

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 8 日現在

機関番号：17601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24650320

研究課題名(和文) 義足歩行・動作のメカニズムの解明と臨床応用

研究課題名(英文) Elucidation of the mechanism of lower limb prosthetics in ambulation activity and clinical applications

研究代表者

鳥取部 光司(Totoribe, Koji)

宮崎大学・医学部・准教授

研究者番号：80284842

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：TSB(total surface bearing)およびPTB(patellar tendon bearing)ソケットは、下腿切断者に対して広く使用されている。本研究では、有限要素法を用いて義足モデルを開発し、動作解析で計測された荷重を考慮し、平地歩行、階段昇降およびソケット構造が残存肢へ及ぼす影響について生体力学的検討を施行した。TSBソケットでは、ソケットライナーと残存肢の境界部における接触圧力は、PTBソケットと比較して全体的に明らかに低く、良好なフィッティングであった。PTBソケットでは、接触圧力は高く、膝蓋靭帯部、脛骨の前内外側、膝窩部に圧力集中を認めた。

研究成果の概要(英文)：Total surface bearing (TSB) and patellar tendon bearing (PTB) sockets are widely used for trans-tibial amputees. We used the finite element method to develop a prosthetic model and performed a biomechanical study to assess the impact of level-ground walking, stair ascent and descent and socket configurations on the residual limb by taking into account the load measured in motion analysis. With the TSB socket, contact stress on the stump at the boundary between the socket liner and residual limb was clearly low overall and the fitting was satisfactory compared with the PTB socket. With the PTB socket, contact stress was higher and concentrated in the patellar ligament, on the anterior, medial, and lateral sides of the tibia, and in the popliteal region.

研究分野：リハビリテーション

キーワード：義足 有限要素法 動作解析

### 1. 研究開始当初の背景

階段昇降動作は、重力に逆らって、身体を持ち上げるもしくは降ろす動作であり、下肢関節にかかる負荷は平地歩行に比べると大きくなる。階段昇降は、特に下腿切断者にとっては、日常生活を自立して送る上で欠かすことのできない能力であるが、難度が高い動作である。下腿切断者の義足ソケットは、断端を義足と接続させる重要な役割を果たし、下腿切断者個々の断端形状や活動度に合わせた最適な義足のフィッティングが重要となる。階段昇降動作中の義足ソケットと下肢切断端間の接触圧力 (contact normal stress) 分布に関して、義足ソケットと下肢切断端間にセンサーを設置して、実際の圧を測定した報告があるが、測定部位が限られており、詳細な報告はない。

近年、有限要素法や動作解析が生体力学の解析に使用されており、平地歩行に関して義足ソケットと下肢切断端間の接触圧力分布に関する報告はあるが、階段昇降動作に関して解析した報告はない。

### 2. 研究の目的

下腿義足のソケットとしては、ソケット形状の異なる Total surface bearing (TSB) sockets と、 patellar tendon bearing (PTB) sockets がよく使用されるが、階段昇降動作での接触圧力分布の詳細な比較報告はない。本研究においては、有限要素法を用い、詳細な下腿義足モデルを開発し、動作解析結果からの荷重を考慮し、平地歩行および階段昇降動作およびソケット形状が、切断端間の接触圧力に及ぼす影響についての生体力学的検討を施行した。

### 3. 研究の方法

有限要素法のモデルは、研究の目的について説明同意を得た女性のCTスキャンの座標値を基に作製した (図1)。

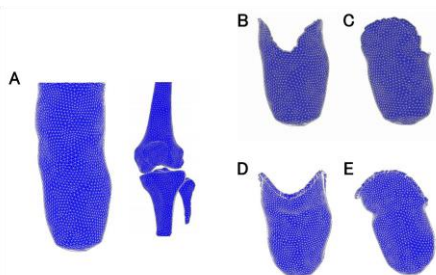


図1. 三次元有限要素モデル。(A)左下腿切断モデル;(B) Total surface bearing (TSB) ソケットモデル前面;(C) TSB ソケットモデル側面;(D) Patellar tendon bearing (PTB) ソケットモデル前面;(E) PTBソケットモデル側面。

左下腿切断モデルは、骨・軟部組織を区別し、要素総数 11 万 1163、節点総数 2 万 971 よりなる。下腿義足は、有限要素法によりライナーをモデル化し、TSB 義足ソケットでは、断端とライナーの形状は同一とした。ライナーは、下腿断端皮膚表面より 4 mm の厚さと

し、ライナーと断端皮膚との境界部は、接触として扱った。一方、PTB 義足ソケットでは、修正変形があるため、ライナーのモデル化は、実際のソケット内面から断端皮膚表面の方向へ 6 mm 押し出すことにより作製した。各要素の物質特性値は、文献を参考に決定した (表 1)。ライナーと断端の境界は接触とし、摩擦係数は、文献を参考に 0.5 とした。

表1. Element types and material properties

Material	Element type	Young's modulus (E:MPa)	Poisson's ratio ( $\nu$ )
Cortical bone	Solid	17,000	0.3
Cancellous bone	Solid	400	0.3
Soft tissue	Solid	1.0	0.45
TSB liner	Solid	0.38	0.3
PTB liner	Solid	0.38	0.3
Prosthetic socket	Fixed		
Contact	Friction	0.5	

歩行計測は 3 次元動作分析装置 (Vicon Nexus) と赤外線カメラ (MX-3) 7 台を用いた。また床反力計 (AMTI 社製: OR6-5 および BP400600) は 6 枚を使用した (図 2)。



図2. 赤外線カメラと床反力計。

マーカーは全身に 35 個貼り付けし、サンプリング周波数は 100Hz とした。歩行は自由歩行とし、数度練習を行ったのちに計測した。階段は、蹴上 17.5cm、踏面 30cm になるように 3 段作製した。床面と、階段の下から 1・2 段目に、床反力計 6 枚を使用した。被験者には十分な練習を行わせた後、昇段と降段に分けて計測した。



図3. 階段と床反力計。

得られた運動力学的データは Golem らが報告した方法論を用いて解析した。歩行周期に関して、Perry の報告を参考に立脚期を、荷重応答期 (Loading Response: LR)、立脚中期 (Mid Stance: MSt)、立脚終期 (Terminal

Stance : TSt) に分け、各期の膝関節部のフォース・モーメントのピーク値を荷重条件として採用した。

McFadyen らは、階段昇段 (Stair ascent : SA) 動作における立脚期を、Weight acceptance (WA)、Pull-up (PU)、Forward continuance (FCN) の三期に分け、また降段動作 (Stair descent : SD) においても、立脚期を Weight acceptance (WA)、Forward continuance (FCN)、Controlled lowering (CL) の三期に分けている。McFadyen らの報告を参考に、運動学および運動力学的解析データに基づいて、階段昇段動作および降段動作における立脚期を三期に分け、各期の膝関節部のフォース・モーメントのピーク値を有限要素法の荷重条件として採用した。

拘束条件としては、ライナーの外表面を全方向拘束とした。それぞれのモデルに荷重増分法にて各荷重を、膝関節部に加え、接触圧力分布について、比較検討した。なお、有限要素法解析ソフトは、MSC.Marc/Mentat2005r3 (MSC Software Corp., Santa Ana, CA, USA) を用いた。

#### 4. 研究成果

図4に歩行時のTSB義足ソケットモデルでの左下腿前面および後面の接触圧力分布を示す。TSBソケットモデルでは、比較的均一に分散した圧力分布を示し、また、圧力は、荷重応答期で高く、立脚中期で低い傾向がみられた。

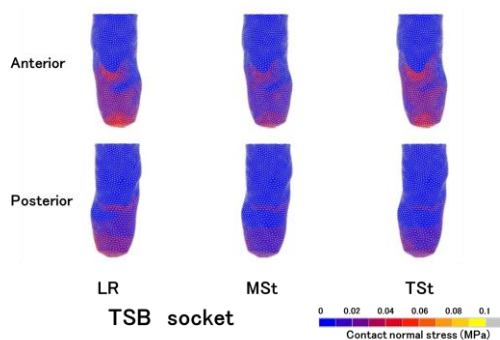


図4. 歩行時の接触圧力分布 (TSBソケットモデル).

次に歩行時のPTB義足ソケットモデルでの下腿前面および後面の接触圧力分布を示す (図5)。PTBソケットモデルでは、膝蓋靭帯部、脛骨・前内側および前外側面、膝窩部から下腿後面に一致した部位に圧力集中を認めた。また、圧力は、荷重応答期で高く、立脚中期で低い傾向がみられた。

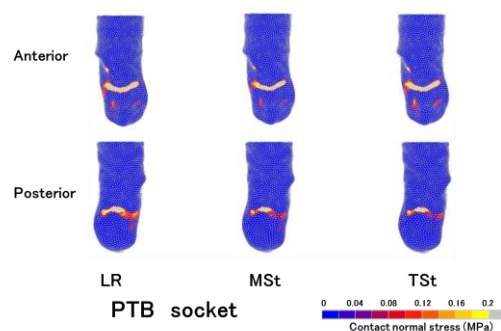


図5. 歩行時の接触圧力分布 (PTBソケットモデル).

図6に階段・昇段時のTSB義足ソケットモデルでの下腿前面および後面の接触圧力分布を示す。TSBソケットモデルでは、比較的均一に分散した圧力分布を示し、圧力は、初期に高い傾向がみられた。

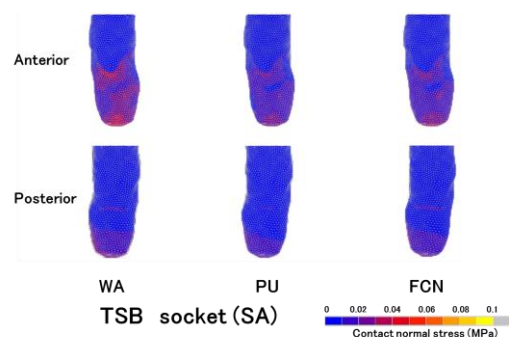


図6. 昇段時の接触圧力分布 (TSBソケットモデル).

次にPTBソケットモデルでの昇段時の下腿前面および後面の接触圧力分布を示す (図7)。PTBでは、膝蓋靭帯部、脛骨・前内側、膝窩部から下腿後面に一致した部位に圧力集中を認めた。

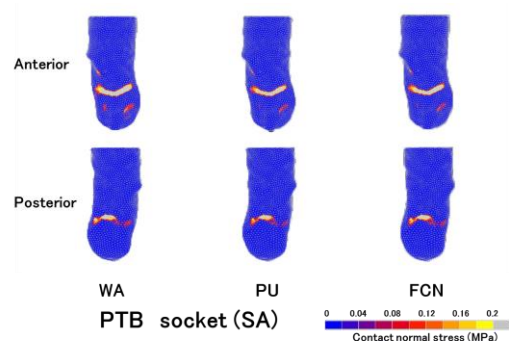


図7. 昇段時の接触圧力分布 (PTBソケットモデル).

図8に降段時のTSBソケットモデルでの接触圧力分布を示す。TSBでは、比較的均一に分散した圧力分布を示し、また、圧力は、初期に断端部で高い傾向がみられた。



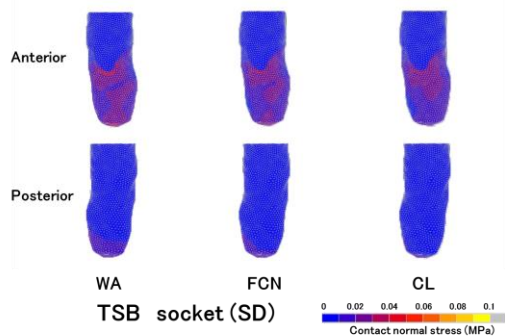


図8. 降段時の接触圧力分布(TSBソケットモデル).

降段時のPTBソケットモデルでは、膝蓋靭帯部、脛骨・前内外側、膝窩部から下腿後面に一致した部位に圧力集中を認めた。また、圧力は、初期に膝蓋靭帯部で高い傾向がみられた(図9)。

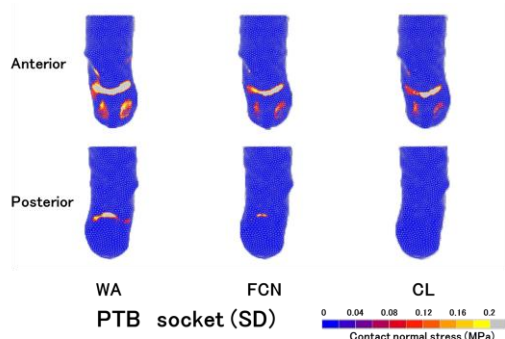


図9. 降段時の接触圧力分布(PTBソケットモデル).

TSBソケットは、円筒状のソケット形状であり、荷重部と非荷重部の差を少なくし、断端の表面全体に荷重を分散できることが報告されている。本研究での有限要素解析においても、断端全体に均一に分散した接触圧力分布を認めた。一方、PTBソケットは、前方凸の三角形に近い形状となり、疼痛閾値圧の低い腓骨頭部や断端部の圧力は低く除圧され、膝蓋靭帯部、脛骨前内側面、脛骨前外側面、膝窩部から下腿後面などモデルの修正変形部位に一致した部位に特定の荷重支持部がみられ、TSBソケットとの差異が明らかであった。義足歩行において、Jiaらは、PTBソケットの歩行分析における接触圧力を求め、膝蓋腱部では、荷重応答期に高いことを示している。今回の結果においても、PTB、TSBとも荷重応答期に接触圧力は高く、PTBは、TSBより高い圧力値を示し、ソケット形状の差が見られた。

本研究における階段昇降において、TSBソケットでは、ライナーと断端の境界部における接触圧力は、断端部で高くなる時期があるが、階段・降段時とも、PTBソケットよりも明らかに低く、良好な、義足のフィッティングが見られた。PTBソケットでは、TSBソケットよりも接触圧力は高く、特に、降段時のWA期に膝蓋靭帯部、脛骨・前内外側、膝窩部に圧力集中を認めたことから、この時期の同

部位を中心とした義足のフィッティングを重視することが大切であることが示唆された。実際の義足歩行および階段昇降においては、個人差を考慮し、個々の動態解析と合わせた検討が理想的であると考えられる。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計1件)

鳥取部光司、帖佐悦男、趙昕、山子剛、渡邊信二、鄧鋼、TSB下腿義足とPTB下腿義足の接触圧力解析、臨床バイオメカニクス、査読有、33巻、2012、423-426

<http://www.clin-biomechanics.org/>

〔学会発表〕(計5件)

①鳥取部光司、歩行および立ち上がり動作における下腿義足の荷重分散効果の検討、第49回日本リハビリテーション医学会学術集会、2012年5月31日、福岡国際会議場(福岡県・福岡市)

②鳥取部光司、階段昇降動作におけるTSB下腿義足とPTB下腿義足の接触圧力解析、第39回日本臨床バイオメカニクス学会、2012年11月9日、幕張メッセ・国際会議場(千葉県・千葉市)

③鳥取部光司、平地歩行・階段昇降時における下腿義足の荷重分散効果の検討、第50回日本リハビリテーション医学会学術集会、2013年6月14日、東京国際フォーラム(東京都・千代田区)

④鳥取部光司、Evaluation Of Contact Pressure On Total Surface Bearing And Patellar Tendon Bearing Sockets During Stair Ascent And Descent、第60回米国整形外科基礎学会(ORS 2014)、2014年3月16日、ニューオーリンズ(米国)

⑤鳥取部光司、下腿切断者の階段昇降動作における力学的検討、第51回日本リハビリテーション医学会学術集会、2014年6月7日、名古屋国際会議場(愛知県・名古屋市)

〔図書〕(計0件)

なし

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

なし

○取得状況(計0件)

なし

〔その他〕

ホームページ等 なし

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

鳥取部 光司(TOTORIBE KOJI)

宮崎大学・医学部・准教授

研究者番号: 80284842

(2)研究分担者

帖佐 悦男(CHOSA ETSUO)

宮崎大学・医学部・教授

研究者番号：00236837

濱田 浩朗 (HAMADA HIROAKI)

宮崎大学・医学部・助教

研究者番号：40363593

(3)連携研究者 なし