

厚生労働科学研究補助金
労働安全衛生総合研究事業
(総括・分担) 研究報告書

ICT技術を用いた転倒予防システムの開発に関する研究

研究代表者：丸山 崇（産業医科大学 医学部 第1生理学）

研究要旨：

労働災害における「転倒災害」は2000年頃から年々増加し、2005年以降は「転倒災害」が死傷災害のトップを占めている。「転倒災害」は、労働災害(休業4日以上)の死傷災害全体の約25%を占め、墜落・転落まで含めると約40%を超えることから、早急に解決すべき課題である。2023年4月から実行されている「第14次労働災害防止計画」においても、新たに「転倒による労働災害」への対策が加えられ、安全衛生における優先的な課題となっている。近年、ICT (Information and Communication Technology) 技術の発展とともに、ウェアラブルセンサーを用いた生体情報検出技術が発展している。加速度や角速度による動作情報を用いた転倒検知アプリケーションなども開発されているが、労働現場への導入は限定的で、転倒災害防止に効果的な転倒検知から転倒防止まで含めた包括的なシステム開発が望まれる。

本研究では、ウェアラブルセンサーを用いた転倒検知技術の確立と転倒予防システムの開発を目的とし、令和6年度は、ICT技術を用いた転倒予防システム開発の現状調査および転倒シミュレーションによるデータ収集(模擬転倒実験)および転倒検知アルゴリズムの検討を行った。

転倒予防システム開発の現状調査においては、Fall Index, PerFallD, iFallなどの検知アルゴリズムが提唱されていること、また機械学習などの解析技術を用いた転倒検知技術の開発が行われていることが把握出来た。また、産業医科大学行動解析室において実施した転倒シミュレーションによるデータ収集(模擬転倒実験)では、被験者21名から、それぞれ、両腕、胸部、足首に設置した3軸加速度計より、転倒シミュレーションのデータを収集した。各被験者から、転倒模擬動作8パターンと日常動作8パターンのデータが得られた。これらのデータを用いて、これまで提唱されているSignal Magnitude Vector (SMV) や Fall index による転倒検知指標の閾値設定を行うとともに、測定部位による検知精度の違いを検討した。また、個人特性による特徴(体格、利き手)に関しても分析を行なった。

今回の実験室における転倒検知アルゴリズムの検討結果を踏まえて、今後は、転倒災害が大きな課題となっている、医療福祉現場などで、実際にウェアラブルセンサー装着による労働現場での行動データ収集を行い、ウェアラブルセンサーを用いた転倒検知技術の確立と転倒リスクの個人要因や環境要因の解明を目指す。また、それらのデータを活用し、転倒予測アルゴリズムの開発や適時介入システムの構築を行い、ICT技術を用いた転倒防止システムの開発に繋げていきたい。

研究代表者:

丸山崇(産業医科大学)

研究分担者:

黒坂知絵(産業医科大学)

倉岡宏幸(公立千歳科学技術大学)

A. 研究の背景および目的

労働災害における「転倒災害」は 2000 年頃から年々増加し、2005 年以降は「転倒災害」が死傷災害のトップを占めている。「転倒災害」は、労働災害(休業 4 日以上)の死傷災害全体の約 25% を占め、墜落・転落まで含めると約 40%を超えることから、早急に解決すべき課題である。2023 年 4 月から実行されている「第 14 次労働災害防止計画」においても、新たに「転倒による労働災害」への対策が加えられ、安全衛生における優先的な課題となっている。近年、ICT(Information and Communication Technology) 技術の発展とともに、ウェアラブルセンサーを用いた生体情報検出技術が発展している。加速度や角速度による動作情報を用いた転倒検知アプリケーションなども開発されているが、労働現場への導入は限定的で、転倒災害防止に効果的な転倒検知から転倒防止まで含めた包括的なシステム開発が望まれる。

本研究では、ウェアラブルセンサーを用いた転倒検知技術の確立と転倒予防システムの開発を目的とし、今年度は、ICT 技術を用いた転倒予防システム開発の現状調査および転倒シミュレーショ

ンによるデータ収集(模擬転倒実験)および転倒検知アルゴリズムの検討を行った。

B. 研究方法

a. ICT技術を用いた転倒予防システム開発の現状調査[倉岡]

- ・文献およびインターネット検索による調査を行った。
- ・転倒検知システムおよび転倒検知アルゴリズムに関連する情報収集を行なった。

b. 転倒シミュレーション(模擬転倒実験)と転倒検知アルゴリズムの検討[丸山、黒坂]

- ・産業医科大学共同利用研究センター行動解析室において健常成人被験者21名が参加した。
- ・3軸加速度センサーを内蔵したウェアラブルセンサーを装着し、転倒検知検証に使われる基本転倒8パターンと基本日常動作8パターンのシミュレーション行なった際のデータを収集した。
- ・倫理委員会での承認を得た上で実験を行った。(産業医科大学倫理委員会ER23-017)

C. 研究結果

a. ICT 技術を用いた転倒予防システム開発の現状調査

文献検索・インターネット調査により、既存の転倒検知システムおよびアルゴリズムを整理し、特に

Fall Index (FI) および PerFallID が転倒検知アルゴリズムとして応用可能であると考えられた。FI は高サンプリング加速度データに基づく簡便な手法だが、緩やかな転倒には不向きであり、PerFallID はジャイロスコープと加速度の複合評価により高精度を目指す設計となっている。近年では、サポートベクターマシン (SVM)、ランダムフォレスト (RF) などの機械学習アルゴリズムや、畳み込みニューラルネットワーク (CNN) を中心とした深層学習モデルも転倒検知に応用されている。

b. 転倒シミュレーション (模擬転倒実験) と転倒検知アルゴリズムの検討

本研究では、加速度センサーを用いた転倒検知アルゴリズムの有効性を検討するため、21 名の被験者に対し模擬転倒 8 パターンおよび日常動作 8 パターン [1] を実施し、合計 5 か所 (腕・胸・足首など) に装着した 3 軸加速度センサーからデータを収集した。収集データを用いて、既存の Signal Magnitude Vector (SMV) および Fall Index ($n=2$, $n=5$) を計算し、転倒と非転倒の判別性能を評価した。FI の分析 (積算地=5) で閾値とすることで有効な判別が可能と考えられた (調査デバイスの閾値は 45000 程度)。装着部位による比較では、胸部での感度はやや低く、腕および足首は高い傾向がみられた。また、最小値のばらつきは腕で大きく、個人差の影響も示唆された。一方、利き手と非利き手による左右差は統計的に有意ではなく、手首装着型のセンサーにおいては、装着側による性能差はないと判断された。

D. 考察

ICT 技術を用いた転倒予防システム開発の現状調査より、加速度を用いた簡便なアルゴリズムとして FI を用いることが現実的と考えられた。

転倒シミュレーション (模擬転倒実験) と転倒検知アルゴリズムの検討の研究においては、加速度センサーによって検出閾値の設定が必要であるが、転倒と日常動作の判別はおおよそ可能であることが分かり、装着部位に関しては、日常的に装着可能な腕時計型センサーによる転倒検知の実用性が示唆された。

既存研究の多くが限定的環境下でのデータに基づいており、日常環境への適応や個人差への対応、過検知の問題など、汎用性と信頼性に課題が残る。今後は、検知性能の向上だけでなく、転倒予測やリスク評価による事前アラートの実装が重要である。本研究は、これらの知見を踏まえ、転倒シミュレーションデータに加え、現場での作業データ取得を通じ、新規アルゴリズム開発や転倒リスクの個人要因や環境要因の解明に取り組むものであり、現場実装に資する包括的かつ実用的なシステム構築を目指す必要がある。

E. 結論

転倒予防システム開発の現状調査や転倒シミュレーションと転倒検知アルゴリズムの検討により得られた知見を基盤にして、現場作業者のデータ収集も行い、今後は新規アルゴリズム開発や転倒リスクの個人要因や環境要因の解明に繋げる必要がある。

F.健康危険情報 該当なし

G.研究発表 該当なし

参考文献

[1] Burwinkel, J.R.; Xu, Buye; et al. Preliminary Examination of the Accuracy of a Fall Detection Device Embedded into Hearing Instruments: Journal of the American Academy of Audiology. 2020, 31(6),393-403. doi:10.3766/jaaa.19056

(別添資料)

【研究概要】

[目的]

- ①ウェアラブルセンサーによる転倒検知と転倒予測
- ②転倒リスクの個人要因と環境要因の解明
- ③労働現場における転倒予防システムの開発

令和6年度～

転倒シミュレーション実験
(産業医科大学行動解析室)



令和7年度～

労働現場データ収集
(工場、医療福祉施設等)



令和8年度

転倒予防システム開発

AI解析などを用いて解明した、転倒リスクの個人要因と環境要因をもとに、転倒予防システムを開発
→ウェアラブルアプリケーション（適時介入システム）に実装