

厚生労働省科学研究費補助金（労働安全衛生総合研究事業）
陸上貨物運送業を対象とした Minds 参照型腰痛予防対策ガイドラインの策定と
予防対策の普及実装の推進
分担研究報告書

骨盤固有角を用いたテーラーメイド型介入プログラム開発研究

研究代表者 榎原 毅 産業医科大学 産業生態科学研究所 人間工学研究室 教授
研究分担者 菅間 敦 成蹊大学 理工学部 理工学科 准教授

研究要旨

本研究は、陸上貨物運送業における腰痛の予防を目的とし、荷物持ち上げ作業において個人の骨格特性が姿勢戦略に与える影響を明らかにすることを目的とした。

特に骨盤固有角（Pelvic Incidence：PI）に着目し、PIの大小によって荷物持ち上げ時の姿勢が異なるという仮説のもと動作分析を行った。実験にはPIの異なる健常成人男性6名（PI：S、M、Lの3群、各2名）を対象とし、9軸モーションセンサを用いて持ち上げ動作中の身体関節（胸部、腰部、骨盤、股関節、膝関節）の屈曲角度を測定した。実験条件は、荷物の質量が5kgと15kgの2条件、床からの荷物高さ4水準（身長比20～50%まで10%刻み）、および水平距離2水準（上肢長比40%および70%）を組み合わせた16条件とし、それぞれ2回ずつ測定を行った。計測方法として9軸モーションセンサを身体に取り付け、姿勢データを計測した。体幹の傾き角は、胸部（T6-T12）、腰部（T12-S2）、骨盤（S2-鉛直線）、股関節（上前腸骨棘-大腿）、膝関節（大腿-下腿）の5部位について、静止立位時、持ち上げ姿勢時、荷物保持時、持ち下げ姿勢時の平均角度を算出した。

実験の結果、PIが大きい群（PI:L）では、腰部の屈曲を抑えつつ骨盤を前傾させることで荷物にアプローチしており、骨盤・股関節を中心とした姿勢戦略が確認された。反対に、PIが小さい群（PI:S）では胸部および腰部を大きく屈曲させて持ち上げる動作が多く、体幹上部を主体としたStoop型の姿勢を取る傾向が強く、特に荷物質量が軽い場合に顕著にみられた。これらの結果より、同じ作業であっても個人の骨格特性により身体の使い方が異なることが示唆された。各作業姿勢の影響として、PIの小さい者は軽い荷物を持ち上げる場合でも腰部負荷が大きくなりやすく、腰痛リスクが高い可能性がある一方、PIが大きい者は骨盤主導の効率的な動作が取りやすい可能性が示された。

本年度の研究により、荷物持ち上げ作業における腰痛予防においては、一律の「正しい姿勢」を強いるのではなく、PIに基づいた個別最適化された動作指導が有効である可能性が示唆された。

A. 研究目的

陸上貨物運送業は、経済活動を支える基幹産業でありながら、腰痛発生率が全業種平均の0.1を大きく上回る0.41となっており¹⁾、労働災害の中でも特に腰痛の発生率が高い職種の一つである。厚生労働省の労働者死傷病報告によれば、重量物の手作業による取り扱いを伴う作業従事者の間で、腰痛を主訴とする職業性疾病の報告数が依然として多く、作業効率や就労継続にも大きな影響を及ぼしている²⁾。こうした背景から、国内では「労働安全衛生マネジメントシステム」に基づいた包括的な腰痛対策の整備が求められており、単なる一般的教育だけでなく、科学的根拠に基づいた個別最適化された対策の必要性が高まっている。

現場における実践的な腰痛予防には、適切な作業環境の整備が不可欠であると同時に、作業者ごとに異なる身体的特性を考慮した作業指導の導入が重要になると考えられる。特に、同じ作業姿勢であっても、人によって腰部への負荷のかかり方に違いがあることが報告されており³⁾、その個人差の一因として骨盤—脊柱の構造的な配列の違いが注目されている。

本研究では、その構造的要素の一つである骨盤固有角 (Pelvic Incidence : PI) に着目する。PIは仙骨の傾斜角と骨盤の前後傾斜を包括的に示す解剖学的指標であり、各個人において生涯不変の値とされる。PIが大きい者は骨盤の前傾傾向が強く、腰椎前弯の程度も増す傾向があるのに対し、PIが小さい者では相対的に直立姿勢が保持されやすい骨格構造を有する⁴⁾。このことから、PIは単なる解剖学的指標にとどまらず、作業中の姿勢制御戦略の個人差を規定する要

因である可能性がある。

そこで本研究では、荷物持ち上げ動作において、PIの大小により身体各部の動員パターンがどのように異なるかを明らかにすることを目的とする。PIに応じた関節角度変化の特徴を動作中に定量評価することで、作業姿勢と身体負担の関係性を構造的に理解し、将来的にはPIに基づいたテーラーメイド型の作業指導法を構築するための基礎的知見を得ることを目指す。

B. 研究方法

過去に腰痛の発症がなく、実験当日も腰部に痛みのない大学生男性6名(22歳)を対象とした。研究対象者は、Hip-Knee Line (HKL) 角に基づいてPIを3区分に分類した。HKL角が18.5°未満の場合をS、18.5°～21.5°をM、21.5°以上をLとし、各区分2名ずつとした。

姿勢データ測定には9軸モーションセンサ(Wit-motion社、BWT901CL)を使用し、第6胸椎(T6)、第12胸椎(T12)、第2仙骨(S2)の棘突起上、上前腸骨棘上、大腿部側面、下腿部側面の計6箇所貼付した。持ち上げる荷物として、収納ボックス(寸法[幅29.5×奥行44×高さ16cm])に重りを入れ、質量を調整した。

実験条件は、荷物の床からの高さ(H)を研究対象者の身長比20%、30%、40%、50%の4条件、身体から荷物までの水平距離(HD)を研究対象者の上肢長比40%、70%の2条件、箱の重さを5kgおよび15kgの2条件として、計16条件を設定した。実験課題は、(1)3秒間立位姿勢で静止、(2)3秒かけて前屈みになり3秒静止、(3)3秒かけて持ち上げ、(4)3秒保持、(5)3秒かけて

持ち下げ、(6)3 秒静止、(7)3 秒かけて立ち上がるという約 21 秒の作業であった。分析方法として、モーションセンサの角度差を求め、胸部 (T6-T12)、腰部 (T12-S2)、骨盤 (S2-鉛直線)、股関節 (上前腸骨棘-大腿)、膝関節 (大腿-下腿) の 5 部位について角度の時系列データを取得した。また、実験課題終了後には「疲労部位しらべ」を用いて主観的な作業負担感を調査した。

(倫理面への配慮)

本研究は学内の倫理審査を経て承認を得た上で実施された。研究対象者には実験の目的と方法、予想されるリスクを説明し、書面による同意を得た。また、実験中は対象者の安全に配慮し、必要に応じて休憩を取り入れた。

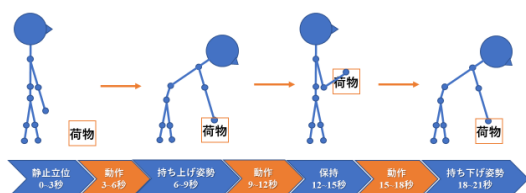


図 1 荷物持ち上げ実験の手順

C. 研究結果

【5kg 荷物使用時の結果】

持ち上げ姿勢時の結果を図 2～図 5 に示す。胸部角は PI の大きさに反比例して小さくなる傾向が見られた。腰部角は PI:S、L、M の順に小さくなった。骨盤角は、荷物の高さが最も低い 20% の条件では、PI:L が最も大きかった。一方、高さ 50% では PI による差はほとんど見られなかった。股関節角と膝関節角では、高さ 20% において PI:M

が他区分より顕著に大きい結果となった。

荷物保持時、PI:S は胸部角と膝関節角が正の値(屈曲)、腰部角と骨盤角が負の値(伸展)を示した。PI:M は胸部角が負の値、腰部角が正の値を示した。PI:L は胸部角と腰部角は条件により変動し、骨盤角は負の値、膝関節角は正の値を示した。骨盤角は S、M、L の順に大きくなる傾向があった。

主観評価では、5kg 条件においても腰部と下肢に負担を感じる結果となった。PI:S は高さ 20%、30% の低い条件で下肢に負担を感じるが、腰部への負担は少なかった。PI:L はほとんどの条件で腰部に負担を感じた。下肢の負担は、全 PI カテゴリーにおいて高さが低い条件で大きくなる傾向が見られた。

全体として、荷物の水平距離による角度変化の差は小さかった一方、高さによる影響は顕著であり、高さが低いほど全身の屈曲角が大きくなった。また、持ち上げ姿勢と持ち下げ姿勢の角度パターンはほぼ同じであった。

【15kg 荷物使用時の結果】

15kg 条件においても 5kg 条件と同様の傾向が多く見られたが、角度変化の大きさや主観的負担感はより顕著であった。持ち上げ姿勢時の特徴的な点として、胸部屈曲角は S 群で 24 度、M 群で 27 度、L 群で 14 度であり、L 群が最も小さかった。腰部屈曲角は S 群で 49 度、M 群で 33 度、L 群で 39 度であり、S 群が最も大きかった。骨盤屈曲角は S 群で 17 度、M 群で 27 度、L 群で 35 度となり、PI が大きくなるほど骨盤屈曲角が大きくなる傾向が見られた。

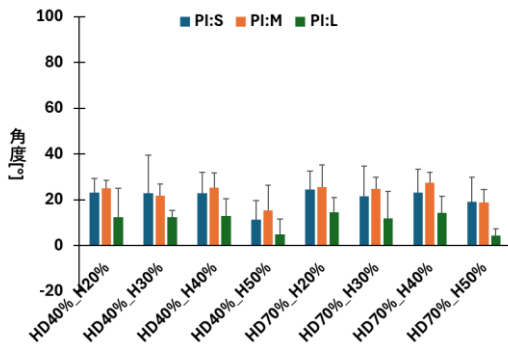


図2 質量5kg 持ち上げ時の胸部角度

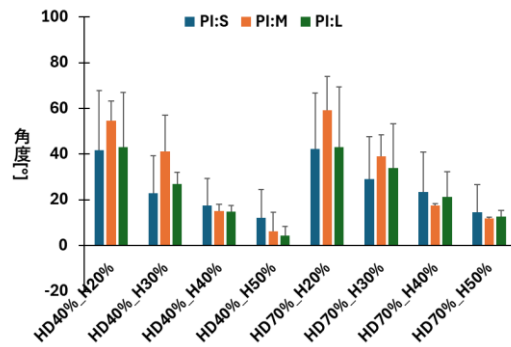


図5 質量5kg 持ち上げ時の股関節角度

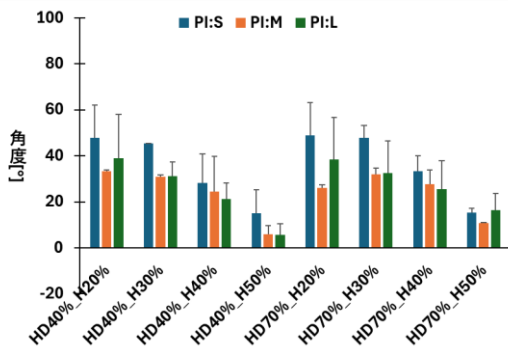


図3 質量5kg 持ち上げ時の腰部角度

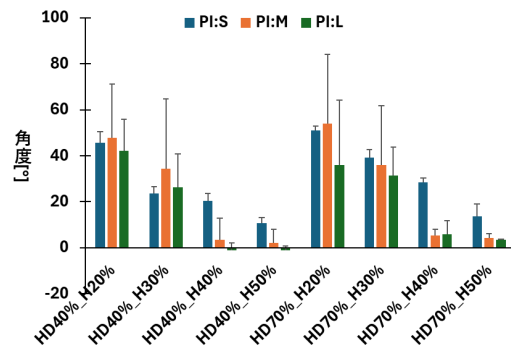


図6 質量5kg 持ち上げ時の膝関節角度

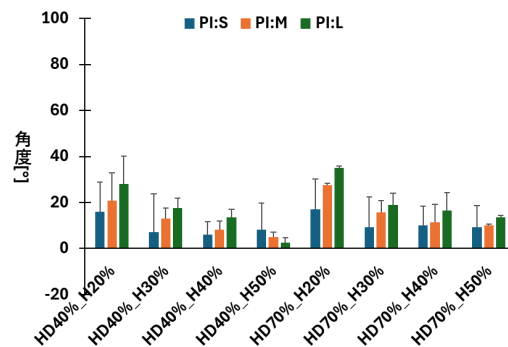


図4 質量5kg 持ち上げ時の骨盤傾斜角

荷物保持時では、S の場合は胸部を 6.7 度屈曲させ、M と L の場合は胸部をそれぞれ 6.5 度と 3.1 度伸展させる傾向があった。主観評価では、PI が S の場合、高さ 40%、50% の高い条件において肩と上肢に負担を感じる結果となった。

【共通の結果】

両質量条件において、荷物の水平距離による角度変化の差は小さかった一方、高さによる影響は顕著であり、高さが低いほど全身の屈曲角が大きくなった。また、持ち上げ姿勢と持ち下げ姿勢の角度パターンはほぼ同じであった。

PI による姿勢の違いとして、PI が大きくなるほど骨盤の屈曲角が大きくなり、PI が小さいほど胸部と腰部の屈曲角が大きくなる傾向が両重量条件で確認された。これは、PI の大きさによって荷物を持ち上げる際の身体の使い方に違いがあることを示唆している。

D. 考察

【立位姿勢の違い】

PIが小さい人（S群）は、静止立位姿勢時に胸部を丸める傾向が見られた。これはケンダルによる姿勢分類のスウェイバック（後弯平坦型）に近く、胸椎を屈曲させることで骨盤が後傾する傾向があると考えられる。反対に、PIが大きい人（L群）は、胸部を突き出す傾向があり、骨盤前傾の姿勢をとりやすく、姿勢分類のロードシス（前弯型）に近いことが示唆された。

【屈曲姿勢の違い】

PI:Sの人は持ち上げ動作時に胸部と腰部を大きく屈曲させる傾向があり、骨盤ではなく体幹上部を使って姿勢をとる傾向があった。この結果、上半身を丸めた **Stoop lift** の姿勢をとりやすかった。これにより、腰部から荷物までの水平距離が長くなり、腰部モーメントが大きくなる可能性が考えられる。また、上肢を前方に出す傾向があり、上肢の負担感につながったと考えられる。

PI:Mの人は胸部、腰部、骨盤の屈曲角が中間的な値を示したが、一部の条件（特に低い高さ）では股関節と膝関節を大きく屈曲させていた。この結果は対象者間での姿勢の違いによる可能性があり、研究対象者数を増やすことでより明確な傾向が現れると予想される。

PI:Lの人は胸部の屈曲が小さく、腰部と骨盤を大きく屈曲させる傾向があり、主に腰部付近を中心とした動作を行っていた。膝関節の屈曲角は小さく、下肢の姿勢変化はあまり使っていない傾向があった。荷物の高さが高い場合、上半身を伸ばしたまま傾斜させる傾向が観察された。

【PI別の姿勢戦略】

PIが小さい人に適した姿勢戦略としては、上半身を丸めずに伸ばし、膝関節や股関節を柔軟に活用することで、腰部から荷物までの距離を短くし、腰部への負担を軽減する方略である。一方、PIが大きい人に適した姿勢戦略としては、高い位置に物がある場合でも上半身を傾斜させず、膝を曲げて腰を十分に下ろす姿勢（**Squat 法**）をとることが有効である。

【研究の限界】

本研究の限界として、各群の対象者数が2名と少なく、個人差の影響が大きい可能性があること、条件をランダム化した後半の実験では疲労の影響があった可能性があること、静止状態での測定であったため持ち上げ瞬間の筋肉の緊張が捉えられていない可能性があることが挙げられる。また、研究対象者の必要サンプル数の計算から、各群9人以上（予備含め12名）が望ましいとされており、より多くの対象者での検証が必要である。さらに、条件数を増やすことや測定する身体データを増やすこと、持ち上げ姿勢を指定することで、より詳細な骨盤固有角と姿勢戦略の関係を明らかにできる可能性がある。

E. 研究発表

1. 発表論文
該当無し
2. 学会発表
該当無し

F. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

該当なし

2. 実用新案登録

該当なし

3. その他

該当なし

参考文献

- 1) 労働者健康福祉機構, "職場における腰痛の発症要因の解明に係る研究・開発, 普及," [Online]. Available: <https://www.research.johas.go.jp/booklet/pdf/2nd/05.pdf>
- 2) 厚生労働省, 職場の腰痛予防対策指針, 2013年.
- 3) D. van Dieën, M. Hoozemans, and J. Toussaint, "Stoop or squat: a review of biomechanical studies on lifting technique," *Clin. Biomech.*, vol. 14, no. 10, pp. 685–696, 1999.
- 4) J. Roussouly and G. Pinheiro-Franco, "Sagittal parameters of the spine: biomechanical approach," *Eur. Spine J.*, vol. 20, pp. 578–585, 2011.