

P1-1-10

大腿切断端の弾性モデル

キーワード: 大腿義足、弾性、モデル化

国立障害者リハビリテーションセンター¹⁾、長野保健医療大学²⁾

○丸山 貴之¹⁾、中村 隆¹⁾、三ツ本 敦子¹⁾、前野 正登¹⁾、高嶋 孝倫²⁾、飛松 好子¹⁾

【はじめに】

断端と義足ソケットの適合性についてはFEMなどを用いたシミュレーションや解析が行われている¹⁾。しかしこれらは断端とソケットの応力と接触圧の解析による適合性に関するシミュレーションにとどまっており、断端のこのような弾性の性質を再現しモデル化することが出来れば、ソケット形状を設計する際に形状と義足安定性の関係をシミュレートすることが可能となり、より適合性の良好な義足ソケットの設計が可能となると考えられる。

本研究では、その断端の弾性を表す数理モデル構築の試みを行ったので報告する。

【対象と方法】

大腿切断者5名を対象とした、切断端の弾性モデル構築を試みた。弾性モデルの弾性パラメータは切断端の押し込み試験による実測値(押し込み硬さ計測装置(特殊計測社))、形状パラメータはMRIの座標から数値化し、物理的マーカの貼付による、押し込み試験との形状同期を行った²⁾³⁾。

【弾性モデルの構築】

弾性モデルは粘性を有しない非線形弾性モデルとし、各測定点に相当する箇所弾性要素(非線形)を配置した(図1)。形状パラメータから得られる、ソケット装着時と非装着時における半径方向ひずみ E_r と周方向ひずみ E_θ によって生じる弾性体内のエネルギー、つまりひずみエネルギー密度関数を W として、生体組織の性質を表す指数関数を持つ式(1)が成立する。

$$W = \sigma_0 \exp(AE_{\theta\theta}^2 + BE_{rr}^2 + 2CE_{rr}E_{\theta\theta}) \left(\frac{1}{2} P \left(\frac{1}{\lambda_{s,all}} - 1 + D \right) (E_{\theta\theta} E_{rr}) \right) \quad (1)$$

σ_0 : 定数
 A, B, C : 周方向, 半径方向のひずみに対する係数
 $\lambda_{s,all}$: 各断面での断面積の面積ひずみ
 P : 断端の静水圧に相当する定数

ここで弾性 k はこのひずみエネルギー密度関数 W を E_r で2階偏微分することで得られることから、 W より弾性率 k を表す次のモデル式(2)を導出した。

$$k = \sigma_0 f_1(E_{\theta\theta}, E_{rr}) \exp(AE_{rr}^2 + BE_{\theta\theta}^2 + 2CE_{rr}E_{\theta\theta}) + P \left(\frac{1}{\lambda_{s,all}} - 1 + D \right) E_{\theta\theta} \quad (2)$$

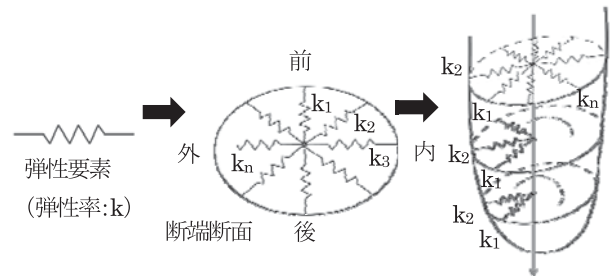


図1 本研究における弾性モデル

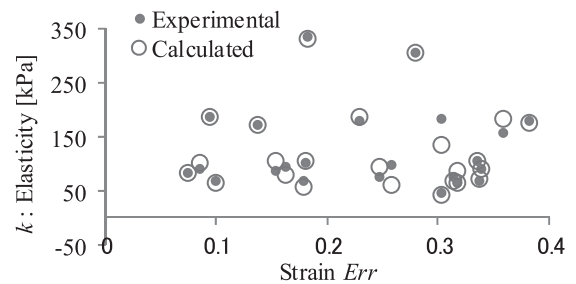


図2 全測定点(24点)における弾性値の測定値と計算値

ここで、

$$f_1(E_{\theta\theta}, E_{rr}) = \{B + 2(CE_{\theta\theta} + BE_{rr})\} A_r^2 + (CE_{\theta\theta} + BE_{rr})$$

である。

式(2)を用いて各ひずみにおける k を算出し、各測定点での測定値との平均二乗誤差が最少となる係数 A, B, C 、および定数 σ_0, P を求めた。

【結果と考察】

計測により得られた弾性値と、弾性モデルにより算出された弾性値(以下;計算値)を図2に示す(被験者1例のみを示した)。図2より式(2)による計算値が実験値を近似できていることがわかり、実験値と計算値の回帰式の決定係数は近位の断面では0.9以上であった。また、式(2)において、係数はそれぞれの被験者で異なり、係数 A, B, C はそれぞれ円周方向, 半径方向, その交互作用のひずみの、弾性率変化への寄与率を表し、すなわち、それぞれの方向への変形しやすさのようなものも表されていると考えられる。また、 σ_0 や P は切断端の初期値としての内圧に相当する量と考えられ、これらの量が複合して、義肢装具士が切断端に感じる「硬い」「軟らかい」という表現に結びついているものと考えられた。このように、このモデルは断端の「性状」を定数に反映したモデルといえる。

本研究は科研費(23500669)の助成を受けたものである。

【参考文献】

- 1) YP Zheng, et al: State-of-the art methods for geometric and biomechanical assessment of residual limbs: A review, JRRD, Vol. 38, No. 5, 487-504, 2001
- 2) 丸山貴之 他: 大腿切断端の弾性分布の計測, 第34回バイオメカニズム学術講演会予稿集, 111-112, 2013
- 3) 高嶋孝倫 他: MRI画像による大腿義足ソケットと切断端形状の数値化, 第20回日本義肢装具士協会学術大会講演集, Vol.21, 192, 2013

一般演題
1日目
ポスター