

論文内容要旨 (和文)

2018年度入学 大学院博士後期課程

バイオ工学専攻 応用生命分野

氏 名 土屋 みなみ 印

論文題目 Analysis of data from multi-sensors in sleeping and awaking states
and its application
(睡眠時および覚醒時のセンサーデータ解析とその応用)

現代社会では、昼夜を問わない生活や潜在的なストレス等により心身に不調を来しやすいといわれている。特に、睡眠時間の確保や自律神経のバランスを保つことが健全な体調の維持には重要である。世界保健機構 (WHO) により発表された国際疾病分類第 11 回改訂版において、新たに「睡眠・覚醒障害」の項が追加されている。また、睡眠の質の低下は生活習慣病の発症率を増加させることも分かっている。

このように、健全な睡眠および翌朝の覚醒の重要性が高まっており、工学的知見から睡眠や覚醒をサポートする研究も多く報告されている。

しかし従来の研究では睡眠中の生体・環境データに関する解析を通じた支援がほとんどで、日中の行動まで含めて解析し睡眠および覚醒を支援して体調管理につなげるという観点からの研究は少ない。

このような昼夜に亘る生体データ及び環境データの取得と解析においては、睡眠時に加えて日中のデータの挙動も可視化して評価する必要がある。また、客観的なセンサ情報のみならず主観的な睡眠満足度等も解析において考慮すべきである。更に、睡眠の質向上に繋がるような行動アドバイスを提示するシステムの開発が進んでいるものの、提示されるアドバイスを受けたユーザーがより自発的に次の行動に移しやすいような、社会行動学的見地からの行動支援機能システムへの改善が求められている。

そこで本研究では、日々の生体・環境・行動データの解析から昼夜に亘る起床・活動・入床・入眠・睡眠・覚醒を総合的に支援するシステムを構築することを目的とする。提案するシステムは、睡眠時および覚醒時に取得した生体・環境・行動データを解析し統合して評価することにより、自律神経のバランスを含む体調状態を把握し、寝具や環境を制御するという工学的なアプローチと、統合解析から睡眠導入への適切な行動指針を提示し行動実行を促す社会心理学的アプローチとで構成される。

このシステムの実現に向けて本論文では、提案システムの構成要素となる基盤技術を開発し、その有効性を検討した。論文は 7 章で構成される。

1 章では関連研究を挙げながら背景・目的・提案システムについて述べ、本研究を位置づけた。

2 章では、起床時・活動時における自律神経バランスの可視化手法を提案した。自律神経系活動指標として、脈波の周波数解析から得られるパラメータを新たに組み合わせることで、交感・副交感神経の各活動状態が詳細に可視化できることが検証実験から明らかになった。

3 章では、ニューラルネットワークを用い、睡眠状態に関するデータの時系列変化に影響を及ぼす

環境情報・生体情報を解析・評価した。布団内外温度および呼吸周波数に着目し、外気温の高低と布団内温度変化の関係と睡眠状態に及ぼす影響が季節により異なること、および呼吸周波数の変化と睡眠状態との関係が明らかになった。この結果を提案システムの実装につなげるために、4,5章で睡眠環境の自動制御に向けたシステム構成要素について検討・提案した。

4章では、3章の結果を受け、入眠・睡眠・覚醒を支援するための寝具自動調節機能の有効性を検討した。ベッド背角度・寝姿勢と寝心地の関係やベッド背角度の自動調整の有効性に加え、睡眠時の呼吸数との関連性を評価した。背角度の上昇・下降動作により入眠・覚醒をサポートする寝具機能の有効性が示唆された。

5章では、入眠および覚醒時刻に合わせて作動する寝具機能の導入を目指し、非拘束センサ情報からディープニューラルネットワーク(DNN)を用いて入眠および覚醒までの時間を予測する手法が提案された。平均絶対誤差により提案するDNNの推定精度を検討した結果、平均誤差 ± 10 分以内の精度で予測できることが示された。

6章では、センサ情報解析結果に基づき、社会行動学的な見地からの助言を起床時や活動時に効果的に提示し、行動実行を誘引する手法が検討された。社会心理学に基づく助言の有無による対照実験を行い、被験者の行動に違いがでるかを統計学的に検証したところ、有意差が認められた。これより、入眠導入や睡眠の質向上に繋がりやすい行動を効果的に促すために、社会心理学的アプローチを工学的システムに組み込むことが有効である可能性が示唆された。

7章で、上述した構成要素について今後の展望を示しながら総括した。

以上より、睡眠時に加えて覚醒時の生体・環境・行動情報も考慮して解析し、さらに社会心理学的アプローチからの行動促進アドバイスも考慮した、新たな睡眠支援システムの基盤が構築されたといえる。今後はシステム全体として機能するよう各要素間の連携を円滑にすることにより、多くの人々の健全な睡眠および覚醒をサポートすることができると期待される。

論文内容要旨 (英文)

2018年度入学 大学院博士後期課程

バイオ工学専攻 応用生命分野

氏 名 土屋 みなみ 印

論 文 題 目 Analysis of data from multi-sensors in sleeping and awaking states and its application

To ensure sleeping time and to keep balance of autonomic nervous systems are important for maintaining healthy physical condition. Although many studies have been reported on supporting sleep and wakefulness based on engineering findings, most of the conventional research is concerned with supporting through analysis of environmental and physiological data during sleep only. In addition, although the development of advisory systems that lead to improvement in sleep quality is progressing, further improvement is required from a social psychological point of view.

The purpose of this study is to construct a system that comprehensively supports wake-up, activity, going-to bed, sleep-onset, sleep, and awaking states from analysis of physiological, environmental, and behavioral data. The proposed system consists of two approaches. 1. Engineering approach: After acquiring the physiological, environmental and behavioral data during awaking and sleeping time, data are analyzed, integrated and evaluated for grasping the physical condition including the autonomic nervous system balance so as to control bedding and environment. 2. Social psychological approach to encourage behavioral execution: From the integrated analysis, appropriate behavioral guidelines for sleep induction are presented.

Toward the realization of this system, the basic technology of individual component was developed and its effectiveness was examined. As the engineering approach, visualization method for the autonomic nervous balance was proposed at first. Through experiments during daytime, the effectiveness of method was verified. Next, a neural network was used to evaluate environmental and physiological data that affect time-series changes in sleep state. Based on this result, the effective function for automatic bedding adjustment in falling asleep, sleeping, and awaking states was examined. In addition, a deep neural network has been proposed to predict the time to fall asleep and awake from unrestrained sensor data, so that bedding function operates according to falling asleep and awaking. As a consideration with mean absolute error of the predicted time, it has been shown that the proposed method has a capability of estimation with high accuracy. In case of the social psychological approach, a method of present-

ing effective advices based on the results of sensor data analysis was examined. The statistical verification showed a significance of this method.

From the above, the foundation of the proposed support system has been constructed. It is expected that the proposed system totally supports sleep and wakefulness with analysis of data from multi-sensors in sleeping and awaking states, and also with behavior promotion advice from a social psychological approach.

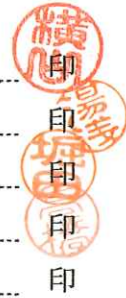
学位論文の審査及び最終試験の結果の要旨

令和 3年 2月 8日

理工学研究科長 殿

課程博士論文審査委員会

主査 横山 道央
副査 湯浅 哲也
副査 堀田 純一
副査 高橋 辰宏
副査 _____



学位論文の審査及び最終試験の結果を下記のとおり報告します。

記

論文申請者	専攻・分野名	バイオ工学専攻 応用生命分野	氏名	土屋みなみ
論文題目	Analysis of data from multi-sensors in sleeping and awaking states and its application (睡眠時および覚醒時のセンサーデータ解析とその応用)			
学位論文審査結果	合格	論文審査年月日	令和 3年 1月 20日～ 令和 3年 1月 28日	
論文公聴会	令和 3年 1月 28日	場 所	工学部 7号館 301 教室	
最終試験結果	合格	最終試験年月日	令和 3年 1月 28日	

学位論文の審査結果の要旨 (1,000 字程度)

健康増進に睡眠は重要な役割を担っており、近年「睡眠負債」が個人の健康や日常活動に悪影響を及ぼし、社会的にも経済損失をもたらす大きな問題となっている。本論文では、睡眠を含む日常行動に関する生体・環境データを取得し解析することを目的とし、解析結果を応用して寝室環境制御および行動助言により睡眠の質向上を支援するシステムの基盤技術構築へと発展させている。

第 1 章では研究背景、目的、および論文構成について述べている。第 2 章では、自律神経系活動の評価指標を新たに提案している。脈波信号の周波数解析と脈拍間隔の時系列評価から算出される指標を二軸とする散布図を用いて、交感・副交感神経系の各活動状態を評価する手法について考察している。第 3 章では、睡眠時のセンサーデータ解析から、室温、寝具内温度および呼吸周波数の変化と睡眠状態や覚醒時アンケート結果との関連性について評価している。第 4 章では、寝具背角度の調節機能について検討し、入眠時の緩やかな背角度昇降動作が寝姿勢や呼吸数変化に及ぼす効果を検証している。第 5 章では、入眠および覚醒時刻に合わせて作動する寝具機能の開発を検討した。就床中のセンサーデータからディープニューラルネットワークを用いて入眠および覚醒までの時間を予測する手法が提案された。既存センサーによる入眠・覚醒判別時刻に対して提案手法では平均絶対誤差 10 分以内の精度で予測可能であることが示された。第 6 章では、センサーデータの解析結果に基づき、社会心理学的な見地からの助言を起床時や活動時に提示し行動を促す手法が検討された。睡眠時及び覚醒時センサーデータを解析し、入眠導入や睡眠の質向上につながる行動を効果的に促すために、社会心理学的見地からの行動助言が有効であることが示唆された。第 7 章は結論で、本論文のまとめと今後の展望を示しながら総括している。

このように本論文では、研究テーマに新規性・独自性があり、自ら研究を計画・遂行するための専門的知識を基に、研究背景・目的が正しく述べられていた。学位論文の構成は適切で、体裁も整っており、記述が論理的で、設定した研究テーマに沿った明確な結論が述べられていた。また上記の研究成果について、査読付き筆頭著者論文 3 報が学術論文誌に掲載され、国際学術会議においても 5 件発表されている。以上より、本論文を博士 (工学) の学位論文として合格と判定した。なお本論文に関する研究においては、人を対象とする医学系研究に関する学内規程に基づき山形大学工学部倫理審査委員会に申請し、承認された後に遂行されている。

最終試験の結果の要旨

最終試験は、公聴会実施後に主査・副査の教員により、学位論文を中心とし関連する事項について口頭にて実施された。当該学生の専門的知識、学位論文の妥当性・論理性について議論が行われた。その結果、博士の学位を授与するのに十分な知識と能力を有していると判断されたため、最終試験について合格と判定した。