

一次運動野手領域の興奮性は深呼吸によって高まる The excitability of the primary motor hand area is augmented by voluntary deep breathing

尾崎 勇⁽¹⁾, 蔵田 潔⁽²⁾

(1) 青森県立保健大学 (2) 弘前大学医学研究科

Isamu Ozaki (1) and Kiyoshi Kurata(2)

(1) Aomori University of Health and Welfare

(2) Hirosaki University Graduate School of Medicine

Abstract We applied near-threshold transcranial magnetic stimulation (TMS) over the M1 hand area during the early phase of inspiration or expiration in both normal automatic and voluntary deep breathing in eight healthy participants at rest. Motor-evoked potentials (MEPs) were recorded simultaneously from the abductor pollicis brevis (APB), first dorsal interosseous (FDI), abductor digiti minimi (ADB), flexor digitorum superficialis (FDS), and extensor indicis (EI) muscles. We observed that, during voluntary deep breathing, MEP amplitude increased by up to 50% for all recorded muscles and the latency of MEPs decreased by approximately 1 ms, compared with normal automatic breathing. No difference in the amplitude or latency of MEPs was found between inspiratory and expiratory phases in either normal automatic or voluntary deep breathing. Voluntary deep breathing at rest facilitates MEPs following TMS over the hand area of M1, and MEP enhancement occurs throughout the full respiratory cycle.

1. はじめに

四肢の運動と呼吸には密接な関連がある。四肢の運動は酸素需要を高め、呼吸促進を惹起する一方、深呼吸が呼吸に関与しない腕や手指の運動に促進的な影響を与えうる^[1]。われわれは経頭蓋時期刺激法(TMS)を用いて一次運動皮質(M1)手領域の興奮性に対する随意的な深呼吸の影響を調べ

た^[2]。

2. 方法

8人の若年健常者が坐位の安静状態で正常の自動呼吸あるいは随意的深呼吸をおこなった。鼻孔呼気CO₂レベルをモニターして、20 mmHgを超えると時(呼息相の初期EP)あるいは急に下回るとき(吸息相の初期IP)に、M1手領域に8の字コイルを当てマグスティム・ラピッドスクウェアを用いて経頭蓋磁気刺激(TMS)を適用した。各呼吸様式について、EP開始またはIP開始として12回連続で120%閾値強度のTMSを与え、再現性を確認するためにそれぞれ2試行を行った。結果、12刺激×2呼吸相(EP, IP)×2呼吸様式(自動, 随意的深呼吸)×4試行(2EP開始, 2IP開始)=192発のTMS刺激を得た。運動誘発電位(MEP)は刺激対側の短母指外転筋(APB)、第1背側骨間筋(FDI)、小指外転筋(ADM)、浅指屈筋(FDS)、固有示指伸筋(EI)からニューロパックMEB4308を用いて同時記録した。個々のMEPについて頂点間振幅と潜時を求めた。MEP振幅と潜時について、個々の条件ではone way ANOVAを、呼吸様式と呼吸相については2 way ANOVAを用いて統計学的解析を行った。

3. 結果

自動呼吸における平均呼吸数は15.1±3.5回/分と随意的深呼吸では10.6±3.0回/分だった。後者でETCO₂レベルは低下しており、その変動幅は平均で11.5 mmHgであった^[2]。図1に一被験者の結果を示す。図1Aに示すように、自動呼吸と随意的深呼吸のEPとIPにおける各48発刺激によるMEP加算平均波形では、随意的深呼吸の場合明らかに大きい。図1Bには単一試行のMEP振幅とそのと

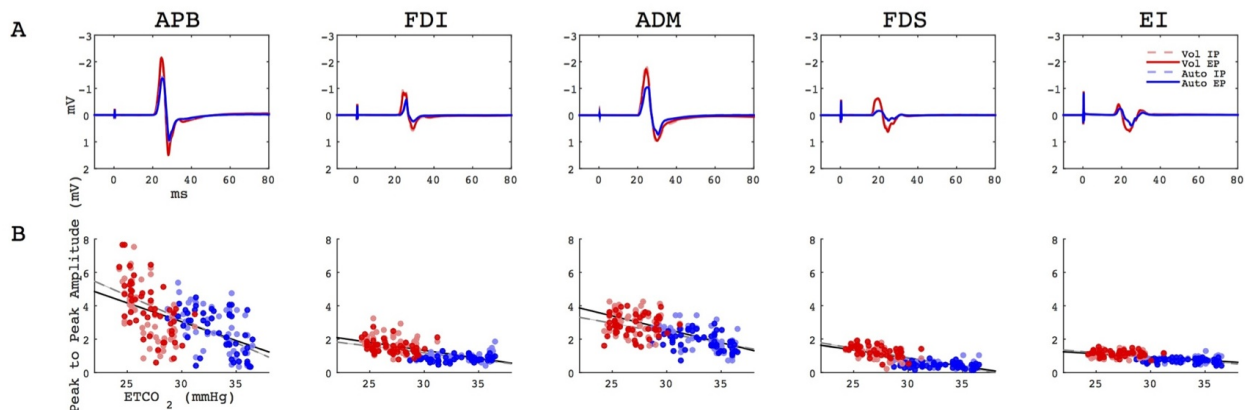


図1 呼吸様式(随意的深呼吸(Vol)と自動呼吸(Auto))と呼吸サイクル(吸息相(IP)と呼気相(EP))によるMEPの変化
A: 5つの手指筋から同時記録し, 4条件について加算平均したMEP波形で赤はVol, 青はAuto, 実線はIP, 破線はEPを表す。Vol-IP, EPでは振幅が大きい。B: 48試行×4条件=192刺激のMEP振幅と刺激時の鼻孔ETCO₂レベルの散布図。MEP振幅はETCO₂レベルと逆相関することに注意。

きの鼻孔 ETCO₂ レベルの散布図を示したが, 両者の間には逆相関の関係がみられた。

他の7人の結果も同様で, 正常の自動呼吸と比較すると随意的深呼吸においては, 記録した全ての筋について MEP 振幅が最大 50%増加し, その潜時は約 1ms 短縮していた。正常な自動呼吸, 随意的深呼吸のいずれの場合も, 吸息相と呼気相の間では, MEP の振幅・潜時に違いはみられなかった^[2]。

4. 考察

われわれは呼吸の深度と“呼吸に関与しない”手の運動を支配する M1 領域の興奮性に密接な関係があることを見いだした。自動呼吸と比べて, 深呼吸では記録した 5 つの全ての筋で MEP は増大し, 潜時はおよそ 1 ms 短縮していた。そのときの ETCO₂ レベルは有意に減少していた。このことは深呼吸をするときには, 横隔膜や肋間筋を駆動する M1 の躯幹領域の興奮性が増加するだけでなく, 隣接する手領域の興奮性も subliminal に上昇することを意味している。

随意的深呼吸では MEP 増大は約 1 ms の潜時短縮を伴っていた。本研究では二相性の TMS パルスの初期相によって M1 で posteroanterior current を生じ, その結果惹起された I wave が皮質脊髄路を下行して脊髄運動ニューロンに達して, MEP を生起させたと推測される。I wave は 1.5 ms 間隔の頂点をもつ doublet あるいは triplet から成るので, もし潜時短縮に I wave の変化が関わったとすれば, 潜時の短縮は 1.5 ms あるいはその倍数にな

るはずであるが, 本研究では潜時短縮は 1 ms 以下であった。したがって, 本研究で観察された MEP の振幅増加に伴う潜時短縮は, 皮質脊髄路の下行性インパルスが増加すると, より大きな前角細胞が興奮閾値に到達して発火に加わるという“サイズの原理”を反映したものと考えられる。

正常な自動呼吸, 随意的深呼吸のいずれにおいても, MEP は呼吸相では変化は見られなかった。呼吸筋を支配する躯幹の運動領域は, 一般に吸息相で活動するが, 呼息相においても次に訪れる吸息相の活動準備のために興奮性が持続しているのかも知れない。

5. 結論

安静時の随意的な深呼吸は M1 の手領域に対する TMS で得られる MEP を増大させ, その MEP 強化は呼吸周期全体を通じて起こる。M1 手領域は, 随意的深呼吸の全呼吸周期の間, トップダウンの神経信号によって持続的に駆動される。

参考文献

- [1] Li S, Rymer WZ, 2011. Voluntary breathing influences corticospinal excitability of nonrespiratory finger muscles. *J Neurophysiol.* 105:512-21.
- [2] Ozaki I, Kurata K, (in press). The effects of voluntary control of respiration on the excitability of the primary motor hand area, evaluated by end-tidal CO₂ monitoring. *Clin Neurophysiol.* <http://dx.doi.org/10.1016/j.clinph.2014.12.032>