

branched 電極を用いた各手指の屈筋および伸筋の表面筋電図の測定

Measurement of surface electromyograms of flexor and extensor muscles of individual fingers by branched electrodes

キーワード: 表面筋電図、手指、branched 電極、クロストーク

人間生活工学研究室: 清水 佑一

■Abstract: Electromyograms (EMG) of flexor digitorum superficialis and extensor digitorum communis which are flexor and extensor muscles of fingers were generally measured as muscle groups. According to anatomical studies, muscle bellies of individual fingers can be separated and their locations were identified. In this study, surface EMG of individual finger muscles were measured by branched electrodes. Firstly, the effects of branched electrodes were tested. As a result, branched electrodes reduced crosstalk up to 44.2% of standard bipolar leads. Secondly, surface EMG were measured during individual finger movement tasks. As a result, EMG signals from individual finger muscles were able to be measured independently. The results may apply to detailed analysis of EMG such as evaluating muscle activities of using hand tools.

■背景

表面筋電図は人間工学や生理人類学の領域で古くから用いられてきた。筋電図の振幅が発揮筋力にほぼ比例することから、製品を使用する際の筋負担の評価にも用いられている。手の筋負担を評価する場合は、前腕に存在する手指の屈筋である浅指屈筋と、伸筋である総指伸筋が特に重要である。しかし、それらの筋の活動については、4本の手指をまとめて評価する研究がほとんどであり、個別の手指の活動には注目されてこなかった。

浅指屈筋や総指伸筋について、それぞれ各手指の動作に対応する部位の位置が先行研究¹⁾²⁾³⁾によって特定された。それらの位置に電極を装着することで、各手指の筋活動を表面筋電図で個別に評価できるはずである。しかし、前腕は多数の筋が密集しているうえ、各手指に対応する部位は表層に露出している範囲が狭いため、クロストークの影響が懸念される。そこで、本研究ではクロストーク軽減に効果がある branched 電極⁴⁾を使用した。branched 電極は、クロストーク軽減の効果が高いダブル差動増幅と同様の効果が得られ、差動増幅が1回で済むため簡便に利用することができる。

■目的

本研究では以下の2つを目的として実験を行なった。

1. branched 電極のクロストーク軽減に対する効果を確かめる。
2. branched 電極を用いて各手指の屈筋および伸筋の表面筋電図を測定し、各手指の筋活動が表面筋電図を使って個別に評価できることを確かめる。

■実験1方法

branched 電極のクロストーク軽減効果を確認するために、一般的に使われる手法である双極誘導との比較を行なった。被験者は8名で平均年齢23歳(標準偏差1歳)であった。

筋電図の測定は尺側手根屈筋を対象とした。尺側手根屈筋は手関節の掌屈・尺屈に関与し、手指の屈筋と隣接している。タスクはそれぞれの電極で2つ行なった。1つは手指の屈筋からのクロストークが予想される把持の最大随意収縮で、もう1つは尺側手根屈筋が主動筋となる尺屈の最大随意収縮である。

筋電図データは各条件の実効値を算出し、把持時の実効値を尺屈時の実効値との割合で表して標準化した。把持時に尺側手根屈筋はほとんど活動しないはずなので、この値が小さいほどクロストークは少

ないと言える。統計解析は t 検定を行なった(有意水準5%)。

■実験1結果と考察

結果を図1に示す。branched 電極の方が双極誘導より標準化した把持時の振幅が有意に小さかった。したがって、branched 電極の方が双極誘導よりクロストークが少ないと言える。

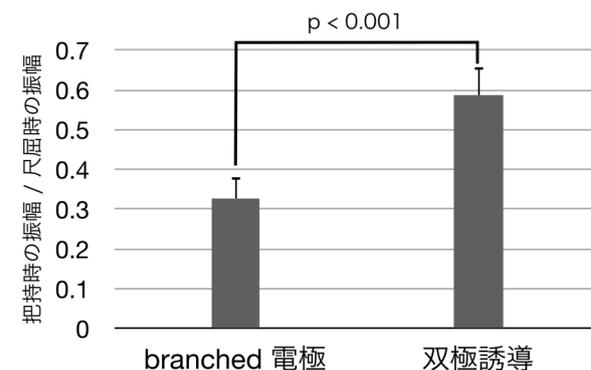


図1 実験1の結果: 平均+標準偏差。

■実験2方法

各手指に対応する屈筋と伸筋の部位の計8カ所に電極を装着し、各手指を個別に動かす実験を行なった。被験者は10名で、平均年齢23歳(標準偏差1歳)であった。

筋電図を測定した筋は、浅指屈筋の示指、中指、薬指、小指に対応する部位(それぞれFDS2-5とする)と、総指伸筋の示指、中指、薬指に対応する部位(それぞれED2-4とする)および小指伸筋(EDM)であった。それぞれ図2と図3に示す。

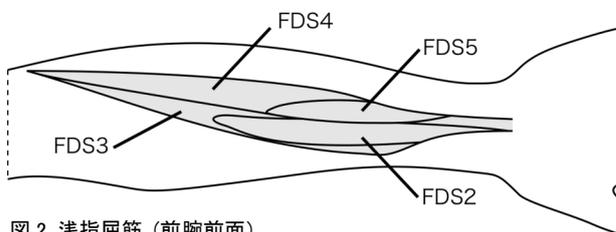


図2 浅指屈筋(前腕前面)

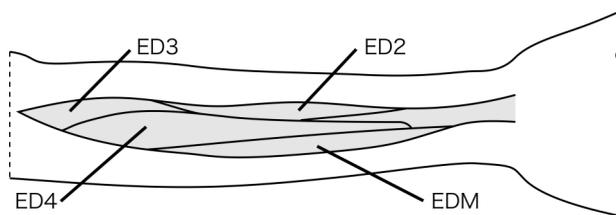


図3 総指伸筋および小指伸筋(前腕後面)

電極は双極誘導のアクティブ電極を branched 電極に改造したものを使用した。電極の材質はステンレスで、直径は6mm、電極間の間隔は6mmであった。形状および回路の模式図を図4に示す。表面筋電図はサンプリングレート1000Hz、帯域通過フィルタ12-500Hzで記録し、測定後に10Hzのハイパスフィルタを使用した。

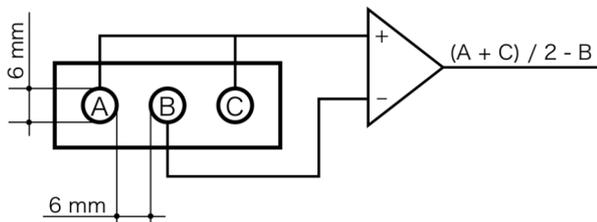


図 4 branched 電極

被験者は椅子に座り、利き手の前腕を机の上に置き、各手指を個別に屈曲、伸展するタスクを行なった。屈曲と伸展でタスクを分け、それぞれ中間位の角度から 35° 屈曲、伸展した。メトロノームでタイミングを統制して 1 秒間に 2 往復のペースで動かし、1 つの指につき 20 回以上往復させた。タスクに使用しない手指は可能な限り脱力するように指示した。

実験の手順は以下の流れで行なった。まず、先行研究¹⁾²⁾³⁾で明らかにされた筋の位置を参考にし、目視と触診で電極の位置を決定して装着した。次に被験者が十分に慣れるまでタスクの練習を行なった。その際、練習中の筋電図をリアルタイムで観測し、各タスクがターゲットとする筋において十分な筋電図の振幅が得られるように電極の装着位置を調整した。その後、各手指の屈曲、伸展のタスクを行なった。タスク後にそれぞれの手指の最大随意収縮を行ない、そのときの筋電図 (MVE) を記録した。

測定したデータは以下のように処理した。各タスクごとに連続した 10 往復の動作の筋電図について 1 往復ごとに実効値を算出して、その 10 個の実効値を平均した。そして平均した実効値を MVE の実効値との割合 (%MVE) で表した。屈曲タスクでは 4 つの屈筋間の、伸展タスクでは 4 つの伸筋間の全被験者の %MVE の平均値を比較した。平均値の差が有意であるかを確かめるために反復測定分散分析と Bonferroni の多重比較検定を有意水準 5% で行なった。

■実験 2 結果

各タスクの結果を図 5 に示す。屈曲と伸展の全てのタスクにおいてターゲットとした筋の %MVE が他の全ての筋より有意に大きかった。

■実験 2 考察

全てのタスクにおいてターゲットとした筋の筋電図の振幅が他の筋より有意に大きかったため、branched 電極を用いることで各手指の屈筋および伸筋の表面筋電図を個別に測定して筋活動を評価することが可能であるといえる。

薬指の屈曲タスクで FDS3 と FDS5 の %MVE が比較的高いが、逆に中指と小指の屈曲タスクでは FDS4 の %MVE は低かった。これは FDS4 の筋腹の表層部分の幅が他の浅指屈筋の部位よりも大きく、他の筋の電極にクロストークを混入させ易いためだと考えられる。

伸筋について、本研究と類似のタスクで総指伸筋の各部位を個別に測定した先行研究⁵⁾の結果と比較すると、全体的にターゲット以外の筋電図の振幅が先行研究より小さいか同程度であった。これは branched 電極によってクロストークが抑えられたためと考えられる。

今回の実験ではタスクの実行前に十分に練習を行ったものの、完全に目的の手指のみを活動させることは困難であった。したがって、各タスクがターゲットとした筋以外の %MVE に関しては、クロストークと同時間収縮の両方が含まれるものと考えられる。

■まとめ

branched 電極が双極誘導より有意にクロストークを軽減できることが確かめられた。各手指を個別に動かすタスクの全てにおいて、そのタスクがターゲットとした筋の筋電図の振幅が他の筋より有意に大きかったことから、branched 電極を適切な位置に装着することで、各手指の屈筋および伸筋の表面筋電図を個別に測定できると言える。これらの結果は、道具のグリップや、手で操作するインタフェースなどにおける詳細な筋活動の評価に応用することができるだろう。

■参考文献

- 1) Fleckenstein JL et al. : Finger-specific flexor recruitment in humans: depiction by exercise-enhanced MRI, J Appl Physiol, 72(5), 1974-1977, 1992
- 2) Bickerton LE et al. : Flexor digitorum superficialis: locations of individual muscle bellies for botulinum toxin injections, Muscle Nerve, 20(8), 1041-1043, 1997
- 3) Leijnse JN et al. : Anatomic Basis for Individuated Surface EMG and Homogeneous Electrostimulation With Neuroprostheses of the Extensor Digitorum Communis, J Neurophysiol, 100(1), 64-75, 2008
- 4) van Vugt JP et al. : A convenient method to reduce crosstalk in surface EMG, Clin Neurophysiol, 112(4), 583-592, 2001
- 5) Leijnse JN et al. : Assessment of Individual Finger Muscle Activity in the Extensor Digitorum Communis by Surface EMG, J Neurophysiol, 100(6), 3225-3235, 2008

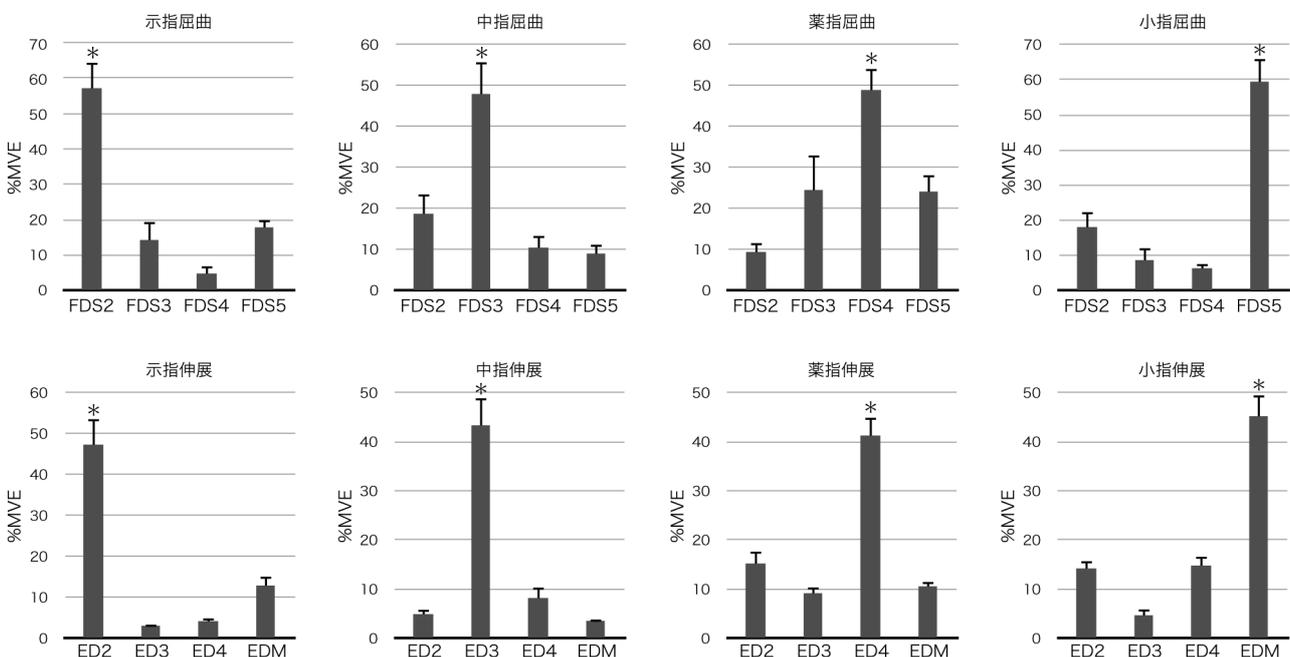


図 5 実験 2 結果: 平均+標準誤差。他の全てより有意に大きい筋を「*」で示す。