

· 基础研究 ·

经颅电刺激大鼠膈肌各位点运动诱发电位特点的研究

周许辉 张咏 潘峰 严望军 贾连顺 袁文

【摘要】目的 了解膈肌各位点运动诱发电位 (motor evoked potential) 的特点, 从而寻求检测膈肌 MEP 的最佳位点。**方法** 健康雄性 SD 大鼠 30 只, 体重 250 ~ 270 g。采用 Reporter 型肌电图仪给予单个方波电脉冲刺激, 刺激强度 15 mA, 波宽 0.2 ms, 刺激间隔 200 ms。直视下, 将同心圆针电极分别插入膈肌内侧脚、中间脚、外侧脚、腋后线第 11 肋骨下缘、腋前线第 9 肋骨下缘、锁骨中线第 8 肋骨下缘、胸骨旁线第 7 肋骨下缘、胸骨部。记录信号经放大后, 打印保存以备后续分析。**结果** 30 只 SD 大鼠经颅电刺激后每侧膈肌 8 个位点均可记录到双相诱发电位。各位点潜伏期变化不大, 为 (2.95 ± 0.21) ms。各位点各自波幅相对恒定。但各位点间波幅变化较大, 胸骨部最小, 为 (0.97 ± 0.05) mV。腋前线第 9 肋骨下缘最大, 为 (6.08 ± 0.46) mV。同时发现, 从腋前线第 9 肋骨下缘进针时, 此处离胸膜返折部有一定的距离, 在针通过腹外斜肌、腹内斜肌及肋间肌后可安全到达膈肌, 而不会穿透胸膜伤及肺。**结论** 以腋前线第 9 肋骨下缘为进针点, 垂直胸壁进针行膈肌 MEP 监测操作方便、安全、可靠。该处波幅最大, 是监测膈肌 MEP 较理想的位置。

【关键词】 膈肌; 运动诱发电位; 电刺激

An experimental study of motor evoked potentials of the diaphragm elicited by transcranial electric stimulation ZHOU Xu-hui, ZHANG Yong, PAN Feng, YAN Wang-jun, JIA Lian-shun, YUAN Wen. Department of Orthopaedics, Changzheng Hospital, Shanghai 200003, China

【Abstract】Objective To study the characteristics of the transcranial electric stimulation (TES)-elicited motor evoked potentials (MEP) recorded from different points of the diaphragm, and to determine the optimal recording site in the diaphragm. **Methods** One EEG electrode was placed subcutaneously in the midline of the skull as stimulation electrode and another EEG electrode was inserted into hard palate submucously as cathode in 30 male rats. And single square wave electrical pulse was used for stimulation. The stimulation intensity was 15 mA, the duration of the pulse was 0.2 ms, and the stimulating interval was 200 ms. The concentric needle electrode were inserted into the following eight sites: the medial, intermediate, lateral crura of the diaphragm, the junction of the posterior axilla line and the inferior border of the eleventh rib, the junction of the anterior axilla line and the inferior border of the ninth rib, the junction of the intermediate line of the clavicle and the inferior border of the eighth rib, the junction of the para-sternal line and the inferior border of the seventh rib, the pars sternalis. The MEP was recorded from each point, respectively. The optimal sites of the diaphragm MEP were found and recorded. **Results** The MEPs were recorded from each of the 8 sites of the diaphragm in all the rats after TES. There was no statistically significant difference among the latencies of every site. But the amplitude varied from 6.08 ± 0.46 mV in maximum along the inferior border of the ninth rib at the anterior line of the axilla to the minimum of 0.91 ± 0.03 mV at the pars sternalis. **Conclusion** It is safer to insert the needle along the inferior border of the ninth rib at the anterior line of the axilla, because there was certain distant from the folding part of the pleura and the amplitude of the recorded wave at this point is maximal.

【Key words】 Diaphragm; Motor evoked potentials; Electric stimulation

自 Newson-Davis 首次应用电刺激膈神经并记录膈肌动作电位以来, 利用电生理技术来评价呼吸功能取得了长足的发展^[1-3]。近年来的研究表明, 运动诱发电位 (motor evoked potential, MEP) 比影像学检查更可直接、客观地反映膈肌及膈神经的功能状态^[4]。但关于

记录电极放置的最佳位置颇有争议。据此, 本研究在直视大鼠膈肌的情况下插入记录针电极, 探讨膈肌不同位点 MEP 的特点, 以确定膈肌 MEP 的最佳记录位置。

材料与方法

一、麻醉与显露

健康雄性 SD 大鼠 30 只, 体重 250 ~ 270 g, 采用

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30571886)

作者单位: 200003 上海, 长征医院骨科

3% 戊巴比妥钠(1 ml 含 30 mg)按 40 mg/kg 体重腹腔麻醉后,将动物四肢向两侧牵引,仰卧位固定于动物手术台,头颅固定于立体定位架(江湾 II 型,第二军医大学),背部置可调式加热垫,体温维持 36 ~ 37℃,10% 硫化钠脱毛。以剑突下为中心沿肋下缘向两侧作长 1 cm 切口,充分显露膈肌腹腔侧。

二、MEP 的刺激与记录

将 1 枚 EEG 电极置于大鼠头颅中线皮下作阳极,另一枚 EEG 针插入硬腭黏膜下作阴极。采用 Reporter 型肌电图仪(Dantec 公司,丹麦)给予单个方波电脉冲刺激,刺激强度 15 mA,波宽 0.2 ms,刺激间隔 200 ms。直视下,将同心圆针电极分别插入膈肌内侧脚、中间脚、外侧脚、腋后线第 11 肋骨下缘、腋前线第 9 肋骨下缘、锁骨中线第 8 肋骨下缘、胸骨旁线第 7 肋骨下缘、胸骨部。地线均置于胸骨,详见图 1。各电极阻抗均小于 5 kΩ。滤波带通 20 ~ 200 Hz,分析时程 50 ms,平均 20 次,信号经放大后,打印记录以备后续分析。

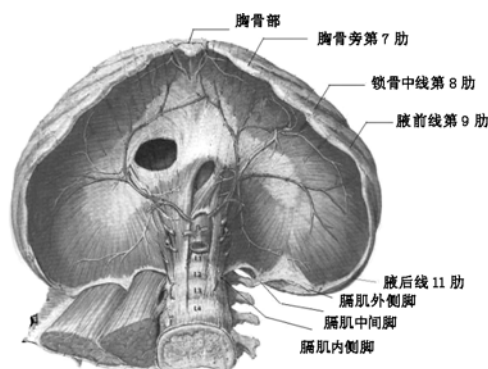


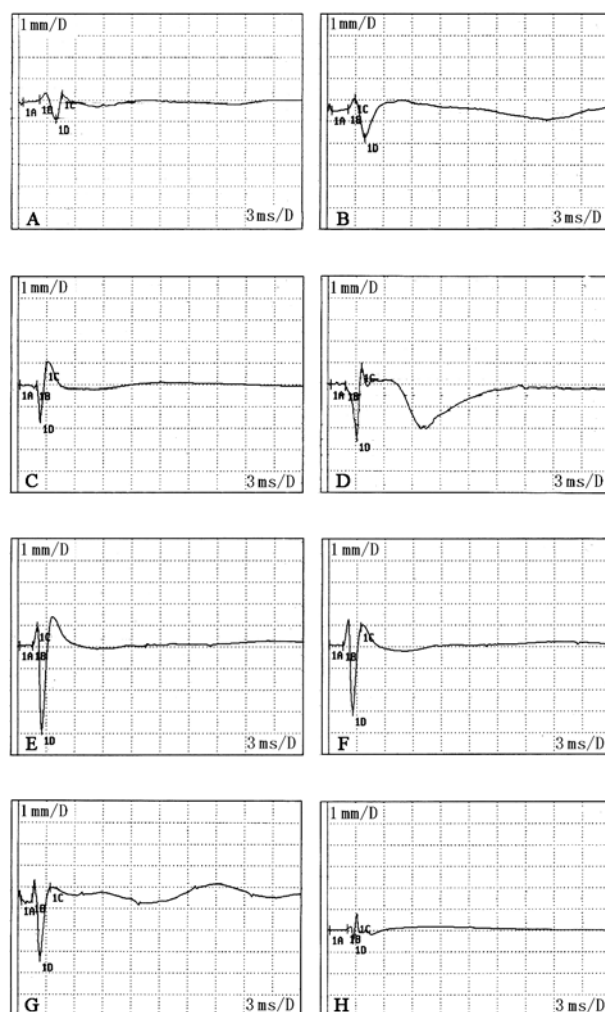
图 1 各诱发电位监测点在膈肌上的解剖位置

结 果

30 只 SD 大鼠经颅电刺激后每侧膈肌 8 个位点均可记录到双相运动诱发电位(图 2)。各位点潜伏期相对稳定,平均为(2.95 ± 0.21) ms。各位点各自波幅相对恒定,但各位点之间波幅变化较大。胸骨部波幅最小,平均为(0.97 ± 0.05) mV。腋前线第 9 肋骨下缘膈肌 MEP 波幅最大,平均为(6.08 ± 0.46) mV(膈肌各位点 MEP 的潜伏期及波幅见表 1)。同时直视下发现:腋前线第 9 肋骨下缘离胸膜返折部有一定的距离,在此处进针时,针通过腹外斜肌、腹内斜肌及肋间肌后可安全到达膈肌,而不会穿透胸膜伤及肺。

讨 论

MEP 是指经颅刺激大脑皮质运动细胞、脊髓神经根及周围神经而在相应肌肉上记录到的复合动作电位。MEP 能直接反映脊髓下行传导束和外周运动神经的功能状态。在电生理检测中,MEP 波幅绝对值所



注:A 为膈肌内侧脚 MEP;B 为膈肌中间脚 MEP;C 为膈肌外侧脚 MEP;D 为膈肌腋后线 11 肋骨下缘 MEP;E 为膈肌腋前线第 9 肋骨下缘 MEP;F 为膈肌锁骨中线第 8 肋骨下缘 MEP;G 为膈肌胸骨旁线第 7 肋骨下缘 MEP;H 膈肌胸骨部 MEP

图 2 膈肌各位点 MEP

表 1 大鼠膈肌不同位点 MEP 特征($\bar{x} \pm s$)

记录部位	波幅(mV)	潜伏期(ms)
膈肌内侧脚	1.25 ± 0.09	2.82 ± 0.23
膈肌中间脚	1.60 ± 0.10	2.95 ± 0.31
膈肌外侧脚	2.19 ± 0.21	3.04 ± 0.32
膈肌腋后线第 11 肋骨下缘	3.21 ± 0.29	3.13 ± 0.29
膈肌腋前线第 9 肋骨下缘	6.08 ± 0.46	3.08 ± 0.24
膈肌锁骨中线第 8 肋骨下缘	4.95 ± 0.42	2.96 ± 0.31
膈肌胸骨旁线第 7 肋骨下缘	3.74 ± 0.37	3.02 ± 0.25
膈肌胸骨部	0.97 ± 0.05	3.10 ± 0.33

反映的是运动神经元活动的总和。潜伏期是指从刺激起始到反应的某个部分之间的时间过程^[5]。近年来神经电生理技术的发展和运用表明:MEP 比影像学检查更直接、客观地反映神经本身的功能状态,是一种简单、快捷的判断神经功能的经济而有效的检查方法^[6]。

膈肌为圆顶形宽阔的薄肌,介于胸、腹腔之间,构成胸腔的底和腹腔的顶。其起点分为三部:腰部、肋部及胸骨部。腰部自内而外分为:内侧脚、中间脚及外侧脚。肋部为膈肌最广大的起点,以多数肌齿起自下位 6 个肋软骨的内面,肌纤维自各个方向达中心腱的侧缘及前缘。胸骨部由两个小束构成,起自剑突后面。在发生上,膈肌属于颈部的躯干肌,随着心脏的下降而逐渐向身体尾侧转移,同时获得横的位置而横于胸廓的下口,因此膈肌属于骨骼肌^[7],有与骨骼肌相似的工作特征及 MEP。但是膈肌有广泛的起点,肌纤维走向不同,且各部分在呼吸运动中起的作用亦不同^[8],因此膈肌各位点 MEP 特征亦不尽相同。如果拟通过 MEP 来评价膈肌的功能,必须先在膈肌上发现一个潜伏期及波幅相对稳定,波幅较易监测,且操作时不易损伤肺等内脏的位点。

由于膈肌毗邻的解剖关系复杂,上邻胸腔及肺,右半膈呈凸形覆盖于肝右叶,左半膈则位于肝左叶、胃底、脾和结肠之上。因此早期多利用表面电极记录膈肌 MEP。有研究者经表面电极记录膈肌 MEP,并对记录位置进行了详尽的对比研究。发现在腋前线与剑突平面的交点处(即腋前线第 7 肋间处)胸壁所记录的膈肌 MEP 起始部清楚,波幅最高。但是表面电极易受肋间肌干扰^[9],而同心圆针电极则可直接插入膈肌中,甚至能记录到代表肌肉兴奋最小功能单位的单个运动单位电位,灵敏度及准确性明显较表面电极高。但如果于腋前第 7 肋间用针电极记录膈肌 MEP 则位置太高,进针时易损伤胸膜和肺而导致气胸等并发症的出现。

Laguency 等^[10]采用长约 7 cm 同心圆针通过腹直肌在剑突下进针,沿胸骨后缘推进达左、右膈肌胸骨部来记录膈肌 MEP,并认为这是一种可取的方法。另有研究者发现于腋前线第 8 肋间进针能记录到波形较为理想的 MEP,而在剑突前下缘进针仅记录到微弱的动作电位。本研究亦发现膈肌胸骨部 MEP 波幅最小,平均为 (0.97 ± 0.05) mV,仅为腋前第 9 肋间的 14.3%,故在膈肌胸骨部记录膈肌 MEP 欠妥。James 等^[11]认为,腋前线与锁骨中线之间脏壁层胸膜返折距肋弓下缘有约 1.5 cm 的距离。在此肋缘的上方垂直胸壁进针通常不易穿透胸膜,伤及肺等内脏。而本实验通过在直视膈肌的情况下进针发现:在腋前线与锁骨中线之间进针,吸气相时仍有刺伤胸膜及肺的可能。而于腋前线第 9 肋骨下缘垂直胸壁方向进针,无论在呼气相还是吸气相,同心圆针电极均与胸膜及肺有一定的距离,插入时不会损伤内脏器官却能直接进入膈肌肋

部。同时发现:经颅电刺激后每侧膈肌 8 个位点均可记录到双相诱发电位。各位点潜伏期相对恒定,平均为 (2.95 ± 0.21) ms。各位点各自波幅相对稳定,但各位点间波幅变化较大。胸骨部膈肌 MEP 最小,平均为 (0.97 ± 0.05) mV。腋前线第 9 肋骨下缘膈肌 MEP 最大,为 (6.08 ± 0.46) mV。因此,以腋前线第 9 肋骨下缘为进针点,垂直胸壁进针进行膈肌 MEP 监测,操作方便、安全、可靠。且该处膈肌 MEP 波幅最大,是进行膈肌 MEP 监测较理想的位点。

参 考 文 献

- [1] Sharshar T, Hopkinson NS, Jonville S, et al. Demonstration of a second rapidly conducting cortico-diaphragmatic pathway in humans. *J Physiol*, 2004, 11:897-908.
- [2] Verin E, Ross E, Demoule A, et al. Effects of exhaustive incremental treadmill exercise on diaphragm and quadriceps motor potentials evoked by transcranial magnetic stimulation. *J Appl Physiol*, 2004, 96:253-259.
- [3] Day MJ, Jonville S, Chatwin M, et al. Exercise-induced depression of the diaphragm motor evoked potential is not affected by non-invasive ventilation. *Respir Physiol Neurobiol*, 2006, 23:58-61.
- [4] Fujiki M, Kobayashi H, Inoue R, et al. Immediate plasticity in the motor pathways after spinal cord hemisection: implications for transcranial magnetic motor-evoked potentials. *Exp Neurol*, 2004, 187:468-477.
- [5] 卢祖能,曾庆杏,李承晏,等.实用肌电图学.北京:人民卫生出版社,2000:204-205.
- [6] 杨大志,肖德明,镇万新,等.磁刺激运动诱发电位量化慢性神经根损伤程度的实验研究. *中华物理医学与康复杂志*, 2004, 9:517-520.
- [7] Polentes J, Stamegna JC, Nieto-Sampedro M, et al. Phrenic rehabilitation and diaphragm recovery after cervical injury and transplantation of olfactory ensheathing cells. *Neurobiol Dis*, 2004, 16:638-653.
- [8] Vinit S, Gauthier P, Stamegna JC, et al. High cervical lateral spinal cord injury results in long-term ipsilateral hemidiaphragm paralysis. *J Neurotrauma*, 2006, 23:1137-1146.
- [9] Krieger LM, Krieger AJ. The intercostals to phrenic nerve transfer: an effective means of reanimating the diaphragm in patients with high cervical spine injury. *Plast Reconstr Surg*, 2000, 4:1255-1261.
- [10] Laguency A, Ellie E, Saintarailles J, et al. Unilateral diaphragmatic paralysis an electrophysiological study. *J Neurol Neurosurg Psychiatr*, 1992, 55:318-321.
- [11] James E, Nantwi KD. Involvement of peripheral adenosine A2 receptors in adenosine A1 receptor-mediated recovery of respiratory motor function after upper cervical spinal cord hemisection. *J Spinal Cord Med*, 2006, 29:57-66.

(修回日期:2007-06-11)

(本文编辑:阮仕衡)