

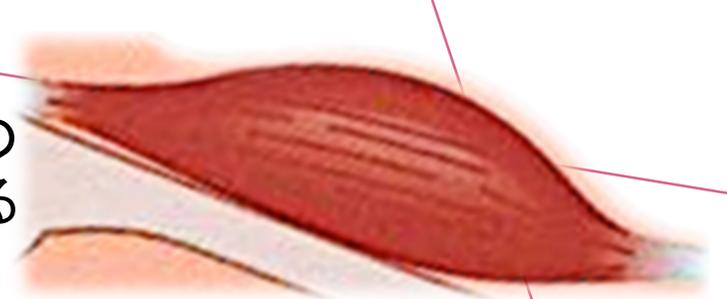
持久トレーニングにおける 新規運動強度測定アルゴリズムの開発

福岡大学 スポーツ科学部

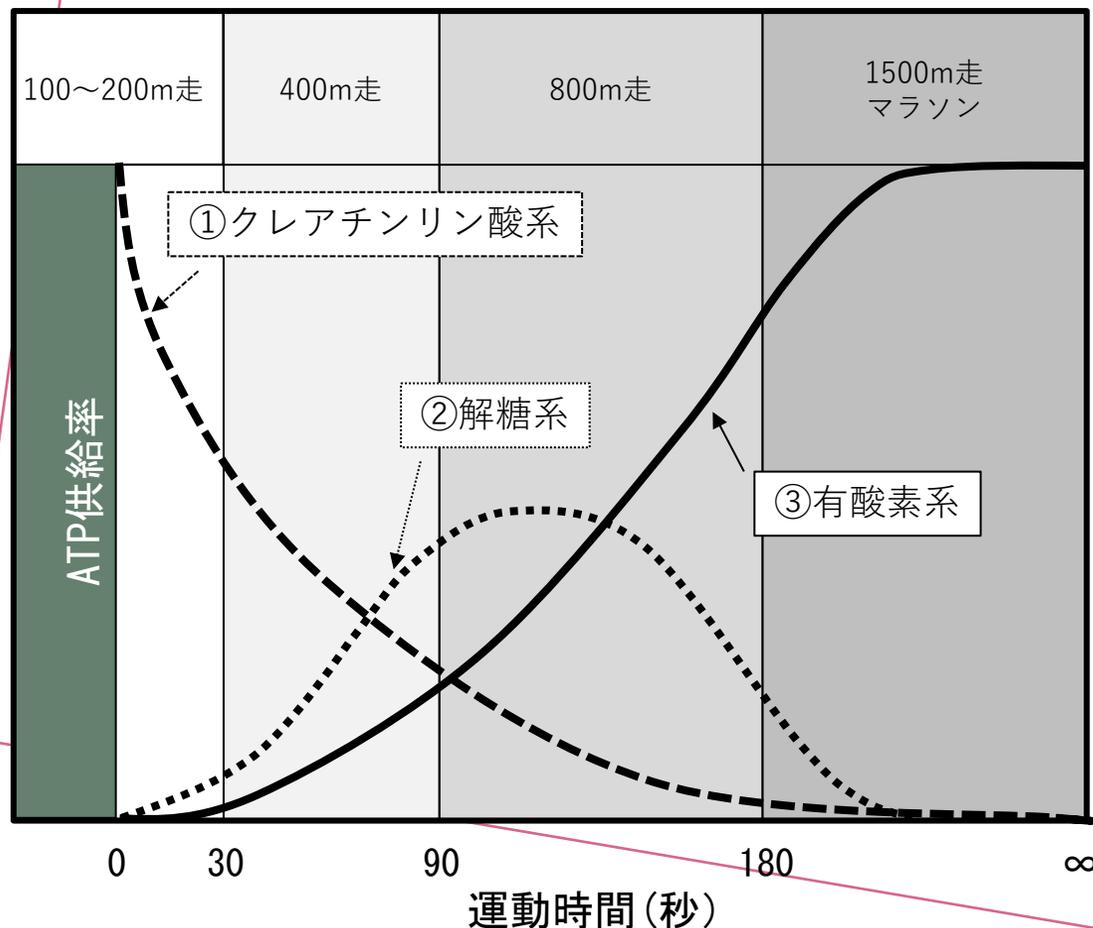
上原 吉就

全身持久力を知ることの意義

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



有酸素系能力 = 全身持久力

各人の体力（有酸素系能力）を把握することによる様々なメリット

アスリート

- ・ 持久力が判る
- ・ 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...

● 全身持久力を高める方法

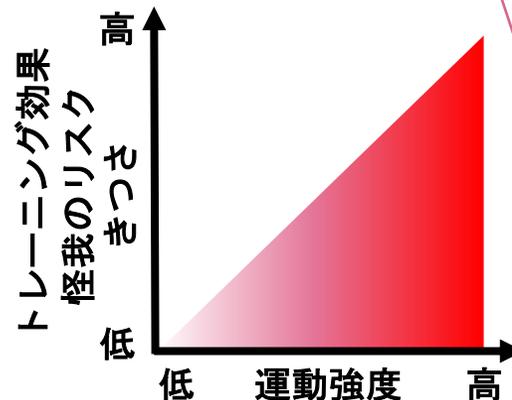


特に
「運動強度」
の重要性が高い

各個人に合わせて運動の内容を決定する必要がある。

運動処方原則

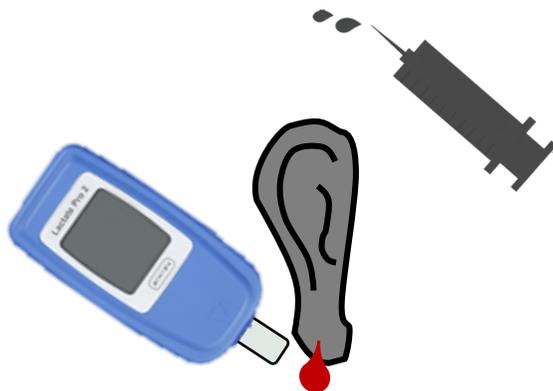
- ・ 頻度
- ・ 強度
- ・ 時間（期間や持続時間）
- ・ 型式（様式や種類）



ACSM'S Guidelines for exercise testing and prescription 11th edition, 2021

● 全身持久力を高めるための至適トレーニング強度を決定する従来方法

○ 血中乳酸濃度測定



- ✓ 侵襲性が高い
- ✓ 熟練した測定技術が必要

○ 呼気ガス分析

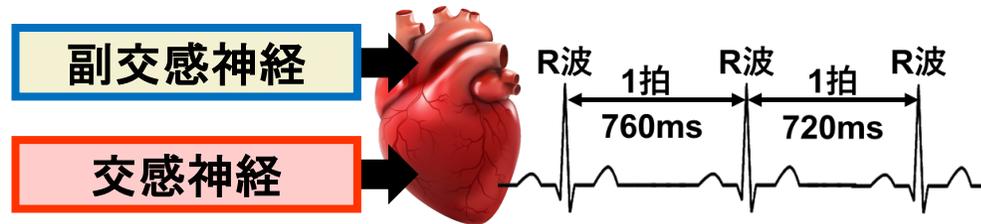


- ✓ 分析装置が高額
- ✓ 熟練した測定技術が必要

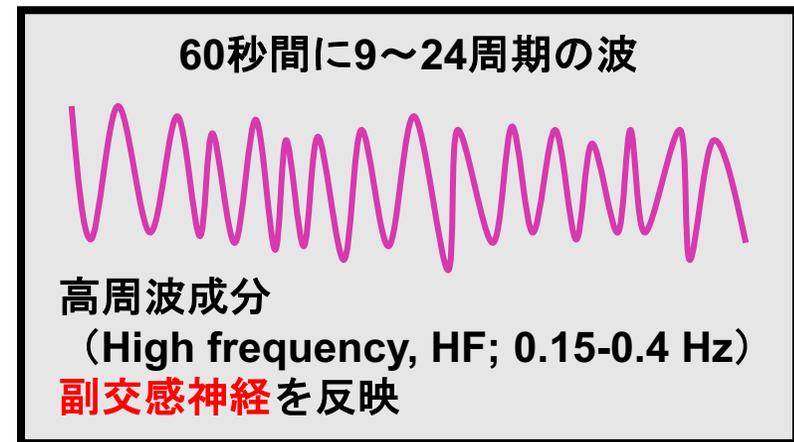
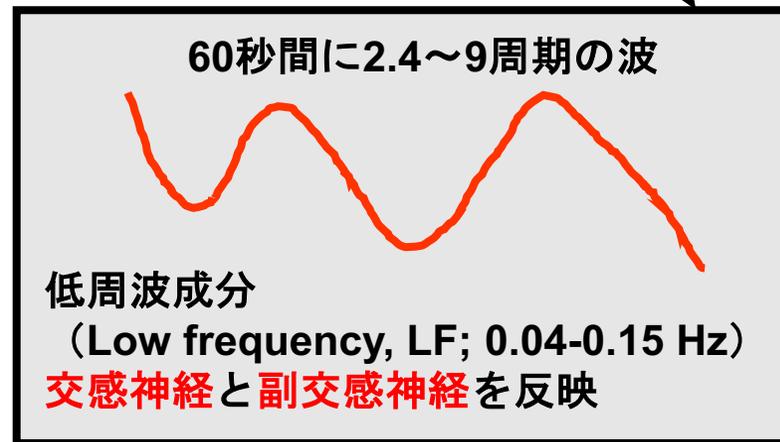
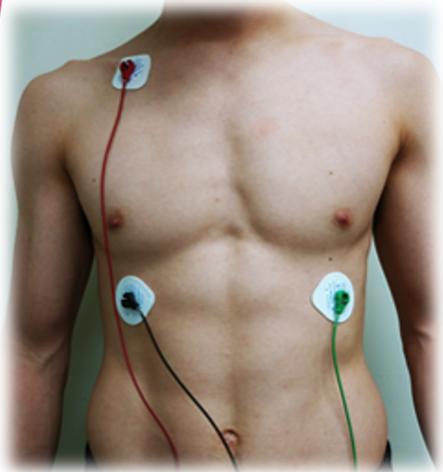
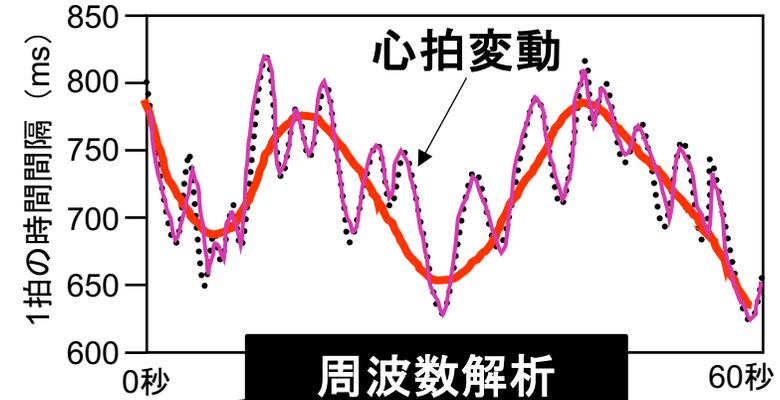
実用的なトレーニング強度判定システムが求められる

心電図を用いた非侵襲的な新しい自律神経活動の評価方法

○心拍変動 (Heart Rate Variability: HRV) とは
心拍1拍1拍の時間間隔の揺らぎのこと



○心拍変動には複数の周期の波がある

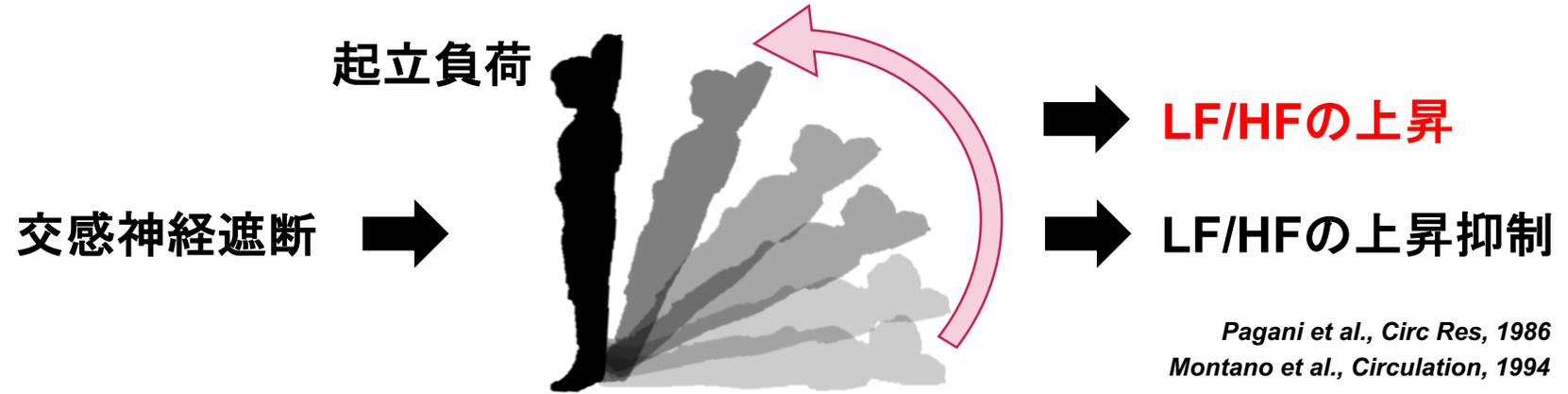


従来の交感神経指標 (LF/HF) では、運動中の交感神経活動は把握不可能。

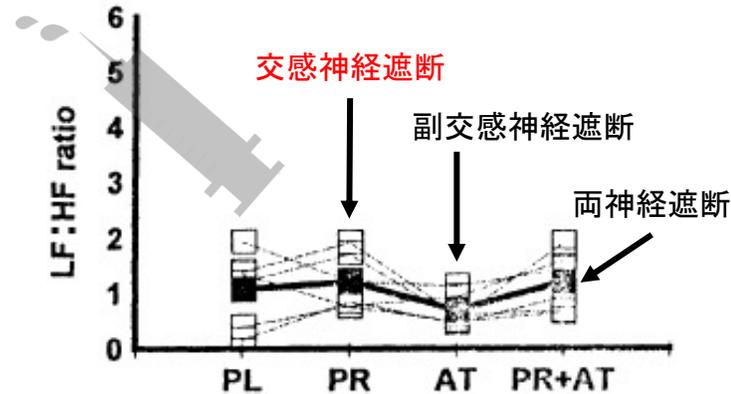
新たな交感神経指標 (Heart rate / LF) では、運動中の交感神経活動を把握できる。

心拍変動における従来指標 (LF/HF) による交感神経評価の課題

○LF/HFは姿勢変化によって上昇する

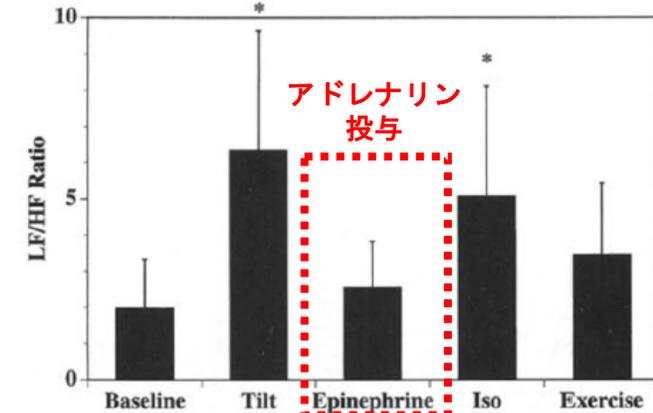


○LF/HFは交感神経を遮断しても変わらない



Polanczyk et al., Eur J Appl Physiol, 1998

○LF/HFはアドレナリン投与でも変わらない

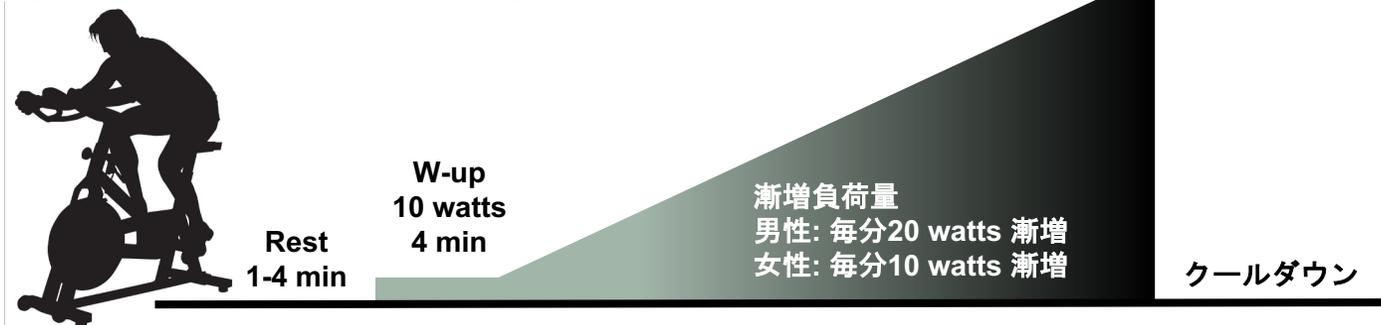


Ahmed et al., J Am Coll Cardiol, 1994

LF/HFの再検討と新たな交感神経指標の開発が必要

実験プロトコル

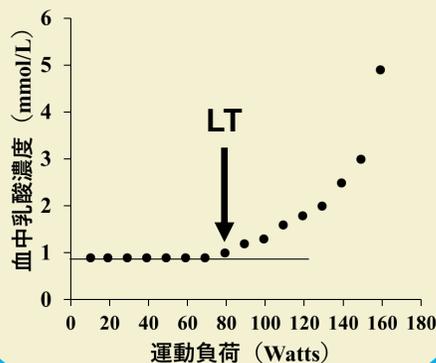
運動様式：自転車エルゴメータ
負荷方法：ランプ式漸増運動負荷



○測定項目

血中乳酸濃度

- ✓ 乳酸閾値 (LT) の判定



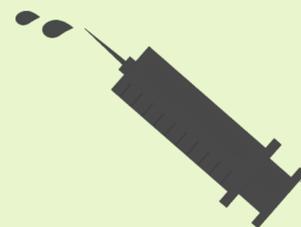
呼気ガス分析

- ✓ 酸素摂取量の測定



静脈採血

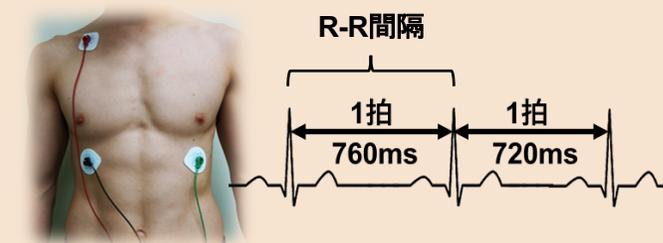
【評価項目】
アドレナリン
ノルアドレナリン



心拍変動解析

心拍変動測定

- ✓ 1拍1拍のR-R間隔を算出



周波数解析

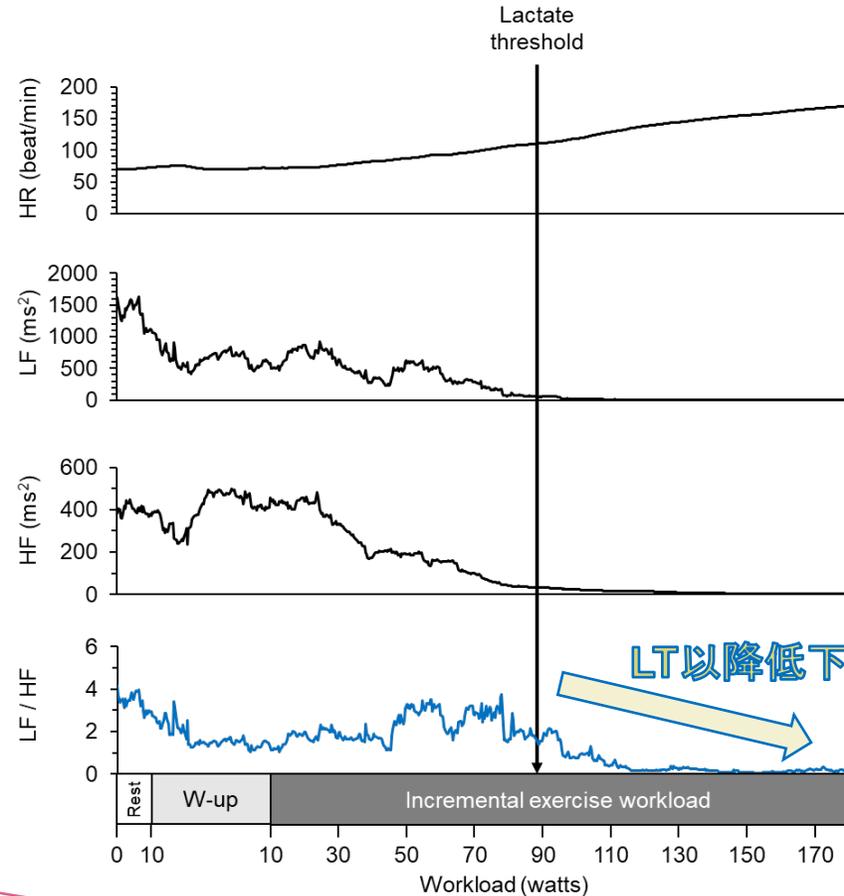
- ✓ 周波数解析を実施

周波数成分

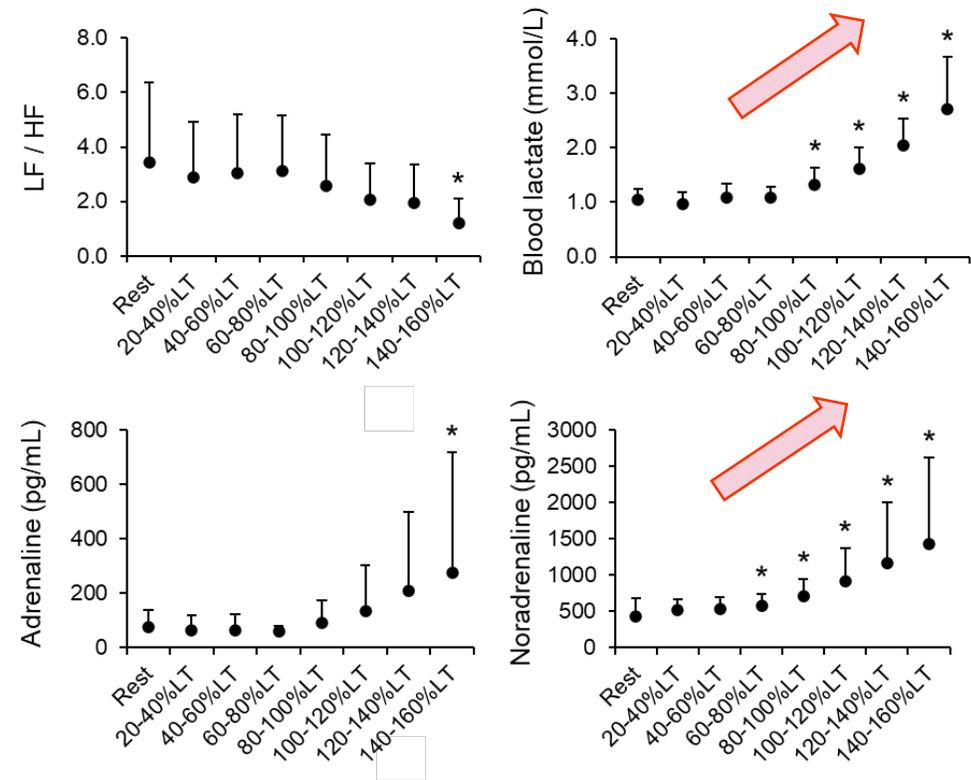
- ・低周波成分 (LF) : 0.04-0.15 Hz
交感神経および副交感神経の両方を反映
- ・高周波成分 (HF) : 0.15-0.83 Hz
副交感神経の両方を反映
- ・交感神経指標 : LF/HF

従来交感神経指標 (LF/HF) は乳酸閾値強度以上で低下

○個別データ

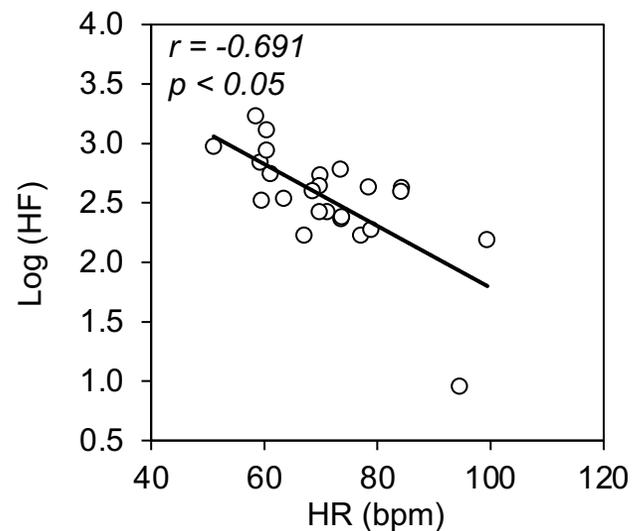
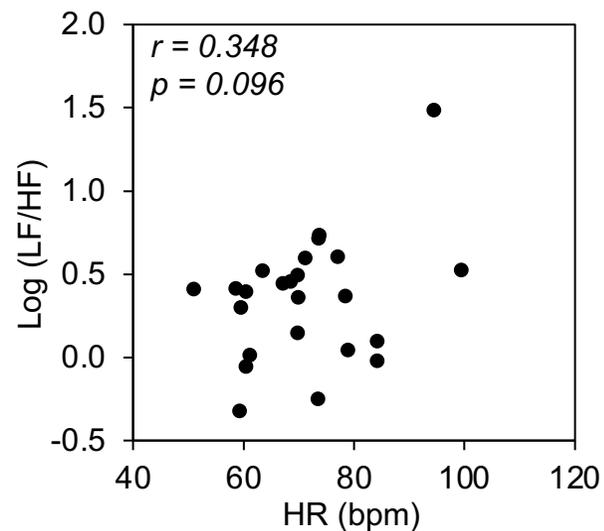
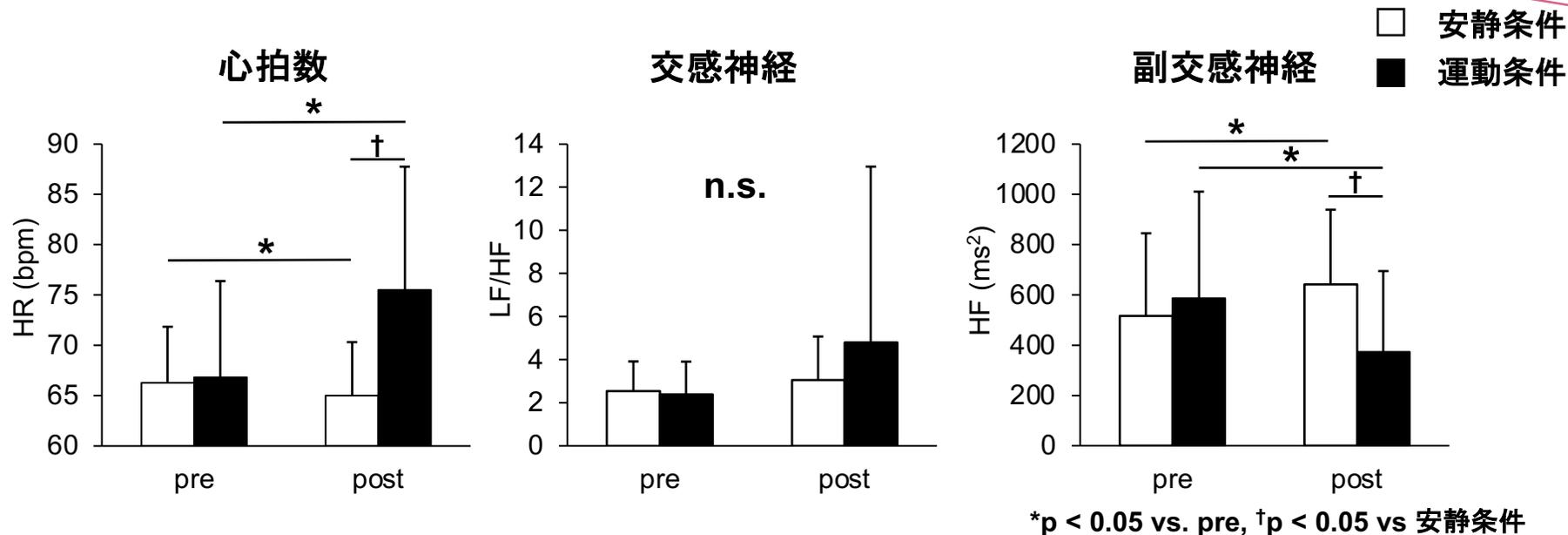


○乳酸閾値前後の比較



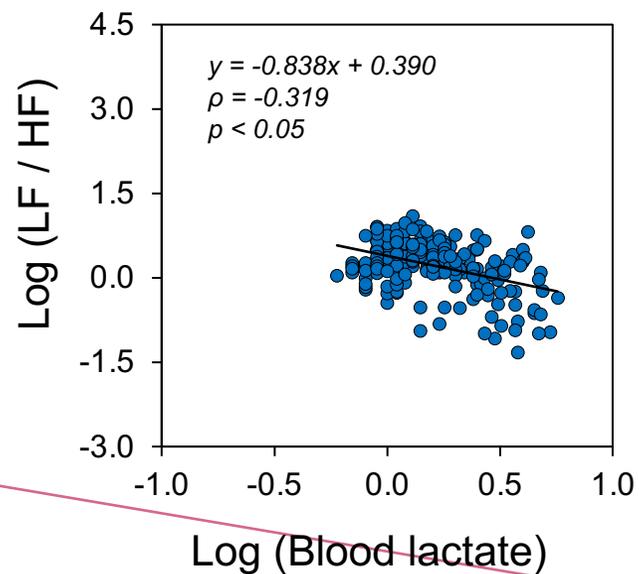
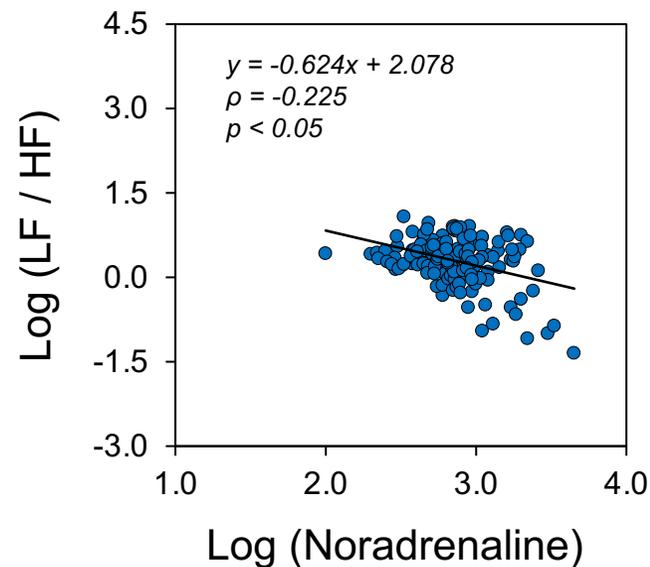
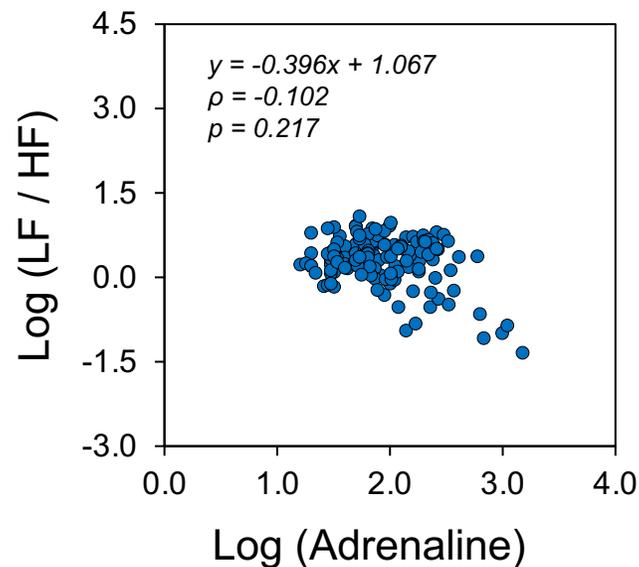
*p < 0.05 vs. Rest

交感神経活動の従来指標 (LF/HF) は心拍の高さとの関連は認められない



LF/HFは交感神経指標としての有用性が乏しい可能性がある

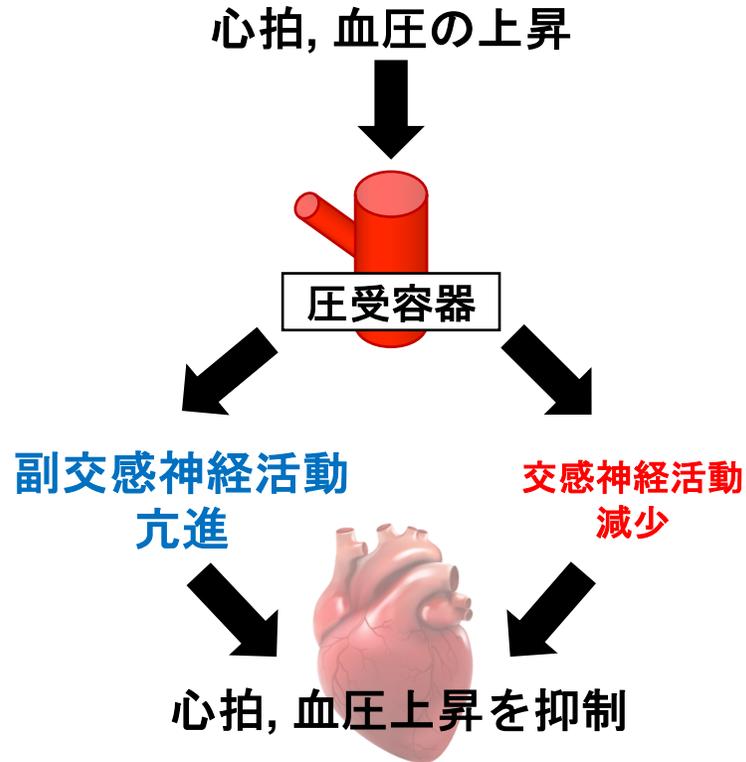
従来交感神経指標 (LF/HF) はカテコラミンと負の相関関係が認められた



LF/HFは
漸増運動中の交感神経活動を
反映していない

心拍制御に関わる圧受容器反射に着目

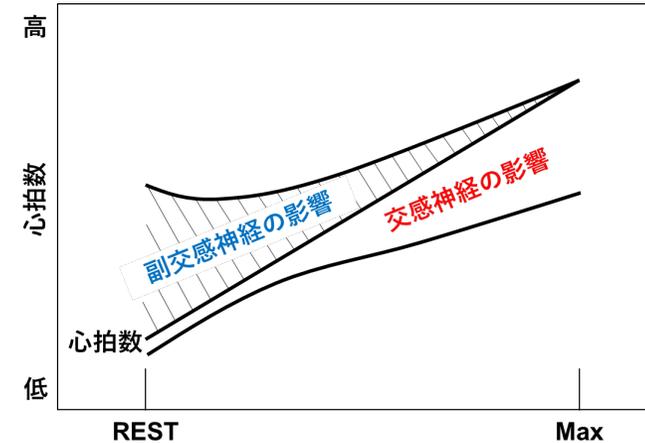
- 圧受容器反射
圧受容器が反射的に心拍, 血圧を制御する機能



- 心拍変動のLF成分
 - ✓ 圧受容器反射信号を反映
 - ✓ 副交感神経の影響を強く受ける

Randall et al., Am J Physiol Circ Physiol, 1991

- 心拍上昇と自律神経の関係



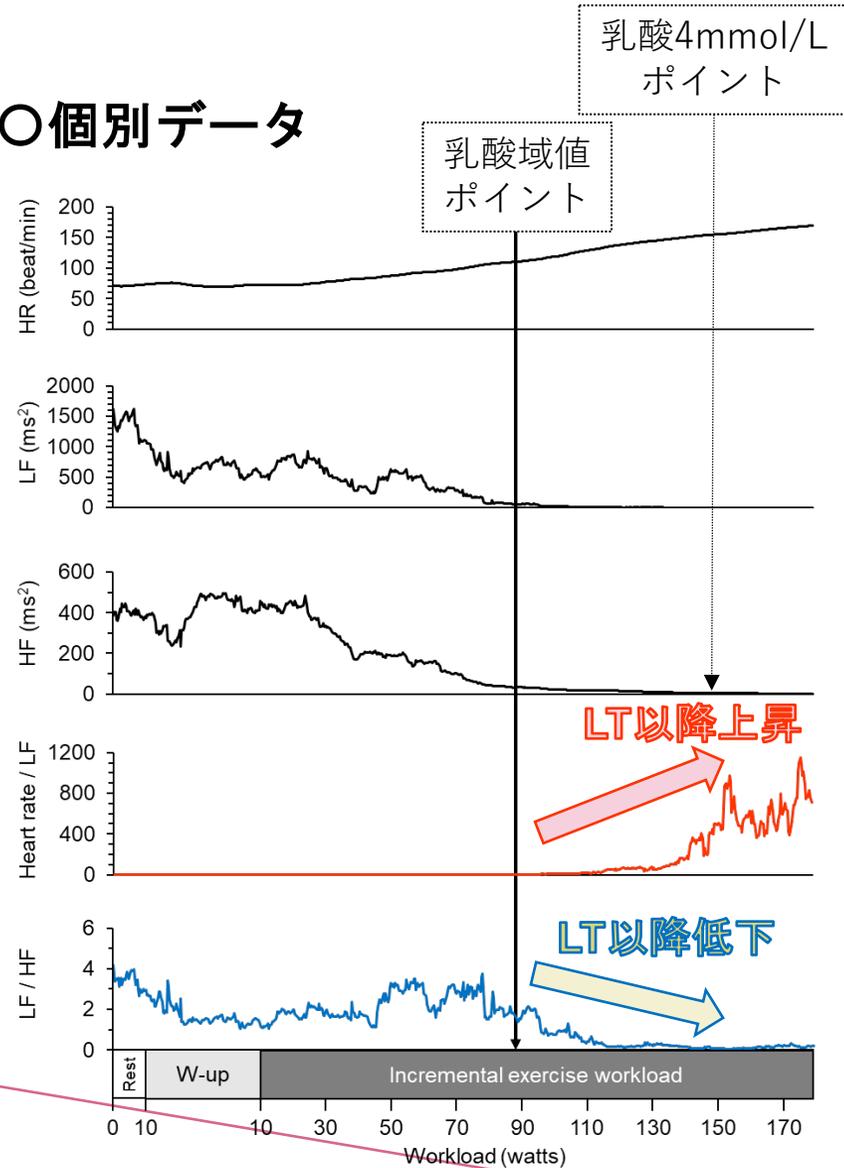
Modified from Robinson et al., Circulation Res, 1966

心拍の変化をLF成分で補正することで, 交感神経活動を評価できるのでは?

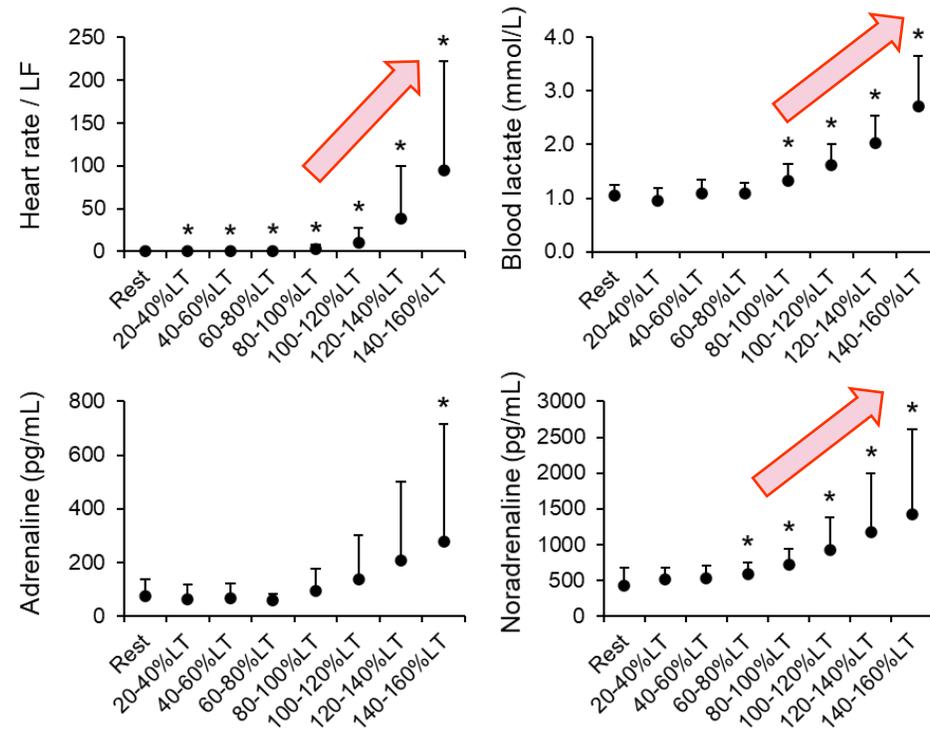
新規の交感神経指標として **Heart rate / LF** を開発

交感神経指標 (Heart rate / LF) は乳酸閾値強度以上で上昇

○個別データ

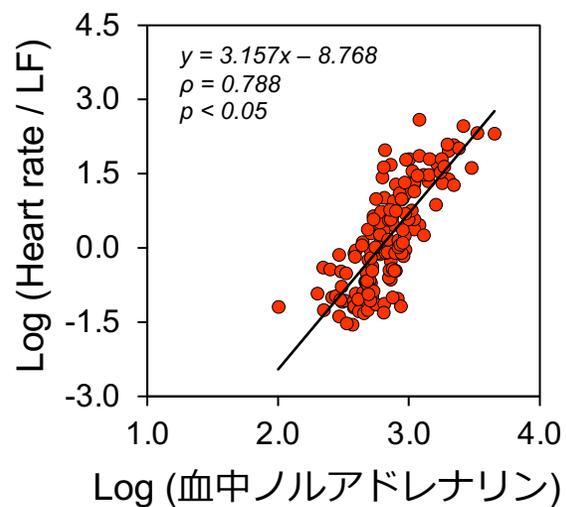
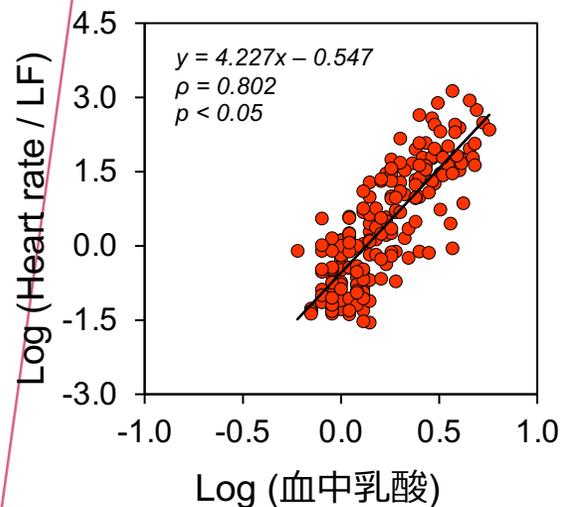


○乳酸閾値前後の比較



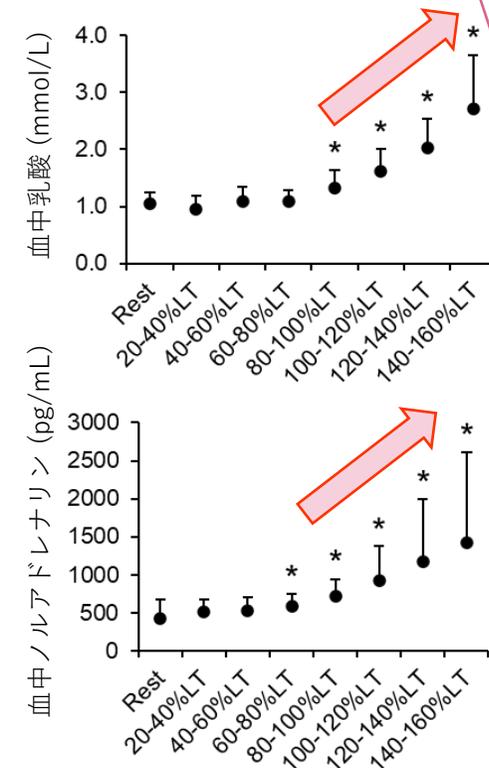
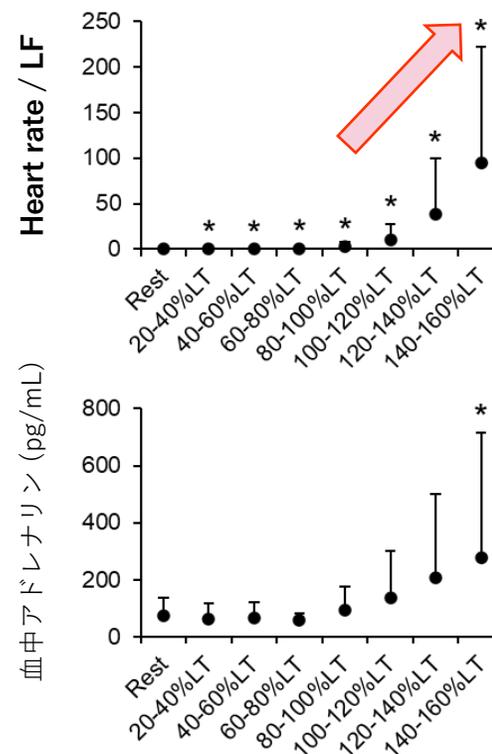
*p < 0.05 vs. Rest

新たに開発した心拍変動指標は自律神経活動を正確に評価可能



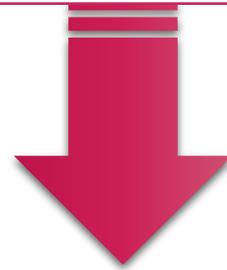
Heart rate/LFは漸増運動中の交感神経活動を推定可能である。

(100%LT = 乳酸閾値強度)



Heart rate/LFは、血中乳酸やノルアドレナリンと同様に乳酸閾値以上の強度で急激に上昇する。

新たに開発した心電図を用いた心拍変動解析指標 (Heart rate / LF) は、自律神経活動を正確に評価可能である。



本指標 (Heart rate / LF) は、全身持久力を高めるための正確な至適トレーニング強度を非侵襲的かつ安価に評価可能である。

新技術の概要と従来の技術との比較

①運動中の交感神経活性を反映する心拍変動の新規指標の開発

- これまでの課題であった運動中の交感神経活性を反映する心拍変動の新規指標の開発に成功した。
- 非侵襲的かつ簡便に運動中の交感神経活性の状態を評価することが可能となる。

②心拍変動の新規指標を応用した全身持久能力評価法の開発

- Heart rate / LF (新規交感神経指標)を用いることで、乳酸域値に相当する運動強度ならびに乳酸蓄積開始点(OBLA; 乳酸4mM到達点)を正確に判定する方法の開発に成功した。

本技術の開発により、これまでの体力レベル評価法の課題であった正確性、侵襲性、コスト面、運用面の改善が期待できる。

アスリート・トレーニング関連

様々なトレーニング機器への搭載

多様なスポーツにおけるトレーニング・パフォーマンス管理
(陸上競技、サッカー、自転車競技、トライアスロン等々)

フィットネス・健康管理関連

健康機器(ルームランナー, 自転車エルゴメータ等)への搭載

ウェアラブル端末(心拍計等)への搭載

スマートフォンへの搭載

医療関連

医療機器 / リハビリテーション機器への搭載

野外, 在宅でのリハビリテーションの管理