

氏名	目片 幸二郎		
学位の種類	博士（工学）		
学位記番号	博甲第8997号		
学位授与年月日	平成31年3月25日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	システム情報工学研究科		
学位論文題目	骨列アーチの動態解析と 嚙下障害解明への応用に関する研究		
主査	筑波大学 教授	工学博士	工藤 博幸
副査	筑波大学 教授	博士（工学）	福井 和広
副査	筑波大学 教授	博士（工学）	亀山 啓輔
副査	筑波大学 准教授	博士（工学）	北原 格
副査	筑波大学 准教授	博士（工学）	滝沢 穂高

## 論文の要旨

人体内部構造物の解析は、病気の原因究明に必要である。人体内部構造物は、「臓器や軟部組織」と「骨」から構成される。本研究では、骨の系列の内、頸椎、胸椎、腰椎、手部、足部のような、個々の骨が同じ部位に属し、類似した大きさや形状、機能を持ち、独立に運動させることは難しく、連動し、一列に連結されたアーチ状の骨の列を骨列アーチと定義する。本研究の目的は、骨列アーチのモデルを提案し、そのモデルを用いて骨列アーチの動態解析を行う手法を提案することである。本研究では、代表的な骨列アーチである頸椎が撮像された X 線透視動画に本解析手法を適用し、嚙下障害の一因と考えられる頸椎異常と正常の識別を行った。まず、骨列アーチの 1 つである頸椎が嚙下時に動いているかどうか、またどのように動いているかを手動で調査した。その結果、嚙下時に頸椎は生理的前彎が減少するように骨列アーチが運動していることが分かった。また、骨列アーチを外部から固定した場合の動態調査も行い、固定なしに比べて骨列アーチの湾曲の減少度が少ないこともわかった。この調査研究では、解析がすべて手動であったため骨列アーチの個々の骨の追跡が困難であった。そこで、テンプレートマッチングを用いて個々の頸椎の追跡を行い、さらに個々の頸椎の方向から骨列アーチ全体の湾曲を示す頸椎前彎角を算出した。頸椎前彎角の時間推移に基づいて頸椎異常と正常とを識別する実験を行った。識別実験では、頸椎異常例 13 例、正常例 13 例の平均前彎角推移を求め、平滑化と主成分分析による次元削減を行い、ユークリッド距離、L1 距離、マハラノビス距離、コサイン類似度、線形判別分析法、Support Vector Machine (SVM) の 6 種類の手法を用いて識別した。識別精度は、Receiver Operating Characteristic カーブの曲線下面積により評価した。この実験結果は、骨列アーチモデルが頸椎異常と正常の識別に有効であることを示唆した。

## 審査の要旨

### 【批評】

人体構造物を解析する研究の中で、骨列アーチ（頸椎、胸椎、腰椎、手部、足部）の動態解析を行っているものは頸椎と足部を対象とした研究しか報告されておらず、その報告数も少ない。本研究は、これらの骨列アーチに統一的に適用する事を目指したモデルを提案し、その湾曲度合いをパラメータ化し、時間推移に基づいて正常か異常かを識別する手法を提案している。提案手法を、頸椎異常で手術する予定の嚙下障害患者 13 例と正常ボランティア 13 例の X 線透視動画に適用したところ、その時間推移に差があることを明らかにし、さらにその時間推移を Support Vector Machine などの識別器を使って識別する実験を行ったところ、高い精度で識別できることが分かった。時間推移に差があること、正異常を識別できることを示したのは世界初の成果で、本研究の新規性と有効性が認められる。また、実験結果を臨床現場の複数の医師に検証して頂いたところ、十分な精度ではないが検討に値し、今後の発展が望まれるとの意見をいただき本研究の有用性も認められる。

本研究では、X 線透視動画における頸椎（頸椎椎体と棘突起）の追跡にテンプレートマッチングを用いていたため、動画の初期フレームにおいて手作業による頸椎領域の抽出が必要なこと、骨列アーチの一方向の湾曲しかパラメータ化していないため、胸椎側弯症のように複数の方向に湾曲している骨列アーチを表現できないこと、またアーチを構成している個々の骨の滑り、変形や潰れなどを考慮していないことなど今後検討すべき点を残しているが、骨列アーチの動態解析という未開拓の医学的研究分野の問題に統一モデルに基づく解析手法を適用し、解明を進めていく一つの方向を示した点で高く評価できる。

### 【最終試験の結果】

平成 31 年 2 月 4 日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

### 【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。