

下肢切断者の断端変化とその影響

Residual Limb Change of Lower Limb Amputees and Associated Issues

三ツ本 敦子

抄録：下肢切断者の断端変化は、義足ソケットの適合を左右する重要な因子の1つである。臨床現場では、時期や期間により様々な断端変化が観察される。断端変化は、切断術後から断端が成熟するまでの一時期に見られるものだけでなく、成熟後も観察される。一時的な変化、あるいは慢性的な断端変化もあれば、周期的な断端変化も見られる。断端変化の傾向を把握することは、義足ソケットのデザインを選択するうえで、有益な知見である。これまで多くの研究者たちが切断術後からの断端変化や、成熟後の断端変化について調査を行ってきた。今回、過去に発表された研究報告をもとに、下肢切断者の断端変化とその影響について紹介する。

Key words: ソケット適合、生体計測、断端容積

1. はじめに

下肢切断者の断端変化は、義足の装着感の低下や、ソケット内の圧力や摩擦の増加、懸垂性の低下によるピストン運動の発生、皮膚損傷、歩容の変化等、様々な問題を誘発する要因として知られている^{1,2)}。

切断術後から断端が成熟するまでの期間は、断端変化の最も大きい時期として知られているが、成熟後も断端変化をなくすことは不可能に近く、生体である断端は日々変動する。その変動量は、合併症の状態や義肢の適合具合、活動レベル、食生活、女性の場合は月経周期等によって大きく異なると指摘されており³⁾、断端変化の要因の解明は重要な課題である。

今回、義足ソケットを適合させる義肢装具士にとって、関心の高い領域である下肢切断者の断端変化について、これまで報告された文献もとに概説する。

2. 下肢切断者の断端変化

2-1. 断端変化の定量化

断端変化には、形状変化、断端長変化、周径変化、容積変化、および断面積の変化等、定量可能な項目がい

つかある。中でも、断端全体を捉えることができる断端容積変化の計測手法は、多く論文で用いられている。

Sanders ら³⁾ が発表したシステムティックレビューに、断端容積変化の計測手法が詳細にまとめられている。義肢装具士に身近な周径計測（計測後、容積を算出する）をはじめ、水置換法、Computed Tomography (CT) 等の計測手法が紹介されている（表1）。さらに、計測手法の精度についても議論され、精度低下の原因として、断端に直接接触する手法を用いた時の軟部組織の歪みや、計測中の被験者の微小な動き、計測器自体の分解能等が挙げられている。表1の中で誤差が小さいと説明されている計測手法は、光学式走査法と生体インピーダンスであったが、誤差が約5%ある寸法計測でも、短時間計測のため誤差を抑えることができ、円筒形や円錐形の断端であれば巨視的に被験者集団の断端変化に着目できると述べられている。

断端容積計測に、非接触式のスキャナの使用も報告されている⁴⁾。非接触式のスキャナの主な目的は、Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing (CAD/CAM) systems の運用である。Kofman ら⁴⁾ は、4種の非接触式のスキャナ（TT Design, Omega Scanner, BioSculptor Bioscanner, Rodin4D Scanner）について、断端容積を説明する上で信頼性があると述べている。

現在のところ、断端容積計測手法のゴールドスタンダードは無く、利用者が精度や誤差を理解しながら、目的に適した計測手法を選択することが重要である。

国立障害者リハビリテーションセンター研究所
National Rehabilitation Centre for the Persons with Disabilities
Research Institute
Atsuko MITSUMOTO (PO)

(受理日 2018年7月12日)

表1 Sandersら³⁾によるシステマティックレビューによる計測手法(一部抜粋)

| |
|--|
| Name of technique/計測名 |
| Water Displacement/水置換法 |
| Anthropometric Measurements/寸法計測 |
| Contact Probes/接触式プローブ |
| Optical Scanning/光学式走査法 |
| Ultrasound/超音波 |
| Spiral X-Ray Computer Tomography (SXCT)/スパイラル X 線コンピュータ断層映像法 |
| Laser Scanning/レーザー走査法 |
| Magnetic Resonance Imaging (MRI)/磁気共鳴映像法 |
| Bioimpedance/生体インピーダンス |

表2 切断後18ヵ月未満の断端容積変化に関する論文

| 著者 参考文献 | 被験者の情報 | 計測手法 | 術後からの期間 (計測期間) | 容積 減少率 (%) |
|----------------------------|--------------------------|--------------------------------------|-------------------|---------------|
| Fernieら ⁷⁾ | 17名の下腿切断者 | Water Displacement | 100～200日 | 5 |
| Perssonら ⁸⁾ | 93名の下腿切断者 | Anthropometric Measurements | 12週間 | 7.3 ± 10.6 |
| Liljaら ⁹⁾ | 末梢循環障害により切断に至った11名の下腿切断者 | Noncontact Laser System | 160日 | 17-35 |
| Golbransonら ¹⁰⁾ | 末梢循環障害に起因する36名の高齢片側下腿切断者 | Circumference and Water Displacement | 100日 | 約11 |

2-2. 断端変化の時期と変化量

(1) 分類

義足の製作や修理を行う臨床現場では、様々な断端変化が観察される。断端変化は発生する時期や期間により、次のように分類することができる。

- ・切断術後から成熟するまでの変化
- ・成熟後の変化
- ・一時的な変化、あるいは慢性的な変化
- ・周期的な変化(透析治療の周期・女性の月経周期)

(2) 切断術後から成熟するまでの変化

切断術後は、断端が大きく変化する時期として知られている。術後に発生する浮腫の消失や筋肉の委縮により生じる変化は、ドレッシング方法の選択や訓練用義足(仮義足)製作時期の決定等に大きく関係する。そのため、この時期における断端変化の注目度は高く、1960年代には断端容積変化の様子が報告されている⁵⁾。

下肢切断術後の断端は、術後から12～18ヵ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^{3,6)}。そこで、切断後18ヵ月を成熟時期とし、18ヵ月未満の断端容積変化に関する文献を表2に示した。これらの文献は被験者が多く、長期に渡り追跡調査が行われた研究である。断端容積の減少量はバラつきが見られるが、5%から35%の大きな変化が報告されている。

一方、断端容積変化以外に着目した研究もある。Liljaら¹¹⁾は、MRIを用いて3名の下腿切断者(1名は両側下腿切断者)の周径変化、断面積の変化、断端長の変化、

そして、特定のレベルでの水平面上の筋組織の面積変化を算出した。切断術後、周径と断面積は第6週目で急激な減少があり、その後、増加する傾向があった。筋の断面積の変化は、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。

(3) 成熟後の変化

下肢切断者の断端は、成熟後も変化し続けると指摘されている^{3,10)}。断端変化の因子として、合併症の状態や、義足の適合具合、活動レベル、環境、身体組成、食生活等が推測されている。しかし、1年以上の長期に渡る追跡を行った研究は少なく、それらの因果関係は未だ明確でない。

Fernieら⁷⁾は、8名の新規下肢切断者の断端容積が切断後200日から600日の間で10%減少し、7名の新規ではない下肢切断者の断端容積変化を1年以上追跡すると、平均で12%(変動幅5～21%)であったと報告している。

Sandersら¹²⁾は、外傷による下腿切断者8名の断端容積変化を5週間の間隔で25週目(180日間)まで追跡調査を行った。5週目と25週目間の断端容積変化量は、-4.4%から+4.9%(median absolute change: 1.3%)であった。

筆者ら¹³⁾は、下腿切断者の義足使用(義足の作り替え)時の周径変化について後方視的調査を行った。退院後から本義足製作までの期間に断端周径は減少し、また近位より遠位の方がより大きく減少する傾向があった。

しかし、2本目以降の本義足の作り替え期間における断端周径は、増加する者と減少する者が混在した。仮義足から本義足へ移行する期間は、義足ソケットの適合不良を生じることが予測されるため、定期的なソケット適合の確認や断端周径を調整するマネージメントが重要と思われる。

(4) 一時的な変化あるいは、慢性的な変化

①日内変動

1日の活動時間帯によって義足の適合具合が変わる現象は、臨床で多く見られることである。例えば、起床して義足を装着した時はソケットがきつく、日中の活動後、夕方時になるとソケットが緩くなるという現象は、多くの文献で指摘されている^{2,11)}。

Roberts¹⁴⁾ (引用: Board ら¹⁵⁾) は、4名の下腿切断者に対し日中8時間の断端容積変化を追跡調査したところ、断端容積は4から10%減少し、その多くは計測開始2時間で発生していたと報告している。

Sanders ら¹⁶⁾ は、被験者12名(11名片側下腿切断者1名両側下腿切断者)のうち、10名の被験者が、午前の計測に比べ午後の計測の方が断端容積の減少が見られたと報告している。計測間隔は3から5時間であり、単位時間あたりの変化量は、-2.7%から0.9%/hr (median: 1.0%/hr)であった。

②筋収縮に伴う変化

立位時や歩行中に発生する筋収縮も、一時的であるが断端変化の1つとみなすことができる。筋収縮による筋腹の移動や膨隆は、ソケットの適合や歩行に大きく影響する。

Lilja ら¹⁷⁾ によるMRIを用いた研究によると、下腿切断者の断端部の筋収縮時の断端容積は、リラクセス時に比べ、 $5.8 \pm 5.3\%$ (range -4.2% to +14.2%) 増加し、ライナー装着時にも $3.5 \pm 3.3\%$ (range -1.4% to +11.5%) 増加すると報告されている。

③義足歩行に伴う断端変化

短時間の義足歩行に伴う断端変化についても、定量的な調査が行われている。

Board ら¹⁵⁾ は11名の下腿切断者に対し30分間のトレッドミル歩行を行った場合の断端容積変化を調べた。吸着式ソケットのユーザーは6.5%の断端容積が減少するものの、バキュームを取り付けたライナーソケットユーザーは3.7%の容積が増加し、ソケットの違いにより断端変化量が異なると述べている。

Sanders ら²⁾ は、4名の下腿切断者(4名中2名は合併症あり)に対し、立位と歩行の断端容積変化を追跡した。5分間のインターバルで立位時の容積変化は、全員が減少傾向であったが、5分間のインターバル歩行時は、合併症の有無により結果が異なった。合併症が無い下腿切断者の断端容積は増加し(0.2~0.9%)、合併症がある下

腿切断者の断端容積は減少した(-3.5%~-0.2%)。

④義足ソケットを外した後の断端の膨張

義足ソケットを外した後、断端容積が急激に増加するという現象が、Sanders らにより報告されている¹⁸⁾。

30名の下腿切断者において、ソケットを外した直後から断端容積は急速に増加し、その後、一定の断端容積を維持する傾向が見られた。断端容積は、ソケットと断端袋、ライナーをすべて取り外すよりも、ライナーを装着していた方が、より早く安定することが報告されている。

別の論文¹⁹⁾ では、16名の片側下腿切断者において、義足ソケットを装着したままの条件と、取り外した条件、そしてライナーのみ装着した3つの条件で断端容積を30分間観察した。その結果、被験者全員の断端容積は義足ソケットを取り外すと増加したが、ライナーのみ装着した場合は、断端容積の増加が抑えられた。一方で、ソケットを装着したままの条件では、断端容積が減少した。

Zachariah ら²⁰⁾ は、6名の片側下腿切断者のソケットを取り外した後の断端容積は、約6%大きくなると述べている。この変化は最初の8分間で急速に増加し、その後、35分経過すると安定した。

これらを踏まえると、ソケットを外した直後の断端と時間が経過した断端は異なっているという解釈ができ、義肢装具士にとってはソケットの適合に注意を払う必要がある。

(5) 周期的な変化(透析治療の周期・女性の月経周期)

透析前後の断端変化が義足の仕様や適合に影響するという症例報告は、いくつか発表されており^{21,22)}、一般的に、断端容積は透析直前に最も増加し、透析終了後、減少する傾向がある。透析前後での周径変化は1~2 cm という報告²¹⁾ や大腿切断者では周径で3~4 cm 変化すると明記された報告²²⁾ もある。

女性の月経周期による断端変化に触れられている報告はいくつかあるが^{2,23)}、詳しい調査は行われていない。

3. 断端変化に伴う問題と対処法

断端変化は、義足ユーザーと義肢装具士の双方にとって、関心が高い問題である。

Legro ら²³⁾ は、下肢切断者における義足に関連する問題点の重要度を調査した。92名の下肢切断者を対象に Prosthesis Evaluation Questionnaire (PEQ) と the standard form (SF) -36 を用いたアンケート調査を行った。その結果、下肢切断者にとって意識が高かったのは、義足の適合が最も高く、次いで義足を使った歩行能力、断端の傷や水疱の回避、断端の発疹の回避の順番であった。自由回答欄には、一時的な断端変化や体重変化により、安

定した適合が得られない困難さがあるという回答が寄せられている。

Ahmad¹⁾が行った22人の義肢装具士を対象とするアンケート調査では、下腿切断者の義足製作上の問題について調査が行われた。断端に関する問題意識は高く、中でも断端容積変化と皮膚の損傷や水疱が最も問題意識が高かった。

どの程度の断端変化量で問題が発生するかは、文献によって様々であるが、Boardら¹⁵⁾とFernieら⁷⁾は、断端容積が3から5%増加すると、義足ソケットの装着が困難になると指摘している。Sandersら¹²⁾は断端容積が-4%以下、もしくは+5%以上になるとソケット装着に問題が生じると述べている。

しかしながら、断端容積変化量と断端の皮膚に加わる圧力やせん断力との関係、そして傷の発生の機序とその予防に対する関係は明らかとなっていない。

断端変化に対応する最も一般的な方法は、断端袋の使用である。断端袋の厚みは、いくつか設定されており、単位は「ply (層)」と呼ばれる。23人の下腿切断者の断端袋のセルフレポートにより、断端袋を交換する回数や枚数、平日と週末の違い等が報告されている²⁴⁾。また、断端袋の厚みや種類、重ね履きした時の厚さに関して、荷重試験を行った時の材料特性が報告されている²⁵⁾。断端袋の容積は、断端モデルが1,192.1 mlだった場合、1枚の5 ply ソックスが5.2%、2枚の5ply ソックスが9.4%の断端容積に相当すると説明している文献もある⁹⁾。

4. おわりに

断端変化に対応した管理を行い、義足ソケットの適合状態を保つことは、義足装着感を低下させず、断端や歩行に関わる諸問題の発生も防止することに繋がる。しかし、断端変化の傾向やその要因の解明は十分ではない。報告された文献の多くは、下腿切断者を対象とした断端変化であるため、大腿切断者の断端変化に関する知見も少ない。

断端変化に関する知識は、義肢装具士にとって、ソケットデザインの決定や、ソケットの調整方法の選択に重要な知見である。そして、義足ユーザーへの教育・指導にも役に立つ。ユーザー自身が「断端は変化するもの」という認識を持つことで、断端が変化した時の調節法等のセルフケアに繋がっていく。

エビデンスの確立と症例報告の積み重ねが、最終的に断端変化に対するガイドラインの作成へ至ることを期待している。

文 献

- 1) A. Ahmad: Prosthetic problems of transtibial amputee, J Postgraduate Medical Institute, 23(2), 153-158, 2009.
- 2) J. E. Sanders, et al.: Clinical utility of in-socket residual limb volume change measurement: Case study results, Prosthet Orthot Int, 33(4), 378-390, 2009.
- 3) J. E. Sanders, et al.: Residual limb volume change: systematic review of measurement and management, J Rehabil Res Dev, 48(8), 949-486, 2011.
- 4) R. Kofman, et al.: Measurement properties and usability of non-contact scanners for measuring transtibial residual limb volume, Prosthet Orthot Int, 42(3), 280-287, 2018.
- 5) F. L. Golbranson, et al.: Immediate postsurgical fitting and early ambulation: A new concept in amputee rehabilitation, Clin Orthop Relat Res, 56, 119-132, 1968.
- 6) G. Berke: Post operative management of the lower extremity amputee-standards of care, Official findings of the consensus conference, J Prosthet Orthot, 16(35), 6-12, 2004.
- 7) G. R. Fernie, et al.: Volume fluctuations in the residual limbs of lower limb amputees, Arch Phys Med Rehabil, 63(4), 162-65, 1982.
- 8) B. M. Persson, et al.: A clinical standard of stump measurement and classification in lower limb amputees, Prosthet Orthot Int, 7(1), 17-24, 1983.
- 9) M. Lilja, et al.: Proper time for definitive transtibial prosthetic fitting, J Prosthet Orthot, 9(2), 90-95, 1997.
- 10) F. L. Golbranson, et al.: Volume changes occurring in postoperative below-knee residual limbs, J Rehabil Res Dev, 25(2), 11-18, 1988.
- 11) M. Lilja, et al.: Morphological changes during early transtibial prosthetic fitting, Prosthet Orthot Int, 22(2), 115-122, 1998.
- 12) J. E. Sanders, et al.: Changes in interface pressures and shear stresses over time on trans-tibial amputee subjects ambulating with prosthetic limbs: Comparison of diurnal and six-month differences, J Biomech, 38(8), 1566-1573, 2005.
- 13) 三ツ本敦子ほか: 義足使用に伴う下腿切断者の断端周径変化, 国立障害者リハビリテーションセンター研究紀要, (33), 21-26, 2012.
- 14) R. A. Roberts: Suction socket suspension for below-knee amputees, Arch Phys Med Rehabil, 67(3), 196-199, 1986.
- 15) W. J. Board, et al.: A comparison of trans-tibial amputee suction and vacuum socket conditions, Prosthet Orthot Int, 25(3), 202-209, 2001.
- 16) J. E. Sanders, et al.: Preliminary investigation of residual-limb fluid volume changes within one day, J Rehabil Res Dev, 49(10), 1467-1478, (2012).
- 17) M. Lilja, et al.: Relaxed versus activated stump muscles during casting for trans-tibial prostheses, Prosthet Orthot Int, 23(1), 13-20, 1999.
- 18) J. E. Sanders, et al.: Post-doffing residual limb fluid volume change in people with trans-tibial amputation, Prosthet Orthot Int, 36(4), 443-449, 2012.

- 19) J. E. Sanders, et al.: Does temporary socket removal affect residual limb fluid volume of trans-tibial amputees? *Prosthet Orthot Int*, 40(3), 320-328, 2016.
- 20) S. G. Zachariah, et al.: Shape and volume change in the transtibial residuum over the short term: Preliminary investigation of six subjects, *J Rehabil Res Dev*, 41(5), 683-694, 2004.
- 21) 児玉三彦ほか：实例にみる透析リハビリテーションの実際Ⅱ切断例, *J Clin Rehabil*, 9, 790-793, 2000.
- 22) 三上真弘：義足処方, *総合リハ*, 33(3), 217-221, 2005.
- 23) M. W. Legro, et al.: Issues of importance reported by persons with lower limb amputations and prostheses. *J Rehabil Res Dev*, 36(3), 155-163, 1999.
- 24) K. D'Silva, et al.: Self-reported prosthetic sock use among persons with transtibial amputation, *Prosthet Orthot Int*, 38(4), 321-331, 2014.
- 25) J. E. Sanders, et al.: Amputee socks: how does sock ply relate to sock thickness?, *Prosthet Orthot Int*, 36(1), 77-86, 2012.