

心不全患者の歩行様式を用いた フレイル自動判定 AI アプリ開発に成功

～客観的かつ鋭敏なフレイルの自動判定が可能となり、様々な臨床応用に期待～

ポイント

- ・心不全患者におけるフレイル（脆弱性）について検討。
- ・歩行様式の動画を撮影し AI 解析することで、フレイルの定量評価（Frailty Level）に成功。
- ・Frailty Level は既存のフレイル指標である Clinical Frailty Scale（CFS）を高精度に予測可能。
- ・客観的かつ鋭敏なフレイル検査が可能となり、様々な臨床応用に期待。

概要

北海道大学大学院医学研究院心不全低侵襲先進治療学分野の水口賢史特任助教，同心不全遠隔医療開発学分野の中尾元基特任助教，同循環病態内科学教室の永井利幸准教授，安斉俊久教授，同画像診断学教室の平田健司准教授，北海道大学大学院情報科学研究院メディアダイナミクス研究室の小川貴弘教授，インフォコム株式会社技術企画室の荒俣博主査らの研究グループは，心不全患者の歩行様式を撮影した動画から，フレイル（脆弱性）を自動計測できる人工知能（AI）アプリの開発に成功しました。AI アプリは，既存のフレイル指標である Clinical Frailty Scale（CFS）を高精度に予測できることに加え，フレイルの定量評価として Frailty Level を測定可能とし，心不全患者の生命予後と有意に関連することを報告しました。これにより，フレイルを客観的かつ鋭敏に測定することが可能となり，日本でのガイドラインへの寄与，さらにより多くの臨床プラクティスの改善につながる事が期待されます。

心不全患者では，外的ストレス刺激に対する抵抗性が減弱しており，約 15-50%にフレイルを合併することが報告されています。心不全の薬物療法にリハビリテーションを加えることでフレイルの進行予防・改善が期待できる一方，フレイルを鋭敏に捉えることのできる既存の指標は乏しく，リハビリテーションにおける治療効果なども実感しづらいものでした。

フレイルの指標として広く使用されている CFS は，心不全患者の予後を予測する強力なツールであることが知られています。しかしながら，CFS の判定基準は主治医の主観によって決められるため，判定結果の一致率が高くないことが問題でした。その他のフレイル指標に関しても，主観的指標や，数十を超える検査を必要とするなど，簡便に臨床応用できる指標は多くありませんでした。したがって，客観的に，かつ簡便に，フレイルを判定できる検査方法の開発が求められてきました。

今回の研究では，北海道内 7 施設（※1）へ入院または通院されている慢性心不全患者 417 例において，循環器専門医 10 名で構成されたフレイル判定チームによる高精度な CFS 判定結果と，フレイル判定 AI アプリによる判定結果の検証を行いました。AI アプリ開発コホートにおける判定一致率は Cohen's weighted Kappa（CWK）で 0.866（95%信頼区間 0.807-0.911）と極めて高く，AI アプリ精度検証コホートにおける一致率は CWK で 0.812（95%信頼区間 0.752-0.868）と高水準を維持しました。さらに，フレイルの定量評価として算出された Frailty level は，心不全患者の生命予後と有意

に関連する（ハザード比 1.67, 95%信頼区間 1.03-2.72）ことも明らかとなりました。

これらの結果から、心不全患者のフレイルを客観的かつ鋭敏に測定できる手法の開発に成功したと考えられ、判定者の主観性に左右されないフレイル判定の標準指標の確立と、本フレイル指標を用いた様々な臨床応用が期待されます。

なお、本研究結果は日本時間 2023 年 12 月 20 日（水）公開の欧州心臓病学会誌 European Heart Journal – Digital Health 誌にオンライン掲載されました。

※1：北海道大学病院，小樽協会病院，国立函館病院，砂川市立病院，北見赤十字病院，JCHO 北海道病院，市立釧路総合病院。

【背景】

心不全は、心臓が悪いために息切れやむくみがおこり、だんだん悪くなり、生命を縮める病気です。心不全患者数は増加の一途をたどっており、昨今では心不全パンデミックと言われています。心不全患者では、心臓そのものの病気以外にも、他臓器機能の低下や、骨格筋筋力の低下、免疫力の低下など、ストレスに対する抵抗性が失われることが知られており、フレイル（脆弱性）と表現されます。心不全患者の約 15-50%がフレイルを合併しており、フレイルの合併は生命予後不良因子であることが知られています。

フレイルの評価方法として広く用いられている指標に Clinical Frailty Scale (CFS) があります。CFS はフレイルを 9 段階評価するもので、心不全患者の予後予測指標として有用であることがわかっております。また、日本循環器学会「弁膜症治療のガイドライン」においても、心不全患者の手術リスクの推定にフレイル評価、特に CFS を用いた評価を推奨しています。

一方、CFS の問題点としては主観的な評価であることが挙げられます。CFS は文章による評価基準を設けておりますが、解釈によって評価にばらつきが生じます。実際に、専門医の評価と非専門医の評価を検討した報告では、CFS の一致率は十分ではありませんでした。客観的評価を取り入れたフレイル評価法も存在しますが、数十の検査項目から得点を算出する方式が主流であり、煩雑のため日常臨床に応用することは難しいと言えます。したがって、客観的な指標であり、かつ簡便に判定可能なフレイルの評価方法の開発が必要とされていました。

【研究手法】

2020 年 1 月から 2023 年 10 月の間に 7 施設（北海道大学病院，小樽協会病院，国立函館病院，砂川市立病院，北見赤十字病院，JCHO 北海道病院，市立釧路総合病院）へ通院または入院し、心不全と診断された合計 417 名の患者を対象に、前向き検証を行いました。CFS の評価は、患者の歩行様式に加え、患者背景や臨床検査データを加味し、10 名の日本循環器学会認定の循環器専門医からなるフレイル判定チームによって厳密な評価を行いました。フレイル判定人工知能 (AI) アプリは、歩行様式を撮影した動画 (図 1) を、深層学習により解析し、フレイルの定量評価指標として Frailty Level を出力します。Frailty Level に応じて CFS を判定可能であり、Frailty Level は CFS をより細分化した指標とも言えます。CFS を教師ラベルとして、北海道大学病院へ通院または入院されている 194 名の判定結果を用いてフレイル判定 AI アプリを作成し、他の 6 施設の症例で精度検証を行いました。主要評価項目はフレイル判定チームによる CFS 評価と AI アプリによる CFS 評価の一致率とし、副次的評価項目を Frailty Level と全死亡との関連としました。

【研究成果】

アプリ開発コホート（194 例）の推定精度は, Cohen's Weighted Kappa (CWK) で 0.866 (95%信頼区間 0.807-0.911), 級内相関係数 (ICC) で 0.866 (95%信頼区間 0.827-0.898) と極めて高精度な結果が得られました。アプリ検証コホート（223 例）の推定精度は CWK で 0.812 (95%信頼区間 0.752-0.868), ICC で 0.813 (95%信頼区間 0.761-0.854) と高水準を維持しました（図 2）。これらの結果は経験の比較的浅い非循環器専門医による判定と比較し, 同等あるいは高精度の結果でありました。

生命予後との関係性に関しては, 中央値 391 (四分位 273-617) 日の観察期間において, Frailty Level の高い患者は, 低い患者と比べ, 有意に死亡イベントの発生リスクが高く, 多変量解析においても独立した予後規定因子であることがわかりました (ハザード比 1.67, 95%信頼区間 1.03-2.72)。以上より, フレイル判定 AI アプリは, CFS を高精度に予測できるのみならず, 心不全患者における生命予後予測にも有用であることが明らかとなりました。

【今後への期待】

本研究では, フレイルを客観的かつ簡便に自動判定できる世界初の AI アプリの開発に成功しました。現在は, スマートフォン単独で歩行様式の撮影から Frailty Level の出力まで数分以内に可能なスマートフォンアプリケーションを開発しており, ワイヤレスで判定結果の印刷まで可能となっております。今後はプログラム医療機器としての社会実装を目指すことにより, 心不全患者におけるフレイルの早期診断, 治療選択, そしてリハビリテーションの効果判定など, 様々な臨床応用が期待されます。

【謝辞】

本研究は、日本医療研究開発機構（AMED）「医療機器等研究成果展開事業」（22hma322007h0001, 23hma322007h0002）の研究費を用いて実施されました。

論文情報

論文名	Machine Learning-based Gait Analysis to Predict Clinical Frailty Scale in Elderly Patients with Heart Failure. (AI を用いて高齢心不全患者歩行様式から Clinical Frailty Scale を自動予測する)
著者名	水口賢史 ¹ , 中尾元基 ¹ , 永井利幸 ¹ , 高橋勇樹 ¹ , 阿部隆宏 ¹ , 柿木滋夫 ² , 今川正吾 ³ , 松谷健一 ⁴ , 斉藤高彦 ⁵ , 高橋将成 ⁶ , 加藤喜哉 ⁷ , 小森山弘和 ⁷ , 萩原 光 ⁷ , 平田健司 ⁸ , 小川貴弘 ⁹ , 清水琢人 ¹⁰ , 千代邦弘 ¹⁰ , 大津 学 ¹⁰ , 安斉俊久 ¹ (¹ 北海道大学大学院医学研究院循環病態内科学教室, ² 小樽協会病院, ³ 国立病院機構函館病院, ⁴ 砂川市立病院, ⁵ 北見赤十字病院, ⁶ JCHO 北海道病院, ⁷ 市立釧路総合病院, ⁸ 北海道大学大学院医学研究院画像診断学教室, ⁹ 北海道大学大学院情報科学研究院メディアダイナミクス研究室, ¹⁰ インフォコム株式会社)
雑誌名	European Heart Journal – Digital Health (循環器病学の専門誌)
D O I	10.1093/ehjdh/ztad082
公表日	日本時間 2023 年 12 月 20 日 (水) (オンライン公開)

お問い合わせ先

北海道大学大学院医学研究院循環病態内科学教室 准教授 永井利幸（ながいとしゆき）

T E L 011-706-6973 F A X 011-706-7874 メール nagai@med.hokudai.ac.jp

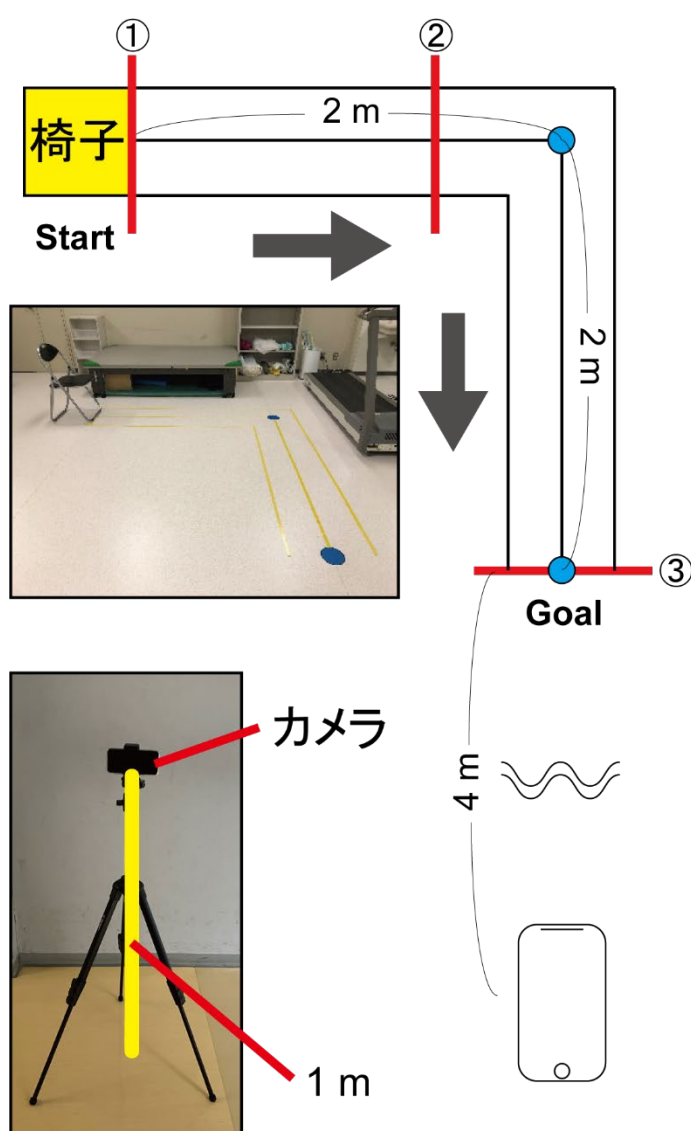
U R L <https://cvhp.med.hokudai.ac.jp/>

配信元

北海道大学病院総務課総務係（〒060-8648 札幌市北区北 14 条西 5 丁目）

T E L 011-706-7631 F A X 011-706-7627 メール pr_office@huhp.hokudai.ac.jp

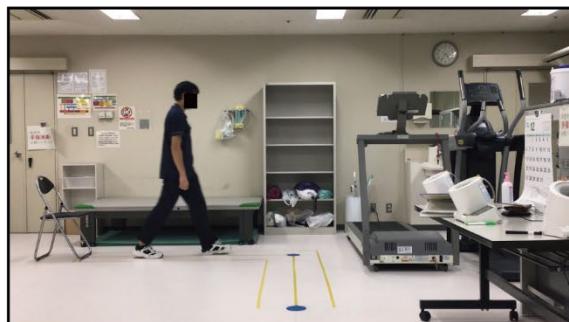
【参考図】



①撮影開始



②起立および歩行



③撮影終了



図 1. 歩行様式の撮影

歩行様式の撮影プロトコル。合計 4 メートルの L 字型の歩行コースを歩き、その様子をスマートフォンで撮影する。

Machine Learning-based Gait Analysis to Predict CFS

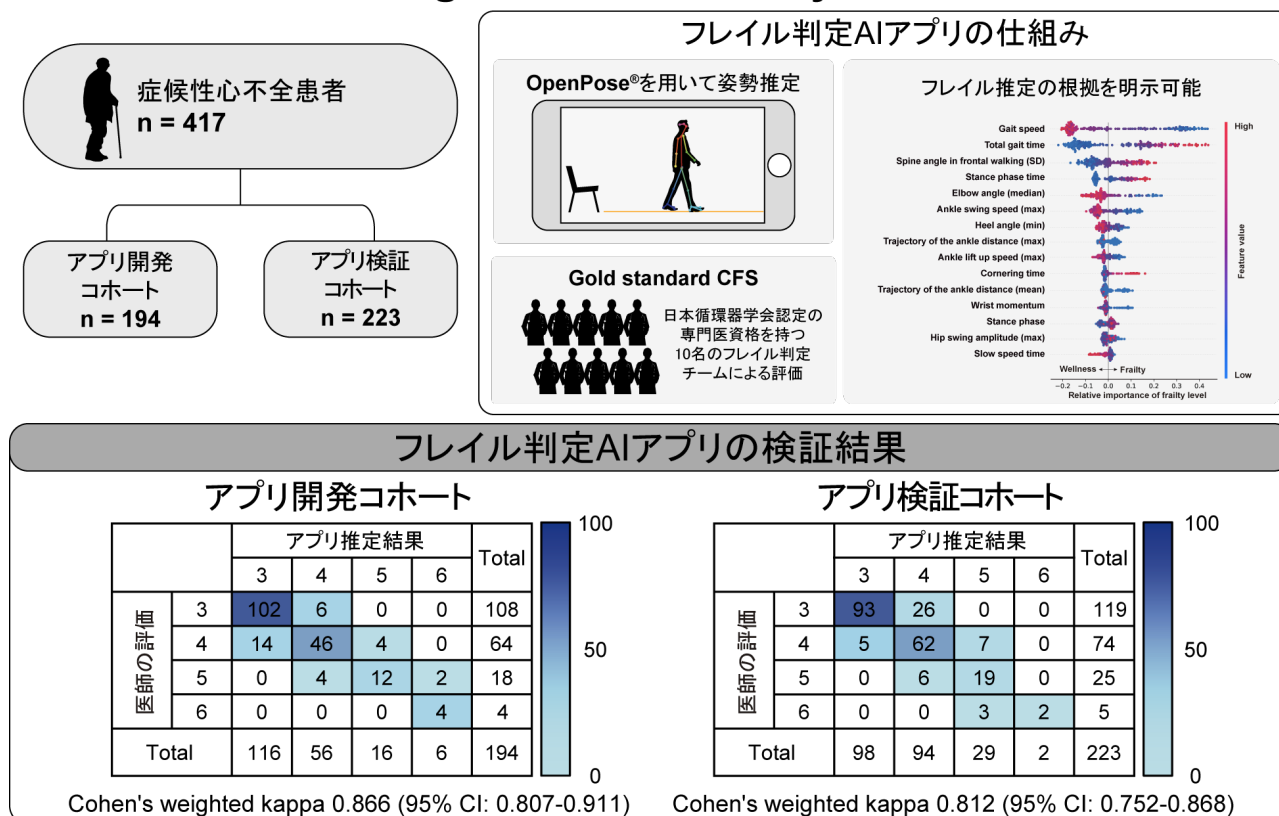


図 2. フレイル推定 AI アプリの仕組み

歩行様式を撮影した動画は、OpenPose®という深層学習を用いた姿勢推定プログラムで関節位置座標の情報となり、その情報から特徴量を抽出します。日本循環器学会認定の専門医資格を持つ 10 名のフレイル判定チームによる厳密な評価を正解ラベルとして学習し、アプリ開発および検証を行っています。