

東北大学フォーラム2023 in東京

生体データから人類の幸福を目指すイノベーション

ー生体信号解析とウェアラブルセンサが実現するリアルタイム健康管理ー

東北大学 大学院情報科学研究科

湯田 恵美 2023/7/15

Graduate School of Information Sciences Tohoku University
Assoc. Prof. Emi Yuda, DEng, PhD.



今日のお話

本日はお招きいただきまして、ありがとうございます。

多くの方にとって身近なテクノロジー、「ウェアラブルセンサ」を中心にお話します。
よろしくお願ひします。

1. はじめに
2. スマートヘルスケア
3. 生体信号の応用：健康管理からリハビリテーションまで
4. おわりに

ウェアラブルセンサついてます！



TOHOKU
UNIVERSITY



1. はじめに





Assoc. Prof. Emi Yuda, DEng, PhD.

東京都三鷹市出身。博士（工学）。生体信号処理、生体ビッグデータ解析に関する研究に従事。生体ゆらぎ機序の解明にも取り組む。

2013

サンタモニカ大学 コンピュータサイエンス専攻 助手

2015

名古屋市立大学 大学院医学研究科 NEDOプロジェクト研究員

2019

東北大学大学院工学研究科 電気エネルギーシステム専攻 助教

2020

東北大学 データ駆動科学・AI教育研究センター 助教

2023

東北大学 大学院情報科学研究科 准教授

Members of Yuda Laboratory

PI: Assoc. Prof. Emi Yuda, DEng, PhD

Researcher: Dr. Itaru Kaneko, PhD

Researcher: Dr. Yutaka Yoshida, PhD

Researcher: (Visiting): Hiroaki Sakamoto

Researcher: (Visiting): Daisuke Hirahara

Technical Staff: Yuta Tarusawa

Technical Staff: Asahi Nishimura

Lab Manager: Hiroyuki Sakano, MBA, PhD



and Graduate School of Information Science and Technology,
Tohoku University students (as Research Assistant)

Smaller companies

The logo for Heart Beat Science Lab (HBBSL) features the letters 'HBBSL' in a bold, sans-serif font. The 'H', 'B', and 'S' are black, while the second 'B' and 'L' are blue.

Heart Beat Science Lab

Advisor CTO

Establishment: October 1, 2020

President: Junichiro Hayano, MD, PhD

Development and provision of sensor onboarding algorithms (B to B)

CTO: Chief Technology Officer



**STARDOM
FLOW**

Representative Director CTO

Establishment: April 18, 2023

President: Kazuma Kurita

Operation of care studios (B to C)



T-Biz Office #303 (HBSL)

WHAT WE CAN DO

- 1. Bio-Signal Processing & Measurement** (生体信号計測・処理)
- 2. Bio-Medical Big Data Analysis** (生体ビッグデータ解析)



ヒトの生体信号に関する研究：**80%**

仮説駆動型研究とデータ駆動型

その他：**20%**

動物（マウス，ウシ，サルなどの）生体信号，巡回セールスマン問題など

ヒトに生じる現象の機序を解明するためには、
ヒトを直接計測するしかない！
そのための非侵襲・非接触技術を開発する



2. スマートヘルスケア



スマートヘルスケア：断片化されたヘルスケア提供メカニズムの統合
電子的な患者記録を利用して、プロセスを合理化し、健康上のリスクを軽減して健康を改善する

ヒト生体信号の活用



治療に近い研究を目指す！

- 1. 予防（未病）** ストレス, 疲労, 覚醒, 情動, 感性, ヘルスケア
- 2. 診断** 睡眠時無呼吸(SAS), 心房細動(AF), 音声解析
- 3. 治療** リズム障害, 概日リズム, 光治療, せん妄, 薬剤アドヒアランス
- 4. リハビリテーション** ヘルスプロモーション, 運動生理学

ウェアラブルセンサ

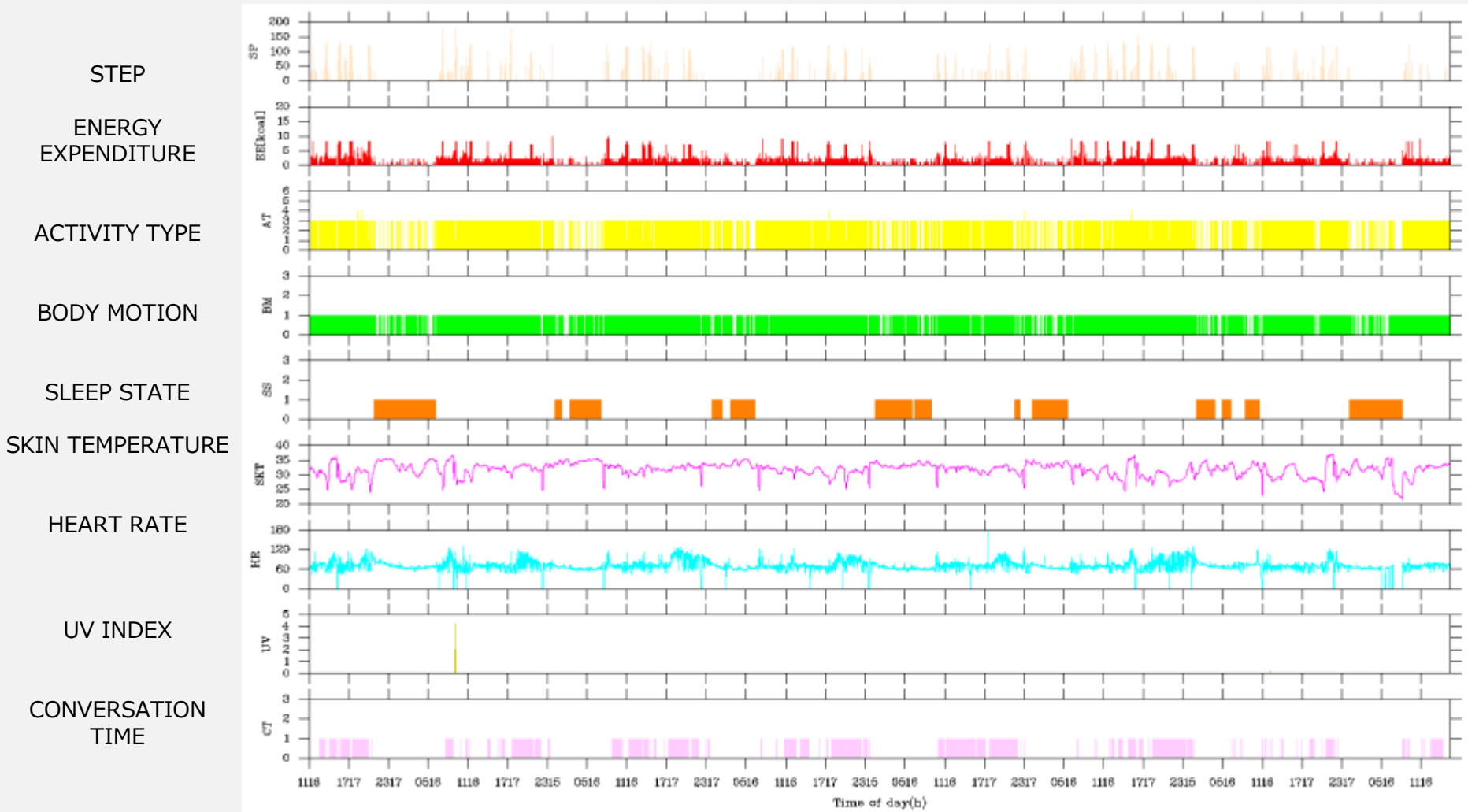


Photoplethysmogram (PPG) は、透過光や反射光の量の変化に基づいて血管内血液量を記録する方法。簡便で非侵襲的。照射光は緑色光（500～600nm）。この波長域の光は、体内組織よりも血液中の酸化ヘモグロビンに対して強い吸光度特性を持つ。

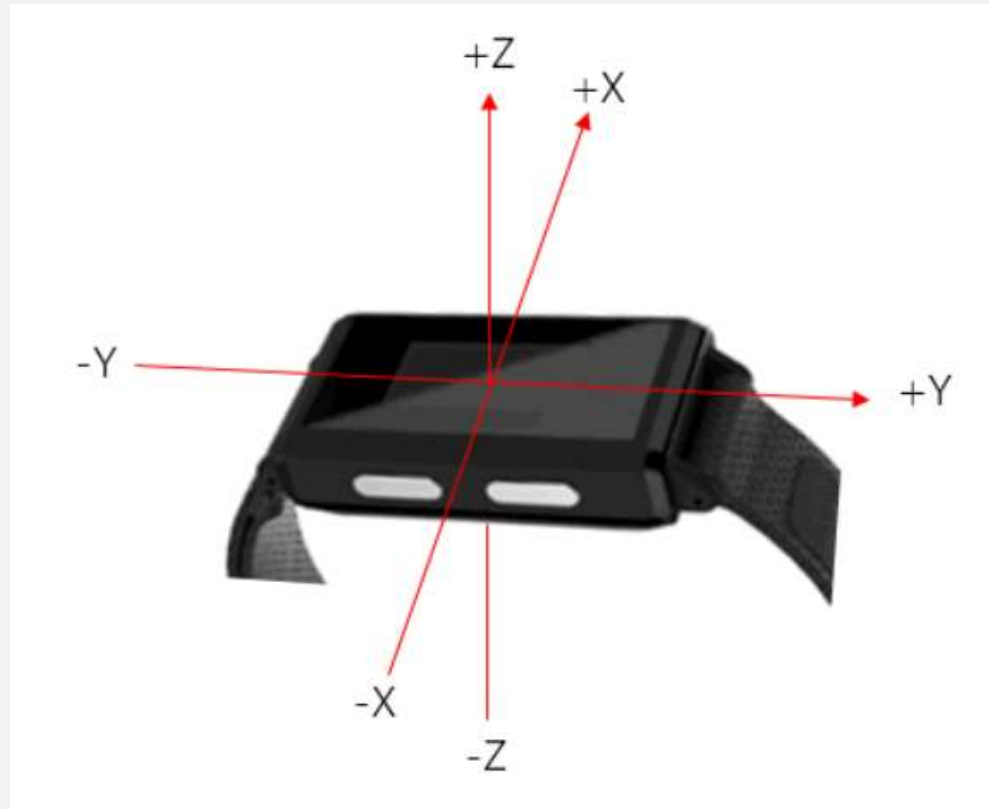
生体計測



- ✓ 覚醒時, 日常活動下, 睡眠時など連続的に取得
- ✓ 病気のスクリーニングや予後予測に応用する (ヘルスケア)
- ✓ ストレス, 疲労, 感情などの推定 (健康科学)



身体加速度（出力値）



3軸加速度の単位は $1/1024G$, 測定範囲は $\pm 4G$ レンジ,
出力値は $-4096 \sim +4095$

サンプリング周波数 : 20.5Hz

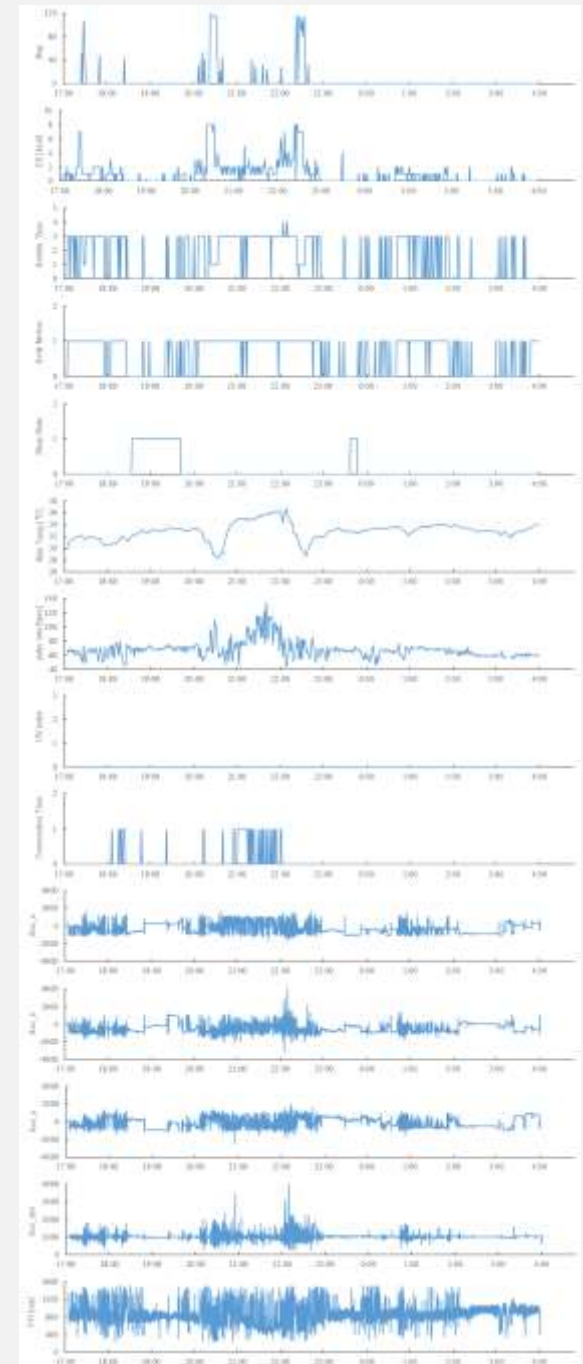
加速度値はセンサーから直接出力（補正なし）

11 パラメータの計測

1. STEPS
2. SLEEP STATE
3. ACTIVITY TYPE
4. BODY MOVEMENT DURING SLEEP
5. STRENGTH EXERCISE
6. SKIN TEMPERATURE
7. PULSE RATE
8. ULTRAVIOLET RADIATION LEVEL
9. VOLUME OF CONVERSATION
10. ACCELERATION
11. PPI

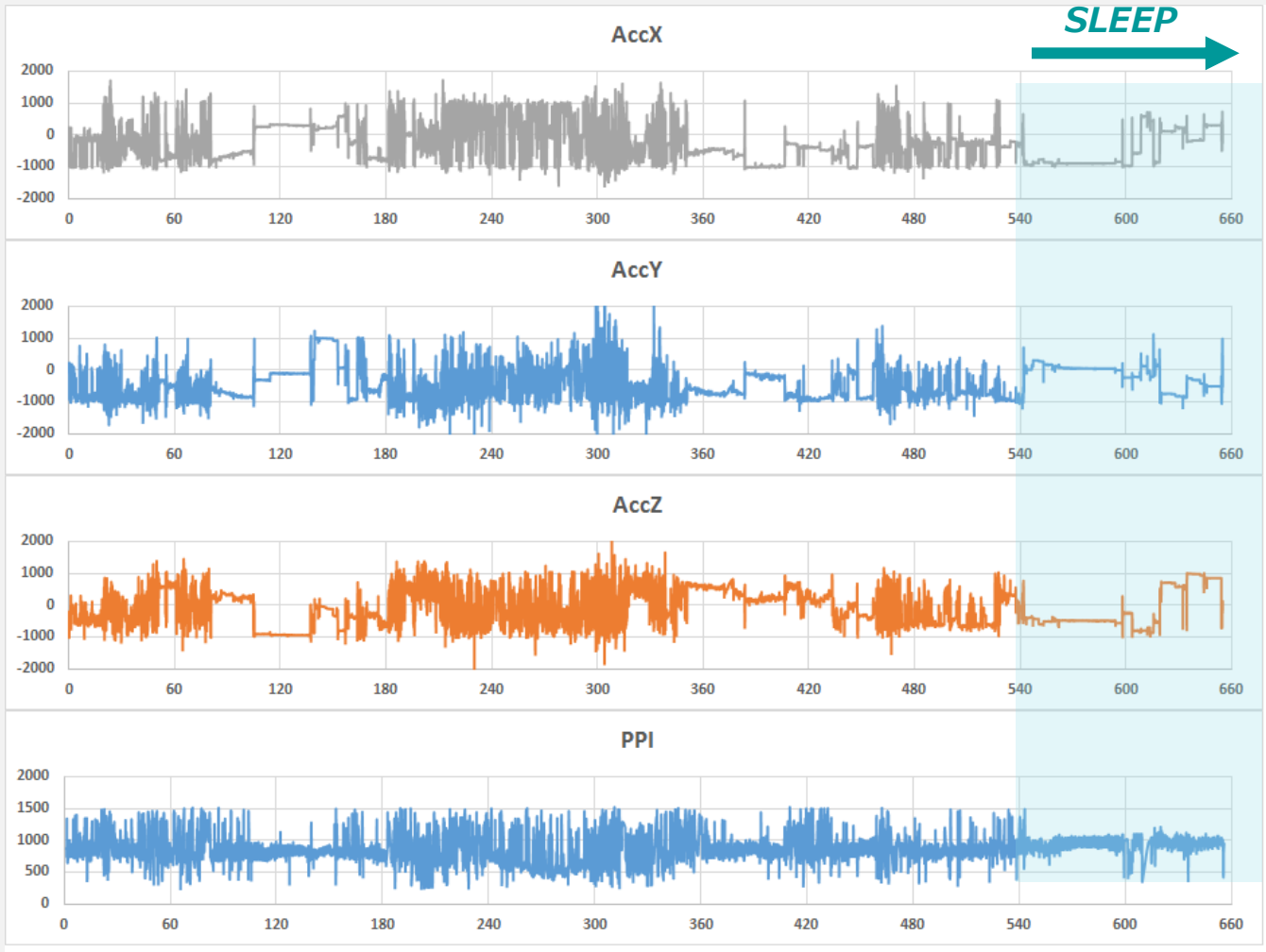


- Steps
- EE(Kcal)
- Activity type
- Body movement
- Stage
- Skin temperature
- Pulse rate
- UV
- Volume of conversation
- Acceleration
- X
- Y
- Z
- PPI



活動量や脈拍間隔を可視化

- ✓ 脈波測定は光電式（反射式）：約20Hz
- ✓ 温度：デジタル半導体温度センサー
- ✓ 消費カロリーは加速度から推定

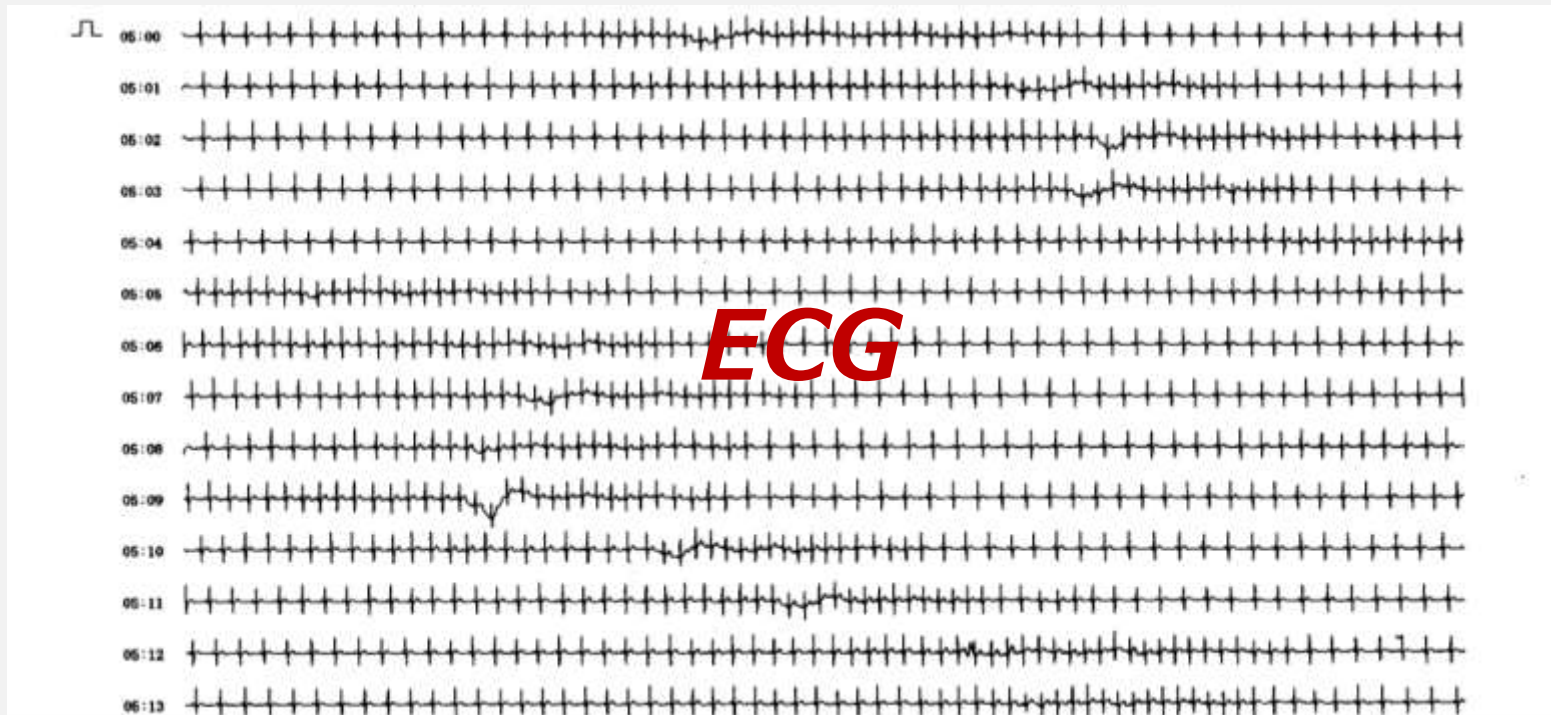


Visualizing Acceleration (x,y,z) and PPI

$$\textit{Synthetic Acceleration} = \sqrt{(X^2 + Y^2 + Z^2)}$$

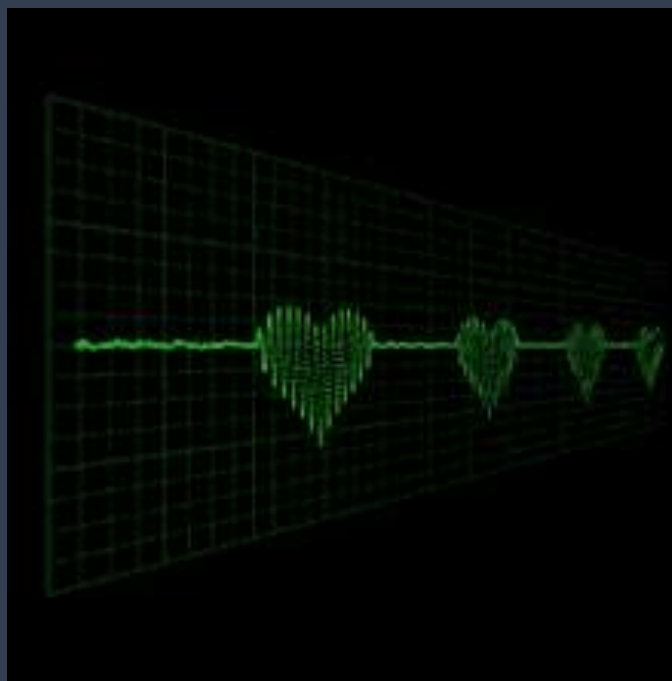
長時間計測

24時間を超えるウェアラブルモニタリング

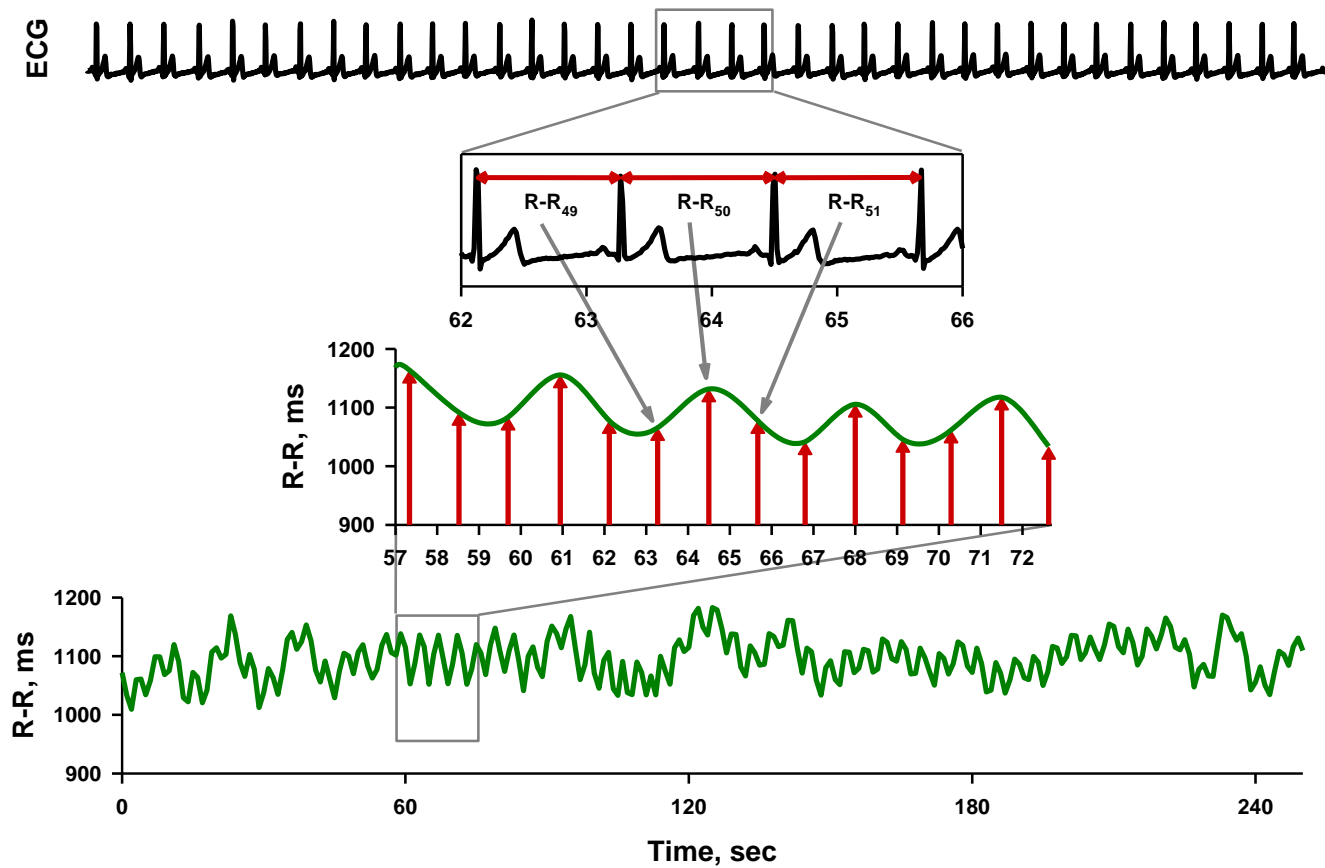


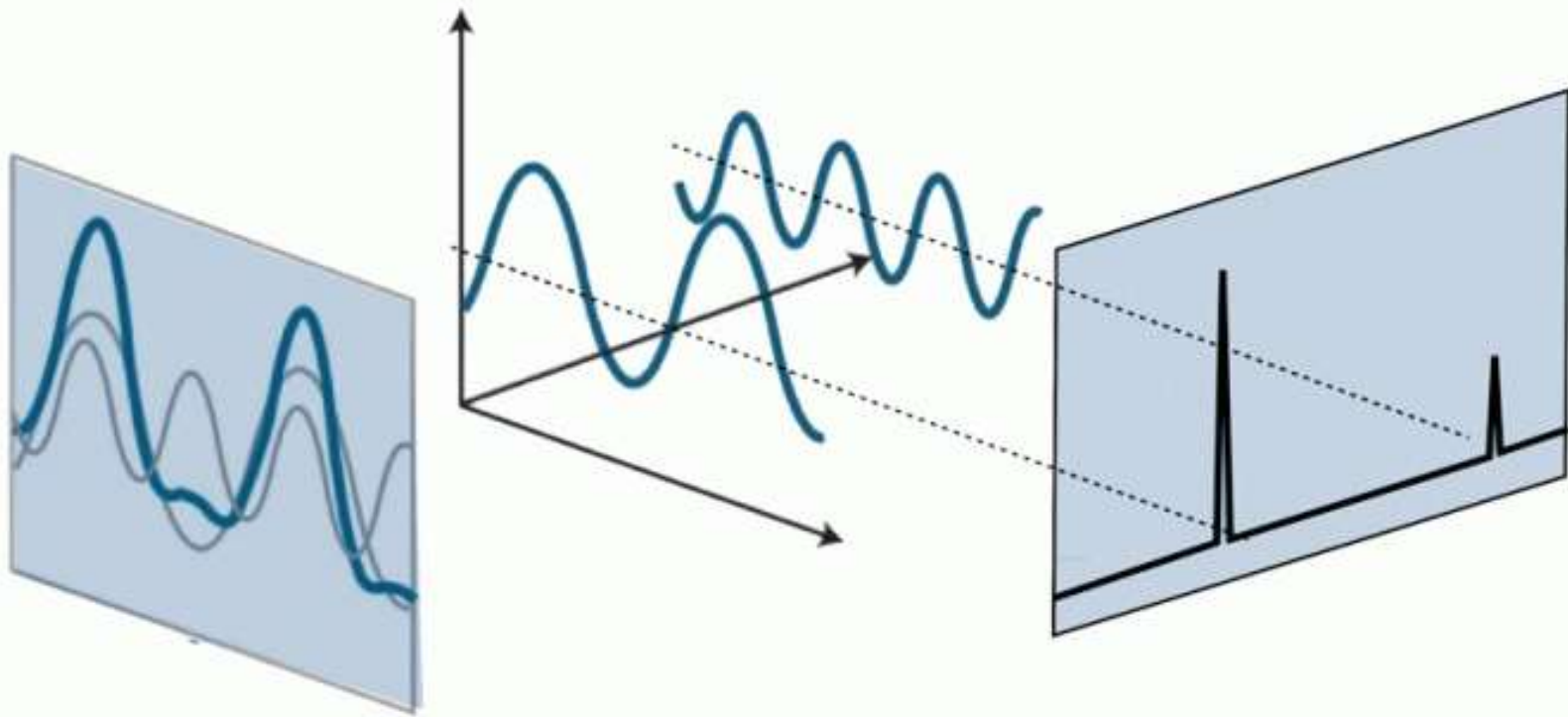
3. 生体信号の応用

健康管理からリハビリテーションまで



心拍変動解析



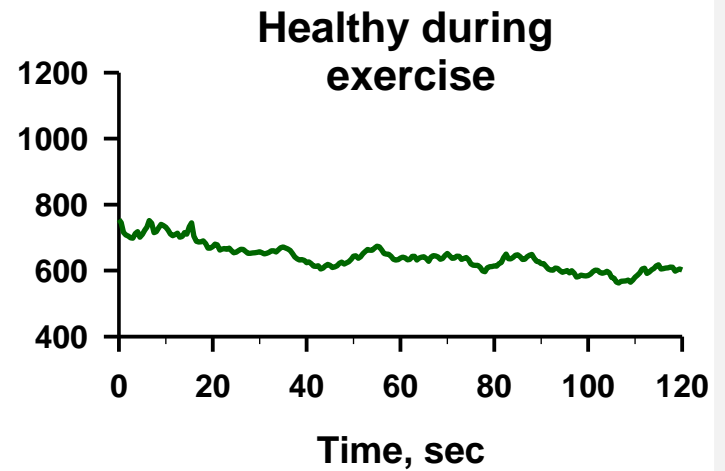
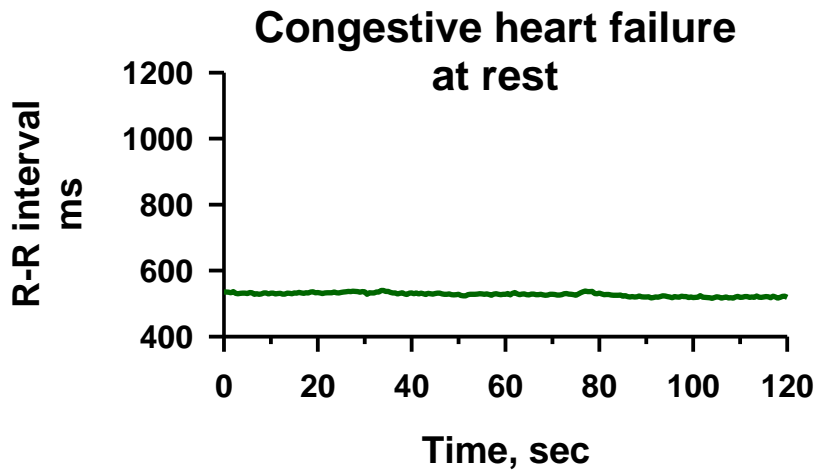
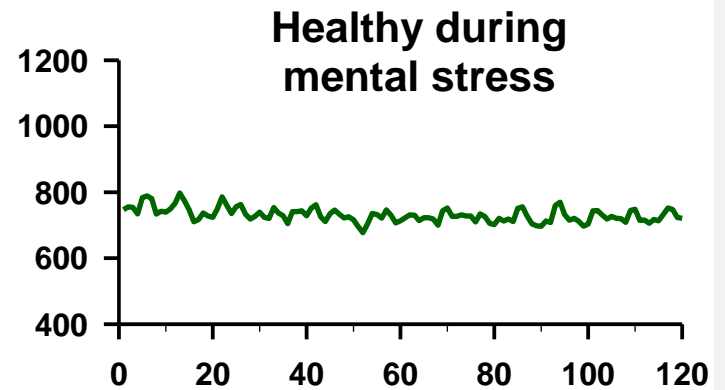
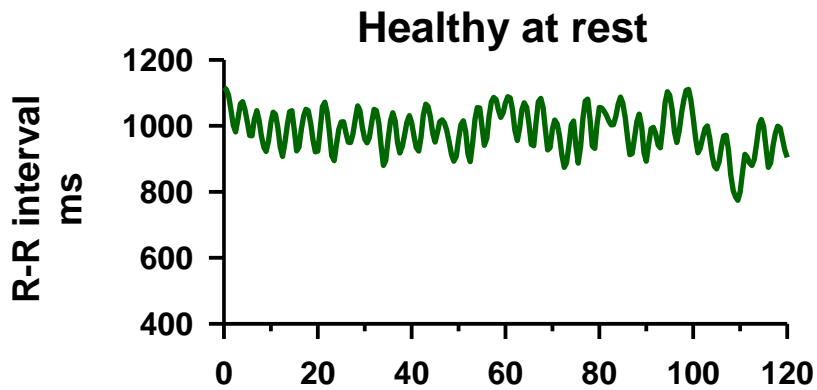


Time Domain
 $s(t)$

FT
→

Frequency Domain
 $S(\omega)$

さまざまな心拍変動

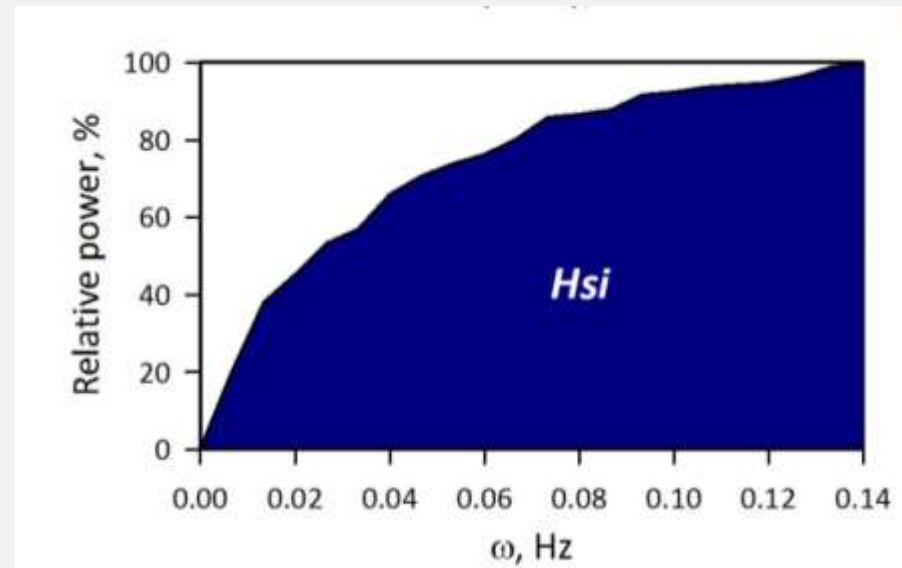
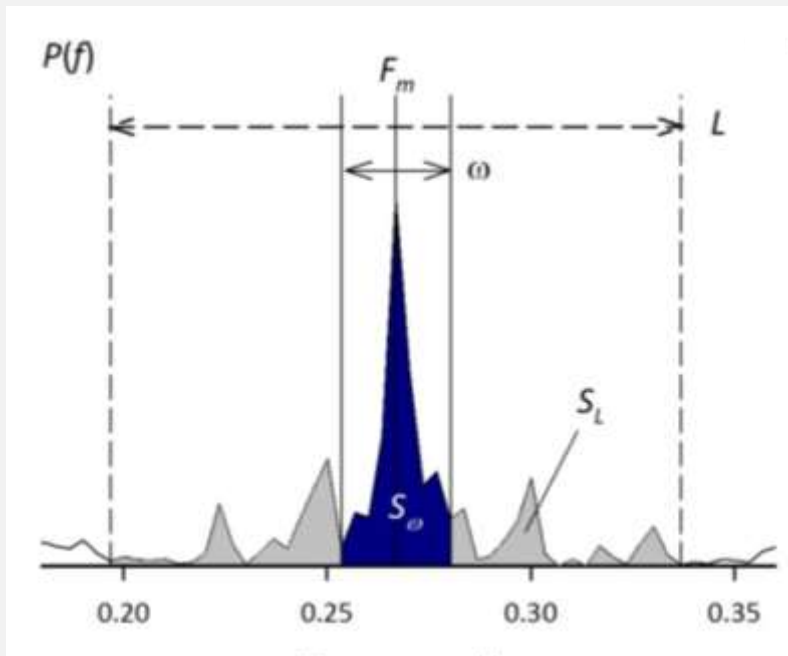




Sleeping peacefully? (すやすや眠る?)

寝落ちしたのはいつ？

Sleep Quality



Hayano J, Yuda E et al. Novel Sleep Indicator of Heart Rate Variability: Power Concentration Index of High-Frequency Component. 39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2017

高周波成分のパワー集中度

HF power concentration index: Hsi

F_m (Hz): Frequency of the highest peak in HF band (0.15-0.45 Hz)

$S(L)$: Total power between $F_m \pm L/2$ ($L = 0.14$ Hz)

$S(\omega)$: Total power between $F_m \pm \omega/2$ ($0 < \omega < L$)

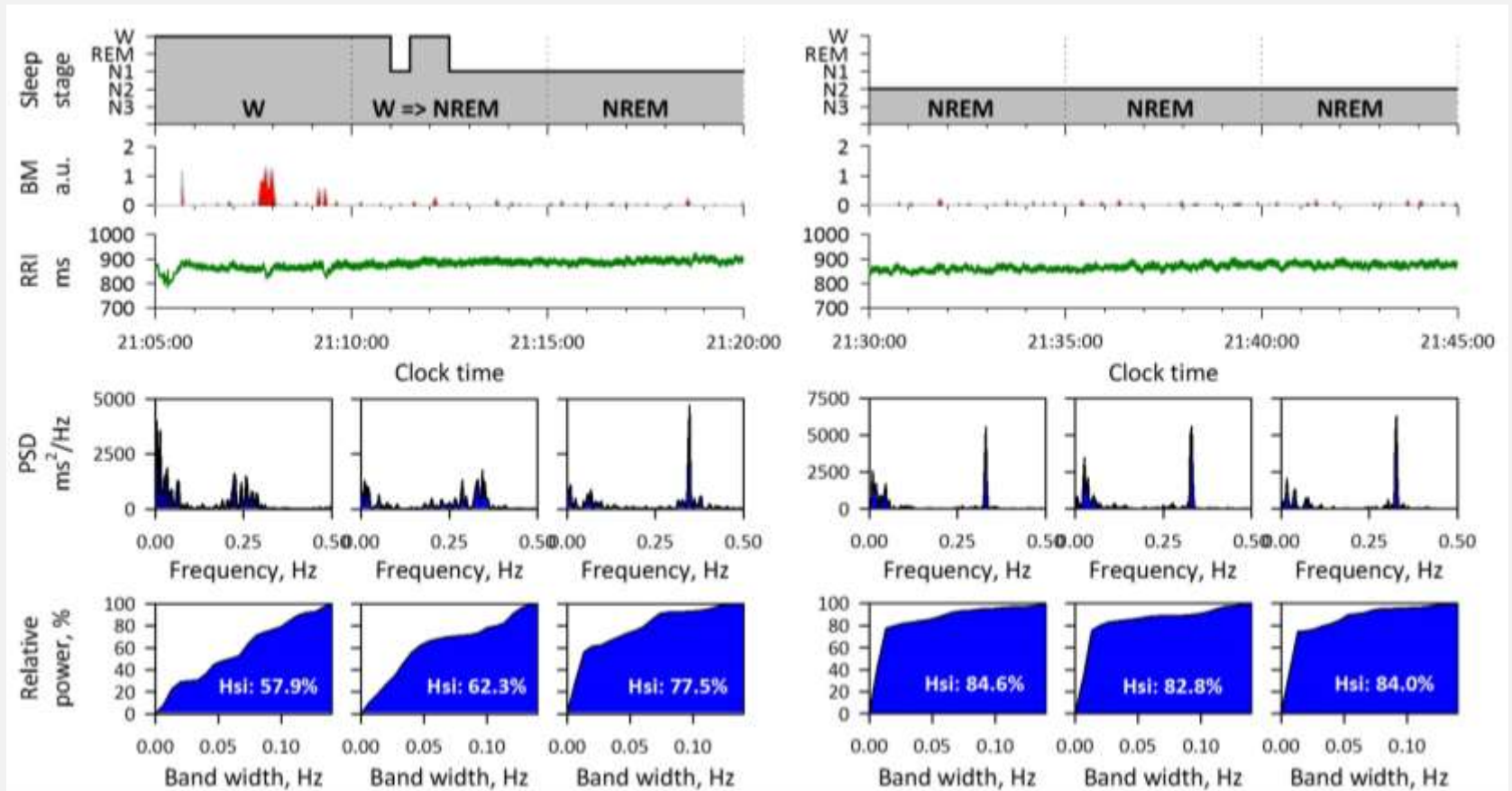
$R(\omega)$: Ratio of $S(\omega)$ to $S(L)$

$$R(\omega) = 100 \times (S(\omega) / S(L))$$

Hsi: AUC of $R(\omega)$

$$\text{Hsi}(\%) = \frac{1}{L} \int_0^L R(\omega) d\omega$$

入眠判定

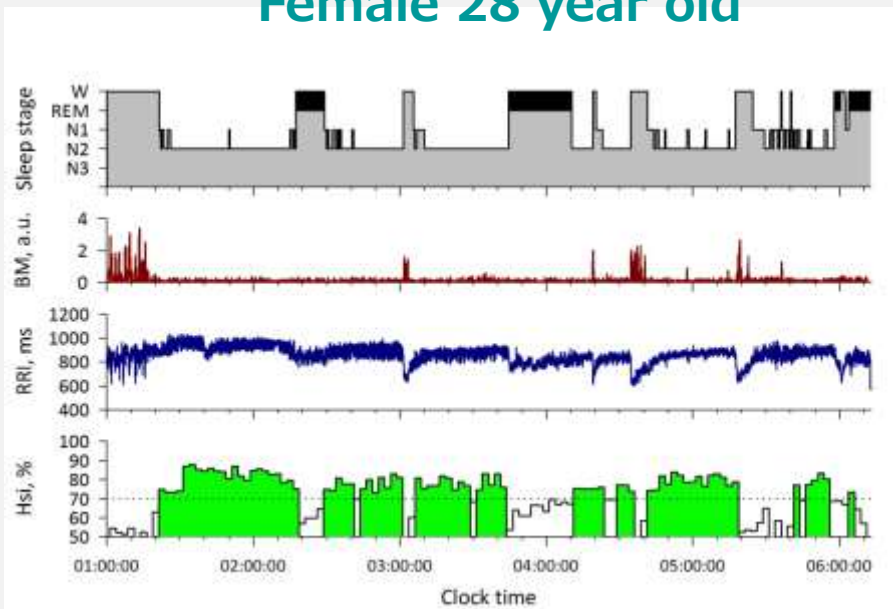


入眠時およびNREM睡眠時のHsi

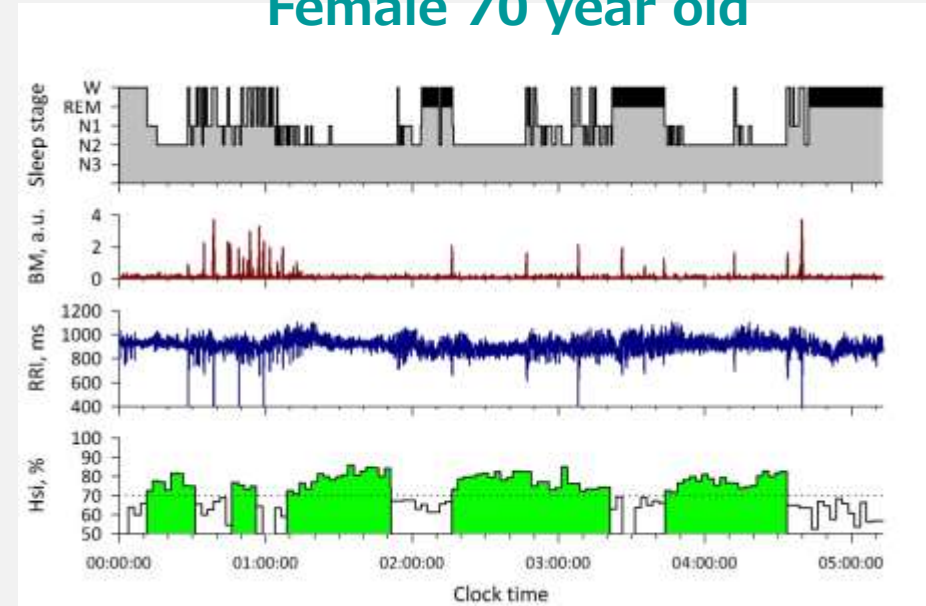
Hayano J, Yuda E et al. *Appl Sci* .2020, 10(9), 3336.

ノンレム睡眠のバイオマーカー

Female 28 year old



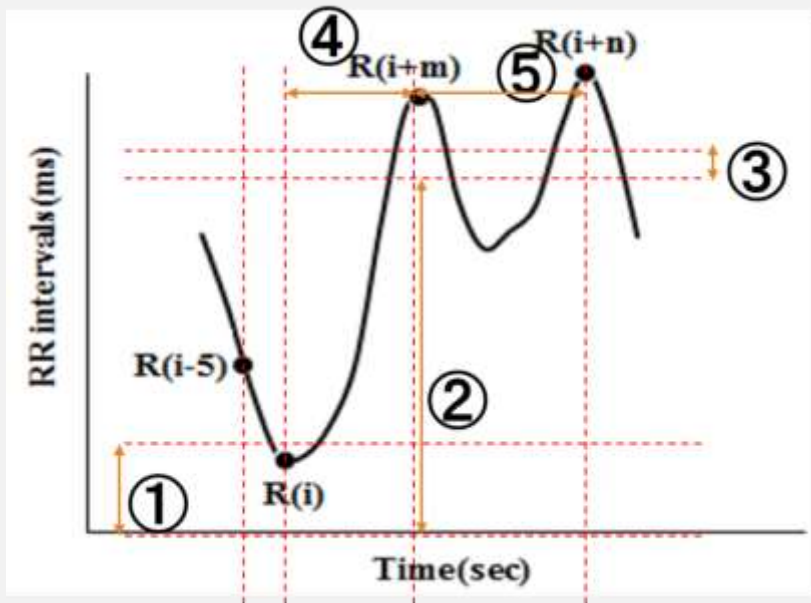
Female 70 year old



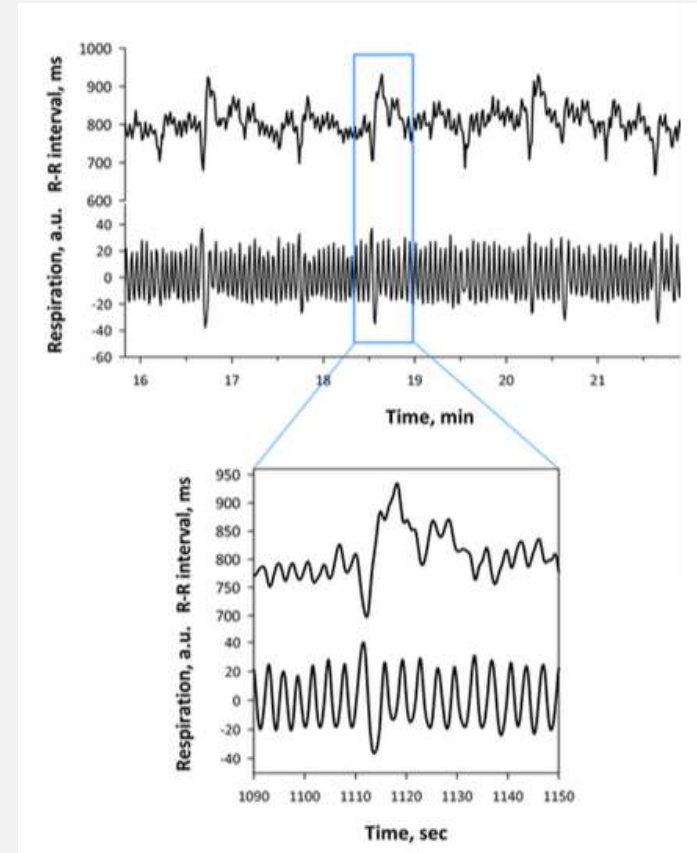
被験者のヒプノグラムの一例。BM,RR間隔, Hsi.
緑色の部分はHsiから推定されるNREM睡眠（70%以上）。

特許第6829880号 入眠評価システム, プログラムおよび記憶媒体

ドライバーの眠気検出

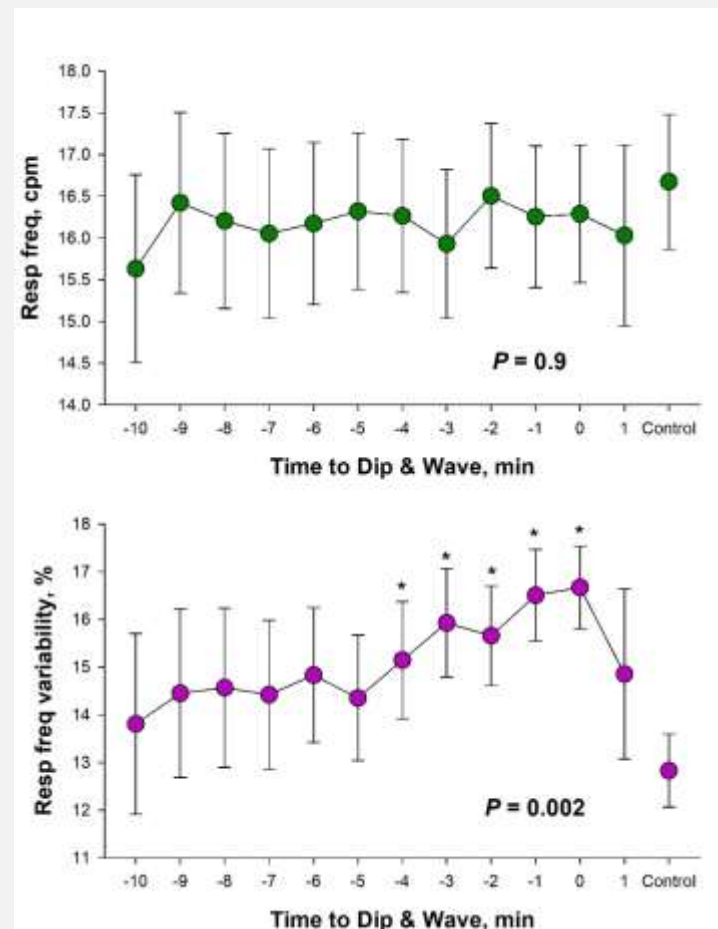
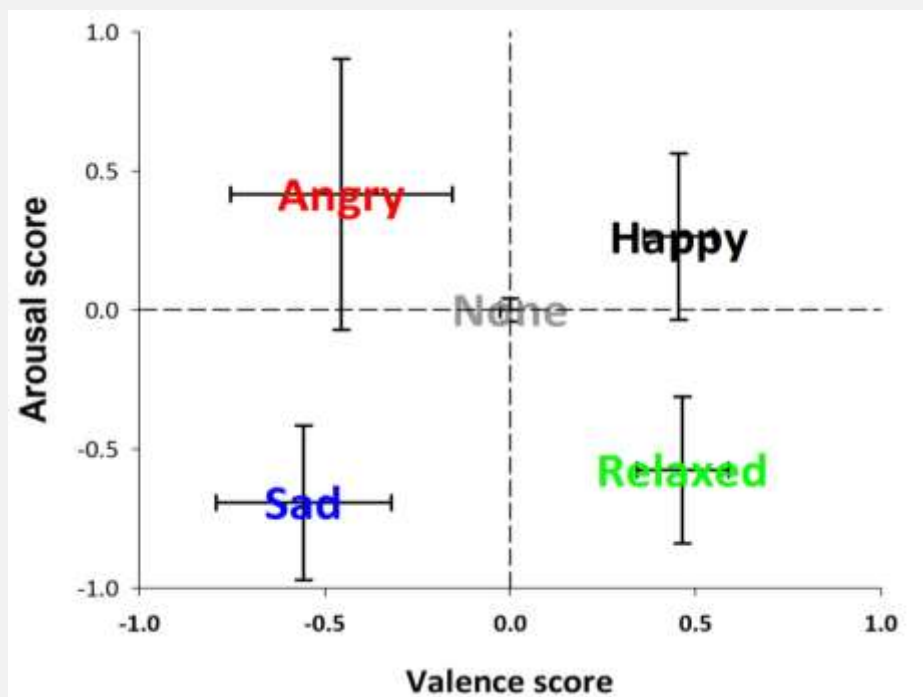


Dip & Waves



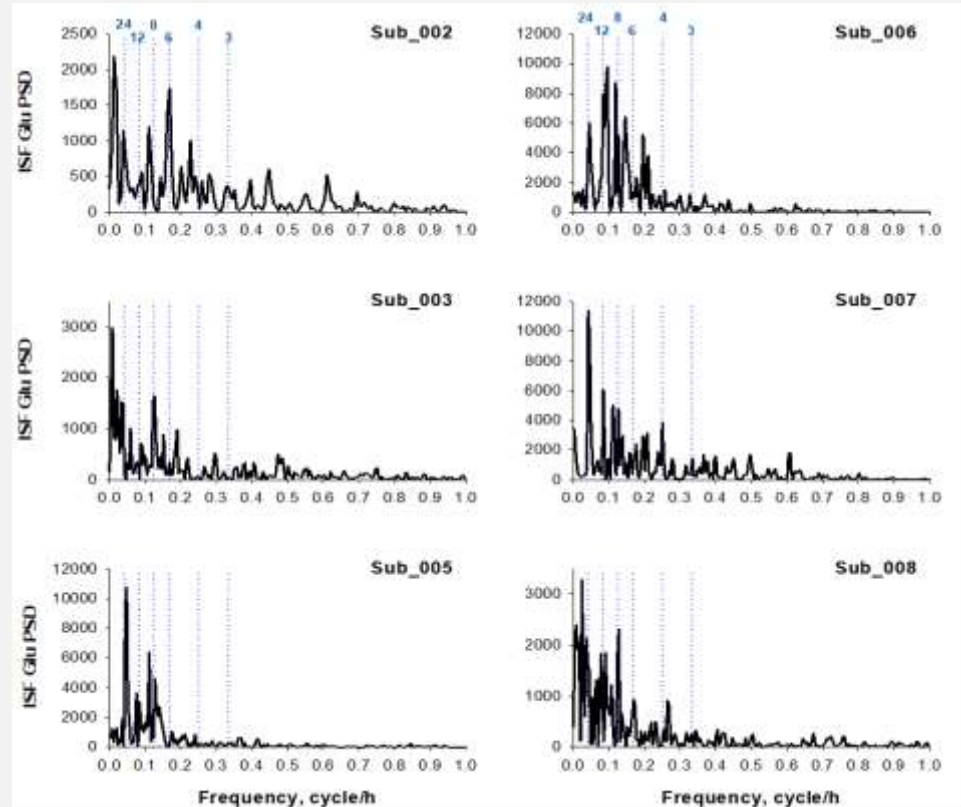
湯田恵美ほか. 運転中の眠気シグナル, 心拍変動のDip & Waveの発生機序: 覚醒維持検査時のポリグラフによる検討. 自動車技術会2018年秋季大会

情動と集中力



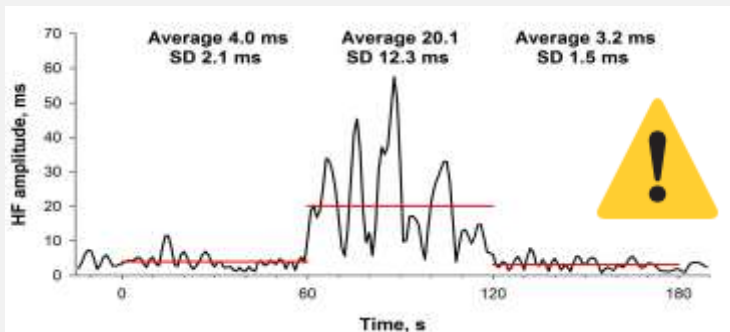
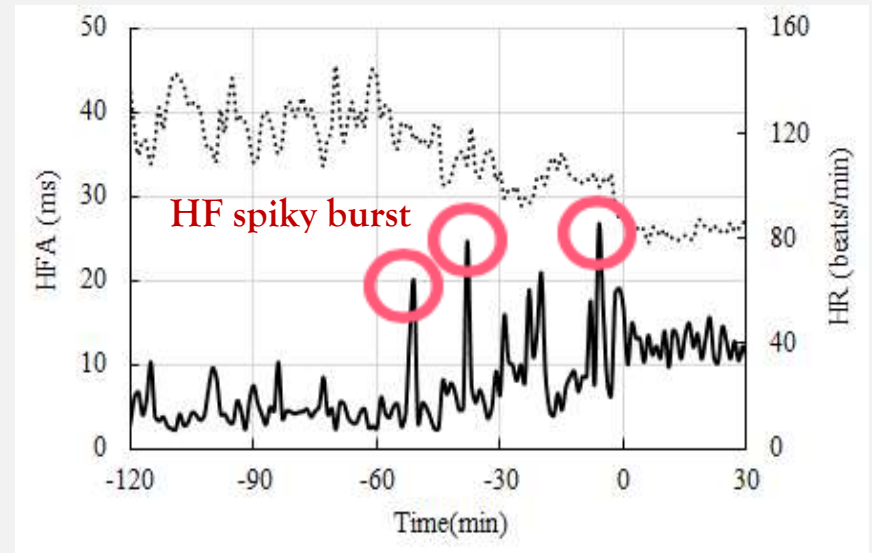
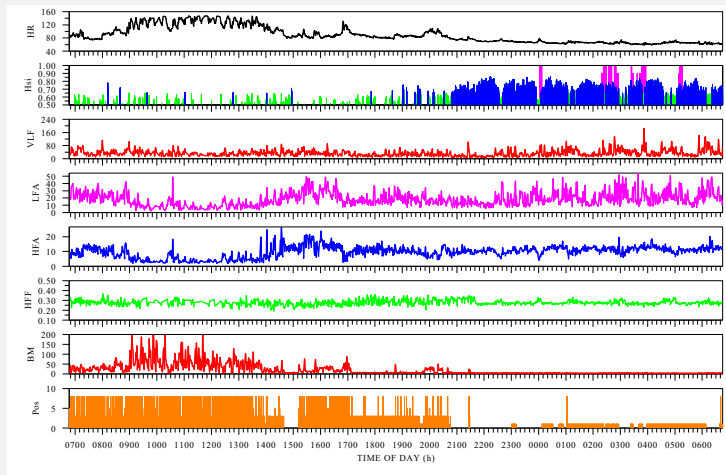
特許第7058383号 情動判定装置、情動判定方法、及びプログラム

間質液グルコース



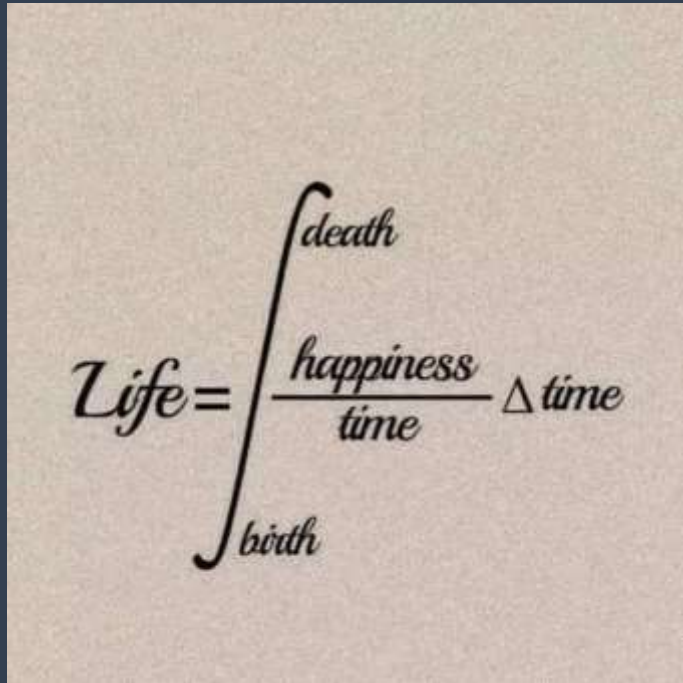
Yuda E et al. Spectral Structure and Nonlinear Dynamics Properties of Long-Term Interstitial Fluid Glucose, International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics (IJBBB) 10:3, 137-143, 2020.

熱中症の検出



Yuda E et al. Heart Rate Prodromal Sign of Heat Stroke: Spiky Burst of High Frequency Component, International Conference on Environment and Bio-Engineering (ICEBE) 2019

4. おわりに


$$\text{Life} = \int_{\text{birth}}^{\text{death}} \frac{\text{happiness}}{\text{time}} \Delta \text{time}$$

- ✓ 予防からリハビリテーションまで、生体信号処理とウェアラブルセンサーを活用することができる
- ✓ ヒトの状態を**評価**、**推定**、**予測**する
- ✓ ヒトの**健康と安全**を守るテクノロジーを生み出す



ありがとう
ございました 😊