

氏名	城屋敷 健 志
学位の種類	博 士 (工学)
学位記番号	生工博甲第399号
学位授与の日付	令和3年 3月25日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	生体内音による機能診断を目的とした体導音センサの開発研究
論文審査委員会	委員長 教授 夏 目 季代久 准教授 宮 本 弘 之 教授 玉 川 雅 章 " 和 田 親 宗

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

聴診をはじめ、生体内からの音を利用した診断法は、簡便で安価であり、非侵襲的に体内の状況を把握できる。しかしながら、生体内音は微弱であること、外来から伝わってくる雑音の方がはるかに大きいことが問題点として上げられる。これらの問題を解決するために、非可聴つぶやき音を収録する体導音センサの原理を用いることを提案する。体導音センサは音響伝搬層にウレタンエラストマーを使用して生体軟組織との音響整合を行い、生体内音を高感度に検出でき、外来雑音に強い特性を持つ。しかしながら、体導音センサの研究において、その設計理論や感度の計測方法、従来センサとの比較は十分になされておらず、有用性についても検証されていなかった。さらに臨床応用を想定した人に対する評価が不十分であった。そこで本論文では、まず体導音センサの設計理論を構築し、次に臨床応用を想定した環境下での評価や、人による呼吸音や透析患者のシャント音の評価を他のセンサと比較することで、生体内音による機能診断が可能であるかを検証している。本論文は7章から構成されており、以下に詳細を述べる。

第1章では、生体音を用いた診断の問題点について述べている。これは肺音をはじめ生体内音からの診断能が低い原因として、生体内音がそもそも微弱であること、外来から伝わってくる雑音の混入が問題であることを示し、センサの高性能化が必要であることを述べている。

第2章では、生体内音を利用した疾患の診断に関する知見をまとめ、過去の研究で用いられてきた空気結合型センサ (Air-Coupled Microphone: ACM) や加速度センサの問題点について触れ、微弱な信号を収録でき、外来雑音に堅牢な体導音センサの利用を提案している。

第3章では、体導音センサの知見をまとめている。体導音センサの問題点について触れ、管体や伝搬層の厚み、センサの質量、接触面積等のパラメータが感度に与える影響、感度計測手法の妥当性などが不明であること、さらに他のセンサとの比較を行う必要性

について述べている。

第4章では、体導音センサの設計理論について述べ、設計結果の妥当性について等価回路モデルによるシミュレーション結果と、開発した感度計測システムによる実測結果から検証している。等価回路モデルによる体導音センサの加速度応答係数および圧力応答係数のシミュレーション結果は実測結果とほぼ一致し、圧力応答では強い相関が見られた。また、円筒形状の伝搬層において、質量が小さく、接触面積が広い体導音センサほど700~2000Hzの周波数区間で圧力感度は上昇し、接触面積の変化による影響が大きかった。また、筐体材料を変更し、質量を小さくすることによって、1000~2000Hzの周波数区間での圧力感度を上昇させることが可能であることが分かった。

第5章では、体導音センサと過去の研究で用いられてきた他のセンサとの比較を行い、体導音センサの有用性を明らかにしている。感度計測システム、雑音感度に対する信号検出感度の比、呼吸音シミュレータ、そして人に使用した場合での実験を行った。結果、同形状であれば、実験に用いた体導音センサはACMよりも感度は全周波数帯域で約18.2dB高くなり、加速度センサとの比較においては高域の周波数区間、特に2000Hzの部分で約15dB程度高い感度を示した。また、体導音センサはACMと比較して600~1000Hzで19.3dB、1300~2000Hzで25.4dB、加速度センサと比較して600~1000Hzで5.3dB、1300~2000Hzで11.8dB、雑音感度に対する信号検出感度の比が高く、雑音に強い特性を示した。呼吸音シミュレータを使った実験では、体導音センサで観測された呼吸音から、高域の特徴的な信号を検出することが可能であった。さらに人による呼吸音観察において、各センサのスペクトログラムは呼吸音シミュレータと同様の結果を示し、高い周波数帯域での特徴的な呼吸音検出に有利であった。

第6章では、体導音センサによって検出したシャント音から、透析患者の自己血管内シャント機能評価の可能性を検証している。シャント音観察において体導音センサは他の比較対象センサより100~2000Hzの周波数帯域で中央値が99.3dBでありACMより12.5dB、加速度センサより5.8dB高い感度を持っていた。また、体導音センサは特に1kHz以上の周波数区間における狭窄音信号検出感度が92%であり、ACM(77%)、加速度センサ(25%)よりも高かった。さらに、超音波診断装置によるシャント機能評価の指標となる血管抵抗指数(Resistance Index: RI)および上腕動脈血流量(Flow Volume: FV)を種々の機械学習によって推定した。区間別推定ではRI>0.60, 0.65, 0.70, FV<350, 400ml/minの区間において体導音センサがもっとも高い正解率であった。このことから、シャント機能評価の基準値において体導音センサを用いた手法は高い診断能力を有していた。

第7章では、本論文の内容をまとめている。そして本研究の課題として、体導音センサのより正確な計測システム、シミュレーション方法や解析手法の開発、長時間観測実験による評価等について触れ、今後の展望として機械学習の活用と遠隔医療への応用について述べている。

以上のように、本研究により高感度化した体導音センサによる呼吸音およびシャント音検出は、高い周波数帯域まで可能であり、機能診断に有用であることが分かった。

学位論文審査の結果の要旨

本論文は、生体内音検出のために、センサの高感度化の手法を理論的に提案し、実験的に手法の有効性を示したものである。本研究の結果を活用することで、呼吸音およびシャント音を高精度で検出できるだけでなく、医療・福祉の分野における生体内音による機能診断技術の発展に貢献すると考える。また、公聴会においては、32名の出席者があり、機械学習を使う利点、疑似音と実際の患者音との違いに起因する結果への影響、センサを組み合わせることの利点の有無、狭窄部とセンサ間距離の制限、提案センサによる生活習慣病のモニタの可能性、臨床現場で必要な耐久性を満たしているか否か、提案センサで血流速の変化を見つけられるか否か、計測結果から疾病の特徴等を見いだせるか否か、など様々な質問がなされたが、いずれも著者の明快かつ詳細な説明によって質問者の理解が得られた。

以上により、論文審査及び最終試験の結果に基づき、審査委員会において慎重に審査した結果、本論文が、博士（工学）の学位に十分値するものであると判断した。