

由三枚电极拾取肌电以控制三个自由度肘下假肢的研究

王祖昌 钱英民 卢碧林 王惕君 邵士栋
(上海师院生物系) (上海假肢厂)

摘 要

本文报导了依据容积导体的电场理论和肌电假肢的设计原则,运用三枚普通表面电极拾取肌电信号,自然控制三个自由度动作的肘下假肢的方法。为了衡量本方法的实用价值,曾应用阈值可调的逻辑电路在正常人和截肢者(各15例)身上进行测试。结果表明,无论在稳定性或在通用性方面均有明显的意义。最后,文中对本方法的理论基础也进行了讨论。

顾名思义,多功能肌电假肢的信号源必然是肌电,然而运用肌电的方法却不尽相同,有的仅以肌电作为切换开关的触发者^[1],有的以特定动作的各该主动肌的肌电幅谱特性作为控制者^[2],有的通过逻辑门以每个动作的肌电型式作为驱动电路的启闭者^[3-5]。无论如何,控制假肢似应本着 1. 尽可能利用截肢者的残存肌肉“自然”制御动作以代替失去的手和臂^[6]与 2. 截肢者残存肌肉往往很少或已萎缩,拾取肌电电极理宜越少越好的两项基本原则进行设计。因为装戴肌电假肢的患者绝大多数是单侧截肢,如果假肢一侧不属自然控制,而另一侧又纯系意志支配,势必引起司手臂动作的左右大脑半球的兴奋灶不一致,导致心理影响或至少须加以特殊训练。其次,我们在应用三对电极拾取肌电信号以控制指的屈伸和臂的旋前旋后的实践中^[7],于短短的截臂上放置三对电极颇感困难。为此,我们依据机体为一容积导体的原理,以两两组合的三枚电极拾取肌电,通过逻辑电路,分离出伸指、屈指、屈腕、伸腕和旋前、旋后六个信号以控制假肢动作。

实 验 过 程

我们随机选择了五位正常人和三位截肢者作为初步测试对象。除一般的接地外,我们将一普通银电极放置于离肘线不超过15公分的前臂挠侧腕伸长、短肌的肌腹上,另一枚放置于尺侧腕屈肌肌腹上,第三枚置于上臂的肱二头肌下端处,并记录了这三枚电极两两组合情况下作三个自由度动作时的肌电型式。前二枚电极的定位较严格些,第三枚电极的位置可移动,即使移至肱三头肌上,也不影响所记录到的肌电型式。

随后我们分析了正常人和截肢者各15例的肌电型式,振幅真值与出现时序,研制了阈值可调的与非门电路,并以六种不同颜色灯光的闪灭作为动作的指标,借以验证这类分离信号方法的可取性和稳定度。

本文于1981年10月26日收到。

最后我们又对正常人五名,截肢者三名按各自的肌电情况调整电路后测试其误动作的次数和统计了各动作的错误百分率。

实验结果

(一)由我们记录的各动作肌电型式中获得了位于容积导体中的三枚电极所拾取的肌电信息足以控制指、腕、臂的六个动作的肯定答案。图一 A 系截肢者和 B 系正常人于同样增益下的肌电型式。由这种方法所得到的一个人的肌电型式是有差异的,但仍能根据振幅的大小或以电平检测器加以区分。此外还表明了正常人和截肢者之间的肌电振幅和肌电类型的差别并不十分明显。

(二)表 1、2 为由三枚电极拾取的正常人与截肢者各 15 例的各动作时的肌电振幅的平均数和标准差。

表 1 正常人的肌电振幅之平均数与标准差*

动作 电极对	指 屈	指 伸	腕 屈	腕 伸	旋 前	旋 后
I	1.12±0.56	1.18±0.61	1.38±0.77	1.65±0.99	0.71±0.42	0.96±0.44
II	1.39±0.63	2.61±1.02	1.29±0.93	3.62±1.57	1.84±1.08	3.08±1.56
III	1.09±0.62	0.72±0.86	1.48±0.85	1.22±1.60	0.85±0.95	2.04±1.96

* 肌电放大 5500 倍,以(伏)为单位

表 2 截肢者的肌电振幅之平均数与标准差*

动作 电极对	指 屈	指 伸	腕 屈	腕 伸	旋 前	旋 后
I	1.40±0.82	1.18±0.71	1.30±0.86	1.14±0.68	1.01±0.72	0.77±0.46
II	1.78±0.71	2.07±0.82	1.81±0.97	2.06±0.95	1.72±0.92	1.87±0.90
III	1.47±1.02	1.02±0.97	1.41±1.00	1.07±0.90	1.02±0.71	1.29±0.97

* 肌电放大 9000 倍,以(伏)为单位

对比这两表的平均值和标准差,可知①个体差异很大,②同一动作的前后二次之间的振幅变动也很大,③正常人与截肢者的肌电由于采用容积导体法并无很大差异,④由测得的振幅编码的肌电型式为:111(指屈),110(指伸),111(腕屈),110(腕伸),010(旋前),011(旋后),这与上述随机选择的两例(图 1A 与 B)的记录相一致,⑤振幅之平均数是不能作为制作假肢电路的绝对标准数据。

依此很难设想出一种适用于一切截肢者身上的定型的肌电假肢,而必须根据各人的每个动作时的肌电振幅调整电路的电平(或触发电压)选择合适组合的真值以控制动作,特别在屈指与屈腕,伸指与伸腕间的肌电仅在幅度上有所差异而其型式常常相仿。为此须借助于逻辑比较门电路,促使其分离完善。至于减少前后两次动作间的差异,则可要求受试者伸指与旋

前时用力小,在旋后与伸腕时用力大,这样可使肌电型式成为 100 (指屈),111 (腕屈),101 (腕伸),110 (指伸),010 (旋前)和 011 (旋后)。

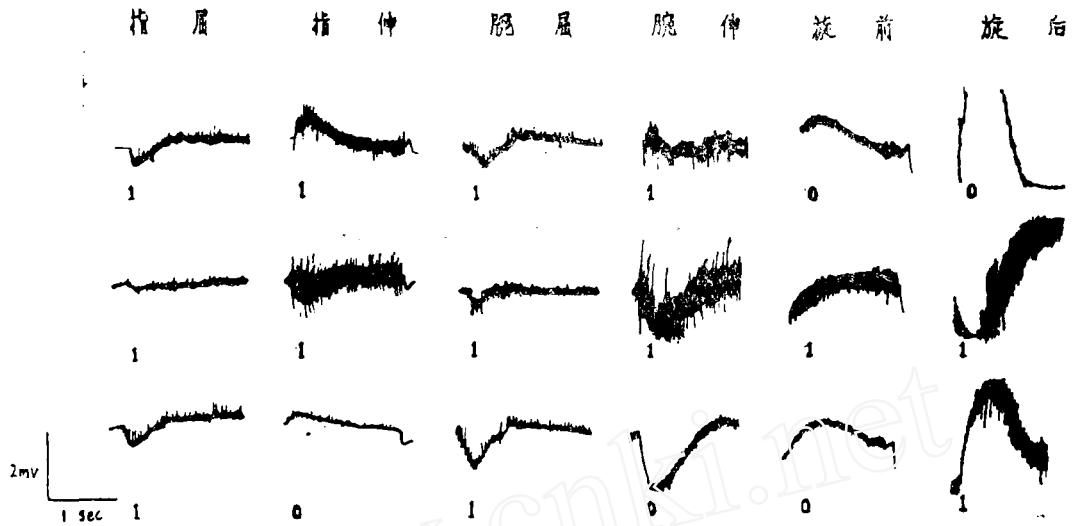


图 1 A 正常人的肌电型式

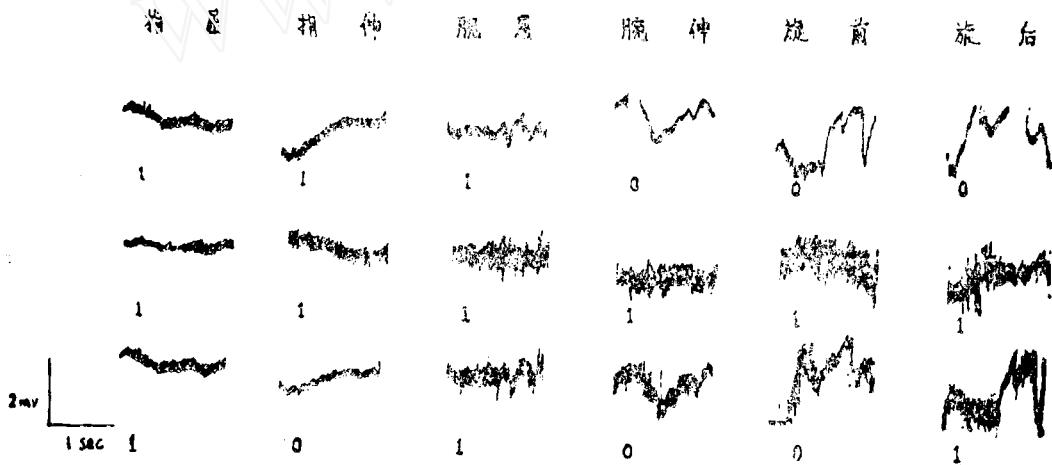
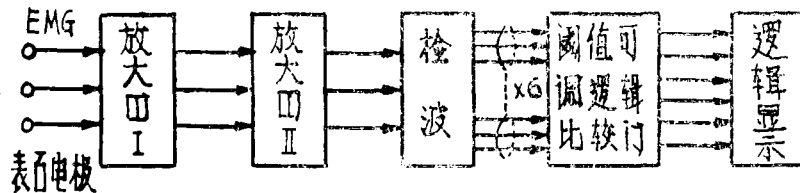


图 1 B 截肢者的肌电型式

(三) 阈值可调的逻辑电路的方框图为:



详细电路将另文发表。

(四) 图 2 为五名正常人和三名截肢者的误动作次数和其百分率。(每位受试者在作适应性动作数次后,先调正其阈值,继之连作五遍不按次序的动作)。平均误差率为 7.8%。

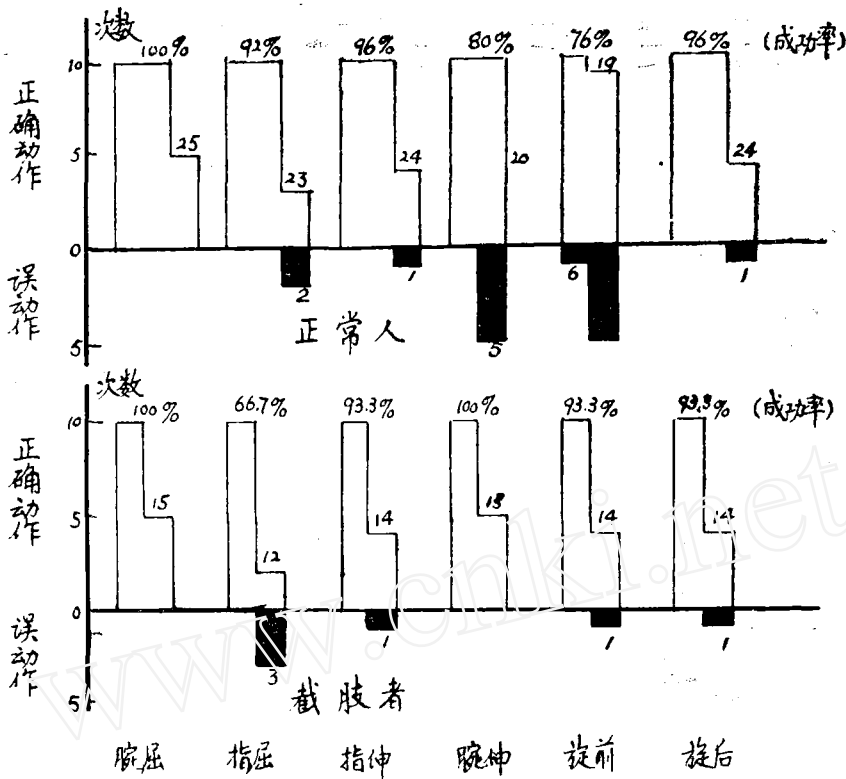


图2 误动作的次数及百分率

讨 论

(一)当我们观察受试者在作适应性的练习动作时,发现用小的力量做旋前,伸指和用大的力量作伸腕和旋后时,能使肌电信号分离较完善。因此将这一发现应用于减小动作的前后两次之间的差异。这一现象实质上是与 Elwood Hennemon 在产生肌肉张力的募集作用次序的研究^[1]相一致。因为小的肌电张力是小运动单位数目的募集,肌张力增加时,募集的是较大的运动单位。当环境需要总张力输出突然上升时,募集的次序就不明显,所有的单位均同时被激动。我们将动作时的力量大小作如上的调正,即是使小运动单位数目与所有单位的募集明显地对比表现出来。再通过逻辑比较门,肌电的型式就能更好地予以区分而减少混淆。况且,做这样的动作并不需要加以特殊训练,一般对受试者作了说明并进行一二次后,即能掌握,不久成为自然,并没有背离‘自然’控制动作的原则。事实上穿戴假肢者,不论是机械的,还是肌电的,在操作时都用较慢和较大的力量进行的。

(二)容积导体内伸指和伸腕,屈指和屈腕动作时的源(Sources)均位于同一方向的相同和相邻的肌群上,所以由电极拾取的肌电是同质(型式)的,仅在量上(振幅)有差异,引起肌电型式的混淆和误动作的产生是不难理解的,因此我们设计了逻辑比较门的电路以降低这类误差。此外 G. C. Kay 及其同事们^[1]在研究人手的序列运动时指出,从一点上拿起一物移至别处,其程序将是:旋前→腕屈→指屈→指伸→腕伸→休止状态。其他举止的观察也显示了指伸、腕伸,旋后和腕屈、指屈和旋前常常成组表现。这就使我们有理由推测在临床实践时如

电机能同时驱动的话,这类误动作可能使指腕臂动作呈现协调和谐,有助于避免机械式或齿轮式的动作。

(三)容积导体内‘源’的跨膜电位和动作的变化和它们所产生的电流关系是相当复杂的,前者可用偶极层的电位与立体角呈正比关系,后者可用骤然上升与下降的方波来替代平滑上升与下降的动作电流波简化后估算^[10]。这有助于电场一点(即极)上探测到的电位变化的程序与大小。近来 Robert Plonsey^[11]在讨论生物电场时曾提出一种多极理论(Multipole theory),以分析‘源’在容积导体中的定量关系,这更符合两两组合的三个电极拾取不同肌电信号的情形,为今后进一步运用这一理论,计算在电场中如何恰当地放置电极的研究提供了方向与基础。

(四)由于机体全体和局部都可看作是容积导体,因此本文所提出的方法不仅可应用于肘下假肢上,即对上臂假肢和全臂假肢也能适用。经初步观察,将三枚电极放置在一位全臂截肢之肩上,借此可以区别6—8个动作。

小 结

(一)本文证明了本着容积导体的电场理论和肌电假肢设计的原则进行的用三个电极拾取的肌电信号控制三个自由度动作的假肢的效果。

(二)为了验证本方法的通用性与稳定度,曾在正常人与截肢者(各15例)上应用了阈值可调与逻辑比较电路将信号分离,其结果反映了本方法与电路均有实用价值。

(三)采用拾取容积导体内肌电以构成不同肌电类型的研究,就目前我们所见到的国内外资料尚未有报导。即使采用微处理机^[12]等其他方法,误动作百分率并不比本文报导的低。

参 考 文 献

- [1] Ichiro Kato, I. K: Trends in powered upper limb prosthesis. Presented at Ispo Conference in New York. May, 1977.
- [2] V. Dunfield and E. Shwedyk: Digital EMG Processor. Med. & Biol. Eng. & Comput. p. 745-761, 1978, 16(16).
- [3] P. Lawrence, P. Herberts, R. Kadefors: Experiences with a multifunctional hand prosthesis controlled by myoelectric patterns. In "Advanced on external control of human extremities" p. 47-65, 1973.
- [4] 加藤一郎等:应用肌电类型识别的电—气动假手. 医用医学与生体工学 p. 401-405, 1968.
- [5] W. de Neve: Evolution of the Bioelectrical arm prosthesis system In "Advances on external control of human extremities". p. 243-246, 1973.
- [6] 谷和男,荒木正裕等:控制假手的肌电类型的识别“生物机制”论文集,东京大学,350—359.
- [7] 王祖昌,卢碧林,钱英民,邵士栋:两自由度的“肌电肘下假肢”的信号分离. 上海师院学报(自然科学版) 1980 (1) p. 77-84.
- [8] Edward V. Evarts: 运动的脑机制,科学(Scientific American)中译文 1980(1), p. 96-104. (黄自华,邵殿华译)
- [9] G. C. Ray, S.C.Saxena and P. Mukhopadhyay: Myoelectric control of an artificial hand for sequential movement in a tropical climate. Med. & Comput, 1799. 17,p. 724-728.
- [10] T. C. Ruch 和 J. F. Fultion: 医学生理学和生物物理学(上册)中译本p. 78-81, 1978. 科学出版社
- [11] Robert Plonsey: Physical principles of electric field. In "Handbook of Engineering in Medicine and Biology." p. 191-224, CRC Press, Inc. 1976.
- [12] 樊重道译:微处理机的生物医学应用. 国外医学(生物医学工程分册) p. 24—32. 1979(3), 原载 PIEEE66(2), P. 151-161, 1978.

A STUDY OF MYOPOTENTIALS PICKED FROM 3 ELECTRODES FOR THE CONTROL OF 6-STATE ELBOW PROSTHESIS

Wang Zhuchang, Quian Yingming, Lu Biling, Wang Tijun
(*Shanghai Teacher's College, Department of Biology*)

Shao Shidong
(*Shanghai Prosthetic Factory*)

ABSTRACT:

According to the theory of electric field of volume conductor and the principles of designing myoelectric prosthesis, this paper reports a method in which the 3 degrees of freedom of elbow prosthesis is controlled naturally by the electromyographic signals picked from 3 common surface electrodes.

In order to evaluate its reliability and currency the experiments on the movements of fingers, wrist (extension and flexion) and arm (supination and pronation), controlled by the adjustable threshold's logic circuit, are carried out in 15 normal persons and 15 amputees. The results of the experiments suggest that this method would have great significance both in theory and in practice.

In the last part of the paper, the theoretical basis of this method is also discussed.