

短時間の軽作業に適した筋電図解析手法の検討

Methodologies for evaluating electromyographic data of short-term, lightweight activity

キーワード: 筋電図、標準化、解析、日常生活動作

人間生活工学研究室 12TM1143 豊泉 深秋

■ Abstract: We evaluated and compared different methods of normalizing and analyzing electromyogram (EMG) data during short-term lightweight activity to identify the most suitable methodology. Surface EMG was obtained in five regions of the upper limbs in 10 elderly women (70-79 yrs old) and 10 young women (21-23 yrs old) during activities of daily living (ADL) such as skincare, meal, etc. The results suggested that %MVE (maximal voluntary electrical activity) or %RVE (reference voluntary electrical activity) is more sensitive to identify differences in short-term, lightweight activity compared to %MVC (maximal voluntary contraction). The results also clarified that an exposure variation analysis (EVA) was the most suitable method to characterize the EMG obtained during ADL, because an EVA provided various types of muscle activity information.

■背景

筋電図データの標準化手法や解析手法は多数存在し、先行研究によって用いられる手法は様々であるため、異なる調査間で結果を比較することは難しい¹⁾。異なる標準化手法や解析手法を比較した先行研究は存在するが²⁻⁴⁾、そのほとんどが長時間における中強度の作業を対象としたものであり、日常生活動作(Activity of Daily Living; ADL)のような短時間における低強度の作業を対象とした研究は見当たらない。

■目的

数種類の標準化手法、解析手法を用いて短時間におけるADL時の筋電図データを解析し、各ADLによる筋活動の特徴がより明瞭に表される手法を明らかにすることを目的とした。

■方法

被験者は高齢女性、若年女性各10名であった。ADL(化粧動作[スキンケア、メイクアップ]、書字動作[書字]、食事動作[箸: 食事(箸)、スプーン: 食事(ス)の2パターン]、歯磨き動作[歯磨き])における右側の僧帽筋上部、三角筋前部、上腕二頭筋、総指伸筋、浅指屈筋の筋電図を測定した。測定時間は化粧動作では統制せず、その他の動作では1分半とした。ADLはすべて椅座位にて行い、測定順序は被験者間でカウンターバランスをとった。

すべてのADLを測定後、ランブ収縮⁵⁾による最大随意収縮時筋電位(Maximum Voluntary Electrical activity; MVE)および最大随意収縮力(Maximum Voluntary Contraction; MVC)の測定を行った。ランブ収縮は、リラックスした状態から最大随意収縮まで10秒ほどかけて筋発揮力を上げていくように指示し、各被験筋で3回ずつ測定した¹⁾。それぞれのランブ収縮において同時に測定した筋電位[V]と筋力[kgf]を多項式回帰し、R²値が最も高い回帰式を、ADLタスク時に測定した筋電位を筋力に換算する式として採用した。

MVEおよびMVCの測定後、最大下随意収縮時筋電位(Reference Voluntary Electrical activity; RVE)の測定を行った。1kgのダンベルを握り、肩関節を90°外転させ、肘関節を90°屈曲(RVE-fl)、伸展(RVE-ex)させた2パターンの姿勢を10秒間維持した¹⁾。

筋電図のデータは100ms毎に実効値化した後、%MVE、%MVCおよび%RVEに換算し(ex. %MVE = (実効値/MVE) × 100)、以下の比較を行った。

(1) 標準化手法の比較

%MVE、%MVC、%RVEに標準化した測定データを用いてAPDF(Amplitude Probability Distribution Function)解析⁵⁾を行い、標準化手法を比較した。

(2) 解析手法の比較

%MVEに標準化した測定データを用いて平均値解析、APDF解析、EVA(Exposure Variation Analysis)⁶⁾を行い、解析手法を比較した。

統計解析はSPSS 11.0Jを用い、年齢(高齢者、若年者)と動作(スキンケア、メイクアップ、書字、食事(箸)、食事(ス)、歯磨き)を要因とした二元配置分散分析および多重比較検定(Bonferroni)、t検定を行った。有意水準は5%とした。

■結果、考察

ランブ収縮における回帰曲線の典型例を図1に示す。回帰曲線はほとんどのランブ収縮において3次のS字カーブとなり、R²値はいずれも0.8以上であった。

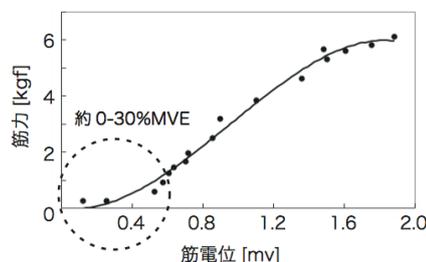


図1. ランブ収縮における回帰曲線の典型例

(1) 標準化手法の比較

三角筋前部における測定データを%MVC、%MVE、%RVE-ex、%RVE-flに標準化し、APDF解析を行った結果(確率P=0.5の値: 各動作における平均的な負荷を示す)を図2に示す。%MVCに比べて%MVEおよび%RVEの方が動作による筋負担の違いに敏感であった。

低強度の筋活動レベルでは、力に比べて電位の方が筋活動により敏感に反応する可能性が示唆され(図1)、ADLのような軽作業における筋負担を評価する際は、%MVEあるいは%RVEで標準化することが好ましいと考えられる。

しかしFischerら⁷⁾は、MVEの大きさに影響し得る要因は多数存在し、真のMVEを得ることは難しいと述べている。Hanssonら⁸⁾は、RVEを用いることによって被験者内変動や左右差が軽減されると報告している。またMathiassenら⁹⁾は、筋電図データはRVEによって標準化すべきであり、禁忌事項でなければ重要な結果のみ%MVEで示すのが良いと提唱している。%MVEと%RVEのどちらが軽作業における筋負担の評価により適しているかという問題については、さらなる検討が必要である。

(2) 解析手法の比較

スキンケア、食事(箸)時の僧帽筋上部における測定データを%MVEに標準化し、平均値解析、APDF解析、EVAを行った結果を図3に示す。

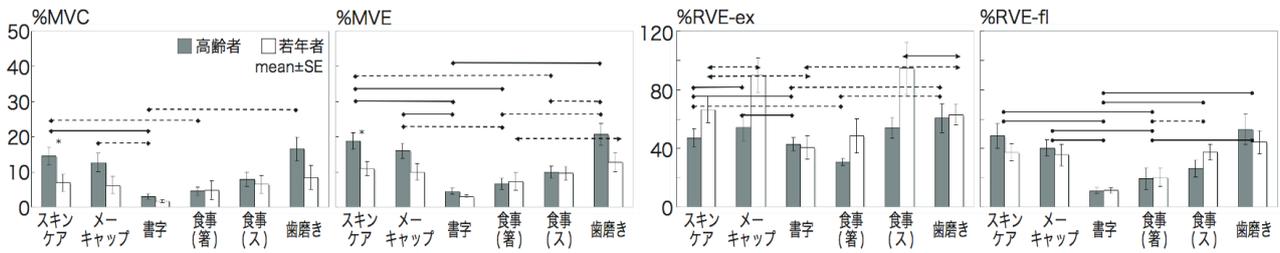


図 2. 各標準化手法における APDF 解析の結果 (P=0.5)
 実線、**：p<0.01、破線、*：p<0.05 ◆◆：高齢者、◆◆：若年者

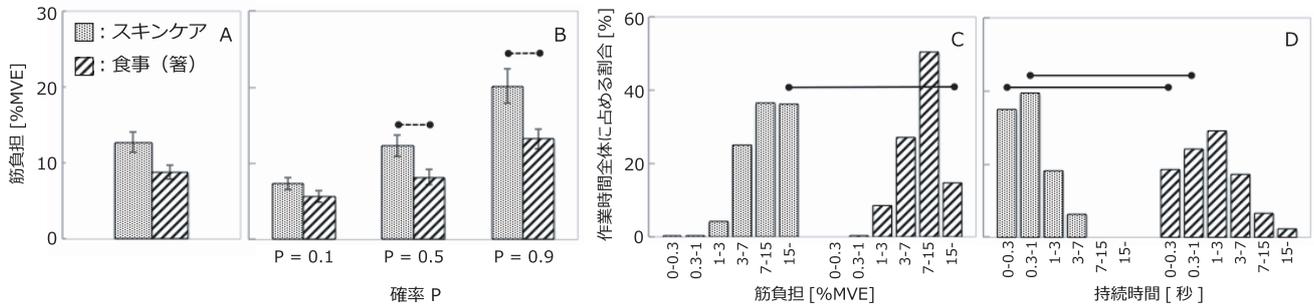


図 3. 各解析手法によるスキンケアと食事(箸)の筋活動の比較
 実線：p<0.01、破線：p<0.05 A：平均値解析、B：APDF 解析、C・D：EVA

平均値解析では、スキンケアにおける筋負担の平均値が $12.7 \pm 1.4\%$ MVE であり、食事(箸)における筋負担の平均値が $8.8 \pm 0.9\%$ MVE であることが明らかとなった。両者の間に有意差は認められなかった (図 3-A)。

APDF 解析では、代表値 P=0.1 (静的負荷レベル)、P=0.5 (平均的負荷レベル)、P=0.9 (ピーク負荷レベル) を用いて統計解析を行った。スキンケアにおける静的負荷レベルは $7.3 \pm 0.8\%$ MVE、食事(箸)における静的負荷レベルは $5.7 \pm 0.8\%$ MVE であり、両者の間に有意差は認められなかった。スキンケアにおける平均的負荷レベルは $12.3 \pm 1.4\%$ MVE、食事(箸)における平均的負荷レベルは $8.2 \pm 1.0\%$ MVE であり、スキンケアにおける平均的負荷レベルは食事(箸)よりも有意に大きかった (p<0.05)。スキンケアにおけるピーク負荷レベルは $20.1 \pm 2.3\%$ MVE、食事(箸)におけるピーク負荷レベルは $13.2 \pm 1.3\%$ MVE であり、スキンケアにおける筋負担が食事(箸)よりも有意に大きかった (p<0.05) (図 3-B)。

EVA では、15%MVE より大きい筋活動を行っていた時間が作業時間全体に占める割合は、スキンケアでは $36.2 \pm 7.0\%$ 、食事(箸)では $14.8 \pm 4.6\%$ であり、スキンケアにおける割合が食事(箸)よりも有意に大きかった (p<0.01) (図 3-C)。また、0-0.3 秒持続する同レベルの筋活動が生じていた時間が作業時間全体に占める割合は、スキンケアでは $35.0 \pm 2.0\%$ 、食事(箸)では $18.6 \pm 1.4\%$ であり、スキンケアにおける割合が食事(箸)よりも有意に大きかった (p<0.01) (図 3-D)。さらに、0.3-1 秒持続する同レベルの筋活動が生じていた時間が作業時間全体に占める割合は、スキンケアでは $39.4 \pm 1.3\%$ 、食事(箸)では $24.1 \pm 1.9\%$ であり、スキンケアにおける割合が食事(箸)よりも有意に大きかった (p<0.01) (図 3-D)。

以上のように、得られる筋活動の情報量は解析手法によって異なり、平均値解析では振幅、APDF 解析では振幅と相対時間 (作業時間全体に対する比率)、EVA では振幅と相対時間に加え、絶対時間 (筋活動の持続性) の側面から筋活動を評価することができた。特に EVA は、3 つの手法の中で筋活動の特徴を示すより詳細な情報を得ることができ、平均値解析や APDF 解析では検出されない ADL による筋活動の違いが明らかとなった。

EVA は、APDF 解析をより発展させた解析手法であると言われている⁴⁾。Delisle ら¹⁰⁾は、EVA は振幅や持続時間を定量化できる新たな解析手法であり、APDF 解析では検出されない情報を、EVA により明白に効率よく要約することができると評価している。しかし Delisle ら¹⁰⁾の研究は、20 分間にわたるコンピュータ作業を対象としており、本研究によって短時間の軽作業における EVA の有用性が実証された。

しかし、EVA によって得られる情報量は他の解析手法よりも多いため、結果の解釈の仕方についてはさらなる検討が必要であるという指摘がある²⁾。また、EVA は作業中の筋活動の特徴を最も適切に表現できるが、結果の判断基準についてはまだ構築されていないという指摘もある⁴⁾。しかし本研究のように、短時間における低強度作業間で筋活動の特徴を評価する際は、筋電図の振幅、絶対時間、持続時間の 3 つの側面から筋活動の特徴を要約することができ、動作による違いがより明瞭に明らかとなるために、EVA が最も有用な解析手法であると考えられる。

■ 結論

- ・ %MVC に比べて、%MVE、%RVE の方が短時間の軽作業における筋活動の違いに敏感である。
- ・ 平均値解析や APDF 解析に比べて、EVA は短時間の軽作業における筋活動の特徴を示すより詳細な情報を得ることができる。

■ 引用文献

- 1) S. Bao et al., 1995
- 2) C. Jensen et al., 1999
- 3) A. Burden, 2010
- 4) G. M. Hagg et al., 1982
- 5) B. Jonsson, 1982
- 6) S. E. Mathiassen et al., 1991
- 7) S. L. Fischer et al., 2010
- 8) G. A. Hansson et al., 2000
- 9) S. E. Mathiassen et al., 1995
- 10) A. Delisle et al., 2006