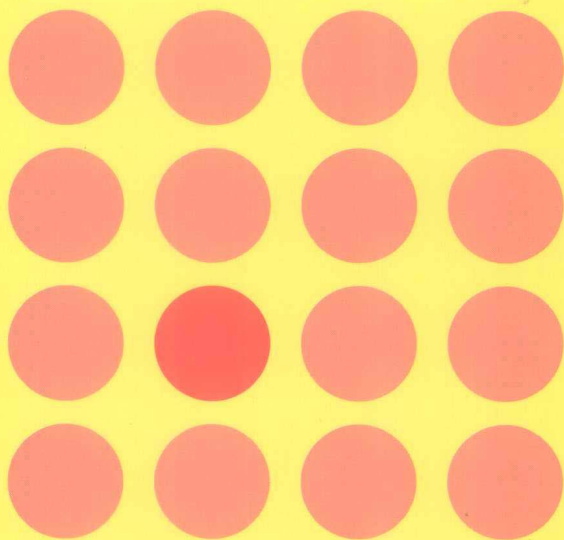


中国体育博士文丛

运动员表面肌电 信号与分形

曲峰 著



北京体育大学出版社

中国体育博士文丛

运动员表面肌电信号与分形

曲 峰 著

北京体育大学出版社

策划编辑 凤 林
责任编辑 梁 林
审稿编辑 李 飞
责任校对 琴 儿
责任印制 陈 莎

图书在版编目(CIP)数据

运动员表面肌电信号与分形/曲峰著. - 北京:北京体育大学出版社,2008.8

ISBN 978 - 7 - 5644 - 0037 - 8

I. 运… II. 曲… III. 运动员 - 肌电控制 - 研究
IV. R318.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 125778 号

运动员表面肌电信号与分形 曲 峰 著

出 版 北京体育大学出版社
地 址 北京海淀区中关村北大街
网 址 www.bsup.cn
电 话 010 - 62989432 62989438
邮 编 100084
发 行 新华书店总店北京发行所经销
印 刷 北京雅艺彩印有限公司
开 本 787 × 1092 毫米 1/16
印 张 8.25

2008 年 8 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1400 册

定 价 28.00 元

(本书因装订质量不合格本社发行部负责调换)



作者简介

曲峰，女，山东省莱州市人，教育学博士，硕士生导师。北京体育大学运动生物力学教研室主任。1980年考入北京体育学院基础理论系，1984年获理学学士学位；同年留校，任教于基础理论系运动生物力学教研室。1996年获教育学硕士学位，1999年获教育学博士学位。担任中国体育科学学会运动生物力学分会委员，国家体育总局健身器材安全委员会委员，国家体育总局北京国体世纪体育用品质量认证中心管理委员会委员（专家代表）。

中文摘要

在生物力学中最具吸引力及最有挑战性的研究领域，可能是肌肉的自身问题。肌肉是人体系统有“活力”的部分：肌肉的神经控制、新陈代谢及生物力学特性都是有待深入研究的领域。加拿大著名生物学家 Winter 说过：“用肌电信号来测定肌肉产生的力是机能解剖学家和运动生物力学家长久以来的梦想。”

就目前的研究水平和应用程度而言，肌电图在体育运动中应用比较广泛，用肌电图研究肌肉的不同状态、肌肉之间的协调程度、研究收缩类型及强度、判断肌肉疲劳程度及损伤、评定肌肉素质等等都有比较成功的例子。

研究目的：

1. 找出能够定量描述肌电图的参数。
2. 探索一种新的肌电信号的分析方法，为定量描述运动员训练水平、竞技能力提供依据。
3. 力图尝试一种新的实验方法，建立肌电力矩模型，探索出一条用肌电信号预测力矩指标的途径。

研究方法：

本研究用环节力矩等速测量系统、肌电图仪同时对田径短跑运动员右腿伸膝肌群的伸膝力矩、股四头肌的股直肌、股内侧肌、股外侧肌的表面肌电信号进行了测量。用分形理论、混沌原理分别对肌肉的向心收缩状态、放松状态的肌电信号进行了分维计算以及内嵌维数的计算；通过肌电信号采用自适应滤波法预测了环节力矩。



研究结论:

1. 本研究的创新部分。
 - (1) 采用分形、混沌理论对肌电信号进行分析。
 - (2) 采用线性预测方法预测环节力矩。
 - (3) 编写了计算肌电信号的分形维数、内嵌维数的软件;编写了用线性预测方法预测环节力矩的软件。
2. 肌电信号在肌肉放松状态下基本呈现随机白噪声谱特性;而肌肉做向心收缩时,信号谱呈现分形谱特性。
3. 肌电信号的分形维数,可以定量地刻画运动员的训练水平、有机体的机能状态。
4. 肌电信号线性预测能够刻画力矩信号。
5. 用伪近邻判阶法得到的肌电信号的内嵌维数可以定量地刻画运动员的训练水平、有机体的机能状态。
6. 用环节的最大力矩来定量地评定运动员的训练水平、机能状态并不十分可靠。

关键词: 肌电信号; 环节力矩; 分形; 分维; 混沌; 伪近邻判阶; 线性预测

Abstract

The most attractive and challenging area in biomechanical study might be the problem of muscle itself. Muscle is the part of "vigor" in human body's system. Neuromuscular control, metabolism and biomechanical characters are all the areas that need further researches. Winter, a famous Canadian biologist once stated: "The application of eletromyogram signal to measure the force produced by muscles is a long - cherished dream of functional anatomists and biomechanical scientists. "

As for its level of research and application, sEMG has been extensively applied in sports. There exist many successful examples of sEMG application, such as researches on different states of muscles, coordination among muscles, types of muscular contraction, assessment of muscular fatigue and trauma, evaluation of muscular quality.

Objectives and methods of the study include:

1. Finding out the parameters that can quantitatively describe sEMG.
2. Finding out a new analyzing method by means of eletromyogram signal to provide basis for the quantitative description of athlete's training level and competitive ability.
3. Trying to apply a new experimental method, thus setting up the eletromyogram - torque model and finding out a way on the application of eletromyogram signal to calculate the indexes of torque.

Method of research:

We apply equal speed segmental torque testing system, sEMG device to measure the sprinters' knee extending torque of right knee extensors and the superficial eletromyogram signals of vectus femoris m. , vectus medialis m. and vectus lateralis. We apply the fractal theory and chaos theory with meth-

ods of fractal dimension calculation and embedding dimension calculation to process eletromyogram signals at contractive and relaxed states of muscles. We also apply the self adaptive frequency cutting method through eletromyogram signals to calculate the segmental torque.

brief introduction to the conclusions of the research

1. Innovative parts of the research;

(1) Firstly introducing the fractal theory and chaos theory into the analysis of eletromyogram signals.

(2) Firstly introducing the method of linear calculation.

(3) Calculation of the fractal dimension and the embedding dimension with the selfmade program ; the selfmade program of linear anticipation to indicate segmental torque.

2. At the resting state of muscle , eletromyogram signal is basically expressed with the features of random white noise spectrum , but at the contractive state the signal is expressed with the features of fractal spectrum .

3. The fractal dimension of eletromyogram signal can quantitatively describe athlete's training level and functional state of the organism.

4. The linear calculation of eletromyogram signal can basically describe the moment signal.

5. The embedding dimension of eletromyogram signals obtained with false neighbor identification can quantitatively describe athlete's training level and functional state of the organism.

6. It is not completely reliable to apply maximum torque in the quantitative evaluation of athlete's training level and technical condition.

Key word: eletromyogram signal; segmental torque; ractal; fractal dimension; chaos; false neighbor identification; linear calculation

《中国体育博士文丛》出版说明

《中国体育博士文丛》是中国体育高水平学术理论专著的重要组成部分，代表中国体育科学研究的最新成果，是中国体育博士展现聪明才智的有力平台。

作者条件：在世界各地大学、科研院所获得体育博士学位的中国公民。可以是独立作者，也可以是联合作者，但都必须具有体育博士学位。

稿作要求：15 万字（含图表部分）A4 纸打印，光盘储存。论文构件齐全，包括作者简介、序（前言）、正文、参考文献、附录、后记、作者照片。

通讯地址：100084 北京市海淀区中关村北大街北京体育
大学出版社教材专著事业部

咨询方式：010 - 62989469 62989434

lianglin825@163. com

《中国体育博士文丛》

已出版书目

- 现代体操运动训练科学化探骊——运动训练时间理论研究
王文生著 定价：38.00元
- 竞技体操训练的科学化探索——竞技体操创新理论研究
吕万刚著 定价：28.00元
- 竞技体育的意义——价值理论研究探微
颜天民著 定价：28.00元
- 中国体育人口的理论探索与实证研究
仇 军著 定价：48.00元
- 职业篮球市场论
杨铁黎著 定价：28.00元
- 中国竞技体育人才开发
宋全征著 定价：33.00元
- 人体运动环节重量参数测量新思路
李世明著 定价：28.00元
- 论体育生活方式
苗大培著 定价：38.00元
- 奥林匹克视觉形象的历史研究
王 军著 定价：28.00元
- 我国运动训练科学化动力系统的研究
罗超毅著 定价：28.00元
- 海南体育旅游开发研究
夏敏慧著 定价：38.00元
- 我国优势项目高水平运动员参赛风险的识别、评估与应对
石 岩著 定价：38.00元
- 散打运动训练监控科学化探微
姜传银著 定价：28.00元
- 论中华民族传统体育
倪依克著 定价：33.00元
- 田径运动训练过程控制理论
尹 军著 定价：38.00元
- 训练观念及其导向功能
邓运龙著 定价：33.00元
- 低氧运动促进肌组织血管生成的机制
郑 澜著 定价：33.00元
- 田径运动专项速度研究
谢慧松著 定价：33.00元
- 运动技能形成自组织理论的建构及其实证研究
李 捷著 定价：33.00元
- 职业体育组织的演进与创新
张文健著 定价：33.00元
- 国际奥委会组织变革与发展的研究
茹秀英著 定价：33.00元
- 武术传播引论
郭玉成著 定价：38.00元
- 近代以来中国武术项目管理过程及其评价与发展
李 蕾著 定价：33.00元
- 硅橡胶修补关节软骨的实验研究
王 梅著 定价：28.00元
- 穴位离子导入消除运动性疲劳的机理研究
杨 翼著 定价：33.00元
- 社会性性格焦虑的测量及其与体育锻炼之间关系的研究
徐 霞著 定价：28.00元
- 优秀运动员的职业变迁与人生发展
黄志剑著 定价：38.00元

- | | | |
|--------------------------------|------|------------|
| 运动员选材的选育结合理论与实证研究 | 魏金水著 | 定价：38.00 元 |
| 比较优势理论下我国各等级项目群体的区域分工研究 | 罗 智著 | 定价：33.00 元 |
| 短跑运动员体能训练理论与方法 | 袁运平著 | 定价：33.00 元 |
| 我国体育生活化探索 | 梁利民著 | 定价：28.00 元 |
| 中国高水平跳远运动员训练内容体系的研究 | 冯树勇著 | 定价：28.00 元 |
| 论运动技术的序列发展与分群演进 | 刘建和著 | 定价：33.00 元 |
| 武术释义——武术本质及功能价值体系阐释 | 李印东著 | 定价：33.00 元 |
| 中国武术散打市场化运作模式的研究 | 李士英著 | 定价：33.00 元 |
| CVA 联赛品牌的打造——“全国排球联赛”的兴起与发展 | 李国东著 | 定价：28.00 元 |
| 中小学生的营养状况及其社会环境影响因素的研究 | 彭 莉著 | 定价：28.00 元 |
| 中国竞技体育资源调控与可持续发展 | 肖林鹏著 | 定价：38.00 元 |
| 体育纪律处罚研究 | 韩 勇著 | 定价：38.00 元 |
| 我国体育经纪人的管理与培养体系 | 靳 勇著 | 定价：33.00 元 |
| 中国排球运动的可持续发展研究 | 潘迎旭著 | 定价：28.00 元 |
| 北京 2008 年奥运会志愿者的组织管理模式与评价体系的研究 | 李颖川著 | 定价：38.00 元 |
| 区域经济发展与体育人才培养 | | |
| ——竞技体育后备人才培养的温州模式研究 | 周建梅著 | 定价：28.00 元 |
| 我国职业体育联盟理论研究 | 王庆伟著 | 定价：33.00 元 |
| 高水平运动员年度训练周期的项群特征 | 郑晓鸿著 | 定价：28.00 元 |
| 运动性贫血时红细胞功能变化以及营养干预对其的影响 | 金 丽著 | 定价：28.00 元 |
| 篮球运动基本理论与实践研究 | 谭朕斌著 | 定价：43.00 元 |
| 论奥林匹克运动发展观 | 陈立基著 | 定价：38.00 元 |
| 运动竞赛方法体系的建构暨对抗性竞赛方法的研究 | 王 蒲著 | 定价：38.00 元 |
| 我国高等体育院（校）系改革与发展的战略研究 | 李鸿江著 | 定价：33.00 元 |
| 武术健身态度动机与群体互动的研究 | 张春华著 | 定价：28.00 元 |
| 运动时间营养学 | 李世成著 | 定价：33.00 元 |
| 中国学校体操历史与发展研究 | 吴维铭著 | 定价：33.00 元 |
| 中国大学竞技体育的发展研究 | 刘海元著 | 定价：38.00 元 |
| 中国竞技体育崛起的制度框架和思想基础 | 刘纯献著 | 定价：38.00 元 |
| 专项力量测量的理论与方法 | 吕季东著 | 定价：33.00 元 |

- | | | |
|-------------------------------------|------|-------------|
| 运动与自主神经 | 王松涛著 | 定价: 38.00 元 |
| 中华体育精神研究 | 黄莉著 | 定价: 38.00 元 |
| 我国徒手格斗项目(散打)优秀男子运动员核心竞技能力
评价体系研究 | 叶伟著 | 定价: 28.00 元 |
| 中国近现代体育思想及体育教育发展论纲 | 程文广著 | 定价: 33.00 元 |
| 中国职业篮球竞赛市场的运行机制 | 王鄂著 | 定价: 28.00 元 |
| 新形势下我国优秀运动员思想政治教育研究 | 龙斌著 | 定价: 48.00 元 |
| 青少年足球训练理念与实践 | 张庆春著 | 定价: 38.00 元 |
| 信息量与认知风格对击剑运动员决策速度、准确性和稳定性的影响 | 付全著 | 定价: 28.00 元 |
| 运动员全程性多年训练过程中的区间链接机制 | 徐刚著 | 定价: 28.00 元 |
| 基于 GIS 的体育场地规划研究 | 王雷著 | 定价: 33.00 元 |
| 太极拳健身理论论绎 | 刘静著 | 定价: 33.00 元 |
| 奥运会志愿者管理研究 | 宋玉芳著 | 定价: 33.00 元 |
| 中国田径高水平短跨、跳跃项目运动员成长过程规律研究 | 韩慧著 | 定价: 33.00 元 |
| 北京市城区成年超重/肥胖人群肥胖相关行为因素分析 | 陈绮文著 | 定价: 38.00 元 |
| 优秀运动员赛前心理状态的脑功能研究 | 魏高峡著 | 定价: 28.00 元 |
| 噪声应激及水杨酸钠和粉防己碱的抗应激作用 | 安玉香著 | 定价: 28.00 元 |
| 力的大小与角度对自由跤运动员动觉感受性的影响 | 于晶著 | 定价: 28.00 元 |
| 运动对老年人常见病和医疗费的影响与对策 | 杨光著 | 定价: 28.00 元 |
| 我国地方政府社会体育政策研究 | 冯火红著 | 定价: 33.00 元 |
| 我国高等体育职业技术学院办学模式研究 | 李锡云著 | 定价: 28.00 元 |
| 对商业健身俱乐部体验营销的研究 | 李小芬著 | 定价: 33.00 元 |
| 中国社会体育参与中的妇女与性别差异 | 潘丽霞著 | 定价: 28.00 元 |
| 人学视野中的人文体育观研究 | 冯霞著 | 定价: 33.00 元 |
| 普通高校体育教材设计与编写的理论探索 | 林向阳著 | 定价: 38.00 元 |
| 运动员表面肌电信号与分形 | 曲峰著 | 定价: 28.00 元 |
| 运动技术理念的隐喻与诠释 | 马莉著 | 定价: 33.00 元 |
| 城市居民健身消费力及其影响因素研究 | 文静著 | 定价: 33.00 元 |

目 录

第一章 肌电信号研究现状及进展	(1)
第一节 肌电简介	(1)
第二节 肌电信号常用分析指标介绍	(4)
第三节 表面肌电信号在国内外的研究现状	(15)
第四节 运动员表面肌电信号研究的意义	(25)
第二章 肌电信号研究方法	(31)
第一节 常用肌电测量方法	(31)
第二节 研究实验仪器	(41)
第三节 实验准备	(44)
第四节 实验内容	(46)
第五节 本章小结	(47)
第三章 肌电信号的分形与混沌	(49)
第一节 分形的概念	(49)
第二节 自相似性的概念	(50)
第三节 分维的计算	(51)
第四节 运动员表面肌电信号的分形特征	(53)
第五节 混沌的概念	(77)
第六节 表面肌电信号的混沌特性	(80)
第七节 本章小结	(85)

第四章 肌电——力矩信号的线性预测	(87)
第一节 序 言	(87)
第二节 肌电信号的线性预测	(89)
第三节 SVD 奇异值分解方法	(90)
第四节 自适应滤波方法	(91)
第五节 实验与预测	(98)
第六节 本章小结	(107)
第五章 研究创新与研究结果	(108)
第一节 研究创新	(108)
第二节 研究结果	(108)
第三节 肌电信号研究存在的问题及建议	(110)
参考文献	(111)

第一章 肌电信号研究现状及进展

第一节 肌电简介

关于肌电的记载，最早可以追溯到 17 世纪中叶，Francesco Redi 偶然中发现了电鱼的电能来源于一块高度特化的肌肉。到 1773 年，Walsh 证实了鳗鲡的肌肉可以产生电活动。1791 年，伽伐尼（Galvani）就通过一系列蛙类的肌肉收缩研究，证明肌肉收缩与电有密切的关系，这也被认为是人类对肌电的最早认识。法国的杜波依斯·雷蒙德（Dudois Reymond）是最早检测到肌肉自主收缩时能够产生电信号的人，他于 1849 年发现并描述了人体运动是和肌肉的电活动联系在一起的。19 世纪 60 年代，Duchenne 开始利用电生理学方法系统的研究完整肌肉的功能和动力学，标志着这一领域工作的真正开始。1907 年，派柏（Piper）利用弦线检流计记录到人臂肌肉的电势差。在 1922 年，加塞（Gasser）和厄兰格（Erlangre）利用阴极射线示波器代替传统的检流计观测到肌电图，并因此获得 1944 年的诺贝尔奖。整个 19 世纪和 20 世纪初叶，许多学者对神经肌肉电现象进行了大量研究，并建立了大量学说，为肌电技术在各个领域的应用奠定了理论基础。从 20 世纪中叶以来，伴随计算机技术和神经生理学研究的飞速发展，肌电技术被更为广泛和深入的应用在各个领域：临床医学领域的神经肌肉疾病诊断、人机工效学领域肌肉工作的工效学分析、康复医学领域的肌肉功能评价以及体育科学中的疲劳判定、运动技术合理性分析、肌纤维类型和无氧阈值的无损伤性预测等方面。

运动神经元、轴突及其末梢和连接到这些末梢的肌肉纤维，构成了神经肌肉的功能单位，称为运动单位（motor unit, MN）。运动单位是可以由意识而激活的最小单位。一块骨骼肌包含着若干数量的运动单位，

每个运动单位由一些肌纤维组成，这些肌纤维受单一个 α 运动神经元的末梢神经支配，而 α 运动神经元的细胞体位于脊髓的前角细胞中。就是说，一个 α 运动神经元及其所支配的肌肉纤维的集合构成了运动单位。肌电信号是产生肌肉力的电信号根源，它是肌肉中许多运动单元动作电位在时间和空间上的叠加，反映了神经、肌肉的功能状态。用特定的方法将骨骼肌兴奋时发生的电位变化引导、记录所得到的图形，称为肌电图（electromyogram, EMG）。神经-肌肉系统的组成如图 1-1 所示。

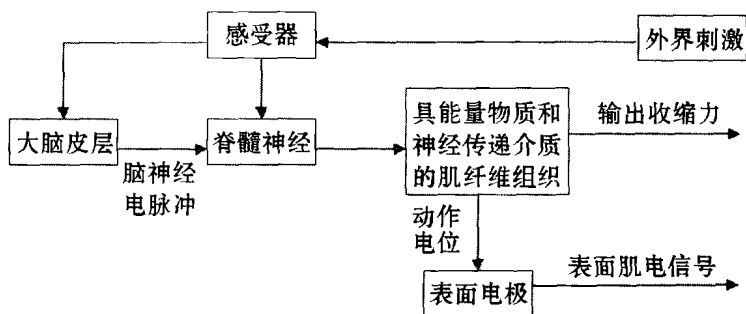


图 1-1 神经-肌肉系统的组成示意图

采用的测量电极可以分为针电极和表面电极两类。针电极多用于临床诊断和基础研究，其优点是可以测量深层肌肉的肌电活动，而且针电极涉及的运动单元数目较少，更具有针对性，能清楚地导出单个运动单位或单个肌纤维的电位变化；但针电极最大的缺点是有创伤性，无法测量运动中的肌电变化，而且进针的位置、深浅及手法都十分关键，对操作者的要求很高。表面电极安全、无创，操作相对简单，容易被受试者所接受，适于测量运动时的肌电变化，但是由于其位于体表且接触面积大，很容易受到皮肤等外界条件的干扰，也不能确切反映个别肌纤维的活动，只能反映较大区域内肌电活动的总和，导出的综合电位波形复杂，不便分析；而且皮肤电阻较大，得到的肌电信号比较微弱。但由于其无创性，随着肌电信号采集技术和分析技术的发展，表面电极的应用将越来越广泛。

表面肌电信号（Surface Electromyogram Signal, sEMS）是神经肌肉系统的生物电变化在皮肤表面加以引导、放大，并记录和显示所得到的一维时间序列信号。通常获得的信号是类似噪音的一种准随机信号，它

不仅包括了多个运动单位电活动在时间和空间上的叠加，而且还附着着来自其他干扰的噪音信号，在形态上具有很强的随机性。表面肌电信号的峰—峰值一般为 $0 \sim 6\text{mv}$ ，其均方根值为 $0 \sim 1.5\text{mv}$ ，频率为 $0 \sim 500\text{Hz}$ ，主频介于 $50 \sim 150\text{Hz}$ ，干扰范围一般介于 $0 \sim 60\text{Hz}$ ，其中 50Hz 的工频干扰是最大的噪声来源。可用的信号是那些在能量上超过电噪声水平的信号，一般来说表面肌电信号中存在着不可避免的噪声干扰：（1）检测记录设备中的电子元件的固有噪声，如采用高性能的电子元件、合理的电路设计和构成技术可以降低噪声；（2）环境噪声，任何电磁装置都能产生噪声，但主要是来自电源的 50Hz 电磁辐射，该噪声的幅度要比表面肌电信号的幅度大 $1 \sim 3$ 个数量级；（3）运动伪迹，一个是皮肤和电极检测表面的接触面，一个是连接电极和放大器之间的电缆的运动，这两种噪声信号的主要能量范围一般在 $0 \sim 20\text{Hz}$ ，通过改善电子电路的设计可降低运动伪迹的影响；（4）信号固有的不稳定性，因受运动单位发放率的准随机性影响， $0 \sim 20\text{Hz}$ 之间的频率成分特别不稳定，因此可以删除这个范围内被认为是不必要的噪声信号。

总之，肌电技术已经成为运动医学、临床学等领域不可或缺的研究手段。肌电图可以很好的评定某个动作中肌肉激活的先后顺序和肌肉发力的顺序，以及它们之间的协调性作用关系和停止活动的先后顺序，这对运动技术的评价是非常重要的。目前，人们已经开始引入数学算法和先进的信号分析技术，来进一步分析肌电信号，相信在不久的将来，肌电技术在以下几方面会有所突破：（1）寻求对随机的采集信号进行非线性形分析的方法。已经开始有人利用混沌理论和分形理论等非线性理论研究表面肌电信号，期望能够揭示更多的电信号与肌肉生理活动的相关性，但目前尚处于初步探索阶段。（2）信号的采集和提取技术的完善。表面肌电信号很弱，也很容易受到外来干扰，导致采集到信号的可信度低、测量的可重复性差。如何提高采集设备的性能、改善信号采集技术和滤波技术，应该成为近期开发的重点。（3）肌电技术在动力性运动中的应用。目前，由于测量工具的局限性，对于活动幅度较大的动力性工作的测量还很难进行；此外，肌肉做动力性工作时，其肌电信号的随机性更大，测量的可重复性更小，一旦收缩力度过大还会产生信号叠加现象。（4）肌电的多机同步化测量技术的完善。多学科横向合作、多层面综合分析已成为必然趋势，多机同步结合人体测量学利用计算机建模对人体运动的研究，是目前的发展方向。