● 博士(生)论坛 Doctor Forum

确定下肢肌肉附着点空间坐标的研究及其应用

单大卯[1],魏文仪[2]

摘要:采用近景摄影测量的先进技术,对人体(尸体)下肢肌肉的起止点进行量测;运用计算机进行编程解析,求得国人下肢肌肉附着点的三维坐标。建立下肢4个运动环节的独立坐标系;运用刚体方位广义坐标描述下肢环节运动;提供肌肉机能评定相关的定量参数资料。建立起止点坐标与有关的人体测量参数间的回归方程,为活体下肢肌肉起止点的推算提供依据。

关键词:下肢肌肉;肌肉代起止点;环节独立坐标系;肌肉运动学和动力学参数;近景摄影测量

中图分类号:G804.63 **文献标识码**:A **文章编号**:1005-0000(2005)04-0041-03

Research and Application for the Three-Dimensional Coordinate of the Origins and Terminations of Lower Limb Muscles

SHAN Da-mao[1], WEI Wen-yi[2]

(1.School of PE, Shandong University, Jinan 250061, China; 2.Shanghai Institute of Physical Education, Shanghai 200438, China)

Abstract: In this paper, using a new close shot photography technique, the origins and terminations of lower limb muscles of the body were measured. The authors managed to get the three-dimensional coordinate of the origins and terminations of the Chinese people' s lower limb muscles after an analysis with computer program, developed the four tache independent coordinates system; described tache movement of lower limb with the rigid body azimuth generalized coordinates provided rational data for assessing muscles' enginery; and developed as well the regression equation between the muscular origin-termination coordinate and anthropometric parameters, thus providing the basis for the calculation of the muscular origin-termination positions of the live body.

Keywords: legs muscles; substitute mark of muscles origins and terminations; tache independent coordinates system; muscle kinematics and kinetics parameter; close shot photography measurement

人体在运动过程中,肌肉长度、肌长度变化速率、肌力臂等肌肉功能参数以及肌肉功能的动态变化,是运动生物力学、运动解剖学、运动生理学和体育训练学等学科领域中十分关注的课题,它们对于深入探讨人体运动规律、肌肉的神经控制与工作特性以及制定肌肉专项力量训练方案等均具有非常重要的理论和实践意义[1]。

确定单块在体肌肉工作性质的定量分析研究(尤其是双关节肌在两个关节上的作用)不多。在人体环节剧烈运动情况下,在体肌肉空间长度变化是不可测的。定量分析在体肌肉的长度变化,研究在体肌肉的工作性质,需不断寻找可行可信的间接推测方法。

评定肌肉工作性质最关键、最有说服力的指标是肌肉工作时的长度变化;而肌肉附着点位置的定量资料是确定肌肉长度的基础。确定在体肌肉附着点位置方法学上存在极大困难,因此,源于尸体样本的定量资料(三维坐标)是推测在体肌肉空间长度最关键的依据。同时,肌肉附着点位置又是确定肌肉拉力作用线的基础;后者相对于关节中心的位置是确定肌力臂的依据;肌力臂是肌力矩的两个关键组成部分之一;肌力矩是环节转动的源泉。目前单一肌肉的肌力不能直接获得,肌力臂也是推算肌力的前提,是研究肌力的一个重要因素。上述肌肉长度、肌肉拉力作用线、肌力臂、肌力矩、肌力等参数,都是分析肌肉机能和力学特性不可缺少的指标。

1 研究对象及方法

1.1 研究对象

尸体10具(8男2女),身高为1.60~1.88 m,年龄为25~55岁。

1.2 肌肉附着点量测标本的制备及附着点、四独立坐标系基准点的标定

将尸体沿第12胸椎下缘平面横切(保留腰大肌起点),游离下肢左右肢体作用于髋、膝、踝3个关节的全部肌肉,每侧肢体共38块。从肌肉附着点的骨面附着处切除肌肉,确定附着点位置,并进行标记(每侧肢体共99个)。保留各关节上韧带和关节囊的完整结构,以利标本定位。同时标记用于建立4个独立坐标系的基准点(每侧肢体共11个)。

肌肉的大小、形态、肌纤维走行及附着点几何形状都有很大差异。不同形态特点的肌肉附着点采用不同的原则和方法进行标记,以减少标记误差[2,3]。

肌肉代起止点的定义:肌肉从起点到止点肌纤维纵轴走向为曲线,即肌纤维在某骨性结构处转弯。若此骨性结构在起点骨上,该处则为相应肌肉的代起点;反之,骨性结构在止点骨上,则为代止点。肌肉代起止点的定义适用于全身从起点到止点纵轴

收稿日期:2004-09-04;**修回日期**:2004-12-24;**录用日期**:2005-02-10

作者简介:单大卯(1959-),男,山东青岛人,博士,山东大学副教授、硕士生导师。

作者单位:1.山东大学 体育学院,济南 250061;2.上海体育学院,上海 200438

万方数据

走向为曲线的所有肌肉。代起止点对空间起止点走向非直线的肌肉而言，是分析其机能必不可少的，其决定着肌肉长度、肌肉拉力作用线方向和力臂的确定，有着十分重要的应用价值。

1.3 肌肉附着点、独立坐标系基准点的量测(三维坐标原始数据的获得)

下肢待测标本基本按标准解剖姿势(各环节运动基准位)定位。

1.3.1 量测实验一[4] 量测对象为6具尸体(4男2女)双侧肢体共12个样本。采用DJ8经纬仪精确测定自制控制框架上16个控制点；利用前方交会法和三角高程法解算，获得控制点的空间坐标，观测精度≤0.4mm。由误差传播定律推算可知待定点点位中误差≤1mm。

采用海鸥DF-1照相机，视线高为1/2控制框架高，交汇距离为4 m，在12个站位上拍摄全部附着点、坐标系基准点和控制点。按照DLT解析的要求，将12个站位的底片进行象对组合，以保证每一象对的交相角为60°；同名待测点均拍入象对的两张底片中；且至少可取到6个同名控制点。

采用1818立体坐标量测仪，对各象对底片的控制点和肌肉附着点以及坐标系基准点进行读片量测，获得二维坐标数据。依据测量学要求，利用工程测量的近景摄影测量最新DLT计算机专业程序进行解析，求得全部待测点对于控制框架几何中心的三维坐标。旨在为获取高精度的独立坐标系三维坐标数据奠定基础。

1.3.2 量测实验二 量测对象为4俱男性尸体双侧肢体，共8个样本。采用日本SOKKIA公司的SET 2000型电子全站仪，以视线高为1/2标本固定架高，测量距离为4 m，在4个站位上量测全部肌肉附着点和坐标系基准点，以获得待测点对于标本几何中心的三维坐标原始数据。

电子全站仪[5]是一种由机械光学、电子元件组合而成的测量仪器，可以同时进行角度(水平角、垂直角)测量和距离(斜距、平距、高差)测量，是目前工程测量近景摄影测量领域中较为先进的测量仪器。与用DLT法解析的近景摄影测量相比，精度高，对量测物体的定位和量测点标记的要求低，无需控制框架，无需拍片和读片。因此，减少了人为误差，提高了效率。同样的量测工作，拍片、读片用DLT法解析得到原始三维坐标耗时两个月，而用全站仪直接量测只需两天。本研究中，将全站仪首次应用于人体科研的量测实验，为工程测量先进仪器的使用拓宽了应用领域。

1.4 下肢各运动环节相应独立坐标系的建立[4,6]及环节运动轴的确定

依据下肢机械轴，由各环节独立坐标系基准点的原始三维坐标，建立各绕关节运动的肢体环节的独立坐标系(右侧肢体为右手坐标系，左侧者为左手系)。通过计算机编程解算，将肌肉附着点原始三维坐标转到各自相应的独立坐标系，最终获得下肢肌附着点在各相应环节附着骨独立坐标系中的三维坐标。

分布在4个环节上的肌肉附着点在各相应独立坐标系中的坐标，将不随环节相对位置的改变而改变。上述各独立坐标系定义大腿绕通过髋关节中心(股骨头几何中心)的运动轴运动；小腿绕通过膝关节中心(股骨内外上髁连线中点)的运动轴运动；足绕通过踝关节中心(内外踝连线中点)的运动轴运动[7]。

现以右侧肢体为例，简述环节运动基准位(标准解剖姿势)4个环节(股骨头、股骨、胫骨、足)独立坐标系与人体基本平面和运动轴之间的关系(见图1)。

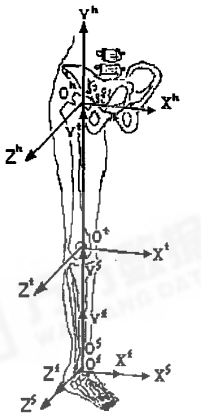


图1 环节运动基准位(解剖姿势)下肢各独立坐标系示意

(注：各独立坐标系平面与人体基本平面的对应关系：OYZ－额状面；OXY－矢状面；OXZ－水平面。各独立坐标系坐标轴与人体运动轴的对应关系：X－矢状轴；Z－额状轴；Y－垂直轴。各独立坐标系原点为相应关节中心。股骨头独立坐标系 $O^hX^hY^hZ^h$；股骨独立坐标系 $O^fX^fY^fZ^f$；胫骨独立坐标系 $O^tX^tY^tZ^t$；足独立坐标系 $O^sX^sY^sZ^s$。)

各独立坐标系(股骨头、股骨、胫骨)的三纵轴(垂直轴Y)同线；即环节运动基准位在同一下肢机械轴上；3个X轴(矢状轴)、Z轴(额状轴)分别相互平行且共面(足独立坐标系与胫骨独立坐标系重合)。

1.5 人体下肢肌肉附着点独立坐标系三维坐标结果的统计学分析

本研究由两种量测手段获得了来自于不同年龄、身高和性别的10具尸体下肢双侧肢体共20个样本的肌肉附着点三维坐标数据，以及髋-膝关节中心、膝-踝关节中心的三维坐标数据(见表1)。为了验证不同量测方法的效果，便于两次数据合为一体，将前后两次结果进行了统计学分析，目的在于为两次数据的合并找到依据。

统计学独立样本T检验结果表明，两次实验男性样本肌肉附着点三维坐标两组间无显著性差异。合并男性样本为一组与女性样本数据进行的独立样本T检验结果表明，男女两组间亦无显著性差异。由统计学检验分析结果可知，两次实验同性别间和男女两性间数据均无显著性差异，说明样本源于同一整体。因此，合并两次数据为一体进行相关的研究是可信可行的。同时也说明两种量测手段效果一致，可根据具体情况(时间、经费等)选择测量方法。

2 肌肉附着点三维坐标在肌肉机能评定中的应用

通过空间坐标系平移、多刚体广义坐标系转换[8,9]、空间矢量数理分析[10]等，经计算机编程，可获得在人体下肢环节允许的正常活动范围内，与肌肉机能评定有关的肌肉主要参数指标如下：环节运动基准位的肌肉参数指标，包括肌肉长度、肌拉力对于各运动轴的分力百分比、肌拉力各分力对相应各运动轴的力臂、肌肉拉力作用线方向、肌拉力各分力对相应运动轴的肌肉拉力角；单、双关节肌作为原动肌或对抗肌在相应关节任意关节角度时的上述各项参数指标；单、双关节肌作为原动肌或对抗肌时上述各项参数指标随关节角度变化的规律(变化百分比)。

万方数据

表 1 下肢主要肌肉附着点明细表及独立坐标系空间三维坐标成果简表 (cm)

肌肉附着点序号与名称	X坐标 $\bar{x}\pm s$	Y坐标 $\bar{x}\pm s$	Z坐标 $\bar{x}\pm s$	环节坐标系
1 腰大肌起点	-4.12±0.80	18.73±0.49	-5.23±0.47	
……	……	……	……	股骨头坐标系
26 梨状肌起点	-6.45±1.45	3.65±1.62	-5.44±1.23	
27 髂腰肌止点	-1.93±0.33	33.17±2.18	1.16±0.76	
……	……	……	……	股骨坐标系
59 股四头肌止点	4.34±0.39	-7.10±3.59	0.25±0.26	
60 肌二头肌止点	-0.33±1.75	31.68±3.11	4.99±0.42	
……	……	……	……	胫骨坐标系
89第三腓骨肌代起点	1.72 ±0.14	0.64 ±0.15	2.40 ±0.07	
90胫骨前肌止点	6.82 ±1.17	-3.52 ±0.08	-1.47 ±0.12	
……	……	……	……	足坐标系
99小腿三头肌止点	-4.06 ±0.08	-4.68 ±0.23	0.51 ±0.08	
髋-膝关节中心距	40.82 ±2.35	膝-踝关节中心距	38.00 ±2.37	

3 肌肉附着点三维坐标在肌肉运动学和动力学分析中的应用

3.1 活体下肢肌肉附着点三维空间坐标的推测研究

为了推算活体肌肉起止点空间坐标,在 4 个环节骨上选择人体测量学常用参数(活体易触摸的骨性标志)作为自变量,并以肌肉起止点在各自相应独立坐标系中的坐标值作为因变量,应用 SPSS 统计软件建立人体测量学参数与下肢 38 块肌肉起止点坐标之间的回归方程共 297 个。同时建立髋-膝关节中心距和膝-踝关节中心距的回归方程。

统计学检验结果表明,全部回归方程的复相关系数值均呈显著水平。说明人体测量学参数对于活体肌肉起止点坐标值的推算有重要意义。另将各个样本的人体测量学参数代入回归方程,获得由回归方程推算所得的三维坐标值,然后与全站仪实际测量的三维坐标值进行比较。两组数据的统计学检验表明,推测值与实测值之间无显著性差异。总之,本实验所采用的实验对象和人体测量学参数均来自于尸体标本,与以往的研究相比更近于实际情况。回归方程用于活体的推测是完全可行的,有较高的可信度、可靠性和可操作性。

3.2 为三机同步的研究提供相关的定量资料

随着科学技术的发展,近年来许多高新技术正用于在体肌肉的研究领域中。研究的发展趋势多为各种高新技术的测试和评定仪器同时应用于在体肌肉的研究。目前,业内公认的运动生物力学研究中,最常用的方法是利用测力台(三维测力)、高速摄影机(运动动作图片解析)、肌(心)电图(肌、心电图像分析)等对在体肌肉进行运动学和动力学的同步测试分析,即通常所说的三机同步。

通过录像、摄影等手段,运用运动学分析常用的图片解析法获得关节角度数据。利用本研究所提供的回归方程推算在体肌肉附着点在各个相应独立坐标系的三维坐标和关节中心距;由多刚体广义坐标系转换等数理分析原理,最终可获得所需关节运动角度情况下相关的肌肉参数。另外,如果由运动解析获得两个关节角度之间变化的时间,本研究所提供的回归方程有助于对肌肉长度的变化进行定量分析,求得肌肉收缩速度。从而,为确定肌肉工作性质(形式)提供依据。

本课题的实验性研究和运动动作图片解析有机结合,为切入三机同步的研究寻找到突破点,为上述同步研究提供相关的定量资料。

4 结 语

人体形态参数(如人体重心位置、各环节质量、质心位置、转动惯量、回转半径等)的研究已有近两百年历史,而肌肉起止点空间位置的研究则刚起步。本课题在以往研究的基础上,进行下肢肌肉附着点三维坐标确定,旨在为肌肉生物力学研究提供形态学资料及相关资料的应用方面进行探索性研究,为人体运动机制和规律的研究(确定在体肌肉长度、肌力臂、肌肉拉力作用线等)提供必须的定量资料,以填补目前我国该方面人体形态学测量参数资料之不足。

参考文献:

[1] 单大卯,魏文仪.当今国际生物力学发展最新动态[J].体育科学.2002,22(2):126-127.

[2] B·M·扎齐奥尔斯基,A·C·阿鲁因,B·H·谢鲁扬诺夫著.吴忠贯,刘荣曾,易先俊译.人体运动器官生物力学[M].北京:人民体育出版社,1987.

[3] 单大卯.人体下肢肌肉功能模型及其应用的研究[D].上海:上海体育学院,2003.

[4] 单大卯.对下肢肌骨系统解剖学模型的研究[J].上海体育学院学报,1991,15(2):36-40.

[5] 顾孝烈,鲍峰,程效军.测量学[M].上海:同济大学出版社,1999.

[6] Brand R.A modelof lower extremity muscular anatomy [J]. Biomechanical Engineerillg,1982,104:304-310.

[7] Kapandji L A.图解关节运动生理学(下肢分册)[M].广东:广东科技出版社,1987.

[8] 王以进.骨科生物力学[M].北京:人民军医出版社,1989:103-106.

[9] 单大卯.对"用欧拉角描述人体髋关节运动"论点的商榷[J].上海体育学院学报,1991,15(1):32-35.

[10] 刘延柱,洪嘉振.多刚体系统动力学[M].北京:高等教育出版社,1989:20-26.

万方数据