

身体的特徴によるクラスタ分類と EMG を用いた筋疲労推定における個人差の調査

知能システム制御研究室 角脇 永吉

1. はじめに

運動機能回復のためのリハビリテーションを行う際、知識と経験に基づいて医師や理学療法士といった専門家が主観的に診断を行っている。これは言い換えると、筋状態を定量的に評価できる客観的な指標がないということである。

本研究室では、筋状態の1つである筋力について個人差を考慮した定量的評価手法を提案していた。また、筋状態の1つである筋疲労についても各筋線維ごとに発生するEMGの周波数帯域が異なるという特徴に着目することで、遅筋線維(Type I)と速筋線維(Type IIb)の使用割合が交代した時間を、「筋疲労時間」として定義していた[1]。しかし、同時にType IとType IIbの使用割合が交代しない、被験者も存在することがわかっており、「筋疲労時間」が得られない場合もあった。一般的に、EMGは皮膚表面から取得するため、筋量の違いや皮下脂肪がEMG伝達の電氣的抵抗となることが知られている[2]。

そこで本研究では、身体的特徴によって生じる電氣的抵抗がType IとType IIbの交代を妨げている原因と仮定し、その検証を行う。また、Type IとType IIbの交代を補充する手法について検討する。

2. データセットと取得方法

被験者24名の身体的特徴の計測を行う。取得方法として体組成計から身長[cm]、体重[kg]、BMI、体脂肪率[%]及び筋肉量[kg]、キャリパーより皮下脂肪厚[mm]、メジャーより上腕二頭筋腕周り長[cm](皮下脂肪厚、上腕二頭筋腕周り長は右腕)を計測する。

3. 身体的特徴を用いた EMG 発生 の個人差分析

Type IとType IIbの交代を妨げる要因と考えられる身体的特徴を選定する。身体的特徴は互いに依存することが多いため、クラスタ分類をするにあたって独立変数となる要素を以下の手順で抽出する。

1. 両極端な2値化としてk-means法で2クラスタに分類
2. 身体的特徴から1つ要素を外して同様にk-means法で2クラスタに分類
3. 1と2のクラスタに違いがなければ外した要素を従属変数と設定
4. 2~3を繰り返す(7要素分)
5. 従属変数とならなかった要素を独立変数として抽出

今回は結果としてBMI、体脂肪率、皮下脂肪厚、上腕二頭筋腕周り長が独立変数として抽出された。つぎに、抽出した4つの独立変数を用いてx-means法によるクラスタ分類を行う。ここで、対象のデータセットの各クラスタにおける人数の割り振りをTable 1に示す。最適クラスタ数は4となり、そのうちクラスタ1には肥満型、クラスタ2には痩せ型が分類された(クラスタ3と4は両者を接分する特徴であった)。今回は身体的特徴とEMGの電氣的特性を検証することから、特徴的な2つのクラスタ(肥満型と痩せ型)を分析対象とし、EMGに与える影響を調査していく。

Table 1 各クラスタにおける被験者の人数

クラスタ番号	1	2	3	4
被験者数 [名]	3	4	11	6

4. EMG と身体的特徴の関係

クラスタ1及び2の計7名に関して、筋負荷7[kg]上腕二頭筋に与えた際の等尺性収縮で生じるEMGを用いて検証する。Fig. 1(a), (b)は時間とともに筋に疲労が生じている様子を評しており、いずれも、Type Iは増加しType IIbは減少しているのが分かる。しかし、両図のType IとType IIbの初期値が大きく異なっているのが見てとれる。一般的なのは(a)であるが、(b)はType IとType IIbが入れ替わっており、相対的にType IIbの割合が低いことが予想される。これは肥満型の被験者は皮下組織が電氣的抵抗となり、EMGの高周波成分を減衰させる低域通過フィルタ(LPF)の役割を果たしていると考えられる。

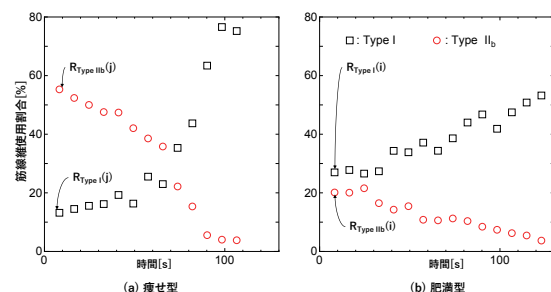


Fig. 1 分析対象クラスタの筋線維使用割合

そこで、肥満型クラスタのEMGを畳み込むことで皮下組織を一次LPFで表現し、痩せ型クラスタのType I, Type IIb初期値に近づける。

肥満型クラスタ、痩せ型クラスタの身体的特徴である独立変数の1つを $B_f(i)$, $B_s(j)$ とすると、 $B_f(i)$

と $B_s(j)$ の差は (1) 式で表される.

$$B_d(i, j) = B_f(i) - B_s(j) \quad (1)$$

$$i \in Fat, \quad j \in Slim$$

さらに, 一次LPFを行うための遮断周波数 $F_c(i, j)$ については (2) 式を全て満たす値を試行錯誤により選定した.

$$\min\{R_{TypeI}(i) - R_{TypeI}(j)\} \quad (2)$$

$$\cap \min\{R_{TypeIIb}(i) - R_{TypeIIb}(j)\}$$

$$\cap R_{TypeIIb}(j) > R_{TypeI}(j)$$

なお, $R_{TypeI}(i)$, $R_{TypeIIb}(i)$ は, 被験者 i における筋線維使用割合の遅筋及び速筋初期値を表す. 身体的特徴における $B_d(i, j)$ と $F_c(i, j)$ の関係を相関係数としてまとめた結果を **Table 2** に示す. 表より, 体脂肪率には負の相関があり, 体脂肪の増加に伴い EMG が低下した. 一方, 測定部位の皮下脂肪厚では F_c と相関が見られず, 予測と反する結果となった. 原因の1つとしては, 皮下脂肪厚の測定方法に関連していると考えられる. 本検証では, キャリパーの測定子を上腕二頭筋に挟むことで皮下脂肪厚を測定している. しかしながら, 本計測法は測定子の挟み方の違いによる誤差が生じやすい. また, 皮下脂肪厚の単位は mm であるため, 誤差の影響が他の身体的特徴より大きい. そのため, 皮下脂肪厚の相関が弱くなった. 今後は再計測や測定方法の変更によって, 皮下脂肪厚に相関が表れるかを確認する.

Table 2 身体的特徴と相関係数

身体的特徴 $B_d(*)$	相関係数	相関係数の強弱
BMI	0.09	無相関
体脂肪率 [%]	-0.87	強い負の相関
皮下脂肪厚 [mm]	0.10	無相関
上腕二頭筋腕周り長 [cm]	0.40	弱い正の相関

5. おわりに

体型による筋線維使用割合の違いから選定した身体的特徴と関連づけることで, 筋疲労における個人差の調査を行った. 今回皮下組織の電氣的抵抗を一次LPFを用いることで簡易的に表現した.

参考文献

- [1] 平野・櫛田・北村: 筋力評価のための Ridge 回帰に基づく筋力係数推定の構築, 信学論 (D), Vol. J101-D, No.7, pp.1061-1067 (2018)
- [2] M. M. Lowery*, N. S. Stoykov, and T. A. Kuiken: Independence of Myoelectric Control Signals Examined Using a Surface EMG Model, IEEE Tran. BIE, Vol. 50, No. 6, pp.789-793, 2003