

卒業論文要旨

筋電計測に基づく運動学習の定量化

Quantifying motor learning based on sEMG mesurment

システム工学群

動的デザイン研究室 1210018 板谷 祐汰

1. 緒言

人の運動学習は、運動技能を獲得する過程であり、スポーツやリハビリテーション医療の分野においてトレーナーや医師が指導の指標として用いる。運動学習の評価は、速度、正確さ、最大筋力などの運動パフォーマンスの変化から推測されるが、対象となる運動によって評価指標となる運動パフォーマンスの適切な選択が必要となる。また客観的かつ、定量的な評価が難しい問題がある。

本研究では、表面筋電計測から得られる情報から運動学習を定量化する方法を提案する。本研究では、人がある運動を習熟するときに、筋群が協調して発火し、結果として筋繊維を伝播する筋電波形が崩れにくくなると仮定する。筋電が腱から出力され、筋繊維を伝播してゆく特性があるため、伝播波形の類似性を調べるために、同一の筋繊維上に複数の筋電計を配置する。伝播波の検出方法として、m-ch 法(1)を採用した。各筋電計の計測値から、伝播波を抽出するとともに、相似比、波長比、振幅比により、伝播する波形の保持性を評価する。

2. 運動学習の定量化理論

2.1 m-ch 法

本研究では運動学習の定量化を伝播波により行う。伝播波の検出法として m-ch 法を採用し表面筋電図に内在する伝播波を評価、抽出する。

同一の筋繊維上に、配置された複数の筋電位の筋電位データを負から正へとゼロクロス(以下 ZC)する点毎に区切る。隣り合う ZC の間の波形を 1 つの解析単位とする(図 1)。調べる開始点があるチャンネルを伝播元、隣接するチャンネルを伝播先とする。伝播元の解析単位の開始点に対し、伝播先の解析単位の開始点が $\pm 70\text{ms}$ 以内に存在するものを伝播波候補とし、伝播波判定を行う。

解析単位は ZC により区切られるため解析単位長が異なる。そのため、サンプリング定理に基づいて、伝播元と伝播先の両解析単位を 100 サンプリングの長さで統一する。

$$E_{resamp}(t_i) = \sum_{k=k_s}^{k_e} E_{samp}(k\Delta t) \cdot \frac{\sin\left[\frac{\pi}{\Delta t}(t_i - k\Delta t)\right]}{\frac{\pi}{\Delta t}(t_i - k\Delta t)} \quad (1)$$

ここに、 Δt はサンプリング間隔、 t_i ($=1, \dots, 100$) は解析区間を 100 等分した時間、 k は復元に用いる区間、 $E_{samp}(k\Delta t)$ はサンプリングデータ、 $E_{resamp}(t_i)$ はサンプリングデータから復元される疑似的なアナログ信号 k_s と k_e はそれぞれ解析区間の最初と最後のデータ番号を示す。

隣接したチャンネルに内在する、再サンプリングした解析単位の相似比、振幅比、波長比を導出し、それらを評価指標と

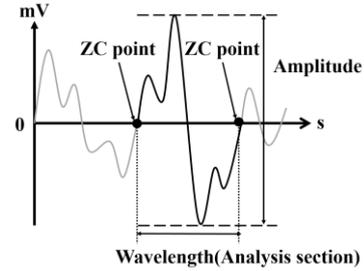


Fig. 1 Definition of the analysis unit in the m-ch method.

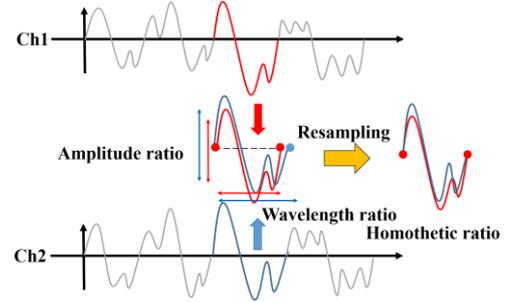


Fig. 2 Normalization of length of the analysis unit and judgement of propagation waves.

て伝播波を抽出する。本研究では ch1, ch2, ch3 の 3 チャンネルを伝播する波形を抽出する。

ch1, ch2 間の相似比 R_{12} を式(2)にて算出する。

$$R_{12} = \max[\gamma_{12}(\tau)] \quad (2)$$
$$\gamma_{12}(\tau) = \frac{\{\phi_{12}(\tau) - m_1 m_2\}}{\sqrt{\{\phi_1(0) - m_1^2\}\{\phi_2(0) - m_2^2\}}}$$

ここに、 γ_{12} を相関係数、 m_1, m_2 は各筋電位の平均、相関係数 (ϕ_1, ϕ_2 は自己相関関数、 ϕ_{12} は相互相関関数) である。相似比は波形の大きさに関わらない形状の相似性のみを示す。これに加えて波形の大きさと長さの相似性も考慮する必要があるため、振幅比、波長比を判定の対象とする。振幅比を次式で定義する。

$$G_{12} = \frac{\sqrt{\{\phi_1(0) - m_1^2\}}}{\sqrt{\{\phi_2(0) - m_2^2\}}} \quad (3)$$

式(3)の振幅比が 1 以上になった場合には分母と分子を入れ替える。波長比 L_{12} は次式で定義する。

$$L_{12} = \frac{L_1}{L_2} \quad (4)$$

ここに、 L_1 、 L_2 はそれぞれの解析単位の区間長を表す。振幅比と同様に、波長比が1を超えた場合、分子と分母を入れ替える。

以上のように、ch1,ch2間の相似比 R_{12} 、振幅比 G_{12} 、波長比 L_{12} を求める。伝播波とみなす条件として、閾値を相似比0.9以上、振幅比0.7以上、波長比0.9以上と設定し、両解析区間の相似性を判定する。

ch2とch3においても、同様に R_{23} 、 G_{23} 、 L_{23} を導出し、閾値を満たす解析単位をch1~ch3間の伝播波と判定する。

2.2 運動学習の定量化

本研究では運動学習が成立している、つまり運動が順調に習熟できているときに、筋群が協調して発火し、結果として筋繊維を伝播する筋電波形が崩れにくくなると仮定している。この仮定から運動学習の習熟度が高まるほど伝播波の過程が崩れにくくなり、m-ch法にて抽出される伝播波の数が増加すると考える。このことから抽出された伝播波の数から運動学習の定量化を行う。

3. 検証実験

3.1 実験概要

本実験では、2章2節で述べた、観測した表面筋電図から検出した伝播波の数にて運動学習の定量化が行えるかの検証実験を行う。

3.2 実験方法

図3に実験風景を示す。被検筋は前脛骨筋とする。

被験者は健康な20代男性2名とした。対象動作は支持面揺動を50秒間与えた場合のバランス動作である。支持面揺動設定は、速度振幅0.2m/s、振動周波数0.7Hz、振動振幅50mmとした。また、実験機に搭載したフォースプレートにより測定した、圧力中心と、質量中心からフィードバックゲインを求め、運動学習習熟の指標とする。実験は、50秒間の揺動を1セットとして5セット行う。1日5セット、3日間計測を行った。

表面筋電図は表面筋電計(Trigno Delsys)を3つ、チャンネル間距離37mm、サンプリング周波数2kHzにて測定した。また、計測時間は揺動50秒と予備時間5秒の計55秒とした。貼り付け位置を図4にしめす。筋繊維に沿うように配置し、足関節側をch1、膝関節側をch3とした。結果をPCに送り、データを分析ソフト(EMGworks Analysis)にてcsvファイル化し、matlabにて作成したプログラム(m-ch法)により伝播波を抽出した。

3.3 実験結果

表1に被験者ごとの抽出された伝播波の数を示す。また図5、図6に運動学習の習熟度の指標として、フィードバックゲインを示す。表1から、伝播波抽出数はほとんど検出できなかった。図5、6より被験者aはフィードバックゲインの実数値が日数の経過による減少がみられる。つまり、バランスをとるために使う余分な力が減少しており、運動学習の習熟が進んでいると考えられる。対して、被験者bでは有意な変化が見られなかった。1章で述べた仮定が正しければ、日が経過するごとに伝播波抽出が増加するはずであるが、十分に抽出が行えていなかった。

4. 検討

抽出が行えなかった原因として、揺動により発生する電位が小さく、形状比較がうまくいかなかったことがあげられる。解析区間長が、播波抽出の確認できた物よりも小さく、波形にうまく特色が表れないためだと考える。波形の観測が難しい低負荷の場合の計測の方法が課題として挙げられた。また被



Fig. 3 Experimental system.



Fig. 4 sEMG position

Table 1 Number of propagation waves extracted in the test.

Day	Trial	Number of propagation waves	
		a	b
1	1	0	0
	2	0	0
	3	0	1
	4	0	1
	5	0	1
2	1	0	1
	2	0	1
	3	8	7
	4	0	0
	5	0	0
3	1	0	0
	2	0	0
	3	3	0
	4	0	1
	5	4	1

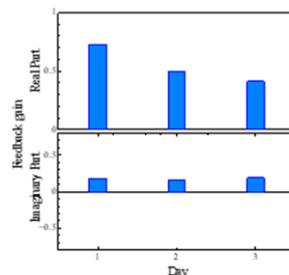


Fig. 5 Feedback gain (subject a)

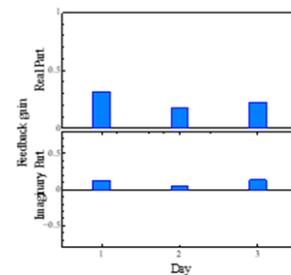


Fig. 6 Feedback gain (subject b)

験者bでは運動学習の習熟が見られない問題があった。今回の実験は3日間で行ったが計測期間を延ばす、負荷の方法を変えることで改善できると考える。

5. 結言

筋電計にて計測した表面筋電図から、m-ch法を用いて伝播波抽出を行い、抽出数による定量化を試みた。結果として前脛骨筋から得られる電位が小さく、定量化ができるほどの伝播波の抽出ができなかった。今後は実験にて課題となった波形の表れにくい運動の計測法を長期の実験と共に検証する。

文献

- (1) 小菅智裕, “多チャンネル表面筋電図を用いた伝播波解析に関する研究”, 電気通信大学院情報理工学研究科博士論文, 2015