

研究区分:若手研究

運動単位活動電位の伝搬速度による筋疲労評価システムの構築

赤澤淳

基礎教養講座 自然科学ユニット

【目的】

筋疲労は運動によって筋肉が発生させることのできる最大の力が低下することである。表面筋電図を用いて筋疲労の程度を定量的に評価する方法は数多く開発されている。Farina らは短母指外転筋を対象として、被験者の筋疲労を促進するために止血用圧迫帯を用いた虚血状態において計測を行っている。0~10%MVC において、27 回のランプ状収縮を行い、皮膚表面で計測される単一運動単位の活動電位波形 (SMUAP) の解析を行ったところ、SMUAP の振幅が経時的に減少し、波形は緩やかな曲線を描き、持続時間は延長した。我々は上腕二頭筋を対象に研究を行っており、先行研究の知見を参考にして、一つの α 運動ニューロンに支配される筋線維数が少ない筋を対象として運動単位活動電位波形の伝搬速度による筋疲労評価システムの構築を試みた。

【方法】

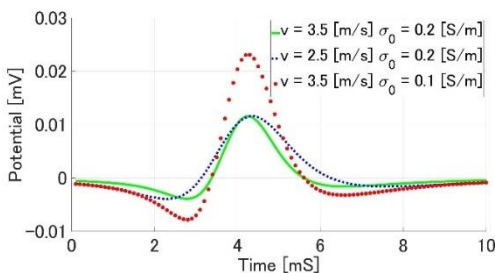


図1 皮膚表面で計測される運動単位活動電位波形

Griep の 3 極モデルを用いると、 n 本の筋線維からなる単一運動単位において、1 本の筋線維によって生成される皮膚表面の電位は(1)式に近似できる。

$$\Phi_n(x_n, y_n, z_{ni}, t) = \frac{1}{2\pi\sigma_o} \sum_{i=1}^3 \frac{I_i}{\sqrt{x_n^2 + y_n^2 + (z_{ni} + vt)^2}} \quad (1)$$

電極は皮膚表面にあり、1 本の筋線維は皮膚表面と平行に走行する。興奮伝播の速度である筋線維伝導速度(MFCV)は v とする。電極から筋線維の軸までの距離は深さ方向が x_n 、水平方向が y_n の距離にあるとし、時刻 $t = 0$ を興奮の開始時刻とする。 $t = 0$ における電極から興奮部位 (3 個の電流源) までの z 軸上での距離を z_{ni} ($i = 1, 2, 3$) とし、細胞外の導電率を σ_o とした。

【結果】

(1)式を用いて算出した 400 本の筋線維から構成される運動単位 MU0 ($v = 3.5$ m/s, $\sigma_o = 0.2$ S/m) の SMUAP を図 1 の実線で示す。活動電位波形の振幅の変化により影響を与えるのは、MFCV よりも導電率であることが確認できる。筋疲労時において活動している、400 本の筋線維から構成される運動単位を MU_j とし、変化する MU_j の MFCV を x 軸 (Velocity [m/s]), 導電率を y 軸 ([S/m]) とした、解析により算出した運動単位活動電位波形の伝搬速度による筋疲労評価システムの指標を図 2 に示す。この結果より動電位波形の振幅の減少から MFCV を推定し、筋疲労の程度を解析する筋疲労評価システムの有用性が示唆された。

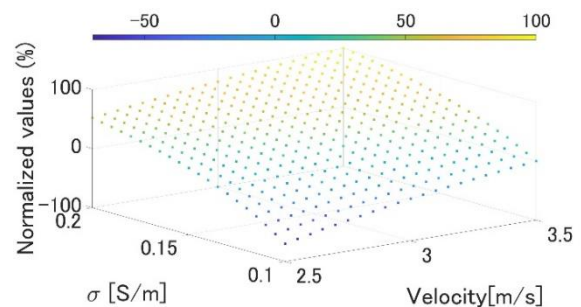


図2 運動単位活動電位波形の伝搬速度による筋疲労評価システムの指標

【論文及び学会発表】

1. 赤澤淳：筋線維伝導速度と軟部組織の導電率が皮膚表面の運動単位活動電位波形に及ぼす影響，令和5年電気学会全国大会抄録集，査読有，愛知県・名古屋市，3-006，3月16日，2023.