

令和 3 年 6 月 10 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K11501

研究課題名（和文）数値解析に基づいたコンピュータ上における寝具の寝心地評価システムの構築

研究課題名（英文）Development of evaluation system for sleeping comfort by using computer simulation

研究代表者

吉田 宏昭（Yoshida, Hiroaki）

信州大学・学術研究院繊維学系・教授

研究者番号：40456497

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,400,000円

研究成果の概要（和文）：寝具に寝た際に生体内に生じる応力を人間は寝心地として取得しているため、寝具に寝た際に生じる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。様々な体型の人体数値モデルを構築して生体内の応力を調査したところ、性差によって寝心地が異なることが示唆された。有限要素解析だけでなく、実際の寝具を用いた評価実験も実施した。敷き布団の臀部周辺の嵩高さの違いが寝心地に与える影響について調査したところ、+10mm以下の嵩高さだと寝心地が良くなることが示唆され、寝心地の良い寝具特性を特定することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

日本人の5人に1人が睡眠に何らかの悩みをかかえているといわれている。快適な睡眠がとれない要因の1つに寝具が合っていないことが挙げられる。寝心地は曖昧で目で見ることができないからである。一方、寝具に寝た際に生体内に生じる変形とそれに伴う応力を我々は寝心地として感じている。そこで本研究では、数値解析手法を用いて生体内に生じる応力を推定し、曖昧な寝心地を定量化したいと考えた。数値解析を用いると様々な体型をモデル化できるので、その人に合った寝具特性が特定でき、個人対応型寝具を製作することが可能となる。将来的には、コンピュータ上で寝具の寝心地が推定できるシステムを構築していきたい。

研究成果の概要（英文）：The measurement of stress distribution within the human body would provide valuable information to us. Numerical analysis is considered one of the most desirable methods to estimate stress distribution within the human body. Since human body dimensions have individual differences, it is presumed that the way of the internal stress distribution also changes due to gender difference. Thus, we developed human numerical models reproducing various types of the body forms and investigated the sleeping comfort of mattress by using human-mattress numerical models. From the results of numerical analyses, it is considered that sleeping comfort changes according to the difference of gender difference. And we carried out experiments to evaluate sleeping comfort and clarified the appropriate properties of mattress to achieve comfortable sleeping.

研究分野：感性工学

キーワード：寝心地 感性工学 感性計測 有限要素解析

1. 研究開始当初の背景

睡眠は、脳機能や身体機能を健常に保つために必要不可欠な生理的活動の 1 つである。しかし、現代社会にはストレスや過度の労働といった睡眠を阻害する要因が多くあふれており、日本人の 5 人に 1 人が不眠を訴えているといわれている。

社会問題ともいえる睡眠に関する問題を学術的に解決するために、これまで様々な研究がなされてきた。しかし、その多くが光や音などの睡眠環境、あるいは、睡眠時無呼吸症候群などの生理的側面に関する研究であった。しかし、そもそも、睡眠はどういうものだろうか。環境なども重要な要因である。人生の 3 分の 1 という時間、寝具に直接接触していることを考えると、寝具が人体に与える影響はとても大きい。しかし、寝具の寝心地に関する研究はほとんどなされていない。その要因のひとつとして、体型や嗜好度に個人差があり、寝心地という感性が曖昧であることが挙げられる。

寝心地の評価手法として、これまで心理評価と生理計測および体圧分布測定や加速度計測が用いられてきた。これらの生体情報に加えて、生体内の変形状態とそれに伴う生体内応力を知ることができれば非常に有益な情報になりうる。なぜなら、寝具上に寝た際に生じる生体内の変形を我々は寝心地として感じているためである。しかし、生体内部への直接的な計測は侵襲性が伴うため、被験者に負担が大きいので、その代替手法として生体内の変形と生体内応力を推定できる数値解析が有用である。

申請者はこれまで生体に関する数値解析を 10 年以上続けており、数値解析によって人間の感性が推定できると感じている。数値解析を用いた睡眠関連研究は床ずれに関して何件か検索されるが、寝心地に限定すると慶應義塾大学と信州大学で行われているのみである。すなわち、数値解析を用いて生体現象を解明している研究はあるが、本研究のように数値解析を用いて寝具の寝心地を扱っている研究は国内外でもほとんどない。特に、数値解析は生体内現象を数量的に推定することができるので、曖昧な寝心地を可視化することができる。本研究では、従来から用いられてきた評価手法にもう一つの切り口として数値解析を加えて、寝心地の本質に迫る。

さらに、体型や嗜好度に個人差があることも寝心地を解明するに当たり、大きな壁となっている。しかし、数値解析の利点の 1 つは、様々な体型の人体数値モデルを比較的容易に作成できることである。本研究では、コンピュータ上に様々な体型の人体数値モデルを構築し、寝心地に関する研究を効率的に遂行できる。また、嗜好度の個人差は、アンケート調査を含めた実際の睡眠実験を実施し、その睡眠実験と数値解析の結果を参照して、地道に研究を行うしかない。

数値解析によって寝心地を見える化し、寝具の嗜好度や睡眠の質といった快適な睡眠生活を送るために必要な感性情報を解明し、数値解析によって嗜好度が高く睡眠の質が良い寝心地の良い寝具特性を特定する。最終的には、数値解析手法を用いて、コンピュータ上で寝具の寝心地評価が可能なシステムを構築することを目指す。

2. 研究の目的

寝具上に寝た際に生じる生体内変形とそれに伴う生体内応力を我々は寝心地として感じているため、生体内変形と生体内応力を推定できる数値解析は、寝心地を評価する際に非常に有益である。本研究では、様々な体型の人体数値モデルを作成し、数値解析を行うことによって生体内応力を調査し、コンピュータ上で寝心地が推定可能なシステムを開発する。数値解析により、寝具の嗜好度、負担の少ない寝具特性、適切な寝姿勢、睡眠の質といった快適な睡眠生活を送るために必要な感性情報を明示化し、寝心地を決定する要因を特定する。これまで曖昧だった寝心地を定量的に推定し、数値解析という新たな観点から未だ不明な点の多い寝心地の本質を解明する。

3. 研究の方法

本研究では、数値解析手法の一つである有限要素法を用いて人体有限要素モデルを構築した。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、二次元人体有限要素モデルを作成した。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。

これまで平均体型を模倣した人体有限要素モデルを作成した(図 1)。この平均体型有限要素モデルを基に被験者の体型を再現した人体有限要素モデルを構築した。そのためには被験者の人体寸法を採取する必要がある。二次元人体有限要素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。有限要素解析ソフトとして ANSYS Ver. 12 を用いた。人間が寝ている状態を再現できるように、人体に重力(重力加速度 9.8m/s^2)をかけて、人体とマットレスを接触させた。人体とマットレス間には接触要素を導入し(摩擦係数は 0.5)、マットレスの底面のみを完全固定した。密度はすべて 1000kg/m^3 とした。人体モデルの腰部と頸部の椎間板に相当するある一節点における応力値と沈み込み量を調査した。

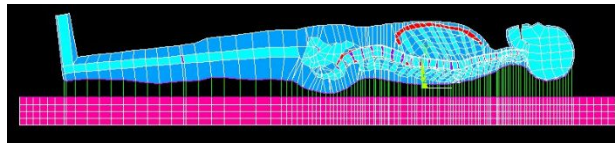


図1 人体とマットレスの有限要素モデル

有限要素解析とともに、様々な実験も実施した。

質の良い睡眠をとるには適切な寝返りが必要だといわれており、この寝返りの効果の1つとして血行促進があげられる。しかし、寝返りと血行動態に関する研究を検索しても見当たらなかった。また、下肢むくみはエコノミー症候群が話題になったように長時間同じ姿勢でいることにより、筋ポンプ作用がなく静脈が停滞することによって引き起こされるが、睡眠時の下肢むくみもほとんど研究されていない。そこで、寝返り動作と下肢の血行動態、および下肢むくみの関係性について調査することにした。我々は睡眠時に寝返りするとき、無意識に足を立てることが多い。この足を立てる行動に意味があると考え、足を立てて寝返りすることにより血行が促進され、むくみの改善につながっていると仮説を立てた。被験者は、20代の女子大学生5名とした。下肢の血行動態を調査するために、OMEGAMONITOR BOM-L1 TR Wを用い、OXY Hb (酸素化ヘモグロビン)、deOXY Hb (脱酸素化ヘモグロビン)、TOTAL Hb (組織全血液量)、StO2 (組織血液酸素飽和度)を計測した。下肢むくみを調査するために、身体組成分析装置 MLT-550N を用いた。計測箇所は右ふくらはぎ内側とした。実験手順として、被験者に5分間の安静臥床してもらった後に右方向に寝返りしてもらい、そのまま右側臥位で10分間計測した。その後、再び仰臥位で5分間の安静状態にもらった。続いて、左方向に寝返りしてもらい、左側臥位で10分間計測した。この流れを一連の試技とし、足の立て方を3条件(両足を立てて寝返り、寝返りをする方向と逆の足を立てて寝返り、足を立てずに寝返り)とした。血行動態は連続計測し、下肢むくみ計測は側臥位(寝返り動作)開始時と終了時に行った。

また、日本における布団打ちには「腰を硬く打て」という教えがあり、敷布団の臀部周辺を厚くするのが良いということである。これまでの研究により、臀部周辺のみ硬くすると、寝返りがしやすくなり、寝心地が良くなることが分かっている。しかし、どの程度臀部周辺を厚くすれば良いのか分かっていない。そこで、敷布団の臀部周辺の高さの違いによって、寝返りのしやすさや睡眠の質がどのように変化するか調査することにした。20代大学生8名(女性4名、男性4名)を対象に、臀部の高さの変化によって、寝心地や寝返りのしやすさなどに変化があるのか調査した。実験試料は市販の低反発マットレスを用いた。臀部周辺の高さは3段階に設定し、平面、中程度の高さ(約1cm)、高程度の高さ(約2cm)の3条件とした。実験手順は、3種類の高さの中からランダムに1種類の高さを提示し、被験者には、敷布団を見ずに、敷布団の上に横になってもらった。その後、自由に寝返りを打ってもらい、7段階評定のSD法により官能評価を行った。その後、残りの条件でも同様に繰り返した。

4. 研究成果

有限要素解析の結果、寝具の硬さを寝具の硬さを変化させたとき、腰部に発生する応力が変化し、敷き布団が適度な硬さのときに、応力が一番低いという傾向が見られた。また、男性モデルと女性モデルを比較すると、男性と女性では腰部に発生する応力が異なり、これが寝具の嗜好度の性差に関係することが示唆された(図2)。

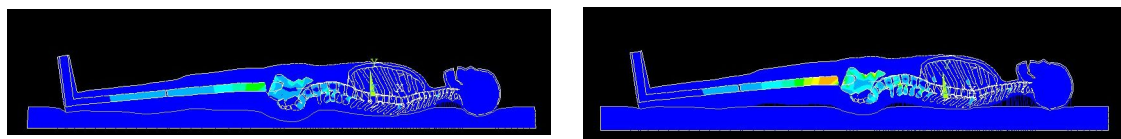


図2 硬さの異なる敷き布団に寝た際の身体内部に生じる応力の違い

次に、寝返りと下肢の血行動態の関係を述べる。被験者5名の10回分の平均データの血行動態の結果を図3に示す。すべての試技において、安静時に比べて寝返りをした後のOXY、TOTAL、StO2が増加した。一般的に、OXYが増加すると血行が促進しているといわれている。血液中の酸素化ヘモグロビンの割合を示しているStO2が増加しているということは血液中のOXYの割合が増加し、deOXYの割合が減少していることになり、血行が促進していると考えられる。これは、寝返りによって筋活動が生じて筋ポンプ作用が働き、心臓への還流量が増加したためだと考えられる。被験者5名の10回分の平均データのむくみ率の変化率の結果を図4に示す。有意差はなかったものの、右に寝返りすることでむくみ率が減少する傾向がみられた。本研究では、被験者の多くは左に寝返りしやすいと答えており、慣れない方向への寝返りによって筋肉をより使ったことで筋ポンプ作用が働き、むくみが解消された可能性がある。当初の仮説としては足を立てて寝返りすることによって血行が促進され、むくみが解消されると考えていたが、足を立てた2つの試技全てでその傾向になる結果は得られなかった。しかし、足を動かさずに寝返りした際はむくみ率が減少する傾向はみられず、足を立てて寝返りした際はむくみ率が減少する傾向があ

ったため、足を立てて寝返りすることはむくみ解消に有効であると考えられる。さらに、足を立てずに左に寝返りをした最後の試技では、多くの被験者のむくみ率が増加傾向にあったことから、足を立てずに寝返りすると、むくみ率が増加することが示唆された。つまり、足を立てて何回か寝返りすることによって徐々にむくみが改善されると考えられる。

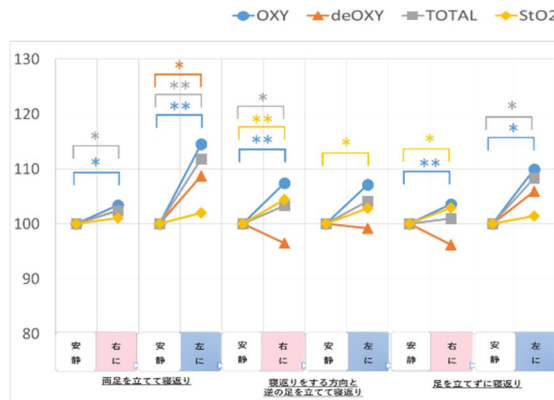


図3 血行動態の変化率の結果
(被験者5名の10回分のデータ平均、* : p<0.05、** : p<0.01)

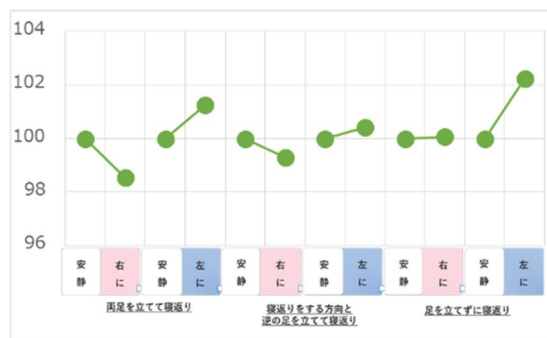


図4 むくみ変化率 (被験者5名の10回分のデータ平均)

最後に、敷布団の臀部周辺を厚さと寝心地の関係について述べる。官能評価の女性の結果を図5(a)、男性の結果を図5(b)に示す。官能評価の結果から、男女ともに、似たような傾向を示した。嗜好度では、平面 > 中 > 高の順となった。評価結果から分かるように、臀部周辺の高さを上げると、腰に違和感があることが分かる。足の上げやすさに関しては、中程度の高さが、最も良い評価となった。このことから、臀部の高さは、足の上げやすさに影響を与えるが、適度な高さである必要があると考えられる。しかし、中程度の高さが最も寝返りがうちやすいという評価にはならなかった。一般的に、睡眠中に寝返りをする時、人は無意識に片足を立てて、その足の重みを利用して寝返りするパターンが多い。+10mmの中程度は足を上げやすいが、寝返りがしやすいという評価にはなっておらず、どちらかという、日常で使用している敷布団と異なるという違和感がある。もう少し高さを低くすれば、平面と同程度の寝返りのしやすさになると推測される。

寝心地の良い敷き布団の要件が評価実験によって分かってきた。今後は、有限要素解析を用いて、部位ごとに硬さや嵩高さの異なる敷き布団に寝た際に、腰部の応力などがどのように変化するのか、詳細に調査する予定である。その関係が明らかになれば、ユーザーの人体寸法を入力すれば、その人に合った敷き布団を提案することができるだろう。

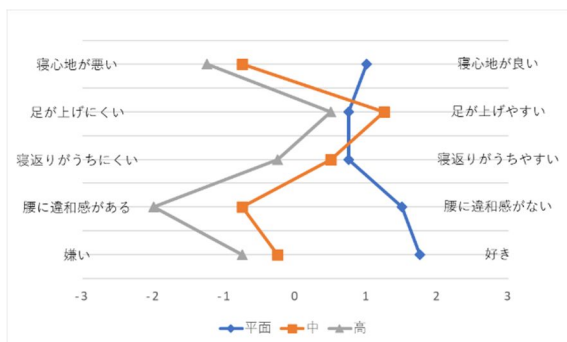


図5(a) 女性の評価結果

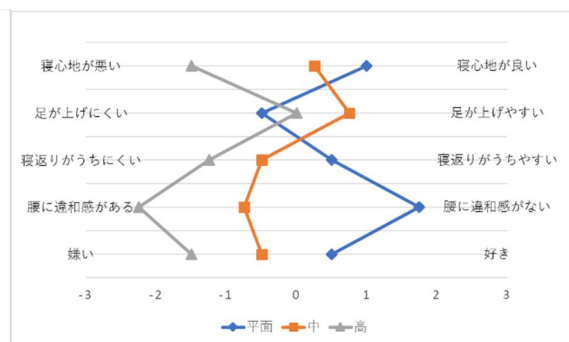


図5(b) 男性の評価結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Joel PETERSON, Minako SHITARA, Hiroaki YOSHIDA, Masayoshi KAMIJO, Goroh FUJIMAKI, Hodaka YAMAGUCHI	4. 巻 18(4)
2. 論文標題 Emotional Differences in Tactile and Visual Sensation of Wood between Customers in Sweden and Japan for Kansei Engineering Application	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Affective Engineering	6. 最初と最後の頁 181-188
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5057/ijae.IJAE-D-18-00018	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 渡邊哲朗、荻原久佳、添田健仁、藤原孝之、吉田宏昭	4. 巻 30
2. 論文標題 三次元動作解析システムを用いた背臥位から端座位の起き上がり動作における再現性の検討	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 東北理学療法学	6. 最初と最後の頁 13-21
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.15049/artsjpta.30.0_13	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 渡邊 哲朗、荻原 久佳、添田 健仁、藤原 孝之、吉田 宏昭	4. 巻 33(6)
2. 論文標題 圧力分布測定システムを用いた背臥位から端座位の起き上がり動作における定量的解析	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 理学療法科学	6. 最初と最後の頁 911-916
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1589/rika.33.911	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Tetsuro Watanabe, Hisayoshi Ogihara, Takehito Soeta, Takayuki Fujiwara, Hiroaki Yoshida	4. 巻 31(1)
2. 論文標題 Comparison of range of motion during movement from supine to sitting position in healthy young and elderly participants	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Physical Therapy Science	6. 最初と最後の頁 102-107
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1589/jpts.31.102	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 石田永太郎、上前真弓、吉田宏昭、上條正義
2. 発表標題 寝心地が良いベッドマットレスと寝姿勢との関係
3. 学会等名 第21回日本感性工学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉田宏昭、上條正義
2. 発表標題 衣服着用が摂食動作と歩行動作に及ぼす影響
3. 学会等名 第21回日本感性工学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉田宏昭、上條正義
2. 発表標題 女子大学生のグループ内における歩行はどのように同調しているのか？
3. 学会等名 第21回日本感性工学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西澤昌駿、吉田宏昭、上條正義
2. 発表標題 表面筋電計測データの機械学習によるおいしさ感判別への試み
3. 学会等名 第15回日本感性工学会春季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 日高亜美、吉田宏昭、山口穂高
2. 発表標題 消費者に好まれる天板の木目柄の調査 - 投影画像を用いた印象評価のための基礎的検討 -
3. 学会等名 第15回日本感性工学会春季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tetsuro Watanabe, Hisayoshi Ogiwara, Takehito Soeta, Takayuki Fujiwara, Hiroaki Yoshida
2. 発表標題 Comparison of premotor reaction time during rising movement in healthy young and healthy elderly: From supine to sitting position
3. 学会等名 Asian Confederation for Physical Therapy Congress 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉田宏昭、上條正義
2. 発表標題 衣服による締め付け感が摂食・嚥下動作に与える影響
3. 学会等名 平成30年度繊維学会年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉田宏昭、上條正義
2. 発表標題 ワイシャツ着用時の締め付けが咀嚼・嚥下動作に及ぼす影響
3. 学会等名 第20回日本感性工学会大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------