

オーダーメイドマットレス設計に活用できる人体体幹部質量測定手法の検討

機械科

ソフトプレシ工業株式会社

国立研究開発法人理化学研究所

船井 孝*

袴田恭正 前嶋文明

横田秀夫

Study of a technique to measure the mass of the trunk of the human body that can be utilized in designing of custom made mattress

Takashi FUNAI, Yasumasa HAKAMATA, Fumiaki MAEJIMA, and Hideo YOKOTA

Previously, the authors have established a custom-made mattress design technique which utilized three-dimensional body shape data of the user. The mattress has been demonstrated to have better dispersion of body pressure in the supine position compared to that of conventional products. The trunk mass of the user is needed to design a mattress using the technique. The trunk mass have been calculated based on the body weight of the user by using the percentage of the trunk mass to the body weight cited from a past research report. For this reason, if the body shape of a user deviated from that assumed in the research report, it was likely that a designed mattress would not have offered good performance for the user. To allow us to design mattresses for users with various body shapes, the trunk mass of the body of the user needs to be measured. Furthermore, it is desirable that the trunk mass of the body to be measured should be a value that will enhance the designing effect. In this study, trunk mass that provides the most preferable dispersion of body pressure, i.e., optimum trunk mass, usable in the established design technique was determined for each type of body shape: normal, overweight, and underweight. Next, a measurement technique for the determined optimum trunk mass was studied. The results indicated that the optimum trunk mass can be obtained using body pressure data measured in the prone position.

Keywords : mattress, human trunk part, weight, measurement, made to order

キーワード：マットレス、体幹部、質量、測定、オーダーメイド

1 はじめに

著者らはこれまでに、3D (3 Dimensional) デジタイザで計測したマットレス使用者の体幹部形状と、その質量に基づいたマットレス設計手法を考案した^{1, 2)}。このマットレス設計には、マットレス使用者の体幹部質量が必要となる。体幹部の質量については、これまでに行われた様々な研究でその値が示されている³⁻¹²⁾。これらが示す体幹部の質量は、死体切断法等で求めた値であるため、純粋な体幹部の質量を示すと考えられる。これまでは、阿江らが示す体幹部質量³⁾に基づいて体圧分散型マットレスを設計してきた^{1, 2)}。しかしながら、使用者がマットレスに臥床した際の体幹部には、頭部を含む四肢が接続しているため、臥床時に体幹部をマットレスに押し付ける力は、頭部および四肢の質

量の影響で純粋な体幹部の質量とは異なる可能性がある。また、阿江らはアスリートを対象とした値を示しているため、その想定から外れた体型の使用者の場合、効果的な設計を行えない可能性がある。

本研究では、設計効果が最も高い、すなわち使用者が想定寝姿勢である仰臥位で臥床した際に、最大体圧値が最も低くなるように設計できる体幹部質量（最適体幹部質量）を測定する手法について検討した。そのために、まず、仰臥位で臥床した際に最大体圧値を最も小さくできる最適体幹部質量を体型ごとに求めた。具体的には、設計に使用する体幹部質量（設計体幹部質量）を変えて設計したマットレスを使用者ごとに複数作成し、マットレスごとの最大体圧値を取得した。得られた最大体圧値と設計体幹部質量の相関グラフを

*) 現 ユニバーサルデザイン科

作成し、被験者ごとに設計効果が最も高くなる最適体幹部質量を求めた。続いて、最適体幹部質量の測定手法について検討した。マットレス設計を行う際に、簡単な測定でこの最適体幹部質量が測定できれば、最も設計効果が高い、すなわち最大体圧値を低くできるマットレスの設計が可能となる。そこで、体圧分布測定機を用いて最適体幹部質量を測定する手法を検討した。

2 方法

2.1 体型ごとの最適体幹部質量導出

(1) 被験者の選定

体型ごとの最適体幹部質量を求めるため、体型の異なる3名の被験者を選定した。選定は体重(kg)/身長(m)²で示されるBMI (Body Mass Index)に基づいて行った。表1に各被験者の身長、体重、およびBMIを示す。一般的に22.0が理想体重とされ、18.5未満が低体重、25.0以上が肥満と判定される。すなわち、被験者1は標準体型、被験者2は肥満、被験者3は低体重となる。

表1 被験者の身体情報

	被験者 1	被験者 2	被験者 3
年齢	39	42	51
性別	男性	男性	男性
身長 (cm)	173	171	184
体重 (kg)	71	90	62
BMI (kg/m ²)	23.7	30.8	18.3
判定	標準	肥満	低体重

(2) マットレスの設計

選定した被験者に対してマットレスの設計を行った。これまでのマットレス設計は、阿江ら³⁾の示した体重に対する体幹部の質量割合に基づいて算出した値を体幹部質量として設計してきた。本研究においても同様にこの値を用いた。阿江らは前述の質量割合だけでなく、標準偏差も示している。そこで、被験者1（標準体型）に対しては文献記載の値（0σ）に加え、±2σ、±4σのマットレスも設計・製造した。また、被験者2（肥満）に対しては、最適体幹部質量がプラス方向にシフトすると予想し、0σに加え、-3σ、+3σ、+7σのマットレスを設計・製造した。同様に、被験者3（低体重）に対しては、最適体幹部質量がマイナス方向にシフトすると予想し、-3σ、+1.5σ、+3σのマットレスを設計・製造した。

(3) 最大体圧値測定実験

製造したマットレスを用いて、被験者による体圧測定実験を行った。体圧測定には、住友理工株式会社製SRソフトビジョンの全身版を使用した。測定風景を写真1に示す。測定は各マットレスに対して8回実施し、各回の最大体圧値を取得した。8回の測定のうち、最初の1回と残り7回中最大と最小を除いた残り5回の平均値を、そのマットレスの最大体圧値とした。測定で得た各マットレスを使用した際の最大体圧値と、各マットレスの設計に使用した体幹部質量の関係を示すグラフを作成した。被験者ごとの相関グラフを図1～3に示す。いずれの被験者の結果も、下に凸の二次曲線的な挙動を示したため、各グラフに横軸をx、縦軸をyとした二次曲線近似結果も併せて示した。



写真1 最大体圧値測定風景

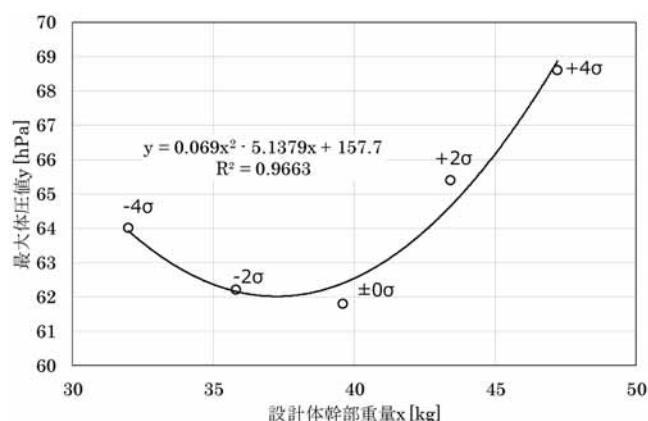


図1 設計体幹部質量と最大体圧値の関係（被験者1）

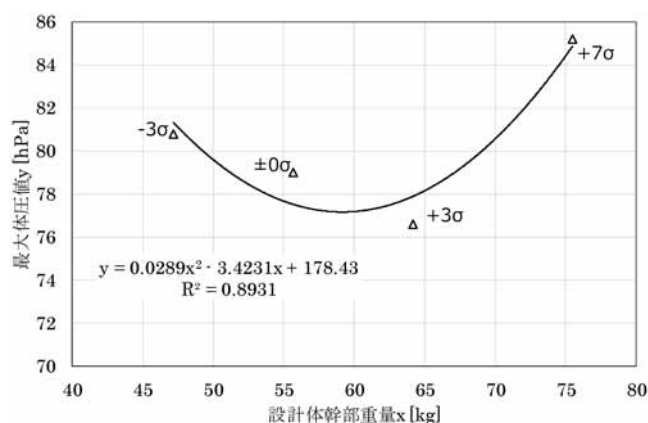


図2 設計体幹部質量と最大体圧値の関係 (被験者2)

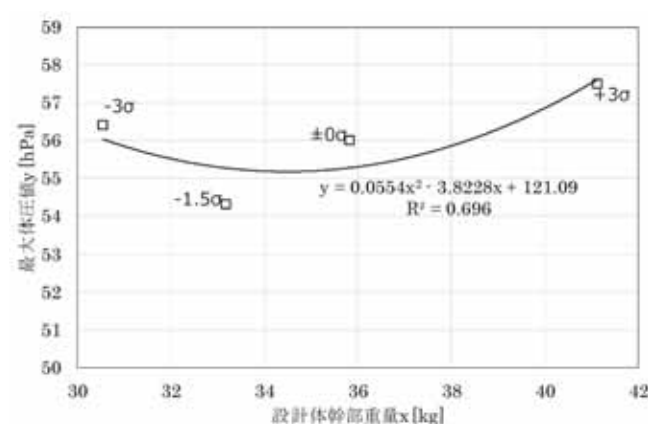


図3 設計体幹部質量と最大体圧値の関係 (被験者3)

(4) 体型ごとの最適体幹部質量

図1～3より、体幹部質量と最大体圧値の関係は下に凸の二次曲線に近似される。そのため、最大体圧値が最も低くなる体幹部質量、すなわち最適体幹部質量が近似式から計算できる。近似式から得た各体型の最適体幹部質量を表2に示す。また、体重に対する最適体幹部質量の割合も併せて示す。

2.2 最適体幹部質量測定手法の検討

各被験者に対して、表2に示す最適体幹部質量を用いることで、最大体圧値が最も低い、すなわち設計効果が最も高いマットレスが設計できる。そのため、最適体幹部質量の測定手法を検討した。測定は、マッ

レスの設計ごとに実施する必要があるため、先行研究³⁻¹²⁾のような死体切断法や写真撮影法は適さない。本研究では、より容易に測定するため、2.2節で使した体圧測定機による方法を検討した。

体圧測定機は、圧力センサセルを格子状に配置し、各センサセルで検出される圧力値を測定する機器である。そのため、体幹部に相当する範囲にあるセンサセルの圧力値と、センサセルの面積がわかれば、その範囲の質量が算出できる。そこで、マットレス設計時に想定している寝姿勢である仰臥位での体圧分布測定を実施し、設計対象部となる体幹部に相当する範囲の圧力値から、体幹部質量を算出した。また、伏臥位による測定も併せて実施した。

3 結果

被験者1、2、3に対する仰臥位の体圧測定結果を図4に示す。また、伏臥位の結果を図5に示す。各図に示す矩形範囲内が設計対象となる体幹部であり、この範囲内の圧力値から体幹部質量を算出した。体幹部質量算出に当たっては、矩形範囲外を含む全身の圧力値から算出される質量が被験者の体重と異なったため、この値が体重と等しくなるように圧力値の線形補正を行った。表3に得られた体幹部質量を示す。

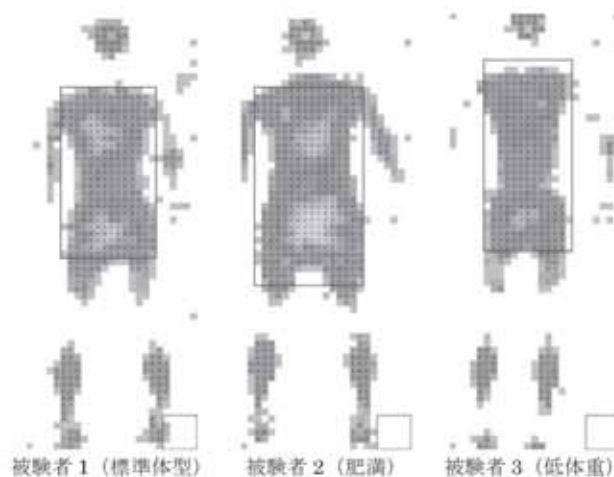


図4 仰臥位における体幹部質量測定

表2 体型ごとの最適体幹部質量及び体重に対する割合

	被験者1 (標準体型)	被験者2 (肥満)	被験者3 (低体重)
最適体幹部質量 (kg)	37.2	59.2	34.5
体重に対する割合 (%)	52	66	56

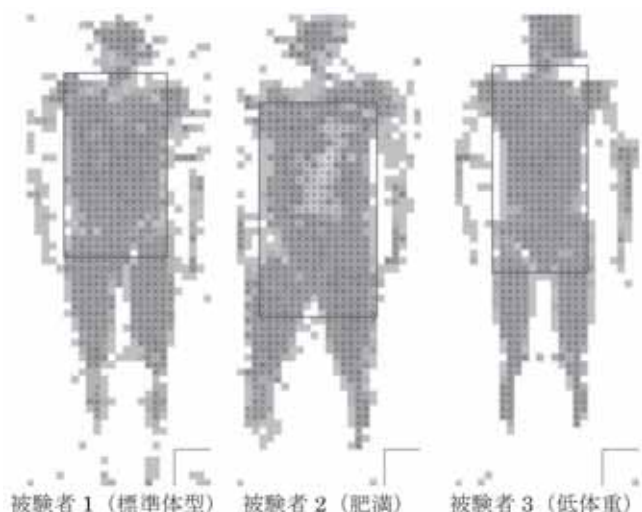


図5 伏臥位における体幹部質量測定

4 考察

本研究では、オーダーメイドマットレス設計に必要な使用者の体幹部質量を測定する手法について検討した。測定される体幹部質量は、その値で設計したマットレスを使用した際の最大体圧値が最も低くなる、すなわち設計効果が最も高くなる最適体幹部質量であることが望ましい。そのため、設計体幹部質量を変えた複数パターンのマットレスを設計・製造し、各マットレス使用時の最大体圧値を求め、設計体幹部質量との相関から、表2に示す最適体幹部質量を得た。簡易的にこの値を測定する手法として、体圧測定装置を使った体幹部質量測定を試みた。表3が仰臥位、伏臥位で体幹部質量を測定した結果である。この結果と表2の最適体幹部質量を比較すると、仰臥位は全ての体型で約10kgの差が確認できる。これに対して伏臥位では、最大で0.4kgの差であり、ほぼ正確に最適体幹部質量が測定できている。

図6に、ヒューマンシミュレーションシステムJackによる人体腕部の可動範囲を示す。この図より、人体腕部は、人体正面方向への可動範囲が広く、背中側の範囲は極めて狭い。脚部についても人体の構造上ほぼ同様の傾向を示すと考えられる。オーダーメイドマットレスを設計する際の臥床姿勢は、仰臥位を想定してい

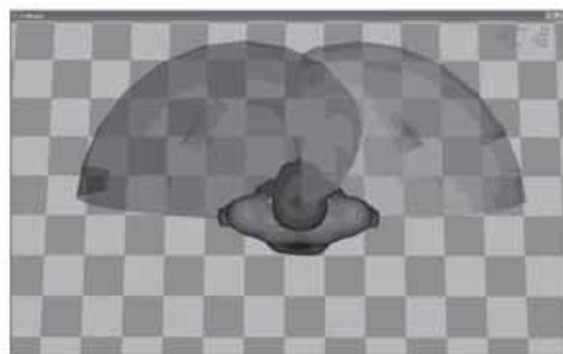


図6 ヒューマンシミュレーションソフトJackによる人体腕部可動範囲

る¹⁻²⁾。前述の通り腕部、脚部は背中側に動きにくいいため、仰臥位で臥床した際には腕部、脚部の質量が少なからず体幹部質量に加算され、体幹部をマットレスに押し付ける力は、阿江らが示す純粋な体幹部の質量より大きくなると予想された。このことは、図4に示す体圧測定結果において脚部や腕部に圧力が計測されていない部分が確認できることや、表3に示す体幹部質量が、すべての体型で体重の70%を超えていることからうかがえる。阿江らが示す体幹部の質量は体重に対して約59%であるため、70%はかなり大きい値といえる。しかしながら、表2に示す最適体幹部質量は、平均で57%程度と阿江らの値にかなり近い。このことから、最適体幹部質量は純粋な体幹部の質量に近いことが示された。この値を測定するためには、体幹部に腕部、脚部の質量が加算されると考える仰臥位による測定は不適切と考えられる。これに対して、腕部、脚部の可動範囲が広い身体前面を体圧測定装置側とした姿勢、すなわち伏臥位による測定を行うことで、仰臥位に比べて人体各部の質量を個別に測定できると考えられる。これは、表3に示す伏臥位の結果が最適体幹部質量、すなわち純粋な体幹部質量に近い値を示していることからうかがえる。このことから、最適体幹部質量は、伏臥位による体圧測定から得られることが示された。オーダーメイドマットレスは使用者の体型に合わせて設計するため、一般的なマットレスより体圧分散性が高く、人体各部を個別に支えることができるため、

表3 体圧測定に基づいた体幹部質量

	被験者 1 (標準体型)	被験者 2 (肥満)	被験者 3 (低体重)
仰臥位による測定 (kg)	50.5	69.2	45.6
伏臥位による測定 (kg)	37.4	58.8	34.6

最適体幹部質量は純粋な体幹部の質量に近い値になったと考えられる。

5 まとめ

本研究で得られた知見をまとめると、以下のようになる。

- ・本研究が対象とするオーダーメイドマットレスの設計効果が最も高くなる最適体幹部質量は、腕部や脚部を含まない純粋な体幹部質量に近い値である。
- ・最適体幹部質量は、伏臥位による体圧測定結果から得ることができる。

マットレス設計に本研究が提案する体幹部質量測定手法を適用することで、体型の制約なく体圧分散効果の高いマットレス設計が可能となり、オーダーメイドマットレスの商品性向上が見込まれる。

倫理面への配慮

本研究は、国立研究開発法人理化学研究所倫理委員会の承認（Wako3 27-9）に基づき実施された。

参考文献

- 1) 船井 孝 他：マットレスの製造方法及びマットレスの設計方法．特許第6048639号（2016.12.2）．
- 2) 船井 孝 他：弾性構造体および弾性構造体の製造方法．特開2017-176539（2017.10.5）
- 3) 阿江通良 他：日本人アスリートの身体部分慣性特性の推定．バイオメカニズム，11，23-33（1992）．
- 4) Cheng, C. et al. : Segment inertial properties of Chinese adults determined from magnetic resonance imaging. Clinical Biomechanics, 15 (8), 559-566 (2000).
- 5) Jensen, R.K. : Body segment mass, radius and radius of gyration proportions of children. Journal of Biomechanics, 15 (4), 347 (1982).
- 6) Jensen, R.K. : Body segment mass, radius and radius of gyration proportions of children. Journal of Biomechanics, 19 (5), 359-368 (1986).
- 7) Jensen, R.K. : Changes in segment inertia proportions between 4 and 20 years. Journal of Biomechanics, 22 (6-7), 529-536 (1989).
- 8) Jensen, R.K. et al. : Distribution of mass to the segments of elderly males and females. Journal of Biomechanics, 27 (1), 89-96 (1994).
- 9) Se, J. P. et al. : Anthropometric and Biomechanical Characteristics on Body Segments of Koreans. APPLIED HUMAN SCIENCE Journal of Physiological Anthropology, 18 (3), 91-99 (1999).
- 10) 岡田英孝 他：日本人高齢者の身体部分慣性特性．バイオメカニズム，13 (0), 125-139 (1996).
- 11) Pearsall, D. J. et al. : Inertial properties of the human trunk of males determined from magnetic resonance imaging . Annals of Biomedical Engineering, 22 (6), 692-706 (1994).
- 12) Yokoi, T. et al. : Body segment parameters of Japanese children . Taiikugaku kenkyu (Japan Journal of Physical Education, Health and Sport Sciences), 31 (1), 53-66 (1986).