

令和 5 年 6 月 16 日現在

機関番号：33916

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K19920

研究課題名（和文）耳から動脈硬化を発見：確率ニューラルネットワークを用いた血管内皮機能評価法の提案

研究課題名（英文）Detecting atherosclerosis from the ear: evaluation of vascular endothelial function using a probabilistic neural network

研究代表者

平野 陽豊（Hirano, Harutoyo）

藤田医科大学・医療科学部・講師

研究者番号：50725679

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、耳朶のしわから血管内皮機能を簡便に評価するために、カメラを内蔵したスマートデバイスを用いた血管内皮機能評価システムを提案した。耳朶写真から耳朶しわの長さ、本数、深さなどの特徴を定量抽出するアルゴリズムを考案し、それらの特徴から血管内皮機能を評価するシステムを開発した。開発システムを評価した結果、精度よくELCを抽出できていることが確認できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発したシステムは、耳朶の写真撮影間のみ不動となるだけで検査が終わるため、患者の体表へセンサを付着させることなく血管内皮機能の定量計測を行える。また、現行のELC有無の診断法は、医師の主観による可能性を除外するために複数人医師の多数決によってELCが判断されている。そのため、提案システムが実現すれば外来診療での診断が容易になることに加えて、例えばスマートフォンやタブレット端末などのデバイスへアプリケーションとして実装すれば家庭でも動脈硬化の簡易スクリーニングが可能となる。そのため、患者の負担は極めて少なく、より多くの人の動脈硬化早期診断に貢献できる。

研究成果の概要（英文）：This study proposed a vascular endothelial function evaluation system using a smart device with a built-in camera to easily evaluate vascular endothelial function from earlobe wrinkles. The features of earlobe wrinkles, such as length, number, and depth, were quantitatively extracted from earlobe photographs, and a system was developed to evaluate vascular endothelial function based on these features.

研究分野：生体医工学

キーワード：動脈硬化 血管内皮機能 Earlobe crease 画像処理

1. 研究開始当初の背景

近年、我が国の致死性循環器疾患は死因全体の約 25%に及んでおり、その主原因は動脈硬化であることが知られている。動脈は一度硬化すると再び柔らかくなることはないが、動脈硬化初期症状である血管内皮の機能障害ステージまでは、投薬治療などにより完治するため、血管内皮機能を非侵襲かつ定量的に計測する技術は動脈硬化早期診断のために非常に重要である。

これまでに様々な血管内皮機能計測法が提案されており、超音波エコーを用いた血流依存性血管拡張反応 (flow-mediated dilation: FMD) を計測する検査法が標準的な血管内皮機能計測法として普及している。我々の研究グループも、血管内皮機能を簡便計測するために家庭などに広く普及しているオシロメトリック式自動血圧計の原理を応用した計測法 (enclosed zone FMD: ezFMD) を提案してきている。ところが、動脈硬化は自覚症状のない疾患であるため、動脈硬化予備者自身に血管計測の自発的な意思がない限り、既存の血管内皮機能計測法で血管内皮機能低下を早期発見することは困難である。そこで、血管を計測する代わりに、体表の何らかの情報から血管内皮機能を推定する方法が求められている。

2. 研究の目的

以上の背景を踏まえて、本研究ではカメラを用いて耳朶皺襞 (earlobe crease: ELC) と呼ばれる耳朶のしわの長さ、形、占有面積、位置、深さなどの特徴を定量抽出し、それら複数の特徴から確率ニューラルネットワークを用いて血管内皮機能を評価するシステム開発を目的とした。現在実用化されている血管内皮機能計測装置は、超音波エコーや何らかのセンサなどを身体へ接触させて計測を行っているため、本研究の計測システムは耳朶の写真撮影間のみ不動となるだけで検査が終わるよう患者の体表へセンサを付着させることなく血管内皮機能の定量計測を行うことを目指す。

3. 研究の方法

ELC 抽出法の概略を Fig. 1 に示す。本システムでは ELC が含まれた耳朶画像を取得する計測部、撮影された耳朶画像に対して ELC 特徴を抽出して指標化する解析部、抽出された指標から動脈硬化を評価する評価部の三段構成とした。

計測部ではカメラを用いて被験者の両耳の耳朶画像を撮影する。室内照明の環境などを考慮して耳朶表面の皮膚形状を精度良く撮影するため、F 値、シャッタースピード、ISO 感度はあらかじめ調整した。毛髪やピアスなどの ELC の外乱となるものは撮影領域外へ除外した。

解析部では撮影された耳朶画像から画像解析によって ELC 特徴を抽出する。本論文では特徴量として ELC の長さ、数を対象とする。まず原画像から耳朶領域以外をトリミングして除去する。取得する耳朶領域は珠間切痕より下の領域とする。次に、耳朶領域画像に対して輪郭検出を行う。本研究では一般的な室内環境での耳朶撮影を想定しているため、光源は理想的な点光源ではない。そのため、ELC の輪郭近辺において境界がぼやけ、局所的な鏡面反射や拡散反射が生じる可能性がある。ELC 特徴量抽出のためにはこれらノイズの影響を低減しつつ、細かな階調変化に対しても対応できるような ELC の輪郭検出をする必要がある。そのため、本研究では Canny 法を用いて、耳朶領域カラー画像における RGB に対して輪郭検出を行う。Canny 法では、ガウシアンフィルタによるノイズ平滑化、ソーベルフィルタを用いた空間 1 次微分による輪郭検出、Non maximum Suppression による細線化および 2 閾値による 2 値化を組み合わせることで細線化された 2 値の輪郭画像を得る。まず、耳朶領域に存在するノイズ成分を除去するために、トリミングされた耳朶画像 I_{in} に対してガウシアンフィルタ g を施す。出力画像 gI は以下の式で表現される。次に、輪郭を強調するために画像 gI に対して、 x 軸方向、 y 軸方向へそれぞれ 1 次微分を行い、ソーベルフィルタを施す。強調された輪郭画素から輪郭を抽出するために、微分画像の勾配の大きさ $|\nabla sI|$ と方向 θ に対して Non maximum Suppression 処理を行う。この処理は、輪郭候補の領域について輪郭とみなせる所以外の画素をすべて 0 とする処理であり、これにより輪郭部分だけを残す画像をつくることができる。その後 Non maximum Suppression によって残された輪郭を 2 値化する。このとき、ノイズによって色調が変化した画素が輪郭とみなされている可能性があるため、高閾値 T_H と低閾値 T_L の 2 つの閾値を用いた 2 値化を行うことで ELC 輪郭を検出する。ただし、Canny 法で検出される輪郭は、ELC 由来の輪郭以外に、ピアスの穴や耳朶表面の皮膚凹凸なども含まれるため、これらを除去する。次に、除去されなかった輪郭のうち、循環器疾患が ELC であると診断できる輪郭と、ELC の可能性が残されるが断定はできない曖昧な輪郭を区別するため、 $\alpha\%$ 以上の長さを有する輪郭を large ELC、 $\beta\%$ 以上 $\alpha\%$ 未満の長さの輪郭を small ELC と区分する。ここで、縦方向の耳朶長さに対する large ELC、small ELC の相対長さ比率を $\%ELC_L$ 、 $\%ELC_S$ と定義する。次に、検出された

large ELC の本数 $nELC_L$, small ELC の本数 $nELC_S$ として , それぞれラベリング処理を行うことでカウントする .

解析部で得られた ELC に関する指標は評価部において出力される . 本研究では以上をタブレットで動作させるシステムを試作した .

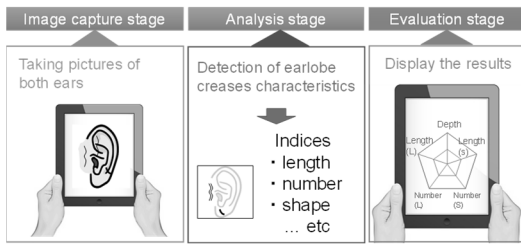


Fig. 1 提案システムの概要

4 . 研究成果

成人 186 名 (平均年齢 \pm S.D.: 66.1 \pm 13.6 歳) を対象とし , 試作システムを用いて耳朶を撮影した . 耳朶画像から $\max \%ELC_L$, $nELC_L$, $nELC_S$ を解析し抽出した . 抽出結果を用いて被験者を両耳 ELC 有群 , 片耳 ELC 有群 , 両耳 ELC 無群の 3 群へ分別した . 各群の定義は , 両耳ともに large ELC を 1 本以上有する者を両耳 ELC 有群 , 片耳のみ large ELC を 1 本以上有する者を片耳 ELC 有群 , 両耳共に large ELC が 0 本の者を両耳 ELC 無群とした . 次に同被験者を対象に医師による ELC の有無が鑑別され , 同様に両耳ともに ELC を 1 本以上有する者を両耳 ELC 有群 (医) , 片耳のみ large ELC を 1 本以上有する者を片耳 ELC 有群 (医) , 両耳共に large ELC が 0 本の者を両耳 ELC 無群 (医) と判定した .

試作システムから検出された ELC の有無と医師の ELC 鑑別結果を比較するため感度・特異度解析を行った . 結果 (Table 1) より , 感度 , 特異度 , 正解率はそれぞれ 0.84 , 1.00 , 0.91 であった .

医師によって分類された ELC 有無のそれぞれの群に対する large ELC の本数 $nELC_L$, small ELC の本数 $nELC_S$, 最長 ELC $\max \%ELC_L$ の平均値を示す . 結果 (Fig. 2) より , 全ての指標で ELC 無群 (医) が ELC 有群 (医) と比較して有意に低い値となった .

本研究では ELC の特徴を基に動脈硬化簡易スクリーニングの実現のために , カメラから取得された耳朶の画像に対して画像解析を行い , ELC の長さや数を定量抽出するシステムを提案した . また , 本システムを用いて行った両耳の ELC 有無判定の妥当性を検証するために医師の目視による診断結果と比較し , 高い精度で ELC を判別できることを確認した . 今後は本システムを改良して ELC 検出精度を向上させるとともに , 動脈硬化の進行度を高精度評価するシステムへ昇華させることを目指したいと考えている .

Table 1 システム性能検証結果

		システム出力	
		ELC 有	ELC 無
医師鑑別	ELC 有	56	10
	ELC 無	0	58

*** : $p < 0.001$

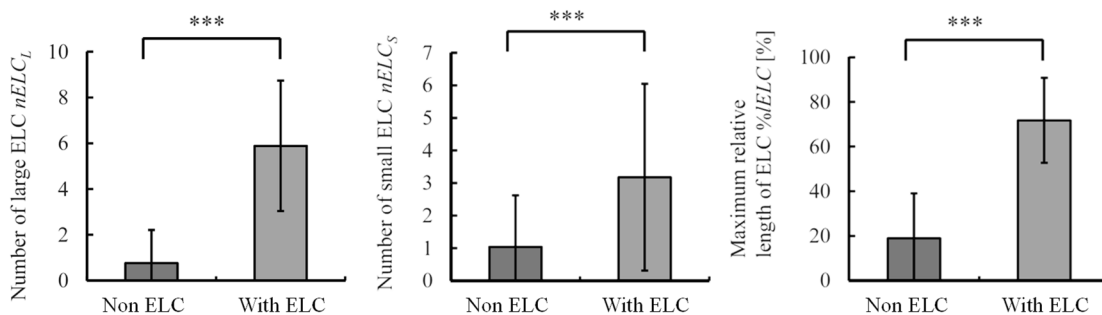


Fig. 2 ELC 有無の鑑別結果に対する各指標値の比較

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Harutoyo Hirano, Haruki Goto, Satoshi Ota, Masato Futagawa, Yu Hashimoto, Haruki Hashimoto, Shinji Kishimoto, Nozomu Oda, Masato Kajikawa, Tatsuya Maruhashi, and Yukihiro Higashi
2. 発表標題 Convolutional Neural Network-Based Assessment Method for Atherosclerosis Using Earlobe Crease Images
3. 学会等名 2022 44th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC) (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	東 幸人 (Higashi Yukihiro) (40346490)	広島大学・原爆放射線医科学研究所・教授 (15401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------