

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月11日現在

機関番号：13601

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22700213

研究課題名（和文） 数値解析による寝具硬さの嗜好度と寝具の寝心地の推定

研究課題名（英文） Investigation into the sleeping comfort of mattress using numerical analysis

研究代表者

吉田 宏昭（YOSHIDA HIROAKI）

信州大学・繊維学部・准教授

研究者番号：40456497

研究成果の概要（和文）：

寝具に寝た際に生体内に生ずる応力を人間は受容器を通して取得しているので、寝具に寝た際の生体内の応力を知ることができれば有益である。そこで、生体内の応力を推定可能な数値解析を用いて寝具の寝心地に関して検討した。被験者の寝具の嗜好度に関する心理評価の結果と頸部周辺の応力値などをパラメーターとした数値解析の結果に対応関係がみられた。よって、数値解析によって寝具の嗜好度を推定できることが示唆された。数値解析は寝具の寝心地を調査する上で重要なツールであると考えられる。

研究成果の概要（英文）：

The appropriate measurement of stress distribution within the human body would provide valuable information to us. For the appropriate measurement to estimate stress distribution within the human body, numerical analysis is considered one of the most desirable techniques. In comparison with the results of both numerical analysis and sensory testing in the neck region, we found, the sensory testing results corresponded to the numerical analysis findings, and it was possible to estimate subjects' preferences of mattress and comfort in the neck region using the numerical analysis. We believe, the numerical analysis managed to quantify the subjects' preferences for mattress and to prove itself that it is the valuable tools to examine the sleeping comfort of mattress.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,800,000	540,000	2,340,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学、感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：感性計測評価、数値解析、有限要素法、寝心地、寝具、シミュレーション、快適性、ベッドマットレス

1. 研究開始当初の背景

現在、日本人の5人に1人が不眠を訴えているといわれ、この問題を解決するために寝心地に関する研究が国内外で数多くなされている。その際の評価手法として、脳波と筋電図による生理計測、体圧分布測定、アンケートによる官能検査が用いられてきた。これらの生体情報に加えて、生体内の変形状態およびそれに伴う生体内応力分布を知ることができれば有益な情報になりうる。なぜなら、寝具上に寝ることによって生体内に生じる変形を、我々人間は触覚受容器を通して寝心地という感覚として得ているためである。しかし、生体内部への直接的な計測は侵襲性が伴い、被験者に負担が大きいため、代替手法として数値解析が有効である。また、寝心地を決定する要因として、睡眠環境、心身状態、寝具、人間の身体特性が考えられるが、寝具は直接身体に接触し、睡眠に大きな影響を与えていると考えられるため、本研究では寝具に注目する。数値解析を用いた寝具に関する研究は、褥瘡や床づれに関しては何件か検索されるが、睡眠快適性や寝心地に関しては慶應大学や信州大学で行われているのみであり、ほとんど数値解析を用いた寝心地に関する研究はなされていない。

研究代表者はこれまで生体に関する数値解析を10年以上続けてきた。その中で、長時間運転時にドライバーの感じる疲労現象の解明や指先の触覚に関する研究を行い、数値解析によって人間の感覚を推定することが可能だと感じた。これまで感性情報分野で用いられていなかった数値解析が人間の感性を探求する方法として有効ではないかと着想するに至った。そこで本研究では、従来から用いられてきた計測方法に加えて、本研究ではさらなるもう一つの切り口として数値解析を用いて、寝心地に関する研究を行うことに着目した。

寝具に関する研究では身体に負担の少ない寝具硬さが主要なテーマであるが、柔らかすぎず硬すぎない中程度の寝具硬さにより腰痛が軽減されたという報告や、体圧分散性のある柔らかい寝具が良いという見解など様々あり、未だ不明な点が多い。その理由として、人間の体型や感じ方に多様性があり、そのために寝具硬さの嗜好度に個人差が生じていることがあげられる。そこで、この人間の感じ方に関して、数値解析を用いて力学的側面から明示化すれば、寝具硬さに関する課題を解明できると考えられる。また、信州大学や慶應大学での研究成果によると、標準体型と肥満体型間や男女間では寝具硬さの嗜好性に違いがあると指摘されており、人間の体型の違いによって寝具硬さに対する感じ方が変化する可能性がある。よって、様々

な体型を再現した人体数値モデルを用いた数値解析により、寝具に寝た際の人間の感じ方を推定すれば、個人差のある寝具硬さの嗜好度を類推できるのではないかと考えた。よって本研究では、体型の個人差を考慮した数値モデルを構築し、数値解析という観点から寝具に寝た際に人間がどのように感じているか力学的に調査する。この解析結果から身体に負担の少ない寝具硬さを推定し、個人により異なる寝具硬さの嗜好度および寝具の寝心地に関してアプローチする。

2. 研究の目的

人間の体型や感じ方には多様性があるため、身体に負担の少ない寝具硬さに関しては様々な見解があり、未だ不明な点が多い。また、過去の研究報告により人間の体型の違いによって寝具硬さに対する感じ方が変化することが報告されている。そこで本研究では、新たな切り口として数値解析を用いて、これらの課題について検討する。様々な体型を再現した人体数値モデルを用いて、数値解析に基づき、寝具に寝た際の人間の感じ方を力学的側面から明示化する。また同時に、アンケートを用いた寝心地に関する官能検査も行う。数値解析結果と官能検査結果とを比較することにより、数値解析によってえられた応力値などが官能検査によって得られた評定点とどのような対応関係にあるのか検討する。よって本研究では、被験者の体型を再現した人体数値モデルを構築し、数値解析と官能検査との関係から、体型の違いにより生体内の応力状態がどのように変化するのか検討する。身体に負担の少ない寝具硬さを解明することにより、寝具硬さの嗜好度の個人差に関して考察し、寝具の寝心地を推定する。

3. 研究の方法

(1) アンケートによる官能検査

4種類の硬さ(ヤング率)の異なるベッドマットレス(試料のヤング率はA:14.0kPa、B:11.4kPa、C:9.6kPa、D:6.0kPa)について、アンケートを用いて官能検査を行った。手法はシェッフェの対比較法(中屋の変法)とした。シェッフェの対比較法とは、試料群の中から2個ずつ取り出して対にして比較し、全部の組み合わせの結果を総合して試料全体を評価する官能検査法であり、試料間の差の程度を評点で示すことができる。特に、中屋の変法を用いると、比較対のA-BとB-Aという順序は考慮せず、被験者一人が全部の組み合わせを評価することができる。

評価項目は、硬さ感、マットレスの好み、硬さの好み、沈み込みの好み、身体各部の快

適感(首部、背部、腰部、臀部、脚部)とし、評価尺度は7段階とした。全6通りのペア(A-B、A-C、A-D、B-C、B-D、C-D)に対して、各々5分間仰臥位で寝てもらい、その後試料間を自由に往復することを許し、評価してもらった。試料呈示は被験者ごとにランダムに設定した。実験環境は恒温恒湿室(室温25℃、湿度50%)で、被験者は21歳~24歳までの男子大学生13名であった。

(2) 有限要素法を用いた数値解析

本研究では、数値解析手法の一つである有限要素法(FEM)を用いて人体FEMモデルを構築した。人体は複雑な構造をしているが、骨・椎間板・靭帯・生体軟組織から構成されると仮定し、二次元人体FEMモデルを作成した。ここで、生体軟組織とは、皮膚や脂肪、筋肉などを含めた組織のことを示している。二次元FEMモデルは計算コストがかからず、比較的容易に被験者の体型を再現したモデル構築が可能であり、効率が良い。

研究代表者はこれまで平均体型を模倣した人体FEMモデルを作成してきた(図1)。本研究では、この平均体型FEMモデルを基に被験者の体型を再現した人体FEMモデルを構築した。そのためには被験者の人体寸法を採取する必要がある。二次元人体FEMモデルに反映可能な寸法値として、身長と身体の厚み(厚径)が挙げられる。そこで、既存のAIST人体寸法データベースを参照して、寸法採取点を設定し、被験者の身長と11カ所の体型の厚径を測定した。人体FEMモデルを構築するために、官能検査に参加した男性被験者11名の中から体型が特徴的な3名ほど選択した(M1、M2、M3とする)。M1の被験者モデルは、M2とM3の被験者モデルに比べ厚みが全体的に厚く、M2はM3と比較して、M2は腹部周辺が厚い。

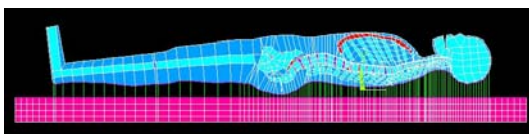


図1 平均体型を模したFEMモデル

被験者の体型を再現した人体FEMモデルの作成手順は以下である。まず、平均体型FEMモデルの身長を被験者の身長に調整した。そして、人体FEMモデルの皮膚表面における寸法採取点に相当する腹部と背部の2つの節点の座標値を、採取した寸法値の厚径になるように設定した。次に、皮膚表面の他の節点群の座標を撮影した被験者画像を参考にして、滑らかになるように手動で設定した。その際、骨、靭帯、椎間板などの皮膚表層にない内部構造は変更しなかった。よって、3体の人体FEMモデルは同数の節点数(950節点)と要

素数(877要素)を有している。材料特性(ヤング率とポアソン比)については、骨、靭帯、椎間板は線形弾性体とし、文献値を用いた。生体軟組織のヤング率を0.1MPa、ポアソン比は0.49とした。人体FEMモデルの構成要素の密度は1000kg/m³とした。

ベッドマットレスFEMモデルは、均一な特性を有する簡便なモデルとした。ヤング率は、官能評価で使用した硬さの異なる4種類のベッドマットレスのヤング率を入力し、ポアソン比は0.01とした。マットレスFEMモデルの要素数は476、節点数は600であった。

境界条件として、鉛直方向に重力加速度9.8m/s²をかけて、人体FEMモデルがマットレスに寝た状態を再現した。マットレスFEMモデルの下底の節点群のみ固定し、人体FEMモデルとマットレスFEMモデルの間は接触摩擦を想定し、摩擦係数0.5を導入した。解析ソフトはANSYS ver.12(Ansys inc.)を用いた。

本研究では、3体の被験者FEMモデル(M1、M2、M3)を用いて4種類の硬さの異なるマットレス(A、B、C、D)に寝た際に、マットレスの硬さと体型の違いにより、生体内に発生する応力がどのように変化するか調べた。その際、脊柱の椎体周辺に発生するvon Mises相当応力に着目した。このvon Mises相当応力はFEM解析によって出力される主応力などの応力値を単軸引張状態の応力に換算したスカラー値であり、応力を一つの数値として扱うことができるので、相当応力値の大きさを生体内の応力分布を評価できる。最終的に、FEM解析の結果と官能検査の結果とを比較し、生体内の応力状態からマットレスの寝心地に関して考察した。

4. 研究成果

(1) 主な成果

まず、アンケートを用いた官能検査の結果と考察について述べる。マットレスの硬さに関する項目である硬さ感の結果を図2に示す。軸の数値は各マットレスの平均評点を示す。

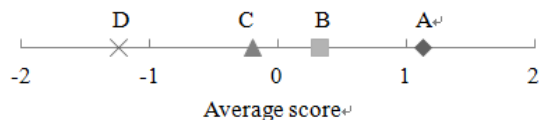


図2 硬さ感の平均評点の結果

実際のマットレスの硬さの高い順 A>B>C>Dの順に硬いと感じるという結果になった(数値がプラス方向のときマットレスが硬いと感じ、マイナス方向のときマットレスが柔らかいと感じる)。しかし、男性被験者13名のうちの3名は、マットレス硬さの順に硬さ感を評価できなかった。この3名は官能検査におけるパネルとしての判定能力がないと判

断し、次に述べるマットレスの嗜好度に関する結果は、男性 10 名のデータを用いた。

マットレスの嗜好度に関わる、好みと身体各部の快適感（首部、背部、腰部、臀部、脚部）についての男女別の結果（上述したように、男性 10 名の結果）を図 3 に示す。横軸が評価語、縦軸が平均評点である。

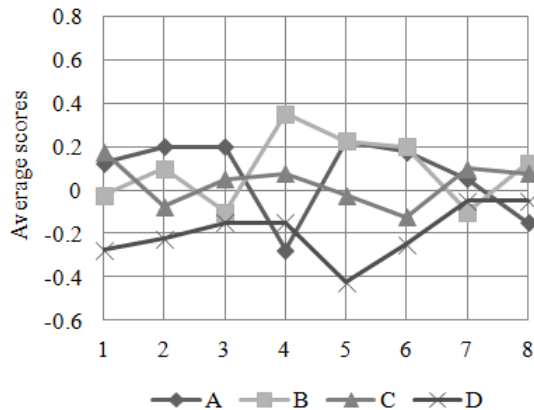


図 3 マットレスの嗜好度に関する結果（1：マットレスの好み、2：硬さの好み、3：沈み込みの好み、4：頸部の快適感、5：背部の快適感、6：腰部の快適感、7：臀部の快適感、8：脚部の快適感）

マットレスの好み、硬さの好み、沈み込みの好み（数値がプラス方向のとき好きと感じ、マイナス方向のとき嫌いと感じる）を総合的に見ると、一番硬い A のマットレスを好み、一番柔らかいマットレス D を嫌う傾向がある。

快適感に関わる項目では（数値がプラス方向のとき快適と感じ、マイナス方向のとき不快と感じる）硬さの好みと腰の快適感で高い相関があった。また、男性が一番硬い A を好むが、快適感となるとそれより若干柔らかい B の評価が高かった。

次に、FEM 解析の結果と考察を述べる。3 名の被験者の体型を再現した FEM モデルを用いて、FEM 解析を行った。人体は、頭部、胸部、臀部という 3 つのブロックと、これらをつなぐ頸部と腰部の 2 つの接合部分に分けられ、接合部分に大きな応力が発生すると考えられる。これまで研究代表者は腰部の応力に着目して、寝心地の評価を行ったので、本研究では、新たに頸部に着目して、応力を調査した。4 つの硬さの異なるマットレスについて、各被験者 FEM モデルの第 2 頸椎周辺から第 5 頸椎の周辺にかかる応力の解析結果を図 4 に示す。3 体の人体 FEM モデル M1、M2、M3 に対応する各被験者の官能検査の結果を表 1 に示す。

第 2 頸椎は他の頸椎に比べ高い応力が発生しており、一番柔らかい D マットレスのとき応力が一番高い。一番柔らかい D のマッレ

スに対しての首の快適感評価が一番悪いことから、柔らかすぎると重量のある体幹部が沈みこみことにより、頭部が引っ張られるようになり、頭部と体幹の間に位置する頸部、特に頭蓋骨との境界に近い第 2 頸椎周辺に応力が集中し、不快と感じたと考えられる。

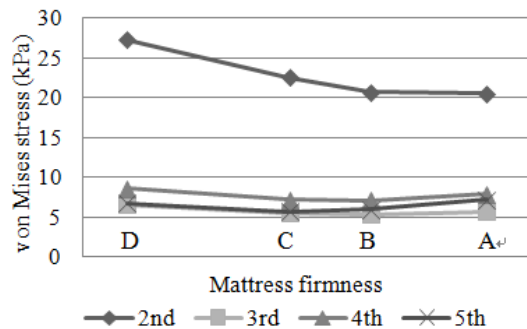


図 4 FEM 解析による被験者 FEM モデル M1 の第 2 頸椎から第 5 頸椎にかかる応力

表 1 3 名の被験者の官能検査の結果

	Mattress preference	Comfort in neck
M1	C > B > D > A	C > A > B > D
M2	A > C > B > D	B > C > A > D
M3	B > A > C > D	A = B > C = D

下位頸椎である第 4 頸椎と第 5 頸椎の応力変化をみると、マットレスが硬いときに応力が比較的高く、マットレスが B と C のときに応力値が低い。一方、上位頸椎である第 2 と第 3 頸椎はマットレスが硬くなるにつれて、応力は減少している。他の 2 体の FEM モデルでも同じような傾向が見られた。硬いマットレスのときは体幹部が沈み込まないために、前湾アーチ型になっている頸部の中間に位置する第 4 頸椎周辺において重力により下方へたわむという現象が起き、第 4 頸椎や第 5 頸椎周辺に高い応力が発生したと考えられる。

D 以外のマットレス A、B、C に関しては、首の嗜好度と快適感に関して、3 人の結果に個人差がある。そこで、構築した 3 体の人体 FEM モデルごとに考察した。

M1 のように身体の厚みが全体的に厚く、体幹がマットレスに沈むタイプは硬いマットレスを嫌い、C のようにある程度柔らかさのあるマットレスを好む傾向がある。M1 でもやはり硬いマットレスのときに、頸部に発生する応力値は低い（図 4）。そこで、他のパラメーターである人体 FEM モデルのマットレス FEM モデルへの沈み込み量を調べた。頭部のある節点の沈み込み変位量と胸部のある節点の沈み込み変位量との差を算出し、被験者

間で比較した(図5)。M2とM3では、マットレス硬さの変化に従って、線形的に沈み込み変位量の差が変化している。しかし、M1のみマットレスBにおいて沈み込み変位量の差が小さい。これはマットレスの反発力と体幹の重量との相互作用により、相対的に体幹がマットレスへ沈むことができなかったことが一つの原因だと考えられる。マットレスCでは硬さ相当の沈み込み変位量の差となっているため、マットレスBは期待している沈み込み量とはならず、不自然さを感じてしまい、マットレスCの沈み込みが良いと判断したのではないかと推定される。よって、M1のように体幹が相対的に重い人は中くらいの硬さのマットレスが寝心地が良いことが示唆された。

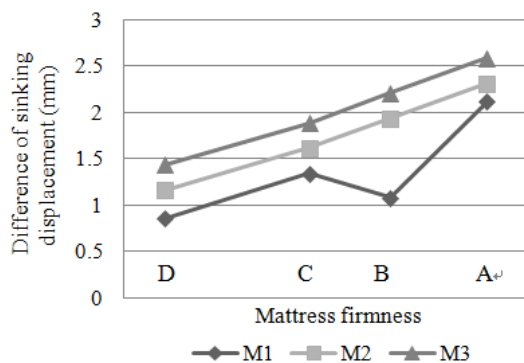


図5 FEM解析による沈み込み変位量の差

一方、M2とM3のように体幹が厚くない体型では、AやBの硬いマットレスを好む傾向がある。硬いマットレスAとBでは全体的に頸椎に発生している応力は低く、M1とは異なって頸部の沈み込みの変位量の差が硬さの変化と線形的な関係にあるので、硬いマットレスを好んだと考えられる。よって、M2やM3のように体幹が厚くない平均体型に近い体型は、硬めのマットレスが身体に負担が少ないと類推される。よって、体型が異なってくると、適度なマットレスのヤング率も変わってくると考えられ、特に、体幹の重量が一つのキーになると類推される。

本研究では、被験者の体型を再現した人体FEMモデルを構築し、FEM解析を行った。官能検査結果とFEM解析結果が一致しており、FEM解析を用いて被験者のマットレス硬さの嗜好度について推定できることが示唆された。FEM解析の利点は、被験者を募ることなく、コンピュータ上で寝心地を評価できることである。有限要素解析は寝具の寝心地を検討する上で重要なツールであると考えられる。

(2) 得られた成果の位置づけ

現在、日本人の5人に1人が不眠を訴えて

いるといわれ、この問題を解決するために、寝心地に関する数多くの研究がなされている。その際の寝具の寝心地評価手法として様々な計測手法が提案されてきた。これら生体情報に加えて、生体内の変形状態やそれに伴う生体内応力状態を知ることができれば非常に有益な情報になる。なぜなら、人間は寝具に寝た際に生じる生体内変形およびそれに伴う生体内の応力を、触覚受容器を通して感性情報として獲得しているためである。しかし、直接生体内を計測することは被験者に負担が大きいため、その代替手法としての数値解析は有効なツールである。数値解析を感性情報の呈示手法として用いることにより、人間の寝心地という感性をより深く理解することができるので、本研究の手法は意義がある。

人間の体型と嗜好度には多様性があるため、身体に負担の少ない寝具硬さに関しては様々な見解があり、未だ不明な点が多い。この問題を解決するために、新たな切り口として数値解析を用いた。様々な体型を再現した人体数値モデルを用いて、数値解析に基づいて寝具に寝た際の人間の感じ方を明示化することにより、個人差によって異なる体に負担の少ない寝具硬さの嗜好度と寝具の寝心地について、数値解析を用いて推定できた。本研究のように数値解析を用いた寝心地に関する研究例はこれまでほとんどないため、独創的である。

(3) 今後の展望

被験者数と人体FEMモデルが少ないことが挙げられる。今後、被験者数を増やし、数多くの体型を再現した人体FEMモデルを用いてFEM解析を行い、マットレスの嗜好度について詳細に調査する予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

- Hiroaki Yoshida, Mitsunori Tada, Masaaki Mochimaru, A Study of Frictional Property of the Human Fingertip Using Three-Dimensional Finite Element Analysis, *Molecular & Cellular Biomechanics*, Vol. 8, No. 1, pp. 61-72, 2011, 査読有
- 権義哲, 上條正義, 吉田宏昭, 高寺政行, 3軸力覚センサを用いたムートンの毛込み感評価に関する研究, *Journal of Textile Engineering*, Vol.57, No.5, pp. 123-129, 2011, 査読有
- Chao EYS, Volokh KY, Yoshida H, Shiba N, Ide T, *Discrete Element Analysis in*

Musculoskeletal Biomechanics,
Molecular & Cellular Biomechanics, Vol.
7, No. 3, pp. 175-192, 2010, 査読有

[学会発表](計8件)

青井 政貴、上條 正義、吉田 宏昭、「区
分ごとに弾性率が異なるベッドマトレ
スの寝心地評価」、第7回日本感性工学会
春季大会、2012.3.3、高松

渡邊 純也、青井 政貴、上條 正義、吉田
宏昭、「暑熱環境下における温度調節素材
含んだベッドパッドの寝心地評価」、第7
回日本感性工学会春季大会、2012.3.3、
高松

青井政貴、上條正義、吉田宏昭、堀場洋
輔、乾滋、清水義雄、「寝姿勢変化計測に
よる睡眠状態の推定に関する基礎検討」、
第13回日本感性工学会、2011.9.3、東京

青井政貴、上條正義、吉田宏昭、堀場洋
輔、乾滋、清水義雄、「身体区分の重量を
考慮したベッドマトレスの寝心地評
価」、平成23年度繊維学会年次大会、
2011.6.9、東京

吉田宏昭、上條正義、清水義雄、「一対比
較法を用いたベッドマトレスの寝心地
に関する考察」、第12回日本感性工学会
大会、2010.9.12、東京

上條正義、小野陽祐、吉田宏昭、乾 滋、
堀場洋輔、「睡眠ポリグラフィ測定と動作
計測によるベッドマトレスの寝心地評
価」、平成22年度繊維学会年次大会、
2010.6.17、東京

吉田宏昭、上條正義、清水義雄、「一対比
較法を用いたベッドマトレスの寝心地
に関する研究」、平成22年度繊維学会年
次大会、2010.6.16、東京

青井政貴、小野陽祐、吉田宏昭、上條正
義、「睡眠深度分析によるベッドマトレ
スの寝心地評価」、日本繊維機械学会 第
63回年次大会、2010.5.21、大阪

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉田 宏昭 (YOSHIDA HIROAKI)

信州大学・繊維学部・准教授

研究者番号：40456497