

大腿義足ソケット形状および断端内部組織の定量的解析と評価

Quantitative analysis and evaluation of prosthetic sockets for trans-femoral amputees

○ 黒澤和馬(芝工大) 田山文子(芝工大) 工藤義恭(芝工大)

斎藤拓也(芝工大) 花房昭彦(芝工大) 大塚博(人科大)

東江由起夫(新潟医療大) 大西謙吾(東電大) 山本紳一郎(芝工大)

Kazuma KUROSAWA, Shibaura Institute of Technology, Fumiko TAYAMA, Shibaura Institute of Technology
 Yoshitaka KUDO, Shibaura Institute of Technology, Takuya SAITO, Shibaura Institute of Technology
 Akihiko HANAHUSA, Shibaura Institute of Technology, Hiroshi OHTUKA, University of Human Arts and Sciences
 Yukio AGARIE, Niigata University of Health and Welfare, Kengo OHNISHI, Tokyo Denki University
 Shinichiro YAMAMOTO, Shibaura Institute of Technology

Abstract: Prosthetic socket is the important part of prosthesis. In this study, paid attention to prosthetic sockets of trans-femoral. The aim of this study is to quantify and evaluate of prosthetic sockets by analyzing internal tissues of residual limb and simulating sockets donning. We analyze MR image of residual limbs and calculate sectional area of each internal tissue (fat, muscle and bone). In this study, we measure two different prosthetic sockets. We define epiphysis is a reference point. As a result, found tend to extend fat in distal direction in attaching sockets rather than non-attaching socket. We suggest distort limb by attaching sockets. Fat is most deformation tissue of internal tissues. We suggest fat is most relationship of prosthetic socket. Also, we made a 3D model of finite element. Feature, we will analyze by finite element.

Key Words: Trans-femoral, Prosthetic sockets, Magnetic resonance imaging

1. 序論

義足とは、切断により下肢を欠損した場合に、元の形態や機能を復元するために使用する人工の足である。義足の構成要素の1つであるソケットは、切断端と義足を直接結び付ける重要な役割を担い、切断端の形状をそのままに作られるのではなく、筋や腱、骨などの断端内部組織の情報を基に形状が決定される。さらに、体重支持や運動の伝達、義足の懸垂性といった機能面にも特化していなければならない。現在の義足ソケットは、切断者各人に適合するものを義肢装具士が手作業で製作しているため、定性的で主観的である要素が多い。適合していない場合、痛みや擦過傷など断端に傷をつける可能性が考えられる⁽¹⁾。そのため、義肢装具士の経験に依存せず適合性の高い義足ソケットの製作を支援するシステムの開発を目的とした研究が進められている。先行研究として、下腿断端のCT画像から皮膚と骨の輪郭抽出を行い、三次元ソリッドモデルを作成した研究⁽²⁾や、大腿断端のMRI画像から皮膚と骨の輪郭抽出を行い、三次元モデルを作成した研究⁽³⁾などがある。このように断端形状に関する研究はいくつか行われているが実際にソケットの設計や製作などのコンセプト実現までには至っていないのが現状である。

これらのことから我々の研究グループでは、MRI画像から断端の形状変化を解析し、有限要素法を用いて義足ソケットのシミュレーションを行ってきた。しかしながら、画像のスライスが粗く、精度が低いことが課題であった。また、シミュレーションで使用しているモデルがソケット装着時の断端であるため、ソケット装着による断端の形状変化をシミュレーション出来ていなかった。

そこで本研究では、MRI画像のスライスの分解能をあげ、シミュレーション解析の精度を向上させ、断端形状の変化を精査することを目的とした。

2. 計測内容

本研究では大腿切断者3名の大腿部MRI画像から異なる2種類のソケット装着時、非装着時各々の骨、筋、脂肪の断面積を算出する。算出した断面積を比較して、各ソケット装着時および非装着時の断端の形状変化を評価した。さらに、断端内部組織の情報から有限要素法を用いた3Dモデルを作製し、断端を強制変位させ、ソケット装着時の圧力分布を調査した。

3. 計測方法

被検者は大腿部切断男性3名である。被検者情報はTable.1に示した。今回使用したソケットはUCLAソケットとAGソケットの2種類である。2つのソケットは坐骨収納型(IRC)ソケットの一種である。UCLAソケットは、断端の左右方向に高い支持性を持つソケットであり、製作過程の石膏モデル時に修正を加えて製作される。またAGソケットは、共同研究者である東江氏が提唱したものであり、UCLAソケットの設計理論に加え、断端の左右前後方向に高い支持性を持つソケットである。AGソケットは採型時に圧迫を加えて製作されており、2つのソケットは製作過程が異なっている。

計測機器にはMRI装置(Magnetom Symphony Maestro class, SIEMENS)を使用した。MRI画像は、専用の画像抽出ソフトウェア(Voxar3D, Barco)を用いて大腿骨頭と大腿骨切断部の最末端を直線で結ぶように位置合わせを行った。解析には水平面で1[mm]間隔に輪切りした断面画像を使用した。

Table 1 Physical characteristics of subject

Subject no.	Age	Amputated side	Height[cm]	Mass[kg]
A	47	Right	167	61
B	56	Right	162	80
C	35	Left	169	63

4. 解析方法

UCLA, AG ソケット装着時および非装着時の断端の形状を解析するにあたって、位置合わせを行う必要がある。この際、剛体として定義可能な大腿骨を基準に用いた。前額面で大腿骨の最末端と近位の凸部を結び(a), 矢状面で大腿骨の最末端と近位の陥没部を直線で結び(b)ことで位置合わせを行った(Fig1)。次に3パターンの断面積をそれぞれ算出し比較した。水平面において大腿骨切断部が初めて見えた場所を骨端とする。骨端を基準として断端末から大腿部と他部の組織が連結する手前までの範囲を 1[mm]間隔でスライスし、二値画像を作成し、その画像のピクセル数を断面積に変換した。

さらに、MRI 画像から 3D モデルの作製を行った。画像のスライス間隔は 5[mm]とした。骨の中心を基準とし 10 度ごとに補助線を引き、各内部組織の輪郭との交点をプロットし座標を取得した。その後、スプライン関数による線形近似を行い、輪郭形状を補間し、モデルを作成した。

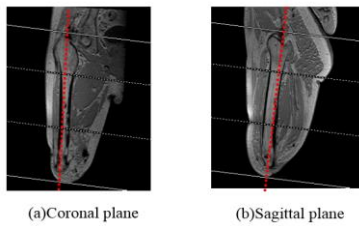


Fig.1 Matching for bone position

5. 結果および考察

被検者 1 名の脂肪の断面積の変化を典型例として Fig.2 に示した。遠位方向の -40[mm]から 20[mm]の断面積は UCLA ソケット装着時より AG ソケット装着時が大きかった。これは UCLA ソケット装着時に比べ AG ソケット装着時の脂肪が遠位方向に伸ばされているからだと推測できる。また、遠位方向の -40[mm]から 110[mm]の断面積はソケット非装着時より 2 種のソケット装着時とも大きかった。これはソケットを装着することにより脂肪が遠位方向に伸びたからだと推測できる。さらに、110[mm]から 200[mm]ではソケット装着時に比べ、ソケット非装着時が断面積が大きかった。このことから、この部分の脂肪がソケット装着時に遠位方向に伸びているということが推測できる。一方、同一被検者 1 名の筋肉の断面積の変化を典型例として Fig.3 に示した。遠位方向の -40[mm]から 80[mm]の断面積にあまり変化はなかった。ゆえに、筋肉は脂肪に比べソケット装着による変化は小さいことが推測できる。

Fig.4 には作成した有限要素モデルを示した。また、Fig.5 には強制変位時の圧力分布を示した。このモデルは 5[mm]間隔のモデルであり、以前のものより要素の分割を細かくすることができ、精度が向上した。

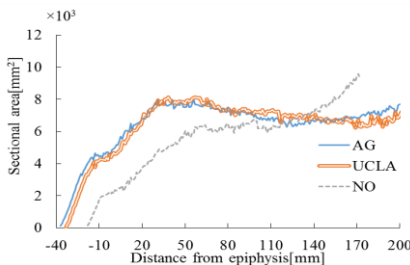


Fig.2 Change of fat's sectional area

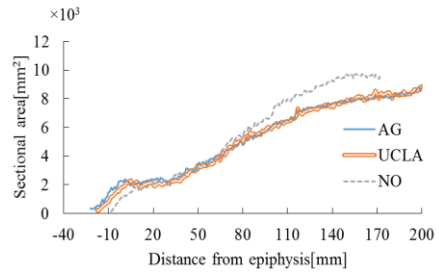


Fig.3 Change of muscle's sectional area

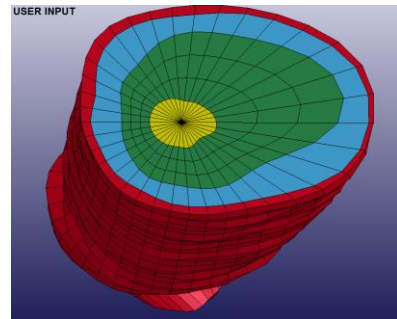


Fig.4 3D model of residual limbs

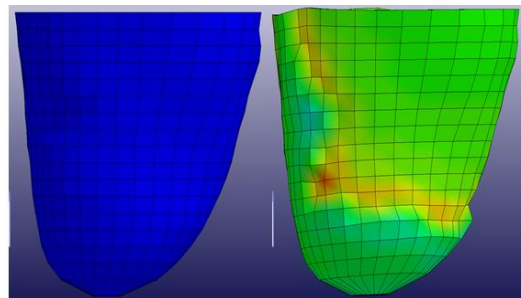


Fig.5 Distribution of forced displacement's pressure

6. 今後の展望とまとめ

今回の解析では UCLA ソケット装着時に比べて AG ソケット装着時の方が脂肪が遠位方向に伸びる傾向にあった。また、脂肪は筋肉に比べソケットによって変形する傾向にあった。また、MRI 画像から有限要素法を用いた 3D モデルの作製に成功した。今後は強制変位時の圧力分布や、歩行時のシミュレーションを行っていく。それと同時にモデルのスライスをさらに細かくし、再構築をおこない解析をしていく。また、現在のモデルはソケット装着時に加重を支える座骨結節までモデリングできていないため、座骨結節の位置を同定し、その部分までモデルを作成していく予定である。

参考文献

- (1) 東江由起夫, 「最近の義足ソケット」を特集するにあたって, 日本義肢装具学会誌, 14 巻 2 号
- (2) Zheng Shuxian, 3Dreconstruction of a residual limb for customizing the design of a prosthetic socket, Medical Engineering & Physics 27, 67-74, 2005
- (3) T.S.Douglas, Automatic segmentation of magnetic resonance images of the trans-femoral residual limb, Medical Engineering & Physics 20, 756-763, 1998