

神经电信号中眼轮匝肌功能状态的识别

曹 军¹, 邵时云², 李 辉², 李 乐³, Kai-yu TONG³ (1.第四军医大学 口腔医学院 正畸科, 西安 710032; 2.西安交通大学 生物医学工程研究所, 西安 710032; 3.香港理工大学 医疗科技与资讯学系)

摘要:目的: 提取能反映眼轮匝肌功能活动的狗面神经颧支的神经电信号(ENG), 通过对 ENG 信号的分析, 识别出眼轮匝肌的功能状态。方法: 利用植入到狗面神经颧支周围的 Cuff 电极提取有闭眼动作发生期间的神经电信号, 采用幅度阈值法, 通过对 ENG 信号的分析, 识别出闭眼动作发生时眼轮匝肌的收缩动作。结果: 研究中我们提取到了能反映闭眼动作发生的 ENG 信号, 并且通过对信号的分析, 识别出了眼轮匝肌收缩动作的发生。结论: 可以通过对眼轮匝肌支配神经上 ENG 信号的分析, 监控眼轮匝肌的功能状态。

关键词: 神经电信号; 眼轮匝肌; 信号识别

中图分类号: R338.8

文献标识码: A

文章编号: 1005-202X(2007)05-0342-04

Identification of Orbicularis Oculi Muscle Activities Based on the Electroneurogram

CAO Jun¹, SHAO Shi-yun², LI Hui², LI Le³, Kai-yu TONG³

(1.Department of Orthodontics, Qindu Stomatology College Affiliated to the Fourth Military Medical University, Xi'an Shanxi 710032, China; 2.Biomedical Engineering Institute, Xi'an Shanxi Jiaotong University, Xi'an Shanxi 710049, China; 3.Department of Health Technology and Informatics, Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China)

Abstract: Objective: To extract the electroneurogram (ENG) signals of a dog's zygomatic branch of facial nerve on which the activities of orbicularis oculi muscle could be shown, and then to identify the functional state of the muscle through analyzing the ENG. Method: The ENG during the period with some blinking events occurring was extracted by cuff electrode implanted around the dog's zygomatic branch of facial nerve. The contraction of orbicularis oculi muscle was identified by using the method of amplitude threshold. Result: We managed to extract the signal which could suggest the occurring of eye blinking events. The contraction of orbicularis oculi muscle could be identified by analyzing the ENG. Conclusions: We could monitor the functional activities of the oculi muscle through analyzing ENG of nerve innervated the muscle.

Key words: electroneurogram (ENG); orbicularis oculi muscle; signal identification

前言

神经纤维上有动作电位等电信号传导, 所以从体内的神经纤维上可以记录到电信号, 这种电信号我们就称之为神经电信号 (Electroneurogram, 简称 ENG)。肌肉的功能活动是受神经支配的, 因此从理论上分析

应该可以从支配肌肉的神经的神经信号中分析出肌肉的功能状态。近年来, 国外有一些关于神经电信号方面的研究报道, 其中主要是利用对外周神经(主要是感觉神经)上神经信号的分析, 控制支配神经假体或功能性电刺激系统的功能; 也有一些报道是通过提取内脏神经上的 ENG 信号, 分析内脏器官(如胰岛、膀胱等)的功能状态, 进而寻找对这些器官的支配、控制途径。而关于神经信号与肌肉功能活动的相关性方面的研究还比较少见。本研究中, 我们在动物实验中提取的支配狗眼轮匝肌的面神经颧支的神经电信号, 采用了幅度阈值法, 识别出了眼轮匝肌的收缩与舒张状态。

1 研究方法

收稿日期: 2007-03-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No.60371025)

作者简介: 曹军(1968-), 女, 黑龙江省哈尔滨市人, 第四军医大学口腔医学院正畸科副教授, 副主任医师, 硕士生导师, 从事牙颌畸形临床矫治及神经功能调整与恢复研究。E-mail: wykun@fmmu.edu.cn; Tel: 029-84776135.

1.1 狗面神经颧支上 ENG 信号的提取

1.1.1 用于提取神经电信号的 Cuff 电极的制作

Cuff 电极也称袖套电极,是由 Hoffer 和 Stein 发明的一种可以用来在体长期记录外周神经上自然发生的 ENG 信号的电极。这种电极在神经周围套上硅胶管,硅胶管的内壁附着电极丝,这样就会在神经周围产生一个局限性的小空间,使神经纤维外电流通道的回流电阻通道增大,从而使记录到的 ENG 信号的幅值升高。

研究中我们使用的 Cuff 电极是自己制作的。其制作方法是首先利用磨具制作内径分别为 2.5 mm、3.0 mm、3.5 mm,壁厚为 1.0 mm,带有一个纵行剖口的硅胶套管。然后用带有 Teflon 涂层的超微、超弹性细丝(AS 634, Cooner wire)制作 Cuff 电极的电极丝。按需要长度剥掉导线一端的 Teflon 绝缘层,将其缝入预成的硅胶管的内壁,以形成电极的接触点。本研究

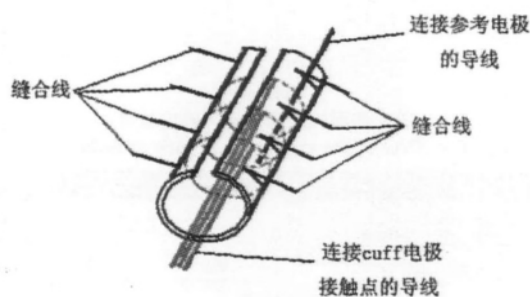


图 1 Cuff 电极的结构示意图

Fig.1 The illustration of the cuff electrode configuration

中,所用硅胶管的长度为 20 mm,管的内壁缝了 3 个电极接触点,构成了一个三极 Cuff 电极(如图 1 所示),相邻两个电极间的距离为 5 mm。在硅胶管的外壁上缝了一些缝合线。另外,在外壁上还缝了一个电极线,以用作参考电极。

1.1.2 Cuff 电极植入

在全麻、消毒条件下,将三极 Cuff 电极植入了一个成年杂种雄性狗(体重大约为 15 kg)的右侧面神经颧支周围。电极植入过程如下:在颧弓附近可找到位于腮腺咬肌筋膜表面的面神经颧支,从周围附着组



图 2 cuff 电极的植入位置

Fig.2 The implantation position of the cuff electrode

织中将神经游离出约 25 mm,注意不要切断神经营养血管。经测量可知,神经的直径为 2.0 mm,因此,我们选用 3 mm 内径的 cuff 电极,其内径大约相当于狗面神经颧支外径的 1.4 倍,符合电极使用要求。将神经放入套管中(如图 2 所示),以缝合线结扎的方式关闭套管的开口。经引导针引导,将植入电极的导线穿行于皮下、在前额部位穿出皮下,延伸滞留于体外。

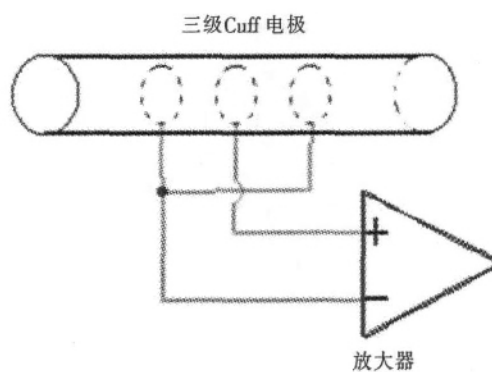


图 3 Cuff 电极的准三级电路连接方法示意

Fig.3 Illustration of the cuff electrode in quasi-tripolar configuration

1.1.3 神经电信号的提取方法

Cuff 电极的中间电极接触点与放大器的阳极输入端相连,两端的两个电极接触点短接后与放大器的阴极输入端相连,这种线路接法为准三极电路接法(如图 3)。所用放大器为低噪声放大器(SR560, standford research systems inc, CA),放大倍数为 50000、带通为 1 kHz~3 kHz。参考电极与放大器的地端相连。对于放大器来说,这是一种差分输入方式。将从放大器输出的 ENG 信号以 20 kHz 的采样频率,通过 8855 存储示波器(Hioki E.E Corp., Japan)进行数字化并储存起来,以便用于信号分析。

以在狗的右眼前晃动棉签的方法激发闭眼动作,这样较容易做到提取信号时有闭眼动作发生。记录一段有诱发的闭眼动作发生期间颧支上的神经电信号,在信号提取过程中,狗处于非麻醉状态,由饲养员负责牵拉、固定动物。

1.2 神经信号中眼轮匝肌功能状态的识别

1.2.1 神经信号中眼轮匝肌功能状态的识别算法的基本原理

从所提取到的神经信号中我们可以看出(见下面神经信号的提取结果),狗闭眼动作发生时的神经信号表现出明显的时域特性,信号幅度明显高于睁眼时的神经信号的幅度,此外,闭眼动作发生时信号的起始幅度和结束幅度不同,基于这种特点,我们可以判别闭眼动作信号数量和各信号起始时间,设定不同的起始和结束阈值来检测闭眼动作的发生。而闭眼动作

的发生机制在于眼轮匝肌的收缩,我们识别出闭眼动作的发生,也就是识别出了眼轮匝肌的收缩动作。

1.2.2 神经信号中眼轮匝肌功能状态的识别算法

下图4是我们应用的幅度阈值法,编制程序,利用计算机进行眼轮匝肌收缩动作识别的程序流程图。

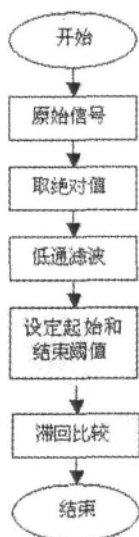


图4 眼轮匝肌收缩动作识别的程序流程图

Fig.4 Flow chart of the program to identify the contraction of the orbicularis oculi muscle

2 研究结果

2.1 狗面神经颧支神经电信号的提取结果

所提取到的神经电信号显示在图5中,从中可以看出其中主要有两种区间段落的信号,即a区间段落和b区间段落信号。根据试验者在示波器上的肉眼观察,a区间段落的信号发生与动物身上诱发闭眼动作的发生是一致的,因此我们将其视为闭眼动作信号,也就是眼轮匝肌发生收缩动作的信号,而b段落的信号则是动物处于睁眼状态的信号,我们将其视为眼轮匝肌处于舒张状态的信号。

2.2 眼轮匝肌功能状态的识别结果

应用上述幅度阈值法方法,我们可以识别在ENG信号上识别出闭眼动作发生的信号。如图6所示为我们上述识别程序的运行界面。

将要分析的ENG信号转换成文本文件格式,输入运行程序,启动滤波、识别功能。如将图5中的ENG信号输入程序,就会得到如图7所示的识别结果,其中绿线所示方波对应的信号区间为闭眼动作事件的发生区间。

运行软件数据参数提取功能,我们可以得到每次眨眼动作发生的次数、起止时间和持续时间,如图8所示。这种识别结果与我们从图5种的ENG信号的直观观察结果是一致的。

3 分析与讨论

3.1 关于狗面神经颧支的神经电信号的提取

约150年前,人们就发现神经纤维可以传导电脉冲信号,但是由于信号幅值低的问题,外周神经上自然发生的电活动难以记录。例如,通过钩状电极记录到的这种神经信号的幅值不高于几个微伏,这意味着这种幅值不比放大器的热噪声大多少。Hoffer和Stein发明了Cuff电极,这种电极在神经周围套上硅胶管,

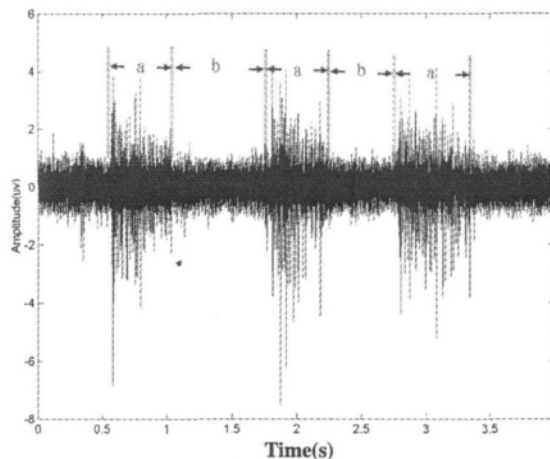


图5 狗面神经颧支的神经电信号

Fig.5 The ENG of the zygomatic branch of facial nerve

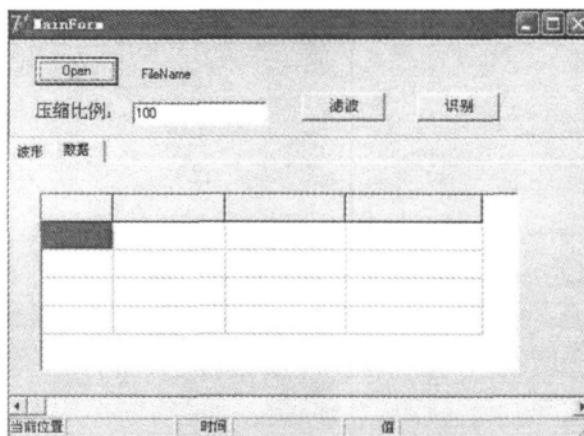


图6 识别程序的运行界面

Fig.6 The management interface during the running of the identification program

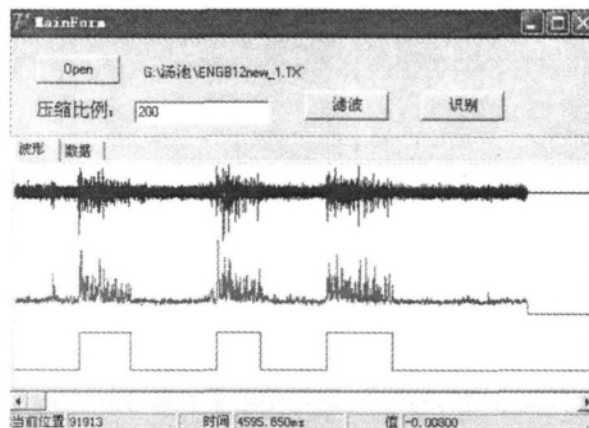


图7 识别结果

Fig.7 The results of the identification

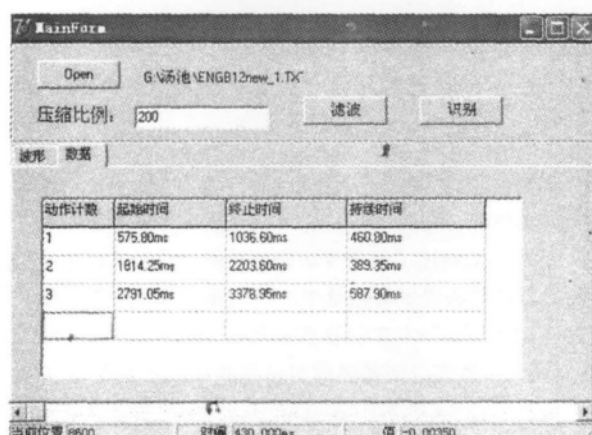


图8 闭眼动作发生次数、时间的识别结果

Fig.8 The results of the number and time of the identification of eye-blinking events

硅胶管的内壁附着电极丝,这样就会在神经周围产生一个局限性的小空间,所记录的神经信号的幅值就要升高。Cuff 电极可以用来长期性地在体记录神经信号。自从 Cuff 电极发明以来,国外出现了一些关于外周神经信号记录的文献报道(包括内脏神经和四肢神经),如从胎羊膈神经上记录的信号,从猫正中神经和 Phrenic 神经上记录到的神经信号,以及从人腓神经上记录到的信号等。这些记录到的神经信号可以应用于神经肌肉系统的(病理)生理学研究、神经状态的监控、以及作为感觉信号用于神经假体的反馈控制,但是在我国至今尚未见有关于 Cuff 电极的应用和神经电信号提取方面的报道。因此我们在本研究中中对狗面神经颧支电信号的提取有一定的探索性,从信号的提取结果来看,我们所提取的 ENG 信号能够反映神经上的电信号活动的变化,如可以清晰地看到闭眼动作的发生。狗面神经颧支基本可以看作是单纯的运动神经,支配眼轮匝肌,而闭眼动作的发生机制在于眼轮匝肌的收缩,睁眼时眼轮匝肌则处于舒张状态。我们在 ENG 信号上可以看到眼睛是处于睁眼状态或是闭眼状态,就意味着可以区分出眼轮匝肌的功能状态,即分析出眼轮匝肌是处于舒张状态,还是收缩状态。

3.2 关于眼轮匝肌功能状态的识别

由上面分析我们可以看出 ENG 信号中可以反映出眼轮匝肌的功能状态,而从研究中眼轮匝肌功能状态的识别结果,可以看出眼轮匝肌的功能状态是可以通过对 ENG 信号的分析识别出来的。这就意味着我们可以通过对 ENG 信号的分析,监控某些动作的发生,这种机制有着广泛的应用价值。如对于面瘫的患

者,我们可以通过检测健侧眼轮匝肌的支配神经 ENG 信号的方法,监控这侧眼轮匝肌的功能状态,在提取到健侧眼轮匝肌收缩信号的同时,通过功能性神经肌肉电刺激的方法,支配患侧的眼轮匝肌收缩,以使面瘫患者恢复两侧协调一致的闭眼功能。通过同样的机理,我们可以恢复面神经其它分支的功能,这可能会为面瘫患者的治疗提供一条新的途径。这种肌肉功能的识别方法,在身体其它部位的肌肉功能监控及功能恢复中,也会有着重要的应用价值。

参考文献

- [1] Hoffer JA, Marks WB and Rymer WZ. Nerve fiber activity during normal movements[J]. Soc Neurosci Abstr. 1974,4:300.
- [2] Stein RB, Charles D, Davis L, Jhamandas J, Mannard A, Nichols TR. Principles underlying new methods for chronic neural recording[J]. Can J Neurol Sci. 1975, 2:235- 244.
- [3] Hanson MA, Moore PJ, Nijhuis JG. Chronic recording from the phrenic nerve in fetal sheep in utero[J]. J Physiol. 1987, 394:4P.
- [4] Palmer Cl, Marks WB, Bak MJ. The responses of cat motor cortical units to electrical cutaneous stimulation during locomotion and during lifting, falling and landing [J]. Exp Brain Res. 1985, 58:102-116.
- [5] Sahin M, Haxbiu MA, Durand DM, Dreshaj IA. Spiral nerve cuff electrode for recording of respiratory output [J]. J Appl Physiol, 1997, 83:317.
- [6] Hansen M, Haugland M, Sinkjaer T, Donaldson N. Real time drop foot correction using machine learning and natural sensors [J]. Neuromodulation. 2002, 5:41- 53.
- [7] Johannes J. Struijk, Morten Thomsen, Jytte O. Larsen, Thomas Sinkjaer. Cuff electrodes for long-term recording of natural sensory information[J]. IEEE Engineering in medicine and biology. 1999, (3): 91-99.
- [8] Janez Rozman, B. Zorko, M. Bunc. Recording of electroneurograms from the nerves innervating the pancreas of a dog [J]. Journal of Neuroscience Methods. 2001, 112:155- 162.
- [9] C éric Rosant, Chantal P éot. An index of spindle efficacy obtained by measuring electroneurographic activity and passive tension in the rat soleus muscle[J]. Journal of Neuroscience Methods. 2006, 150:272- 278.
- [10] Hou Bao- Ke, Zhang Zuo- Ming, Gu Yong- Hao, Guo Qun, Li Li. Effect of different anaesthesia drugs on rat visual electrophysiology [J]. J Fourth Mil Med Univ. 2003, 24:1104- 1108.
- [11] Barry Upshaw, Thomas Sinkjaer. Digital signal processing algorithms for the detection of afferent nerve activity recorded from cuff electrodes[J]. IEEE Transaction on rehabilitation engineering 1998, 6:172- 181.
- [12] 杨福生, 高上凯. 生物医学信号处理[M]. 第一版. 北京. 高等教育出版社, 1989, 607- 640.
- [13] 龙胜春, 翁剑枫. 肌电信号的检测与分析方法[J]. 国外医学: 生物医学工程分册, 1998, 21(2):78- 83.
- [14] 朱凌云等. 移动心电监护系统 QRS 波的实时检测算法研究 [J]. 仪器仪表学报, 2005, 26(6):603- 607.