

長距離走選手のコンディショニングへの  
スマートウェア活用の試み

岡野 真裕<sup>1,2)</sup> 高尾 憲司<sup>2,3)</sup> 伊坂 忠夫<sup>2,4)</sup>

=====  
**An attempt to apply smartwear for physical conditioning  
in long-distance runners.**

**Masahiro Okano<sup>1,2)</sup>, Kenji Takao<sup>2,3)</sup> and Tadao Isaka<sup>2,4)</sup>**

The objective of this study was to explore the possibility of sleep conditioning using a wearable device, so we asked the participants to simultaneously measure their heart rate variability and body movements during sleep. Although discomfort caused by wearing the device and slippage of the electrodes had to be addressed, the data indicated the individuality of each athlete. The next challenge is how to summarize this information and find effective indices for condition management.

Keywords; conditioning; physical assessment; recovery; smartwear; heart-rate variability; tailor-made training

E-mail: mshrokn@boar.kobe-u.ac.jp (M. Okano)

=====  
<sup>1)</sup>神戸大学大学院人間発達環境学研究科、<sup>2)</sup>立命館大学スポーツ健康科学総合研究所

<sup>3)</sup>株式会社ブルーミング、<sup>4)</sup>立命館大学スポーツ健康科学部

<sup>1)</sup>Graduate School of Human and Development and Environment, Kobe University  
Kobe-shi, Hyogo, 650-8501, Japan

<sup>2)</sup>Institute of Advanced Research for Sport and Health Science, Ritsumeikan University  
Kusatsu-shi, Shiga 525-8577, Japan

<sup>3)</sup>Blooming, Co., Ltd., Kyo-tanabe-shi, Kyoto, 310-0357, Japan

<sup>4)</sup>Faculty of Sport and Health Science, Ritsumeikan University  
Kusatsu-shi, Shiga 525-8577, Japan

## 1. 背景

大学生の長距離走選手は朝5時台といった早い時間から練習を始めることが多く、その後夕方まで授業を受け、場合によってはその後さらに練習を行うことが多い。このような生活の選手達は、実態としてどれだけよく眠り、疲労を回復できているのだろうか。

ここ10年ほどの間に、心拍や体動を容易に計測できる市販のウェアラブルデバイスが充実してきた。こうした製品をアスリートに利用してもらい、トレーニングの進展による循環器系・自律神経機能の変化や、心拍変動関連指標の変化に応じた負荷調節によるトレーニング効率の変化などを検討する研究も多く行われるようになってきた (Manresa-Rocamora et al. 2021)。しかし、多くの研究では心拍計測のタイミングは、起床時や運動の前後の数分間というタイミングに限られている。ウェアラブル、つまり衣服と同じように着用していただけるデバイスの強みを活かした、何十分、何時間という単位で取得した心拍データから情報を引き出すコンディショニング研究は、いまだ発展途上と言える。

一方で、非アスリートの被験者を対象に、睡眠時の心拍変動を市販のウェアラブルデバイスで計測し、睡眠の質の評価につなげようとする研究は徐々に進んできている。市販のウェアラブルデバイスによる評価は、睡眠障害の検査などで用いられるポリグラフ装置と比べれば正確性が劣るものの、自然な生活環境下での連続的・縦断的計測により、睡眠の状況の把握や改善には十分役立てられる可能性が指摘されている (Haghighyegh et al. 2019)。ただし、市販の製品ではどのような信号処理や判別アルゴリズムが用いられているのかが公開されておらず、第三者による検証もほとんど行われていない。そのため、研究や診断といった用途での利用には注意が必要という指摘もある (Rentz, Ulman, and Galster 2021)。

本研究では大学生長距離走選手に、睡眠中の心拍変動や体動に関するデータ計測を、ウェアラブル心拍・加速度計を用いて行ってもらった。残念ながら、2020年からの新型コロナウイルス感染症の流行や、2021年にはテクニカルスタッフを兼ねた第1著者の機関異動があったため、サポートの機会に限られ、クオリティの高いデータを十分に得ることや、心拍・体動のデータと主観的なコンディションとの間に明確な関連を見いだすことはできなかった。それでも、どのような心拍・体動データが取得され、どのように可視化するのかについて報告することは、参考データとして無価値ではないと思われる。

## 2. 目的

本研究では、大学生長距離走選手がウェアラブルデバイスを用いて睡眠時に計測した心拍・体動データを可視化した例を示し、今後どのような研究・応用が考えられるかについて議論する。

## 3. 方法

### 参加者

立命館大学陸上競技部男子長距離パートに所属する選手18名が計測に参加した。参加者の年齢と競技歴の平均値±標準偏差は、1回目の計測開始時点(2020年3月5日)では20.87±0.74歳と7.20±2.43年、2回目の計測開始時点(2021年3月5日)では20.86±0.85歳と7.25±2.01年であった。なお引退や入学により参加者には入れ替わりがあった:1回目の計測には15人、2回目の計測には12人が参加し、両方に参加したのは9人であった。その9人の年齢と競技歴の平均値±標準偏差は、21.21±0.60歳と7.1±2.28年であった(ともに2回目計測開始時点)。参加者には文書と口頭で計測の目的、方法、危険性およびデータの管理方法等について十分に説明した上で、書面によるインフォームドコンセントと計測への参加の同意を取得した。本研究は、立命館大学人を対象とする医学系研究倫

理審査委員会および神戸大学大学院人間発達環境学研究科における人を直接の対象とする研究審査の承認を得た後に実施した（承認番号：それぞれBKC-人医-2019-053-1および511-2）。

#### 参加者への依頼内容および装置

2020年3月5日および2021年3月5日から、1ヶ月間（4月5日まで）にわたって毎日の主観的コンディション評価、および可能な限りの睡眠時の心拍計測を依頼した（主観的コンディション評価については別記事で報告する：岡野, 高尾, and 伊坂, 2024）。これらの期間は、部として重視している大会や記録会に差し支えないよう、そのような機会がない時期として選ばれた。

睡眠時の心拍RR間隔および加速度の取得には、ウェアラブル心拍・加速度計（WHS-1, ユニオンツール, Japan）を用いた。加速度の記録は、対応する心拍RR間隔の時間内における移動平均値が記録されるモードとした。心拍・加速度計の装着には、WHS-1対応心拍計測用スマートウェア（COCOMI, 東洋紡, Japan：モニター評価用試作品を使用）およびWHS-1対応布ベルト電極（ユニオンツール, Japan）を用いた。可能な範囲で就寝時に装着・計測開始し、起床後に取り外し、電源を落とすようお願いした。電極内蔵のスマートウェアおよびベルト電極は3着と3本ずつ渡し、装着感の良い方を選んでもらうようにした。

#### データの可視化

睡眠時の心拍・加速度計データについては、次のようにして可視化した。まず心拍RR間隔について、10分間の移動データ窓において中央値と中央絶対偏差（Median Absolute Deviation; MAD）を算出し、中央値 $\pm 3 \times \text{MAD}$ の範囲から逸脱するデータを外れ値と見なし除外した（Hampelフィルター：Sumi et al. 2020）。さらに、計測の目的上、心拍計の装着を参加者自身が行うことになり、かつ睡眠中でモニタリングも不可能なことから、心拍RR間隔の信号の質を判断するため、スペクトル解析を行った。同じ10分間の移動データ窓において、0.004~0.5 Hzの範囲のパワースペクトルを、サンプリング間隔が等間隔でない信号のためのスペクトル解析法であるLomb-Scargle法により推定した。さらに自律神経バランスの推移の指標として、同じ10分間の移動データ窓において0.04~0.15 Hz帯（low frequency: LF帯）と0.15~0.4 Hz帯（high frequency: HF帯）のパワースペクトルの積分値の比率（LF/HF）を算出した（山地 2013）。加速度データは、各記録時点における前額-水平軸方向、矢状-水平軸方向、垂直軸方向の加速度値をそれぞれ $a_x(i), a_y(i), a_z(i)$ （単位：重力加速度G）として、次式により活動度時系列（ $activity(i)$ ）に変換した：

$$activity(i) = \sqrt{a_x^2(i) + a_y^2(i) + a_z^2(i)} - 1$$

#### 4. 結果

Figure 1~3に、心拍計から取得した睡眠時の時系列データを可視化したものの例を示した。上段には外れ値を除外した心拍RR間隔（ms）を瞬時心拍数（beat per minute: bpm）に換算した時系列と、活動度の時系列を示した。また、中段には心拍RR間隔のパワースペクトル密度の時間変化（スペクトログラム）を、下段にはLF/HF比の推移を示した。

3つの図に共通して、上段の心拍変動波形からは、睡眠中の心拍変動には大きく揺らぐ時間帯と小さく揺らぐ時間帯があったことがわかる。ただし、その時間帯と体動の大きな時間帯との間の関係は明確なものではなかった。中段のスペクトログラムを見ると、0.1 Hz以下の周波数帯と、0.2~0.3 Hz程度の周波数帯に持続的なピークがあったことがわかる。また、心拍変動の小さな時間帯ほどそのピークは明確であった。下段のLF/HF比の推移を見ると、心拍変動が大きく上方に揺らぐの

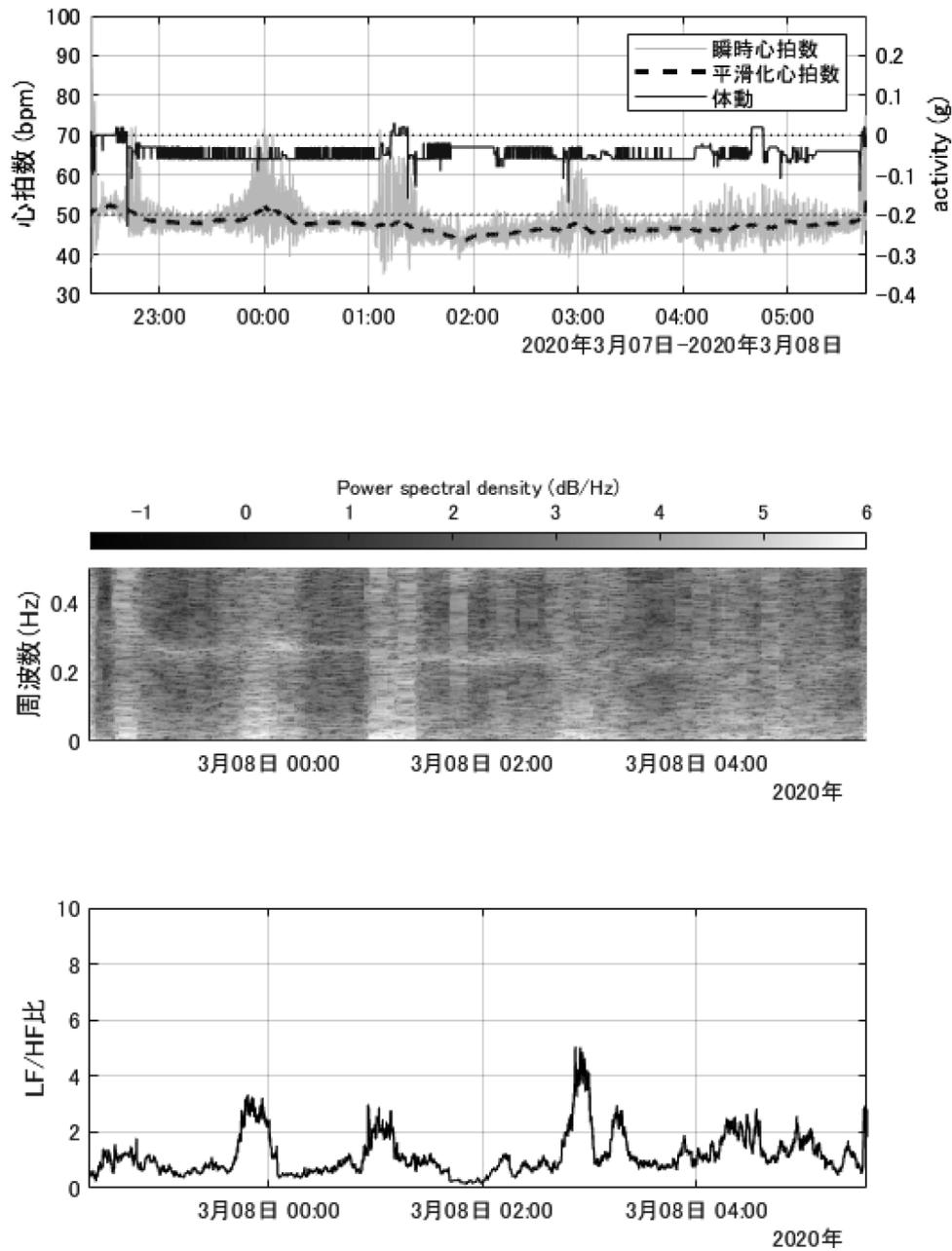


Figure 1 可視化した心拍変動・体動時系列の一例。上段は心拍数と体動の推移、中段は心拍RR間隔のパワースペクトルの推移、下段はLF/HF比の推移を表す。

とおおよそ同期して、LF/HF比が大きくなっていったことがわかる。

ただし、寝返りなどの姿勢変化の際に電極が皮膚から離れたものと思われるアーチファクトが目立つ参加者や、電極が気になって寝づらかったため計測を断念した参加者もいたため、計測期間中10日以上にわたってアーチファクトが目立たないデータの得られた参加者は2020年で5名、2021年で3名に留まった。

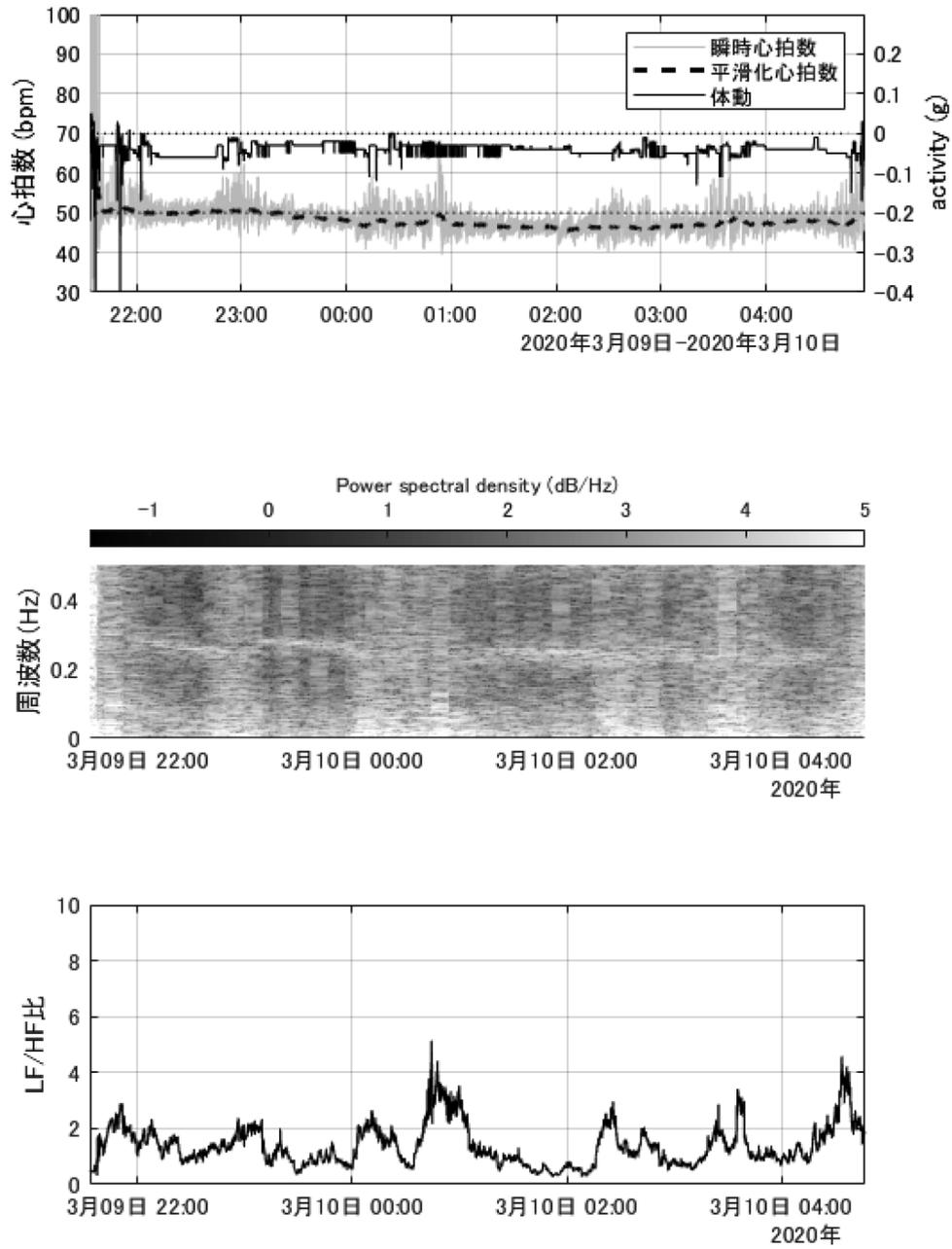


Figure 2 可視化した心拍変動・体動時系列の一例 (Figure 6と同じ人の別日のもの)

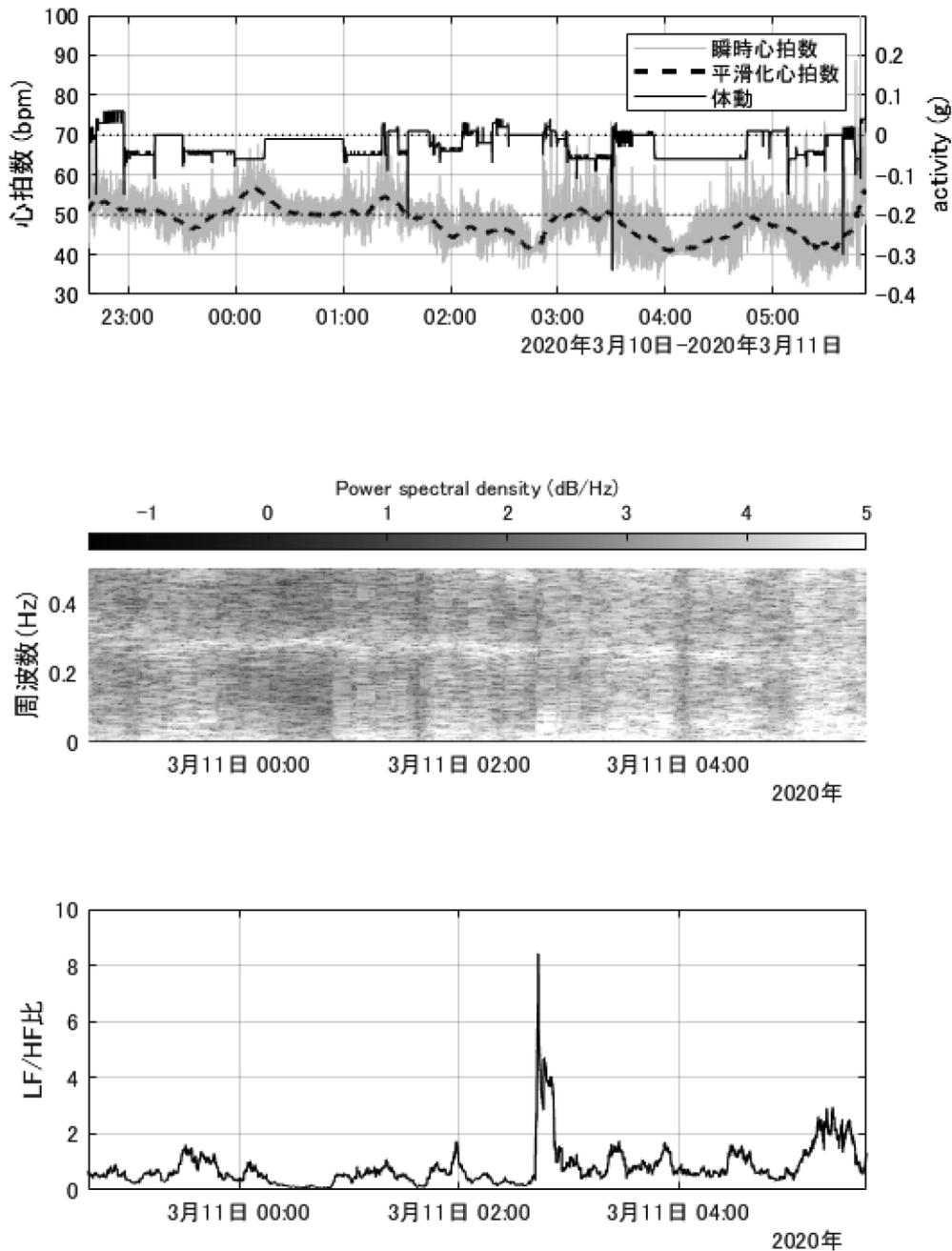


Figure 3 可視化した心拍変動・体動時系列の一例 (Figure 6・7とは別の人のもの)

## 5. 考察

長距離走選手の安静時心拍数は、非アスリートと比べると大きく変動することが知られている (Goldsmith et al. 1992; Aubert, Seps, and Beckers 2003; 山地 2013)。瞬時心拍数の変動が生理的なものか体動や接触不良に由来するアーチファクトかを判断するため、スペクトル解析を行った。その結果、明らかに接触不良によるアーチファクトと判断できる局面 (Figure 2上段の最初の方に見られるような、心拍数の中央値が50程度のところで瞬間的に100以上まで振れる箇所) 以外では、0.1Hz以下の周波数帯と0.2~0.3Hz程度の周波数帯のピークという、多くの先行研究で報告されている特徴が持続的に観察された。このことから、Figure 1上段の0時頃、1時過ぎ、3時頃といった箇所で観

察されたような程度の変動は、生理的なものであると判断できそうであった。なお、この0.2~0.3 Hz帯のピークは、呼吸に伴って生じる心拍変動に対応するピークと考えられる（山地 2013）。

心拍変動のスペクトルの解釈については様々な議論があるものの、0.04~0.15 HzのLF帯のパワーの増大は交感神経活動の増大と、0.15~0.4 HzのHF帯のパワーの増大は副交感神経活動の増大と関係しているとされ、LF/HFは交感神経活動が優位になっている度合いの指標として用いられている（山地 2013）。結果でも指摘したように、心拍変動波形の振幅が大きくなる時間帯には、およそ同期してLF/HFも上昇する傾向が見られた。移動中央値と比べると心拍数が上昇する方向へのゆらぎが目立っており、特にFigure 1・2では1時間半~2時間程度の周期でそのような局面が生じている。心拍変動解析からは、簡易的にはあるものの、睡眠の深さの推移を判別できるとする報告が近年増えてきている（Haghighyegh et al. 2019）。このことから、これらの時間帯は一時的に眠りが浅くなり、寝返りを打つなど身体が動いている時間帯に対応している可能性が考えられる。ただ、睡眠に深さの変化があるという事実や、Figure 1~3からもわかるように、睡眠中の心拍変動は定常なゆらぎとは言えない。定常でないゆらぎが持つ情報をどう要約すればコンディショニングに有効な指標として用いることができるかという問いは、難題である。しかし、こうした情報を睡眠の質の評価に利用できるようになれば、コンディショニングの管理においても有効な指標となる可能性が考えられる。

本研究では限られたデータしか得られなかったものの、心拍計測で得られた情報を睡眠の質の評価に利用できるようになれば、コンディショニングの管理においても有効な指標となる可能性がある。非定常なゆらぎをどのように要約するかといった課題や、寝返りなどで電極がずれるなどのアーチファクトも無視できない中で、その指標の頑健性をいかに担保するかという課題、さらには睡眠の邪魔にならない装着方法の検討といった課題もある。一方で、Figure 1~3を見比べれば、心拍数の振る舞いのみならず、呼吸に対応する周波数ピークの場所や、LF/HFの値の範囲などにはある程度の個性があるようにも見える。トレーニングにおける個性性をより高めるためにこれらの情報を利用するには、一人ひとりについて十分なデータを手軽に蓄積できるようになり、そこから頑健な情報を引き出すための探索的研究が必要である。

## 6. 結論

本研究では、ウェアラブルデバイスを用いた睡眠コンディショニングの可能性を探るため、長距離走選手に睡眠中の心拍変動および体動の計測を行ってもらった。装着による不快感や寝返りなどによる電極のずれといったアーチファクト対策が課題となるが、それらをクリアしたデータには選手ごとの個性があった。こうした情報をいかに要約し、コンディショニングの管理において有効な指標を見いだすかが、今後の課題である。

## 7. 参考文献

- Aubert, André E., Bert Seps, and Frank Beckers. 2003. "Heart Rate Variability in Athletes." *Sports Medicine* 33 (12): 889-919.
- Goldsmith, Rochelle L., J. Thomas Bigger, Richard C. Steinman, and Joseph L. Fleiss. 1992. "Comparison of 24-Hour Parasympathetic Activity in Endurance-Trained and Untrained Young Men." *Journal of the American College of Cardiology* 20 (3): 552-58.
- Haghighyegh, Shahab, Sepideh Khoshnevis, Michael H. Smolensky, Kenneth R. Diller, and Richard J. Castriotta. 2019. "Accuracy of Wristband Fitbit Models in Assessing Sleep: Systematic Review and Meta-Analysis." *Journal of Medical Internet Research* 21 (11). <https://doi.org/10.2196/16273>.

- Manresa-Rocamora, Agustín, Andrew A. Flatt, Antonio Casanova-Lizón, Juan A. Ballester-Ferrer, José M. Sarabia, Francisco J. Vera-Garcia, and Manuel Moya-Ramón. 2021. “Heart Rate-Based Indices to Detect Parasympathetic Hyperactivity in Functionally Overreached Athletes. A Meta-Analysis.” *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 31 (6): 1164–82.
- 岡野真裕, 高尾憲司, and 伊坂忠夫. 2024. “長距離走選手の身体コンディショニングにおける主観評価の個人差.” 立命館大学スポーツ健康科学総合研究所紀要 1: in press.
- Rentz, Lauren E., Hana K. Ulman, and Scott M. Galster. 2021. “Deconstructing Commercial Wearable Technology: Contributions toward Accurate and Free-Living Monitoring of Sleep.” *Sensors* 21 (15): 1–26.
- Sumi, Yuki Yoshi, Chikao Nakayama, Hiroshi Kadotani, Masahiro Matsuo, Yuji Ozeki, Takafumi Kinoshita, Yuki Goto, et al. 2020. “Resting Heart Rate Variability Is Associated With Subsequent Orthostatic Hypotension: Comparison Between Healthy Older People and Patients With Rapid Eye Movement Sleep Behavior Disorder.” *Frontiers in Neurology* 11 (November): 1–15.
- 山地啓司. 2013. *こころとからだを知る心拍数*. 東京: 杏林書院.