

文章编号:1004-7220(2016)05-0421-05

颈椎牵引过程中颈部肌电信号变化规律与力学特点

杨腾飞^{1a}, 王金武^{2,3}, 胡志刚^{1a}, 付东辽^{1a}, 王虎^{1b}, 戴克戎^{2,3}

- (1. 河南科技大学 a. 医学技术与工程学院, b. 机电工程学院, 洛阳 471003;
2. 上海交通大学医学院附属第九人民医院 骨科, 上海市骨科内植物重点实验室, 上海 200011;
3. 上海交通大学 教育部数字医学临床转化与工程研究中心, 上海 200030)

摘要: **目的** 观察颈椎牵引在不同加载质量和牵引角度时颈部肌肉表面肌电 (electromyography, EMG) 信号的变化特点, 并与 AnyBody 软件颈椎建模仿真所得的相关肌肉力活性变化特点进行对比, 验证仿真结果的合理性。 **方法** 选取 10 例青年志愿者, 行仰卧位颈椎牵引, JE-TB0810 表面肌电仪测试颈部双侧胸锁乳突肌、斜方肌上部 EMG 信号, 利用平均肌电值 (average EMG, AEMG) 和平均功率频率 (mean power frequency, MPF) 分析颈部 EMG 信号的变化规律。 **结果** 斜方肌上部和胸锁乳突肌 AEMG 均随着加载质量和牵引角度的增大而增大, 差异均具有统计学意义 ($P < 0.05$), 斜方肌上部 AEMG 较胸锁乳突肌高, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$); 2 对肌肉在不同牵引角度和加载质量下 MPF 比较, 差异无统计学意义 ($P > 0.05$); 实验结果与颈椎牵引建模仿真所得斜方肌上部和胸锁乳突肌肌肉力活性特点相符。 **结论** 仿真结果具有一定的合理性, 临床上可根据颈部肌肉的兴奋程度和疲劳时间合理施加牵引重量, 既达到治疗效果, 也提高患者的舒适性, 为颈椎牵引设备的进一步研制和改进提供重要参考。

关键词: 表面肌电图; 仰卧位; 颈椎牵引; 胸锁乳突肌; 斜方肌上部

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

DOI: 10.3871/j.1004-7220.2016.05.421

Variation of neck electromyography and mechanical characteristics during the process of cervical traction

YANG Teng-fei^{1a}, WANG Jin-wu^{2,3}, HU Zhi-gang^{1a}, FU Dong-liao^{1a}, WANG Hu^{1b}, DAI Ke-rong^{2,3} (1. a. Department of Medical Technology and Engineering, b. School of Mechanical and Electrical Engineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, Henan, China; 2. Shanghai Key Laboratory of Orthopaedic Implants, Department of Orthopaedics, Shanghai Ninth People's Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200011, China; 3. Digital Medical Clinical Transformation and Engineering Research Center, Ministry of Education, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China)

Abstract: Objective To observe changes of surface electromyography (sEMG) in cervical traction under different loading weight and at different angles, and compare the muscle activity changes obtained by experiment with simulation results obtained by AnyBody cervical modeling, so as to verify the rationality of the simulation results.

Methods Ten young volunteers were selected to test the sEMG signals of bilateral sternocleidomastoid (SCM) and upper trapezius (UT) muscles during supine cervical traction by using JE-TB0810 surface EMG device. The

收稿日期:2015-12-17; 修回日期:2016-01-19

基金项目: 国家重大科学研究计划(2012CB933604, 2011CB013300), 国家高技术研究发展计划“863 计划”(2015AA020308), 国家自然科学基金项目(81171707, 8157090044), 上海市科委产学研医项目(14DZ1941102, 15DZ1942104), 上海市卫生系统重要疾病联合攻关项目(2013ZYJB0501), 上海教委重点学科建设基金(J50206), 上海市卫生计生系统重要薄弱学科基金(2015ZB0404), 上海交通大学医学院转化医学创新基金项目, 上海交通大学医学院高峰高原计划-“研究型医师”项目(20152224)。

通信作者: 胡志刚, 教授, 硕士研究生导师, E-mail: Hu.robert@163.com; 王金武, 教授, 博士研究生导师, E-mail: jinwu_wang@163.com。

average EMG (AEMG) and mean power frequency (MPF) were used to analyze the variation patterns of sEMG in cervical spine. **Results** The AEMG values of SCM and UT muscles increased as the loading weight and traction angles increasing, showing statistically significant difference ($P < 0.05$). The AEMG values of UT muscles was higher than that of SCM muscles, also having statistically significant difference ($P < 0.05$). No statistical differences were found in the MPF values at different traction angles or under different loading weight for both SCM and UT muscles ($P > 0.05$). The experimental results of muscle force activity both in SCM and UT muscles were consistent with those obtained from modeling and simulation of cervical traction. **Conclusions** The simulation results are verified and can provide an important reference for further development and improvement of the cervical traction device. It indicates that traction weight should be loaded reasonably according to the excitation and fatigue of the cervical muscles in clinic with both insuring the treatment effect and improving patient's comfort as well.

Key words: Surface electromyography (sEMG); Supine; Cervical traction; Sternocleidomastoid; Upper trapezius

颈椎病是一种严重危害人类健康的多发退行性疾病,通常中老年人易患此病^[1],男女均可发病。轻者头晕、头痛、恶心、呕吐、颈肩手臂酸痛麻木,重者可导致某些器官功能障碍,甚至造成瘫痪。

颈椎牵引是发病早期治疗颈椎病并能够有效缓解症状的主要手段。研究发现,适当的牵引有如下优势:①减轻颈部肌肉痉挛,缓解疼痛症状;②增大椎体间和椎间孔间隙,有利于已外突的髓核及纤维环组织复位;③缓解和解除脊髓及神经根受压与刺激,促进神经根水肿吸收;④解除对椎动脉的压迫,促进血液循环,有利于局部淤血肿胀及增生消退;⑤松解粘连的关节囊,改善和恢复钩椎关节,调整小关节错位和椎体滑脱,调整和恢复已被破坏的颈椎内外平衡,恢复颈椎的正常弯曲排列^[2]。因此,本文通过颈椎牵引实验,运用表面肌电(surface electromyography, sEMG)^[3-4]测试系统监测人体颈部肌肉在不同加载质量和牵引角度时的EMG信号,对其进行时域和频域分析^[5],研究不同牵引角度和加载质量对肌肉疲劳的影响,并与AnyBody软件建模仿真所得肌肉活性变化特点进行对比,以验证仿真结果的合理性,为更好进行颈椎牵引治疗颈椎病提供实验依据。

1 材料和方法

1.1 一般资料

10例健康受试者,均为在校大学生,其中男5例,女5例;年龄(21.5 ± 1.5)岁,身高(166.5 ± 6.5)cm,体重(57.3 ± 7.7)kg。排除标准:曾有颈肩背部手术史,过去半年内有颈肩部肌肉锻炼,曾有风湿或神经病变,曾被诊断为颈椎病、强直性脊柱

炎、头颈部外伤及头面部骨折及精神障碍等疾病者。所有受试者在正式实验前均熟悉实验过程。

1.2 实验仪器

检测仪器为安徽埃力智能科技有限公司的8通道表面肌电仪(型号:JE-TB0810,采样频率:10~4 000 Hz,共模抑制比:CMRR > 110 dB,前置放大器增益:2 000)。实验时,增益调至1 000倍,采用50 Hz陷波器消除工频干扰。所用实验电极为Ag-AgCl电极。

1.3 电极摆放

电极采用一次性Triodes干电极,电极呈圆形,直径约为5.6 cm,有阳极、阴极和地电极3个头,阳极、阴极间的距离约为2 cm,使用阳极和阴极采集信号,地电极作为参考点,电极方向与肌纤维方向平行,向心性粘贴。粘贴位置^[6-7]:胸锁乳突肌(sternocleidomastoid, SCM)为乳突到胸骨上切迹连线的中下1/3交点处^[8];斜方肌上部(upper trapezius, UT)为C7棘突和肩峰后外侧连线的中点,再横向2 cm处^[9]。用刀片刮净皮肤上毛发,酒精清洁皮肤,粘贴一次性干电极。

1.4 实验方法

受试者仰卧位于牵引床上,将2对表面电极分别贴于双侧胸锁乳突肌、斜方肌上部前述的粘贴位置,接牵引头套经牵引绳下连牵引砝码。实验时,共进行3种角度(分别为10°、20°、30°)的牵引实验,每种角度下的加载质量分别为4、5、6 kg。每次牵引时间为20 min^[10],同时进行EMG信号的采集,每2 min采集一次EMG信号,采集时间为1 min,测试其平均肌电(average EMG, AEMG)和平均功率频率(mean power frequency, MPF)值。

测试前让受试者熟悉测试要求。测试中,尽量引导受试者放松,并指导其在测试的 20 min 内保持身体姿势的一致,每次牵引结束后休息 2 min,避免身体其他部位的疲劳。

2 结果

2.1 时域指标

将 10 名受试者在不同加载质量和牵引角度下采集的各块肌肉 sEMG 信号进行时间积分,并取平均值得到相关肌肉 AEMG 值^[11]。由于在整个牵引过程中,受试者所承受的载荷重量恒定不变,故其在 20 min 内的 AEMG 值可以反映该受试者在一定加载质量、牵引角度下的 EMG 信号大小。

牵引角度一定时,随着加载质量的增大,各块肌肉 AEMG 逐渐增大,斜方肌上部 AEMG 幅度增大比较明显,胸锁乳突肌 AEMG 幅度变化比较缓慢;加载质量一定时,随着牵引角度的增大,各块肌肉 AEMG 也逐渐增大,其幅度增长趋势大致相同,但斜方肌上部 AEMG 幅度要略高于胸锁乳突肌,差异具有统计学意义($P < 0.05$, 见图 1)。

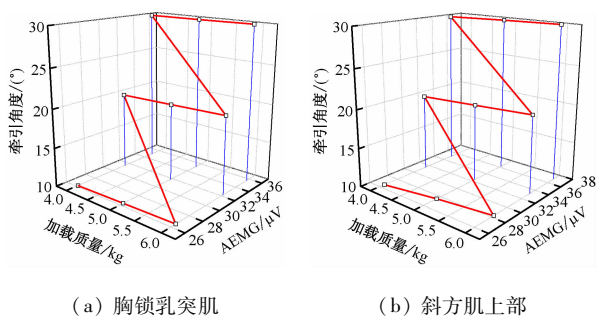


图 1 不同牵引角度和加载质量下肌肉 AEMG 变化

Fig. 1 AEMG changes of muscles under different traction angles and loading weight (a) Sternocleidomastoid, (b) Upper trapezius

2.2 频域指标

频域是指生物电信号在频率上进行分解的一种坐标关系,是信号的频域表示过程。频谱分析是指建立数据的频谱结构,得到信号的振幅谱和功率谱等,主要包括中值频率(median frequency, MF)和平均功率频率(mean power frequency, MPF)。由于肌肉在低负荷运动时 MPF 的灵敏性比 MF 强,故采用频域指标 MPF 进行颈部相关肌肉的疲劳状态分析。

在不同加载质量与牵引角度下,斜方肌上部和胸锁乳突肌 MPF 在 20 min 内的变化趋势大体一致,数值差异无统计学意义($P > 0.05$)。斜方肌上部的波形曲线要比胸锁乳突肌略平滑一些,两块肌肉的 MPF 波形幅值都随加载质量和牵引角度的增大而逐渐增大。斜方肌上部和胸锁乳突肌在牵引的 20 min 过程中,在第 5、15 min 处都达到疲劳,在 0 ~ 5 min 内出现一个小的波峰,在 5 ~ 15 min 内出现较大的波峰(见图 2、3)。

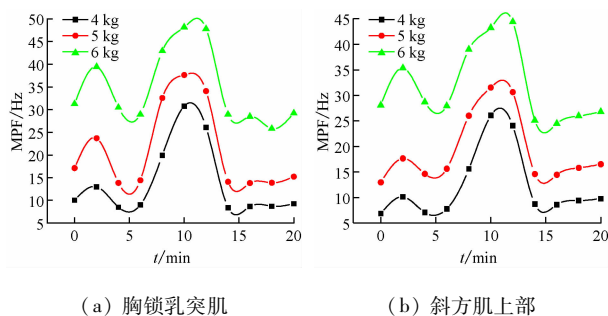


图 2 相同牵引角度($\alpha = 10^\circ$)不同加载质量下肌肉 MPF 变化

Fig. 2 MPF changes in muscles at the same traction angle ($\alpha = 10^\circ$) under different loading weight (a) Sternocleidomastoid, (b) Upper trapezius

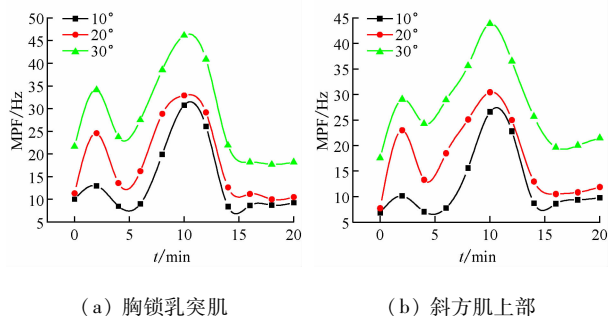


图 3 相同加载质量($m = 4$ kg)不同牵引角度下 MPF 变化

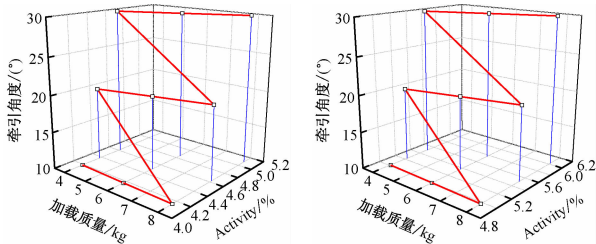
Fig. 3 MPF changes in muscles under the same loading weight ($m = 4$ kg) at different traction angles (a) Sternocleidomastoid, (b) Upper trapezius

2.3 AnyBody 颈椎牵引建模仿真的肌肉变化结果

AnyBody 人体建模仿真系统是计算机辅助人类工效学和生物力学分析软件,作为人体建模仿真分析的革命性软件,使人类工效学成为一门量化的学科。通过 AnyBody 软件系统的建模仿真,用户可获得人体单个肌肉力、关节力与力矩、骨代谢的力。本

文在 AnyBody 已有的人体模型基础上,建立人体头颈部肌肉和骨骼模型,包括头骨、椎骨、关节和颈部主要肌肉。骨骼部分包括头骨(C0)、颈椎骨(C1~7)和第1胸椎骨(T1),其中设置T1和肩部固定不动^[12];颈部主要肌肉包括胸锁乳突肌、斜方肌锁骨部和斜方肌肩胛部。为了仿真仰卧式颈椎牵引的效果,模型的头部重量设置为0 kg,在头骨上施加不同牵引角度和载荷重量的力,观察相关肌肉活性(activity)的变化特点。其中,肌肉活性表示当前肌肉力与最大肌肉力的比值。

在牵引角度一定的情况下,随着加载质量的增大,胸锁乳突肌和斜方肌上部的肌肉活性都有一定程度的增大;加载质量一定时,随着牵引角度的逐渐增大,胸锁乳突肌和斜方肌上部的肌肉活性基本呈线性递增,而且建模仿真中斜方肌上部的肌肉活性始终大于胸锁乳突肌的肌肉活性(见图4)。



(a) 胸锁乳突肌

(b) 斜方肌上部

图4 不同牵引角度和加载质量下肌肉活性的变化

Fig. 4 Muscle activity changes at different traction angles and under different loading weight (a) Sternocleidomastoid, (b) Upper trapezius

3 讨论

sEMG 是神经肌肉系统在进行随意性和非随意性活动时,人体电信号发生变化后,经过表面电极的放大、显示和记录,所获得的结果为电压时间序列信号,是对体表肌肉活动进行无创检测的重要方法。肌肉在运动过程中的活动状况及功能与 sEMG 信号有很好的对应性,故肌肉的运动状况能够通过 sEMG 信号表现出来。研究表明,EMG 信号的幅度及谱能量不仅与肌肉疲劳状态有关,而且与测试状态下肌肉力大小有关^[13-15],故 EMG 信号可以用于肌肉活动状态与疲劳状态的分析。由于胸锁乳突肌和斜方肌在颈部后伸过程中均具有重要作用^[16-17],

并且两块肌肉都位于颈部表面,易于测量,故可以通过采集 sEMG 分析其变化特征。

Onishi 等^[18]通过研究积分肌电值与肌力和肌张力之间的关系发现,肌肉随意静力收缩时,用表面电极测定的积分肌电值与肌力、肌张力呈正相关,故检测积分肌电值已成为研究肌肉紧张活动的一个理想指标。本实验测量了人体在牵引 20 min 过程中 EMG 信号的变化特点,时域指标积分肌电值(integrate EMG, iEMG)测量时间长,数据量大,故采用每 2 min 测量的 AEMG 反映一段时间内肌肉力量的大小。结果显示,斜方肌上部和胸锁乳突肌 AEMG 都会随着加载质量和牵引角度的增大而增大,差异均具有统计学意义($P < 0.05$),斜方肌上部 AEMG 比胸锁乳突肌 AEMG 高,差异具有统计学意义($P < 0.05$)。在等长伸颈运动时,随着加载质量和牵引角度的增大,斜方肌上部承担的作用要大于胸锁乳突肌,与文献[19-20]中的研究结果相符。AnyBody 颈椎牵引仿真结果显示,胸锁乳突肌和斜方肌上部肌肉活性变化特点与实验结果相符,AEMG 和肌肉活性之间具有一定的正相关性。实验结果验证了颈椎建模仿真的合理性,为考虑肌肉作用下颈椎牵引的生物力学分析奠定基础,也解决了体内力学实验的难题。

频域方面,在不同加载质量与牵引角度下,斜方肌上部和胸锁乳突肌 MPF 在 20 min 内的变化趋势大体一致,差异无统计学意义($P > 0.05$)。不过各块肌肉 MPF 波形幅值都会因加载质量和牵引角度的增大而逐渐增大。这与 MPF 在负荷加大时减小速度加快不太相符^[21],原因可能是人体在仰卧位颈椎牵引时,肌肉处于低负荷运动状态,其兴奋性会随着加载质量的增加而逐渐增大。牵引治疗的 0 ~ 5 min 内,肌肉出现较小的兴奋性,人体会表现出一定的不适感;经过短暂的疲劳之后,5 ~ 15 min 内两块肌肉的兴奋性达到最大,肌肉做功较大,人体会在适应的前提下,略感酸痛;15 min 之后,两块肌肉 MPF 稳定在一个较小的频率范围内。总之,斜方肌上部和胸锁乳突肌在牵引的第 5、15 min 这两个时间点会出现不同程度的疲劳,临床上可根据颈部肌肉的兴奋程度和疲劳时间合理施加牵引重量,这样既可达到治疗效果,也能提高患者的舒适性,为颈椎牵引设备的进一步研制和改进提供重要的参考。

本文利用表面肌电仪研究分析颈椎仰卧位牵引时,胸锁乳突肌和斜方肌上部肌肉的活动状态和疲劳状态,并与 AnyBody 颈椎牵引建模仿真所对应的肌肉活性变化特点进行对比,初步探讨颈椎牵引过程中 EMG 信号和力学特点的变化规律,实验结果在一定程度上验证了 AnyBody 颈椎牵引建模仿真的合理性。但是由于颈部肌肉非常复杂,表面电极检测出的 EMG 信号是一组肌群的募集信息,肌肉运动中表面电极与皮肤表面的接触程度也会影响采集效果。同时,EMG 信号还受到表面肌电仪中电子器件固有噪声、环境噪声以及其他人体信号产生的噪声干扰等。另外,AnyBody 颈椎牵引建模并未添加人体颈部所有肌肉,仿真结果与真实情况存在差异,故对颈椎牵引过程中 EMG 信号的变化特点和力学特性的研究仍需进一步探讨。

参考文献:

- [1] 徐洋, 贾功伟, 谭波涛, 等. 非手术脊柱减压系统牵引与普通牵引对颈棘旁肌表面肌电信号的影响[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2014, 36(7): 544-548.
- [2] MACARIO A, RICHMOND C, AUSTER M, *et al.* Treatment of 94 outpatients with chronic discogenic low back pain with the DRX9000: A retrospective chart review [J]. *Pain Pract*, 2008, 8(1): 11-17.
- [3] COOPER RG, STOKES MJ. Load-induced inflexion of the surface electromyographic signal during isometric fatiguing activity of normal human paraspinal muscle [J]. *Electromyography Clin Neurophysiol*, 1994, 34(2): 177-184.
- [4] ORTENGREN R, ANDERSSON GBJ. Electromyographic studies of trunk muscles with special reference to functional anatomy of the lumbar spine [J]. *Spine*, 1977, 2(1): 44-52.
- [5] 张鄂, 毕朝瑞, 张俊峰, 等. 驾驶振动所致局部肌肉疲劳的肌电信号分析[J]. 信息科学与控制工程, 2012, 33(12): 63-67.
- [6] BERNHARDT P. Multiple muscle force simulation in axial rotation of the cervical spine [J]. *Clin Biomech*, 1999, 14(1): 32-40.
- [7] NOLAN JP. Biomechanical evaluation of the extensor musculature of the cervical spine [J]. *Spine*, 1988, 13(1): 9-11.
- [8] FALLA D, DALL ALBA P, RAINOLDI A, *et al.* Location of innervations zones of sternocleidomastoid and scalene muscles—a basis for clinical and research electromyography applications [J]. *Clin Neurophysiol*, 2002, 113(1): 57-63.
- [9] JENSEN C, VASSELJEN O, WESTGAARD RH. The influence of electrode position on bipolar surface electromyogram recordings of the upper trapezius muscle [J]. *J Appl Physiol*, 1993, 67(3): 266-273.
- [10] 倪国新, 苏力, 唐军凯. 颈椎牵引时间的初步探讨[J]. 中国临床康复, 2002, 6(4): 487-488.
- [11] 陈谦. sEMG 技术在颈部肌肉活动评价中的应用[J]. 北京体育大学学报, 2008, 31(2): 721-723.
- [12] 茆军兵, 贾晓红, 王人成, 等. 头部前屈运动过程中颈肌特性的研究[J]. 医用生物力学, 2012, 27(5): 577-581.
- [13] SIEGMUND GP, BLOUIN JS, BRAULT JR, *et al.* Electromyography of superficial and deep neck muscles during isometric, voluntary and reflex contraction [J]. *J Biomech Eng*, 2007, 129(1): 66-77.
- [14] VAN DE OORD MHAH, DE LOOSE V, SLUITER JK, *et al.* Neck strength, position sense, and motion in military helicopter crew with and without neck pain [J]. *Aviat Space Environ Med*, 2010, 81(1): 46-51.
- [15] SOVELIUS R, OKSA J, RINTALA H, *et al.* Neck and back muscle loading in pilots flying high Gz sorties with and without lumbar support [J]. *Aviat Space Environ Med*, 2008, 79(6): 616-619.
- [16] 邓道善. 运动解剖学[M]. 北京: 北京体育大学出版社, 1993: 267.
- [17] 成海平, 李交杰, 季思菊, 等. 空军飞行员颈肌强度的研究[J]. 医用生物力学, 2011, 26(1): 34-38.
- [18] CHENG HP, LI JJ, JI SJ, *et al.* Research on cervical muscle strength in air force pilots [J]. *J Med Biomech*, 2011, 26(1): 34-38.
- [19] ONISHI H, YAGI R, AKASABA K, *et al.* Relationship between EMG signals and force in human vastus lateralis touse using multiple bipolar wire electrodes [J]. *J Electromyography Kinesiol*, 2000, 10(1): 59-67.
- [20] 张芳, 刘怀霞, 卢君艳, 等. 颈部不同姿势侧卧位时颈肌表面肌电信号分析及其意义[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2010, 32(5): 363-365.
- [21] HEDENSTIERNA S, HALLDIN P, SIEGMUND GP. Neck muscle load distribution in lateral, frontal, and rear-end impacts: A three-dimensional finite element analysis [J]. *Spine*, 2009, 34(24): 2626-2633.
- [22] KILBOM A, GAMBERALE F, PERSSON J, *et al.* Physiological and psychological indices of fatigue during static contractions [J]. *Eur J Appl*, 1983, 50(2): 179-193.