



Bipolar transesophageal thoracic spinal cord stimulation: A novel clinically relevant method for motor-evoked potentials

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 浜松医科大学 公開日: 2021-02-12 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 山中, 憲 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10271/00003782

博士（医学） 山中 憲

論文題目

Bipolar transesophageal thoracic spinal cord stimulation: A novel clinically relevant method for motor-evoked potentials

（双極経食道胸髄刺激: 新しい臨床応用可能な運動誘発電位測定法）

論文の内容の要旨

[はじめに]

大動脈手術時の脊髄虚血モニターとして、経頭蓋脳刺激による運動誘発電位（TC-MEP: transcranial motor evoked potential）が用いられているが、不安定性による特異性の低さが問題である。我々は経食道脊髄刺激による MEP（TE-MEP: trans-esophageal MEP）を考案し、TC-MEP に比べて、以下の点で優位であることを示してきた。①モニタリングが容易で安定している、②虚血と再灌流に対する反応が迅速である、③神経学的な予後との相関が良好である。これは、脊髄刺激では最大上刺激が安全に可能であるためと推測される。しかし、これまでの単極頸髄刺激（monopolar TE-MEP）では上肢 α ニューロンが直接刺激されるため、①上肢の動きが過大で手術の妨げになること、②上肢の波形がコントロールとして使用できないことの 2 点が問題となった。本研究は、経食道刺激を双極 bipolar とすることで胸髄刺激が可能となれば、この問題を解決できるとの仮説に基づき、以下の 3 点を目的として実施した。

- 1) 双極食道電極を用いた胸髄刺激による運動誘発電位の実現可能性の確認と、適切な刺激電極間距離の確立
- 2) 誘発電位波形と安定性が従来の単極刺激と遜色ないことの確認
- 3) 虚血と再灌流に対する反応性と予後予測効果の比較、特に脊髄伝導が逆行性となる上肢電位の波形がコントロールとして使用可能かどうか

[材料ならびに方法]

本研究は浜松医科大学臨床研究倫理委員会（承認番号: 2013104）及び、浜松医科大学動物実験委員会（承認番号: 2013014）の承認を得て実施した。

20 匹のイヌ（ビーグル犬）を完全静脈麻酔下に用いた。運動誘発電位は 2 ミリ秒間隔の 5 連刺激で、導出は四肢とした。食道双極刺激は腕神経叢より下位の T3-5 レベルとし、透視下に確認した。TC-MEP、monopolar TE-MEP と bipolar TE-MEP を比較した。

- 1) 刺激電極間距離 2、4、6 cm で得られる後肢電位を比較し、これが最大となる距離を求めた。本結果に基づき、以後の検討には電極間距離 4 cm を用いた。
- 2) 波形の安定性は、刺激電圧を 100~600 V に変化させ、振幅が最大となる刺激電圧の最小値で評価した（この最小値が低いほど最大上刺激が容易なため安定性が高い）。

- 3) 虚血再灌流に対する反応の検討には、下位胸髄以下の可逆性虚血モデル（バルーンによる T8-10 レベルの下行大動脈 10 分閉塞）と、完全対麻痺から神経障害無しまでの可能性があり、上位胸髄も虚血となる可能性があるモデル（T3-5 レベルの 25 分閉塞）を用いた。前者では大動脈閉塞から波形消失までと、閉塞解除から波形回復までの時間を、後者では神経学的予後との相関を評価した。

[結果]

- 1) 全個体で bipolar TE-MEP は導出可能で、前肢運動と波形は TC-MEP と同等であった。電極間距離と電位は、2 cm で 1.46 ± 1.64 mV、4 cm で 3.53 ± 0.93 mV、6 cm で 3.39 ± 0.91 mV (n=5) と 4 cm が適正であった。
- 2) 最大の 90%以上の振幅が得られる刺激電圧は、TC-MEP で 540 ± 55 V、monopolar TE-MEP で 380 ± 45 V、bipolar TE-MEP で 340 ± 55 V であり、TC-MEP が両 TE-MEP より高値であった (n=5、P=0.008)。
- 3) 可逆性脊髄虚血モデル (n=5) では、波形消失時間 (TC-MEP: 7.2 ± 0.84 分、monopolar TE-MEP: 5.4 ± 0.89 分、bipolar TE-MEP: 5.4 ± 0.89 分)、振幅 75%までの回復時間 (TC-MEP: 27.2 ± 3.63 分、monopolar TE-MEP: 17.2 ± 3.03 分、bipolar TE-MEP: 18.0 ± 3.46 分)ともに TC-MEP は両 TE-MEP より有意に長かった (消失 p=0.015、回復 p<0.001)。T3-5 レベルの 25 分閉塞モデル (n=10) では、5 匹が麻痺なし、3 匹が不全対麻痺、1 匹が完全対麻痺、1 匹が遮断解除直後に死亡した。再灌流後はいずれの方法でも麻痺なし例では回復、不全対麻痺例では不全回復 (<50%)、完全対麻痺例では消失し、予後との相関は同等であった。

[考察]

本研究結果により、bipolar TE-MEP が実現可能で、上肢電位はシナプスを介する (α ニューロン直接刺激ではない) こと、安定性、脊髄虚血・再灌流への反応速度は monopolar TE-MEP と同等で TC-MEP より良好なことが確認された。また前肢電位は胸髄逆行性伝導を介するが、T3-5 レベルの 25 分閉塞モデルにおいても脊髄虚血の影響を受けず、コントロールとして使用可能であることが示された。これは、軸索が α ニューロンより虚血抵抗性があること、T4 レベルより高位の胸髄は主に鎖骨下動脈系から血流を供給されることが理由と考えられる。

以前の研究で我々は、monopolar TE-MEP は TC-MEP では検出できない痙性麻痺を検出可能であることを報告したが、今回の実験では痙性麻痺を呈する個体がなく、予後との相関は 3 つの方法で同等であった。高位大動脈閉塞モデルでは、下位大動脈閉塞と比較し影響される α ニューロンが多くなり、TC-MEP での検出も容易となると考えられた。安全性については、今回の研究でも食道刺激に伴う合併症は認めず、再確認された。

本実験モデルは、ヒトとは解剖学的に異なるイヌを用いており、大動脈病変

による解剖の修飾も再現出来ていないため、臨床における再現性には限界がある。

〔結論〕

Bipolar TE-MEP は、上肢 α ニューロンを刺激することなく MEP 波形を得ることが可能であり、安定性、虚血に対する反応性、予後との相関は monopolar TE-MEP と同等、TC-MEP より良好であった。今後、臨床例での有効性の検討が必要である。