

# スクワット動作におけるコツの可視化

## -モーションキャプチャ・床反力・表面筋電図を用いた動作解析-

東京大学 ○柳井 香史朗, Qi An, 石川 雄己, 山川 博司, 山下 淳, 浅間 一

Visualization of Skills by Motion Analysis of Squat Using Motion Capture, EMG and Force Plate

The University of Tokyo Koshiro Yanai, Qi An, Yuki Ishikawa, Hiroshi Yamakawa, Atsushi Yamashita, Hajime Asama

Knowing expert's movements is important for non-experts to acquire new skills. experts have skills that is specific body movement as parts, strength, timing of using muscles, body position, and moving center of gravity. Teaching these skills is effective for learning skills. In this paper, target movement is squat, a kind of strength training. We measure expert's movement by motion capture, surface electromyography and force plate and extract expert's skills for effective and safety training from analysis. We propose a method of visualization extracted skills for learning.

### 1. 序論

スポーツ, ダンス, 音楽, 料理, 製造, 介護などさまざまな場面において, 動作の技能が存在する. それぞれの分野において, 動作の熟練者は非熟練者に比べて, ある特徴的な関節の動かし方や筋の発揮を行うことにより, それぞれの場面で高いパフォーマンスを発揮する. 例えば剣道の熟練者の打ち込み動作は非熟練者に対して筋を発揮するタイミング, 強さ, 緩急を効率よく行うことにより, 筋疲労が少なく, 再現性の高い動作を実現する<sup>1)</sup>. 技能を習熟させる上で熟練者の動作を手本にすることは習熟の効率をあげるのに有効なことである. しかし, 熟練者の動作には, 筋肉の使用部位や発揮強度, また身体重心位置の移動など外見からでは判断することのできない多くの情報が含まれている. それらの情報を動作のコツとし, 非熟練者に熟練者の動作のコツを見せることは, 技能教育を行う上で重要である. また熟練者の動作のコツには, 運動学に基づいた理論や指導者の経験に基づいてトレーニングの指導書や WEB ページなどに言語や図により知識として蓄えられている経験知レベルのコツと熟練者自身が習熟の過程で無意識的に獲得する暗黙知レベルの動作のコツが存在する.

### 2. 研究の目的

本研究では, スクワット動作を対象動作として, モーションキャプチャ, 表面筋電図, フォースプレートを用いて熟練者の動作の計測を行う. 計測から得た情報を用いて解析することによって動作のコツの定量的な評価・抽出を行う. また抽出されたコツを可視化することによって非熟練者が動作の習熟に有効なコツの教示システムを構築することを目的とする.

### 3. コツの可視化

#### 3.1 可視化の手法

動作の計測には, モーションキャプチャ, 表面筋電図, フォースプレートを用いる. モーションキャプチャにより関節の位置, 表面筋電図により筋活動, フォースプレートにより床反力のデータを取得する. 取得したデータより関節角度, 関節の角速度, 筋の発揮強度を特徴量として取り出すことにより動作の解析を行う. 取得したモーションキャプチャのデータより筋骨格生成ソフトを用いて 3DCG モデルを作成する. そこに筋電図, フォースプレートのデータを反映させることにより, 生体情報を可視

化する. また同時にビデオカメラにより動作中の実映像を記録し, 3DCG モデルと重ね合わせた映像の作成を行う.

#### 3.2 スクワット動作のコツ

本研究では, 筋力トレーニングの 1 種類であるスクワット動作を対象動作とする. スクワットは代表的な股関節の伸展動作であり, スポーツ中の動作だけでなく日常的に行う立ち上がり動作や物を持ち上げる動作などあらゆる身体運動の基礎となる重要な動作である. スクワット動作は主に大腿二頭筋や大殿筋, 大腿四頭筋など下肢の筋肉を鍛えるトレーニングであるが, 体を支える脊柱起立筋などの背中や腰の筋肉などを総合的に使用する必要がある. スクワット動作を行う際, 鍛えたい筋をどれくらい使っているのかというトレーニング面と怪我が発生しにくい安全な姿勢で行なっているかという安全面に注目する必要がある. 本研究では, 動作中の筋活動と姿勢に注目してトレーニングの指導書に基づいてスクワットの経験知レベルのコツの抽出を行い, それに基づいた熟練動作の解析を定量的に行い, また解析結果より暗黙知レベルのコツの抽出を行う.

### 4. 実験

#### 4.1 実験装置

被験者は日常的にスクワットのトレーニングを行なっている男性 1 名. 姿勢計測には, 光学式モーションキャプチャ (Motion Analysis 社製, EVaRT4.4) を使用し, サンプリング周波数 200Hz でデータを取得した. 被験者の全身 19 ヶ所にマーカーを貼り, 赤外線カメラ 8 台を用いて計測することにより, マーカーの 3

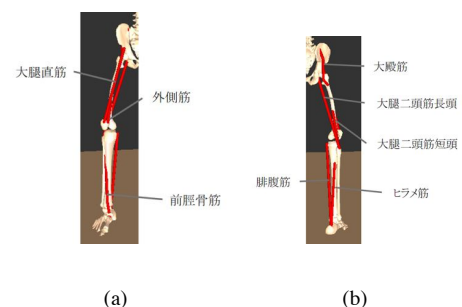


Fig. 1 Muscles measured by EMG (a) front (b) back



Fig. 4 3DCG model



Fig. 2 Measuring system



Fig. 3 Condition of the experiment

次元座標を取得した。また、ビデオカメラ（SONY 社製）をコンバータ（grass valley 社製）を介して PC につなげることで、取得したデータと時系列で同期した実映像データを取得した。表面筋電図（S & ME 社, DL-721）は、被験者の右側下肢の被験筋 8 ヶ所（前脛骨筋, 腓腹筋, ヒラメ筋, 大腿直筋, 外側筋, 大腿二頭筋長頭, 大腿二頭筋短頭, 大臀筋）（Figure.1）に電極を貼ることにより、各部位の筋の筋活動のデータをサンプリング周波数 1000Hz で取得した。被験者がフォースプレート（Nitta 社, 6 軸フォースセンサ）上でスクワット動作を実施することにより床反力のデータをサンプリング周波数 64Hz で取得する。Figure.2 に実験装置図, Figure.3 に実験の様子を示す。

#### 4.2 実験結果

筋骨格モデル作成ソフト SIMM（Musculographics 社製）を用いてモーションキャプチャから取得した各マーカーの 3 次元座標から被験者のスクワット動作の 3DCG モデルを作成した（Fig.2 (a)）また表面筋電図から得られた EMG のデータを整

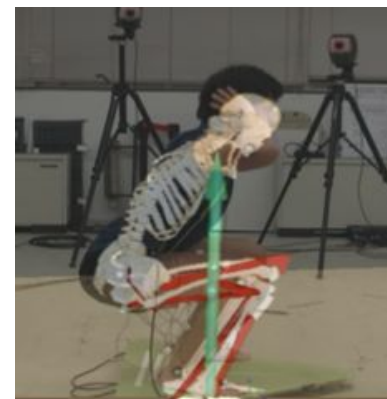


Fig. 5 Overlay with actual image

流化・平滑化し、各筋の % EMG を算出することにより各筋の発揮強度を得た。各筋の発揮強度を作成した 3DCG モデル上の筋の大きさとして反映させることにより、筋の活動の可視化を行った。またフォースプレートから取得した床反力のデータを大きさとして矢印の長さとして反映させることにより、床反力の可視化を行った。Figure.4 に得られたデータを反映させた 3DCG モデルの動作の変化を示す。また、同じ時系列でビデオカメラより取得した実映像を半透明化し 3DCG モデルに重ねて提示することにより、より効果的な習熟のための映像の作成を行った。Figure.5 に作成した教示映像を示す。

#### 5. 結論と今後の展望

本研究では、スクワット動作を対象として、熟練者の動作をモーションキャプチャ、表面筋電図、フォースプレートを用いて計測し、本来見ることができないが、非熟練者の動作の習熟のために重要と思われる情報を可視化する手法を提案した。実際に熟練者の動作を計測して、計測結果より動作中の筋活動と床反力の可視化を行った。今後の展望としては、熟練動作のコツを定量的に解析し、教示システムを構築すること、教示システムの効果の検証を行う必要がある。

#### 謝 辞

本研究の一部は、JST RISTEX 問題解決型サービス科学研究開発プログラムの援助を受けた。

#### 参 考 文 献

- 1) 砂田治弥, 横山清子, 松河剛司, 原田晋作, 高田宗樹, 松浦康之, 平田隆幸: モーションキャプチャシステムによる剣道打ち込み動作の解析, 信学技報, 26, pp.31-35, 2011.