

博士学位論文調査報告書

論文題目

Easy-to-Use Biosignal Monitoring: Wearable Device for Muscle Activity Measurement during Sleep in Daily Life
(日常睡眠環境下における筋活動計測用ウェアラブルデバイスに関する研究)

申請者氏名 江口 佳那

最終学歴

平成・令和 24年 3月
京都大学大学院情報学研究科 社会情報学 専攻修士課程 修了
平成・令和 31年 3月
京都大学大学院情報学研究科 社会情報学 専攻博士後期課程
研究指導認定退学

学識確認 令和 年 月 日 (論文博士のみ)

論文調査委員 京都大学大学院情報学研究科
(調査委員長) 教授 黒田知宏

論文調査委員 京都大学大学院情報学研究科
教授 守屋和幸

論文調査委員 京都大学大学院情報学研究科
教授 吉川正俊

(続紙 1)

京都大学	博士 (情報 学)	氏名	江口 佳那
論文題目	Easy-to-Use Biosignal Monitoring: Wearable Device for Muscle Activity Measurement during Sleep in Daily Life (日常睡眠環境下における筋活動計測用ウェアラブルデバイスに関する研究)		
(論文内容の要旨)			
<p>医学が対象とする疾患は、急性疾患から睡眠障害などの生活習慣病へと変化しつつある。限られた医療資源で生活習慣病の治療適正化を図るためには、生活習慣をはじめとする、患者を取り巻く多くの情報が必要となる。中でも睡眠障害については、睡眠時に生じていることを患者自身が適切に把握できない可能性が極めて高いことから、施設外睡眠検査 (out-of-center sleep testing) である在宅モニタリングを適切に診療プロセスに組み込み、病院外での客観的な睡眠状態を適切に観察することが重要となる。</p> <p>睡眠障害の一つである周期性四肢運動障害 (Periodic Limb Movement Disorder, PLMD) は、高血圧・虚血性心疾患の罹病リスクの上昇や、不眠の悪化に伴ううつ病発症リスクの上昇が指摘されており、睡眠障害の中では睡眠時無呼吸症候群に次ぐ重要性を有する疾患とされている。しかし、当該疾患の特徴的な症状である周期性四肢運動 (Periodic Limb Movements, PLMs) を日常環境下で計測できるデバイスは、加速度や深度センサなどの代替信号に基づくデバイスしかなく、確定診断で用いられている表面筋電図に基づくデバイスは現状存在しない。実際の臨床現場では、PLMs在宅モニタリングに加速度デバイスが用いられているが、未検出や誤検出によってPLMsの発現状況を正確に計測出来ないことが診療プロセスの大きな課題となっている。</p> <p>本論文は、表面筋電図に基づく正確なPLMs在宅モニタリングの実現に向けて取り組んだ、患者をはじめとする非専門家でも容易に扱うことが出来る表面筋電図計測用ウェアラブルデバイスの研究についてまとめたものであり、7章から構成される。</p> <p>第1章は序論であり、臨床医学の歴史と現状を紐解き、医学を取り巻く近年の情勢や、医学から情報学・工学への要請についてまとめている。限られた医療資源で生活習慣病の治療適正化を図るためには、生活習慣をはじめとする、患者を取り巻く多くの情報が必要となるため、正しいデータ収集を時間・空間によらず可能にする手段が求められていることを、本研究の大きな背景として指摘している。</p> <p>第2章では、本研究が対象とする問題を明らかにするために、睡眠の医学的意義、PLMDを含む睡眠障害の概要と特徴、睡眠障害の診断・治療における課題についてまとめた後、睡眠障害の確定診断に用いる終夜睡眠ポリグラフ (Polysomnography, PSG) や、患者宅での利用を志向した睡眠モニタリングデバイスを概観している。この中で、PLMDの診断・治療で用いられるPLMs在宅モニタリング手法は加速度デバイスに留まっており、確定診断時のPSGで用いられている表面筋電図に基づく手法が存在しないことを指摘している。</p>			

第3章では、対象運動となるPLMsを概観し、確定診断時のPSGでも用いられている表面筋電図の原理について述べた後、関連研究である生体信号計測用ウェアラブルデバイスの特徴について述べている。そしてこれらを概観した上で、表面筋電図に基づく正確なPLMs在宅モニタリングを実現するために、非専門家でも容易に扱うことが出来る、下肢装用型表面筋電図計測用ウェアラブルデバイスを提案している。

第4章では、提案デバイスの開発に向けて行った、表面筋電図に基づくPLMs評価に適した対象筋選定について述べている。また、実際のPLMD患者を対象とした実験において、対象筋の表面筋電図に基づくPLMs評価が、デファクト・スタンダード手法である加速度に基づく評価よりも優れていたことを示している。

第5章では、患者を含む非専門家にとって使いやすい表面筋電図計測電極の実現形態として、衣類内側の対象筋に接触する部分に表面筋電図計測電極を備えた靴下型表面筋電図計測電極を提案している。対象筋の随意運動を通じた基本性能検証において、提案デバイスで計測した表面筋電図が、従来電極と同等に筋活動の有無を判別できることを示している。

第6章では、第5章で開発したデバイスを用いて行った、患者宅でのPLMs在宅モニタリングの検証結果について述べている。医師が目視で検出したPLMsを正解値とした比較評価において、提案デバイスがデファクト・スタンダードである加速度デバイスよりも精度良くPLMsを検出出来ることを示している。

第7章では、本論文の目的と提案手法のまとめを行うとともに、実臨床導入に向けた今後の課題と、将来展望について議論している。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

情報科学の発展に伴って、臨床判断の基礎となる疾患関連情報を、IoT化された臨床検査機器を用いて日常生活空間から収集する遠隔モニタリングが、実際の臨床活動の一部として組み入れられはじめている。

本研究は、睡眠障害の一つである周期性四肢運動障害 (PLMD) を対象に、その特徴的な症状である周期性四肢運動 (PLMs) を日常環境下で計測できる全く新しいデバイスを実現することによって、遠隔モニタリングの一つである施設外睡眠検査 (OCST) を可能にすることを旨としたものである。

本研究では、PLMsの症状自身である筋電の発生を捉えるウェアラブルデバイスを開発した。具体的には、症状をよく示す筋電信号を取得する筋肉とその計測点を同定し、同定した計測点に筋電計測電極を簡単に装用できる靴下型ウェアラブルデバイスをe-Textile技術を用いて実現し、開発デバイスでたしかにPLMsを捉えられることを実験的に確認した。実験の結果から、開発デバイスは、唯一臨床で利用可能であった加速度計測に基づくPLMs計測デバイスでは捉えられないPLMsの発生を捉えられることが確認された。

本研究の実現によって、PLMDの施設外睡眠検査が可能になることは、多くのPLMD患者が適切な治療を受けられる可能性を広げ、PLMD治療の効果を客観的に評価できる可能性が示されたことは、PLMDという特定の疾患の治療に途を開くものであり、情報技術の医療への貢献として高く評価できる。また、在宅モニタリングの実現が医療そのものを高度化することを示した本研究は、来院患者の治療を中心とする医療から、日常生活での自己コントロールを中心とする、予測的・個別的・予防的・参加型のP4-Medicineへと導く情報化医療の流れを力強く推し進めるものであり、社会情報学研究として、高い貢献を示すものである。

よって、本論文は博士 (情報学) の学位論文として価値あるものと認める。また、令和 2 年 2 月 13 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

なお、本論文は、京都大学学位規程第 1 4 条第 2 項に該当するものと判断し、公表に際しては、(令和 3 年 3 月 31 日までの間) 当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

要旨公開可能日：令和 2 年 6 月 25 日以降