

運動の特徴を提示可能なトレーニングシステムの開発

○中居 雅明 (東京大学)
 浅間 一 (東京大学) 大武 美保子 (東京大学)

Development of the Training System which Extracts and Displays Motion Features

*Masaaki Nakai(Univ. of Tokyo)
 Hajime Asama(Univ. of Tokyo) Mihoko Otake(Univ. of Tokyo)

Abstract—ヒトの運動の向上を目指すための研究は、主にスポーツ医学や理学療法の分野で現在数多く行われているが、トレーニングにおいて初級者を上級者に、リハビリテーションにおいて患者を健常者に近づけるための汎用のシステムはまだ実現していない。本研究はより実践的な運動学習効果の向上を対象者を問わず達成可能とするシステムを開発することを目的とする。

Key Words: motor learning, simulation, training system

1. はじめに

身体を動かすことは、日々生活している上で意識的であっても、無意識的であっても行われていることであり、我々は経験や訓練を通し学習をし、運動の向上を図る。しかし、その学習の速度は人により異なり、またどのように訓練すればよいのか運動学習メカニズムに則った提示はなされていない。これらの運動学習の機構を解明するため、神経科学、身体運動科学、理学療法学など、幅広い分野で研究が行われている。

川人らは小脳を模した人工ニューラルネットワークと人体モデルを接続することで運動学習を人工的に再現する研究を行っている¹⁾。また他方、大築らは運動時の筋電図の解析から、脳の運動制御戦略を推察しようとしている²⁾。この他、理学療法の分野においても運動学習の理論を取り入れようという動きがある³⁾。しかし基礎研究は運動学習支援へは応用されておらず、応用研究は対象とする人間・運動が限定的である。

本研究は、運動学習機構を解明する基礎研究の見解に基づいて、障害の有無や運動の種類を限定しない汎用の運動学習支援システムを目指すものである⁴⁾。具体的には対象とする運動の習熟者からの聞き取りにより注目すべき特徴を明らかにし、モーションキャプチャ装置を用い取得したデータから特徴を数値化する(以降特徴量とする)。この特徴量をリアルタイムで提示することで、利用者は運動の状態をより詳細に知ることができ、理想とする運動に効率良く近づくことが可能となる。また運動の特徴が、筋活動に代表されるような運動時の体内状態と関係がある場合、内部状態の観察・データ解析を行うことが必要である。よって本システムでは生理学的アプローチとして、運動時のヒトの内部状態の可視化システムも構築する。

2. システムの概要

Fig.1 にシステムの構成を示す。

運動の特徴抽出システムと運動時の内部状態の可視化システムの二つで構成されている。

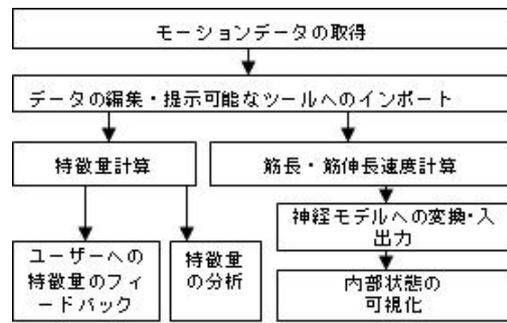


Fig.1 Structure of training system which extracts and displays motion features

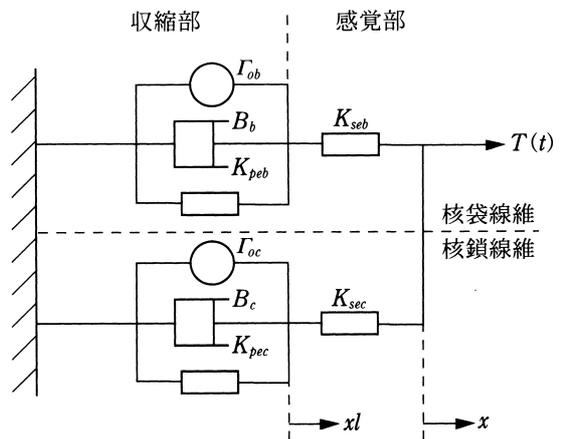


Fig.2 The mass-spring model of muscle spindles with contractile region and sensing region

2.1 運動の特徴抽出システム

まずモーションデータの取得は光学式モーションキャプチャシステムを利用する。取得したデータはデータの提示、編集が容易なツールにリアルタイム接続し、ここで対象とする動作の特徴量の計算を行う。こうして得られた特徴量を、対象の運動の習熟者があらかじめ取得しておいた特徴量と比較し、ある一定の値を超え

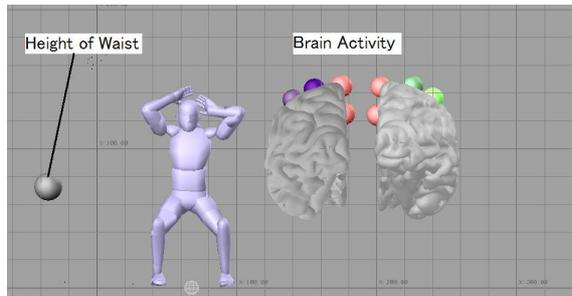


Fig.3 Displayed activity of somatosensory association cortex when subject does squat

た場合、音やディスプレイ上のユーザーインターフェースを介して被験者にフィードバックする。また取得した特徴量を分析するために、データを外部ツールに接続する必要があるが、これはツールに備え付けてある専用の SDK を用い Plug-In を作成する。

2.2 運動時の内部状態の可視化システム

運動時の内部状態の可視化は、筋運動情報の取得、筋運動情報の神経系への入力、神経系モデルによる神経信号の可視化の三つのステップに分けられる。

(1) 前述のモーションキャプチャシステムと内部計算可能なツールを用い、筋骨格モデルに基づいた筋の開始点と終点を設定することで、筋長・筋伸長速度を算出する。なお、筋骨格モデルは Rasumussen らのモデルを参考とした⁵⁾。

(2) 筋紡錘とは筋運動情報を感知して脊髄への入力信号に変換するセンサの役割を果たす部位であり、近似モデルであるバネマス系モデル (Fig.2) が提示されており、以下のような方程式で表わされる⁶⁾。

$$\frac{B_b}{K_{seb}} \dot{T}_b + (1 + \frac{K_{peb}}{K_{seb}}) T_b = B_b \dot{x} + K_{peb} x + \Gamma_{0b} \quad (1)$$

$$v_b = \frac{A_b}{K_{seb}} T_b \quad (2)$$

式 (1) 中の x に筋長を、 \dot{x} に筋伸長速度を入力し、方程式を解くことで T_b を、さらに式 (2) 中の神経の発火頻度を表す v_b を求める。以上のモデルを用いることで、筋運動情報の時系列データを神経系への入力に変換可能となる。

(3) NEURON⁷⁾ や GENESIS⁸⁾ などの神経系シミュレータに、取得した神経信号を入力し運動時の神経活動の可視化を行う。

Fig.3 に開発中の内部状態量 (体性感覚野の活動部位) 提示画面を示す。

3. 実験によるシステムの評価

システムの有効性を示すために、特徴量ではなく口頭と映像のみの、被験者への依存度が高いフィードバックをかけた場合の学習効果を調べた。

実施方法 合気道の基本動作の一つである袈裟斬りを対象運動とした。被験者に対し実験開始前に腰の上下動を小さくするよう伝え、また袈裟斬りの習熟者の動作のムービーを見てもらった。さらに開始後一回の試行の度に直近のモーションを確認してもらった。以上を被験者に対するフィードバックとする。計三回の試行を行い、特徴量は腰の高さの分散値とした。腰の

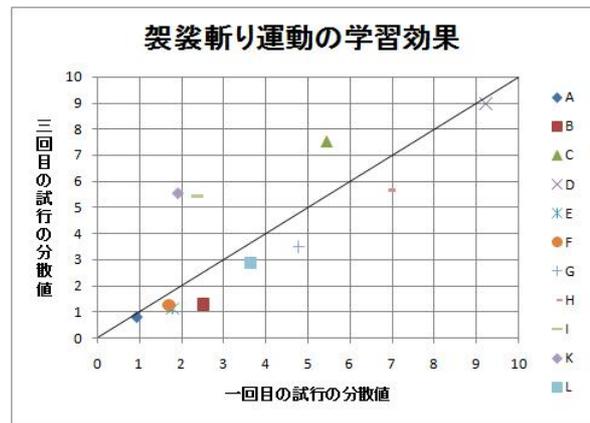


Fig.4 Learning Effect of Kesagiri-Motion

高さの分散値が低いほど、腰の上下動が小さく、動作が安定していることを意味する。

結果と考察 一回目の試行の分散値を横軸、三回目の分散値を縦軸に取りプロットしたものを Fig.4 に示す。一回目より三回目の方が分散値が小さい場合がある一方、大きくなり目標から遠ざかる場合もあることが分かる。これより運動学習の過程を客観的に評価できることが示され、また結果が悪化するケースがあったことから、口頭や映像のみといった客観性の低いフィードバックではなく、本システムが提供する客観性の高い特徴量の提示が有用である可能性が示された。

4. おわりに

本研究では、外から見ただけでは分からない特徴を抽出することで、運動の個人差や運動学習過程の評価をすることができ、また内部状態、即ち、身体内側から捉えた運動と運動の特徴との対応が取れるようになった。今後は様々な被験者に異なる提示を行い、比較検討し効果を測定する。また同時に抽出し提示する運動の特徴量を任意に選択できるように開発を進める。どのような運動の特徴量や内部状態量を提示することが運動学習の支援に繋がるのか、実験的に検討する計画である。

参考文献

- 1) 川人光男. 脳の計算理論. 産業図書, 1996.
- 2) S.Sakurai and T.Ohtsuki. Muscle activity and accuracy of performance of the smash stroke in badminton with reference to skill and practice. Vol. 18, pp. 901-914, 2006.
- 3) 大橋ゆかり. 運動学習理論と理学療法との接点. pp. 93-97, 2006.
- 4) Mihoko Otake and Yoshihiko Nakamura. Spinal information processing and its application to motor learning support. Vol. 17, pp. 617-627, 2005.
- 5) J. Rasmussen et. al. Anybody - a software system for ergonomic optimization. In *Fifth World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimization*, 2003.
- 6) 星宮望, 赤澤堅造編著. 筋運動制御系. 昭晃堂, 1993.
- 7) M.L.Hines and N.T.Carnevale. The neuron simulation environment. In *Neural Computation*, Vol. 9, pp. 1179-1209, 1997.
- 8) J.M.Bower, D.beeman, and M.Hucka. The genesis simulation system. In *The Handbook of Brain Theory and Neural Networks Second edition (M.A.arbib and Ed.) and Cambridge and MA and MIT Press*, pp. 475-478, 2003.