

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

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

研究要旨

本研究は、腰痛災害が増加している陸上貨物運送業において、効果的な腰痛予防対策を確立し、社会実装することを目的とした研究事業である。行政、民間企業、学術団体などが連携する産官学コンソーシアムを組織し、現場調査、文献レビュー、デジタルヘルスツールの開発、骨盤固有角を考慮したテーラーメイド型介入プログラム等の検討を行った。

文献レビュー班では、従来型の腰痛予防対策の分類を行い、産官学連携コンソーシアムを通じて重要度の高いヘルスケアアクションについて合意形成を行った。現場調査班では、ヒアリングと Web アンケートを実施し、トラックドライバーや倉庫作業員における腰痛要因や主観的なストレスの違いなどについて調査を行った。デジタルヘルス技術(DHT)介入プログラム開発班では、姿勢推定 AI (BlazePose) を活用した Web アプリ開発により、荷物の持ち上げ、運搬、押し引きの作業リスクを評価可能にした。また、骨盤固有角を考慮したテーラーメイド型介入研究班では、個人の骨格特性が持ち上げ作業姿勢に影響することが明らかとなり、個別最適化された介入が必要であることが示唆された。アシストスーツ介入班についても、適正導入の判断基準や作業負荷・体力評価との関連性を分析し、今後の無作為化比較試験に向けた基盤を構築した。

次年度は、システムティックレビューによって重要度の高いヘルスケアアクションに対するエビデンスを体系的に整理するとともに、研究成果を基にした介入プログラムを実施し、陸上貨物運送業における新機軸となる腰痛予防対策の検討を進め、Minds 参照型ガイドラインの策定を行いたい。

研究分担者

石井 賢治 大原記念労働科学研究所 働く人々の多様性研究グループ 主任研究員

岩切 一幸 労働安全衛生総合研究所 人間工学研究グループ 部長

菅間 敦 成蹊大学 理工学部 理工学科 准教授

瀬尾 明彦 東京都立大学 システムデザイン学部機械システム工学科 客員研究員

田中 孝之 北海道大学 情報科学研究院 教授

谷 直道 産業医科大学 人間工学研究室 助教

杜 唐慧子 労働安全衛生総合研究所 人間工学研究グループ 研究員

平内 和樹 労働安全衛生総合研究所 新技術安全研究グループ 研究員

A. 研究目的

陸上貨物運送業（以下、運送業）における腰痛災害は増加の一途を辿っている。学術的には腰痛発症のリスクは個人的・物理的・心理社会的要因の3側面で整理されるが¹⁾、労働の場面においてはこれらの側面が複合的な曝露要因として存在し、さらに業種特性に応じた対策が求められる。運送業における労働者の腰痛発症リスク要因は、重量物取り扱い、長時間の運転による静的拘束姿勢、振動曝露、長時間労働（過重労働）に伴う心理的負担などが挙げられるが、未だ解決には至っていない。

この背景には、運送業という業種特性において初荷主（上流）からエンドユーザー（下流）までの一連の作業過程における現場調査の不足、同職種に特化した腰痛予防対策エビデンスの整理不足、近年急増しているデジタルヘルスツール（DHT）の未活用、行政施策との現場での対策実践のギャップなどが考えられ、様々なステークホルダーと連携した包摂的かつ有効的な対策の社会実装が望まれる。

そこで本研究事業では、行政、労働災害防止団体、民間企業、学術団体が連携した産官学連携コンソーシアムを組織し、運送業において新基軸となる効果的な腰痛予防対策の確立および社会実装を目的として、Minds（Medical Information Network Distribution Service）参照型の腰痛予防対策ガイドラインを策定する。この目的を達成するために、初年度は①産官学連携コンソーシアムの整備、②運送事業場の調査、③文献レビューによるエビデンス整理および若手教育、④介入プログラム・DHTの開発の検討を行った。

B. 研究方法

研究代表者・研究分担者全員で原則、毎月1回オンラインにて進捗報告を行った（研究班会合）。各班の進捗状況の確認および相互連携と共有をはかり、以下の研究開発を進めた。

B-1. 産官学協働コンソーシアムの整備

本研究事業の目的であるMinds参照型の腰痛予防ガイドライン策定するために、Shared decision making および患者・市民参画（PPI: Patient and Public Involvement）の機会を創出することが重要である。本事業では、行政、労働災害防止団体、民間企業、学術団体の代表者などから構成される産官学連携コンソーシアムを整備した。

B-2. 文献レビュー

文献レビュー班では、運送業の腰痛予防対策に関するエビデンスを整理することを目的としてスコーピングレビュー（ScR）およびシステマティックレビュー（SR）を実施した。Minds参照型ガイドライン策定の先行事例を参考²⁾に、予防・ヘルスケア領域に関してステークホルダーが知りたい疑問であるヘルスケアクエスチョン（healthcare question: HQ）を設定するためにPRISMA-ScR（Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analysis extension for scoping reviews）に準拠したScRでPubMedおよび医中誌の文献検索を行った。文献レビュー班内にてScRの結果をもとにHQ案を立案し、産官学連携コンソーシアム会合において、各ステークホルダーより相対的重要度が0-10の11段階で評価され、重要度平均点の点数

に応じて優先度が高い HQ を中心に SR を実施することとした。SR は PROSPERO にプロトコルを登録し、各学術団体の若手研究協力者を中心に PRISMA ガイドラインに沿って実施した。

B-3. 運送事業場の調査

運送業で働く労働者を取り巻く上流から下流までの流れを包括した現場調査を行った。現場調査は事業場の労働者や管理者を対象としたヒアリング調査とオンラインを活用した WEB アンケート調査を実施した。調査実施に当たり、労働安全衛生総合研究所の倫理審査にて承認を得た（承認番号：2024N21）。

ヒアリング調査では、事業場の概要、腰痛者数および腰痛による休業者数、腰部負担の大きな作業内容、事業場全体で取り組んでいる腰痛予防対策、効果的と思われる腰痛予防対策、労働者個人の腰痛予防対策や工夫などについて労働者および事業場の管理者への聞き取り調査を行った。WEB アンケート調査では、個人情報（性別、年齢、身長、体重、喫煙歴）、勤務状況（勤務年数、雇用形態、勤務内容、勤務時間、職場性ストレス）、腰痛の有無、腰痛のリスク要因、会社から提供されて活用している腰痛予防対策と利用して良かったと感じる対策、個人的に取り組んでいる腰痛予防対策などについて調査を行った。

B-4. 荷物取扱い作業の腰痛リスク評価のためのデジタルヘルス・テクノロジー開発研究

現在はディープラーニングや AI (Artificial Intelligence) を応用した人間の

姿勢推定手法（以下、姿勢推定 AI とする）が急速に発展し、スマートフォンなどで撮影した画像や動画から作業中の姿勢を捉え、腰痛リスクをより簡便に定量的に評価することが可能である。そこで、姿勢推定 AI を用いて、ISO11228-1 (JIS Z8505-1) に紹介されている荷物の持ち上げ評価（通称、NIOSH Lifting equation: NLE³⁾）などを簡易的に行うために Web アプリケーションの研究開発を行うこととした。

姿勢推定 AI は Google が開発した 3 次元姿勢推定アルゴリズムである BlazePose⁴⁾ を採用した。NLE をはじめとした腰痛リスク評価法は、作業要因を数値化して安全に取扱いができる荷物の質量の上限値を求めることが可能である。この上限値を実際の作業での荷物質量と比較することでリスク判定を行う。

B-5. 骨盤固有角を用いたテラーメイド型介入プログラム開発研究

本研究では、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。PI の異なる健康成人男性 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 5 kg と 15 kg 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（Wit-motion 社、

BWT901CL) 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。

B-6. アシストスーツ介入プログラム開発研究

本研究では、パッシブ型アシストスーツ (PAS) の適正な導入および科学的根拠に基づく介入戦略の構築に取り組んだ。特に、PAS を用いた介入の有効性を検証する無作為比較対照試験の実施に向けて、作業負荷の可視化、対象者の体力評価、導入判断基準の整備といった基盤技術の構築を行った。本年度は、(1)陸上貨物運送業に適した PAS の選定、(2)狭小空間でも高精度な姿勢推定を実現する作業姿勢計測技術の開発、(3)体力測定と腰痛リスクの関係性の解析、(4)作業負荷と体力の不均衡に基づく PAS 導入判

断手順と On the Job Exercise による応用戦略の検討を実施した。

C. 研究結果

C-1. 産官学協働コンソーシアム

厚生労働省安全衛生課、労働災害防止陸上貨物運送事業労働災害防止協会、民間企業 7 社 (株式会社東洋メビウス、幸楽輸送株式会社、佐川急便株式会社、全国赤帽軽自動車運送協同組合連合会、日本通運株式会社、北海道センコー株式会社、ヤマト運輸株式会社)、5 つの学術団体 (中心学会：日本人間工学会、産業保健人間工学会、日本産業衛生学会 作業関連性運動器障害研究会、一般社団法人関西産研、軽労化研究会) それぞれの代表者からなるコンソーシアムを整備した (図 1)。初回会合は 2024 年 8 月 5 日にオンライン形式にて開催し、31 名が参加した。第 2 回会合はオンラインおよび対面のハイブリッド形式で 2025 年 3 月 26 日に開催し、35 名が参加した。

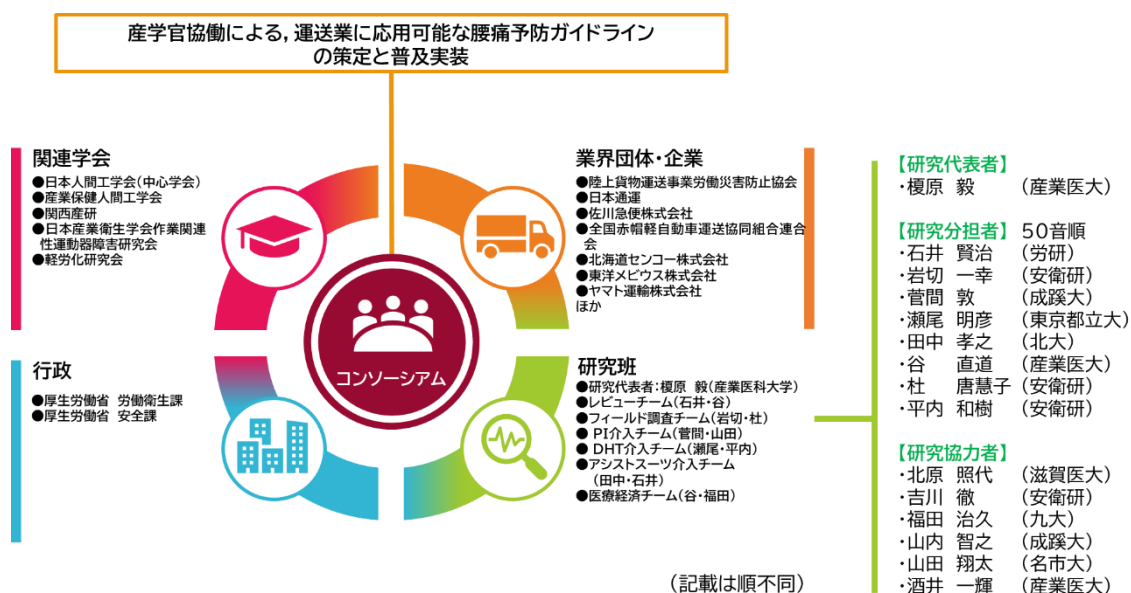


図 1 産官学協働コンソーシアムの体制 (2025 年 3 月末時点)

C-2. 文献レビュー結果

ScR における文献検索では、スクリーニングの結果、15 文献が抽出され、従来の腰痛対策の内容は個人で実践する対策と組織が実践する対策に分類された。組織的な対策としては外骨格デバイスの着用、リフティング技術に関する教育、職場改善、トラックのシート変更による振動対策、運動教育の実施、リフティングデバイスの使用方法に関する教育、脊柱障害に関する健康診断の実践などが挙げられた。個人的な対策としては、マッサージ、肥満対策、インソール、運動の実践、腰部保護ベルトの着用などが挙げられた。

これらの結果を基に 8 つの HQ (HQ1. 腰痛一次予防にデジタルヘルス・テクノロジーは活用されているの？、HQ2. アシストスーツはどのように活用されているの？、HQ3. 仕事の負荷を活用して筋力トレーニングはできないの？、HQ4. 参加型職場改善は腰痛一次予防に効果的なもの？、HQ5. 心理的ストレス要因には何があるの？、HQ6. リスク評価にはどのようなものがあるの？、HQ7. いくつかの対策を組み合わせた複合的なアプローチ方法は無いの？、HQ8. 適切な休憩のタイミングはあるの？) を立案し、産官学連携コンソーシアム会合により相対的重要度評価を受け、HQ 別に平均値を算出した結果、ステークホルダーが最も重要視した対策は、複合的なアプローチに関するエビデンスとなり、次いで休憩のタイミング、リスク評価に関するエビデンスであった。

相対的重要度評価の結果を受け、PROSPERO に登録したプロトコルに沿って、SR を実施した。4 つの学術データベ-

スから抽出された 1220 件 (Pubmed 390 件、Scopus 193 件、Web of science 607 件、医中誌 30 件) の論文が抽出され、現在は重複を除いた 856 件のスクリーニングを実施中である。

C-3. 事業場へのヒアリングおよび WEB 調査結果

ヒアリング調査で収集した腰痛予防に有用な組織的取り組みとしては、荷物の持ち方の教育、作業姿勢、運転姿勢と降車方法、休憩、ストレッチ体操 (朝礼時、長距離運転における休憩時、荷積み・荷下ろし前など)、ローラーコンベヤの利用、台車の利用、自動化などが挙げられた。

Web アンケートでは、67%の回答者が腰痛を訴え、仕事に支障をきたす重度の腰痛者は、全回答者の 13%であった。職業性ストレスに関する結果は、「まったく感じない」と回答した者が 8%にとどまった。一方、「かなり感じる」「非常に強く感じる」と回答した者は 42%に達した。回答結果をトラックドライバー専門群、倉庫作業専門群に層別化して解析した結果、強いストレスを感じる割合は、倉庫作業専門群がトラックドライバー専門群よりも多かった。また、腰痛があると回答した者のうち、トラックドライバー専門群では、「運動不足」と「人力での重量物の取り扱い」が多く訴えられていた。その他、運転中の姿勢の悪さや、8 時間以上の労働時間が挙げられた。一方、倉庫作業専門群では、「人力での荷物の取り扱い」が最も多く、次いで「長時間の立ち作業」、「荷物取扱時の不自然な姿勢」、「精神的ストレス」であった。

C-4. 姿勢推定アプリケーション開発結果

BlazePose を用いて画像や動画より、「荷物持ち上げ」、「荷物の運搬」、「押し引き」などの腰痛リスクを推定する WEB アプリケーションを構築した (図 2)。

構築された WEB アプリケーションでは、荷物の持ち上げ評価は NLE の発展形である ISO11228-1 (JIS Z8505-1)の持ち上げ式による評価、運搬の評価も ISO11228-1 (JIS Z8505-1)に含まれる運搬の評価式による評価^{5,6)}、押し引きの評価は Snook & Ciriello の提案を拡張した Liberty-Mutual の押し引きの評価式⁷⁾による評価の実施が可能である。アプリケーションの精度の検証では、荷物持ち上げ作業を模した実験を行ったが、一部の動作が過大評価されたものの、全体的にリスクを過小評価する傾向にあった。また、側面からの撮影における憲章ではリスク推定値とリスク評価区分が一致する傾向であった。一方で、正面からの撮影では体

幹の傾きをうまく推定できていないケースもあった。

C-5. PI に応じた荷物持ち上げ時の姿勢戦略分析

PI 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ており、骨盤・股関節を中心とした姿勢戦略が確認された。一方で、PI 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かった。また、PI 中程度群 (PI:M) では股関節や膝関節の動員が比較的多く、特に荷物高さが低い条件 (身長比 20%) で個体差が大きく見られた。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。

本分析から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

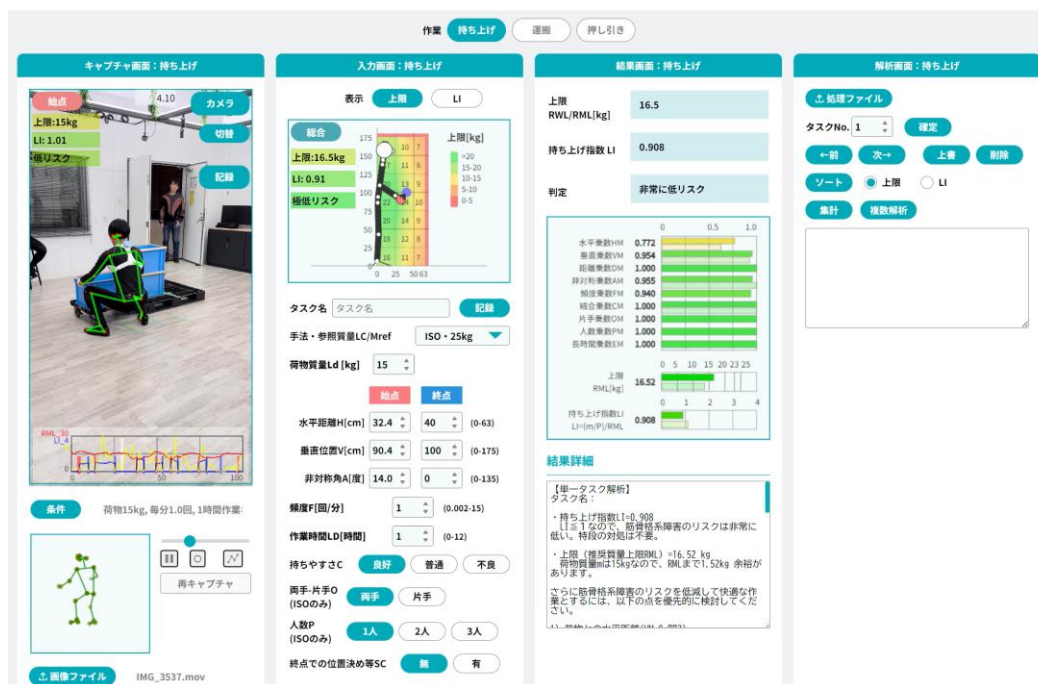


図 2 開発した姿勢推定アプリケーション (DHT 介入プログラム開発班 (平内・瀬尾))

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。

C-6.アシストスーツ介入プログラム開発結果

介入研究の対象業務には荷役作業や長時間の運転作業が含まれることから、PAS を装着したまま車両運転が可能であることを重要な選定条件とした。したがって、衣服のように柔軟かつ快適な構造を持つことを必須要件とし、補助力源としてモータ等を用いず、ゴム素材の伸縮特性を活かした受動的な支持構造であることを付加条件として、ナチュアシスト（住友ゴム工業）、e.z.UP（ASAHICHO）、スマートスーツ（スマートサポート）を選定した。PAS 導入にあたっては、(1)作業負荷の可視化とリスク抽出、(2)体力評価に基づく対象者選定、(3)作業負荷と体力の不均衡に対する補助の設計の 3 段階を基本とする判断手順を構築した。また、PAS の運用においては、軽度な作業負荷を活かして身体を動かしつつ、腰痛リスクを回避するために適切に補助を導入させるという、「軽労化」の考え方に基づく介入戦略を採用した。

D. 考察

本年度の研究事業では、産官学連携コンソーシアムを整備して適宜、進捗報告や介入プログラムに関する意見交換を行ってきた。現在、レビュー班で提案した 8 つの HQ をベースに介入プログラムの検討や SR 研究が進められている。DHT を用いた姿勢推定アプリケーションでは、過小評価をした

姿勢条件について改善が必要ではあるものの、多くの作業条件下において概ね NLE の計算値に近似する結果を得ることができた。

また、PI に関する姿勢戦略の検証結果より、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。この知見は、PI を活用したテラーメイド型の職場介入プログラム構築に資するものであり、労働現場における腰痛予防対策の個別化・実効化に向けた一つの提案になりうると考えている。

さらに、アシストスーツを用いた介入プログラムでは選定された PAS を着用することで荷物取扱いリスクの可視化だけではなく、荷物取扱い下におけるトレーニング量も含めて判定できるような仕組みを検討中である。これらの包括的な腰痛予防対策による効果検証を次年度計画している。複数の介入アームを設定してそれぞれの介入プログラムの効果を検証したい。

E. 結論

本研究では、ScR によって運輸業における従来型の腰痛対策エビデンスを整理し、HQ に基づいて新機軸となる腰痛予防対策の介入プログラムを検討した。次年度は各介入プログラムの効果や、いくつかの介入を組み合わせた複合的なアプローチの効果を、ランダム化比較対照試験で検証しつつ、SR などの結果も踏まえて、現場で実行可能性が高い適切なガイドラインの整備を行っていききたい。

F. 研究発表

1. 発表論文

該当無し

2. 学会発表

1. 榎原 毅. 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 (基調講演). 第 56 回軽労化研究会定例会, オンライン開催, 2024 年 5 月 10 日.
2. 谷 直道, 石井賢治, 酒井一輝, 榎原毅 (2024). 潜在ディリクレ配分法を用いた重量物取扱い作業のトピックモデル生成. 日本労働科学学会第 5 回年次大会, ポスター演題, 北九州, 2024 年 5 月 18-19 日.
3. 田中孝之, 日下 聖, 榎原 毅, 谷 直道. 腰痛予防対策アシストツールの介入方法整備に関する基礎的知見. 日本労働科学学会第 5 回年次大会, 口頭発表, 北九州, 2024 年 5 月 18-19 日.
4. 平内和樹, 瀬尾明彦, 谷 直道, 榎原毅. 3 次元姿勢推定アルゴリズムによる NIOSH Lifting equation の簡易計算アプリケーションの提案. 第 31 回作業関連性運動器障害研究会, 口頭発表, 京都, 2024 年 11 月 2 日.

G. 健康危険情報

該当無し

H. 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) Koes BW, van Tulder MW, Thomas S. Diagnosis and treatment of low back pain. BMJ. 2006;332(7555):1430-1434. doi:10.1136/bmj.332.7555.1430
- 2) 日本医療研究開発機構 (AMED) 令和 4 年度 「予防・健康づくりの社会実装に向けた研究開発基盤整備事業 (ヘルスケア社会実装基盤整備事業)」メンタルヘルスに対するデジタルヘルス・テクノロジー予防介入ガイドライン. 2023. <https://delight.sanei.or.jp/index.html>
- 3) Waters, TR., Putz-Anderson, V., Garg, A., "Applications manual for the revised NIOSH lifting equation", DHHS (NIOSH) Publication No. 94-110 (Revised 9/2021), doi: 10.26616/NIOSH PUB94110revised09 2021
- 4) Bazarevsky, V., Grishchenko, I., Raveendran, K., Zhu, T., Zhang, F., & Grundmann, M. (2020). BlazePose: On-device Real-time Body Pose tracking. In arXiv [cs.CV]. arXiv. <http://arxiv.org/abs/2006.10204>
- 5) ISO, ISO 11228-1:2021 Ergonomics - Manual handling - Part 1: Lifting, lowering and carrying.
- 6) JIS Z8505-1:2025, 人間工学—手作業による取扱い—第 1 部: 持ち上げ, 持ち下げ及び運搬, 日本規格協会, 2025.1.20
- 7) Jim R. Potvin, Vincent M. Ciriello,

Stover H. Snook, Wayne S. Maynard
and George E. Brogmus, "The Liberty
Mutual manual materials handling
(LM-MMH) equations", Ergonomics,
64, 8, pp.955-970,2021, doi:
10.1080/00140139.2021.1891297