



Title	生体力学シミュレーションによる体内応力予測値を基準とした腰痛予防のための個別対応マットレス設計に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	船井, 孝
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第15180号
Issue Date	2022-09-26
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/87190
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Takashi_Funai_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士(工学) 氏名 船井 孝

審査担当者 主査教授 東藤 正浩
副査教授 大橋 俊朗
副査教授 清水 裕樹
副査 チームリーダー 横田 秀夫 (理化学研究所)

学位論文題名

生体力学シミュレーションによる体内応力予測値を基準とした腰痛予防のための個別対応マットレス設計に関する研究

(Research on individualized mattress design for back pain prevention based on predicted stress in the body using biomechanical simulation)

腰痛は多くの人が抱える痛みの自覚症状である。厚生労働省が実施した2019年国民生活基礎調査は、男女ともに10人に1人が腰痛の有訴者であると報告している。これは、1995年の調査以降、2019年まで大きな変化はない。また1995年の調査以降、男性における腰痛の有訴者数は常に第1位、女性では肩こりに次いで常に第2位である。これらの統計は、日本国民の多くが慢性的に腰痛の自覚症状を有していることを示している。本研究では、日本人の多くが抱える自覚症状である腰痛に着目し、人生の1/3を占める睡眠において予防、緩和できるマットレスの個別対応設計方法を提案した。

腰痛は、椎間板変性に起因する可能性が高いため、椎間板負荷を指標として提案したマットレスの腰痛予防効果を評価する方法について検討した。椎間板負荷は、古くは穿刺による椎間板内圧測定で評価されていたが、近年では被験者への高い身体的負担から、倫理的に実施が困難である。本論文では、X線CTやMRIで撮影された人体の断層画像に基づいて構築された三次元人体モデルに対する力学的有限要素法解析、すなわち生体力学シミュレーションを導入した。三次元人体モデルは、すでに様々な研究機関で構築手法が確立されている。また有限要素法システムも、優れた製品が市販されている。しかしながら、生体力学シミュレーションで必須となる生体組織の材料特性パラメータが明らかになっておらず、生体力学シミュレーションの結果を評価するための有効な実験的手法も確立されていなかった。そのため本研究では、「生体組織の材料特性パラメータの導出」を行い、有限要素法解析のバリデーションに活用できる「臥床状態におけるマットレス変形量測定手法の提案」を行った。また、生体力学シミュレーションで臥床状態のマットレスの変形を再現するためには、マットレス素材の変形挙動を有限要素法で良好に再現する必要があるため、使用頻度の高い「ウレタンフォームの材料特性パラメータの導出」を行った。さらに、「使用者の体型に合わせて変形するマットレスの設計手法の提案」を行い、この手法で設計されたマットレスの腰痛予防効果を生体力学シミュレーションで評価した。本研究が提案するマットレス設計手法を椎間板負荷が少ない姿勢で構築された三次元人体モデルに適用することで、椎間板負荷が少ないマットレスが設計できることを示した。

本論文は全6章で構成されており、以下にそれぞれの章の概要を示す。

第1章は序論であり、本研究の位置づけについて説明し、現在までに行われている椎間板評価手法や生体力学シミュレーション、また本研究の対象であるマットレス設計手法について述べている。

第2章では生体力学シミュレーションの実施に不足している生体組織の材料特性パラメータの導出について述べ、非線形有限要素法では、使用するひずみエネルギー関数が凸関数であれば解の唯一性が担保され、Mooney-Rivlin モデル派生で凸関数となるひずみエネルギー関数を提案し生体力学シミュレーションを安定的に解くことができることを示している。

第3章では有限要素法解析のバリデーションに活用できる実験値取得方法として、X線CTによる臥床状態のマットレス変形量測定手法について述べ、X線CTで撮影可能な造影剤を塗布した撮影用マットレスにより、断層画像に確認された造影剤の位置を画像処理することで、マットレス変形形状を数値化できることを示している。

第4章では、使用者がマットレスに臥床した状態を再現する生体力学シミュレーションにおいて、マットレスの素材であるウレタンフォームの変形挙動を再現できる材料特性パラメータの導出について述べている。

第5章では、使用者の背中形状に沿って変形するマットレスの設計手法を提案し、腰痛予防効果を生体力学シミュレーションで評価した結果について述べている。提案手法で設計されたマットレスは、使用者の背中形状に沿って変形する様に設計されていることから、本研究が提案するマットレス設計手法を椎間板負荷が少ない姿勢で構築された三次元人体モデルに適用することで、椎間板負荷が少ないマットレスが設計できる事を示している。

第6章では、本研究で得られた成果を述べている。

これを要するに、著者は生体力学シミュレーションにより推定される椎間板負荷に基づくマットレス個別設計手法を提案したものであり、生体医工学の発展に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。