

歩行データの深層学習による成人脊柱変形疾患の分類手法を開発

人間の歩行姿勢の評価は、成人脊柱変形（ASD）などの歩行異常を伴う疾患の早期診断において臨床的に有効な手法です。本研究では、歩行の周期的な動きや動作の対称性に着目し、動画像の深層学習を用いて、歩行異常の特徴から ASD を分類する新しいアプローチを開発しました。

成人脊柱変形（ASD: Adult Spinal Deformity）は脊椎の変形により歩行パターンに影響を与えるため、その診断には歩行の観察が有効で、近年では、動画像を用いた深層学習技術が用いられています。しかし、従来の方法では、人間の歩行特性の分析が十分に行われず、診断の重要な指針となる、歩行時の姿勢と動作が見逃されることが懸念されます。

本研究では、動画像の深層学習を用いて、歩行のリズムや体の動きの対称性を正確に捉える方法を新たに開発しました。これにより、歩行の繰り返し（周期性）や、左右の脚および体の動きの対称性を詳細に分類することが可能になります。81人の患者の歩行動画を用いてこの手法の検証を行ったところ、正解率 71.43%を達成し、従来の方法（正解率 66.30%）よりも正確に歩行異常を分類でき、ASD の診断に有効であることが確認されました。

今後、臨床現場においてリアルタイムで動画像を解析できるようになれば、その場で診断結果を確認し、迅速な診断が可能になると期待されます。

研究代表者

筑波大学 システム情報系

黒田 嘉宏 教授

陳 凱旭（理工情報生命学術院博士後期課程 3年）

筑波大学 医学医療系整形外科

三浦 紘世 講師

研究の背景

歩行は人の基本的かつ重要な動作であり、その分析は歩行異常を伴う疾患の診断にとって重要です。脊柱疾患は患者の歩行パターンに影響を与えることがあり、特に成人脊柱変形（ASD: Adult Spinal Deformity）^{注1)}では、背中での痛み、姿勢の変化、歩行困難などの症状により、日常生活に制約が生じることがあります。一方、歩行は周期的なリズムを持ち、筋肉や骨格の複雑な協調性と動的な安定性が求められることから、その分析が、歩行異常を伴う疾患の分類に有効と考えられます。これまでに、歩行姿勢を動画像から深層学習^{注2)}により分析して ASD を分類する研究が行われてきましたが、それらは、動的な姿勢情報は捉えられていましたが、歩行サイクルにおける脚の動きの周期性や、左右の脚や体の動きの対称性が十分に考慮されておらず、歩行異常の分類に重要な、姿勢と動作が欠落する可能性があります。そこで本研究では、歩行の周期性と動作の対称性を組み合わせて分析し、ASD の分類精度を向上させる新しい手法を開発するとともに、歩行の特徴抽出およびそれらの効果的な分類を試みました。

研究内容と成果

図1に今回の提案手法のアプローチを示します。まず、歩行サイクルを left swing phase（左脚が前に出る位相）と right swing phase（右脚が前に出る位相）に分けます。この「位相」とは、歩行サイクルにおける脚の動作の時間的な区分を指しており、左右の足が交互に地面から離れ、前に出る動きを示しています。次に、各位相から歩行に関する画像データを個別に抽出します。これにより、左右の脚の動作をそれぞれ独立して分析することが可能になります。これらの個別に取得された2つの位相のデータを融合させた「融合画像」には、歩行サイクルの前半（left swing phase）と後半（right swing phase）の両方の情報が含まれており、歩行全体の流れを把握することができます。この融合画像を用いると、歩行の周期性や動作の対称性といった歩行の特性を考慮した、詳細な歩行分析ができます。

本提案手法は5つの部分に分かれています（図2）。元画像から患者の位置を特定し（図2A）、患者の体を無関係な背景から分離した後に（図2B）歩行サイクルを分割し、left swing phase と right swing phase の画像を抽出します（図2C）。分割された歩行サイクルを統合し（図2D）、AIモデルを用いて疾患の分類を行います（図2E）。

実験に使用された歩行動画は、医療機関などから参加者を募集し、81人のASD患者（男性61人、女性20人、平均年齢:70歳）について、インフォームドコンセントを取得した上で撮影されました。参加者には、固定された角度から高画質のビデオカメラで録画される中、自然な歩行を行うよう指示されました。この動画像を用いて本手法を検証したところ、正解率^{注3)}71.43%を達成し、従来の方法（正解率66.30%）を上回る結果となりました。このことから、サンプル数が少なく、データが時間的に短い、または特定のシチュエーションに限定されている動画像データにおいても、本手法により、高い正解率で疾患分類ができることが確認されました。

今後の展開

本研究では、ASDの診断精度を向上させるため、動画像を用いて歩行の周期性と動作の対称性を分析する新たな手法を提案しました。本研究グループは、臨床現場での実用化を目指し、リアルタイムで動画像を解析できるシステムの開発を進めており、これにより、患者が歩行検査を受けた際、その場で診断結果を確認し、迅速な診断が可能になると期待されます。

参考図

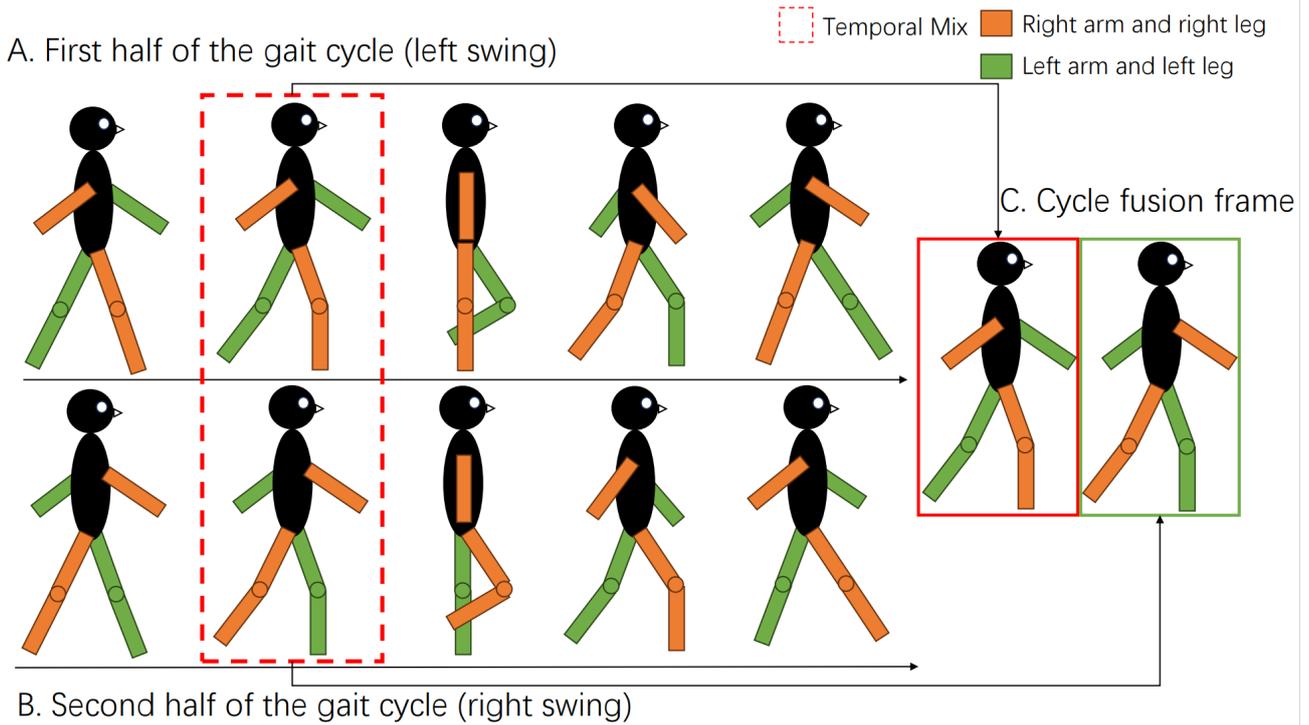


図1 歩行姿勢データの融合法

AとBの組み合わせが歩行サイクルを表しており、Aはサイクルの初期部分、Bはその次の部分。AとBから位置と方向が一致する画像を選択して、融合画像Cを作成する。融合画像Cには、周期的な動作と対称的な動きの両方が反映される。

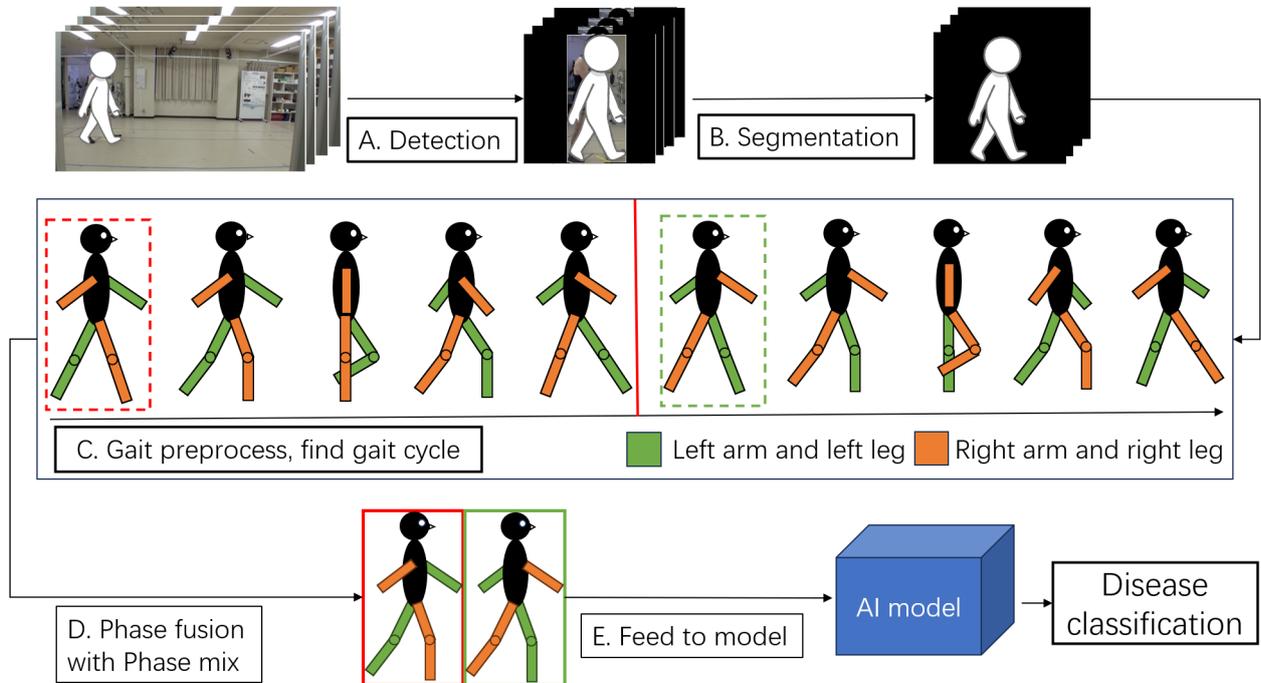


図2 提案手法のフローチャート

A: 元の画像から患者の位置を特定する。B: 背景を除去し、患者の体のみを抽出する。C: 歩行サイクルを分割し、left swing phase（歩行サイクルの前半）と right swing phase（歩行サイクルの後半）をそれぞれ抽出する。D: 分割された歩行サイクルを統合する。E: AIモデルによる疾患の分類を行う。

用語解説

注1) 成人脊柱変形 (ASD: Adult Spinal Deformity)

成人期に発生する脊柱（背骨）の異常な湾曲や変形の総称。加齢や外傷、長年の姿勢不良、あるいは先天性の要因などによって、脊柱が正常な形状や配置から逸脱する状態を指す。

注2) 深層学習 (ディープラーニング)

多層のネットワーク構造により大量のデータからパターンや特徴を自動的に学習する機械学習の方法。ニューラルネットワークというコンピュータの仕組みを利用し、人間の脳が情報を処理するようなモデルを作成して、高度な分析や予測を行うことができる。

注3) 正解率 (Accuracy)

分類問題などの機械学習モデルにおいて、モデルが正しく分類したサンプルの割合を表す指標。この数値が高いほど、分類が正確に行われていることを意味する。

研究資金

本研究の一部は、AMED の研究プロジェクト (JP23ym0126803) の支援を受けました。

掲載論文

【題名】 PhaseMix: A Periodic Motion Fusion Method for Adult Spinal Deformity Classification
(PhaseMix: 成人脊柱変形分類のための周期的歩行融合法)

【著者名】 KAIXU CHEN*, JIAYI XU**, TOMOYUKI ASADA***,****, KOUSEI MIURA***, KOTARO SAKASHITA***, TAKAHIRO SUNAMI***, HIDEKI KADONE***,****, MASASHI YAMAZAKI***, NAOTO IENAGA*****, and YOSHIHIRO KURODA*****

*Degree Programs in Systems and Information Engineering, University of Tsukuba, Tsukuba, Japan

**Research Center for Advanced Science and Technology, The University of Tokyo, Tokyo, Japan

***Department of Orthopaedic Surgery, Institute of Medicine, University of Tsukuba, Tsukuba, Japan

****Hospital for Special Surgery, New York, USA

*****Center for Cybernetics Research, University of Tsukuba, Tsukuba, Japan

*****Institute of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba, Tsukuba, Japan

【掲載誌】 *IEEE Access*

【掲載日】 2024年10月16日

【DOI】 10.1109/ACCESS.2024.3479165

問い合わせ先

【分析手法に関すること】

黒田 嘉宏 (くろだ よしひろ)

筑波大学 システム情報系/サイバニクス研究センター 教授

URL: <https://www.LELAB.jp>

【ASDに関すること】

三浦 紘世 (みうら こうせい)

筑波大学 医学医療系整形外科 講師

URL: <https://tsukuba-seikei.jp/>

【取材・報道に関すること】

筑波大学広報局

TEL: 029-853-2040

E-mail: kohositu@un.tsukuba.ac.jp