

全国理疗医师进修讲义

肌电图学

史永明

进修班教学办公室

肌电图讲义

前 言

肌电图是一种探测和记录神经和肌肉的生物电活动的检查技术，临床上应用这种技术来诊断运动单元的损害、周围神经损伤、运动终板疾患和肌肉疾病。

将神经肌肉兴奋时发生的生物电加之放大和记录是经过了很多年技术上的实验研究才取得了今天的成果。

在技术领域内与阴极示波管之发展应用有关，1811~1825年完成了电流计，1872年完成了毛细血管静电计，1876年完成了声音记录，1901年完成了弦线式电流计，1922年阴极示波管应用到生理学范围内提供较理想的记录装置。

生理学上之发展，1794年 Galvani 说明了肌电图之基本原理，1827年记录了肌动电位，1842年证实了肌肉电流，1843年证实了损伤电流，1851年描记了舌下之纤颤电位，1866年引入动作电位这个名称，1907年 piper 首先用弦线式电流计作肌电描记，1921年分析了动作电位，1915年记录了纤颤电位，1925年引入神经肌肉运动元之理论。1929年 Adrian 和 Bronk 第一次开始应用同心电极，微分放大器 and 阴极射线示波管研究单个运动单位的功能和不同程度随意收缩时参与活动的运动单位的数目。

1936年 Denny-Brown 和 Pennybacker 研究部分和完全失支配肌肉的自发性活动——纤颤电位和束颤电位，这种技术被 Buchthal 和 Clemmesen 于1941年和 Weddell 等于1944年利用来研究神经性肌萎和周围神经损伤。1947年 Kuwabara 确定了肌肉疾病的运动单位动作

电位形态学上的差异，此后肌电图的主要作用就在于对 N 性和肌原性肌萎缩之鉴别。

直到第二次世界大战后，由于电子工业的发展，检查仪器的逐步改进，精密的肌电图仪问世，促使了肌电图这门技术较快的发展。我国解放后，已有不少科研单位和医疗单位先后开展肌电图技术，随着电子工业的发展和现代化医疗设施的需要，肌电图这门检查技术的应用范围和研究领域必将有很大发展。

第一章 肌电图的基本原理

一. 运动单位

保持姿势和运动之骨骼肌，只有在接受神经的冲动才产生收缩活动，正常骨骼肌的随意收缩来自大脑皮层的兴奋，通过锥体系锥体外系支配前角细胞，由前角细胞的兴奋又通过周围 N 及末梢 N 肌肉接点的终板，引起肌纤维兴奋产生肌肉收缩，从大脑皮层前中央回到脊髓前角细胞的神经径络为上运动 N 元；从脊髓前角细胞到肌肉的神经通路为下运动 N 元或称运动单位。

运动单位是肌肉活动的最小单位，一个运动单位，由一个前角细胞—根运动 N 纤维及其所管辖的肌肉纤维组成。它包括四个部分，即脊髓前角细胞、轴突、N 肌肉接头及肌肉纤维。



图 1
运动单位图

每个运动单位或一个 N 纤维支配的肌纤维数目称为 N 支配比例，支配比例的大小随肌肉而不同。例如腓肠肌每一运动单位有 1600 ~ 3000 根纤维，而眼外小肌肉每一运动单位却只有 5 ~ 10 根肌纤维。一般而言一个运动单位支配肌纤维愈小表示该肌愈灵活，支配的肌纤维愈多则反之。

一个运动单位在肌肉上所占据位的大小称为运动单位范围，一个运动单位占据一定圆形区域，其横切直径上肢肌肉为 5 ~ 7 毫米，下肢肌肉为 7 ~ 10 毫米，每肌肉运动单位范围的大小各不相同，如二头肌为 5 毫米横切直径，

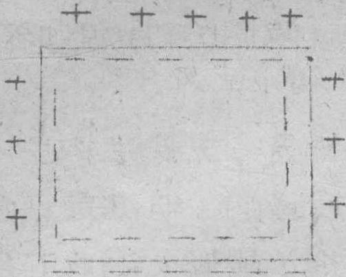
股直肌、胫前肌、对掌肌的运动单位平均 8~9 毫米直径、二头肌运动单位 12 毫米，表 37。

一个肌肉运动单位的数目也有很大不同，肢体上大的肌肉可达几百个至上千个运动单位，有作者认为一个运动单位内之纤维常组合成群，因此每个运动单位大可分亚运动单位，每个亚运动单位包括 1~30 条肌纤维，不同单位的肌纤维可有一定的交错，因此亚单位间隙内最多可包括 10~20 个其它运动单位的亚单位肌纤维。所以使用同心针电极作肌电检查可引出 10~20 个运动单位的电激动。

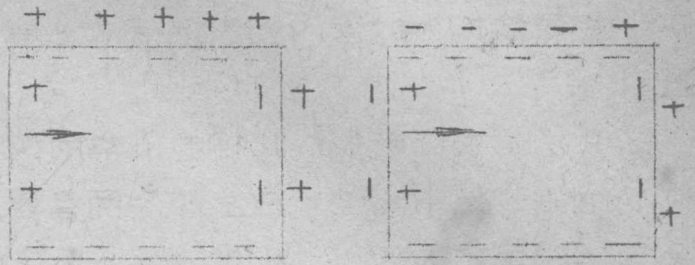
二、运动单位的电激动

肌电图就是测定运动单位电激动，它的基础是一个肌纤维的电激动，因而首先了解单个肌纤维的电激动特点以掌握肌电图的原理。

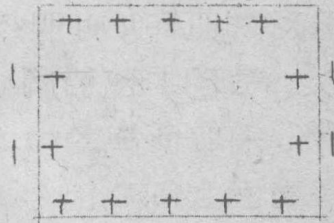
正常肌纤维在静息状态下肌纤维外没有电活动，但在肌纤维膜内外存在一个电位差，膜内为负，膜外为正。这个电位差叫做静息电位又称膜电位。当肌肉细胞兴奋时，由于极化膜的崩溃和膜电位的消失，即去极化，产生可传播的电变化称为动作电位，即兴奋点，局部出现一个负电位，而邻近部位的细胞膜仍为静息电位，因此在兴奋部位与邻近部位产生一电位差，兴奋部位为负，邻近部位为正。电流从正极流向负极，即由邻近未去极化部位流向去极化部位，通过该处流向细胞内，这样就出现流向肌细胞内部的局部电流（涡流）。该电流对邻近未去极化部位形成电刺激，使膜去极化形成新的兴奋点，而新的兴奋点又与较远的邻近部位形成新的涡流，使更远的部位去极化，这样在骨骼肌纤维上出现了一个逐渐向远处扩散的去极化过程，直到整个肌纤维全部去极化，也就是动作电位沿肌纤维传播的过程（图 2）。



静息电位



去极化过程



完全去极化

第二章 肌电图的检查和描记

一、设备：最简单的装置有电极、放大器、校正器、记录装置。

(一) 电极为了将肌肉神经兴奋时微弱的生物电流描记成图，必须有灵敏的肌电图机及引出生物电的适当电极，肌电导出电极可分为：表面电极和针状电极。

1. 表面电极

为1厘米以下铝制圆电极，其厚度可为0.2~0.5厘米。使用时应用肥皂酒精，或醋酮使皮肤脱脂清洁，以减少皮肤电阻，皮肤电阻在理想的情况下应降至5000Ω以下。电极可藉表面电极糊贴于皮肤。应按肌纤维之走行方向置放，其间隔为2~3cm。

2. 针状电极

主要结构为针管内封入绝缘之金属导线，常用的针状电极有三种：

(1) 同心针电极：此种电极常用作临床检查，主要结构是一针状钢管，其中穿过一白金丝，两者是互相绝缘的，电位是从白金丝与钢管之间测出，钢管 B 一无作用电极（辅极）钢管腔径是 0.65 毫米。中心白金丝的导入面积是 0.64 平方毫米，它与钢管的最小距离是 0.15 毫米，针端角度是 $15^{\circ} \sim 20^{\circ}$ ，用于描记面肌肌肉，眼肌及喉肌和小儿肌肉的电极外径是 0.42 毫米。

(2) 双极电极：结构大致与同心电极相同，但管中通过两条白金丝。互相绝缘，中心距离为 0.5 毫米，针直径为 0.65 毫米。电位是在两白金丝表面之间测出。

(3) 单板电极：是一根绝缘的金属针，电位是从针端测出，针的绝缘部分可以移动，另一辅极置于皮肤面上。图 4

(4) 多极电极：此种电极的针管外径是 0.9 毫米，在其上有 6 ~ 7 个不同位置的导电点，每点相距 5 ~ 10 毫米，应用此种电极可通过已知距离的各点同时进行描记，对同时性活动的伸展可得一较满意的定界测定。

无作用电极（辅极）亦可描记动作电位，只是其结果波动显示不是逆向的，就是说棘波的峡峭倾斜由负向转

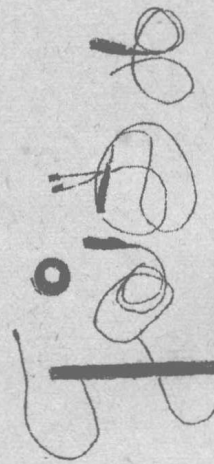


图 3

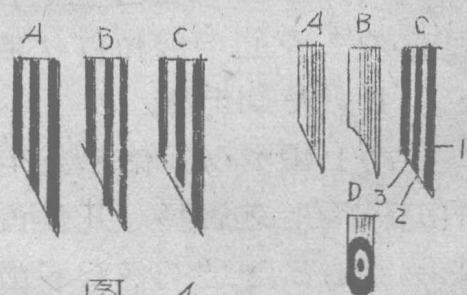


图 4

向正向，同时其电压皆小于 100 微伏，因其面积比中心电极的白金线面大得多的缘故。

(二) 放大器：电极所描取之肌肉动作电活动经电缆从前置放大器而后进至二级放大器，使动作电位放大到足能观察和记录，最小频率反应为 2 ~ 500 周/秒，一些装置所提供之电路其频率高达 10,000 周/秒，这样大的频率范围仅适用于研究目的，常规临床应用较低频率的范围。鉴别放大最满意是噪音水平不应超过 10 微伏。

(三) 校准器：校准器提供一个标准电位。校准电路常是整个机械之一组成部分，可发出已知电压时限瞬时直流电脉冲，藉此可以检查动作电位之电压范围，亦可发出序列脉冲，校准电压及频率。

(四) 记录装置：至少需要两个装置：阴极示波管，扬声器。其余尚可共有积分计，摄影机，电磁记录器。

(五) 屏蔽：电及电磁场通过空间或电缆可造成干扰，故需要作屏蔽，有时需一个完全屏蔽的房间，在很多情况下屏蔽室并不是必要的。只要电极之输入导线与交流电源之导线屏蔽及接地，就可以消除或减少这些影响。假如使用一个电源之其它电气机械工作时产生干扰应使用屏蔽避免或减少之。

二、肌电图检查步骤

(一) 由于病人对插针惧怕，故要做好解释工作，4 ~ 5 岁以上的儿童可使用镇静剂，年令更小者应考虑使用适当麻醉后才能施行。

(二) 电极使用方法：酒精清洁皮肤后，即将无关电极地极以接触糊贴于皮肤上，机口需经过校正，插针前应用碘酒，酒精棉球消毒皮肤。插针宜动作迅速，一般没有严重的痛苦，疼痛后

害时常由于损伤神经而引起。此时应该将针轻轻挪动避免撞击神经，检查时应将针插到最大深度，而后退回1~2毫米至皮下，按12° 3° 6° 9°四个方向进针探查，受查之数目决定于探查中阳性发生之情况。

(三) 肌肉应放松，体位应合适，患者采取卧位能使肌肉达到充分松弛，若肌肉紧张出现运动元电位时应变动体位或垫以枕头可避免之，有时让患者抗阻力收缩，当他领悟了放松肌肉的方法后即可使其它肌肉松弛，若使受损肌肉拮抗肌作等长收缩，亦可达松弛之目的。

(四) 电刺激：电刺激神经，由相应之肌肉描记动作电位，为一方便之方法，有时可应用重复刺激，获得重复之肌肉反应，视其波形及幅度变化，发现重症肌无力者。刺激检查尚可研究神经传导速度。

三. 肌电图检查内容

肌电图观察插入状态，放松时，轻用力收缩，重收缩，被动牵伸，支配神经的刺激检查，反射检查及传导速度的检查等。

(一) 插入状态

正常肌肉在针极插入的瞬间出现插入电位，其性质与插入部位，深度、插入速度有关，一般振幅在1~3 mV，持续时间为100 mS，产生的机制由于机械刺激引起肌肉收缩。肌肉纤维化或脂肪化时插入电位可消失。废用性萎缩时，插入电位比正常小，先天性肌强直时其持续时间长。个别正常人由于对插针之疼痛，反射性引起插入电位时间延长，特别是神经质病人，但使用局麻可缩短插入反应。

(二) 放松时检查

所谓放松时指被检查肌肉在完全松弛或尽可能的松弛状态完全无意志收缩的进行检查。正常及麻醉肌肉容易获得完全放松，但有时由于体位，姿势，精神状态等因素可以影响肌肉放松，应

尽量克服之，如检查时除上肢肌肉可采取坐位，其余应尽量采取卧位。

肌肉放松时主要观测各种自发电位及其数量、频率、特点分布范围的大小。

(三) 轻用力收缩时的检查

轻用力收缩时指肌肉产生收缩而不引起运动，或只是轻运动肌电图上只产生一个或几个运动单位电位，进行运动单位电位的时限、电压、波型、电位通路的测定。上述测定可以照像后进行测量。

(四) 重收缩时检查

重收缩指肌肉最大用力收缩，检查时需对受检肌肉施加阻力。病损严重的肌肉不能完全抗阻力运动，此时在力所能及的范围内做最大收缩即表示重收缩。重收缩时观测出运动单位电位重叠综合的程度（波形）、随意控制的程度，以及肌肉收缩时的力量与运动单位电位的密度对称性。检查时需移动针极在不同部位不同深度进行检查。

(五) 被动牵伸检查

被动牵伸指处在安静状态之肌肉由于关节被动运动使肌肉收缩。正常肌肉在此时不出现动作电位。但急剧牵伸时，可出现瞬间放电，数量较少，强直肌及痉挛肌肉被动牵伸时放电增强。

在作此项检查时，需分散患者注意力，避免其抵抗，另外应对由针极移动产生的反射性放电区别。

(六) 对支配神经的刺激检查：

当神经肌肉接头疾患时，以脉冲电刺激所属之神经干，并在该肌肉录取动作电位，由其振幅的变化可提供指征。正常振幅与电极位置、刺激强度，产生兴奋之运动单位数有关。并且尚可注射新斯的明类药物相结合，观察对电位振幅的影响。

(七) 反射检查及传导速度的检查

肌电图尚可录取腓肠反射、牵张反射、H反射、轴突反射、屈肌反射及其它反射。

传导速度检查：测定运动神经和感觉神经的传导速度的快慢、潜伏期的长短和诱发电位的幅度，波形提供诊断指征。

四、检查肌肉的选择：

检查肌肉应根据疾病的性质及萎缩肌肉的分布决定。

(一) 根据病损性质选择肌肉：神经根、神经丛、神经干支配的肌肉，检查范围应比实际受损范围大。神经根受压微，检查一定节段的神经根所支配的四肢肌肉和骶棘肌。脊髓前角细胞疾病，检查病损肌肉及常见的选择性受损肌肉，双侧上下肢，肢体近端远端肌肉，应同时检查。肌原性疾病，检查肩胛带、骨盆带肌肉同时检查远端肌肉及双侧上下肢肌肉。

(二) 根据肌肉病损程度可选择严重萎缩肌肉，中等度萎缩肌肉，临床正常的肌肉及肥大的肌肉检查。

(三) 神经损伤、神经吻合术后判定神经再生时，应根据分枝距离的远近选择肌肉，先检查离吻合处最近的神经支配肌肉。

第三章 正常肌电图

下运动神经元由脊髓前角细胞，轴突及肌肉纤维构成，来自中枢及外界之兴奋可经神经干传布，引起肌肉兴奋时即产生动作电位，兴奋在神经干，终板及肌肉传布之速度是不同的，在肌肉处为3~6米/秒，在终板处迟延0.5~1.0毫秒，肌肉动作电位可通过电极诱导之，由于诱导电极之不同，其所产生之动作电位性质亦略有差异，正常肌电图同样电极的生理差异亦较大这些必由术者反复实践观察比较才能熟练掌握。下面以同轴针极为标准叙述之。

一、肌肉放松时：

正常肌肉在安静时出现电静息，呈一电基线，若缺乏此垂线则示肌电图异常，但是有时由于病人肌肉没有放松而存在运作电位，此可通过解释或让患者拮抗肌收缩，改变体位使肌肉完全松弛以克服之。

下肢、上臂、躯干肌肉松弛较易，但前臂及手肌肉由于处在一个功能收缩状态故放松困难，颈肌、面肌也有困难，此可采用体位的训练，可含对侧面肌收缩，或做咀嚼、吞咽动作分散其注意力放松面肌。

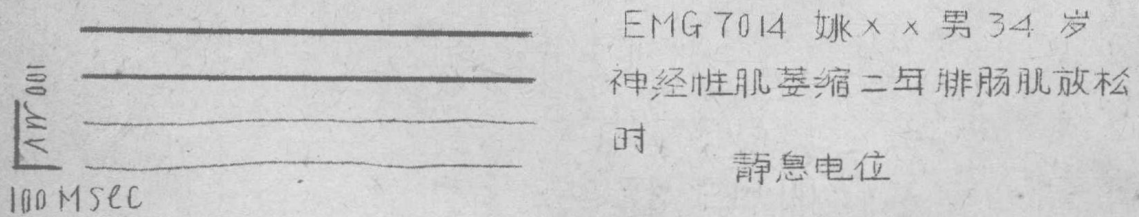


图5 静息电位

正常肌肉轻收缩时，出现的动作电位称为运动单位电位。它表示一个脊髓前角细胞所支配的肌纤维电活动的综合结果。一个运动单位包含有400~700条肌纤维，其直径可达几个毫米

而针电极只能接触少数肌纤维，引导 0.5 毫米范围内之电激动，这样大小的范围相当于来自几个或几十个亚运动单位的肌纤维（亚单位 20 ~ 30 根纤维）因此运动单位实际上是几个或几十个亚运动单位电活动的总和。

（一）频率运动单位的波形

运动单位的波形主要由电活动组织的电场在空间和时程上的综合情况决定，当运动单位的不同亚运动单位或不同肌纤维电激动时，在空间和时程同时向周围传布，则根据激动肌纤维离引导针极的距离、方向、位置不同分别形成单相、双相、三相波。

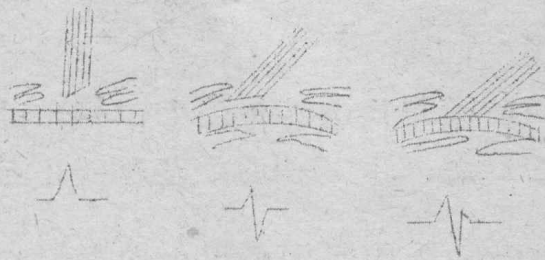


图 6

当记录电极接近运动终板区时，则起始相为负相，当远离终板区时是正相。在离开终板的距离愈远则正相持续时间愈长，离开终板的距离愈近则正相持续时间愈短，以至下降和消失。

当记录电极与肌纤维在一个点接触时产生单相波，记录电极与肌纤维有一个间隙时则形成三相波，如记录电极与肌纤维轴成一角度时则三相波起始正相可加宽。

在接触或接近激动的肌纤维处则波幅高，波峰显著而远离激动的肌纤维，则波幅低；时限延长，波顶常呈圆顶状，研究证明电极距离改变 0.15 毫米，波幅改变 10 倍，由于针电极与肌纤维实际不同，使肌电图形多变。

如在时程上有轻微的分散时，则出现切迹，驼峰，扭结呈不规则波，当时时程的分散差值在几个毫秒以上，与记录电极又较

接近时，则出现四相波或多相电位。正常肌肉中不同运动单位的亚运动单位肌纤维有一定交叉间抽，当它们与针极距离较近，而肌纤维电激动存在一定的时程分散时即可出现多相电位，一般多相电位数多在 12% 以下，波形不十分复杂，更动电极多相电位波形常可改变。

多相电位的数目与年龄、肌肉有关，4 岁以下儿童多相电位多见，胫前肌多相电位可达 12%，伸趾短肌多相电位稍高于 4%，其它肌肉在 4% 以下，温度下降，缺氧，肌肉疲劳时多相电位可增加，其原因系上述因素造成电激动传播速度不同，时程上分散，空间散布不均所致。

(二) 运动单位的时限：

运动单位电位时限是指运动单位电位变化的总时间，测定是从基线开始倾斜点起至终末倾斜返回至底线止点之间的间隔时间。

正常人不同年龄，不同肌肉运动单位电位时限不同，Buchthal 测定了不同年龄，不同肌肉肌运动单位电位的平均时限可供参考（见 15 页表）。从表上看出面肌时限最短，约为四肢肌肉的一半，四肢肌肉中以伸指总肌，腓骨长肌时限最短，一岁以下乳儿时限短，以后随年龄的增加而增加，75 岁成年人三角肌的平均时限比一岁以下小儿增加了 77%。因乳儿运动终板较小时限较短，而随着年龄增加运动终板范围增大时限亦相应延长。

肌肉在不同点起录出的运动单位电位时限是不同的这是因为不同运动单位的神经支配区范围有差别，同时由于支配区域与电极的位置亦有差别的缘故。所以一个肌肉的平均时限的测定必须在同一肌肉至少 20 不同点测定求之。注意应选择基线平稳，电位完整，起点清晰的电位，避免将同一个运动重复发放算成不同运动单位电位，影响结果的正确性。低温、缺氧、疲劳时时限缩短，一般认为温度改变 1°C 时限可改变 10~20%。

表二 不同年令与不同肌肉的动作电位中间时限

(毫秒)(同心电板)表

年 令	上肢肌							下肢肌					面肌	年 令
	三角肌	肱二头肌	三头肌	伸指总肌	叉撑拇肌	骨间肌 外展小	指肌	股四头肌	腓肠肌	胫前肌	腓骨长肌	伸趾短肌	口轮匝肌	
0	8.8	7.1	8.1	6.6	7.9	9.2	8.0	7.1	8.9	6.5	7.0	4.2	0	
3	9.0	7.3	8.3	6.8	8.1	9.5	8.2	7.3	9.2	6.7	7.2	4.3	3	
5	9.2	7.5	8.5	6.9	8.3	9.7	8.4	7.5	9.4	6.8	7.4	4.4	5	
8	9.4	7.7	8.6	7.1	8.5	9.9	8.6	7.7	9.6	6.9	7.6	4.5	8	
10	9.6	7.8	8.7	7.2	8.6	10.0	8.7	7.8	9.7	7.0	7.7	4.6	10	
13	9.9	8.0	9.0	7.4	8.9	10.3	9.0	8.0	10.0	7.2	7.9	4.7	13	
15	10.1	8.2	9.2	7.5	9.1	10.5	9.2	8.2	10.2	7.4	8.1	4.8	15	
18	10.4	8.5	9.6	7.8	9.4	10.9	9.5	8.5	10.5	7.6	8.4	5.0	18	
20	10.7	8.7	9.9	8.1	9.7	11.2	9.8	8.7	10.8	7.8	8.6	5.1	20	
25	11.4	9.2	10.4	8.5	10.2	11.9	10.3	9.2	11.5	8.3	9.1	5.4	25	
30	12.2	9.9	11.2	9.2	11.0	12.8	11.1	9.9	12.3	8.9	9.8	5.8	30	
35	13.0	10.6	12.0	9.8	11.7	13.6	11.8	10.6	13.2	9.5	10.5	6.2	35	
40	13.4	10.9	12.4	10.1	12.1	14.1	12.2	10.9	13.6	9.8	10.8	6.4	40	
45	13.8	11.2	12.7	10.3	12.5	14.5	12.5	11.2	13.9	10.1	11.1	6.6	45	
50	14.3	11.6	13.2	10.7	12.9	15.0	13.0	11.6	14.9	10.5	11.5	6.8	50	
55	14.8	12.0	13.6	11.1	13.3	15.5	13.4	12.0	14.9	10.8	11.9	7.0	55	
60	15.1	12.3	13.9	11.3	13.6	15.8	13.7	12.3	15.2	11.0	12.2	7.1	60	
65	15.3	12.5	14.1	11.5	13.9	16.1	14.0	12.5	15.5	11.2	12.4	7.3	65	
70	15.5	12.6	14.3	11.6	14.0	16.3	14.1	12.6	15.7	11.4	12.5	7.4	70	
75	15.7	12.8	14.4	11.8	14.2	16.5	14.3	12.8	15.9	11.5	12.7	7.5	75	

用双极针电极测定时限要较用同心针电极测定要短些，因为双心电极没有开始和终了的低电压部分，这些低幅度波在双心电极两个导入面上有大致相同的电压，因此测不出电位差，就是同类电极由于电极斜面电阻不同时，时限差值可达 25%。

(三) 运动单位电位的电压

运动单位电压的大小（即波的幅度）可由最高正相与负相间的距离来决定，但由于电极与活动纤维之间距离不同，因此在同一肌肉块上不同点测定电压亦非一致，变动范围很大，可由数微伏至数毫伏（100 微 ~ 2.0 毫伏）不等。为比较运动单位的电压采用平均电压——即测定一定数目的运动单位电位电压的平均值（测定和注意事项同测平均时限）② 运动单位电位最高电压——即轻收缩采取的运动单位电位中最高的幅度，正常情况不会超过 5 毫伏 ③ 峰值电压——肌肉最大用力收缩时运动单位的最高电压。

运动单位电压与肌肉收缩用力程度有关系，即轻收缩电压较低，重收缩电压增强，可增加 80 ~ 200% 温度下降时电压减低，温度下降 1℃ 电压减低 2 ~ 5%，缺氧时电压减低，双心针极较同心针极测得电压为高，针极离激动的肌纤维距离近则电压高，远则低，距离改变 0.5 毫米，电压差值可达几倍左右，故肌电图查需经常挪动针极使尽可以接近激动的肌纤维处，才能得到最高振幅。

(四) 运动单位电位的频率

正常肌肉运动单位的频率因用力强度而不同，四肢肌肉在轻收缩时运动单位电位频率是 5 ~ 10 秒，最大收缩时频率是 20 ~ 50 秒。因用力程度不同参加收缩的运动单位数目和频率不同，出现不同波形。

① 单纯相：轻收缩时各个运动单位电位可以分辨出来，肌