

## 義足ソケットの定量的評価と設計システムの開発

## ～MRI 画像を用いた有限要素解析～

## Development of quantitative evaluation and design system for prosthetic socket

## ～Finite element analysis by using MRI～

○ 藤並晶一郎 (芝浦工業大学) 杉本貴亜 (芝浦工業大学)

東江由起夫 (新潟医療福祉大学) 大塚博 (人間総合科学大学) 花房昭彦 (芝浦工業大学)

前田雄 (新潟医療福祉大学) 山本紳一郎 (芝浦工業大学)

Shoh-ichiroh FUJINAMI, Shibaura Institute of Technology Takatsugu SUGIMOTO, Shibaura Institute of Technology

Yukio AGARIE, Niigata University of Health and Welfare Hiroshi OTSUKA, University of Human Arts and Sciences

Akihiko HANAFUSA, Shibaura Institute of Technology Yuu MAEDA, Niigata University of Health and Welfare

Shin-ichiroh YAMAMOTO, Shibaura Institute of Technology

**Abstract:** The aim of this study is to develop quantitative evaluation and design system for prosthetic socket by analyzing the data of internal tissues of trans-femoral amputee's limb equipped. MRI of residual limbs of trans-femoral amputee equipped two type prosthetic sockets designed different method and no equipped one were used for extracting outlines of each internal tissue (skin, fat, muscle and bone). Plot data extracted from MRI were interpolated to 360 data at an interval of 1degree by using spline approximation. The cross sectional area (CSA) of internal tissues were calculated from the approximation data of residual limb equipped and no equipped prosthetic socket were calculated. There were different patterns of the relationship between height of limb and CSA of internal tissue among three different residual limbs.

**Key Words:** Residual limb, Finite element analysis, Spline approximation

## 1. 研究背景・目的

義足ソケットは切断した下肢の機能を補う義足の構成要素であり、断端と義足のインターフェースで体重を支持し、運動を伝達させる役割がある。現在、日本で製作されている義足ソケットは確立された設計理論に基づいた製作手法により、義足装具士によって製作されている。その際、義足ソケット装着時に断端に加わる圧力が適切に作用するように設計され、高い支持性を作り出し、身体との適合性を高めている。しかしながら、現代の義足ソケットの製作工程は全て義肢装具士の手作業によるものなので、経験や熟練度に依存してしまう主観的且つ定性的な手法である。このために製作技術の獲得や伝承に時間が掛かるという欠点がある。このことから断端の骨や筋などの内部情報を基に定量化したデータを用いた製作方法による経験の浅い装具士への義足ソケット製作支援の確立が求められる。これまでに医療画像を用いた断端モデルの作成や内部組織の機械的特性を解析する研究も行われているが、義足ソケットの設計システムの確立に至っていない。

本研究では、ソケット装着時の断端内部組織のデータを計測、解析することによって定量的評価と設計支援システムの開発を目指している。本演題では義足ソケット内の医療画像により内部組織を分類し、有限要素法 (Finite Elemental Method) を用いた 3 次元モデルを作成したことを報告する。

## 2. 研究方法

## 2-1 使用する義足ソケットモデル

義足ソケット装着時の内部組織の形状変化について設計方法の異なる義足ソケットモデルごとの比較を行うため、本研究では UCLA モデルと AG モデルを使用した。

UCLA モデルは装着時の安定性を高めるために左右方向に狭く、断端の外転を防ぐため外壁部に高い支持を持つ坐骨収納型の義足ソケットであり、UCLA で確立された設計方法で

製作されるモデルである。

AG モデルは UCLA の設計理論に加え、前後方向にも高い支持を持つように改良を加えたモデルである<sup>(1)</sup>。

## 2-2 断端内部組織の輪郭抽出

被検者は右大腿部切断の成人男性 3 名であった。ソケット非装着時、UCLA モデル装着時、AG モデル装着時の内部組織の形状を磁気共鳴画像 (Magnetic Resonance Imaging : MRI) によって取得し、断端の末端から股上位の位置の高さまでの範囲内で 10[mm]間隔の画像データを取得した。この時、内部組織の輪郭が非線形であった。このことから各内部組織の輪郭を等角度間隔ごとにプロットし、骨の輪郭データから算出した重心位置を中心とするサイクル式の関数としてスプライン関数によるデータ補間を行った。この時、1[deg]間隔 360 個に補間した値を各内部組織の輪郭データとして抽出した。

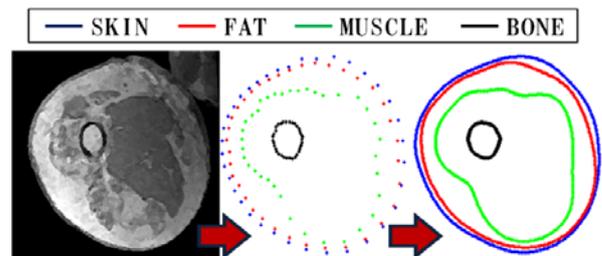


Fig. 1 Extracting outlines of internal tissues from MRI

## 2-3 断端 FEM モデル化

2-2 で抽出した各内部組織の輪郭データを試行内容中の断端形状ごとに 3 次元的位置合わせによる統合を行

い、10[deg]間隔 36 個の座標値データを FEM モデル構成要素のノードとして定義した。定義したノードデータを基に 3 試行別の断端及び義足ソケットの外形を再現した 3 次元的な FEM モデルを作成した (Fig.2)。

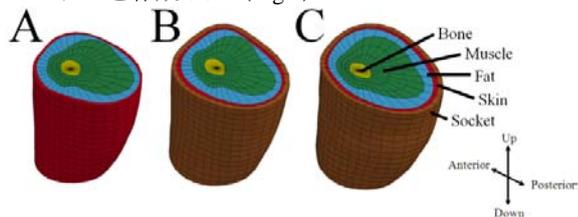


Fig.2 FE model

(A: No equipped. B: Equipped UCLA. C: Equipped AG)

### 2-4 断端内部組織の断面積算出

内部組織の輪郭データを補間するスプライン関数による関数近似の処理を行った際に扱った骨の重心位置を基準に各内部組織の輪郭データは 1[deg]間隔ごとに放射線状に対して直線上に存在する。このことから内部組織の輪郭データ中で隣接する 2 点と原点で 3 角形を形成し、補間時の各内部組織の座標データ各 360 個を用いて同数の 3 角形面積を算出し、統合することで、MRI 中における各内部組織の断面積を算出した。

### 3. 結果・考察

被検者 1 名のソケット非装着時、UCLA・AG 装着時の内部組織の輪郭から取得した断端股上位から末端までの内部組織の断面積結果を Fig.3 に示す。

骨のデータでは 3 つの断面積を比較しても股上位から末端までに大きな面積変化はみられなかった。

筋のデータで UCLA・AG 装着時の断面積を非装着時と比較すると、装着前には股上位では組織が多く存在するのに対し、装着後では両ソケットとも股上位から末端まで組織量が減少した。ソケット間での比較を行った場合、UCLA と AG 装着時のそれぞれの断面積に大きな違いはみられなかった。

脂肪のデータで UCLA・AG 装着時の断面積を非装着時と比較すると、装着前では組織が股上位で多く存在し、末端に向けて徐々に減少していく形状であったのに対し、装着後では両ソケットとも股上位の組織が減少し、末端付近で増加した。ソケット間の比較では、UCLA と AG はどちらも股上位付近の組織の変化量が同程度であるようにみられるが、UCLA 装着時の末端付近では AG 装着時よりも組織量が増加した。

皮膚のデータで UCLA・AG 装着時の断面積を非装着時と比較すると、装着前よりも股上位の組織量は増加し、末端付近で減少した。ソケット間での比較を行った場合、UCLA と AG 装着時のそれぞれの断面積に大きな違いはみられなかった。

各内部組織の断面積結果からソケット非装着時と装着時での各内部組織の組織量は増加した。ソケット装着時の内部組織の形状変化は骨以外ではどれも股上位付近の組織は非装着よりも減少し、末端付近では増加するという傾向がみられ、他の被検者のデータからも類似する結果が得られた。ソケット装着時のデータにおけるソケット間での骨を除いた 3 種類の内部組織の形状変化量を比較した場合、いずれも股上位付近の組織量に大きな違いはみられないが、筋では断端の中間付近から末端にかけて UCLA よりも AG で多く増加し、脂肪と皮膚では UCLA 装着時が AG よりも装着後に多く増加した。

断端全体の断面積を Fig.4 に示す。断端全体の結果からも断端内の組織量がソケット装着前と装着後では大きく異なる結果が得られた。UCLA 装着時と AG 装着時での内部組織は装着前と比較した場合、股上位付近の組織が減少し、末端付近では増加する傾向にあることがわかった。UCLA と AG の比較を行った場合、装着時の内部組織量の増加・減少の傾向は異なる部

分もあるが、断端全体での変化量は両ソケット間に大きな違いはみられなかった。今回の解析では、装着時における使用間は UCLA と AG で異なるという使用者の主観から示唆されるソケット間における設計手法の違いを示すことができなかった。今後、これらを示すことができる解析方法の検討を行い、ソケット間での適合性の評価方法を確立する必要がある。

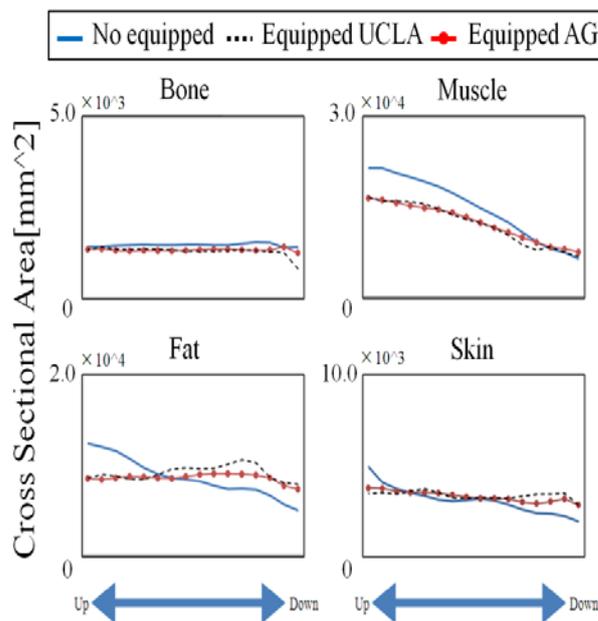


Fig.3 Cross sectional area of internal tissues

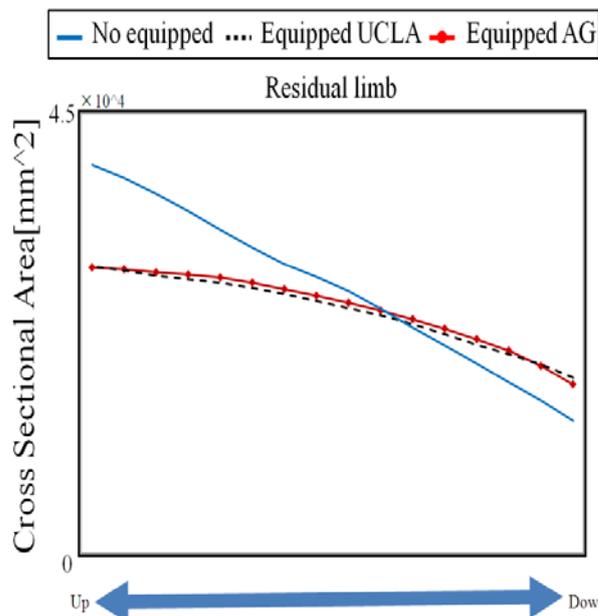


Fig.4 Cross sectional area of residual limb

### 4. 展望

今後は作成した断端モデルをソケットモデルに装着させるシミュレーションを構築し、装着時における初期状態での圧力・せん断応力を予測する解析方法の検討を行う。また、ソケット装着による歩行時に断端の骨に加わる力をモデルに加えた場合の内部組織形状変化・圧力・せん断応力を定量化する。

### 参考文献

- (1) 東江由起夫, 採型技術によって適合を高める坐骨収納型義足ソケット, 日本義肢協会関東支部セミナー, 2007