三维步态分析系统在儿童运动功能评价中的运用◆

胡 玲，肖 农，陈玉霞

Three-dimensional gait analysis system in the evaluation of children's motor function

Hu Ling, Xiao Nong, Chen Yu-xia

Abstract

BACKGROUND: Three-dimensional gait analysis (3DGA) system is an analysis system which connects motion analysis system, surface electromyography and pressure plate though a set of network. It analyzes kinematics and dynamic of the gait using the providing real-time data such as mechanics and optics.

OBJECTIVE: To introduce the quantitative evaluation of human gait function with 3DGA so as to analyze abnormal motion, design training plan of rehabilitative therapy, evaluate rehabilitative curative effect, make orthosis and provide objective evidence for patients of children.

METHODS: We searched for articles about gait analysis between January 1991 and February 2010 in PubMed database with the key words of "three dimensional gait analysis and children" in English. A total of 136 articles were retrieved. We chose the articles about the evaluation of the scientific research and clinic in children's motion function by 3DGA system and eliminated obsolete and repeated trials ones. We chose articles which published recently or published in an authoritative magazine among the same field literatures. Finally, 28 articles were selected.

RESULTS AND CONCLUSION: There liability in 3DGA surpasses that in observational gait analysis (OGA) as a means of assessment. The major components of 3DGA are motion analysis system, pressure plat and the surface EMG. Musculoskeletal models response to the basic anatomy and structure in the 3DGA system. 3DGA system is an advanced tool that can assess human gait objectively, which is widely used in assessment of motion function of children. Application of 3DGA system for motion function in children: the diagnosis and analysis of abnormal gait, assessment before a certain treatment, assessment of the effectiveness and prognosis. 3DGA system is a reliable and systemic tool to assess the effectiveness of clinical trail. It is widely used abroad in research and assessment of motor function in adults. But it is not mature in evaluation of motor function in children.

Hu L, Xiao N, Chen YX. Three-dimensional gait analysis system in the evaluation of children's motor function.Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu yu Linchuang Kangfu. 2011;15(17):3187-3190. [http://www.crter.cn http://en.zglckf.com]

Rehabilitation Center, Children Hospital of Chongqing Medical University (Ministry of Education Key Laboratory of Child Development and Disorders; Key Laboratory of Pediatrics in Chongqing, CSTC2009CA5002; Chongqing International Science and Technology Cooperation Center for Child Development and Disorders), Chongqing 400014, China

Hu Ling, Rehabilitation Center, Children Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 400014, China
huling47542463@sohu.com

Correspondence to: Xiao Nong, Master, Rehabilitation Center, Children Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 400014, China
xiaonongwl@163.com

Received: 2010-12-07
Accepted: 2011-03-23

摘要

背景：三维步态分析系统是一组通过网络将运动分析系统，动态体表肌电图和压力板连接起来的系统。

目的：利用三维步态分析提供的实时力学等数据，对步态进行运动学和动力学方法定量评定，为异常运动儿童患者提供相关客观依据。

方法：应用计算机检索 1991-01/2010-02PubMed 数据库(http://www.ncbi.nlm.nih.gov/PubMed)，检索词为“Three-dimensional gait analysis，children”。检索文献量总计136篇，选择三维步态分析系统在儿童运动功能评价中科研及其临床应用方面的文献，排除陈旧及重复实验文章，同一领域文献则选择近期发表或发表在权威杂志的文章，最终纳入28篇符合标准的文献。

结果与结论：三维步态分析系统的可靠性优于视觉步态分析。可诊断并分析异常运动，作治疗前评价，治疗后的效果评价和预后评价。在国外科研和成人运动功能评估中运用广泛，但在儿童运动功能评价中的运用还不是很成熟。

关键词：三维步态分析系统；运动功能；评价；儿童；数字化医学
doi:10.3969/j.issn.1673-8225.2011.17.035

胡玲，肖农，陈玉霞．三维步态分析系统在儿童运动功能评价中的运用[J].中国组织工程研究与临床康复，2011，15(17):3187-3190. [http://www.crter.org http://cn.zglckf.com]

0 引言

步态分析是评价运动功能一个重要手段，但传统步态观察分析其准确性不能保证，而且受测试者的主观因素影响很大。由于这些缺陷，半自动化的三维步态分析系统就应运而生了。三维步态分析系统是一组通过网络将运动分析系统，动态体表肌电图和压力板连接来，提供实时的力学等数据，并对步态进行运动学和动力学分析的系统。年龄和性别差异都会造成获得的步态数据的差异[1-2]。相较于临床测量和视觉步态分析，三维步态分析系统有更好的可靠性。Desloovere 等[3]证明动态和静态相结合的临床测量不能充分的预测步态分析的数据。Kawamura 等[4]的研究也表明：视觉步态分析只有在初步接触地面时膝关节屈曲和骨盆倾斜度上有与三维步态分析相似的可靠性，在步态周期中的其他 8 项需要量化评估的选定点中可靠性均不如三维步态分析。

重庆医科大学附属儿童医院(儿童发育疾病研究省部共建教育部重点实验室; 儿科学重庆市重点实验室; 重庆市儿童发育重大疾病诊治与预防国际科技合作基地)康复中心，重庆市 400014

胡玲，女，1986年生，重庆市人，汉族，2009年中国医科大学毕业，主要从事神经康复方面的研究。
huling47542463@sohu.com

通讯作者：肖农，硕士，重庆医科大学附属儿童医院康复中心，重庆市 400014
xiaonongwl@163.com

中图分类号:R318
文献标识码:A
文章编号: 1673-8225(2011)17-03187-04

收稿日期: 2010-12-07
修回日期: 2011-03-23
(20101207023/D · W)

1 资料和方法

1.1 资料来源 由本文第一作者在2010-04进行资料检索，检索与三维步态分析系统和儿童运动功能评估的相关研究原著、文献综述和相关实验研究报告，英文数据库Pubmed (1991-01/2010-02)，关键词为Three-dimensional gait analysis and children，所有检索时间均截至2010-02。文献检索无语种限制。

1.2 入选标准 ①有关三维步态分析系统在儿童中应用的研究文章。②纳入同领域内近期发表的针对性强、影响因子高的相关文章。③排除重复或类似的同一研究、Meta分析、个案报道等。

1.3 质量评估 文献筛选和质量评价由2位研究者独立进行并交叉核对，独立使用统一资料提取数据，遇有分歧讨论解决。

1.4 数据的提取 共收集到136篇关于三维步态分析系统在儿童异常运动分析、康复治疗制定、训练计划制定、康复疗效评定等方面的科研及其其临床应用方面的文献，排除发表时间较早、重复及类似研究，纳入28篇符合标准的文献。

2 结果

2.1 纳入文献基本情况 初次检索得到136篇文献，均为英文文献，按纳入及排除标准筛选后，排除与本文无关文献，共纳入28篇。其中三维步态系统介绍7篇[1-7]；有关三维步态分析系统用于儿童异常运动分析的研究4篇[8-11]；三维步态分析系统用于治疗前评价的研究9篇[12-20]；用于治疗后评价的研究8篇[21-28]。

2.2 三维步态分析系统

2.2.1 运动分析系统 运动分析系统(motion analysis system)是一组通过网络连接的分析系统。可以进行运动学分析，主要包括：人体重心分析、廓清机制、步态时间—空间测定和肢体阶段性运动测定。

2.2.2 表面肌电图 表面肌电图(surface electromyography，sEMG)又称为动态肌电图(dynamic EMG)，是一种将电极放在肌肉皮肤表面探测肌肉电活动的一种技术。在控制良好的条件下，表面肌电信号活动的变化在很大程度上能够定量反映肌肉活动的局部疲劳程度、肌力水平、肌肉激活模式、运动单位兴奋传导速度、多肌群协调性等肌肉活动和中枢控制特征的变化规律[5]。

2.2.3 压力板 压力板(pressure plate)在三维步态分析系统中压力板被用来测量步行过程中足底压力大小及变化规律。获得数据可用于步态的动力学分析，分析步行作用力和反作用力的强度、方向和时间。研究表明：测量中使用较多，较小的压力板，可以提高测量的精确度[6]。

2.2.4 肌肉骨骼模型 肌肉骨骼模型(Musculoskeletal model)是三维步态分析中用以反应肌肉骨骼基本解剖和结构的模型。这一模型主要分为两种：①通用缩放肌肉骨骼模型。②MR-based肌肉骨骼模型。研究证明通用缩放模型不重视患者的股骨几何，过度估计了髋关节屈曲，伸展，内收，外展和外旋的力臂长度；低估了髋关节内旋的力臂长度。现在，特定主题的MR-based肌肉骨骼模型可以用来获得并分析特定主题的步态异常的可观察到的生物力学的成因[7]。

2.3 三维步态分析系统在儿童运动功能评价中的应用 三维步态分析是一种新兴的运动评估技术，可以用于诊断，运动功能的评价，并指导治疗。对于科研和临床功能评价均是一种可靠的评价工具。

2.3.1 鉴定分析异常运动 三维步态分析系统能够准确的鉴别并分析异常运动，及时的发现异常运动并可以通过运动学、动力学及动态肌电图的分析找出异常运动的原因。主要可鉴别分析运动异常，偏瘫诊断分析等。

神经系统疾病的患儿多存在不同程度的运动异常。这些运动异常是疾病的主要表现之一，三维步态能准确鉴别并分析这些异常。以蹲伏步态为例，蹲伏步态是脑瘫患儿的一项令人厌恶的异常，特点是：髋关节和膝关节支撑相过度屈曲。三维步态分析不仅可以准确的鉴别出此异常步态，还可以通过动力学和运动学的分析找出蹲伏步态产生的原因。通过量化臀大肌、腿腱、比目鱼肌、腓肠肌和其他肌肉引起的髋膝关节角加速度，和计算髋膝关节的肌肉引起的单位加速度力可以评价每块肌肉加速肢体部分屈曲和伸展的动态潜力描述单侧肢体支撑相的肌肉活性。这些三维步态分析显示蹲伏姿势与步态时，几乎所有的主要髋关节和膝关节伸肌的能力都明显降低，但腿腱肌肉群例外，它们在蹲伏姿势时其能力得以维持[8-9]。Anderson等[10]运用一个三维仿真模型和感应位置分析来

测定足趾离开地面时和足趾离开地面后肌肉压力的运动学条件如何影响正常步态摆动相的膝关节屈曲峰值，最后得出：膝关节摆动相的最初角速度对峰值膝屈曲度有最大的贡献，而足趾离开地面时的肌肉压力对膝关节的屈曲峰值影响最大。

三维步态分析系统的运用不仅限于对步态进行分析还可分析手部运动。三维运动系统可以分析偏瘫儿童在完成功能任务的实时节奏，关节活动度和近端补偿机制。Mackey 等[11]在研究偏瘫儿童手部运动中，运用三维步态分析系统发现患儿获得较慢的运动速度($P < 0.5$)。关节活动度中，反掌姿势和肩伸展减少而躯体前屈补偿性增加。

2.3.2 治疗前评价 三维步态分析通过指导手术和其它治疗方法使对脑瘫和脊髓损伤患儿的治疗有革命性的改变[12]。三维步态分析可以为治疗方案的确定提供较准确的依据，并使治疗获得更好的治疗效果，减少治疗中的风险并防止进一步的损害。运用来自于三维步态分析的治疗推荐的脑瘫患儿在步行中明显获得更好的进步[13]。Arnold 等[14]运用三维步态分析检查肌肉，肌腱的长度和速度证明步行有异常缓慢腿筋或短肌腱的个体不同于没有这些表现的人；并且这可能有助于鉴别哪些病人在伸膝或骨盆倾斜方面有手术后不理想的改变的危险。Konop 等[15]，在研究中运用三维步态系统对两种类型助行器的三维关节反应压力和力矩进行分析。对现有数据的动力学分析可以用于长期的临床学习计划。可以早期检查出上肢关节存在病理学的危险因素，进而在步态例行训练、助行器安装、或者助行器设计中做出改变以防止进一步的损害。

在外科手术治疗中，三维步态分析的使用同样具有重要意义。三维步态分析系统的分析结果可能改变患儿的手术建议、手术方案。结合三维步态分析的运动学，动力学和肌电图数据有 52%的脑瘫患儿改变了其手术建议，在减少手术花费的同时也避免了不必要的手术损伤。在进行三维步态分析后，腓肠肌和股直肌的手术建议增加而腿腱、腰肌、髋关节内收肌、股骨和胫骨的手术建议减少[16]。Vries 等[17]通过实验证明了多程序段足运动学模型在判定最佳手术治疗方法和评价治疗效果中的有效性。Arnold 等[18]以骨盆，股骨和胫骨近端的三维几何结构，髋关节和胫关节运动学以及半腱肌和半膜肌路径为特征的三维步态分析的运动学数据的计算机下肢模型对患者半膜肌的肌腱长度和速度进行评估，从而判断出手术可以松弛患者紧张的跟腱和减少腘旁伸展性痉挛反应。进而证明了腿腱手术的有效性。Lofterød 等[19]和 Chan 等[20]分别运用三维步态分析证明了孤立小腿肌肉加长术和选择性背神经根切断术术后的功能改善情况和远期效果。

2.3.3 治疗后评价 三维步态还可以用于治疗后的治疗效果评价和远期的预后评价。是一种被推荐用于临床试验的有效性的、系统的、可靠的工具[21]。此系统可用于评价各种治疗方法对疾病患儿关节运动学、动力学及肌电活动的改善情况。Beyaert 等[22]运用三维步态分析对手术治疗后的残余畸形内旋进行膝、踝、髋关节运动学、动力学和动态肌电图分析，发现此畸形患儿在步行中膝关节的运动学发生动态改变，是引起膝关节炎的原因。

三维步态分析系统的使用，同时能够评价矫形器的效果，帮助临床医师更准确的使用矫形器。评价矫形器的使用效果及发现其可能存在的损伤。Lucareli 等[23]则对穿有临床上的规定的带铰链的地面反作用力踝—足矫形器(FRAFO)进行三维步态分析，得出膝关节伸展和踝关节背曲等情况，进而证明 FRAFO 的有效性。而 Sison-Williamson 等[24]运用三维步态分析系统对使用踝膝矫形器的脊髓脊膜突出患儿的失状面，横断面，冠状面运动功能进行分析得出：突出位置不同矫形器效果不同，如：S1-2-水平对膝关节有害[24]。

3 前景展望以及存在问题

综上所述，三维步态分析系统是一个先进的功能评价技术。在国外三维步态分析系统已经开始运用于儿童运动评价中，从而进行异常步态的分析，治疗评价，手术方案确定和手术评价以及帮助矫形器的使用。相较于临床测量和视觉步态分析，三维步态分析系统有更好的可靠性。很多实验研究也证明临床测量的准确性和客观性都不及三维步态分析系统。此外，由于三维步态分析系统的可靠性和准确性，三维步态分析系统已经在科研中被作为一个评价的标准用以评价其他评估方法的可靠性和有效性[25-28]。三维步态分析系统这一分析工具通过对生物动力学、运动学、肌肉活动情况的客观数据的分析，不受测试者经验及主观因素的影响，使得对儿童运动功能的评价相较于传统的量表评价方法和视觉评价更具客观性且更加全面[3]，使得对儿童运动功能障碍的进一步的治疗更具靶向性，能够更准确的进行个体化治疗，更好的改善儿童的运动功能。

但是，三维步态分析系统在国内运用于临床儿童运动功能评价还存在许多问题。①缺乏国内儿童的正常数据库，目前所能使用的数据库均为西方的三维步态分析系统公司提供的数据库。而西方人和东方人的步态并不是完全相同的，用西方人的正常值范围来衡量及评价东方人的步态情况是不完全准确的。②只使用两块测力台也给三维步态分析的运用造成了影响，儿童的理解力有限，很难完全的理解并完全按照医师的要求进行步行。③目前，三维步态分析系统的运用并不一定总是可靠的，需要控制变异性，才能使三维步态分析的结果可靠。

同时，目前国内仅有少数几家医院拥有进行三维步

态分析的条件，这使得这一技术在国内的运用极其有限，用于儿童运动功能的评价就更少。但作为一个客观的评估手段，三维步态分析系统相较于传统的量表检测法具有更好的准确性和针对性[3]。因此，三维步态分析系统在未来的儿童运动功能评估中占有重要的地位。在未来的研究中，应该着力于解决以上的几个问题。尽快通过大样本数据采集建立国内儿童步态参数的正常数据库，同时在研究和临床测试中寻找控制变异性的方法。使三维步态分析系统能广泛用于儿童运动功能评价。

4 参考文献

[1] Reid SM, Graham RB, Costigan PA. Differentiation of young and older adult stair climbing gait using principal component analysis. Gait Posture. 2010;31(2):197-203.
[2] Cho SH, Park JM, Kwon OY. Gender differences in three dimensional gait analysis data from 98 healthy Korean adults. Clin Biomech (Bristol, Avon). 2004;19(2):145-152.
[3] Desloovere K, Molenaers G, Feys H, et al. Do dynamic and static clinical measurements correlate with gait analysis parameters in children with cerebral palsy? Gait Posture. 2006;24(3):302-313.
[4] Kawamura CM, de Morais Filho MC, Barreto MM, et al. Comparison between visual and three-dimensional gait analysis in patients with spastic diplegic cerebral palsy. Gait Posture. 2007; 25(1):18-24.
[5] Lam WK, Leong JC, Li YH, et al. Biomechanical and electromyographic evaluation of ankle foot orthosis and dynamic ankle foot orthosis in spastic cerebral palsy. Gait Posture. 2005; 22(3):189-197.
[6] Wong AY, Sangeux M, Baker R. Calculation of joint moments following foot contact across two force plates. Gait Posture. 2010; 31(2):292-293.
[7] Scheys L, Van Campenhout A, Spaepen A, et al. Personalized MR-based musculoskeletal models compared to rescaled generic models in the presence of increased femoral anteversion: effect on hip moment arm lengths. Gait Posture. 2008;28(3):358-365.
[8] Hicks JL, Schwartz MH, Arnold AS, et al. Crouched postures reduce the capacity of muscles to extend the hip and knee during the single-limb stance phase of gait. J Biomech. 2008;41(5): 960-967.
[9] Arnold AS, Anderson FC, Pandy MG, et al. Muscular contributions to hip and knee extension during the single limb stance phase of normal gait: a framework for investigating the causes of crouch gait. J Biomech. 2005;38(11):2181-2189.
[10] Anderson FC, Goldberg SR, Pandy MG, et al. Contributions of muscle forces and toe-off kinematics to peak knee flexion during the swing phase of normal gait: an induced position analysis. J Biomech. 2004;37(5):731-737.
[11] Mackey AH, Walt SE, Stott NS. Deficits in upper-limb task performance in children with hemiplegic cerebral palsy as defined by 3-dimensional kinematics. Arch Phys Med Rehabil. 2006; 87(2): 207-215.
[12] Patrick JH. Case for gait analysis as part of the management of incomplete spinal cord injury. Spinal Cord. 2003;41(9):479-482.
[13] Filho MC, Yoshida R, Carvalho Wda S, et al. Are the recommendations from three-dimensional gait analysis associated with better postoperative outcomes in patients with cerebral palsy? Gait Posture. 2008;28(2):316-322.
[14] Arnold AS, Liu MQ, Schwartz MH, et al. The role of estimating muscle-tendon lengths and velocities of the hamstrings in the evaluation and treatment of crouch gait. Gait Posture. 2006; 23(3):273-281.
[15] Konop KA, Strifling KM, Wang M, et al. A biomechanical analysis of upper extremity kinetics in children with cerebral palsy using anterior and posterior walkers. Gait Posture. 2009;30(3):364-369.
[16] DeLuca PA, Davis RB 3rd, Ounpuu S, et al. Alterations in surgical decision making in patients with cerebral palsy based on three-dimensional gait analysis. J Pediatr Orthop. 1997;17(5): 608-614.
[17] de Vries G, Roy K, Chester V. Using three-dimensional gait data for foot/ankle orthopaedic surgery. Open Orthop J. 2009;3:89-95.
[18] Arnold AS, Liu MQ, Schwartz MH, et al. Do the hamstrings operate at increased muscle-tendon lengths and velocities after surgical lengthening? J Biomech. 2006;39(8):1498-1506.
[19] Lofterød B, Terjesen T. Local and distant effects of isolated calf muscle lengthening in children with cerebral palsy and equinus gait. J Child Orthop. 2008;2(1):55-61.
[20] Chan SH, Yam KY, Yiu-Lau BP, et al. Selective dorsal rhizotomy in Hong Kong: multidimensional outcome measures. Pediatr Neurol. 2008;39(1):22-32.
[21] Ditunno J, Scivoletto G. Clinical relevance of gait research applied to clinical trials in spinal cord injury. Brain Res Bull. 2009;78(1): 35-42.
[22] Beyaert C, Haumont T, Paysant J, et al. The effect of inturning of the foot on knee kinematics and kinetics in children with treated idiopathic clubfoot. Clin Biomech (Bristol, Avon). 2003 ;18(7): 670-676.
[23] Lucareli PR, Lima Mde O, Lucarelli JG, et al. Changes in joint kinematics in children with cerebral palsy while walking with and without a floor reaction ankle-foot orthosis. Clinics (Sao Paulo). 2007;62(1):63-68.
[24] Sison-Williamson M, Bagley A, Hongo A, et al. Effect of thoracolumbosacral orthoses on reachable workspace volumes in children with spinal cord injury. J Spinal Cord Med. 2007;30 Suppl 1:S184-191.
[25] Mackey AH, Walt SE, Lobb GA, et al. Reliability of upper and lower limb three-dimensional kinematics in children with hemiplegia. Gait Posture. 2005;22(1):1-9.
[26] Mackey AH, Stott NS, Walt SE. Reliability and validity of an activity monitor (IDEEA) in the determination of temporal-spatial gait parameters in individuals with cerebral palsy. Gait Posture. 2008;28(4):634-639.
[27] Mackey AH, Stott NS, Walt SE. Reliability and validity of an activity monitor (IDEEA) in the determination of temporal-spatial gait parameters in individuals with cerebral palsy. Gait Posture. 2008;28(4):634-639.
[28] Brown CR, Hillman SJ, Richardson AM, et al. Reliability and validity of the Visual Gait Assessment Scale for children with hemiplegic cerebral palsy when used by experienced and inexperienced observers. Gait Posture. 2008;27(4):648-652.

关于作者：第一、二、三作者构思并设计本综述，第一作者进行资料收集并成文，第二、三作者完成审校，第一作者对本文负责。

利益冲突：课题未涉及任何厂家及相关雇主或其他经济组织直接或间接的经济或利益的赞助。

伦理批准：没有与相关伦理道德冲突的内容。

此问题的已知信息：三维步态分析的方法已应用临床步行功能的评价，弥补了传统量表评估不能进行定量分析的问题。

本综述的增加信息：三维步态分析系统虽能成功应用，但是由于缺乏国内儿童的正常数据库、变异性控制等问题是使得其在国内儿童运动功能评价中的运用受限。在这些方面加以研究完善，方能使三维步态分析系统得到更加广泛的应用。

提供临床借鉴的价值：定量准确的评价方法对于康复治疗方案的制定至关重要，运动功能的评估方式很多，从评估的客观性来看，三维步态分析系统为定量的分析方法。相较于传统的定性量表评估更为可靠。但在进行三维步态分析时应注意欧美正常值范围与国内儿童的差别，及参数变异性的控制。三维步态分析系统的使用有利于医生准确的掌握患儿的功能异常情况，更好的制定系统康复治疗方案和计划。