

身体動作に基づく筋肉の隆起の視覚化

今井 大助 守田 了

山口大学工学部

宇部市常盤台 2557

smorita@yamaguchi-u.ac.jp

ヒトの動作に従い筋肉が隆起する。本研究では動作に応じた骨格筋の変化のメカニズムに基づく筋肉の隆起の視覚化を試みる。コンピュータグラフィックスの分野でヒトの肌をモーフィング技術を用いて表現することが行われているものの、動作に応じた骨格筋の変化のメカニズムに基づく筋肉の動きのシミュレーションは行われていない。筋肉が収縮し筋肉の長さが短くなると、筋肉は横方向に拡がる。逆に筋肉が伸びて筋肉の長さが長くなると、筋肉は縦方向に拡がり横方向には細くなる。これは筋肉の収縮に従い、筋繊維が移動することによりおこる。本稿ではこのメカニズムに着目し、筋肉の収縮に従い筋肉の体積が変化しないように、筋肉を変形する機構を導入する。主要な骨格と筋肉を用いて身体動作に基づく筋肉の隆起を視覚化する。さらに筋肉の表面に平均曲率の総和が最小の曲面である薄い膜で覆うことにより、筋肉に基づく皮膚の表面を模擬する。実際にブルー・スリーがナンチャクを振るシーンを再現し本手法の有効性を示す。

キーワード 筋肉, 骨格, 身体動作

Visualization of Skeleton Muscle Deformation Based on Human Motion

Daisuke Imai and Satoru MORITA

Faculty of Engineering, Yamaguchi University

2557 Tokiwadai, Ube, 755, Japan

As human rotates the joint, the muscle deforms. In this paper, we try to visualize the muscle deformation based on the deformation mechanism according to human motion. In the field of computer graphics, human skin is represented using morphing techniques and the motion capture is used to get human surface data. But the muscle deformation is not realized based on human motion. As the muscle length is shorten, the muscle expands. As the muscle length is lengthen, the muscle shrinkage. This occurs by moving the muscle fiber according to the muscle deformation. In this paper, we introduce the mechanism to calculate the movement without changing the volumes. The muscle deformation is realized using the major muscles and skeletons. Moreover, we simulate the skin by covering the muscles using the thin film. We calculate the surface that the sum of the mean curvature is the minimum and the sum of the distance between the muscle and the skin is the minimum. We shows the effectiveness by simulating the movement of the movie actor using the proposed system.

keyword: Muscle, Skeleton, Human Motion

1 はじめに

近年人体に関する研究が様々な分野で行われている。コンピュータグラフィックスの分野ではアニメーションや映画に使用するための人体のモデリングが研究されている。近年デジタル計測技術により精巧な人体の体の表面を計測することが可能になってきている。他方で光センサや映像を用いてヒトの骨格の動きを計測する技術が注目されている [1]。また医用分野ではMRIやCTを用いて表面だけでなく内部も測定することが可能になっている。他方ロボットの分野では従来の走行型のロボットから二足歩行ロボットへ研究が移行し、人型ロボットの体を動かす機構が研究されている。

腕を折りたたみ力をいれると力こぶができる。また膝を屈伸すると筋肉が隆起する。ヒトが動作を行うとその動作に応じて筋肉が隆起する。本稿ではこの筋肉の隆起の視覚化に注目する。近年顔の表情のアニメーション作成のために顔の表情筋に基づく顔の変形が試みられている [2]。一方ヒトの肌をモーフィング技術を用いて表現することが行われているものの [3][4]、動作に応じた骨格筋の変化のメカニズムに基づく筋肉の動きのシミュレーションは行われていない。そこで本研究では動作に応じた骨格筋の変化のメカニズムに基づく筋肉の視覚化を試みる。

筋肉は多数の筋繊維からできている [5][6]。筋繊維を収縮させる構造は重なりあった太いフィラメントと細いフィラメントからなる筋原線維によりおこる。筋肉が収縮し筋肉の長さが短くなると、筋肉は横方向に拡がる。逆に筋肉が伸びて筋肉の長さが長くなると、筋肉は縦方向に拡がり横方向に細くなる。これは筋肉の収縮に従い、筋繊維が移動することによりおこる。本稿ではこのメカニズムに着目し、筋肉の収縮に従い筋肉の体積が変化しないように、筋肉を変形する機構を導入する。この機構により主要な骨格と筋肉 [5][6] を用いて人体の主要な動きに基づく筋肉の隆起を視覚化する。一般に肌の内部にある筋肉の動きを視覚化することは難しく、筋肉の動きを視覚化することは教育的効果が期待できる。さらに筋肉の上に薄い膜をかぶせることにより肌の動きの視覚化が可能になる。筋肉の表面を平均曲率の総和が最小の曲面である薄い膜で覆うことにより、筋肉に基づく皮膚の表面を模擬する。本稿では実際にブルー・スリーがナンチャクを振るシーンを再現し本手法の有効性を示す。

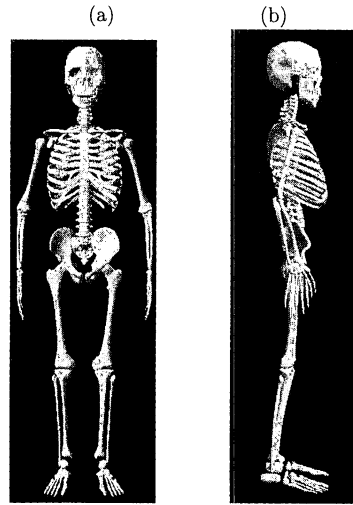


図 1: (a) 前方向からみた骨 (b) 横方向からみた骨格

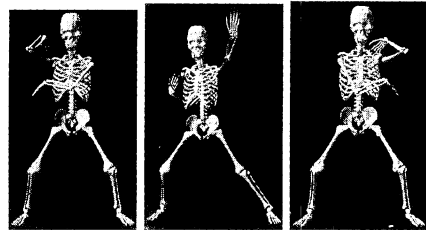


図 2: ナンチャクを振る動作の骨の動き

2 骨格と筋肉

2.1 骨格

成人の骨格は206個の名前のついた骨からなり、このうちの大部分は身体の左右で対になっている。80個の体幹の骨格と126個の骨からなる付属肢骨格からなる。これらの骨格が間接を介して接続されている。骨格を介して接続されている骨を階層関係で記述する。軸骨格に近い部分を親、軸骨格から離れている部分を子供とする。

このようにして人体の骨格を構成した。図1(a)は前方向からみた骨であり、図1(b)は横方向からみた骨格である。図2はナンチャクを振る動作の骨の動きである。

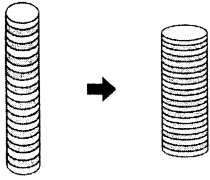


図 3: 骨格筋の変化

2.2 骨格筋

人間の体は皮膚、筋肉、骨、内蔵、神経などいろいろな組織で形成されている。それらの組織を大別すると、上皮組織、結合組織、筋肉組織、神経組織にわけられる。これらの中で収縮できるのは筋肉だけである。筋肉組織は形態や役割から骨格筋、平滑筋、心筋の3つに分けられる。骨に付着し骨格を覆うように重層している骨格筋組織は骨格を構成する骨を動かして機能する。骨格筋は意識的に収縮の速さや強さを調節できる。平滑筋は胃腸血管の壁にみられるので内蔵筋とよばれ、不随意に収縮する。また心筋は心臓にみられ、不随意に収縮する。筋繊維はやわらかくもろい。そのため数多くの筋繊維の束を筋組織が包み強さを与えている。骨格筋が収縮すると、それについている骨格を動かしてさまざまな身体運動を生じさせる。骨格筋は全身に大小400種余りあり、体重の約40%を占めている。

2.3 骨格筋の隆起のメカニズム

筋長に基づき筋肉の収縮が変化する。筋肉の形状は、筋肉が骨格に接続する本数により分類される。二頭筋、三頭筋は片側が一本で骨に接続し、もう片側が二箇所、三箇所骨に接続する。骨と骨は間接を介して接続されている。骨格筋は骨と筋を接続している。2つの骨を骨格筋がつなぎ、骨格筋が収縮することによって骨間の間接角を変化する。筋肉の長さが短くなるとそれに従い筋繊維が横方向に移動し、筋肉が横に広がる。筋肉の長さが長くなるとそれに従い筋繊維が縦方向に移動し、筋肉が細長くなる。図3はこのような骨格筋の変化を示している。本稿では主要な骨格筋により人体を構成する。図4(a)は前方からみた筋肉図4(b)は背中の筋肉を表している。図5(a)(b)(c)(d)はそれぞれ三角形、紡錘形、二頭筋、三頭筋筋繊維を表している。図6は肘曲げに基づく筋肉の形の変化を表している。図3は肘を曲げる動作に従い上腕と下腕間を接合する上腕二頭筋が短くなり、上腕二頭筋が太くなる様子が示されている。

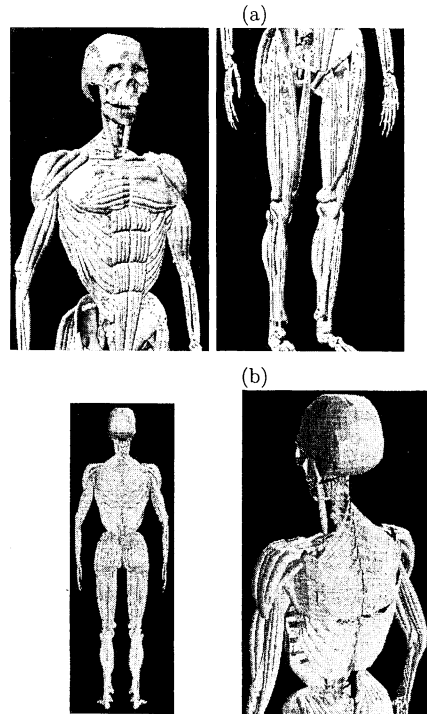


図 4: (a) 前方からみた筋肉 (b) 背中の筋肉

骨格筋の記述について説明する。骨格筋は少なくとも2つの結合している骨を持っている。そこで各間接に対して2つ以上の骨を記述する。また結合部の位置を記述する。図7は骨格筋における筋肉と骨の接合部を示している。これら骨格筋の結合部は、骨を接合する間接角の回転に基づき移動する。2つ以上の骨が非同期に移動することで結合部の位置は変化し、それにともない筋長が変化するために筋肉の太さは変化する。筋の長さが $|a|$ から $|b|$ に変更する場合、筋繊維の位置は筋肉の中心線に対する距離が r とすると、もともとの体積は $V = r * r * |a|$ となる。それに対して変更後の体積は $V' = r' * r' * |b|$ に変わる。 $r' = r * \sqrt{\frac{|a|}{|b|}}$ に変更することで、体積は変わらない。体積の変化率 k 倍を与える。すなわち変更後の半径は $r' = k * r * \sqrt{\frac{|a|}{|b|}}$ と表せる。体積が変化しない場合は $k = 1.0$ である。体積は $k * k$ 倍に変化する。 $k = 0.9$ であれば体積は0.81倍に変化する。

ヒトにより筋肉の太さが異なる。太い筋肉は強い収縮力を生む。このような太い筋肉は繰り返し反復運動などを繰り返すことによる。筋肉の太が変わると筋肉の隆起の程度が変わる。図8では骨格筋の繊維の太さ

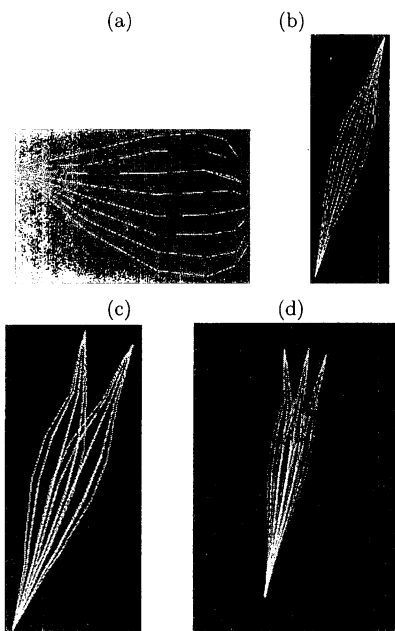


図 5: 筋繊維 (a) 三角形 (b) 紡錘形 (c) 二頭筋 (d) 三頭筋

が異なる 2 種類について、ひじ曲げの動作を入力として与えた場合の骨格と骨格筋の変化を計算した結果である。図 8(b) では $k = 1.5$ を用い、図 8(a) では $k = 1.0$ を用い、体積では 2.25 倍にあたる。但し上図は 11 フレーム目、下図は 31 フレーム目の画像である。筋肉の太さの違いが明らかである。

2.4 骨格筋の隆起に基づく皮膚の生成

さらに筋肉の表面に平均曲率の総和が最小の最小曲面である薄い膜を覆うことにより、筋肉に基づく皮膚の表面を模擬する手法を提案する。筋肉との距離の総和が最小で平均曲率の総和が最小の曲面を計算する。

$$E = \epsilon_1 \int_{x \in S} \kappa_{min}(x) dx + \epsilon_2 \int_{x \in S} D(x) dx$$

ϵ_1 と ϵ_2 は両者の制約の比重を与える。 $\kappa_{min}(x)$ は表面上の平均曲率を表す。 $D(x)$ は表面上の筋肉との最短距離を表す。この計算により簡易に皮膚を作成できる。 S は表面上の点を表す。

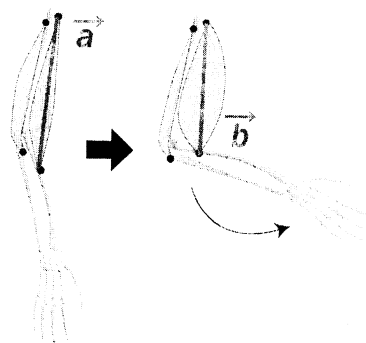


図 6: ひじ曲げに基づく筋肉の形の変化

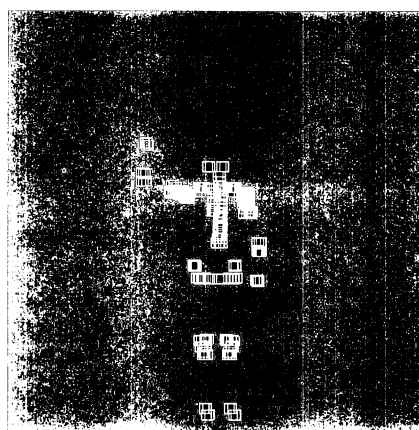


図 7: 骨格筋における筋肉と骨の接合部

3 身体動作に基づく筋肉の隆起

本システムにより筋肉の隆起を視覚化する流れを説明する。

- ヒトの骨格に動作を与える。
- 2.3 に基づき骨格筋の動きを計算し視覚化する。
- 2.4 に基づき骨格筋の動きから皮膚の表面を計算し視覚化する。

ブルー・スリーのナンチャクを振り回す動作とひざ蹴りの動作を作成した。図 9 はひざ蹴りシーンの動作における骨格の動きを入力として与え、骨格と骨格筋の変化を計算した結果を示している。 $k = 1.5$ を用い、(a)(b)(c)(d) はそれぞれ 1 フレーム目、11 フレーム目、21 フレーム目、31 フレーム目の結果である。図 10 はナンチャクを振

るシーンの動作を入力として与え、骨格と骨格筋の変化を計算した結果を示した。 $k = 1.5$ を用い、(a)(b)(c)(d)はそれぞれ40フレーム目、60フレーム目、80フレーム目、100フレーム目の結果である。関節が折り曲がることにより、骨間の距離が短くなり、骨格筋が隆起する様子がわかる。動作に基づく筋肉の収縮が適切に視覚化されていることがわかる。

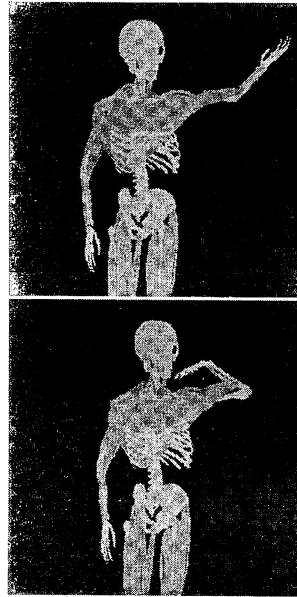
4 おわりに

主要な骨格と筋肉を用いて身体動作に基づく筋肉の隆起を視覚化した。実際に生成された結果から、筋肉の隆起の特徴が示されていることが明らかになった。

参考文献

- [1] B. Allen, B. Curless and Z. Popovic, Articulated Body Deformations from Range Scan Data, Proc. of SIGGRAPH2002, 2002.
- [2] K. Kahler, J. Haber and H. Seidel, Reanimating the Dead: Reconstruction of Expressive Faces from Skull Data, Proc. of SIGGRAPH2003, 2003.
- [3] A. Mohr and M. Gleicher, Building Efficient Accurate Character Skins from Examples, Proc. of SIGGRAPH2003, 2003.
- [4] B. Allen, B. Curless and Z. Popovic, The spaces of human body shapes reconstruction and parameterization from range scans, Proc. of SIGGRAPH 2003, 2003.
- [5] G. J. Tortora, S. R. Grabowski, Principles of Anatomy and Physiology, 10th Edition, 丸善株式会社, 2004
- [6] J. W. Rohen. 横地千刃. Lutjen-Drecoll, Color Atlas of Anatomy : A Photographic Study of the Human Body, Fifth Edition, 医学書院, 2004

(a)



(b)

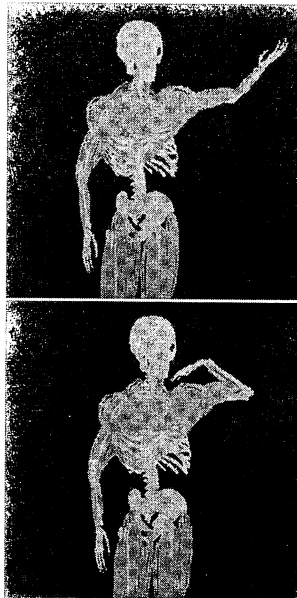


図 8: ひじ曲げシーンの動作における骨格筋の太さの違い。但し上図は11フレーム目、下図は31フレーム目である。(a) $k = 1.0$ (b) $k = 1.5$

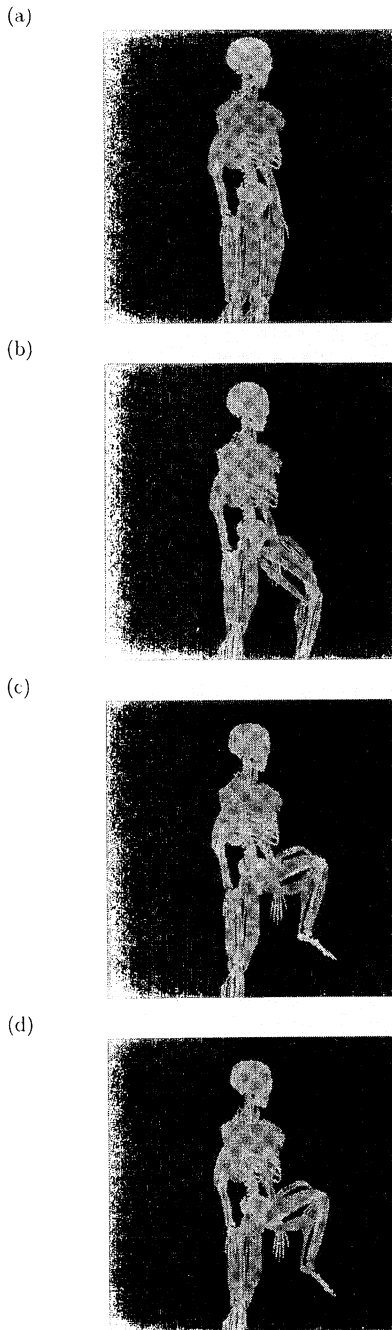


図 9: ひざ蹴りシーンの動作における骨格と骨格筋 $k = 1.5$ (a)1 フレーム目 (b)11 フレーム目 (c)21 フレーム目 (d)31 フレーム目

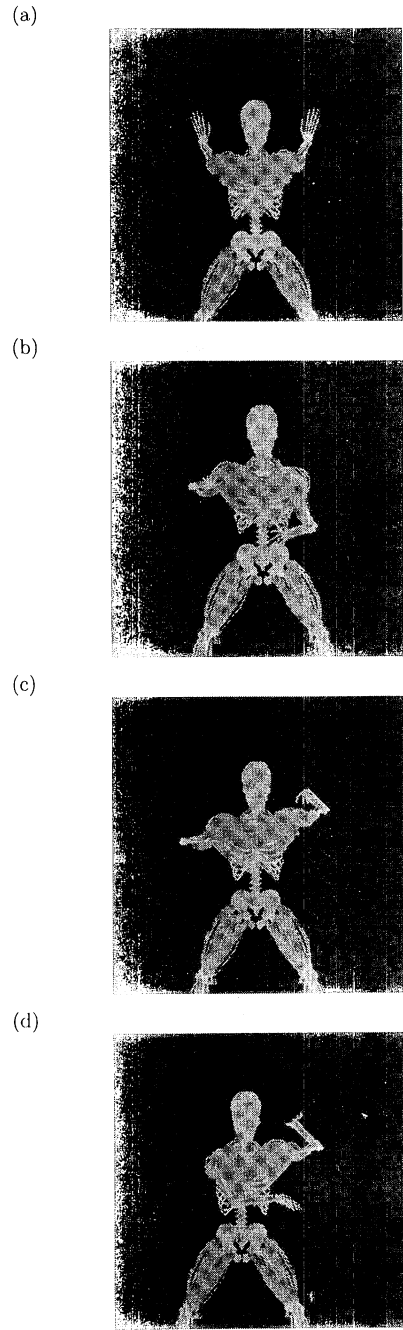


図 10: ヌンチャクを振るシーンの動作における骨格と骨格筋 $k = 1.5$ (a)40 フレーム目 (b)60 フレーム目 (c)80 フレーム目 (d)100 フレーム目