

学 位 論 文 要 旨

(Summary of the Doctoral Dissertation)

学位論文題目 (Dissertation Title)	時空間グラフ畳み込みネットワークを用いた骨格ベースの動作解析と介護姿勢評価
氏 名 (Name)	カン キン

高齢化の進展に伴い、専門的な介護や日常生活支援、医療健康サービスなど、高齢者介護サービスの需要は今後も増大していく。その結果、家族や友人、近隣住民、ボランティアなど、非専門職による非公式な介護がより一般的となりつつある。介護中に発生した怪我や損傷は、介護者の生活、特に精神的および身体的健康にさまざまな影響を与える可能性がある。従って、介護中の正しい姿勢と動きは介護者の筋骨格系疾患を防ぐために非常に重要である。研修プログラムは非正規介護者にとって筋骨格系障害のリスクを軽減するのに有用ですが、その大多数は、正しい介護姿勢を身につけるのは依然として難しいと感じている。また、彼らは正しい介護姿勢を取得するための専門的なアドバイスを長期にわたって得ることに苦労している。したがって、介護姿勢による損傷リスクを定量化することで、介護者の姿勢改善、作業効率の向上、筋骨格系疾患の軽減につながる。

人間工学に基づいた姿勢リスク評価方法として **Rapid Entire Body Assessment (REBA)** が最近注目されている。この方法は基本的に骨格の各関節の角度から姿勢リスクをスコアリングするものである。しかし、介護動作においては、被介護者の体重と姿勢によっても介護者への負荷のかかり方や動作を維持する時間が大きく異なるため、現状の **REBA** を用いたリスク評価は介護動作に対応しきれない場合が多い。また、骨格の抽出は **OpenPose** など姿勢認識アルゴリズムを用いることが多い。これらの技術では、画像状況や複数の人物の重なりなどにより骨格の欠落や誤認識などの問題がしばしば発生し、骨格の抽出が時にうまくいかない場合がある。

本研究では、時空間グラフ畳み込みネットワーク(**ST-GCN**)を用いて、欠落した骨格を行動特徴に基づき補完する技術と、人物が重なることにより誤認識された骨格を新たに生成する技術を開発することで骨格の算出精度を向上させる。また、従来の **REBA** スコアリング方法に対して、パワーポジションの概念を導入し、介護動作時の重心軌道、荷重継続時間、非対称荷重などを解析し、エクストラスコアとして新たに加えた **C-REBA** 評価方法を提案し、その有効性を検証する。さらに **C-REBA** スコアを算出するための評価パラメータを自動的に取得する自己学習アルゴリズムを開発する。最後に実際の臨床応用を目指して、本研究で得られた技術を実装したオンライン行動分析と姿勢評価システムを構築する。

本論文は、6章から構成される。

第 1 章では、本研究の背景と概要について述べる。

第 2 章では、**OpenPose** による骨格の誤認と情報の欠落の問題を対処するために、**ST-GCN** を導入し骨

格の補間と再構築手法を提案する。具体的には、時空間畳み込みネットワークを用いて、時空間的特徴に基づき姿勢の推定とアクションの予測を行う。スケルトンの完全性と連続性を判別する運動連鎖スケルトン識別ネットワークを提案し、欠落しているスケルトンを2つの近い完全なスケルトンの情報とその前後アクション特徴に基づいて補間するアルゴリズムならびに、誤認されたスケルトンに対して重みの比率の高いアクションで置き換えるアルゴリズムを開発する。本アプローチにより、姿勢認識の精度とロバスト性を向上させることができる。

第3章では、介護動作に対して従来のREBA評価スコアが過剰に見積る問題に対して、介護作業の特徴を考慮した姿勢リスク評価方法(C-REBA)を提案する。介護作業にパワーポジションの概念を導入し、重心の軌跡、負荷維持時間、負荷移乗時の両足にかかる非対称荷重などを解析し、新しいエクストラスコアとしてREBAスコアに追加する方法を提案する。経験のある看護師と経験のない介護者に対して、被検者をベッドから車椅子へ移乗する補助動作を測定と解析し、C-REBA方法の有効性を検証する。

第4章では、深層学習ネットワークを利用して動作特徴、負荷持続時間、動作の頻度、重心の変化、非対称負荷を学習させ、C-REBAルールに用いる評価パラメータを自動的に取得して、介護動作における姿勢リスク評価処理をすべて自動に行うアルゴリズムを開発する。

第5章では、「行動分析と姿勢評価システム」(BAPAS)の開発について述べる。BAPASは、医療支援業務における作業姿勢に関連する筋骨格系障害のリスクを評価することを目的とするウェブアプリであり、パラメータの設定により他の医療分野にも簡単に拡張できる事例も示す。

第6章では、論文全体のまとめと今後の展望について述べる。

学 位 論 文 要 旨

(Summary of the Doctoral Dissertation)

學位論文題目 (Dissertation Title)	Skeleton-based Motion Analysis and Nursing Care Posture Assessment Using Spatial Temporal Graph Convolutional Networks
氏 名(Name)	Han Xin

As the population ages, the demand for elderly care services will continue to increase, which includes providing specialized care, daily life support, and medical health services. As a result, informal caregiving provided by non-professionals such as family, friends, neighbors, and volunteers is becoming more prevalent. Injuries that occur during caregiving can affect the caregiving's life, especially their mental and physical health. Therefore, the correct positioning and posture during caregiving are crucial to prevent musculoskeletal disorders among caregivers. Although training programs are useful to reduce the risk of musculoskeletal disorders for informal caregivers, many of them express that it is still difficult for them to grasp the correct caregiving postures. Moreover, they struggle to obtain professional advice to correct their posture through long-term practice. Therefore, finding a targeted ergonomic posture risk assessment and guidance method is crucial to improve caregivers' posture-related risks, enhance work efficiency, and safeguard their physical health.

Rapid Entire Body Assessment (REBA) is a postural risk assessment method based on ergonomics that has been attracting attention recently, and it basically evaluates the risk from the angle of each joint of the body. However, in caregiving movements, the way of load placed on the caregiver and the time to maintain the movements vary greatly depending on the weight and posture of the cared person, so the current risk assessment using REBA is insufficient for caregiving movements. Additionally, posture recognition algorithms such as Openpose are often used to extract skeletons. With these techniques, problems such as missing skeletons or misrecognition often occur due to image conditions or the overlapping of multiple people, and skeleton extraction may sometimes fail.

In this research, the Spatial Temporal Graph Convolution Network (ST-GCN) is applied to develop a technique for complementing missing skeletons based on behavioral features and a technique for correcting skeletons that are misrecognized due to overlapping people, and to improve the accuracy of calculating skeletal joint angles. In order to evaluate caregiving posture risk more appropriately, some parameters such as center of gravity trajectory, load duration, asymmetric load during caregiving movements are investigated and a new REBA method is proposed.

This paper consists of six chapters.

In Chapter 2, to solve the problems of skeleton misidentification and missing information by OPENPOSE an improved skeleton reconstruction method based on ST-GCN is propose. The method compensates for missing skeletons in terms of behavioral features and corrects incorrectly identified skeletons based on skeleton weight features. This approach improves the accuracy and robustness of pose recognition and allows more accurate estimation of skeletal joint angles and its REBA score.

In Chapter 3, to address the issue of REBA evaluation scores being too high for caregiving scenarios, a postural risk assessment method (C-REBA) is proposed by considering the characteristics of caregiving task. Customize the

traditional REBA method and add parameters such as center of gravity trajectory, load duration, and asymmetric loading to the evaluation score. the caregiving movements to assist in transferring from a bed to a wheelchair on a group of experienced nurses and a group of inexperienced caregivers are analyzed and the effectiveness of the C-REBA method is verified.

In Chapter 4, a method that combines the ST-GCN framework and C-REBA for postural risk assessment is proposed. The deep neural network algorithm is applied to learn motion features and additional features such as load duration, motion frequency, center of gravity variation, and asymmetric load. So that all evaluation parameters for C-REBA rules can be obtained automatically. With this method, postural risk assessment processes in caregiving operations can be performed automatically.

In Chapter 5, "Behavior Analysis and Posture Assessment System" (BAPAS) is developed. BAPAS is a system aimed at assessing the risk of musculoskeletal disorders related to working postures in medical support work. This chapter introduces the functions and usefulness of this system and demonstrates how this system can be extended to other medical fields easily by setting parameter is settings.

Chapter 6 provides a summary of the paper as a whole and future prospect.

(様式 9 号)

学位論文審査の結果及び最終試験の結果報告書

山口大学大学院創成科学研究科

氏 名	Han Xin
審 査 委 員	主 査：江 鐘偉
	副 査：陳 獻
	副 査：藤井文武
	副 査：森田 実
	副 査：蔣 飛
論 文 題 目	Skeleton-based Motion Analysis and Nursing Care Posture Assessment Using Spatial Temporal Graph Convolutional Networks (時空間グラフ 畳み込みネットワークを用いた骨格ベースの動作解析と 介護姿勢評価)
【論文審査の結果及び最終試験の結果】	
<p>高齢化の進展に伴い、専門的な介護や日常生活支援、医療健康サービスなど、高齢者介護サービスの需要は今後も増大していく。その結果、家族や友人、近隣住民、ボランティアなど、非専門職による非公式な介護がより一般的になりつつある。介護中に発生した怪我や損傷は、介護者の生活、特に精神的および身体的健康にさまざまな影響を与える可能性がある。従って、介護中の正しい姿勢と動きは介護者の筋骨格系疾患を防ぐために非常に重要である。研修プログラムは非正規介護者にとって筋骨格系障害のリスクを軽減するのに有用であるが、その大多数は、正しい介護姿勢を身につけるのは依然として難しいと感じている。また、彼らは正しい介護姿勢を取得するための専門的なアドバイスを長期にわたって得ることに苦勞している。したがって、介護姿勢による損傷リスクを定量化することで、介護者の姿勢改善、作業効率の向上、筋骨格系疾患の軽減につながる。</p> <p>人間工学に基づいた姿勢リスク評価方法として Rapid Entire Body Assessment (REBA) が最近注目されている。この方法は基本的に骨格の各関節の角度から姿勢リスクをスコアリングするものである。しかし、介護動作においては、被介護者の体重と姿勢によっても介護者への負荷のかかり方や動作を維持する時間などが大きく異なるため、現状の REBA を用いたリスク評価は介護動作に対応しきれない場合が多い。また、骨格の抽出は OpenPose など姿勢認識アルゴリズムを用いることが多い。これらの技術では、画像状況や複数の人物の重なりなどにより骨格の欠落や誤認識などの問題がしばしば発生し、骨格の抽出が時にうまくいかない場合がある。</p> <p>本研究では、まず骨格の算出精度を向上させるために、一般に使用されている時空間グラフ畳み込みネットワーク(ST-GCN)に対して、姿勢情報を算出する空間グラフ畳み込みネッ</p>	

トワークと、重心移動や速度などの情報を算出する時空間グラフ畳み込みネットワークとを並立させた新しい時空間グラフ畳み込みネットワークを構築提案し、欠落した骨格を行動特徴に基づき補完する技術と、人物が重なることにより誤認識された骨格を新たに生成する技術を開発した。また、従来の REBA スコアリング方法に対して、パワーポジションの概念を導入し、介護者動作時の重心軌道、荷重継続時間、非対称荷重などの物理量を解析し、エクストラスコアとして新たに加えた C-REBA 評価方法を提案し、その有効性を検証した。さらに実際の臨床応用を目指して C-REBA スコアを算出するための評価パラメータを自動的に取得する自己学習アルゴリズムを開発し、本研究で開発した技術をオンライン行動分析と姿勢評価システムに実装した。

本審査会ならびに公聴会において、自己学習への入力 Jason ファイルに含まれているパラメータ、REBA のエクストラスコアを決定する荷重の測定方法、非対称荷重の求め方、COG 変化の閾値、心肺蘇生法への応用、ニューラルネットワーク各層のニューロンの数、ST-GCN に対する改善点と本提案方法のリミテーションなどについて活発な質問があった。いずれの質問に対しても発表者からの確かな回答がなされた。

以上より本研究は独創性、信頼性、有効性、実用性ともに優れ、博士（工学）の論文に十分値するものと判断した。

論文内容及び審査会、公聴会での質問に対する応答などから、最終試験は合格とした。

なお、主要な関連論文の発表状況は下記のとおりである。（関連論文 計 4 編）

- 1) Xin Han, Zhongwei Jiang, Yunjin Zhang, Norihiro Nishida, Mao Mitsuda, Takeshi Nishimoto, Takashi Sakai, Development of Caregiving Posture Load Assessment System by Skeleton Vision, International Journal of Engineering Innovation and Management, 13(1), pp9-15, 2023.
- 2) Xin Han, Norihiro Nishida, Minoru Morita, Mao Mitsuda, Zhongwei Jiang, Visualization of Caregiving Posture and Risk Evaluation of Discomfort and Injury, Applied Sciences, 2023, 13, 12699, <https://doi.org/10.3390/app132312699>
- 3) Jinhong Zan, Zhongwei Jiang, Xin Han, Minoru Morita, Norihiro Nishida, Mao Mitsuda, Takeshi Nishimoto, Takashi Sakai, Analysis of Lumbar Burden from Caregiver Posture and Movement, International Conference on Innovative Application Research and Education, pp25-26, 2021.
- 4) Xin Han, Zhongwei Jiang, Minoru Morita, Yunjin Zhang, Development of Caregiving Posture Load Assessment System, International Conference on Innovative Application Research and Education, pp49-50, 2022.