

弾性モデルで表現された体組織を用いた人体の動作シミュレーション

Simulation of Human Motion by Using a Tissue Represented by Elastic Object

稲葉 洋(中京大), 宮崎慎也, 長谷川純一

Hiroshi INABA, Chukyo University, 101 Tokodachi, Kaizu-cho, Toyota-shi, Aichi

Shin-ya MIYAZAKI, Chukyo University

Jun-ichi HASEGAWA, Chukyo University

This paper presents generation of human motion based on a limb model consisting of rigid bones and elastic tissues such as skeletal muscle or skin. And the elastic part consists of two parts. The first part corresponds to skeletal muscle that generates force to shrink and starts deformation. The second part does subcutaneous tissue that deforms according to deformation of the other tissue. An elastic object model based on the criterion of maintaining local shapes of objects is used for computation of the shape of tissue. The application of the model to leg movements is also presented.

Key Words: Automated Generation of Human Motion, Elastic Object, Skeletal Muscle, Skin

1 はじめに

近年、計算機内に構築された仮想的な人体(人体モデル)を用いて、人体の動作を自動生成しようとする試みが盛んに行われている[1],[2]。特に、動作時における体組織の形状変化を実際に近く表現することができれば、骨格、筋、関節などの各組織の空間的配置やそれらの複合的な動きを理解する助けとなり、医療やスポーツ分野への応用が期待できる。しかし、形状変化を忠実に表現するには、仮想的な人体を自由に操作できるモデルが必要となる。

そこで本研究では、姿勢変化に伴う軟部組織の形状変化を実時間でシミュレーションするために、骨格の剛体モデルと筋肉や皮膚の弾性体モデルを統合させた一つの人体モデルを提案する、とくに、弾性体部分は、収縮力を模倣した変形を能動的に行える筋肉モデルと、骨格や骨格筋の変化に応じて変形する実際の皮膚部分にあたる非筋肉部モデルから構成される。本文では、人体断層像より得られた下肢に対して本モデルによる動作シミュレーションの結果を示す。

2 人体モデル

本システムにおける動作生成の概要を示す。まず、剛体である骨格モデルに対し筋肉モデルを配置する。筋肉モデルは収縮動作により筋力を発生し、これが関節の回転運動を生成するためのトルクとなる。これにより人体の姿勢が変化する。この変化に伴って、筋肉、皮膚等の他の弾性組織が変形する。

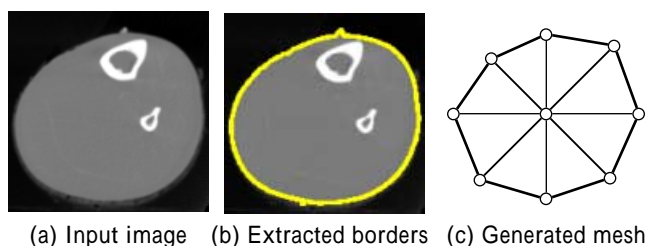


Fig 1. Generation of shape of body tissue

2.1 体組織形状

筋肉・皮膚形状の構築には、CTやMRIに代表される人体断層像を利用する。これら各断層像中に含まれる各部位は、実時間処理を考慮し、元の形状をある程度簡略化した立体格子で近似する。以下に具体的手順を示す。

Step 1. スライス数の削減 入力された断層像に対して、先頭スライスと最終スライス間を一定の間隔で間引きする。

Step 2. 輪郭の簡略化 Step 1.により得られた代表スライスの断層像に対して、それぞれ以下の処理を行う。

2-1. 組織領域の輪郭を抽出する。

2-2. 領域の中心から、ある一定の角度間隔で放射状に出る半直線と輪郭との交点を求める。この点を格子の頂点とする(Fig 1)。

Step 3. 格子の作成 これらの対応する交点を代表スライス間で結び立体格子を構成する。

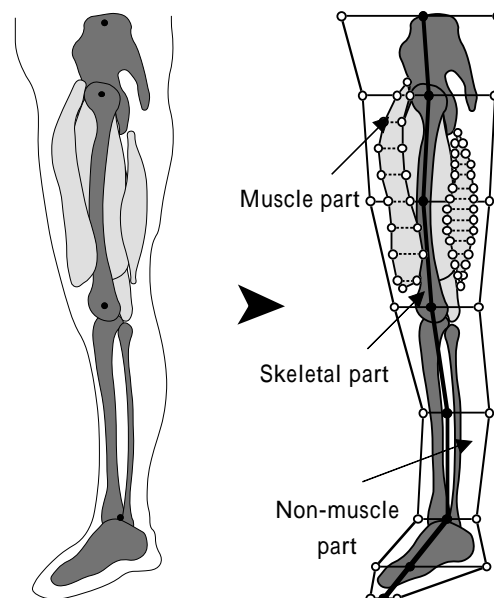


Fig 2. Human body model with skeleton, muscle, and skin

2.2 組織の構成

人体モデル全体は、体姿勢の基礎となる骨格モデル、人体動作を生成する筋肉モデル、それらを覆い体表を形成する非筋肉部モデルにより構成される。これらの配置は、実際の断層像にもとづいて決定される(Fig 2)。非筋肉部モデルの形状は、骨格モデルと筋肉モデルの形状に基づいて決められる(Fig 3)。

3 動作生成

3.1 筋肉の収縮

立体格子で構成される筋肉モデルは、筋形状の長軸方向の中心線にも質点・バネを配置する、この中心線上に配置される質点に対し筋を短縮させるための力(収縮力)を付加し筋力を発生する。また、中心線の短縮に応じて体積保存の基準にもとづいて断面を拡大するように格子の形状を変化させる(Fig 4)。

3.2 非筋肉部の弾性変形の計算

非筋肉部モデルの弾性変形の計算には、我々の研究グループにより提案されている局所形状保持モデル[3]を用いた。このモデルは、物体形状を局所的な基本形状(セル)の集合として表現し、変形を受けると、初期形状を保持しようとする応力が発生する。このモデルは、従来用いられる質点バネモデルと比べ、3次元的な構造要素を保持する点が特徴である。

非筋肉部モデルの変形は、姿勢変化時における骨格モデルの移動による変形(大局的変形)と、筋肉モデルの形状変化による変形(局所的変形)に大別されるが、前者により変形後の大まかな形状が決定され、後者により、筋肉モデルの膨張に応じた変形が反映される。

4 実験および考察

上記モデルによる変形シミュレーションの結果を示す(Fig 5,6)。なお、体組織(骨、筋、皮膚)の形状は、断層写真像(Visible Human Dataset)から半自動で抽出した。また、関節位置は、得

られた骨格形状から推定した。実験では下肢動作の屈曲動作に特に関係の深い6本の筋肉モデルを配置した。また、非筋肉部モデルは半透明表示し、骨格モデル、筋肉モデルの状態を可視化表示している。

実験より、本システムにより、筋肉モデルの収縮動作による筋の短縮や膨張の様子、および、それに伴う骨格移動の観察、また動作シミュレーション時における体組織の変形が可能であることを確認した。非筋肉部モデルの変形においては、関節位置での皮膚の伸びは、実際に受ける印象に近い自然な結果が得られた。しかし、同位置での皮膚の縮みは、変形の度合いが大きかったためか、内部へのかなりのめり込みが見られた。また、全体に非筋肉部モデルのねじれが確認された。これは、変形時に質点に加わる力が他の輪郭の質点に伝播したと考えられる。

今後の課題として、非筋肉部モデルのねじれの抑制、変形の実時間処理、実際の人間に近い筋力の発生モデルの導入などが挙げられる。

謝辞

日頃熱心にご議論いただく本学長谷川研究室諸氏に感謝する。なお、本研究の一部は文部省私立大学HRC補助金による。

参考文献

- [1]MusculoGraphics, Inc., " SIMM (Software for Interactive Musculoskeletal Modeling) ",<http://www.musculographics.com/>
- [2]山岬 健一, 鈴木 直樹, 服部 麻木, 高津 光洋, 内山 明彦: " 運動機能の四次元的解析を目的とした骨格筋モデルの開発 ", 日本コンピュータ外科学会誌, Vol. 2, No. 1, pp.22-29 (May. 2000)
- [3] 宮崎慎也, 吉田俊介, 安田孝美, 横井茂樹: " 局所形状保持に基づく仮想弾性物体モデルの提案 ", 電子情報通信学会論文誌, J82-A, 7, pp.1148-1155 (1999.7)

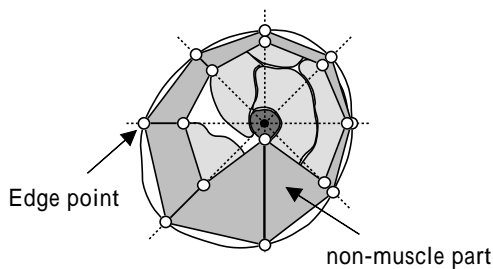


Fig 3. A section view of model

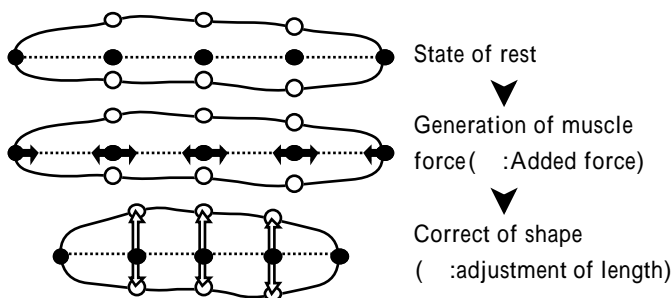


Fig 4. Contraction model of muscle

(Mass point, Edge point, ... Center line of muscle)

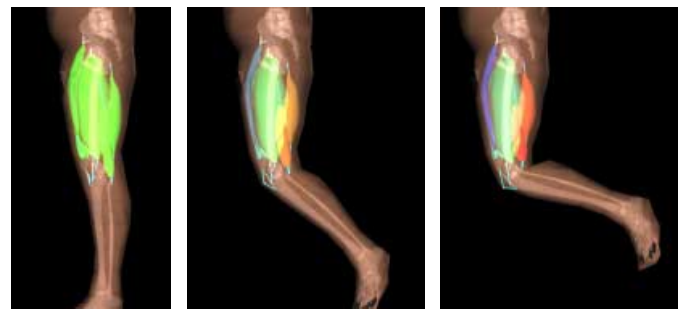


Fig 5. Results of simulation

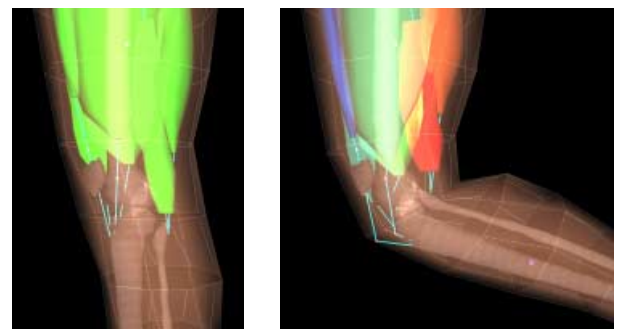


Fig 6. A result of skin deformation at aknee joint