

B3-24 筋負荷に関する EMG の最小感度と主観感度の関係調査

知能システム制御研究室 中島 慶

1. はじめに

リハビリやトレーニングにおいて負荷を増減する際、一般的には%MVC [1] 基準やキリ良い数値で差分的に増減が行われることが多い。しかし、ベース負荷が異なれば同一差分であっても割合が異なるため、増減効果に違いが生じることが予想される。

そこで本研究では、上腕二頭筋を対象とした等尺性収縮について、負荷帯域ごとに人が感じる負荷変化の分解能と客観的な指標である筋活動電位 (EMG: ElectroMyoGram) の変化について調査を行う。なお、EMG とは筋活動時筋内に発生する電位を体表面から取得したものであり、振幅や周波数から筋負荷および疲労を知ることができる。

2. 主観に基づく最小感度推定

人が重さを知る際は筋活動のみならず、視覚や聴覚などの外部情報を用いている。これら外部情報を遮断することで、筋活動単体における負荷の感度を知ることができる。

実験協力者 1 名に視覚、聴覚、触覚を制限した状態で徐々に負荷を与え (実験の際にはベースとなる負荷 0kg, 0.5kg, 1kg の負荷をあらかじめ与える)、感知できた時点の負荷を最小感度 x_s とする。5 回の計測値の平均を 5g 単位で四捨五入し、その値を当該負荷帯域における平均最小感度 \bar{x}_s と定める (実験 I)。

3. 最小感度が与える EMG への影響

筋を構成する筋線維は、大きく遅筋と速筋に分類される。遅筋は酸化系代謝の働きで持久力が高く、収縮時に 20~45Hz の周波数を発する。つまり、周波数成分に着目することで客観的に筋活動に伴う疲労を推定できる [2]。

同実験協力者に視覚、聴覚、触覚を制限しない状態で、 $L(area) = 0.5(area - 1)\bar{x}_s$ と最小感度周りの負荷 L を与える。ただし、 $area (= 1 \sim 5)$ は 60s を 1 区間とする区間番号である (実験 I と同様にベース負荷は別途あらかじめ与える)。得られた EMG から遅筋線維の周波数帯の PSD を算出し、最小感度負荷 \bar{x}_s を与える区間 3 ($L(3) = \bar{x}_s$) 前後の PSD の時間的な変化を調べることで、最小感度が EMG に及ぼす影響を調査する (実験 II)。

4. 検証・考察

Table 1 に実験 I の結果を示しているが、ベース負荷の上昇に伴い、最小感度は増加し、標準偏差は減少している。これは、ベース負荷の上昇に伴って、微小変化の感度が低下し、結果として最小感度を明確に感じられたことを示唆すると考えられる。また、

Table 1 実験 I による最小感度の結果

ベース負荷 [kg]	0	0.5	1
1 回目 [g]	20	40	30
2 回目 [g]	10	40	45
3 回目 [g]	20	20	40
4 回目 [g]	45	35	35
5 回目 [g]	5	20	40
平均値 [g]	20	31	39
標準偏差 [g]	15.4	10.2	5.7
最小感度 [g]	20	30	40

Table 2 実験 II による最小感度前後における遅筋線維の PSD 傾きの比較 (数値は $\times 10^{-12}$)

ベース負荷 [kg]	0		0.5		1	
	前	後	前	後	前	後
1 回目	0.95	-2.44	-4.30	7.59	3.70	11.11
2 回目	-0.37	-0.47	-27.80	3.58	6.34	16.29
3 回目	-0.83	3.34	2.39	3.87	1.06	64.07
平均	-0.10	0.14	-9.88	5.01	3.70	30.49
標準偏差	0.94	2.94	15.88	2.23	2.64	29.19
変動係数	8.93	21.06	1.61	0.45	0.71	0.96

ベース負荷 0.5kg と 1kg の最小感度に着目し、最小感度をベース負荷で割ることで分解能を算出できるが、前者は 0.06、後者は 0.04 と予想に反して分解能が高まる結果となった。これについてはベース負荷を 1.5kg, 2kg と増やした上でさらなる検証が必要である。

つぎに、Table 2 に実験 II の結果を示しているが、最小感度を与える前後にて、遅筋線維の PSD 変化の傾き平均が増加している。また、変動係数を確認すると、ベース負荷の変動係数平均は 0kg で 14.995、0.5kg で 1.03、1.0kg で 0.835 となっている。これらは最小感度を境にして筋疲労が加速していること、ベース負荷に伴って遅筋線維の PSD 変化のばらつきが減少し、疲労が明確化されることを示唆している。

5. おわりに

人の主観感度と EMG の関係調査を行った結果、人体の最小感度はベース負荷の影響を受け、また、最小感度は EMG に影響を与えたと考えられる。

参考文献

- [1] 加藤, 藤野, 上島, 城石, 時枝, 高杉, 林: 随意収縮強度別 (%MVC) による表面筋電図周波数特性, 理学療法学, **25-7**, 425/431 (1998)
- [2] 中島, 磯本, 榎田: EMG を用いた筋線維タイプに基づく筋疲労推定モデルの構築, 電気学会論文誌 C, **140-7**, 697/704 (2020)