

2018年7月26日(木)
15:30~15:55

⑥

世界初！非接触技術による睡眠の5段階判定

慶應義塾大学
理工学部 システムデザイン工学科

教授 満倉 靖恵

■ 新技術の概要

本技術は非接触で心拍を正確に判定し、これらの情報を用いるだけで睡眠の5段階判定を90%以上の確率で判定する。これまでは最大でも4段階までしか行われておらず、その精度も70%程度であった。我々は厳密な信号解析により世界初技術を可能にした。

■ 従来技術・競合技術との比較

従来5段階判定をするためには入院を伴うPSG検査が必要であった。また、心拍を用いる方法も存在するが、4段階判定にとどまり、その精度は70%に満たない。5段階と4段階の違いはN1とN2の分類ができることであり、これを行うことができることで心疾患の予兆などを検出可能である。

■ 新技術の特徴

- 非接触睡眠段階判定
- 精度の良い5段階睡眠段階判定

■ 想定される用途

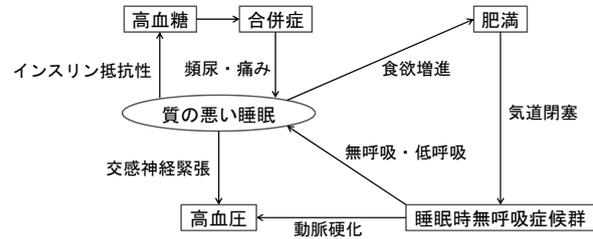
病気の予兆取得

世界初！ 非接触技術による睡眠の5段階判定

慶應義塾大学 理工学部
システムデザイン工学科
教授 満倉 靖恵

睡眠と生活習慣病 睡眠の重要性

- 質の悪い睡眠は生活習慣病の発症率を増加^[1]



睡眠のモニタリングは重要

[1] H.-G. N. Assoumou, et al., "Obstructive sleep apnea syndrome is associated with some components of metabolic syndrome", Sleep and Breathing, Vol. 16, No. 3, pp. 895-902, 2012.

終夜睡眠ポリグラフ検査 (Polysomnography: PSG)

- 計測項目

- 脳波
- 呼吸
- 眼電図
- 血中酸素濃度
- 心電図
- 顎・脚の筋電図



PSG検査の様子

- 30 s毎に睡眠段階を判定し睡眠の質を評価



毎日の睡眠のモニタリングには不適

提案した手法の特徴

睡眠の判定について

- 心拍だけを用いて睡眠を5段階判定できる(これまでの簡易手法は最大4段階判定であった)
- 既存法は4段階判定で最大7割であったが提案手法は4段階判定9割・5段階判定で7割が可能となった
- 4段階と5段階の最大の違いであるN1, N2の分離によって、心筋梗塞の予兆や睡眠薬の効能が計測可能になった

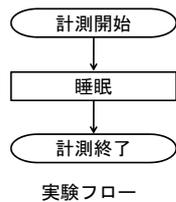
心拍を取得するためのセンサについて

- 心拍の取得時にこれまでは心電図を用いていたが、提案手法ではベッドの脚につけたセンサのみから心拍を取得できる
- 非接触技術で可能となった

PSG検査による睡眠実験と比較しての判定

実験条件

被験者	男性12名・女性7名(20代18名 40代1名)
延数	合計45回(欠損5回)
計測項目	脳波・眼電図・心電図・呼吸フロー 血中酸素濃度・顎および脚の筋電図
計測時間	入眠-起床
正解ラベル	検査技師が判定した睡眠段階



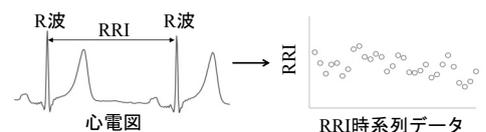
被験者の様子

- 前処理

- 5-15 Hzのバンドパスフィルタ
- 30 s毎に分割

- RRI(R-R Interval)算出

- R波の特定(窓幅: 0.5 s シフト長: 0.25 s)



実施例: 睡眠段階の判定 **心電図の解析フロー** 新技術説明会

● PSD(Power Spectral Density)推定

□ AR(Auto Regressive)モデル

$$P(f) = \sigma^2 / \left| 1 - \sum_{j=1}^M a_j e^{-2\pi i f j} \right|^2$$

a : AR係数 M : 次数 σ^2 : 分散

心電図

↓

前処理

↓

RRI算出

↓

PSD推定

↓

5クラス分類

解析フロー

7

実施例: 睡眠段階の判定 **心電図の解析フロー** 新技術説明会

心電図

↓

前処理

↓

RRI算出

↓

PSD推定

↓

5クラス分類

解析フロー

● 5クラス分類

□ 特徴量

- ✓ RRIの平均 ✓ LF(0.04-0.15 Hz)
- ✓ RRIの標準偏差 ✓ HF(0.15-0.4 Hz)
- ✓ VLF(0.003-0.04 Hz) ✓ LF/HF比

□ 分類手法

- ✓ NN(Neural Network)
- ✓ SVM(Support Vector Machine)
- ✓ RF(Random Forest)
- ✓ RNN(Recurrent Neural Network)
- ✓ HMM(Hidden Markov Model)

□ 評価方法

- ✓ LOOCV(Leave One Out Cross Validation)

8

既往研究との比較 (現状) 新技術説明会

概要: 心拍のみを用いて睡眠段階判定を下記5段階の判定で72% (世界初) 4段階判定 (N1、N2を同じグループとする既存法) では約90% (世界初) を達成

睡眠段階の種類		既往研究との比較				
WK	覚醒	参照	生体信号	被験者数 [名]	クラス数	適合率
REM	レム睡眠	本研究	心電図	50	4	0.89
N1	浅睡眠	Isa et al.[3]	心電図	16	4	0.60
N2	中等度睡眠	Tanida et al.[4]	心電図	10	4	0.56
N3	深睡眠	Fonseca et al.[5]	心電図・呼吸フロー	48	4	0.69

従来の4段階判別で比較

チャンピオンと比べ20%も高い(4段階判定)

[4] K. Tanida, et al., "Sleep stage assessment using power spectral indices of heart rate variability with a simple algorithm: limitations clarified from preliminary study", Biological Research For Nursing, Vol. 15, No. 3, pp. 264-272, 2013.
[5] P. Fonseca, et al., "Sleep stage classification with ECG and respiratory effort", Physiological Measurement, Vol. 36, No. 10, pp. 2027-2040, 2015.

9

既往研究との比較 新技術説明会

既往研究との比較				
参照	生体信号	被験者数[名]	クラス数	適合率
本研究	心電図	50(欠損5)	4	0.89
			5	0.72
Isa et al.[3]	心電図	16	4	0.60
Tanida et al.[4]	心電図	10	4	0.56
Fonseca et al.[5]	心電図・呼吸フロー	48	4	0.69

- 既往研究と同程度の適合率
- 5クラス分類の意義
 - 4クラス分類: N1とN2を1つのクラス
 - N1(浅睡眠)は睡眠障害の発見に必要

[4] K. Tanida, et al., "Sleep stage assessment using power spectral indices of heart rate variability with a simple algorithm: limitations clarified from preliminary study", Biological Research For Nursing, Vol. 15, No. 3, pp. 264-272, 2013.
[5] P. Fonseca, et al., "Sleep stage classification with ECG and respiratory effort", Physiological Measurement, Vol. 36, No. 10, pp. 2027-2040, 2015.

10

この成果を可能とした技術 新技術説明会

- 紛れもなく生体信号厳密な解析とシステム同定の技術

$$\sigma_{rem}(\tau) = \frac{1}{1 + e^{-(-a1 - b1 \cdot [RR(\tau)] + c1 \cdot [RR_{std}(\tau)] - d1 \cdot [VLF(\tau)] - e1 \cdot [LF(\tau)/HF(\tau)])}}$$

$$\sigma_{n1}(\tau) = \frac{1}{1 + e^{-(-a2 - b2 \cdot [RR(\tau)] + c2 \cdot [RR_{std}(\tau)] - d2 \cdot [VLF(\tau)] - e2 \cdot [LF(\tau)/HF(\tau)])}}$$

$$\sigma_{n2}(\tau) = \frac{1}{1 + e^{-(-a3 - b3 \cdot [RR(\tau)] + c3 \cdot [RR_{std}(\tau)] - d3 \cdot [VLF(\tau)] - e3 \cdot [LF(\tau)/HF(\tau)])}}$$

$$\sigma_{n3}(\tau) = \frac{1}{1 + e^{-(-a4 - b4 \cdot [RR(\tau)] + c4 \cdot [RR_{std}(\tau)] - d4 \cdot [VLF(\tau)] - e4 \cdot [LF(\tau)/HF(\tau)])}}$$

$$\sigma_{n4}(\tau) = \frac{1}{1 + e^{-(-a5 - b5 \cdot [RR(\tau)] + c5 \cdot [RR_{std}(\tau)] - d5 \cdot [VLF(\tau)] - e5 \cdot [LF(\tau)/HF(\tau)])}}$$

11

この技術の最大のポイント 新技術説明会

- これまで既存法では取得できなかったN1, N2の判別ができる

↓

狭心症 心筋梗塞の予兆発見
睡眠中の不整脈検出
睡眠薬の効能評価

↓

様々な病気につながる予兆を自宅で発見

12

ニーズ(睡眠評価)

介護施設
入居者の睡眠把握
介護者の負担軽減

託児所/育児
SIDSの予防
保育士の負担軽減

寝具メーカー
快眠の評価
快眠グッズ開発

A社: 心拍、呼吸をモニターする非接触性パッドを開発
保育所、介護施設に展開中
しかしながら、より正確な心拍を取るため、ノイズ除去が必要
更に、睡眠深度判定も行いたい。

B社: 社員の睡眠改善プログラムの実施、健康保険組合とのコラボ

産業医/保険会社
社員の睡眠・ストレス
評価と働き方改善

運輸会社
ドライバーの
睡眠/リスク管理

病院・診療所
睡眠薬の評価
SASのスクリーニング、
治療モニタリング

13

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 睡眠判定装置、睡眠判定方法、および、睡眠判定プログラム
- 出願番号 : PCT/JP2018/21420
- 出願人 : 学校法人慶應義塾
- 発明者 : 満倉靖恵、安井正人、福永 興彦、古川 俊治

14

お問い合わせ先

慶應義塾大学
研究連携推進本部

URL <https://wwwdc01.adst.keio.ac.jp/kj/rcp/contact/index.html>

TEL 03-5427-1439

FAX 03-5440-0558

e-mail toiawasesaki-ipc@adst.keio.ac.jp

15