

1-3-6

義足歩行訓練前後における大腿切断者の断端軟部組織の変化

キーワード: 大腿義足、断面積、リハビリテーション

国立障害者リハビリテーションセンター 研究所¹⁾、
 国立障害者リハビリテーションセンター 学院²⁾、
 国立障害者リハビリテーションセンター 病院³⁾

○三ツ本 敦子¹⁾、中村 隆¹⁾、丸山 貴之²⁾、
 沖田 祐介¹⁾、前野 正登³⁾、飛松 好子¹⁾

【はじめに】

下肢切断術後の断端は、術後から12~18ヶ月頃に至るまでの間に形状、容積ともに大きく変化すると報告されている¹⁾。過去の報告では、この時期における下肢切断者における容積が35%も減少すると言われていた²⁾。また、下腿切断者の断面積は、MRI (Magnetic Resonance Imaging) を用いると、腓腹筋の内側頭やヒラメ筋、下腿三頭筋の面積の減少と腓腹筋の外側頭や前脛骨筋の増加が見られたという筋組成の変化の報告もある³⁾。このように下腿切断者を対象とした断端変化の調査は複数存在するものの、大腿切断者を対象とした断端変化に関する研究は少ない。

そこで、大腿切断者の断端の軟部組織の特徴と、ソケットの形状と適合、切断者の歩行能力との関係を明らかにするために、義足歩行訓練前後の大腿切断者の断端軟部組織の断面積の変化について調査を行った。

【対象と方法】

対象者は、断端に愁訴がない断端長20cm以上の片側大腿切断者4名(全て男性)である。切断原因は、3名が外傷、1名が感染であり、調査時年齢は19歳から38歳であった。対象者は、術後2ヶ月から半年後に初回計測に参加した。そして義足歩行訓練後に再度計測を行った。

下肢の軟部組織画像は、MRI(3.0T, Siemens 社製)により取得し、DICOM 画像処理ソフトウェア OsiriX MD (Ver.8.0.1)を使用して断面積を算出した。断面積は、健側の大腿直筋上の筋長近位1/4部の高位と、この健側の位置を転写した断端側を抽出した。

健側と断端側における総断面積、脂肪断面積及び筋断面積の訓練前後の断面積を比較した。そして、断端側は更に、股関節周囲の筋断面積を屈曲外転筋群、内転筋群、伸展筋群に分けて断面積の変化を比較した。

訓練前の断面積に対する、訓練後の断面積を割合として算出した。

【結果】

健側の総断面積、脂肪断面積及び筋断面積の変化

健側における総断面積、脂肪断面積及び筋断面積は、大きな変化が見られなかった。

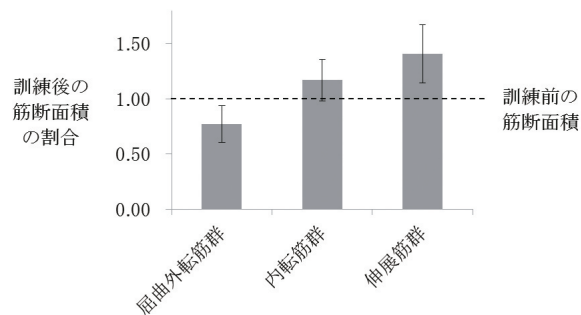


図1 断端側の屈曲外転筋群、内転筋群、伸展筋群の筋断面積の割合の変化

断端側の総断面積、脂肪断面積及び筋断面積の変化

断端側の総断面積の割合は、訓練後0.93(SD0.09)となり減少傾向であった。

訓練後の脂肪断面積の割合は0.82(SD0.08)と減少していたが、筋断面積の割合は1.02(SD0.12)となり、大きな変化が見られなかった。

断端側屈曲外転筋群、内転筋群、伸展筋群の筋断面積の変化

訓練後の断端側の屈曲外転筋群の筋断面積の割合は0.77(SD0.17)となり減少傾向をしたが、伸展筋群は1.41(SD0.26)となり増加傾向を示した。

【考察】

訓練前における被験者4名の総断端側の断面積は、健側に比べて既に小さく、歩行訓練中も総断面積の減少は続いていた。

訓練後で断端側の脂肪断面積の減少が見られたのは、浮腫の軽減が考えられた。筋断面積の割合は、訓練前後で大きな変化が見られなかったものの、股関節周囲の筋断面積が変化していることが明らかになった。筋の停止部の喪失が考えられる屈曲外転筋群は萎縮するが、義足での立位や歩行に内転筋群と伸展筋群が重要であることが示された。

今後は対象者を増やし、統計的解析を行う必要がある。

【まとめ】

大腿切断者4名に対し断端側の断面積変化の調査を行った結果、義足歩行訓練前後で断端は成熟し、筋断面積よりも脂肪断面積の方が減少する傾向にあり、また股関節周囲の筋断面積の割合が大きく変化することが明らかになった。

本研究は、JSPS 科研費 JP26350692の助成を受けたものであり、国立障害者リハビリテーションセンター倫理審査委員会の承認(28177)を得て実施された。

【参考文献】

- 1) J. E. Sanders, et al. Residual limb volume change: systematic review of measurement and management. J Rehabil Res Dev. 48(8), 949-486 (2011).
- 2) M. Lilja, et al. Proper Time for Definitive Transtibial Prosthetic Fitting. J Prosthet Orthot. 9(2), 90-95(1997).
- 3) M. Lilja, et al. Morphological changes during early trans-tibial prosthetic fitting. Prosthet Orthot Int. 22(2), 115-122 (1998).

1-3-7

女性の浮腫みにおける下肢周径変化が義足ソケットの適合に与える影響について

キーワード: 女性の浮腫, 日間変動, 日内変動

新潟医療福祉大学 義肢装具自立支援学科

○佐藤 未希, 勝平 純司

【はじめに】

女性は男性と比較し、皮膚が柔らかく筋肉量が少ないため、体液が静脈に戻りにくく、血管外へ水分が貯留しやすくなり、浮腫が生じやすい。また、月経周期におけるホルモン変化も浮腫の要因となる¹⁾。女性特有の浮腫には、朝から夜までの1日の中で周径が変化する日内変動と、月経周期により周径が変化する日間変動があげられる。これらの浮腫みによる下肢周径の変化は、女性切断者のソケット適合においても何らかの影響が生じると考えられる。

しかし、過去の研究では女性の下肢浮腫に対し弾性ストッキングによる加圧や、蒸気温熱効果による浮腫緩和について明らかにした研究はあるが²⁾、女性の義足使用者に着目し下腿と大腿部周径の日内、日間変動を明らかにしたものは無い。そこで本研究では健常女性を対象とした基礎データを得るために、下腿部と大腿部の日内変動と月経周期における日間変動の比較を行うことを目的とする。

【対象と方法】

対象は健常若年女性（以下健常者）8名とし、健常者の平均年齢は19.3±1.1歳、平均体重は49.5±6.2kg、身長158.8±3.4cmとした。計測は1) 周径、2) 体重、3) 基礎体温、4) 月経日記録の4項目を一月経周期間行った。本研究では月経期間中の下肢周径の変化を確認するため、長期間の計測を要する。そのため、被験者本人が自宅で毎日実施でき、かつ簡易的に継続しやすい方法とした。周径計測部位は端座位にて股関節、膝関節90度屈曲位とした。計測箇所は大腿部（大腿長軸に対して直交する中間部）と下腿部（最大周径部）の2箇所とした。日々の計測でその箇所がずれないように内側、前面、外側の3点に印を付けた。計測機器は締め付け具合によるばらつきを小さくするために内周計測器を用いた。計測は朝夕に実施し、朝夕それぞれで3試行ずつ計測した。本周径計測は筆者らの先行研究において、計測信頼性が確認された手法に準じ実施した³⁾。

解析方法は日間変動と日内変動の変化量の比較に、健常者8名の下腿部、大腿部の各周径値を解析対象とし、二元配置分散分析を行った。各被験者の月経周期を統一するため月経開始日を1日目とし、一周期を28日に正規化し実施した。有意水準はいずれも5%とし、解析にはSPSS.ver25を用いた。

【結果と考察】

日内変動の各部位の結果を図1に示す。二元配置分散分析を行った結果、下腿・大腿部共に有意差が認められた。各部位共に朝と比較し夕の周径値が大きくなった。また、日内変動と日間変動に交互作用は認められなかった。このことは一般的な女性の浮腫みと一致し、朝と比較し夕の周径値が大きくなることがわかった。また、大

腿部と比較し下腿部の変化量が大きくなる傾向を示した。心臓から遠位にある下腿部では体液循環や老廃物の蓄積が大腿部より多いため、周径量が大きくなったと推察される。しかし、義足使用者と健常者では活動度や筋肉量が異なることを考慮し、切断者との比較や検証を行う必要がある。

次に月経周期における日間変動の各部位の結果を表1に示す。各周径値の下【 】は月経開始日からの日数を表す。月経周期にばらつきが生じたが、各部位の最大値と最小値の差を比較したところ、日内変動より周径変化量が大きい傾向を示した。最大値と最小値の比較では変化量が各部位で異なるものの、その差が最大の被験者では22.4mm、被験者の差を平均すると11.4mmと一月経周期間で大きく変化し、このことは女性義足使用者のソケット適合に影響し、ソケット不適合に類似した現象が起きると推察される。今後は実際の義足使用者と健常者を比較し検証する必要がある。

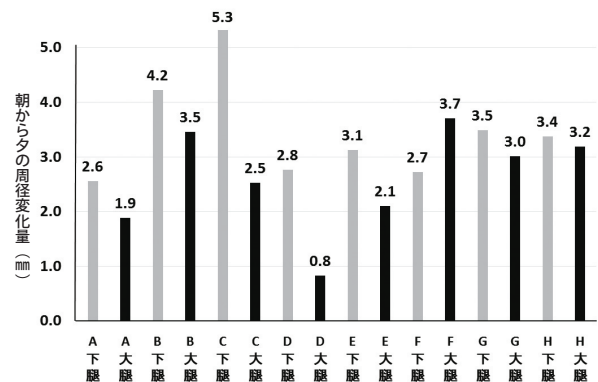


図1 下腿部と大腿部の日内変化量

表1 下腿部と大腿部の日間変化量

被験者	下腿周径 (mm)			大腿周径 (mm)		
	最大値	最小値	差	最大値	最小値	差
A	301.6 【12】	292.1 【24】	9.5	394.8 【9】	388.8 【14】	6.0
B	325.3 【11】	321.5 【20】	3.7	452 【23】	444.0 【1】	8.0
C	355.7 【4】	346.5 【15】	9.2	460.0 【27】	451.1 【10】	9.0
D	403.3 【5】	380.9 【18】	22.4	551.5 【1】	529.6 【17】	21.9
E	325.8 【19】	318.1 【23】	7.8	427.8 【18】	418.8 【12】	9.0
F	349.0 【4】	338.3 【14】	10.7	482.5 【15】	466.4 【16】	16.1
G	320.1 【26】	311.6 【16】	8.5	433.6 【3】	417.9 【15】	15.6
H	335.3 【27】	321.9 【21】	13.4	453.8 【24】	441.5 【19】	12.3

【参考文献】

- 鈴木洋通：各疾患における浮腫の機序とアプローチ 妊娠・月経前浮腫，総合臨床，55（11），2690-2694，2006。
- 長谷場純仁：下肢の浮腫に対するエアマッサージの効果，鹿児島大学医学部保健学科紀要，25（1），25-30，2015。
- 佐藤未希：女性大腿切断者の断端周径変化が義足ソケットの適合に及ぼす影響について 第2報～被験者の違いにおける分析～，日本義肢装具士協会学会誌，26（Suppl），182-183，2018。

1-3-8

大腿義足ソケットの装着における断端モデルのシミュレーション -MRI 画像を用いた有限要素解析 -

キーワード: 大腿義足、ソケット、有限要素法

芝浦工業大学¹⁾、東京電機大学²⁾、新潟医療福祉大学³⁾、人間総合科学大学⁴⁾

○大野 隆裕¹⁾、東江 由紀夫³⁾、大塚 博⁴⁾、大西 謙吾²⁾、花房 昭彦¹⁾、山本 紳一郎¹⁾

【はじめに】

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。

目的は、動的なシミュレーションにおける断端 - ソケットの相互作用を調査し有効な有限要素モデルをMRI 画像を用いて作成する。最後に実測値と解析値の比較を行う。

【対象と方法】

被検者は左断端切断者1名(169[cm],63[kg])で、ソケットはUCLA用いた。UCLAはIRC(坐骨収納型)ソケットの代表的なソケットである。

計測機器はMRI装置(SIEMENS)を使用し仰臥位で撮影した。MRI画像は、専用の画像抽出ソフトウェア(Voxar3D,Barco)を用いて、水平面で1[mm]間隔にした。また、3軸力覚センサ(PD3-32, ニッタ社)とフットスイッチを義足に設置し実測値の計測を行った。計測部位は近位(坐骨結節より遠位方向40[mm])と遠位(坐骨結節より遠位方向140[mm])の前後内外方向の計8個とした。

有限要素モデルはMRI画像を用い、大腿骨を中心として座標点を取得し作成した。有限要素解析は、作成したモデルの節点を変位(強制変位)させ大腿骨頭に被検者体重の半分をかけるシミュレーション(LS-Dyna, リバモア社)を行った。ソケットを装着する際、脂肪の体積は近位から遠位に移動する。ソケット非装着時の体積とソケット装着時の体積を断端末から遠位に比較することで脂肪の移動を考慮した。

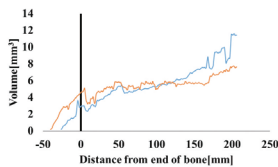


Fig1 脂肪の体積

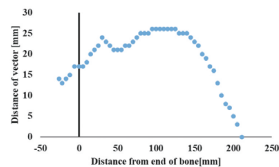


Fig2 脂肪の移動距離

人体の軟組織は非圧縮性流体ということ considering、軟組織は超弾性体、非線形、等方性を用いた。係数をTable.1に示した。材料特性は皮膚、脂肪、筋の質量密度 $1.0 \times 10^{-9} [kg/mm^3]$ 、皮膚、脂肪、筋のポアソン比は

0.49とした。骨の密度は $4.0 \times 10^{-9} [kg/mm^3]$ 、ヤング率は $17.7 \times 10^3 [MPa]$ 、ポアソン比0.30とした²⁾³⁾。

Table1 超弾性体の材料特性

Tissues	C ₁₀ [kPa]	C ₁₁ [kPa]	D ₁ [MPa ⁻¹]
Skin	9.40E+00	82	0
Fat	2.97E+00	0	34.8
Muscle	4.25E+00	0	24.34

【結果と考察】

圧力の分布を示した。荷重をかけた後の断端表面でありソケットは便宜上省いている。近位で大きな圧力分布がみられた。

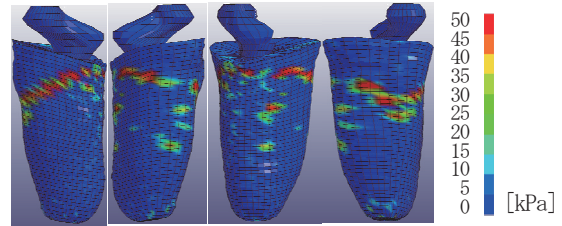


Fig3 圧力分布

実測値および解析値を比較した。前方近位で解析値は実測値の約5倍、外側近位および後方遠位では約2倍大きかった。前方近位および後方遠位に関しては、大腿骨が前方に傾いたためであると考えられる。また、外側近位に大きな圧力がみられるのは、断端近位でソケットを固定するという設計理論と一致する。しかしながら、実測値および解析値の比較に関して大きく異なる結果であった。吸着式ソケットを扱っているが、断端装着時のシミュレーションで再現するには困難である。また、軟組織の材料特性は下腿である。大腿の材料特性は現在も研究されている。

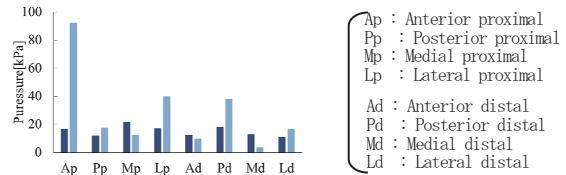


Fig4 実測値および解析値の比較

この研究は断端およびソケットの相互作用を有限要素シミュレーションを用いて調査することである。今後の展望は、実測値と解析値を用いて妥当性を確認し、また他の材料特性を用いていく。

【参考文献】

- (1) 東江由起夫, 2007年
日本義肢装具協会関東支部セミナー
- (2) Damien Lacroix and Juan Fernando Ramirez Patino, Finite element analysis of donning procedure of a prosthetic transfemoral socket, Annals of Biomedical Engineering, Vol39, No.12, pp2972-2983, 2011
- (3) A.S.Dickinson, J.W.Steer and P.R.Worsley, Finite element analysis of the amputated lower limb: A systematic review and recommendations, Medical Engineering and Physics, Vol43, pp1-18, 2017

1-3-9

有限要素解析によるソケット内圧と歩行時実測ソケット内圧の比較

キーワード: 義足歩行、ソケット内圧、FEM解析

埼玉県立大学¹⁾、帝京科学大学²⁾、東埼玉総合病院³⁾、東京医科歯科大学⁴⁾、首都大学東京⁵⁾、埼玉大学大学院理工学研究科⁶⁾、静岡医療科学専門学校医学放射線学科⁷⁾

○原 和彦¹⁾、豊田 輝²⁾、萩臺伸之³⁾、岡安 健⁴⁾、
来間 弘展⁵⁾、井上 和久¹⁾、森田 眞史⁶⁾、鈴木 保⁷⁾

【はじめに】

快適な義足歩行を得るには、ソケットと断端の良好な適合を得ることが優先される。また義足と身体機能をつなぐシステムを機能させるにはソケットの適合支援が優先される。その上での義足制御に必要な身体機能強化と義肢装着練習は義足歩行のスキルをあげて、切断者の自立した生活と社会参加を促すことにつながる。

このソケット適合に関する情報は専門職者間で共有して必要な支援プログラムを形成することが求められるが、ソケット適合に関する生体力学的な科学的検証は未だ十分ではない。そこで今回ソケット装着下でのMRI撮像を行い、2D形状から3D形状を抽出して有限要素法 (finite element method; 以下FEM) によるソケット内圧解析を行い、加えて義足歩行時の実測ソケット内圧を計測して、FEM推定値との関係について検討を行ったので報告する。

【対象と方法】

対象は義足歩行が十分可能な健常な右下腿切断者1名、年齢45歳、身長178cm、体重60kg、外ソケットには断端に対してラップ加圧にて採型したTSB-Pソケットをサーモプラスチック材 (オルフィットエコ、パシフィックサプライ社製) にて義肢装具士が採型した仮義足ソケットを使用した。ライナーはシナジーウェーブ25cm、足部にはOttoBockトリトン25cmを使用した。

MRIはPhilips社製MRI Achieva 3.0Tを用い、放射線技師による撮像を行った (図1)。撮影にはMultiコイルを用いた。撮像したスライス厚0.7mm約120枚の2次元DICOMはMaterialise Mimicsを用いてシリコンライナー、断端軟部組織、骨組織の各境界を抽出した。各スライス2D画像を3D形状となるSTLファイルへデータ変換した各組織材料の3D形状はFEM解析ソフトCOMSOL Multiphysics5.4へインポートした。断端の外とシリコンライナーの内側、シリコンライナーの外側とソケットの内側とをコンタクトペア定義した。大腿骨、脛骨、膝蓋骨、腓骨は一体化してコンタクトペア化した。今回、摩擦係数は考慮しないこととし、物性値 (ヤング率, ポアソン比) は先行研究¹⁻²⁾を参考に断端骨組織は [17GPa]、0.3、断端軟部組織は200[kPa]、0.45、ライナーは380[kPa]、0.39、外ソケットは1.5[GPa]、0.39とした。荷重条件は10mmの強制変位と600N境界荷重での解析を行った。

歩行時の実測ソケット内圧は原ら (2014) の方法によりニッタ社製F-Scan II、センサタイプF-SOCKETを2枚

使用して計測した³⁾。ソケット内圧センサは前後壁および内外壁の上部下部の計4か所での平均波形を抽出した。また同時にVICON動作解析システム、カメラ17台、床反力6枚を用いた生体力学的計測を行った。解析ソフトはVicon Nexus2.8.1を使用し、マークはPlug-In Gait AI modelの39点、運動学的データは100Hz、床反力データは1000Hzでサンプリングした。また本学倫理審査 (承認番号29063) を受け、事前に被験者への倫理的配慮を十分行って実施した。なお本研究は科研費 (JSPS KAKENHI Grant Number 16K01558) の助成を受けており、本発表に関連した開示すべきCOI関係にある企業はありません。



図1 MRI計測およびソケット内圧計測風景

【結果と考察】

FEM解析によるソケット内圧は10mm強制変位で断端先端部に30kPa程度の圧力増加を認めた。歩行時の実測ソケット内圧は前後壁の上部より下部の内圧が高い傾向を認めた。また前壁下部の内圧波形の極大値は57kPaであり垂直分力の波形と類似した2相性を示していた。前後壁内圧は立脚相の膝伸展を生む力と関係があり、前壁下部と後壁上部は立脚相前半の膝伸展モーメントとの関係があると思われた。また外壁圧は内壁に比べて20kPa程度大きかった。今回FEMではソケットに垂直圧を加えたのみの解析であり、立脚相制御に伴うソケット内圧と関節モーメントとの関連についての解明は今後の検討課題となった。

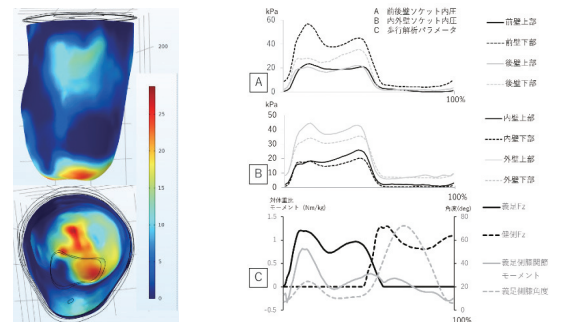


図2 強制変位時の断端内圧 図3 実測ソケット内圧と歩行解析パラメータ

【参考文献】

- 1) Faustini MC, Neptune RR, Crawford RH: The quasi-static response of compliant prosthetic sockets for transtibial amputees using finite element methods. Med Eng Phys. 2006 Mar;28(2):114-121, 2005
- 2) 鳥取部光司, 帖佐 悦男, 他: 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, 33:423-426, 2012.
- 3) 原和彦, 鈴木陽介, 他: 義足制御力とソケット内圧との関係について. 第30回日本義肢装具学会学術大会講演集, JSPO, 30(184), 2014

1-3-10

症例報告～最新式膝継手を使用した大腿切断者の歩行分析～

キーワード:四節リンク, イールディング, ALLUX™

新潟医療福祉大学大学院¹⁾
 新潟医療福祉大学義肢装具自立支援学科²⁾

○井上捷太¹⁾, 津留崎康平²⁾, 石畑大輔²⁾,
 辰岡洸士郎²⁾, 江原義弘^{1, 2)}

【はじめに】

随意制御とは、大腿切断者の股関節伸展筋群による立脚期の膝折れを防ぐ動作である。随意制御は膝折れを防ぐ一方で身体に負担をかける動作でもある。現在は膝継手の技術的進歩により、膝継手の機構が随意制御を補助し身体への負担を軽減することが可能となった。ALLUX™(ナブテスコ社)は、四節リンク機構と電子制御による油圧機構を組み合わせた世界で初めての膝継手である¹⁾。ALLUX™は四節リンク機構により随意制御を補助し、電子制御により膝継手を緩徐に屈曲させるイールディング機構の油圧抵抗を制御するため、膝折れを膝継手自体の構造で防ぐことが可能である。本研究では、ALLUX™を日常的に使用している症例の歩行動作を三次元動作分析装置で計測し、分析した結果について報告する。

【対象と方法】

対象は3年前から日常的にALLUX™を使用している右大腿切断者1名(女性, 34歳, 義足使用歴17年)である。対象者の切断原因は外傷で、屈曲拘縮を認める。義足ソケットはIRCソケット、懸垂方法はICEROSS®大腿用シールインライナーHSM(オズール社)、義足足部はエネルギー蓄積型足部RS2000ランウェイ(フリーダム社)を使用している。対象者は外傷による切断と恥骨結合離断を合併し、切断当初には創外固定が施術されていた。義足歩行訓練には、荷重ブレーキ膝継手3R15(オットーボック社)を使用し、伸展位固定した状態で使用する転倒防止策が取られていた。

計測においてはアスレチックシャツとアスレチックパンツを着用させ、身体各部に赤外線反射マーカーを貼付した。貼付箇所は、Plug-in- Gait モデルに両大腿骨内側上顆、両内果を追加した合計43箇所である。はじめに対象に自由歩行を行わせ、そのケイデンスを計測した。計測されたケイデンスとその0.8倍, 1.2倍の歩行を5試行ずつ行い三次元動作分析装置 VICON 赤外線カメラ12台(Vicon Motion System Ltd.,UK)と床反力計6台(OR6-6-2000:AMTI社)で計測した。計測データは、解析ソフト Vicon Body Builder 3.6.4(Vicon Motion System Ltd.,UK)を用いて処理した。

【結果】

図1は、症例の各ケイデンス別の1歩行周期中の膝継手角度を示したものである。図2は、症例の各ケイデ

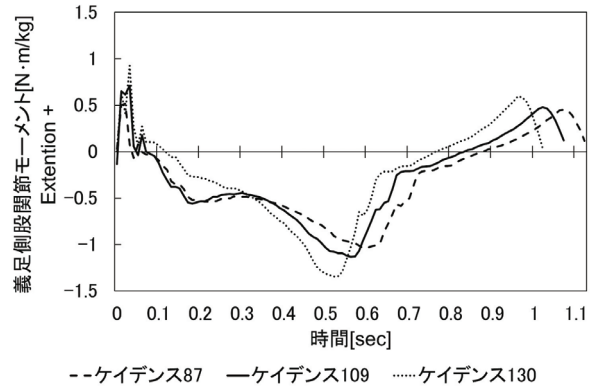


図1 各ケイデンス別の1歩行周期中の義足側股関節モーメント

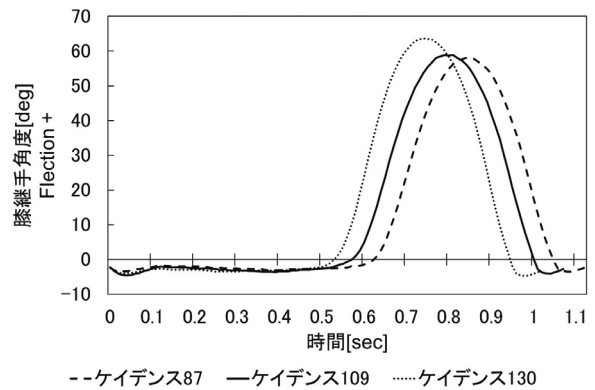


図2 各ケイデンス別の1歩行周期中の膝継手角度

ス別の1歩行周期中の義足側股関節モーメントを示したものである。

それぞれグラフの時間軸の0は歩行周期における初期接地(IC)を示している。図1より、遊脚終期(Tsw)から荷重応答期(LR)にかけて大きな義足側股関節伸展モーメントを認めた。図2より、ICから立脚終期(Tst)において、膝継手は完全伸展位に近い状態だった。

【考察】

本症例では、遊脚終期(Tsw)からICにかけて大きな股関節伸展モーメントを認めた。これはIC直前に義足側股関節伸展モーメントを働かせて、下部の慣性で膝継手を伸展させる動作と考えられる。この動作によりICにおいて膝継手は完全伸展位に近い状態にあった。膝継手が完全伸展位に近い状態で、四節リンク機構の瞬間回転中心は、本対象者の好みもあり、膝継手軸の上後方に位置するアライメント設定となっていた。またこの時、床反力ベクトルは瞬間回転中心の前方を通った。そのためIC時に膝継手を屈曲させる外部屈曲モーメントが働かず、膝継手は屈曲しなかったと考えられる。

対象者がIC時にイールディング機能を使用した設定を好む場合は、瞬間回転中心の位置を考慮したアライメント調整が必要と考える。

【参考文献】

- 1) 藤原健司, 世界初の四節リンク油圧電子制御膝継手の開発, 日本義肢装具学会誌, Vol.31, pp.108-111, 2015