 ROC 曲线的驾驶疲劳脑电样本熵判定阈值研究[J]. *西南交通大学学报*, 2013, 48(1): 178-183.
ZHAO X H, XU S L, RONG J, et al. Discriminating threshold of driving fatigue based on the electroencephalography sample entropy by receiver operating characteristic curve analysis [J]. *Journal of Southwest Jiaotong University*, 2013, 48(1): 178-183.
- [5] 刘奕, 吴建贤. 足外翻脑瘫患儿步行时的足底压力特征[J]. *安徽医学*, 2011, 32(1): 1-4.
LIU Y, WU J X. The planter pressure characteristics of children with talipes valgus [J]. *Anhui Medical Journal*, 2011, 32(1): 1-4.
- [6] 吴丽影, 张圆圆. 小儿脑瘫康复治疗浅析[J]. *中医临床研究*, 2015, 7(29): 144-145.
WU L Y, ZHANG Y Y. An analysis of the recovery of infantile cerebral palsy [J]. *Clinical Journal of Chinese Medicine*, 2015, 7(29): 144-145.
- [7] KIM S H, KWON O Y, PARK K N, et al. Correlation between the angle of lateral tibial rotation and the ratio of medial and lateral hamstring muscle activities during standing knee flexion [J]. *J Phys Ther Sci*, 2013, 25(4): 383-386.
- [8] EKATERINA B, TITANOVA A, PLAMEN S, et al. Footprint analysis of gait using a pressure sensor system [J]. *J Electromyogr Kinesiol*, 2004, 14: 275-281.
- [9] RUSSELL D, ROSENBAUM P L, AVERY L M. Gross motor function measure (GMFM-66 & GMFM-88) user's manual [D]. London: Mac Keith, 2002: 30-123.
- [10] 杨晓利, 李振伟, 胡志刚. 肌电信号的样本熵分析[J]. *中国科技信息*, 2014(2): 34-36.
YANG X L, LI Z W, HU Z G. The research of electromyographic signal based on sample entropy [J]. *China Science and Technology Information*, 2014(2): 34-36.
- [11] KO I H, KIM J H, LEE B H. Relationship between lower limb muscle structure and function in cerebral palsy [J]. *J Phys Ther Sci*, 2014, 26(1): 63-66.
- [12] 杨宜, 舒世琼, 鲍同柱. 儿童踝足矫形器对于儿童矫形生理学影响与治疗效果[J]. *河北医学*, 2012, 18(10): 1363-1366.
YANG Y, SHU S Q, BAO T Z. The physiological and therapeutic effects of AFO on children orthopedic physiology [J]. *Hebei Medicine*, 2012, 18(10): 1363-1366.
- [13] 易南, 王冰水, 李玲, 等. 不同类型的踝足矫形器对痉挛型脑瘫患儿行走功能的影响[J]. *中国康复医学杂志*, 2002, 17(2): 100-102.
YI N, WANG B S, LI L, et al. Effects on ambulation of children with spastic cerebral palsy by different kind of ankle foot orthoses [J]. *Chinese Journal of Rehabilitation Medicine*, 2002, 17(2): 100-102.
- [14] 陈冬冬, 史惟. 脑瘫患儿肌肉、骨骼、关节和步态的评定方法[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2008, 30(6): 418-421.
CHEN D D, SHI W. The evaluation methods of muscle, bones, joints and gait in children with cerebral palsy [J]. *Chinese Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, 2008, 30(6): 418-421.
- [15] 李枫玉, 何有节, 徐波, 等. 足底压力测试系统在脑瘫患儿研究中的应用[J]. *西部皮革*, 2014, 36(11): 40-44.
LI F Y, HE Y J, XU B, et al. Application of plantar pressure test system in children with cerebral palsy [J]. *West Leather*, 2014, 36(11): 40-44.
- [16] DE COCK A, WILLEMS T, WITVROUW E, et al. A functional foot type classification with cluster analysis based on plantar pressure distribution during jogging [J]. *Gait Posture*, 2006, 23(3): 339-347.
- [17] 孟昭莉, 元文学. 学龄儿童背负不同重量行走时足底压力分布研究[J]. *生物医学工程学杂志*, 2008, 25(4): 852-855.
MENG Z L, YUAN W X. Distribution of planter pressure in school children during walking with different loads on their backs [J]. *Journal of Biomedical Engineering*, 2008, 25(4): 852-855.

(编辑:黄开颜)