

生物力学测量与传统测量的比较☆

杨建鑫, 马超, 张春林

Comparison between biomechanical measurement and traditional measurement

Yang Jian-xin, Ma Chao, Zhang Chun-lin

Abstract

BACKGROUND: The ongoing development of biomechanics gradually separates the measuring techniques of biomechanics from traditional measuring methods in their nature and application in various areas of biomechanics.

OBJECTIVE: A comparative study summarizing the latest research of biomechanical measurements and traditional measurements.

METHODS: A computer-based online search was conducted in Science Direct database and Ei database with the key words of "biomechanics measurement" in English from January 1960 to October 2009. Also the relevant articles were searched in Chinese Journal Full-text Database and CBMdisc with key words of "biomechanics measurement" in Chinese from January 1994 to October 2009. In addition, several relevant monographs in print were used. The study belongs to all the following aspects: biomechanics measurement, biomechanics of sports, development status of biomechanics and measuring methods of biomechanics of sports.

RESULTS AND CONCLUSION: Biomechanical measurement and traditional measurement were compared in this research from both principles and practical applications. Biomechanical measurement was active, real-time, and limited, while it was highly correlated with medical science and biology. Besides studying the positive factors of the traditional measurement, this study was designed to try to apply them into the biomechanical measurement.

School of Mechanical Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China

Yang Jian-xin☆, Studying for doctorate, School of Mechanical Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China
chitangzibi@hotmail.com

Received: 2010-01-01
Accepted: 2010-02-12

Yang JX, Ma C, Zhang CL. Comparison between biomechanical measurement and traditional measurement. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu yu Linchuang Kangfu. 2010;14(24):4503-4506. [http://www.crter.cn http://en.zglckf.com]

摘要

背景: 生物力学的不断发展使生物力学测量技术也逐渐独立于传统测量方法, 在生物力学各个领域都有与传统测量不同的性质与应用。

目的: 综述国内外关于生物力学测量的最新研究以及与传统测量的比较研究。

方法: 应用计算机检索 Science Direct 数据库、Ei 数据库 1960-01/2009-10 期间的相关文章, 检索词为 "biomechanics measurement", 并限定文章语言种类为 English。同时计算机检索中国期刊全文数据库、中国生物医学文献数据库等 1994-01/2009-10 期间的相关文章, 检索词为 "生物力学测量", 并限定文章语言种类为中文。此外还手工查阅相关专著数部。纳入生物力学测量、运动生物力学、生物力学的发展状况、运动生物力学测量方法的研究。

结果与结论: 在对比生物力学测量方法与传统测量方法的基础上, 各自分析了两者的突出特点, 并进行了差异性的研究。生物力学测量技术具有主动性、实时性以及局限性等不同的特点。生物力学的测试过程很多与医学、生物学密切相关, 并提出传统测量、测试有利因素为生物力学各个数据的测量工作提供了借鉴意义, 为更好地进行生物力学的研究工作提供了理论指导。

关键词: 生物力学测量; 生物力学分析; 传统测量; 综述文献; 组织工程

doi:10.3969/j.issn.1673-8225.2010.24.031

杨建鑫, 马超, 张春林. 生物力学测量与传统测量的比较[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2010, 14(24):4503-4506.

[http://www.crter.org http://cn.zglckf.com]

0 引言

生物力学的作为新兴的一门交叉学科, 在世界范围内引起了广泛而深入的研究。现代生物力学以及划分为很多的门类与学科, 已经不仅仅简单作为力学的一个分支, 更重要成为各个研究机构独立划分出来的研究领域, 而由于研究对象——人体的客观复杂性, 促使了生物力学快速的发展, 出现细胞生物力学, 骨生物力学, 组织生物力学, 心脑血管生物力学等诸

多的分支研究, 随着电子学、材料学、工程力学、信息科学等多种学科的进步并广泛应用于医学和生物学领域, 生物力学的发展也会有更加广阔而深入的前景^[1-6]。

随着生物力学的不断发展, 生物力学的测量、测试以及分析也逐渐形成独立的研究热点, 不同传统的测量与测试方法, 生物力学所研究的对象的特殊性也决定了研究方法、实施步骤、数据统计等不同于传统测试的各个方面。

本文在对比生物力学测量方法与传统测量方法的基础上, 各自分析了两者的突出特点, 并

北京理工大学机械与车辆学院, 北京市 100081

杨建鑫☆, 男, 1983年生, 安徽省界首市人, 汉族, 北京理工大学在读博士, 主要从事生物力学方面的研究。
chitangzibi@hotmail.com

中图分类号: R318
文献标识码: A
文章编号: 1673-8225 (2010)24-04503-04

收稿日期: 2010-01-01
修回日期: 2010-02-12
(20091103022/GW·H)

进行了差异性的研究。并提出传统的测量、测试的有利因素为生物力学各个数据的测量工作提供借鉴意义, 为更好地进行生物力学的研究工作提供理论指导。

1 资料和方法

1.1 资料来源 由文章第一作者进行资料检索。英文文献以 biomechanics measurement, biomechanics analysis, traditional measurement 等为检索词, 检索 Science Direct 数据库(1960-01/2009-10)、Ei 数据库(1960-01/2009-10)。中文数据库以生物力学测量、生物力学分析、传统测量等为检索词, 检索中国生物医学文献数据库 1994-01/2009-10、中文科技期刊全文数据库 1994-01/2009-10、中文学术期刊全文数据库 1994-01/2009-10。手工检索《新医学学刊》、《现代预防医学》, 以及相关的中英文会议论文集。

1.2 资料筛选及评价

纳入标准: ①生物力学的测量方法。②运动生物力学。③运动生物力学的发展现状。④生物力学测量与传统测量的比较。⑤同一领域选择近期发表或在权威杂志上发表的文章。

排除标准: ①重复研究。②Meta 分析。

资料提取与文献质量评价:

资料提取: 由两名评价员分别仔细阅读所获文献题目、摘要和全文, 以确定符合纳入标准的文献。如遇分歧则征求第三方的意见解决。如果试验报告的资料不全, 则进一步与试验的主要研究者联系获取。

文献检索结果及质量评价: 对每一篇符合纳入标准的文献进行以下几个方面的评价: ①基础研究主要涉及远红外线的生物学基本特征还是生物学效应。②临床研究主要涉及远红外线在哪些领域或疾病的治疗。文献筛选和质量评价由两位研究者独立进行并交叉核对, 如有分歧, 则通过讨论或由第三位研究者协助解决。由两人独立用统一的资料提取表提取数据, 遇到分歧讨论解决。

共检索到 65 篇相关文献, 34 篇文献符合纳入标准, 排除的 31 篇文献为重复或 Meta 分析。符合纳入标准的 34 篇文献中, 有 21 篇是国内的, 其余都是国外的相关研究报道。其中 6 篇为专著讨论测量的基本理论以及生物力学的发展现状^[1-6], 8 篇涉及到运动生物力学的测量理论和测量方法研究^[7-14], 2 篇为生物力学测量研究的指导方针和辩证方法^[15-16], 4 篇涉及测量技术与方法在运动生物力学中的应用^[17-20], 14 篇涉及生物力学测量方法的在体育项目以及人体生物力学研究中的具体应用如标枪运动^[21-22], 骨骼肌肉受力分析^[23], 足底压力测量^[24-26], 以及人体生理数据及坐标测量和生物力学建模分析^[27-34]。

2 文献证据综合提炼

2.1 传统测量的特点 测量是指以确定被测对象的量值为目的而进行的试验过程。如果测量是涉及实现单位统一和量值准确可靠则被称为计量。研究测量、保证测量统一和准确的科学被称为计量学。测试是指具有实验性质的测量, 或测量和试验的综合^[2]。

一个完整的测量过程必定设计到被测对象、计量单位、测量方法和测量误差。

一般来说, 测试工作的全过程包含着许多环节: 以适当的方式激励被测对象、信号的检测和转换、信号的调理、分析和处理、显示和记录, 以及必要时以电量形式输出测量结果。测试系统的大致框图可用图 1 来表示。

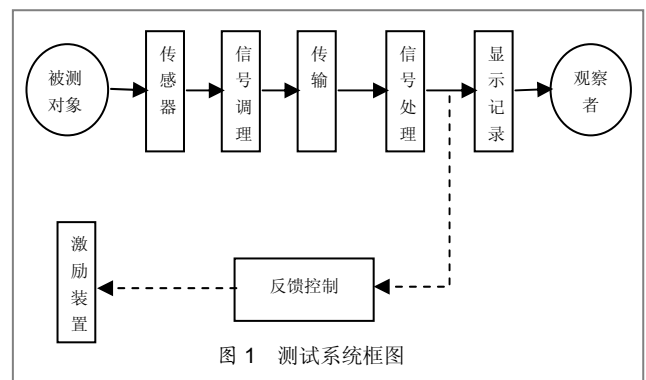


图 1 测试系统框图

2.2 运动生物力学测量的特点 德国著名学者鲍曼(W.Baumann)认为: “运动生物力学研究以力学参数测量为基础, 这些参数应能表征人体运动状态和特征。”物理学测量技术是生物力学方法学的基础, 所有测量的运动生物力学参数原理上可以归纳为 3 个基本力学量: 位移、时间和质量^[9]。根据测量参数的自然属性可将运动生物力学测量技术分为: 运动学参数测量技术, 如测量时间、位移及导出的运动学参数; 动力学参数测量技术, 如测量时间、质量、力及导出的动力学参数; 人体惯性参数测量技术, 如测量身体环节、环节链乃至整体的惯性参数及人体几何参数和肌电测量技术。人体运动过程的测量比较复杂, 因为人体并非理想的刚体, 即使当人体在诸如起跳瞬间那样的“生理刚化”时, 身体各环节都发生一定的形变, 并都将对运动功能产生影响, 但这种功能分析是相当困难的。人体静止状态的测量相对简单, 但即便是人体惯性参数测量中的离体测量和在体测量也存在着标准化问题。

另一种测量技术的分类是根据实验物理学的原理, 将运动生物力学测量技术分为: 力学测量技术、电学测量技术和光学测量技术。力学、电学测量通常需采用接触测量方式, 以测量人体或身体环节的运动过程。因而适合在实验室或训练中广泛采用。光学测量可采用非接触测量方式, 以测量人体或身体环节的运动过程, 因而

可在竞技比赛中广泛采用。

测量技术的选择和测量系统的建立取决于研究对象和研究目的,非接触测量方式因不对运动过程造成影响,所以在竞技体育技术诊断中显示出了优势,如多维远距离摄影(相)系统。接触测量方式虽对运动过程有所影响,但却是获取人体运动生物力学基本参数的主要测量手段。此外,遥测技术、肌肉动力学测量技术、计算机辅助测量技术和测量参数分析的专家系统都是运动生物力学参数测量、分析和评价的重要技术,应在运动生物力学方法与技术研究中优先发展^[27-34]。

人体的形态、结构和功能复杂多样:仅就人体的质量分布和外形而言,人体及其各环节均是非匀质、非规则的几何体,至于人体的结构和功能,其复杂多样的程度更是难以在此详述,而且有些至今仍属未知。人体的此种特点给运动生物力学的研究和测量工作造成了多种多样的困难,致使不少研究和测量工作至今无法进行,有些不能在活体上进行,有些不能在正式比赛中进行,有些测量精度达不到实用要求。这是人们在进行研究和测量设计以及对测试材料进行处理、分析时,必须高度重视、认真思考的问题。否则,就可能发生多种欠缺和失误,甚至失败。

不同人群和个体的差异:人体的形态、结构、功能和素质均有性别、年龄、人种、民族、地区、人体的差异和特点,并有运动专项及运动水平等各方面的差异和特点。在运动生物力学的测量中,上述差异和特点,主要表现为测量值的大小差别。根据运动生物力学原理,人体的运动技术必须适应人体的形态、结构、功能和素质的状况和特点,才能充分发挥人体的潜力,取得最好的成绩。所以在进行研究、测量设计及成果应用时,必须考虑上述不同人群及个体的差异和特点。

例如,根据前人的研究,百米赛跑的步频和步长与运动员的身高、腿长、腿长和身高的比值以及上、下肢力量密切相关。而上述指标均有性别、年龄、个体、运动水平等方面的差异。考虑到上述人群之间的差异和运动生物力学原理,研究百米跑的合理步频和步长,就应该按性别、年龄、人种、运动水平等分类进行。这样按人群分类,才可能研究出适合不同人群的百米跑的步频和步长。考虑到个体差异各个运动员使用研究成果时,还应根据个人的情况与特点进行个体化试验研究,以探索更适合自己的百米跑的步长和步频。“量体裁衣”则衣更合体,研究运动技术,使用研究成果也是类似道理。例如,在骨密度的测量中,由于不同种族的人平均的骨密度差异很大,在骨密度的测量比较的数据库中就建立了不同的洲不同年龄的正常的骨密度值的样本数据库。用以针对不同的种族、性别、年龄对于骨密度测量的影响,从而得到更为合理的测量数据,为临床诊断以及更进一步的研究提供可靠的依据。

影响测量结果的因素复杂多样:人体的用力和运动不仅受各自身体形态、功能、心理、身体素质、训练周期、竞技状态等自身因素的影响,而且受场地、器材、观众、裁判、比赛对手、测量方法和测量者的工作态度、技术水平、对受测者的鼓励程度等诸多客观因素的影响。并且受上述诸多因素综合效应作用的影响。此外,还有一些未知因素影响测量结果。这是进行测量设计和实施,以及共享、应用测量材料时必须认真考虑的问题。例如在血压的测量中,电子仪器与人工汞柱式的差异,而且人体的坐姿的正确与否,甚至是否说话,呼吸的均匀程度,心理是够平静等都会对测量的结果有一定的影响。这样的情况下,测量者对于测量技术的掌握程度以及与受测者的良好沟通交流也是整个测量是否能够顺利完成的关键部分。

多数影响因素是随时变化的:在上述的诸多因素中,多数会随时、随地发生变化。并且因人而异。例如受测者的生理、心理、竞技状态、天气、观众、裁判等就是如此。其中不少因素,尚不知其变化的原因和规律。影响因素难以完全控制:未知的影响因素自然无法控制,即使是已知的影响因素,测量者也难以完全控制其影响,更何况有些因素不受测量者控制。

测量的精度要求高、难度大:运动生物力学测量中的不少测量需要精度高。例如上届奥运会一百米比赛前三名运动成绩的差异不过 0.03 s,运动成绩是运动员的身体形态、生理、心理、运动能力、技术水平、竞技状态等多种因素决定的。通常其中一种因素之间的差别会小于总体差别。要研究上述前三名之间成绩差别的原因,则需要测出他们三人之间各种因素的差别,对测量精度要求之高可想而知。加之受比赛场地、比赛规则、裁判工作、测量仪器的安装和使用方法等诸多条件的限制,其测量工作的难度自然很大。

由于运动生物力学测量有上述特点,为了保证测量的客观性、有效性、可靠性和所需精度,必须特别注意对测量进行周密设计,精心实施。

2.3 生物力学测试与传统工程测试的比较

生物力学测试的被测对象的主动性以及实时性:对于被测对象是人或动物的生物力学测试,没有传统意义上静态测量(尸体除外),而且在测试的过程中测量误差的来源因素变得复杂多样。因为人体的各种生理参数变化很大,比如身高、血压等几乎都会有不小的波动变化,有的如脉搏、呼吸更跟随人体的状态有较大的起伏变化。这些就要求在生物力学的测试中,不但要考虑传统测试的初始条件一致,在不同的测试过程中,尽量保证人体的初始条件一致。并力争减少心理,生理等因素造成的误差影响。

生物力学测试的局限性:由于人体的局限,很多数据不能在身体表面做直接或者接触的测量,这也促进了间接测量方法比如 X 射线、核磁共振等测试的发展,然而

这些测试方法还是有很大局限性, 由于个体差异比较大, 以及难以保证前后测量的身体部位的复原, 一定程度上扩大了测量误差并影响最终的测试结果。而且尸体的测量也有很大的局限性, 因为人体的很多构造参数都发生了改变, 这些在生物力学的实际测试中都是无法回避的问题。因为在全部的测试过程中首先要注意的就是人体的安全以及肌体的完整并不受任何有可能存在的损害和影响, 这在很大程度上限制了测量方法的应用。

生物力学测试与医学的密切相关: 在生物力学的测试过程中, 对于老年以及婴儿或者妊娠女性的测试过程都要有专业的医务人员在场并密切配合测试过程。比如骨密度的测试过程, 由于测试时间比较长, 有相关疾病或者不适合做测试的人员都要就事先严格的筛选, 并于测试过程中进行有效的监督。

生物力学测试统计方法的不同: 生物力学的测试过程很多与医学、生物学密切相关, 分析的时候不能简单用差异的比较, 要有医学统计学的统计方法以及记录具体试验数据的途径, 样本的选择以及数据的合理性都与传统的测试过程有较大的差异, 在具体的生物力学试验中也是不可忽视的重要方面。

3 小结

生物力学测量技术的选择和测量系统的建立取决于研究对象和研究目的。对于活体运动过程的测量, 应建立参数采集与测量的标准化和参数分析与评价的专家系统。确定测量参数的主要工作是界定常规参数和敏感参数, 并区别参数间的平行关系和因果关系。测量精度的提高主要应依靠测量参数数字化过程的分析方法的进步。对于生物力学测量技术的 6 个特点进行了不同程度的阐述与分析, 并比较传统测量技术提出生物力学测量技术主动性、实时性, 以及局限性等不同的特点, 并结合与医学的关系以及统计方法的不同进行了具体分析, 并对人体生物力学的最新研究成果进行了结合阐述, 对生物力学测量方法对于生物力学发展过程的重要性进行了重点分析。

4 参考文献

[1] 卢文祥, 杜润生. 机械工程测试·信息·信号分析[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1999.
 [2] 袁庆成. 人体动态力的实验研究[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 1990.
 [3] 丁玉兰. 人机工程学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2005.
 [4] 卢德明. 运动生物力学测量方法[J]. 北京: 北京体育大学出版社, 2005.
 [5] 杨桂通, 陈维毅, 徐晋斌. 生物力学[M]. 重庆: 重庆出版社, 2000: 6.
 [6] 郑秀环. 现代运动生物力学[M]. 国防工业出版社, 2002: 10.
 [7] 李建设, 潘慧炬, 过东升, 等. 运动生物力学学科发展的几个理论问题[J]. 体育科学, 1997, 17(6): 76-80.
 [8] 李建设. 德国运动生物力学理论与方法学研究概述及思考[J]. 中国体育科技, 1999, 41(1): 100.
 [9] Baumann W. Biomechanical measurement procedures. Grundlagen der Biomechanik des Sports. Stuttgart: Enke, 1988.
 [10] Ballreich R. Foundations of the modeling method. Grundlagen der Biomechanik des Sports. Stuttgart: Enke, 1988.

[11] Ballreich R. Grundlagen der biomechanik des sports problem, methollen. Modelle. Stuttgart: Enke, 1996.
 [12] Willke H. In vivo measurements of the three-dimensional motion on lumbar spine segments. Seattle, 1994.
 [13] Reiser M. Ausführungsvariabilität und ergebniskonstanz bei wurbewegungen. Motorik Struktur and Funktion. Schorndorf: Hofmann, 1996.
 [14] 李建设, 王良民. 运动生物力学研究技术的发展与存在问题[J]. 中国运动医学杂志, 2002, 21(4): 389.
 [15] 李世明. 浅析运动技术生物力学分析的指导论[J]. 山西师大体育学院学报, 2004, 19(2): 80-84.
 [16] 马南京. 运动生物力学中力学和生物学的辩证关系例析[J]. 淮北煤师院学报: 自然科学版, 2003, 24(1): 47.
 [17] 张艳华, 王志刚. 运动生物力学在田径运动技术研究中的应用[J]. 北京体育大学学报, 2005, 40(9): 1291.
 [18] 于建成. 对运动生物力学应用于竞技体操技术分析的回顾与展望[J]. 河北体育学院学报, 2007, 21(3): 73.
 [19] 于建成, 李金珠, 郭静如. 竞技体操与运动生物力学的回顾与展望[J]. 内蒙古体育科技, 2006, 20(2): 26.
 [20] 闫红光, 姜彦涛. 运动生物力学研究方法的评述[J]. 沈阳体育学院学报, 2007, 26(2): 71-73.
 [21] 马明兵, 蒋国勤. 高校高水平男子标枪运动员投掷步最后用力运动学参数的比较研究[J]. 辽宁体育科技, 2007, 29(1): 73-74.
 [22] 詹永顺. 对我国优秀女子标枪运动员投掷步技术的研究[J]. 陕西科技大学学报: 自然科学版, 2009, 27(2): 182-184.
 [23] 郑亚林, 张志峰. 运动状态下骨骼肌肉的生物力学特征[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2008, 12(28): 5503-5506.
 [24] 罗炯. 足底压力分布测量技术的应用特点[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2007, 11(9): 1734.
 [25] 钱竟光, 宋雅伟, 叶强, 等. 步行动作的生物力学原理及其步态分析[J]. 南京体育学院学报: 自然科学版, 2006, 5(4): 1-7.
 [26] 赵芝, 吴明方, 李新梅, 等. 中国大学生 46 例足底压力分布测量[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2008, 12(46): 9062-9065.
 [27] Crafton J, Carter C, Sullivan J, et al. Pressure measurements on the impingement surface of sonic and sub-sonic jets impinging onto a flat plate at inclined angles. Exp Fluids. 2006; 40(5): 97.
 [28] Masson C, Thollon L, Cesarl D, et al. Effects of static high compression on human foot-ankle: biomechanical response and injuries. Surg Radiol Anat. 2006; 28(1): 46-53.
 [29] Wang Q, Hayward V. In vivo biomechanics of the fingerpad skin under local tangential traction. J Biomech. 2007; 40(4): 851-860.
 [30] Ma YL, Dai RC, Sheng ZF, et al. Quantitative associations between osteocyte density and biomechanics, microcrack and microstructure in OVX rats vertebral trabeculae. J Biomech. 2008; 41(6): 1324-1332.
 [31] Rajput B, Arnold G, Gibbs S, et al. Biomechanics and the diabetic foot: a novel approach to measurement. J Biomech. 2006; 39, Suppl1: S110-S111.
 [32] Ghosh SK. A close-range photogrammetric system for 3-D measurements and perspective diagramming in biomechanics. J Biomech. 1983; 16(8): 667-674.
 [33] Cifrek M, Medved V, Tonković S, et al. Surface EMG based muscle fatigue evaluation in biomechanics. Clin Biomech (Bristol, Avon). 2009; 24(4): 327-340.
 [34] Chen SJ, Pipinos I, Johanning J, et al. Bilateral claudication results in alterations in the gait biomechanics at the hip and ankle joints. J Biomech. 2008; 41(11): 2506-2514.

关于作者: 第一作者构思并设计本综述, 经导师张春林教授修改, 所有作者共同起草, 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: 没有与道德伦理相冲突的内容。
此问题的已知信息: 随着生物力学的不断发展, 生物力学的测量、测试以及分析也逐渐形成独立的研究热点。
本综述增加的新信息: 深入而具体的阐述了传统测量系统的理念, 方法以及研究对象, 并对生物力学测量方法的特点进行深入的分析, 结合人体运动生物力学的研究现状以及生物力学测量技术的发展趋势进行总结和分析, 对国内外有关生物力学测量方面的成果进行总结, 提出和展望了生物力学测量技术的发展前景以及应用前景。
临床应用的意义: 生物力学的测量技术在人体运动生物力学, 基因工程学以及临床测量与测试的过程中都有应用先例以及广阔的前景, 对生物力学测量方法的研究总结可以更好的促进测量技术的完善和发展。