

1. はじめに

近年、上肢欠損者の手の代替として筋電義手が注目されている。筋電義手とは、前腕の筋活動電位 (EMG: Electromyogram) を用いて動作制御を行う義手である。患者は手が存在するかのような感覚で前腕の筋肉を収縮させて義手を動かすため、訓練には時間がかかる [1]。訓練の効率化には、健常者の筋の動かし方を患者に伝えることが理想であるが、手指の動作に応じて健常者が前腕のどの筋をどの程度使用しているかの指標は存在しない。

そこで本研究では、主に握力に焦点を絞った上で、握力とそれに関わる前腕周回筋群の EMG との関係モデルを構築し、モデルの解析を通して義手装着者に対する筋動作の教示指標を見出す。

2. Ridge 回帰によるモデルの構築

Fig. 1 に示すように EMG センサを前腕周囲 5 箇所に取り付け、同時に握力計を握ることで、握力と前腕筋群の EMG を測定する。測定する握力は 3kg, 6kg, 10kg, 15kg, 20kg でそれぞれ 5 秒間維持する。

目的変数を握力値 $\hat{y}$ 、説明変数を前腕周囲 5 箇所の EMG (RMS 化した後に標準化) 値を X_i とする重回帰モデルを構築する。

$$\hat{y} = \alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \alpha_3 X_3 + \alpha_4 X_4 + \alpha_5 X_5 + \beta \quad (1)$$

ここで、 α_i , β は重回帰モデルの係数と切片である。一般的に EMG は負荷に比例する振幅が得られることから、各 RMS 値には相関があるため、多重共線性の影響を考慮して Ridge 回帰を用いてパラメータ α_i, β を導出する。また、握力と筋活動との関係性は線形であるとは限らないため、low, normal, high の 3 つの握力帯域に分割し、握力帯域ごとにモデルを構築する。全てのデータを用いたモデルの目的変数を $\hat{y}_{\text{all}}$ 、3 つの握力帯域ごとのものを $\hat{y}_{\text{low}}$, $\hat{y}_{\text{normal}}$, $\hat{y}_{\text{high}}$ として計 4 つの重回帰モデルを構築した。それぞれのモデルにおける α_i および β を Table 1 に示す。 α_i に着目することで、握力に対する各筋の影響度 (使用割合) が分かる。



Fig. 1 前腕に取り付けたセンサの位置

Table 1 構築したモデルの係数と切片

	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	β
$\hat{y}_{\text{all}}$	1.55	0.12	1.03	1.43	1.91	10.67
$\hat{y}_{\text{low}}$	0.17	0.05	0.10	0.14	0.39	3.00
$\hat{y}_{\text{normal}}$	0.48	0.32	0.18	0.22	0.81	8.02
$\hat{y}_{\text{high}}$	0.84	0.15	0.61	0.05	1.06	17.35

Table 2 握力値の推定精度の比較

検証	平均絶対誤差 [kg] ($\hat{y}_{\text{all}}$ のモデル)	平均絶対誤差 [kg] ($\hat{y}_{\text{bays}}$ のモデル)
データ 1	1.07	0.86
データ 2	1.75	1.17
データ 3	1.64	1.07
データ 4	1.29	0.92
データ 5	1.15	0.73

3. 確率モデルによる握力帯域の推定

握力帯域ごとに EMG 値の関係性が異なることから各筋の EMG を Low, Middle, High にカテゴライズし、それらの組み合わせによって $\hat{y}_{\text{low}}$, $\hat{y}_{\text{normal}}$, $\hat{y}_{\text{high}}$ を確率的に選択するためのベイジアンネットワーク (以下, BN) を構築した。BN は、ベイズの定理をもとにした非循環有向グラフで表される確率モデルである。BN が出力する各モデルの選択確率 P_{low} , P_{normal} , P_{high} と、Table 1 に示す各モデルパラメータを用いて

$$\hat{y}_{\text{bays}} = P_{\text{low}} \times \hat{y}_{\text{low}} + P_{\text{normal}} \times \hat{y}_{\text{normal}} + P_{\text{high}} \times \hat{y}_{\text{high}} \quad (2)$$

として握力値を推定する。

4. 検証・考察

$\hat{y}_{\text{all}}$ のモデルと $\hat{y}_{\text{bays}}$ のモデルでの握力値の推定精度を比較した結果を Table 2 に示す。全ての検証データにおいて $\hat{y}_{\text{bays}}$ の方が精度が高い。また、握力帯域ごとに各筋の使用割合も異なることから、筋電義手にて握力を再現することの難しさが分かる。また、上記の α_i を算出することで、筋動作の教示指標が生成できる。

5. おわりに

握力と前腕筋群の EMG の関係性を表現する重回帰モデルを構築した結果、握力帯域ごとに筋の使用割合が異なることを示唆した。今後は複数被験者でデータを測定してモデルの信頼性を向上させたい。

参考文献

- [1] 溝部, 陳, 柴田, 大庭: 義手の訓練方法のポイントと指導のコツ: 筋電電動義手, 日本義肢装具学会誌, 29-4, 240/245(2013)