

コンピュータグラフィクスにより構築した骨格と 骨格筋の三次元画像を用いたスポーツ活動時における 障害発生メカニズムの四次元的解析

東京慈恵会医科大学 鈴木直樹
(共同研究者) 同 服部麻木
早稲田大学 土屋宏子
同 小田周平

4D Analysis of Skeletal and Muscular Model Using Computer Graphics in Sports Exercise

by

Naoki Suzuki, Asaki Hattori
*Institute for High Dimensional Medical Imaging,
Jikei University School of Medicine*
Hiroko Tsuchiya, Shuhei Oda
*School of Science and Engineering,
Waseda University*

ABSTRACT

The mutual interactions of muscles during exercise is one of the most difficult images to visualize. These interactions are usually only estimated by observations made from the skin surface. We aimed to develop a technique to visualize muscle dynamics with quantitative 3D imaging. In this system the skeletal system and muscle system were reconstructed from 3D data sets obtained by CT and MRI.

The skeletal system was reconstructed from CT 3D data sets and each joint could be moved

using the location data obtained by motion capture system in 3D. In the muscle system, the shape and size of each muscle was obtained from MRI 3D data sets measured from the same subject that the skeletal structure was obtained from. We added a few features for this 3D muscle model. These muscle models are composed of elements of muscle fibers and each element is able to contract or relax like real muscle. In Addition, these muscle fibers are able to contract and relax by avoiding the bone or adjacent muscle fibers as real muscle acts in the body by accounting for physical interference. These components of virtual muscle fibers are used to form a 3D structure by fitting the shape and volume according to the reconstructed 3D muscle image of the subject. Finally, each muscle is attached to the skeletal system one by one in its anatomical position. According to the movements of the skeletal system measured by motion capture system, muscle model could be manipulated. In this system, it is possible to record and visualize the dynamics of each muscle and their relative interactions in space and in time sequential domains quantitatively. This system should provide a useful tool to analyze muscle dynamics anatomically and physiologically in 4D space.

要 旨

運動に伴う人体各部のメカニズムの相互作用は、いままで体表からの観察と解剖学的知識情報を基に推測してきた。このような従来の計測手法では視覚化しにくい、運動に伴う骨格各部の空間的な移動とこれを駆動する骨格筋の四次元的（時間的、空間的）な相互作用をコンピュータグラフィックスを用いて定量的に再現し解析できる手法を開発することを目的とした。

本システムにより計測データを基に被験者ごとの骨格、筋肉群の特長を反映した三次元モデルを構築しこれを駆動することにより、一連の動作に伴った各筋肉の活動状況を時系列変化として得ることができることがわかった。今後、本システムを用いることにより正常な運動に伴う筋肉の連係動作を時空間的に観察、解析できるだけでなく、ある筋肉における局所的な損傷が総合的な動作にどのような影響を与えるかといったシミュレーションを行うことができると考える。

まえがき

ヒトの運動における骨格筋群の連係、相互動作を時間的、空間的に把握することは、現状では困難な問題の一つである。現在のところ、ヒトの運動に伴う各部の骨格筋の動作は、筋電、単純X線画像などの生体情報、体表からの観察および解剖学的知識を基に推測しているのが現状である。しかし、筋電では筋の動態を知ることはできるが、時間軸上の一次元の情報であり、その動作全体を空間的に視覚化することは困難である。また、単純X線では、運動のある時点でのおおまかな筋形状を得ることはできるが、動的な筋の情報を得ることは不可能である。このような、ヒトの運動において今までの計測手法では把握することが困難だった、生体内の骨格各部の空間的な移動とこれを駆動する骨格筋の四次元的な相互作用を、コンピュータ内に構築した骨格および骨格筋モデルを用いて定量的に再現し、かつ解析できる手法を開発することを目的とした。

1. 研究方法

まえがきにおいて述べたような解析を可能にするためには、三次元空間上に骨格および骨格筋から発生される運動が再現され、その際の運動に関わる筋肉の活動状態（筋の収縮率、断面積の変化等）、骨格の移動の軌跡等を常時モニタリングできる事が必要である。そのために、まず以下のような筋肉モデルの構築を行った。対象とする骨格および筋形状の再構築は、CT, MRIを用いて被験者より得られた三次元データセットを用いた。ただし骨格筋については、解剖学的には筋束レベルの筋組織の集団を一単位とした三次元形状を持つため、抽出した形状を基に、筋束を解剖学的な筋束の方向に配列させて筋モデルを構築した。図1に骨格筋標本と、それと同様に筋束を配列させて再構築した筋モデルを示す。ヒトの筋肉は、その種類によって筋束の走行方向が異なるため、このように筋束レベルでモデルを構築することで、様々な筋形状に対応した、より実際の各筋肉の特性に近いモデルの構築が可能と考えられる。これらの筋モデルは解剖学的な付着点を指定して、三次元骨格モデル上に配置した。この骨格筋モデルは、収縮、弛緩時に各筋肉の筋束の配列に従って実際の筋肉と同様な形状変化を行う。また、形状の変化の際には、周囲の骨格および筋との干渉を判定して変形を行うことも可能にした。図2は、筋モデルと骨領域を擬した障害物が干渉し、筋モデルが障害物を避けて伸縮する様子を示している。

このモデルの駆動については、最初に被験者からモーションキャプチャを行い、運動時の被験者の関節の角度、移動量を計測する。このデータを用いて骨格モデルを駆動し、このモデルの動作に伴った各筋モデルの収縮、弛緩を行わせる。図3に、上肢運動のモーションキャプチャの様子を示す。この運動に伴う各筋肉の各種変化量を時系列データとしてモニタできると同時に、運動時の各

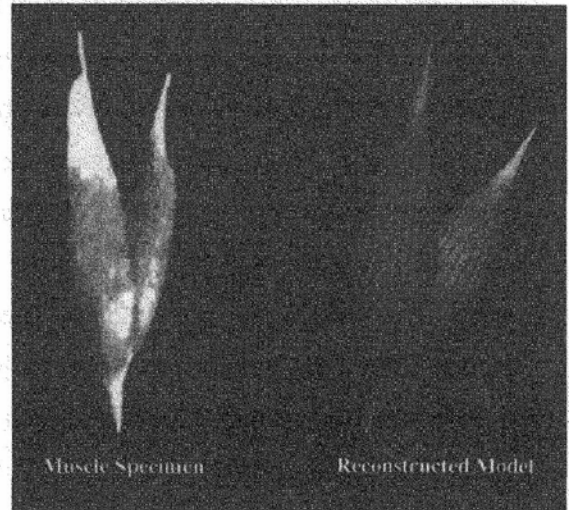


図1 骨格筋標本と再構築された筋モデル

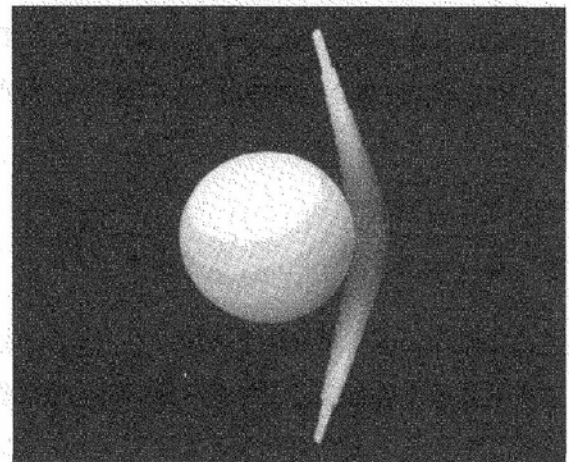


図2 筋モデルと骨領域を擬した障害物との干渉の様子



図3 肘屈曲運動のモーションキャプチャの様子

筋肉の収縮、弛緩の相互作用を画面上に表示し、解析することができるようにした。

2. 研究結果

図4に、肩胛骨を含む上肢全体の骨格系上に上肢運動において主要な伸筋、屈筋群を配置したモ

デルを示す。図5 aは、モーションキャプチャにより得た肘屈曲の状況を示したものである。図5 bは、同じモデルを用いて、前腕回内動作を表示させたものである。b) 図中の左側のヒストグラムは、各筋肉の動作状態を示す。

3. 考 察

本システムにより、計測した三次元データセットを基に、被験者の特徴を反映した骨格および筋束の走行方向を考慮した各筋肉の特性に適した変形が可能な骨格筋の三次元モデルを構築できた。また、これらをモーションキャプチャによって得られたデータを用いて駆動することにより、運動時の各筋肉の活動状況や連係動作を時間軸上で三次元的に観察することが可能になった。本システムを応用することで、筋のリハビリテーションや筋力トレーニングの効果の事前予測や、ある筋肉における局所的な損傷が体全体の動作にどのような影響を与えるか、もしくはどのような運動負荷が筋損傷発生に結びつくのかといったシミュレーションが可能になると考える。

4. 結 語

今後は、今回行った上肢以外についても骨格および骨格筋の再構築を行い、歩行運動など全身運動についての筋動態解析を行っていく予定である。

文 献

- 1) 鈴木直樹, 土屋宏子; 三次元的構造を持つ筋モデルを用いた骨格と骨格筋の四次元的解析法の検討, 第35回日本ME学会 (1996)
- 2) 服部麻木, 山岬健一, 高津光洋, 内山明彦, 鈴木直樹; 動態解析のための四次元骨格筋モデル, 日本コンピュータ外科学会 (1998)
- 3) Suzuki N, Hattori A, Yamasaki K, Uchiyama A, Takatsu A; 4D analysis of muscular dynamics using flexible 3D muscle models, *Medicine Meets Virtual Reality*, 7 (1999)

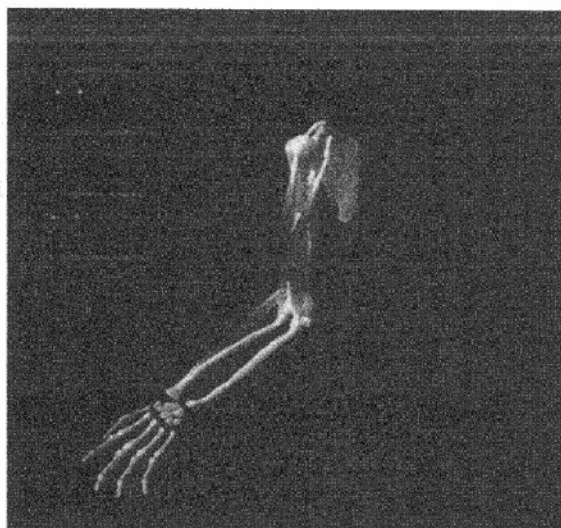


図4 肩胛骨を含む上肢骨格および骨格筋モデル

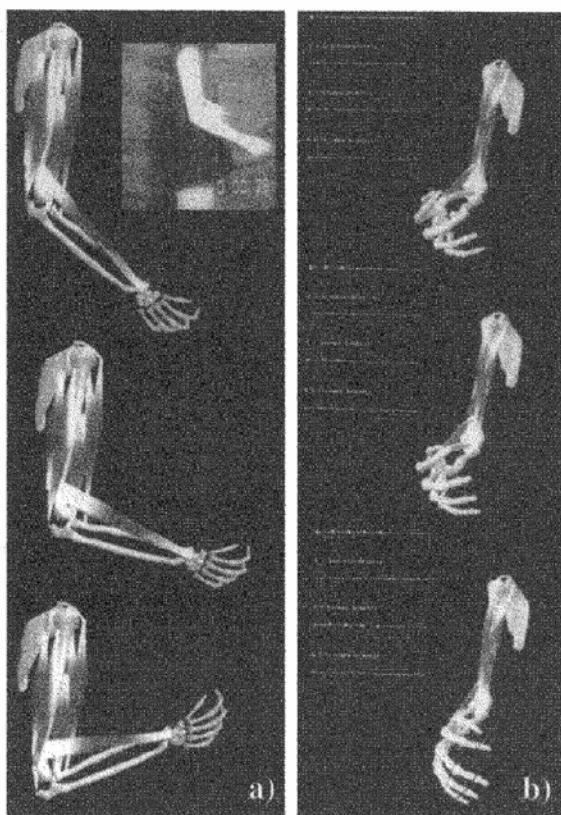


図5 モーションキャプチャデータによりモデルを駆動させた例 (a: 肘屈曲動作, b: 前腕回内動作)