

氏名	古寺 寛志
授与した学位	博士
専攻分野の名称	歯学
学位授与番号	博甲第6611号
学位授与の日付	令和4年3月25日
学位授与の要件	医歯薬学総合研究科機能再生・再建科学専攻 (学位規則第4条第1項該当)
学位論文の題目	Detection of muscle fatigue caused by repeated posterior tongue lift movement from neck surface EMG: a pilot study (健常成人の舌後方部反復挙上運動によって惹起された筋疲労の頸部表面筋電図による検出: 予備的研究)
論文審査委員	吉田 竜介 教授 鳥井 康弘 教授 池亀 美華 准教授

学位論文内容の要旨

I. 目的

舌の力および機能は、咀嚼ならびに嚥下において重要な役割を果たしていることが知られており、過去には舌圧を向上させるための筋力トレーニングを行うことで、高齢者や脳卒中患者の嚥下機能を改善することが報告されている。リハビリテーションを進める上で、疲労は重要な因子と認識されており、過度の疲労はリハビリテーションの進行に不利な影響を与えられられている。したがって、疲労を客観的に評価する方法の開発が望まれている。

現時点における表面筋電図学的な筋疲労解析のゴールドスタンダードは周波数解析とされている。しかし、この指標は疲労前後の相対的な評価であり、疲労前の周波数の記録がなければ疲労を検出することが困難である。筋電図を用いて非侵襲的に観察できる他の疲労関連事象の一つに群化放電 (Grouped Discharge: GD) がある。GDの存在は、これまでに全身の様々な筋肉で観察されており、非疲労時に認められず、疲労時に発生し増加するというGDの特性は、周波数解析よりも疲労の検出という観点では有利である可能性があると考えられる。

本研究は、舌後方部の反復挙上運動によって筋疲労を誘発した際、頸部表面筋電図にどのような影響が発生するのかについて明らかにすることを目的とした。

II. 方法

1. 対象

20歳以上の顎口腔系に異常を認めない健常成人19名 (男性9名, 女性10名, 平均年齢 29.1 ± 4.39 歳) を対象とした。

2. 表面電極貼付位置

舌後方部挙上運動の定量化が可能な頸部表面筋電図 (neck surface EMG: N-EMG) を用いた。電極の位置は、下顎骨下縁、胸鎖乳突筋前縁、顎舌骨筋後縁に囲まれた三角形の中で、かつ下顎骨下縁の垂線が通る線上の舌根相当頸部とし、左右各1か所に貼付した。

3. 舌圧測定

筋電図測定時の舌圧の観察、舌後方部挙上位置の規定のため舌圧センサー付き口蓋被覆装置を作製した。硬口蓋後縁正中に圧力センサーを設置した。

4. 筋疲労プロトコル

筋疲労プロトコルはRobbinsらの舌強化運動を参考に作成した。3セットの疲労タスクから構成され、1セットのタスクは舌後方部挙上筋の最大随意収縮（MVC）3回（各3秒間持続）・等尺性の舌後方部の反復挙上運動（Tongue Lift Movement: TLM）（2分間継続、約34回相当）・MVC3回（各3秒間持続）で構成される。セット間の休憩は30秒間設けた。TLM中、被験者にレコーダーから発せられる音に合わせ、2秒の挙上運動と1.5秒の休憩を繰り返すように、舌圧強度はvisual feedback下でMVC時の80%以上の圧を發揮するように指示した。プロトコル全体を通してMVCタスクは6ブロック実施された。以下、それぞれのブロックをMVC1~6と称す。また、プロトコル開始前のBaselineおよび1セット目終了直後、2セット目終了直後、3セット目終了直後の計4回、舌の自覚的疲労度を100mmのvisual analogue scale（VAS）を用いて記録した。それぞれのVAS値をVAS1~4と称す。

III. 結果及び考察

GDを検出するための最適な条件を検討するため、機械学習によって800,000通りの条件を試行した。教師用のデータセットから得られた最適条件は、感度78.6%・特異度90.9%を示し、この条件を評価用のデータセットに適用すると感度77.5%・特異度93.4%でGDが同定された。

過去には、GDの発生が患者の倦怠感の程度を示している可能性があるとして報告がなされているが、これらの著者はGDを視覚的に観察、測定していた。本研究においては解析に客観性を確保するために、GDの検出に機械学習を使用し、GDの客観的定量化を行った。得られたGDの特性は、過去に報告されたGDの波形と一致しており、客観性は向上したと考えられる。

1) VASと平均周波数（MPF）について

VAS値はVAS1~4を比較した。MPF値はMVC1~6の各ブロックで得られた3つのMPFの値の平均値を計算し、比較した。筋疲労プロトコルの進行に従い、VAS値は有意に増加し、MPF値は有意に低下した。これらの結果から、本研究で採用した長時間の反復的なTLMは舌の疲労を誘発する筋疲労プロトコルとして十分であったことが示唆される。

2) GD発現頻度について

BaselineとMVC1~6の計7ブロックに対してGDの検出を行った。GDの発現は、大部分の被験側（33/38側、86.8%）において筋疲労の進行に伴い漸増し、ごくわずかな被験側（5/38側、13.2%）において漸減していくことが確認された。増加グループでは、筋疲労前であるBaselineと比較し、MVC1~6において有意な増加を認めた。また、このグループのBaselineにおけるGDの発現頻度は 0.9 ± 1.2 (/s)であり、限りなく0に近い値を示した。減少群では、ブロック間の有意差を認めなかった。

表面筋電図を用いた疲労傾向検出のための日常臨床検査として期待される特性に、任意の時点における疲労レベルの評価が挙げられる。疲労は、振幅の増加や周波数の減少として、筋電図に反映されるが、電極貼付位置を変えず疲労タスク前後のデータを比較する必要がある。一方、GD発現頻度は、ほとんどの被験側のBaselineで0に近い値で始まり、疲労が進行するにつれて増加することを示した。この事実は、筋疲労の客観的かつ絶対的な評価において有利な特性と見なすことができた。

IV. 結論

本研究の結果から、舌後方部の反復的なTLMによって惹起された筋疲労が、GDの発現頻度の有意な増加をもたらすことが示された。特に非疲労状態においてGDがほとんど観察されないことから、将来的な疲労検出においてGDが有用なパラメーターになる可能性をもつことが示唆された。

論文審査結果の要旨

リハビリテーションを進める上で、過度の疲労はその進行に不利な影響を与えると考えられることから、疲労はリハビリテーションを行う上で考慮すべき因子と認識されている。しかし、現状では疲労を客観的に評価する方法がなく、その開発が望まれている。現時点における筋疲労解析のゴールドスタンダードは表面筋電図の周波数解析とされているが、この指標は疲労前後の相対的な評価であり、疲労前の周波数の記録がなければ疲労を検出することが困難である。筋電図を用いて非侵襲的に観察できる他の疲労関連事象の一つに群化放電 (Grouped Discharge: GD) がある。非疲労時に認められず、疲労時に発生し増加するというGDの特性は、周波数解析よりも疲労の検出という点では有利な可能性があると考えられる。本研究は、GDによる疲労解析の可否を確認するため、舌後方部の反復挙上運動によって筋疲労を誘発した際、頸部表面筋電図にどのような影響があるかを明らかにすることを目的とした。

20歳以上の顎口腔系に異常を認めない健常成人19名を対象とし、舌後方部挙上運動の定量化が可能な頸部表面筋電図を用い舌後方部挙上筋の筋活動を測定した。筋電図測定時の舌圧の観察、舌後方部挙上位置の規定のため舌圧センサー付き口蓋被覆装置を作製した。筋疲労プロトコルは3セットの疲労タスクからなり、舌後方部挙上筋の最大随意収縮と等尺性の舌後方部の反復挙上運動の組み合わせで構成された。

筋疲労プロトコルの進行中に測定したVAS (Visual Analogue Scale) 値はその進行に伴い有意に増加し、MPF (Mean Power Frequency) 値は有意に低下した。これらの結果から、本研究で採用した筋疲労プロトコルは、舌の疲労を誘発するのに有効であったことが示された。次に、GDの客観的定量化を行うため、機械学習によって最適条件を探索した。この条件によって抽出された波形は、過去に報告されている放電活動と休止を律動的に繰り返すというGDの特性と一致しており、客観性は向上したと考えられる。GDの発現は、大部分の被験側において筋疲労の進行に伴い増加し、ごくわずかな被験側において漸減していくことが確認された。増加群において、GDピーク発現頻度は筋疲労前 (Baseline) には限りなく0に近い値を示し、筋疲労プロトコル進行に伴い有意な増加を認めた。本研究の結果から、舌後方部の反復挙上運動によって惹起された筋疲労が、GDの発現頻度の有意な増加をもたらすことが示された。特に非疲労状態においてGDがほとんど観察されないことから、将来的な疲労検出においてGDが絶対評価を可能とする有用なパラメーターになることが示唆された。

また、本論文はすでに Journal of Oral Rehabilitation に受理 (掲載) されており、国際的にも評価されている。よって、審査委員会は本論文に博士 (歯学) の学位論文としての価値を認める。