

平成 31 年 3 月 27 日現在

機関番号：82670

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2017

課題番号：16K16479

研究課題名(和文) 逆問題解法を用いた殿部組織厚みの簡易推定方法の確立

研究課題名(英文) Establishment of a simple estimation method for soft tissue thickness of buttocks by an inverse problem

研究代表者

村上 知里 (Murakami, Chisato)

地方独立行政法人東京都立産業技術研究センター・開発本部開発第三部情報技術グループ・研究員

研究者番号：30733753

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：Deep Tissue Injuryでは、身体の皮膚表面にかかる力の情報に比べ、身体内部の応力や筋・脂肪などの組織の変形に関する情報が重要である。生体軟部組織の変形情報を得るためには、MRIやX線検査装置、超音波診断装置による撮影が行われている。しかし、これらの装置は高額であり、座位計測は困難であるという課題がある。そこで、本研究では、安価かつ簡易に生体内部組織の変形情報を得るために、持ち運び可能な体圧分布測定装置による座位時の圧力分布から生体軟部組織の変形情報を推定する方法を提案した。また、ゲル殿部モデルによる開発アルゴリズムの評価を行い、提案方法の実現可能性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで、生体内部の組織の変形情報を取得する手段は、MRIやX線検査装置、超音波診断装置などの高額かつ専門知識や資格を必要とする装置による撮影であった。本研究では、幅広い分野の医療関係者や研究者が利用可能な体圧分布測定装置の測定情報を用い、安価かつ簡易に生体組織の変形情報を取得する基礎的な方法を開発した。提案方法で用いた体圧分布測定装置は持ち運びが容易であり、座位計測が容易であるという利点がある。このような利点により、車いす利用者や在宅医療における活用が期待できる。

研究成果の概要(英文)：For a better understanding of deep tissue injuries, it is important to obtain information of internal tissue deformation such as thickness of soft tissue rather than information of forces applied to skin surface. It is necessary to use imaging apparatuses of MRI, X-ray CT, and ultrasonography for obtaining the deformation. However, these apparatuses are expensive and it is difficult to measure the deformation of soft tissue in sitting position. Therefore, we have developed a method to estimate thickness of soft tissue using a pressure mapping system that is measurable in sitting position, portable and low cost. A proposed method was evaluated in an experiment using a buttock model by urethane gel. As a result, we indicated a feasibility of the proposed method.

研究分野：生体医工学

キーワード：逆問題 体圧分布 褥瘡

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

主な褥瘡好発部位は、骨突出周辺部位であり、骨突出周辺に高い圧力値を観測することが知られている。褥瘡予防のためには、このような骨突出周辺の力の集中を分散すればよいことが知られている。そのため、皮膚表面にかかる外力の計測は褥瘡の発症危険度の確認のために利用されている。圧力を計測するための一点センサとして Kikuhime (TT MediTrade)、Palm Q (株式会社ケーブ)、圧力とせん断力を計測可能な Predia (株式会社モルテン) が挙げられる。また、摩擦力は皮膚を傷つけ褥瘡の進行を促すことが知られているため、申請者は回転力を含めた 4 自由度の力を計測可能なセンサを開発した[1]。これらの一点センサは、主に、骨突出周辺の皮膚に設置される。一方、多点センサとしては体圧分布測定装置 Force sensing array (Vista Medical) が存在する。Force sensing array はシート状であり、体圧分布の可視化により、体圧分散の変化を直観的に判断できるため、新たなクッションやマットレスなどの褥瘡予防具の開発のための評価にも利用されている。

近年では、皮膚表面から進行する褥瘡だけではなく、皮膚表面に異常はないが深部組織に多大な損傷を起こす Deep Tissue Injury (DTI) への関心が高まっている。DTI では、身体の外表面にかかる力の情報に比べ、身体内部の応力や筋・脂肪などの組織の変形に関する情報が重要である。しかし、生体応力の計測は困難であるため、応力を知るには有限要素解析法などによる生体シミュレーションが必要になる[2]。

一方で、生体軟部組織の変形情報を得るためには、MRI や X 線検査装置、超音波診断装置による撮影が行われている。しかし、これらの方法は、装置および設備費用が高額であり、装置の使用に専門的な技術と知識、資格が必要である。さらに、座位計測は困難であるという課題がある。多くの医療機関で入院治療から在宅治療への移行が進められているが、在宅治療において、褥瘡予防・治療の一環としてこれらの装置を使用することは実用的でない。したがって、在宅治療においても利用できる携帯型検査装置であり、DTI を含む褥瘡発症危険度についてさらに有益な情報を得るための手段が必要である。超音波診断装置は携帯型の装置が増えたため、場所を選ばずに撮影を行うことが可能になってきたが、高額であり、検査画像の診断には専門知識を必要とする[3]。

2. 研究の目的

本研究では、安価かつ簡易に褥瘡予防・治療に有益な生体内部組織の変形情報を得るため、体圧分布測定装置から生体軟部組織の変形情報を推定する基礎的な方法を構築することを目的とした。提案方法において、推定に使用する入力には体圧分布測定装置からの圧力値のみを使用する。本研究において、変形情報を組織の厚みとし、姿勢条件を座位に限定した。座位に限定した理由としては、褥瘡の有無に限らず健康者の利用が見込まれるクッションの開発や評価への応用が期待できるためである。また、MRI や X 線検査装置では座位時における撮影が困難であるため、提案方法の優位性を見込むことができると考えた。本研究では、生体軟部組織をゲルで模したファントム（以下、ゲル殿部モデル）を使用し、推定方法の開発と実現可能性の評価を行った。

3. 研究の方法

片坐骨を模した簡易構造のゲル殿部モデルを使用して、アルゴリズムの構築とその実現可能性の評価を行った。アルゴリズムの出力はシート型体圧分布測定装置のシート上の組織厚みであり、入力は圧力分布のみである。アルゴリズムでは、事前にデータベースに保管した殿部のコンピュータモデルを推定時に利用する。そのため、アルゴリズムに入力された圧力分布は、まず、圧力分布の二次元座標系と殿部コンピュータモデルにおける三次元座標系のマッピング処理が必要である。また、殿部組織の厚み推定の核として、推定に用いる数式モデルの構築が必要である。これらを踏まえ、具体的には、(1) 圧力分布座標系（二次元）と殿部座標系（三次元）とのマッピング手法の提案、(2) 圧力と縦弾性率との関係および縦弾性率と厚みの関係のモデル化、(3) 圧力値から殿部組織の厚みを推定するアルゴリズムの構築、以上の三点を検討した。

(1) 圧力分布座標系（二次元）と殿部座標系（三次元）とのマッピング手法の提案

硬さの異なる二種類のウレタンゲル (AskerC5, AskerC0) を用い、生体殿部を簡易構造で表したゲル殿部モデルの作製を行った。作製したゲル殿部モデルを使い、シート型体圧分布測定装置により圧力分布の測定を実施した。ゲル殿部モデルには 0 kgf から 30 kgf までの荷重をかけ、それぞれの加重条件に対する圧力分布の数値データを取得した (表 1)。0 kgf はゲル殿部モデルの自重のみの状態に相当する。圧力分布の結果から重心計算を行い、マッピングの手がかりとなる特徴点 (骨突出に相当するシートセンサのセル) の抽出を行った。

表 1 加重条件

ゲル殿部モデル	加重条件 (kgf)	学習条件 (kgf)
AskerC5	0, 2, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 14, 15, 20, 25, 30	0, 5, 10, 15, 20, 25, 30
AskerC0	0, 2, 4, 5, 6, 8, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 18, 20, 21, 22, 24	0, 5, 10, 15, 20, 24

(2) 圧力と縦弾性率との関係および縦弾性率と厚みの関係のモデル化

圧力と縦弾性率との関係の数式モデルおよび縦弾性率と厚みとの関係の数式モデルを構築し、ゲル殿部モデルに使用した二種類のゲルで作製された標準試験片による測定値で評価を行った。実験は JIS K 6254 圧縮試験に則り、万能試験機（株式会社島津製作所，AG-10TD）を用いて測定を行った。

(3) 圧力値から殿部組織の厚みを推定するアルゴリズムの構築

前述(1)のマッピング手法および(2)で作成した圧力と縦弾性率との関係の数式モデルおよび縦弾性率と厚みとの関係の数式モデルを組み込み、圧力分布から殿部組織の厚みを推定するアルゴリズムを開発した。また、アルゴリズムで使用する殿部コンピュータモデルは、骨形状および表面形状で構成し、シート型体圧分布測定装置（XSENSOR Technology, X3 Pro Electronics）のセンサピッチ 12.7 mm に合わせ、座標点を取得した。開発には R 3.4.3 を使用した。推定の流れを図 1 に示す。

開発したアルゴリズムの評価のために、前述(1)のゲル殿部モデルを用い、加重変化に対するゲル殿部モデルの圧力分布とゲル殿部モデルの厚みを測定した。

取得された圧力分布において、一部の加重条件を数式モデルのパラメータ学習に使用した。学習に使用した加重条件を除く測定結果を評価用データとして、アルゴリズムの評価を行った。

4. 研究成果

ゲル殿部モデルによる評価結果について以下に述べる。

圧力 P と縦弾性率 E の関係について、数式モデルを構築した。ここで、 θ_E はパラメータ、 \hat{E} は推定値であることを示す。関数 f_E としてサポートベクトル回帰を採用した。カーネル関数として多項式カーネルを用い、パラメータは $\gamma = 1, r = 0, d = 1, \varepsilon = 0.1, cost$ は 1 とした。

$$\hat{E} = f_E(P, \theta_E)$$

次に、縦弾性率 E と厚み L との関係について、数式モデルを構築した。

$$\Delta \hat{L} = f_L(P, \hat{E}, \theta_L)$$

ここで、 θ_L はパラメータ、 $\Delta \hat{L}$ は変形量である。変形量 $\Delta \hat{L}$ を算出した後、変形前の長さ L_0 との差 $\hat{L} = L_0 - \Delta \hat{L}$ を求めることで、変形後の厚み \hat{L} が算出される。関数 f_L として線形回帰を採用した。

推定精度の指標として、Normalized Root Mean Square Error (NRMSE) により評価を行った。

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \hat{L}_i - L_i}}{L_{max} - L_{min}} \times 100$$

ここで、 N はセル数、 \hat{L}_i はセル i における組織厚みの推定値、 L_i はセル i における組織厚みの測定値、 L_{max} は組織厚みの測定値の最大値、 L_{min} は組織厚みの測定値の最小値である。

全セル平均の NRMSE は AskerC5 ゲル殿部モデルで 0.9%、AskerC0 ゲル殿部モデルで 4.9%であった。平均誤差は数%台であるため、本提案方法の実現可能性は存在すると考えている。また、本研究では、モデル化手法およびパラメータの選定に関する比較検討は未実施であり、これらの検討を行うことでさらなる推定精度の向上が期待できる。

今後は実用化を目指し、より複雑な構造のファントムについて、提案方法の評価を行う。その後、被験者実験を実施する予定である。

<参考文献>

[1] Chisato Murakami, Yusuke Ishikuro and Makoto Takahashi, "Feasibility of novel four degrees of freedom capacitive force sensor for skin interface force," Biomedical Engineering Online, Vol.11, No.90, 2012.

[2] M. Makhous, D. Lim, R. Hendrix, J. Bankard, W. Z. Rymer, F. Lin, "Finite Element Analysis for Evaluation of Pressure Ulcer on the Buttock: Development and Validation," IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering December, Vol. 15, No. 4, pp. 517-525, 2007.

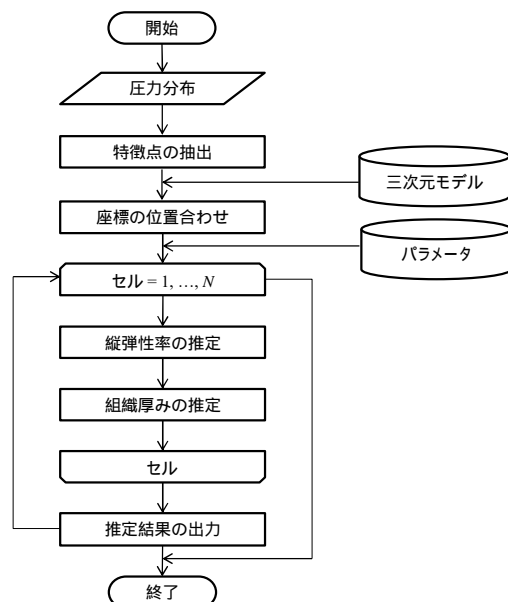


図 1 推定の流れ

[3] 水原章浩 ; 褥瘡エコー診断入門 アセスメントとケアが変わる ” 株式会社医学書院 2012 .

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

村上知里, 金田泰昌, 高橋誠, 生体用4自由度力/変位センサの多次元出力問題に関する回帰モデルの比較検討, 信学技報, 査読無, vol.116, no.520, pp.27-32, 2016.

〔学会発表〕(計2件)

村上知里, 金田泰昌, 高橋誠, 生体用4自由度力/変位センサの多次元出力問題に関する回帰モデルの比較検討, 電子情報通信学会 ME とバイオサイバネティクス研究会, 2017年3月, 東京.

Chisato Murakami, Yasuaki Kaneda, Makoto Takahashi, A basic study of an internal state estimation of buttock using pressure mapping system in sitting position, National Pressure Ulcer Advisory Panel 2018 Annual Conference. 2-3 March, 2018.

〔産業財産権〕

出願状況(計1件)

名称: 内部構造推定装置、方法、及び、プログラム

発明者: 村上知里, 金田泰昌, 高橋誠

権利者: 東京都立産業技術研究センター, 高橋誠

種類: 特許

番号: 特許出願中

出願年: 2018年11月6日

国内外の別: 国内

6 . 研究組織

(1)研究協力者

研究協力者氏名: 金田 泰昌

ローマ字氏名: (KANEDA, yasuaki)

(2)研究協力者

研究協力者氏名: 高橋 誠

ローマ字氏名: (TAKAHASHI, makoto)

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。