

持ち上げ作業における最大重量値の生体力学的検討

杜 唐慧子^{*1}, 小山 冬樹^{*1}, 岩切 一幸^{*2}

厚生労働省「職場における腰痛予防対策指針」は、取り扱い可能な最大重量値を作業者の体重の割合により定めている。一方、英国安全衛生庁（HSE）では、体重に関係なく、重量物を取り扱う高さや身体からの距離に応じて最大重量値を定めており、腰痛リスクが高まるとされる腰部椎間板圧縮力 3400 N を超えないようとしている。そこで本研究では、HSE の枠組みを参考に、日本人の持ち上げ作業における最大重量値について検討した。対象者は年齢、身長、体重の異なる日本人男性 11 名とし、高さ 5 水準と身体からの距離 2 水準（計 10 区画）において荷物を持ち上げて指定の位置で保持する作業と床から頭の位置まで持ち上げる作業を行った。実験では、三次元動作解析および床反力測定を行い、逆動力学を用いて重量物取り扱い時の腰部椎間板圧縮力を算出した。各区画の最大重量値は、取り扱い可能な重量のうち、腰部椎間板圧縮力が 3400 N 以下の重量値とした。その結果、最大重量値は、身体に近い腰の区画において最大となり、それより上下に行くほど、また身体から離れるほど軽くなった。低い位置においては、重い物まで持てるものの、腰部負荷が大きくなり、最大重量値は軽くなつた。本研究の結果を HSE と比較すると、最大重量値は腰の位置で軽かったが、身体から遠い位置では重かった。

キーワード: 腰痛、手作業、逆動力学、腰部椎間板圧縮力、最大重量

1. はじめに

休業 4 日以上の労働者死傷病報告における業務上腰痛は、業務上疾病の約 6 割を占めており¹⁾、労働安全衛生上の重要な課題となっている。その業務上腰痛の約 4 分の 1 は、重量物の取り扱いにて生じている。このことから、重量物の持ち上げなどの取り扱いは、腰痛の主要なリスク要因と考えられる²⁻⁴⁾。

厚生労働省「職場における腰痛予防対策指針」では、取り扱う重量値を男性が体重の 40%以下、女性が体重の 24%以下に抑えることを推奨している⁵⁾。しかし、生体力学的観点から考えると、同じ重量物を取り扱う場合、体重の重い人は、体重の軽い人に比べて腰にかかる力が大きくなり、腰痛リスクが高くなる⁶⁾。また、男性において体重の 40%以下、女性において 24%以下の重量物を取り扱っている者は、重量物を取り扱わない者に比べて腰痛リスクが高くなる結果も得られている⁷⁾。これらのことから、体重の割合での重量制限は、腰痛を十分に予防できないと思われる。

一方、英国安全衛生庁（Health and Safety Executive: HSE）「重量物取り扱いガイドライン」では、体重に関係なく、男女ごとに重量物を保持する高さや身体からの距離ごとに、推奨する最大重量値を設定している（図 1）⁸⁾。これは、重量物を持ち上げて保持することが可能なことに加え、腰部椎間板圧縮力が腰痛リスクの高まるとされる 3400 N⁹⁾を超えない重量値となっている。このようなガイドラインは、我が国においても必要と思われる。

しかし、このガイドラインは、欧米人を対象としており、欧米人に比べて体格の小さな日本人への適用可能性は検討されていない。

そこで本研究では、HSE のガイドラインを参考に、日本人の持ち上げ作業における最大重量値について検討した。

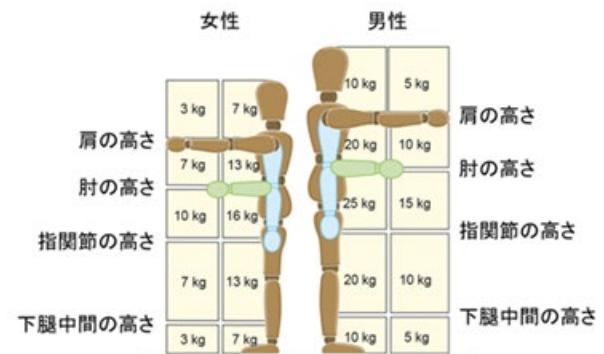


図 1 英国安全衛生庁の最大重量値

2. 方法

1) 対象者

対象者は、身長や体格の異なる 20 代から 50 代までの健常な日本人男性 11 名とした（表 1）。本研究は、労働安全衛生総合研究所研究倫理審査委員会の承認を得て

表 1 対象者の基本情報

	平均	標準偏差	最小	最大
年齢 (歳)	39.4	9.5	28	55
身長 (m)	1.718	0.060	1.640	1.800
体重 (kg)	66.0	13.2	49.0	83.7
BMI	22.3	3.9	16.2	27.6

*1 労働安全衛生総合研究所 人間工学研究グループ

*2 労働安全衛生総合研究所 研究推進・国際センター

連絡先: 〒214-8585 神奈川県川崎市多摩区長尾 6-21-1

労働安全衛生総合研究所 人間工学研究グループ 杜唐慧子

E-mail: du@h.jniosh.johas.go.jp

実施した（通知番号：2022N15）。対象者には、研究の実施内容および実験に伴うリスクについて口頭および書面にて説明を行い、全員からインフォームド・コンセントを取得した。

2) 作業内容

対象者は、高さ 5 水準（頭、胸、腰、膝、脛）および身体からの距離 2 水準（近、遠）の計 10 区画において、2 種類の作業（保持作業と持ち上げ作業）を実施した。保持作業は指定された高さに重量物を持ち上げての保持、持ち上げ作業は床から頭の位置までの重量物の持ち上げとした。区画の定義は、HSE のガイドラインを参考にした⁸⁾。

対象者が直立自然下垂位（直立姿勢で両上肢を身体側に自然に下垂させた姿勢）を保持した状態を基準とし、指関節より上の区画（頭、胸、腰）は立位姿勢にて、指関節より下の区画（膝および脛）はしゃがみ姿勢で行った。持ち上げ作業はしゃがみ姿勢からスタートして立位姿勢まで重量物の持ち上げを行った。重量物は、幅 40.0 cm、奥行 28.0 cm、深さ 7.4 cm のケースに重りを入れて重量を調整し、重量は 3 kg, 5 kg, 8 kg, 10 kg, 13 kg, 15 kg, 18 kg, 20 kg, 23 kg, 25 kg, 28 kg の 11 通りとした。

実験は 3 日間の日程で実施した。初日は、各区画における取り扱い可能重量を記録した。取り扱い可能重量は、通常の作業として安全かつ許容できる範囲と定義し、対象者に以下の 3 点を考慮するように説明した。（1）重量物の保持および持ち上げ中に姿勢が崩れないこと、（2）最大筋力を 10 割とした場合、対象者の主観でおおよそ 7 割程度の力で実施すること、（3）作業は 1 回限りではなく、通常業務と同様に繰り返し実施できる範囲とすることとした。保持作業は各区画における取り扱い可能重量とそれより軽い 2 水準の重量で行った。持ち上げ作業は全区画における最大取り扱い可能重量以下の重量値を行った。

3) 計測とデータ解析

実験では、作業中の三次元動作解析および床反力測定を実施した。対象者は、専用の計測スツツを着用し、各身体部位に複数の反射マーカーを貼付した。マーカーの配置は Plug-in Gait モデルに準拠して行い、頭部、体幹、両上下肢の計 54 か所に反射マーカーを装着した。各マーカーは各セグメントの骨指標上またはその近傍に配置した。マーカーの軌跡は、10 台の赤外線カメラ（Vicon Vero, Vicon Motion Systems 社、英国）により、サンプリング周波数 100 Hz で記録した。また、床反力は、6 台の床反力計（Kistler 社、米国）を用いて、サンプリング周波数 1000 Hz で測定した。

得られた三次元動作データおよび床反力データからは、逆動力学を用いて、筋骨格系シミュレーションソフトウェア（AnyBody 7.4, AnyBody Technology 社、デン

マーク）により筋発揮力と関節に加わる力を推定した。この推定では、第 5 腰椎（L5）・第 1 仙椎（S1）間の腰部椎間板圧縮力を算出した。

各区画における最大重量値は、取り扱い可能重量のうち、腰部椎間板圧縮力が 3400 N 以下となる重量を算出した。ただし、測定した全重量値において腰部椎間板圧縮力が 3400 N を超えた場合は、最も軽い重量の動作データを用いて、重量値をソフトウェア上で変更し、腰部椎間板圧縮力が 3400 N 以下となる重量値を算出した。

本報告は、現時点で解析が完了している 11 名分のデータを対象とし、解析では各条件における平均値および標準偏差を算出した。

3. 結果

1) 取り扱い可能重量

表 2 に取り扱い可能重量を示す。頭から脛の値は保持作業で得られた結果、床の値は持ち上げ作業から得られた結果となる。身体からの距離が近い区画では、遠い区画に比べて重い重量を取り扱い可能であった。また、腰、膝、脛といった下半身の区画では、頭および胸といった上半身の区画に比べて重い重量を取り扱い可能であった。

表 3 に取り扱い可能重量における腰部椎間板圧縮力を示す。頭、胸、腰の区画における腰部椎間板圧縮力は、91% の対象者において 3400 N 以下に収まった。一方、膝と脛の区画および床からの持ち上げ作業における腰部

表 2 取り扱い可能重量 (kg)

作業	高さ	近	遠
保持	頭	10.3±3.0	8.1±2.2
	胸	16.7±3.8	10.4±2.2
	腰	20.0±4.8	11.6±2.9
	膝	18.5±4.5	12.5±2.9
	脛	16.8±3.9	11.4±3.1
持ち上げ	床	21.2±4.2	

表 3 取り扱い可能重量における
腰部椎間板圧縮力 (N)

作業	高さ	近	遠
保持	頭	1196±364	1448±429
	胸	1807±548	1734±484
	腰	2156±697	2106±622
	膝	2758±687	2831±616
	脛	2918±665	2871±635
持ち上げ	床	3882±707	

椎間板圧縮力は、多くの対象者において 3400 N を超えていた。

2) 最大重量値

表 4 に腰部椎間板圧縮力を考慮した最大重量値を示す。最大重量値は、身体に近い腰の区画において最大となり、その区画から上下に行くほど軽くなり、また身体から離れるほど軽くなった。

表 4 腰部椎間板圧縮力を考慮した
最大重量値 (kg)

作業		近	遠
保持	頭	10.3±3.0	8.1±2.2
	胸	16.7±3.8	10.4±2.2
	腰	19.7±4.4	11.5±2.7
	膝	17.5±4.2	11.5±2.3
	脛	15.2±3.1	10.4±2.0
持ち上げ	床	15.4±5.8	

4. 考察

本研究では、対象者が取り扱い可能と判断した重量値のうち、腰部椎間板圧縮力が腰痛発生リスクの閾値とされている 3400 N を超えない範囲となる最大重量値について検討した。

頭、胸、腰の区画では、腰部椎間板圧縮力が 3400 N を下回っていた。このことから、頭、胸、腰の区画における最大重量値は、取り扱い可能重量とほぼ一致した。一方、膝および脛の区画では、頭や胸の区画に比べて重い物を持てる傾向があったが、腰部椎間板圧縮力が 3400 N を超える場合が多かった。これにより、膝および脛の区画における最大重量値は、取り扱い可能重量よりも低くなかった。下半身の筋肉量は、上半身に比べて多い^{10,11)}。このことから、膝や脛の区画においては、重い重量物を持ち上げられたと考えられる。また、床から重量物を持ち上げる場合は、腰部負荷が大きいことに加えて、動作時の加速度の影響があり、腰部椎間板圧縮力が 3400 N を大きく超える傾向が見られた。これにより、床からの持ち上げにおいても、最大重量値は取り扱い可能重量よりも低くなかった。したがって、下半身の位置では比較的重い物を持ち上げることは可能であるが、腰部への負荷が大きくなるため、安全性の観点から設定される最大重量値は、実際に持ち上げ可能な重量よりも低くなると考えられる。これらの位置での重量物の取り扱いは、持ち上げ可能だからと言って行うのではなく、適切な最大重量値に準拠することが必要と思われる。

本研究の最大重量値は、HSE のガイドラインにおける推奨重量値（図 1）と同様に、腰の区画において最大となり、そこから上下に行くに従って軽くなつた。しかし、腰の区画における重量値は、日本人の方が軽かつた。これは、日本人と英国人との間に体格や筋力などの差があることによるものと考えられる。一方、腰以外の身体から遠い区画では、日本人の方が重い重量値まで取り扱い可能となつた。これは、日本人の方が腕は短いため、身体から近い位置での保持になるためと思われる。

本研究における最大重量値は、腰部椎間板圧縮力が 3400 N を超えないことを基準とした。この値は、米国労働安全衛生研究所 (NIOSH) が提唱する腰椎損傷や慢性腰痛のリスクが高まるとしている閾値である⁹⁾。一方、腰部負荷の評価においては、椎間板の耐久性の経年変化も考慮する必要があり、例えば、Dortmund Recommendations では、50 歳以上の作業者に対する腰部椎間板圧縮力を 3100 N までとしている¹²⁾。このように、年齢ごとに腰部椎間板圧縮力の基準値を変える方法もあるが、本研究では国際的に認知度の高い 3400 N を用いた。今後は、年齢ごとに異なる腰部椎間板圧縮力の基準値についても検討する必要がある。

5. まとめ

本研究では、腰部椎間板圧縮力を考慮した、日本人の持ち上げ作業における最大重量値について検討した。その結果、最大重量値は、身体に近い腰の区画において最大となり、それより上下に行くほど、また身体から離れるほど軽くなつた。この結果を HSE と比較すると、最大重量値は腰の位置で軽かつたが、腰の高さを除く身体から遠い位置では重くなつた。また、低い位置においては、重い物を持てるものの、腰部負荷が大きくなり、取り扱い可能な最大重量値は軽くなつた。これらの位置での重量物の取り扱いは、持ち上げ可能だからと言って無理に行うのではなく、適切な最大重量値に準拠することが腰痛予防対策としては必要と思われた。

参考文献

- 1) 労働安全衛生総合研究所. 平成 30 年及び令和元年労働者死傷病報告における業務上腰痛の発生状況に関する報告書. 令和 3 年 9 月.
- 2) Kujala UM, Taimela S, Viljanen T, et al. (1996). Physical loading and performance as predictors of back pain in healthy adults. A 5-year prospective study. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 73:452–8.
- 3) Andersen JH, Haahr JP, Frost P. (2007). Risk factors for more severe regional musculoskeletal symptoms: a two-year prospective study of a general working population. *Arthritis Rheum*. 56:1355–64.
- 4) Garg A, Boda S, Hegmann KT, et al. (2014). The NIOSH lifting equation and low-back pain, Part 1: Association

- with low-back pain in the backworks prospective cohort study. *Hum Factors*, 56(1):6–28.
- 5) 厚生労働省, 職場における腰痛予防対策指針, 平成 25 年 6 月 18 日付け基発 0618 第 1 号.
- 6) Oyama F, Du T, Iwakiri K. (2025). Inadequate lumbar protection with load weight limits based on body weight percentages: an experimental and simulation study of the weight limits set by the Japanese guidelines for preventing low back pain. *PLoS One*, 20(6): e0327175.
- 7) Iwakiri K, Sasaki T, Sotoyama M, Du T, Miki K, Oyama F. (2023). Effect of relative weight limit set as a body weight percentage on work-related low back pain among workers. *PLoS One*, 18(4): e0284465.
- 8) Health and Safety Executive (HSE). (2020). Manual handling at work: A brief guide. INDG143 (rev4). Liverpool: HSE Books.
<https://www.hse.gov.uk/pubns/indg143.pdf> (参照 : 2025/8/6)
- 9) Waters TR, Putz-Anderson V, Garg A, Fine LJ. (1993). Revised NIOSH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks. *Ergonomics*, 36(7): 749-76.
- 10) Abe T, Kearns F, Fukunaga T. (2003). Sex differences in whole body skeletal muscle mass measured by magnetic resonance imaging and its distribution in young Japanese adults. *Br J Sports Med*, 37(5): 436-40.
- 11) Ishida Y, Kanehisa H, Kondo M, et al. (1994). Body fat and muscle thickness in Japanese and Caucasian females. *Am J Hum Biol*, 6(6): 711-8.
- 12) Jäger M. (2018). Extended compilation of autopsy-material measurements on lumbar ultimate compressive strength for deriving reference values in ergonomic work design: The Revised Dortmund Recommendations. *EXCLI J*, 17: 362-85.