

デジタルヒューマン Jack を用いた力学的腰部負担の評価

－背上げベッド上の要介護者への適用－

Biomechanical Estimation of Lumbar Load Using Digital Human "Jack" - Application to Care Recipient Lying on Gatch Bed -

川野 常夫 摂南大学理工学部 機械工学科

福井 裕 摂南大学理工学部

田中 優介 摂南大学大学院理工学研究科

KAWANO, Tsuneo Department of Mechanical Engineering, Setsunan University

FUKUI, Yutaka Faculty of Science and Engineering, Setsunan University

TANAKA, Yusuke Graduate School of Science and Engineering, Setsunan University

Abstract

The purpose of this study is to evaluate care recipient's lower-back load using the digital human "Jack" which is one of the application software. "Jack" has a lot of functions applicable to simulate the human body motion and estimate the compression force at the lumbar intervertebral disk L4/L5, and so forth. The forces acting at any points of the human body required to calculate the compression force are measured with load meters in this study. The compression forces at the lumbar joint are evaluated for some recipient's postures on the gatch bed. The relationship between back bottom angle of gatch bed and compression forces is obtained. As a result the lumbar load reached more than three times larger than the one when upright position.

キーワード： 要介護者、腰部負担、デジタルヒューマン、背上げベッド

Keywords : care recipient, lumbar load, digital human, gatch bed

1. はじめに

2014 年 10 月においてわが国の要介護（要支援）認定者数は 600 万人を超えた^①。一方、1 日の大半をベッドで過ごす寝たきりの高齢者の人口は、2000 年には 120 万人、2025 年には 230 万人に急増すると推計されている^②。要介護者（被介護者）は、自ら活動することが困難なため、ベッド上で、長時間同じ姿勢をとり続けることが多い。そのことから、接触部に褥創が発生する可能性があり、これまで多くの研究が行われている^③。

しかし、被介護者の身体的負担問題はそれのみではない。小川^④によると、様々な姿勢に対する腰部椎間板（腰椎 L4 と L5 の間の円形状の椎間板を L4/L5 と表記する）に加わる力を調べた結果、座位の腰部圧迫力は立位時に比べて 1.5 倍に増加する。このことから背上げたベッド上で座位に近い姿勢をとると、それ

だけで腰部椎間板にも負担がかかっていることになる。自ら身体を動かすことのできる人ならば、背伸びをするなどしてその負担を和らげる姿勢に修正することができるが、自ら身体を動かさない人の場合は、ギャッチベッド（電動背上げ機能付きベッド）のモータの力によって腰への負担を強いられたままの姿勢を保つことになる。

その他、車いすによる移動の場合にも腰部圧迫力が増すことが考えられる。このように介護される人（被介護者）は、介護される中で気付かないうちに腰への負担を強いられているケースがあり、他にもそのようなケースが存在することが推察される。これまで介護する側の人の腰の負担に関する研究は数多くあるが^⑥～^⑦、本研究ではギャッチベッド上で横たわり介護される側の人の腰の負担に着目する。

これまでギャッチベッドと介護される人については、背上げの角度と被介護者の腹圧の関係を求めた研究^⑧、背上げの角度と被介護者の脊椎カーブの関係を調査した研究^⑨などがあるが、背上げの角度と被介護者の腰部負担の関係を追究したものは見当たらない。

一方、椅子の座位と腰部負担の関係を求めた研究は多く^⑩～^⑭、背もたれの有無の差やリクライニングによる姿勢の違いなどについて追究されている。しかしながら、椅子の場合、リクライニングの詳細な角度の違いを検討したものはなく、そのままベッドに適用することは難しい。また、椅子の場合、座る位置と姿勢および身体の向きはおおよそ定まるが、ベッドの場合はベッドの上方（頭側）から下方（足側）まで横たわる位置や姿勢は自由度があり、特に身長の高い高齢者の場合、位置が定まらない。横たわる向きについても仰臥位（あおむけ）、側臥位（よこむき）、腹臥位（うつむけ）があり、自由度が高い。これらがベッドと椅子の大きな違いであり、特に、要介護者は自ら能動的に動けない上に、ベッドでは寝具がかけられることが多く、利用者の体勢が外からわからない。無理なベッドの背上げ操作は、利用者に大きな負担を与え、傷病の原因になることも予想される。ベッドの利用者の位置や姿勢に対して、背上げベッドから受ける負担を明らかにすることは要介護者がますます増加するわが国において意義が高いと考えられる。

本研究では、介護される人の負担を検証する第1段階の研究として、仰臥位を対象にベッドに横たわる位置の違いによって腰の負担がどれくらい変化するかを明らかにする。

被介護者の腰部負担を求めるにあたり、実際の介護現場でモーションキャプチャや筋電計などを用いるのは、装置が大掛かりとなることが多いため困難である。

本研究では、人体の骨格および関節構造を模したコンピュータ上の仮想人間であるデジタルヒューマン “Jack” (Siemens)の機能を用いて、被介護者の様々な姿勢における腰部の椎間板圧迫力^⑮、^⑯を評価する。対象姿勢として、ベッドに横たわり背上げとともに変化する寝姿勢、およびベッド上における種々の座位姿勢を取り上げる。まず、被介護者の姿勢をビデオカメラに収録し、その再生画像に合わせてJackの姿勢を手動で再現する。Jackは腰部の椎間板圧迫力を推定する際に、頭や肩や腰など身体各部に作用する外力を入力できるようにしているため、ベッド上の各姿勢における身体各部の外力を、10人の測定対象者について測定する。

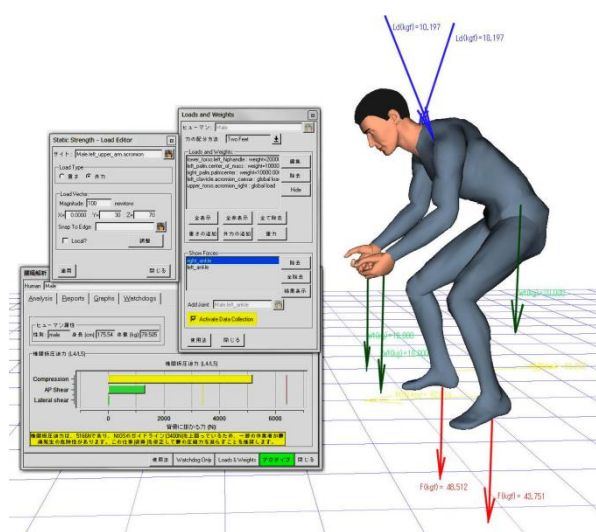


図1 デジタルヒューマン Jack(Ver6.1)と腰部圧迫解析機能

2. Jack の腰部圧迫解析ツール

Jack はコンピュータ上に人間をモデル化したもので、現実世界の人間に近い骨格構造や運動機能などを持っている⁽¹⁷⁾。Jack には 9 種類以上の作業解析ツール (Task Analysis Toolkit) が備わっており、本研究では、その中の腰部圧迫解析ツール (Low Back Compression Analysis) を用いる。これを用いれば図 1 に示すように身体各部に外力を作用させ、デジタルヒューマンモデルの腰部に作用する力を評価することができ、それが NIOSH

(National Institute for Occupational Safety and Health、アメリカ労働安全衛生研究所) の

ガイドライン推奨値以下であるかどうかによって労働者が腰を痛める危険性をリアルタイムに判定することができる⁽¹⁸⁾。

この解析ツールでは、図 2 に示す椎間板 (L4/L5) に働く鉛直方向の圧迫力、前後および側方の剪断力を求めることができる。なお、腰椎は 5 個 (L1~L5) 存在するが、本研究において腰部圧迫力は、L4/L5 の腰部椎間板に加わる力のこととする。また、本研究では、被介護者の動きをベッドの背上げに合わせて動く矢状面内の 2 次元運動に限定し、腰のひねりは考慮しないこととする。したがって、ここでは腰部負担として鉛直方向の圧迫力のみを対象とする。

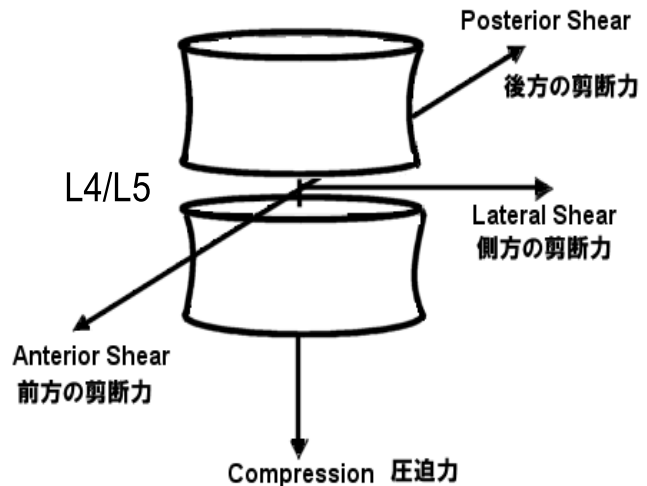


図 2 Jack で求められる椎間板に働く力の 3 成分

3. Jack による各姿勢の腰部圧迫力

立位や座位、荷作業などの各姿勢について、Jack により求めた腰部鉛直方向の圧迫力を図 3 に示す。

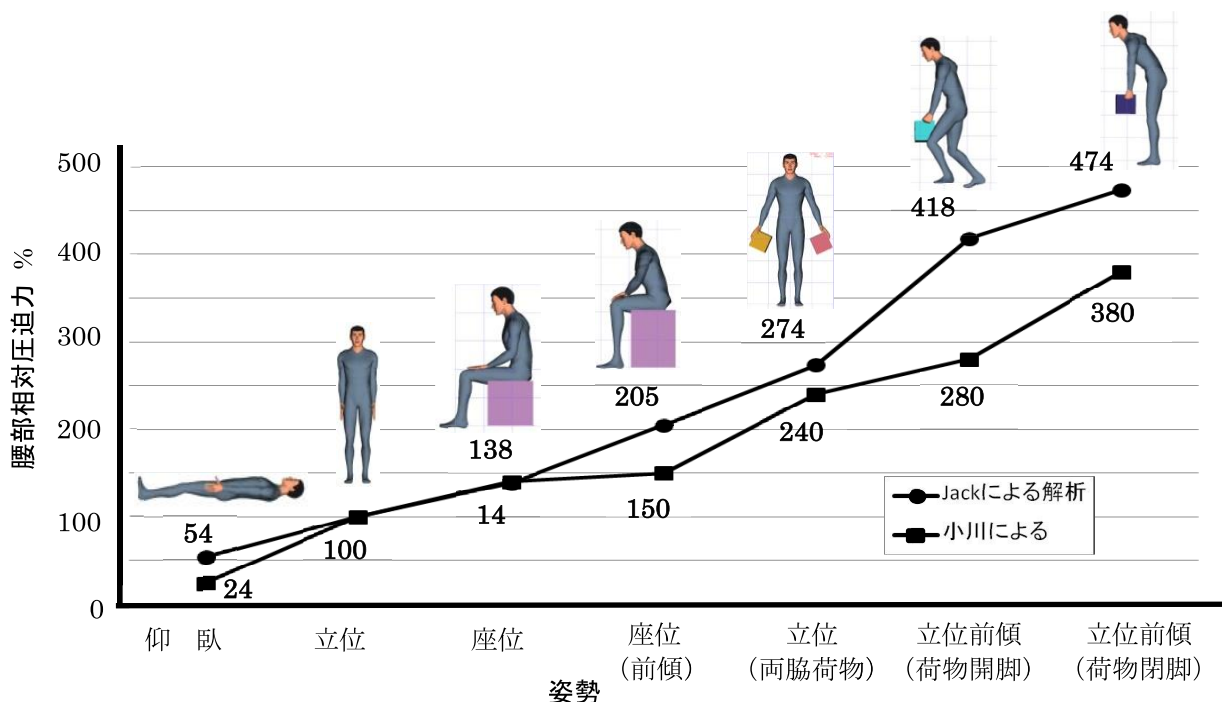
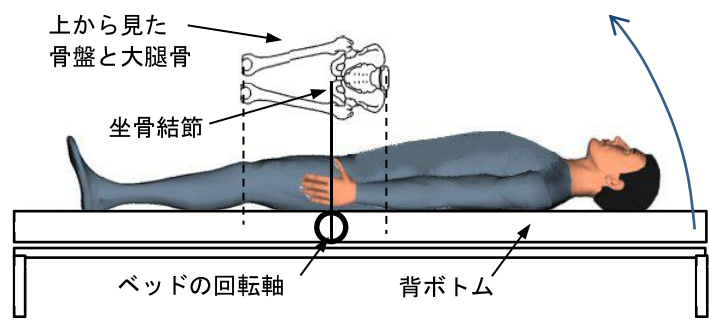


図 3 各姿勢における腰部圧迫力

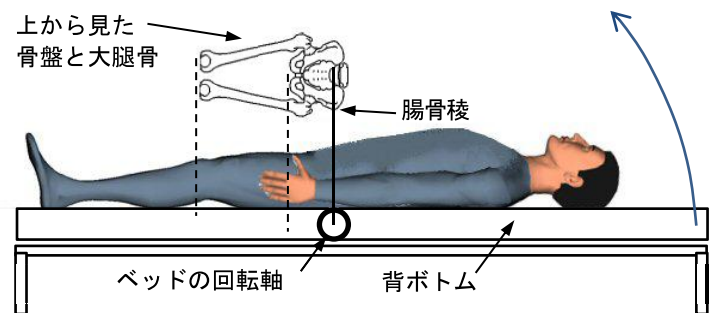
図では立位時の腰部圧迫力を 100% として相対値で示している。同図には小川⁽⁴⁾ がまとめた Grandjean や Nachemson らのデータもプロットしている。図から腰の負担は仰臥位が最も小さく、立位、座位、荷作業姿勢の順に大きくなることがわかる。また、座位では立位の 1.5~2 倍、荷作業では約 4 倍となっていることがわかる。荷作業の荷重は身体の側方（荷物開脚）で両手に 1 個ずつ把持している荷物は 1 個 10kg、身体前方で把持している荷物は 1 個 20kg としている。いずれも、片手に 10kg の重力を作用させている。

ここでは、小川らによる姿勢の正確なデータがないため、全く同じ姿勢が再現できているとは限らないこと、そして荷重が大きいためモー

メントアームの少しの違いが圧迫力の大きさに影響を与える可能性があるということも考えられるが、Jack による値と小川による値は概ね、ほぼ一致している。



(a) 坐骨結節がベッドの回転軸上にある場合（ベッド上方）



(b) 腸骨稜がベッドの回転軸上にある場合（ベッド下方）

図4 被介護者がベッドに横たわる位置

4. ベッドからの垂直抗力の測定と腰部負担評価

本研究が対象としたベッド上の座位姿勢では、被介護者の身体各部はベッドから垂直抗力（外力）を受ける。ベッドから垂直抗力を受ける身体部位を頭、肩（肩甲骨）、臀部（仙骨）、脛脛、踵の 5 か所と仮定し、各部に電子荷重計を敷いて各垂直抗力を測定した。対象者は男性 10 人とし、年齢は 24.2 ± 4.16 歳、身長は 169.6 ± 3.80 cm、体重は 61.8 ± 10.93 kg であった。なお、実験参加者には事前に本実験の趣旨を説明し、実験参加者からインフォームドコンセントを得た上で実験を行った*。ベッドはギャッチベッドを用い、背上げ角度を 0° から 70° まで 10° ずつ変化させてそれぞれの角度において測定した。同時に測定中の主観的な腰部圧迫感を実験参加者から聴取した。また、被介護者がベッドに横たわる位置については、図 4 に示すように、(a) 被介護者の坐骨結節がベッドの背ボトムの回転軸上にある場合（以後、ベッド上方と略記）、(b) 腸骨稜が回転軸上にある場合（以後、ベッド下方と略記）の 2 通りを取り上げる。なお従来からある通常のベッドは背ボトムが短いため、横たわるとベッド下方に位置することが多い⁽⁸⁾。坐骨結節とは大腿後面の筋群が付着する場所で、腰掛けるときに椅子の面に接して上半身を支える場所である。被介護者が図(a)のようにベッド上方に横たわると、背ボトムが上昇するときの弊害である被介護者の腹圧の上昇やベッド下方へのずれが軽減されることがわかっている⁽⁸⁾。

図 5 にベッドから受ける身体各部の 10 人分の垂直抗力を平均して、背上げ角度ごとにプロットして

*本測定実験は、2011 年 12 月に実施した。

示す。垂直抗力の値は測定対象者の体重によって変動し、ばらつきが大きいため体重で基準化して示している。図から仙骨部の垂直抗力は背上げ角度が 30° を超えてから大きくなり体重の 7~8 割に達することがわかる。一方、肩は背上げ角度とともに減少することがわかる。またベッドに横たわる位置の違いはほとんど認められなかった。

次に、実測から得られた垂直抗力の平均値を Jack の各部に作用させ腰部圧迫解析ツールで各姿勢の椎間板圧迫力を求めた。その結果を図 6 に示す。図では立位時の圧迫力を 100% として相対値で示している。 10° から 30° の各姿勢の腰部圧迫力は立位時と比べ、 $\pm 10\%$ の範囲内に収まったが、背上げ角

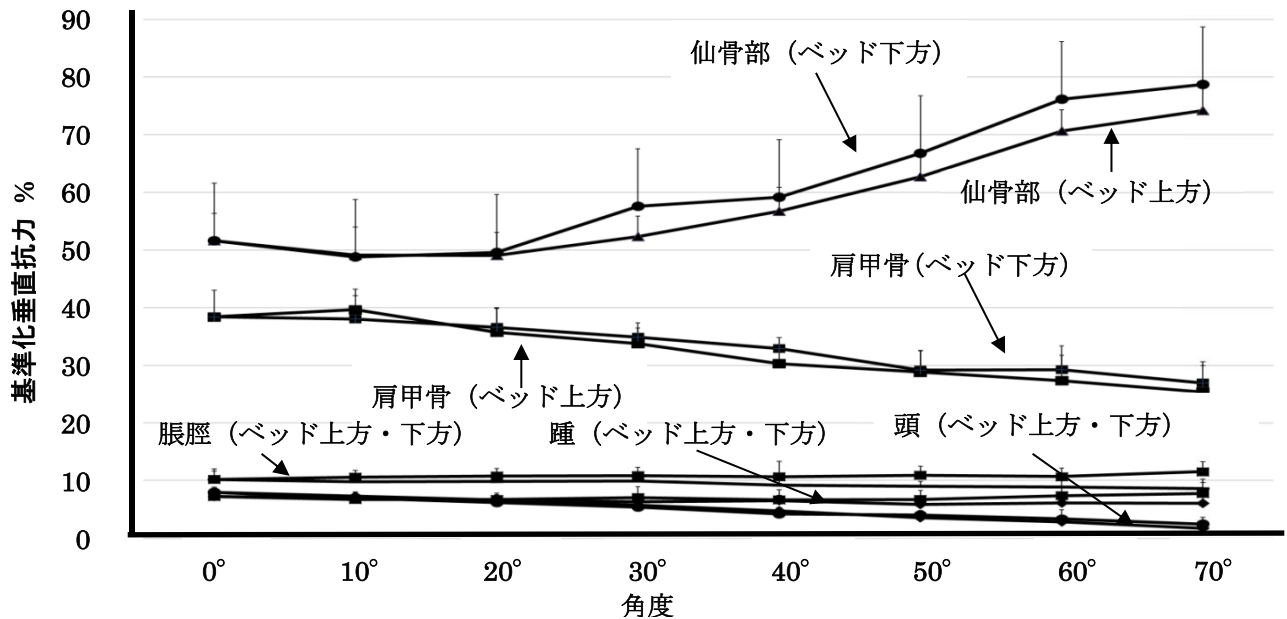


図 5 ベッドの背上げ角度と身体角部にかかる垂直抗力（体重に対する割合）

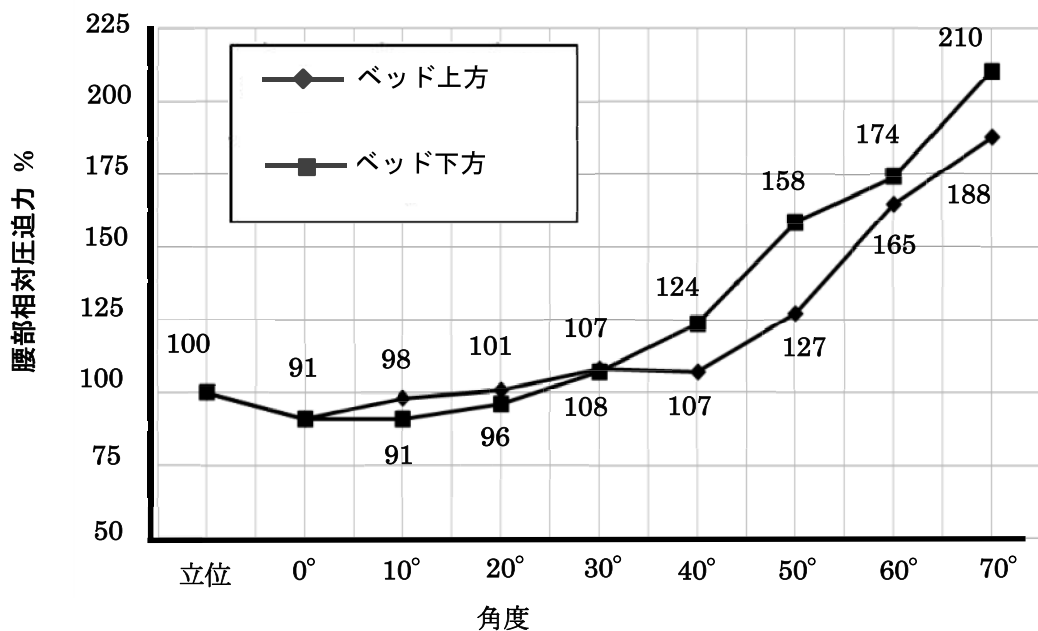


図 6 ベッドの背上げ角度と腰部圧迫力

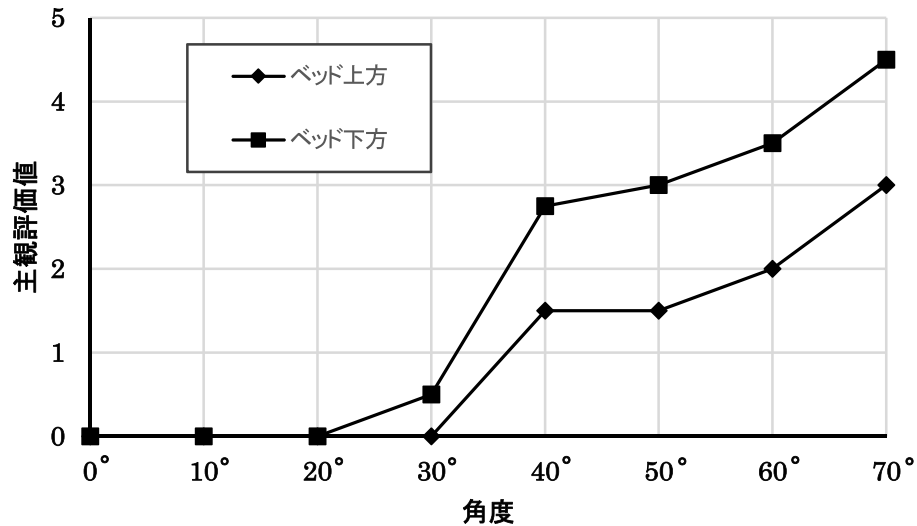


図7 ベッドの背上げ角度と腰部圧迫感の主観評価

度が40°以上になると、急に腰部圧迫力増加し70°になると立位時の約2倍の値となった。また、被介護者がベッド下方に横たわる場合が、ベッド上方に横たわる場合に比べて腰部への負担はわずかに大きくなった。

図7に実験参加者が主観的に感じる腰部圧迫感を示す。評価値は、全く感じないを0、非常に感じるを5に対応させている。図から背上げ角度が30°から40°に上昇するときに腰部圧迫感が大きく上昇し、その後さらに上昇していることがわかる。また、ベッド上方に横たわる方が腰部圧迫感は一時的に小さくなっている。これらの主観的評価結果は、Jackで求めた図6の腰部圧迫力の変化の傾向と類似していることがわかる。

5. ベッド上の座位姿勢における腰部負担評価

被介護者がベッド上で取る姿勢として、図8に示すような4通りの姿勢、すなわち(a)腰を曲げずに食事、(b)腰を曲げて食事、(c)腰を曲げ

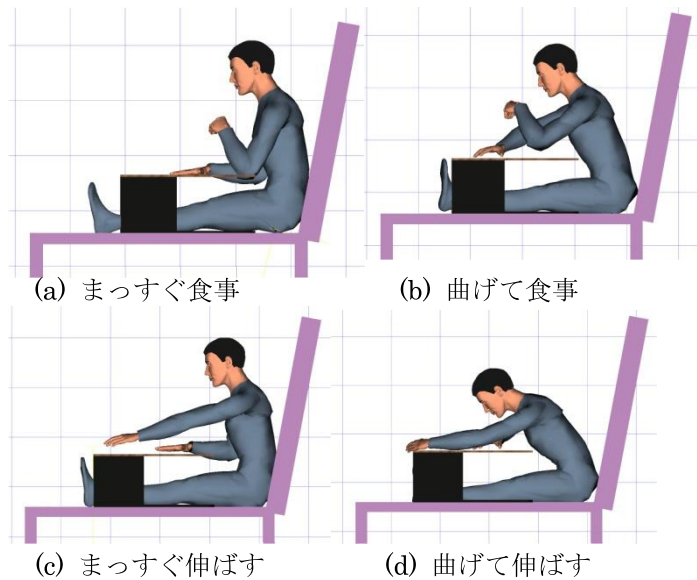


図8 Jack によるベッド上での様々な姿勢

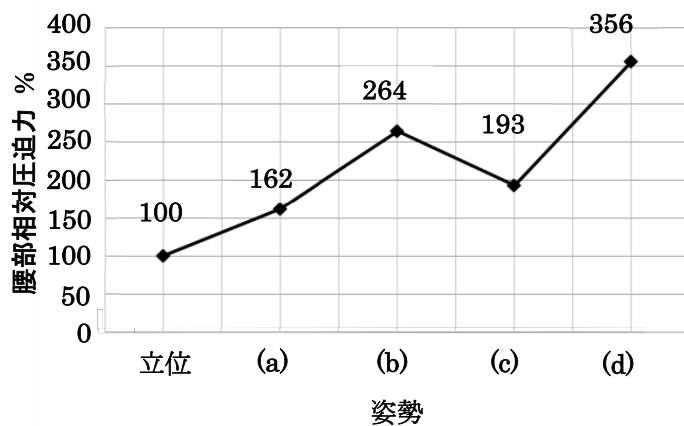


図9 ベッド上での様々な姿勢の腰部負担

ずに手を伸ばす、(d)腰を曲げて手を伸ばすを取り上げて腰部負担を評価した。図9にその結果を示す。図からベッド上で座って食事をしたり手を伸ばしたりすると、腰部圧迫力は立位時に比べて大きくなることわかる。最大で3倍以上の圧迫力となる場合がある。文献⁽¹³⁾の Nachemson や Wilke によれば(a)の腰を曲げない姿勢に近い姿勢で、100~150%、(b)の腰を曲げた姿勢に近い姿勢で、160~180%の値が示されている。実験参加者の身長、体重、姿勢や前傾角度などの条件が異なるため、厳密に比較することはできないが、値のオーダーは一致することが確認された。

6. おわりに

本研究では介護される人の腰部負担に着目し、**Jack** を用いて様々な姿勢における腰部圧迫力を求めた。特にベッド上の姿勢について評価した結果、腰部負担が立位時の3倍を超えるケースもあることがわかった。また、被介護者がベッド下方に横たわる場合は、ベッド上方に横たわる場合に比べて背上げ時の腰部への負担はわずかに増加することがわかった。従来からある通常のベッドは背ボトムが短いために、横たわるとベッド下方に位置することが多いことから、改善が求められる⁽⁸⁾。

ベッド上では布団や毛布のために被介護者の姿勢が周りからわからないことが多いため、介護者の気付かないうちに負担が発生しているということを認識する必要がある。このように布団や毛布の中では、どのような姿勢になっているかを識別できないため、今後、ベッド上で様々な姿勢や横たわる位置に対して3次元解析を行い、被介護者の負担の検証を行う必要がある。本研究で用いたソフト**"Jack"**は3次元解析に有用であると考えられる。

また、本研究では介護する側の負担ではなく、介護される側の負担に着目し、背上げベッド上での負担解析を行った。今後は、その他の移乗介助や排泄介助、入浴介助といった種々の介助における被介護者の負担研究が望まれる。

参考文献

- (1) 独立行政法人福祉医療機構ワムネット, <http://www.wam.go.jp/wamappl/00youkaigo.nsf/vAllArea/201410?Open>, (参照日 2015年8月10日)
- (2) 厚生労働省, 「要介護高齢者等の状況」, 厚生白書(平成8年版), 第1編, 第1部, 第3章, 第1節, 2, http://www.mhlw.go.jp/toukei_hakusho/hakusho/kousei/1996/dl/05.pdf, (参照日 2015年8月10日)
- (3) 例えば, 木村 裕和ほか, 「褥瘡予防に対するシープスキンの有効性」, *Journal of Textile Engineering*, 55 (2009), pp.61-66.
- (4) 小川鑛一, 「イラストで学ぶ看護人間工学」, 東京電機大学出版, (2008), pp.32-35.
- (5) 田中優介, 福井 裕, 西田修三, 川野常夫, 「デジタルヒューマン**"Jack"**による移乗介助動作の腰部負担評価」, 平成22年度 日本人間工学会関西支部大会論文集, (2010), pp.149-152.
- (6) 奥本泰久, 高森勝之, 「介護者の身体負荷を考えた介護用ベッド」, 日本機械学会講演論文集, 055-1(2005), pp.349-350.
- (7) 勝平純司, 「移乗補助具の使用, 種類, 使用姿位の違いが移乗介助動作時の腰部負担に与える影響」, 人間工学, 46-2 (2010), pp.157-165.
- (8) Kobayashi Hiroko, Fukui Yutaka, Tanaka Yusuke and Kawano Tsuneo, "Location of patient laid down on Gatch bed in order to decrease pressures around abdominal regions while backrest lifting - Experiment using a developed patient dummy -", *Journal of Biomechanical Science and Engineering*, 7-2 (2012), pp.284-291.

- (9) 鈴木 哲, 植田一輝, 渡邊 進, 「ギヤッジアップ角度の増加に伴うベッド上臥床時の脊椎カーブの変化, — 2 種類の座位姿勢との比較—」, 理学療法科学, 26-5 (2011), pp.699-702.
- (10) 芝田京子, 村野次郎, 川口忠雄, 「腰痛防止姿勢制御装置付き車椅子の開発研究 (第 1 報), —腰痛評価を考慮した人体等価モデルの構築—」, 精密工学会誌, 68-11 (2002), pp.1441-1446.
- (11) 増山 茂, 澤口 毅, 西村立也, 森永敏生, 高澤雅至, 内藤充啓, 「背もたれの有無で異なる半座位での腰椎負担, —作用・反作用から見た椎間板負担—」, 日本腰痛会誌, 10-1 (2004), pp.90-94.
- (12) Nachemson Alf and Elfstrom Gosta, “Intravital dynamic pressure measurements in lumbar discs”, Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine 2, Supplement 1, (1970), pp.1-40.
- (13) Wilke Hans-Joachim, Neef Peter, Caimi Marco, Hoogland Thomas and Claes Lutz E. , “New in vivo measurements of pressures in the intervertebral disc in daily life”, Spine, 24-8 (1999), pp.755-762.
- (14) Edmonds Janette, “The effect of reclined sitting posture on hand controlled operations”, Contemporary ergonomics 1994, (1994), pp.155-161.
- (15) 山崎信寿, 山本真路, 井上剛伸, 「移乗介助動作の計測と腰部負担の評価」, バイオメカニクス, 16 (2001), pp.195-205.
- (16) 瀬尾明彦, 「腰部負担評価のための腰部椎間板圧迫力推定法」, [http://homepage2.nifty.com/aseo/bpress. htm](http://homepage2.nifty.com/aseo/bpress.htm), (参照日 1999 年 7 月 9 日).
- (17) 川野常夫, 「デジタルヒューマンモデルとその産業応用」, 日本機械学会誌, 106-1013 (2003), pp.272-275.
- (18) Waters Thomas R., Putz-Anderson Vern, Garg Arun and Fine Lawrence J., “Revised NIOSH equation for design and evaluation of manual lifting tasks”, Ergonomics, 36-7 (1993), pp.749-776.

【原稿受付】2015 年 8 月 12 日、【掲載決定】2015 年 9 月 30 日

【著者連絡先】

川野 常夫 摂南大学、教授 e-mail: kawano@mec.setsunan.ac.jp
〒572-8508 大阪府寝屋川市池田中町 17-8、摂南大学理工学部 機械工学科