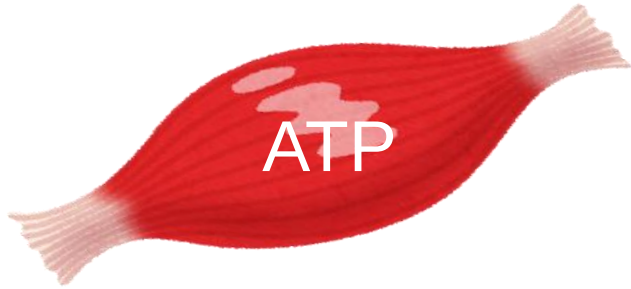


モバイル型運動強度解析システムで トレーニング現場での持久性能を判定

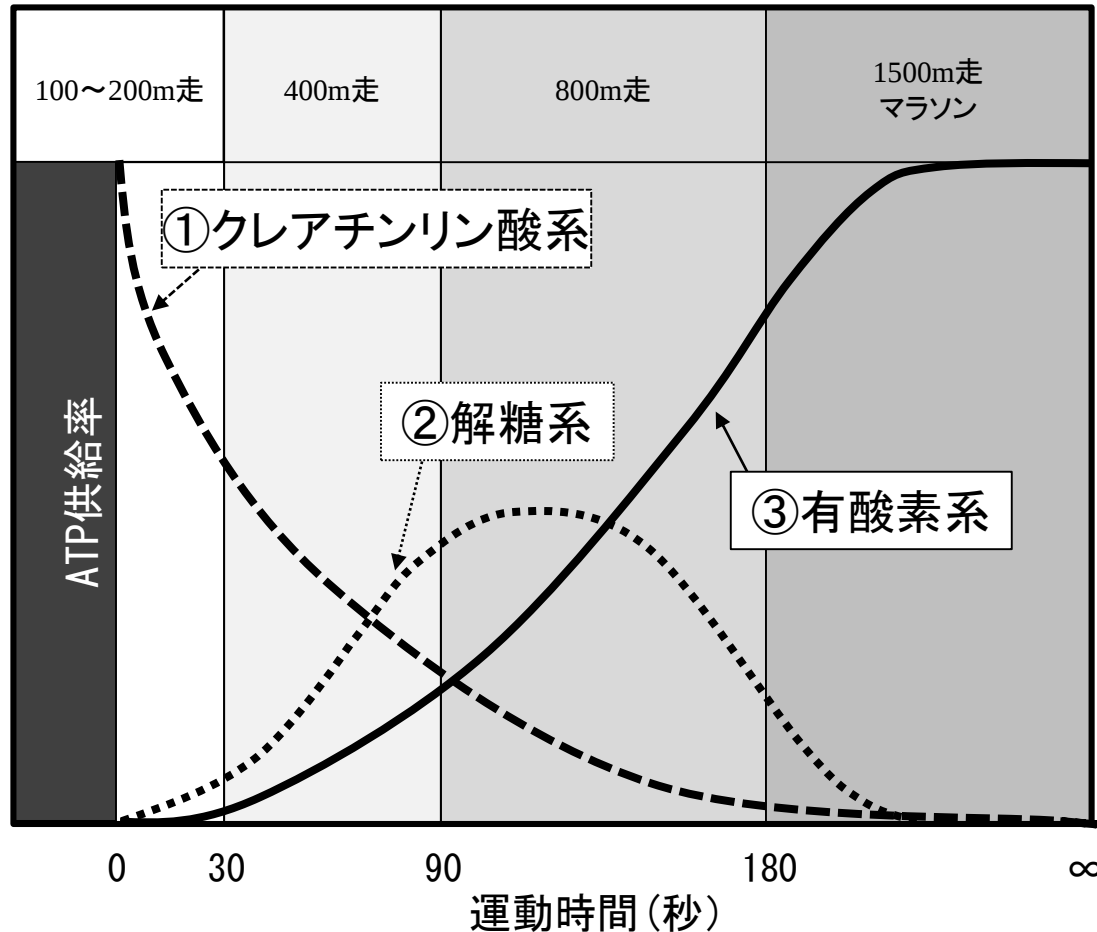
福岡大学 スポーツ科学部
教授 上原 吉就

2025年5月27日

ATP(アデノシン3リン酸)のエネルギーで筋肉を収縮させる



運動持続時間・強度とエネルギー供給系の割合



**有酸素系
の能力 = 持久力(体力)**

各人の有酸素系の能力を把握できると様々なメリットがある。

アスリート

- ・ 持久能力が判る
- ・ トレーニング効果が判る
- ・ 効果的なトレーニング強度が判る...

非アスリート

- ・ 健康指標になる
- ・ ダイエットに効果的な運動強度が判る
- ・ 安全な運動強度が判る...

従来の有酸素系能力測定方法（運動負荷試験）

- 心拍数測定

→ 容易, 安価, 不正確（実用性に乏しい）

- 血中乳酸濃度測定

血中乳酸濃度を測定（30秒～1分毎）し，急増点（乳酸性作業閾値；LT）

→ 侵襲的、面倒、医療従事者・熟練者が必要
運動現場で困難

アスリートにおいては、

乳酸蓄積開始点 (OBLA) 強度の運動は、アスリートにおける持続可能な最も強い運動である。

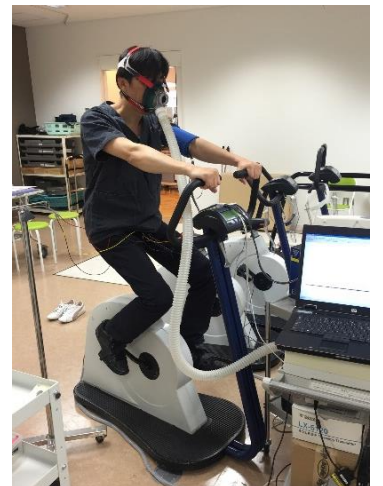
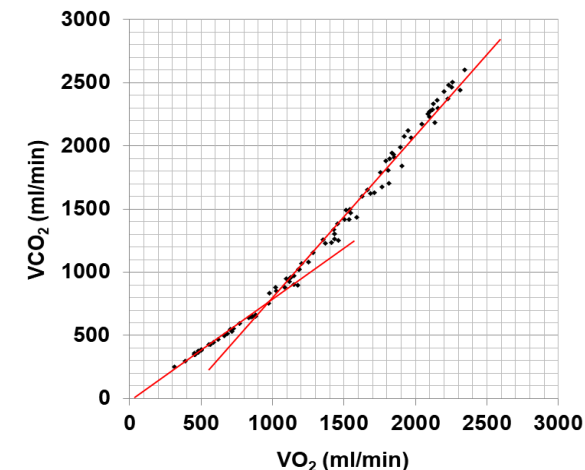
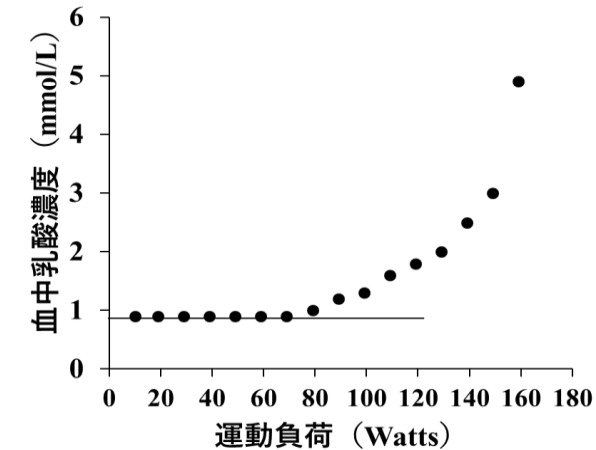
これまでに OBLA の運動強度を非侵襲的に測定する方法は確立されていない。

- 呼気ガス分析

最大酸素摂取量および換気性作業閾値 (VT) を算出

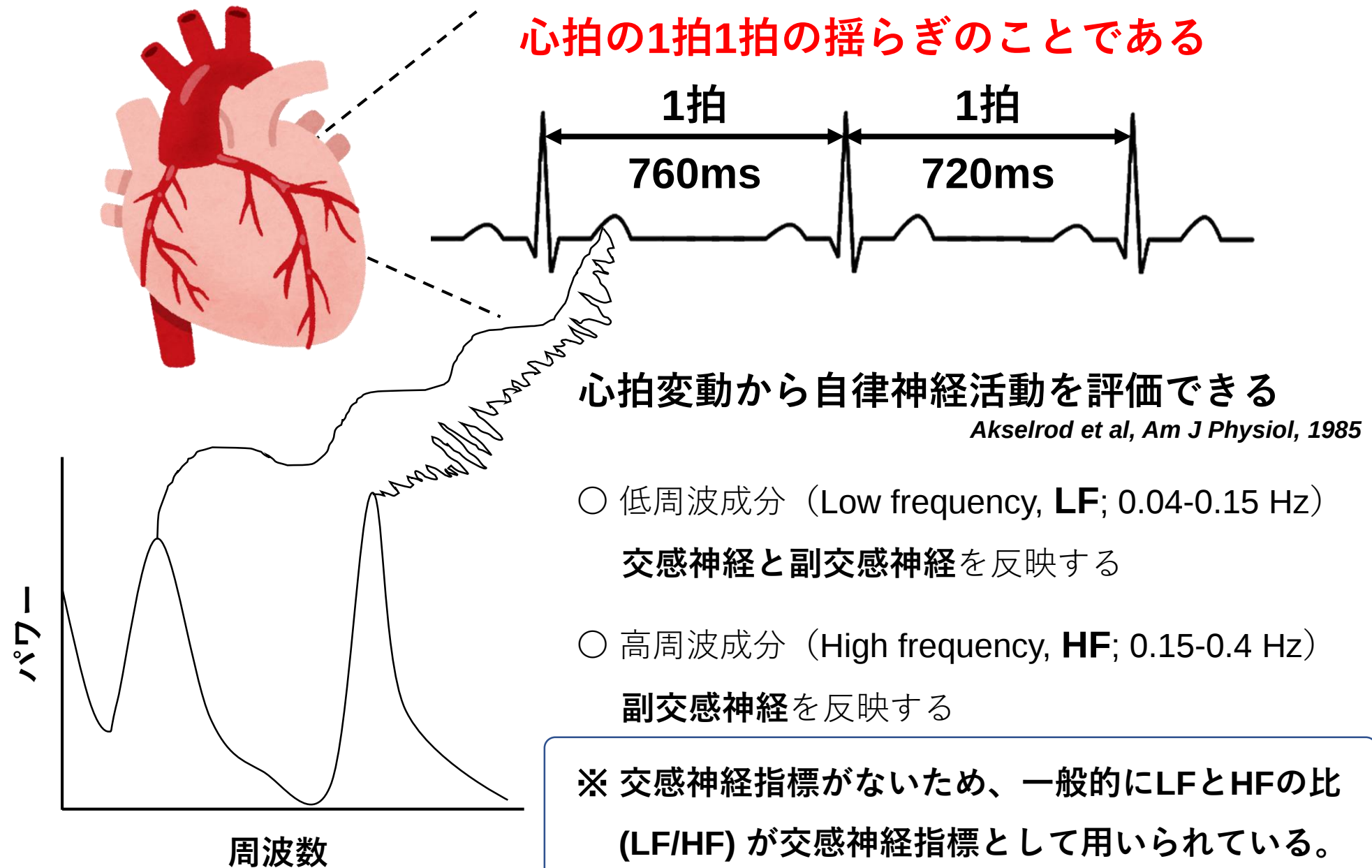
VT: O_2 摂取量 と CO_2 排出量 の屈曲点

→ 極めて高価、熟練者が必要、運動現場で困難



心拍のゆらぎ（心拍変動）から自律神経を評価する試み

心拍変動（Heart Rate Variability）とは



従来技術とその問題点

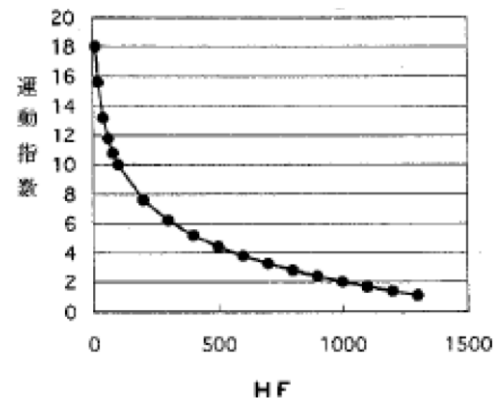
運動強度の測定法(従来の簡易測定法)

先行研究 特開2007-181486「運動負荷の測定装置」出願人: 菊池誠

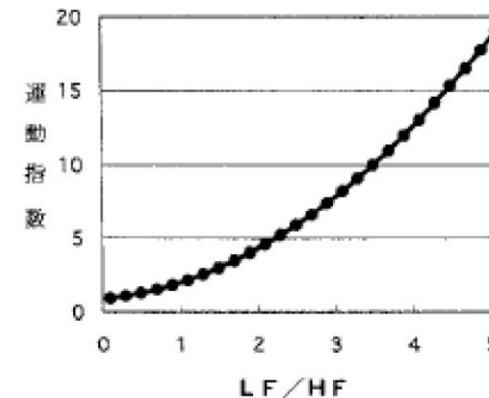
目的: 運動中の被検者における最適な運動負荷量を判定する。

- ・ 測定した心拍変動のパワースペクトルから、LF, HF, LF/HFを算出、HFやLF/HFから運動負荷を検出する。

HF: 副交感神経の活動が反映



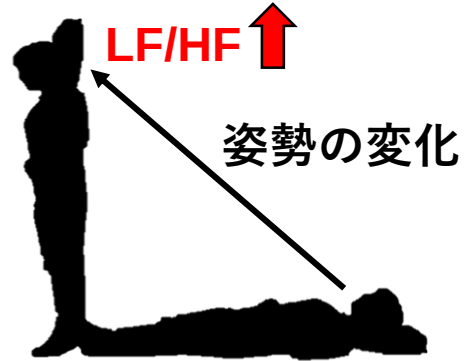
LF/HF: 交感神経の活動が反映



- ・ 運動中の交感神経活動が本当にこのように変化していくのか？
- ・ 交感神経活動が変化するなら、その急増点まで把握できるのか？

従来の交感神経活動指標 (LF/HF) は有用であるのか？

LF/HFは交感神経指標として
広く用いられている



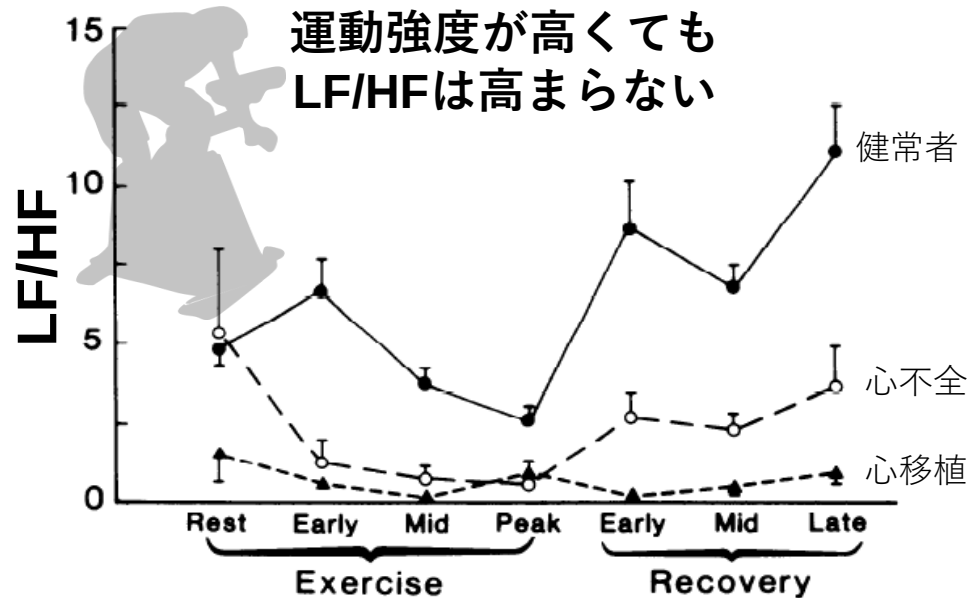
Pagani et al., Circ Res, 1986

LF/HFが
交感神経活動の指標であるならば...

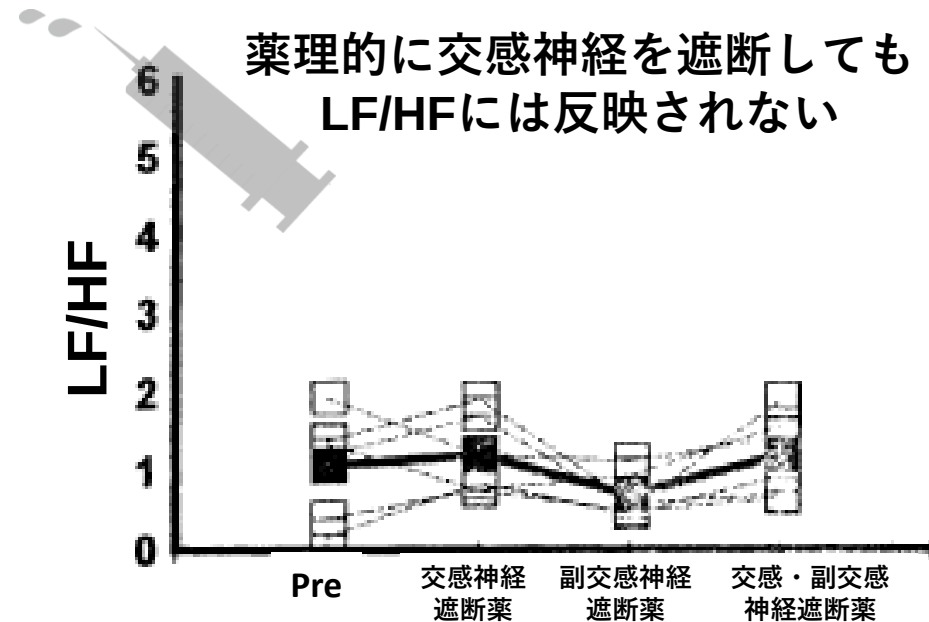


運動によって
交感神経活動は高まる

LF/HFも高まるはず...



Arai et al., Am J Physiol, 1989

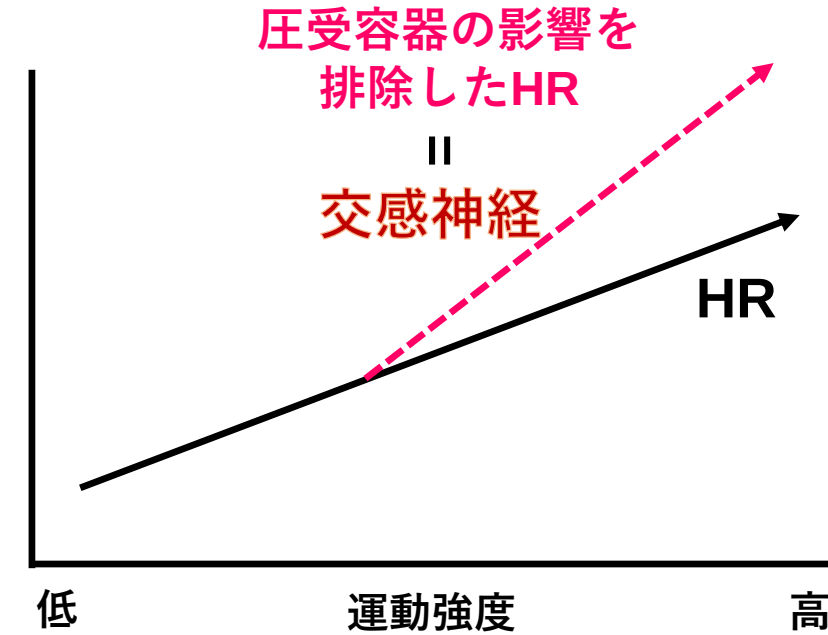
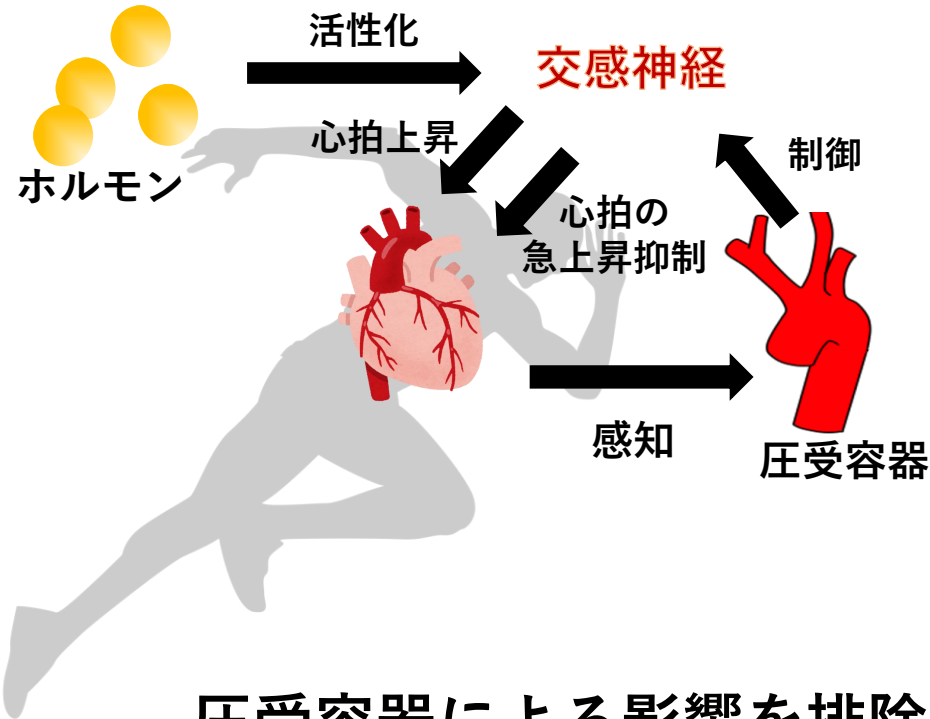


Polanczyk et al., Eur J Appl Physiol, 1998

運動中の交感神経指標として有用ではない可能性がある

これまでの交感神経活動指標の試み

動脈圧は心拍数の急増を制御している



圧受容器による影響を排除することでHRは急増する

新規指標

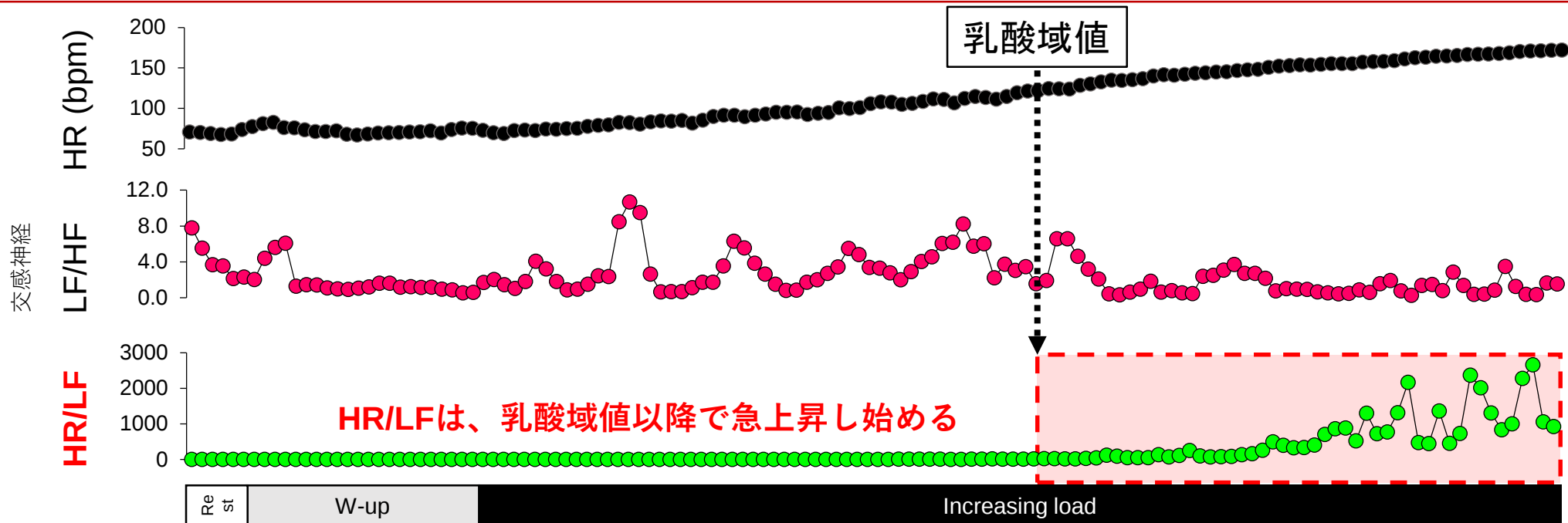
Heart rate (HR)

LF

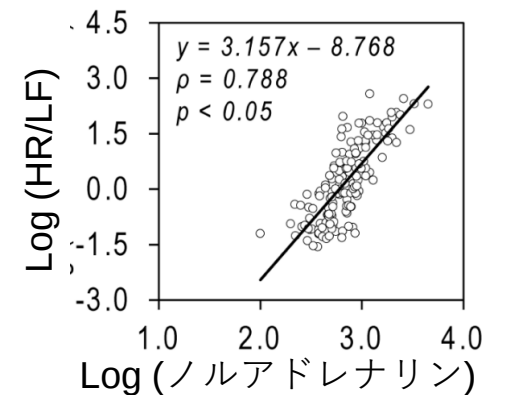
LF成分: 交感神経、副交感神経活動

圧受容器反射を反映

Heart rate (HR) / LF は、交感神経活動を反映した指標

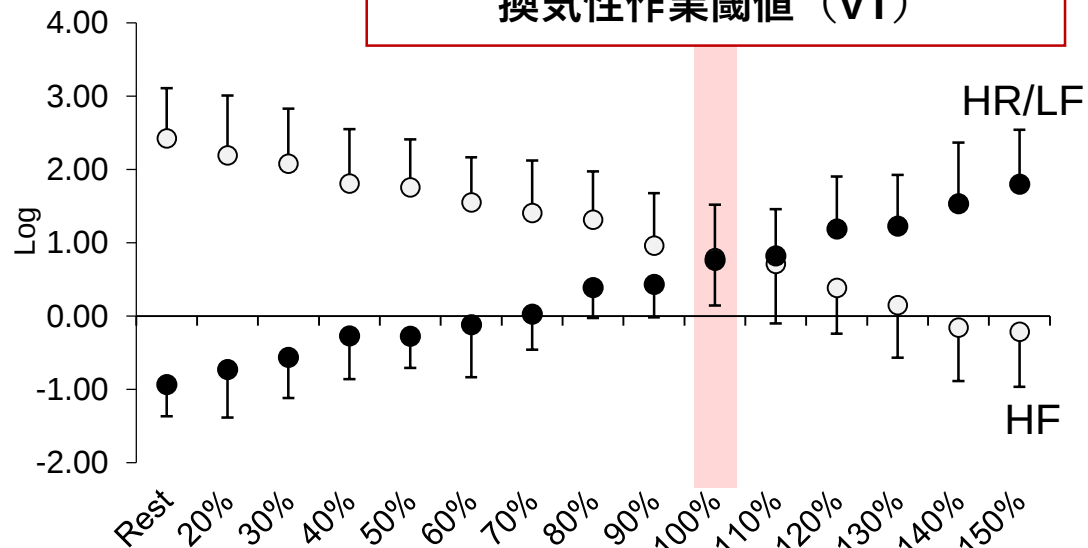


- ・ 特許第7493811号
- ・ 米国特許 US17/603,751
- ・ PCT国際出願 (PCT/JP2020/016762)

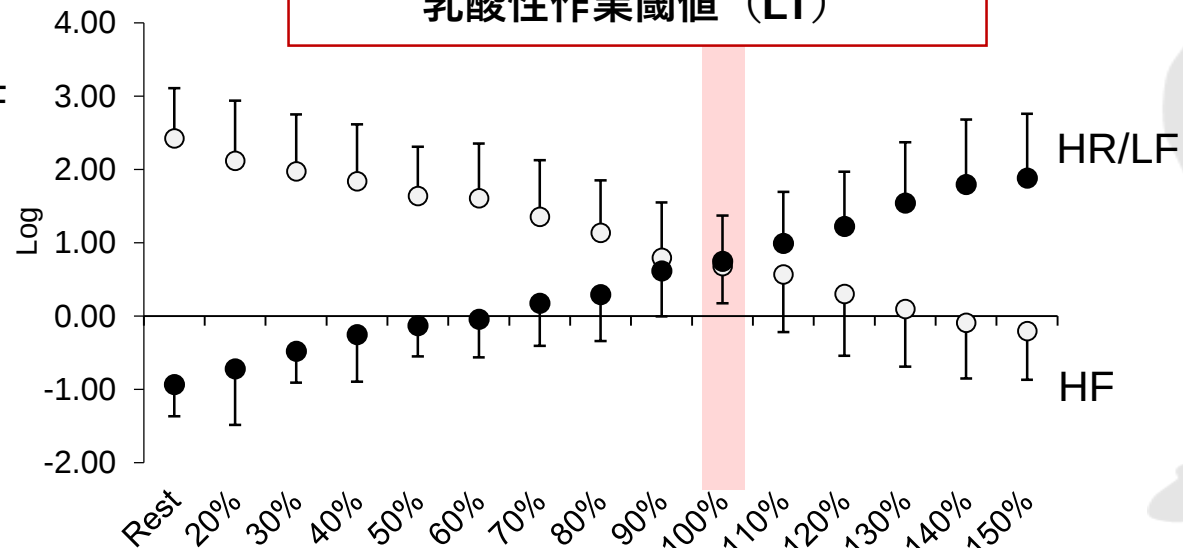


(n=15)

換気性作業閾値 (VT)



乳酸性作業閾値 (LT)



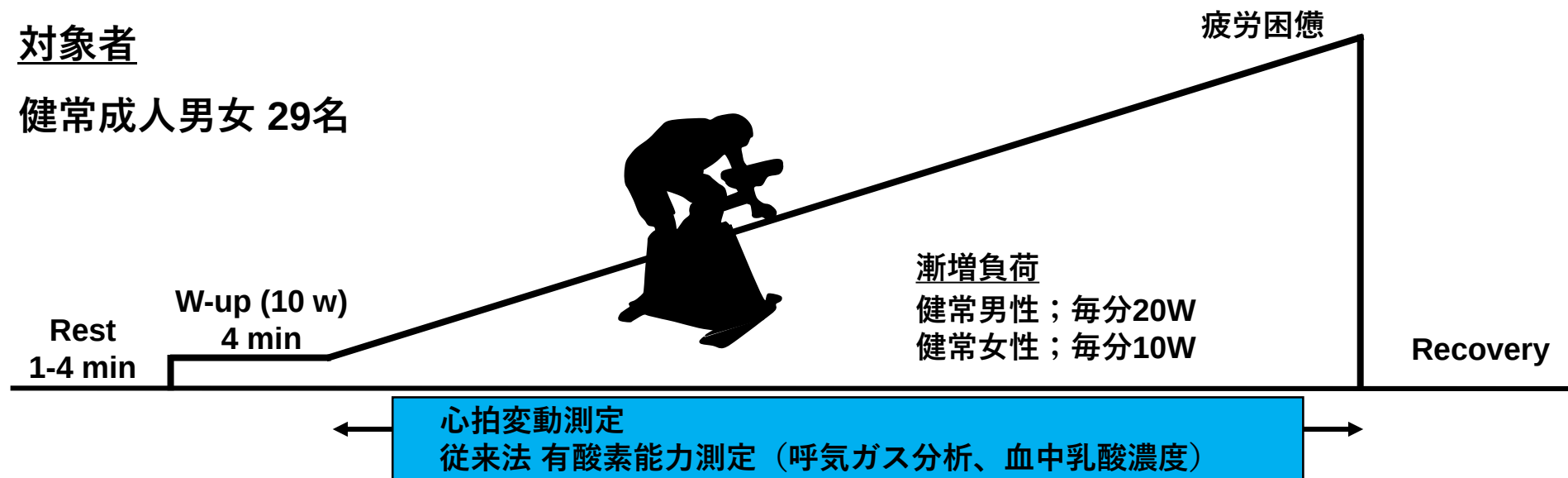
HF と HR/LF との
交点は、VT,LTと
一致する。

本方法では、運動
様式や呼吸法によ
ってHF低下率に変
化が認められるこ
とが判明。

呼吸の影響を受けやすいHFを用いない 運動中の交感神経評価法を探索

対象者

健常成人男女 29名

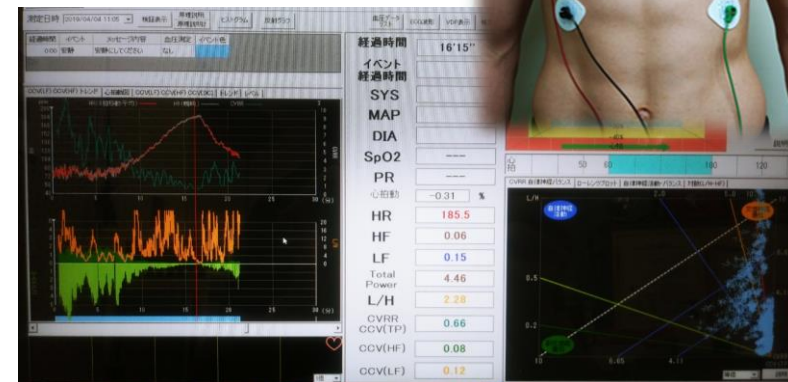


心拍変動測定

心電図からR-R間隔を測定し、リアルタイム周波数解析により得られた自律神経成分は試験開始から10秒ごとに平均値を算出した。

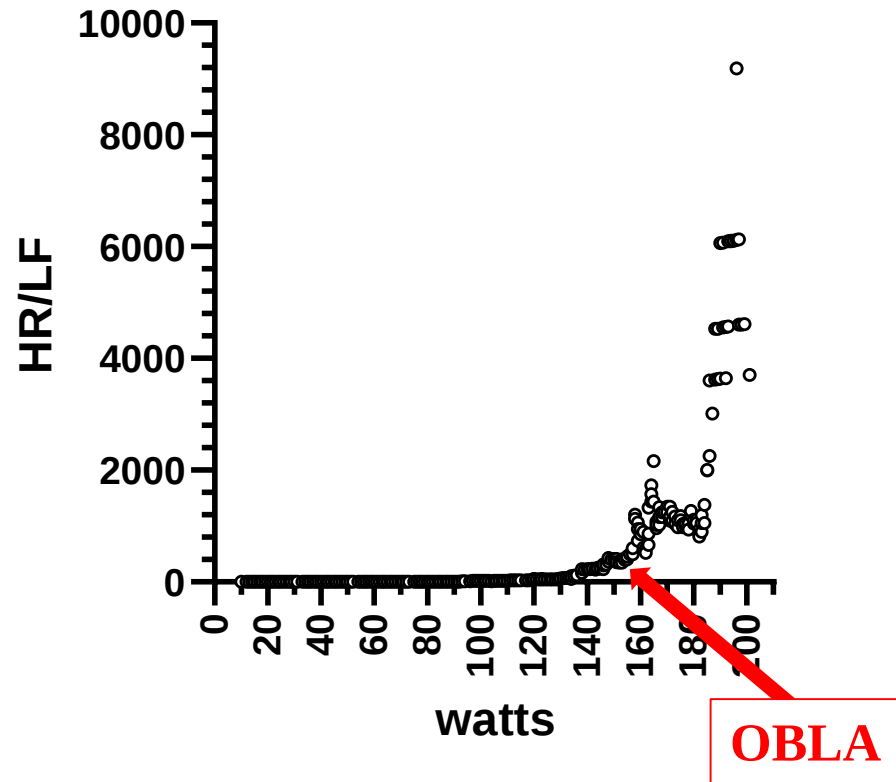
自律神経成分

- Low frequency power (LF)：交感神経と副交感神経
- HR/LF：これまでに開発してきた交感神経指標

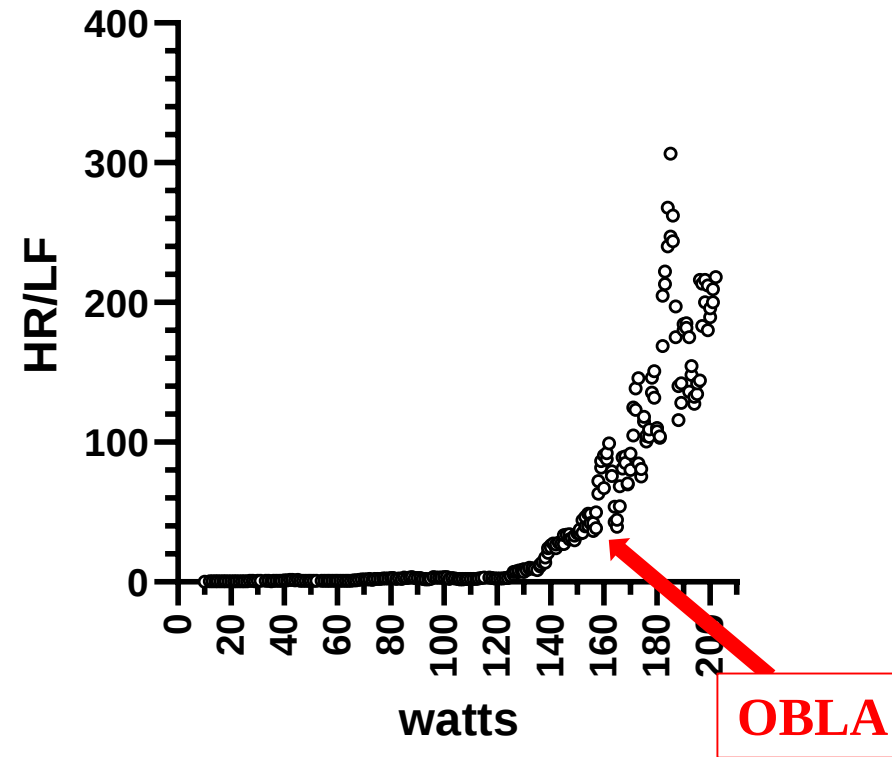


HR/LFの変曲点は乳酸蓄積開始点 (OBLA) 強度と一致する

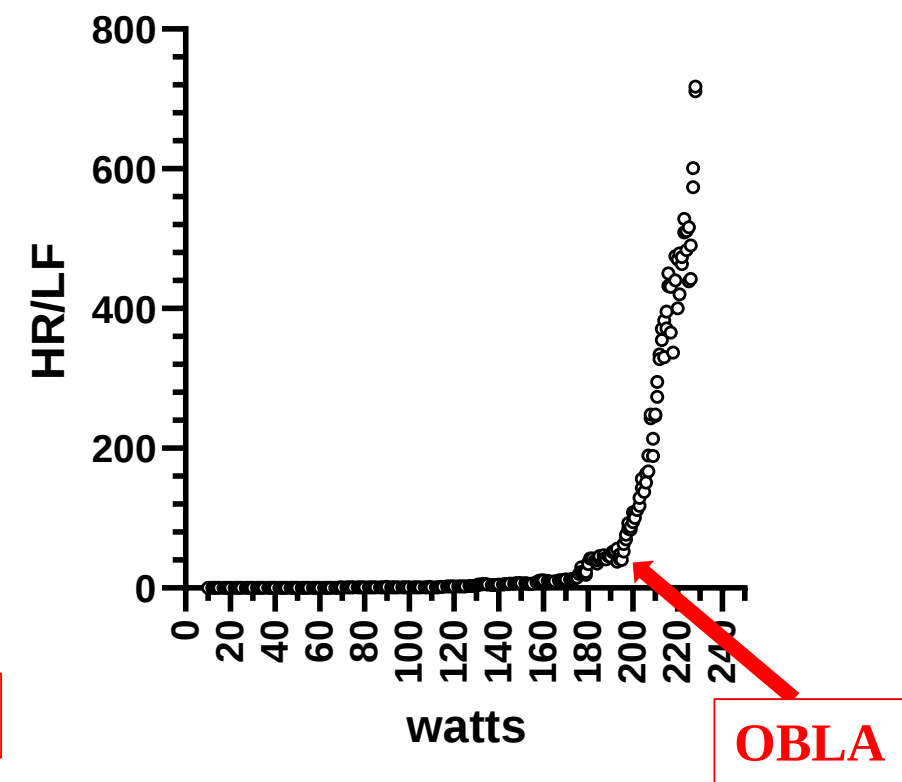
被検者A



被検者B



被検者C



HR/LFの変曲点は乳酸蓄積開始点 (OBLA) 運動強度と一致する

パラメーター	乳酸域値	乳酸蓄積開始点	HR/LF
		OBLA	変曲点
運動負荷量 (watts)	97 ± 19	176 ± 33 *	175 ± 27 *
%最高酸素摂取量 (%)	49.1 ± 8.5	80.9 ± 8.4 *	81.5 ± 7.1 *
酸素摂取量 (mL/kg/min)	20.7 ± 3.8	34.7 ± 5.9 *	34.5 ± 5.4 *
心拍数 (bpm)	111 ± 17	156 ± 18 *	158 ± 15 *
HR/LF	5 ± 6	264 ± 430 *	206 ± 278 *

自転車エルゴメータによる運動負荷試験、平均値±標準偏差、n=29、*: P<0.05 vs. 乳酸域値

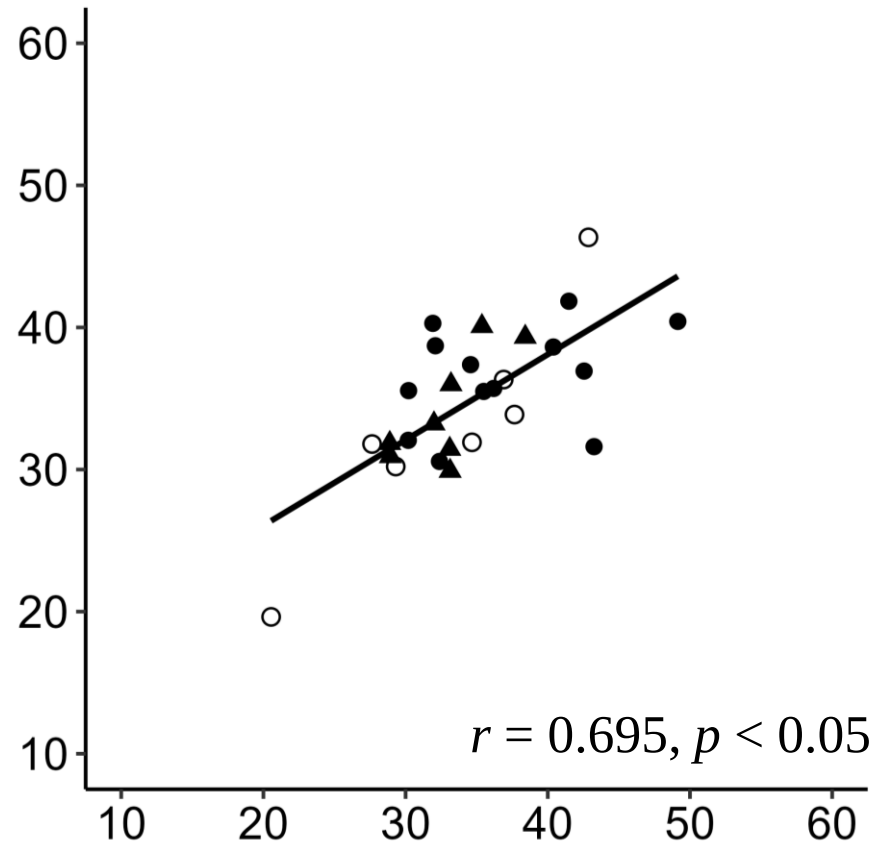
HR/LFの変曲点は、乳酸蓄積開始点 (OBLA) 強度 および最高酸素摂取量を評価可能である

▲若年女性

●若年男性

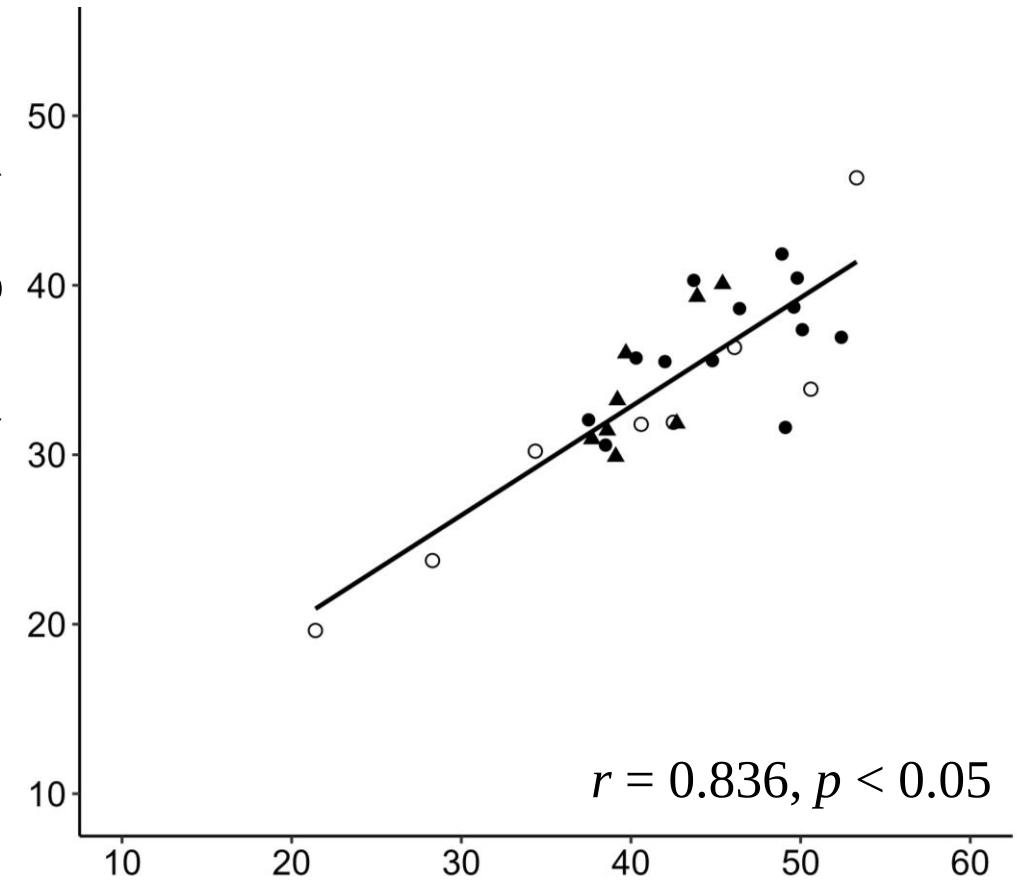
○中年男性

HR/LFの変曲点から求めた
酸素摂取量 (mL/kg/min)



乳酸蓄積開始点(OBLA)での
酸素摂取量 (mL/kg/min)

HR/LFの変曲点から求めた
酸素摂取量 (mL/kg/min)



最高酸素摂取量 (mL/kg/min)

新技術の特徴・従来技術との比較

- 従来技術の問題点であった、全ての運動様式での運動中の乳酸蓄積開始点 (OBLA) を非侵襲的に同定するシステムの開発に成功した。HFとHR/LFの交点から求める運動強度評価法では、呼吸の影響を受けることに対して本技術では呼吸の影響はなく全ての運動様式に対応可能である。
- この指標を応用することによって、正確かつ最適にアスリートの持久能力を求めることが可能となった。さらに、この指標から最高酸素摂取量の正確な予測も可能となる。
- 本技術の適用により、現在スタンダードに用いられている採血や呼気ガス分析装置を使用する必要もなくなり、コストが 1/100～1/1,000 程度まで削減されるだけでなく、モバイル型デバイスにすることで、地上・水中を問わず全ての運動現場にて応用することが期待される。

想定される用途

- 本技術を適用することで、簡便、安価でかつ正確に持久能力および最高酸素摂取量を測定する専門機器開発が可能となる。
- 全てのスポーツ現場、アスリート向けの正確なモバイル型の運動強度測定装置に応用可能である。
- 医療機器ならびにジム等の健康関連機器への搭載・応用が可能である。
- 正確な交感・副交感神経活動モニターによる疲労関知システムへの応用が可能である。
- 上記以外に、ダイエットやランニング等に用いられるスマートウォッチ等のウェアラブル端末への応用も期待できる。

実用化に向けた課題

- 現在、汎用モバイル型（無線）心電心拍計での測定評価可能
なところまで開発済み。しかし、脈波検出デバイスで評価可能
であるかの点が未解決である。
- 今後、脈波検出デバイスについて実験データを取得し、心電心
拍計と同等性能の条件設定を行っていく。
- 実用化に向けて、リアルタイム判定アプリケーションおよびモ
バイル型専用デバイスの開発を確立する必要もあり。

企業への期待

- リアルタイム解析可能な専用アプリケーションおよび専用デバイスの開発。
- 既に関済済みのスポーツ・健康機器、医療・リハビリテーション機器やウェアラブル端末への技術を持つ企業には、本技術の導入が有効と思われる。

企業への貢献、PRポイント

- 本技術は各人の運動強度および交感神経の正確な評価が可能のため、アスリートの正確な運動強度評価および持久能力を把握することができる。モバイルデバイスの開発が容易であることから場所も選ばないで汎用性も高いため多用途利用も可能なことより多方面の企業に貢献できると考えている。
- 本技術の導入にあたり必要な追加実験を行うことで科学的な裏付けを行うことが可能。
- 本技術の導入にあたっての技術指導等も可能である。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称：乳酸蓄積開始点の決定方法及び
運動強度判定システム
- 出願番号：特願2025-068552
- 出願人：学校法人 福岡大学
- 発明者：上原 吉就、田上 友季也、瀬川 波子

産学連携の経歴

- 2020年 3月 ～ 2022年 3月 A社と共同研究
- 2020年 10月 ～ 2022年 7月 B社と共同研究
- 2023年 3月 ～ 2024年 5月 B社と共同研究
- 2024年 1月 ～ C社と共同研究

問い合わせ先

福岡大学 研究推進部 産学官連携センター

T E L 092-871-6631

e-mail:sanchi@adm.fukuoka-u.ac.jp