Advances in Physical Sciences 体育科学进展, 2020, 8(1), 1-6
Published Online March 2020 in Hans. http://www.hanspub.org/journal/aps
https://doi.org/10.12677/aps.2020.81001

Hans汉斯

Application Value of Surface Electromyography in Knee Joint Sports Injury

Baocheng Li, Lei Shi, Zhiyu He, Dai He

Department of Physical Education, Xi'an Jiaotong University, Xi'an Shaanxi
Email: shilei@xjtu.edu.cn

Received: Dec. 6th, 2019; accepted: Dec. 24th, 2019; published: Dec. 31st, 2019

Abstract

Surface electromyographic signals refer to electrical signals that detect neuromuscular activity through electrodes on the surface of the skin. It is a comprehensive result of the action potentials of multiple motor units superimposed in time and space. It can quantitatively record the electrophysiological characteristics of neuromuscular activity. The measurement of muscle fatigue and nerve conduction speed is simple and non-invasive. It has important application and academic value in the fields of sports human science and rehabilitation medicine. The knee joint is the most complex joint in the structure of the human body. It is also one of the most vulnerable joints in sports. The strength of the muscles around the knee joint and the coordinating factors of muscle contraction are the main pathogenesis of knee sports injury. The application of surface electromyography can reflect the real-time state and coordination level of the nerve muscles around the knee joint, which can be used for knee sports injury. This study provides an important basis for the occurrence, development, and rehabilitation of this knee. The purpose of this study is to improve knee activity for sports enthusiasts by analyzing the causes of knee sports injuries and the application of surface electromyography to knee sports injuries function, improve knee stability, avoid knee joint sports injury and speed up the recovery process after knee joint sports injury and provide a certain scientific theoretical basis and protection measures.

Keywords

Surface Electromyography, Knee Joint, Sports Injury, Application Value

表面肌电信号在膝关节运动性损伤中的应用价值

李宝成，石　磊，贺智裕，何　黛

文章引用: 李宝成, 石磊, 贺智裕, 何黛. 表面肌电信号在膝关节运动性损伤中的应用价值[J]. 体育科学进展, 2020, 8(1): 1-6. DOI: 10.12677/aps.2020.81001

西安交通大学体育部，陕西 西安
Email: shilei@xjtu.edu.cn

收稿日期：2019年12月6日；录用日期：2019年12月24日；发布日期：2019年12月31日

摘 要

表面肌电信号是指通过皮肤表面的电极来检测神经肌肉活动的电信号，是多个运动单元的动作电位在时间和空间上叠加的综合结果，可以定量地记录神经肌肉活动的电生理特征、肌肉的疲劳程度和神经传导速度，其检测手段操作简单、无创，在运动人体科学和康复医学等领域具有重要的应用和学术价值。膝关节是是人体结构中结构最复杂的关节，它也是运动中最容易受到损伤的关节之一。膝关节周围肌肉的力量和肌肉收缩的协调性因素是膝关节运动损伤的主要发病机制，应用表面肌电可以反映膝关节周围神经肌肉的实时状态和协调性的水平，可以为膝关节运动性损伤的发生、发展和康复过程提供重要的依据，本研究旨在通过对膝关节运动性损伤的原因分析和对表面肌电在膝关节运动性损伤中的应用分析，为运动爱好者改善膝关节活动功能、提高膝关节稳定性、避免膝关节运动性损伤和加快膝关节运动性损伤后的恢复过程，提供一定的科学理论依据和保护手段。

关键词

表面肌电，膝关节，运动损伤，应用价值

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access

1. 引言

肌电信号(electromyography, EMG)在运动人体科学、基础医学、临床医学和康复医学领域中有着越来越多的应用，它表达了肌纤维的动作电位在时空上的叠加，与肌肉收缩和肌肉力量息息相关。针电极深入肌肉内部所得到的肌电信号比较精确、易于检测和识别，但它的创伤性特征不易被人们接受。而表面肌电信号(surface EMG, sEMG)是指通过皮肤表面的电极来检测神经肌肉活动的电信号，是多个运动单元的动作电位在时间和空间上叠加的综合结果，也可以定量地记录神经肌肉活动的电生理特征、肌肉的疲劳程度和神经传导速度。sEMG 的检测手段操作相对简单，具有无创性的特征，因此，它对运动人体科学、人机工效学和康复医学等领域备受重视，具有重要的应用和学术价值，有着广阔的推广前景。

膝关节是是人体结构中结构最复杂的关节，因此，它也是运动中最容易受到损伤的关节之一，在学校体育、群众体育和竞技体育中膝关节发生运动性损伤的概率较高。膝关节周围肌肉的力量和肌肉收缩的协调性因素是膝关节运动损伤的主要发病机制，而应用 sEMG 进行检测，其数据可以反映膝关节周围神经肌肉的实时状态和协调性的水平，可以为膝关节运动性损伤的发生、发展和康复过程提供重要的依据，本研究旨在通过对膝关节运动性损伤的原因分析和对 sEMG 在膝关节运动性损伤中的应用分析，为运动爱好者改善膝关节活动功能、提高膝关节稳定性、避免膝关节运动性损伤和加快膝关节运动性损伤后的恢复过程，提供一定的科学理论依据和保护手段。

2. 膝关节运动性损伤

膝关节有股骨下端、胫骨上端和髌骨构成，髌骨与股骨的髌面相接，股骨的内、外侧髁分别与胫骨的内、外侧髁相对。膝关节属于滑车关节，是人体结构中结构最复杂的关节。膝关节的关节囊附着于其各关节面的周缘，关节的稳定性有助于外围相关的各个韧带，韧带包括髌韧带、斜韧带、膝交叉韧带、胫侧副韧带和腓侧副韧带等。膝关节的滑膜层在人体关节中最为复杂，膝关节滑膜在髌骨上缘上方向上突起形成髌上囊于股四头肌腱和股骨体下部之间，覆盖关节内除了关节软骨和半月板以外的所有结构。还有不与关节腔相通的滑液囊，如位于髌韧带与胫骨上端之间的髌下深囊。机体在活动时，膝关节承受的力大大多于人体的重量。比如篮球项目的行进间上篮技术，在起跳腿蹬地跳起的瞬间，膝关节所承受的力量超过了身体质量的六倍。再如在人体的强烈下蹲时膝关节所承受的力量超过了身体质量的八倍，慢跑锻炼时，支撑腿的膝关节所承受的力量超过了身体质量的四倍。所以，在大多运动项目和运动形式中膝关节都起到了很大的作用并承受了很大的负重，同时也成为了活动中最易受到损伤的关节之一。

膝关节运动性损伤主要种类：① 胫侧副韧带和腓侧副韧带损伤：膝关节的胫侧副韧带和腓侧副韧带的主要作用加固关节的稳定性，如在体育活动中某种动作使得膝关节产生过度的内翻或是外翻，则会致使胫侧副韧带和腓侧副韧带造成撕裂或是拉伤甚至是韧带断裂。在篮球、足球、柔道等对抗性非常强烈的项目中，经常会遇到膝关节被动性的过度内翻或是外翻，这种关节变形如果保护不当就会产生运动性的损伤。胫侧副韧带和腓侧副韧带损伤后，膝关节会出现明显的肿胀、疼痛和活动障碍等现象。② 交叉韧带损伤：膝关节的交叉韧带(也经常被人们叫做前十字韧带)连接着股骨和胫骨，可以在体育锻炼中防止胫骨向前后方向发生过度移动，对胫骨的稳定性起到主要作用。交叉韧带的运动性主要成因来自于膝关节的伸直位内翻以及屈曲位的外翻，交叉韧带产生运动性损伤后膝关节会出现明显的肿胀、疼痛和活动障碍等现象，伤情严重者需要关节镜的韧带重建手术治疗。③ 半月板损伤：半月板是在胫骨关节面上有内侧和外侧半月形状骨，其边缘部较厚，与关节囊紧密连接，中心部薄，呈游离状态。半月板的作用是增加胫骨髁凹陷及衬垫股骨内外髁，从而得以对膝关节的稳定性起到缓冲。在锻炼时忽视对膝关节稳定性的保护会使半月板出现运动性损伤，其损伤往往会伴随着韧带损伤和关节面损伤等现象。半月板边缘部分的损伤可以缓慢自我修复，但当半月板大面积破裂后则无法自行修复，一般会根据损伤程度采取保守治疗或是进行手术，从而避免后续的骨挫伤和肌肉萎缩等状况的发生。④ 膝关节的滑囊损伤和骨损伤：膝关节的滑囊属于结缔组织，它的内侧滑膜可以分泌滑液，从而使膝关节的活动更加灵活。膝关节长期不当姿势的运动可以导致滑囊或关节面产生损伤引发炎症，膝关节的滑囊损伤和骨损伤损伤后在膝关节运动时的不同角度会产生显著的的痛感和不适，给人们的活动带来诸多不便[1]。

3. sEMG 的信号分析

3.1. sEMG 的信号量化

sEMG 是指通过皮肤表面的电极来检测神经肌肉活动的电信号，是多个运动单元的动作电位在时间和空间上叠加的综合结果，肌电信号的产生机理如图 1 所示。sEMG 信号与肌纤维的构成比、解剖结构、肌肉收缩的贡献率、运动单位的同步化程度和募集能力有着较强的相关性，可以定量地记录神经肌肉活动的电生理特征、肌肉的疲劳程度、神经的传导速度等发展规律。

sEMG 的检测手段操作相对简单，具有无创性的特征，因此，它对运动人体科学、人机工效学和康复医学等领域备受重视，具有重要的应用和学术价值。sEMG 的特征表现有：微弱性(一般只有 0~5 mV，20~300 μV)、交变性(是乱序的交流电压，其幅值与产生的张力基本成正比)、对称性(由正弦波叠加形成)和低频性(频谱在 0~1000 Hz，主要集中在 200 Hz 以下，波士顿大学的学者利用双极型模型发现，肌电频

谱分布在 20~500 Hz，绝大部分集中在 50~150 Hz)。对 sEMG 信号进行量化研究，是在运动人体科学和临床医学领域展开应用的必经阶段，其信号的量化处理过程主要包括：检测肌肉收缩舒张的肌电信号变化，平滑处理信号以及标准化处理数据，取肌电信号的绝对值，通过标准化处理后的肌电信号就可以理论上实现与其他个体的肌肉肌电值进行比较研究了。

3.2. sEMG 的时域分析时域分析

表面肌电信号分析包括时域分析与频域分析。时域分析是将肌电信号看作时间的函数，通过分析得到肌电信号的某些统计特征。频域分析常常是通过傅立叶变换而把肌电的时域特征转换为频域信号的频谱或功率谱来进行分析。时域分析参数包括振幅(AMP)、积分肌电值(iEMG)、均方根值(RMS)、时程(DUR)等，频域分析参数包括平均功率频率(MPF)、中位频率(MF)、中心频率(CF)等。上述指标是反映肌电信号频率特征的生物物理指标，其数值与肌纤维的构成比、解剖结构、肌肉收缩的贡献率、运动单位的同步化程度和募集能力有着较强的相关性[2]。

Figure 1. Schematic diagram of the EMG signal generation mechanism
图 1. 肌电信号的产生机理示意图

4. 表面肌电在膝关节运动性损伤中的应用

膝关节运动性损伤较为常见和多发，损伤后可导致膝关节疼痛、运动角度受限、关节囊肿大等症状。以往研究表明，神经－肌肉因素(肌肉力量、本体感觉和肌肉的协调能力等)在膝关节的灵活性和稳定中发挥着重要作用。Baker K 等学者指出肌肉收缩协调性差会使膝关节的活动范围超过极限而增加了软骨的负重。应用 sEMG 可以反映膝关节活动时各相关肌肉的参与程度和收缩能力，从而为膝关节运动性损伤的发生、发展和康复提供数据资料。俞晓杰等学者[3]运用 sEMG 检测记录了骨外侧肌和股二头肌在最大等长收缩和下蹲动作时的肌电图，对股外侧肌和股二头肌在不同活动角度时所表现出来的生理特征展开了有效地研究和相互关系的论证，研究结果证明协同收缩可以导致膝关节的僵化程度。国外学者对蹲起动作的拮抗肌进行了 sEMG 信号监测与和实时分析，结果显示拮抗肌的协同收缩率有所增加[4]，而主动肌肌电振幅则有所下降，此结果可以间接提示膝关节周围肌力的平衡与稳定性是否异常。另外，国外学者采用 sEMG 检测记录了拮抗肌的实时分析，提示肌电信号的波幅和复合频率，与肌力平衡和膝关节稳定性的异常具备较为显著的相关性。下蹲运动在膝关节 OA 患者的日常生活活动和康复中具有重要意义。Yanagawa 等学者应用 sEMG 测试记录了腘绳肌和股四头肌的肌电活动，提示腘绳肌与股四头肌的肌力比值可以间接地反映肌肉协同收缩的能力。Mika 等[5]学者采用表面肌电图实验则表明了在膝关节的主动肌疲劳之后，适宜强度的运动是行之有效的恢复方式。

表面肌电图也是反馈治疗的常用手段，反馈治疗的原理就是把人体活动时的肌电信号经放大处理后反馈给患者和医师，从而使受试者更为有效地控制肌肉活动、强化运动效果、减少康复时间。Lewek 等学者应用表面肌电图和步态分析对膝关节运动损伤的术前后和康复治疗前后的关节功能进行评估，提示膝关节内侧肌肉收缩的协调性对康复过程意义重大。牟洪雨等[6]学者利用 sEMG 手段研发攻关了机体上肢肌电信号反馈康复运动系统，增加了在康复过程中对运动性疲劳的保护性，能够有效地规避二次损伤。Lewek 等学者采用表面肌电信号和步态分析对膝关节运动性损伤的步态变化进行了研究，提示膝关节内

侧肌肉协同收缩能力的提高能够加快患者的康复过程。孙栋等[7]学者对脑卒中恢复期膝关节的表面肌电信号展开了研究，结果显示提高膝关节的伸肌群与屈肌群的收缩协调性能力尤其主动肌的收缩能力，应是患者下肢康复的主要方向。

表面肌电图也是膝关节骨性关节炎恢复情况的常用评价指标，有学者发现标准化的肌电峰值可以反映膝关节骨关节炎患者股四头肌的等长收缩能力，提示与健康人体相比膝关节骨关节炎患者有着显著的高股四头肌激活的现象。俞晓杰等学者应用 sEMG 测试发现了膝关节骨关节炎患者的股四头肌和股二头肌患肌的肌电平均振幅小于健肌，肌电信号的平均振幅有下降的表现趋势，髌股关节功能紊乱常伴随股内侧肌和股外侧肌肌力失衡的表现，sEMG 比值是髌股关节疼痛患者恢复程度的有效指标。张琦等学者利用肌电信号研究髌股疼痛综合征患者的股内侧斜肌和股外侧肌的生理状态，提示恢复期神经肌电比率相对损伤期的数值差异明显。在膝关节前交叉韧带运动性损伤后重建术中，表面肌电信号结合等速肌力测试可以准确地反映股四头肌和腘绳肌的生理状态，可以评价患者的康复程度和治疗成效。Tecco 等学者发现膝关节前交叉韧带运动性损伤后重建术后，膝关节周围腘绳肌与股四头肌的肌力比值较高。Barak 等学者[8]应用 sEMG 测试研究，发现了适度关节活动度的等速运动疗法可以有益于股内侧肌运动单位的募集效果。Esposito 等学者采用表面肌电图和等速运动疗法对老年人股四头肌的生理状态进行了研究，提示等速运动疗法对肌肉容积的增大有益。半月板损伤可以导致膝关节出现强烈的功能性障碍，卢惠苹[9]等学者采用表面肌电图研究显示，半月板损伤后其股直肌、股二头肌、股内侧肌和股外侧肌的生理状态弱于健侧，在蹲起的动作中，患侧腘绳肌的电生理活动要高于股四头肌。

5. 结语

表面肌电图是分析神经肌肉功能的应用手段，正确地适用 sEMG 至关重要，在研究中不能孤立地记录肌电信号的空间状态，应注意对肌电信号的时限和空间的相互关系。另外，sEMG 在目前的研究中仍然存在局限性，虽然可以对于某一动作的相关肌群的肌电参与情况进行有效地分析和研究，但它对于单独的、深层的肌纤维的放电活动则无法准确地进行记录和研究，只能间接地量化肌力[10]。尽管有以上问题，但 sEMG 可以定量地记录神经肌肉活动的电生理特征、肌肉的疲劳程度、神经的传导速度等特点，检测手段操作相对简单，具有无创性的特征，因此，它对运动人体科学、人机工效学和康复医学等领域备受重视[11]，具有重要的应用和学术价值，有着广阔的推广前景。

基金项目

陕西省重点研发计划项目(No. 2019GY-103)。

参考文献

[1] 王小燕. 篮球运动中膝关节损伤原因及防御方法研究[J]. 当代体育科技, 2019(19): 28-30.

[2] 王国祥, 刘殿玉. 等速运动中肌氧含量及其 sEMG 中位频率的变化特点[J]. 广州体育学院学报, 2004, 24(2): 38-40.

[3] 俞晓杰, 吴毅, 胡永善, 等. 膝关节骨关节炎患者膝屈伸肌的 sEMG 信号研究[J]. 膝关节骨关节炎患者膝屈伸肌的 sEMG 信号研究, 2006, 6(28): 402-405.

[4] Liu, X., Aziz, T.Z. and Bain, P.G. (2005) Intraoperative Monitoring of Motor Symptoms Using Surface Electromyography during Stereotactic Surgery for Movement Disorders. *Journal of Clinical Neurophysiology*, **22**, 183-191.

[5] Mika, A., Mika, P., Fernhall, B., *et al*. (2007) Comparison of Recovery Strategies on Muscle Performance after Fatiguing Exercise. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, **86**, 474-481. https://doi.org/10.1097/PHM.0b013e31805b7c79

[6] 牟洪雨, 季林红, 王人成, 等. 人体上肢 sEMG 反馈康复训练系统的研制[J]. 中国临床康复医学杂志, 2003,

18(5): 291-292.

[7] 孙栋, 戴慧寒, 蔡奇芳, 等. 脑卒中偏瘫患者股直肌和股二头肌的表面肌电信号特征[J]. 中国康复医学杂志, 2008, 23(3): 256-257.

[8] Barak, Y., Ayalon, M. and Dvir, Z. (2006) Spectral EMG Changes in Vastus Medialis Muscle Following Short Range of Motion Isokinetic Training. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, **16**, 403-412. https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2005.09.006

[9] 卢惠苹, 陈瑞华, 张高飞. 半月板损伤患者膝周肌肉的表面肌电图分析[J]. 中国康复理论与实践, 2019, 5(25): 586-589.

[10] 崔永建. 表面肌电技术在风湿系统疾病康复评估与训练中的应用[J]. 中国康复医学杂志, 2009, 4(24): 384-386.

[11] 郑荣强, 王予彬, 王惠芳. 表面肌电在膝关节运动创伤康复中的应用[J]. 中国康复医学杂志, 2008, 1(23): 81-83.