

2024福岡県医師会スポーツ医 講習会

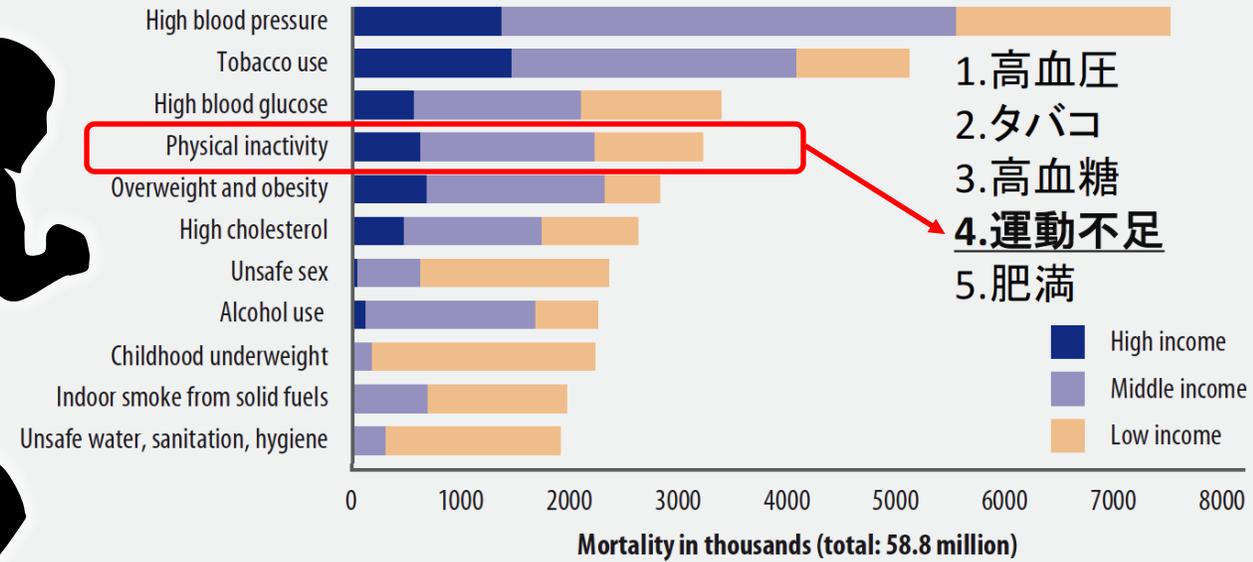
運動時の自律神経活動変化と それを応用した運動強度推定法

福岡大学 スポーツ科学部
福岡大学病院 循環器内科 / 予防・抗加齢・再生医療センター

上原 吉就

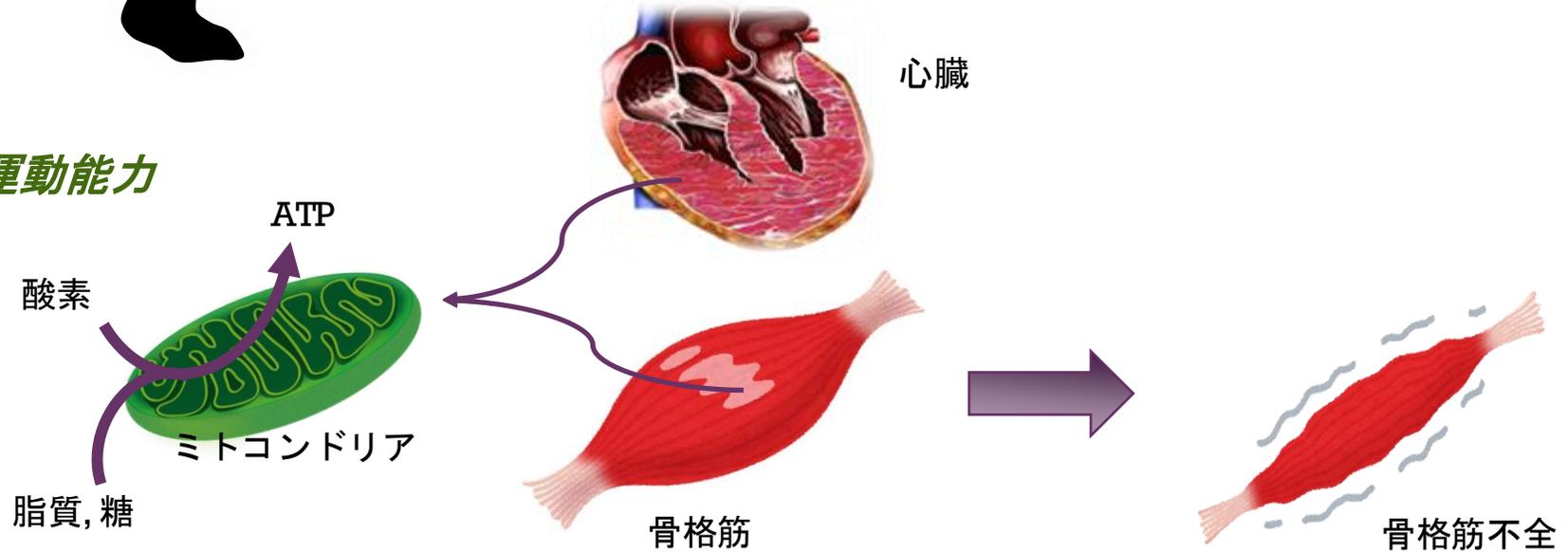
- **運動と持久力**
- **運動強度評価法**
- **新たな非侵襲的運動強度評価法の開発**

Figure 6: Deaths attributed to 19 leading risk factors, by country income level, 2004.

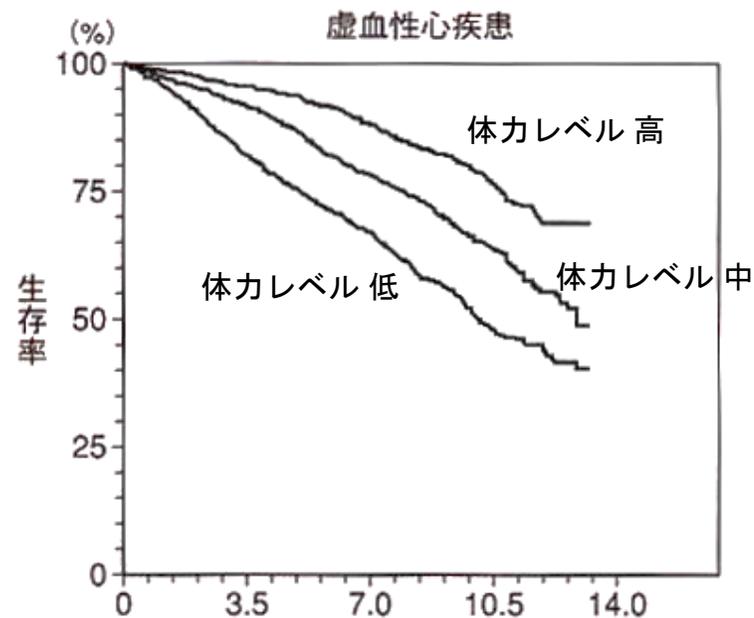


Global Health Risk by WHO (世界保健機関). 2009

有酸素運動能力

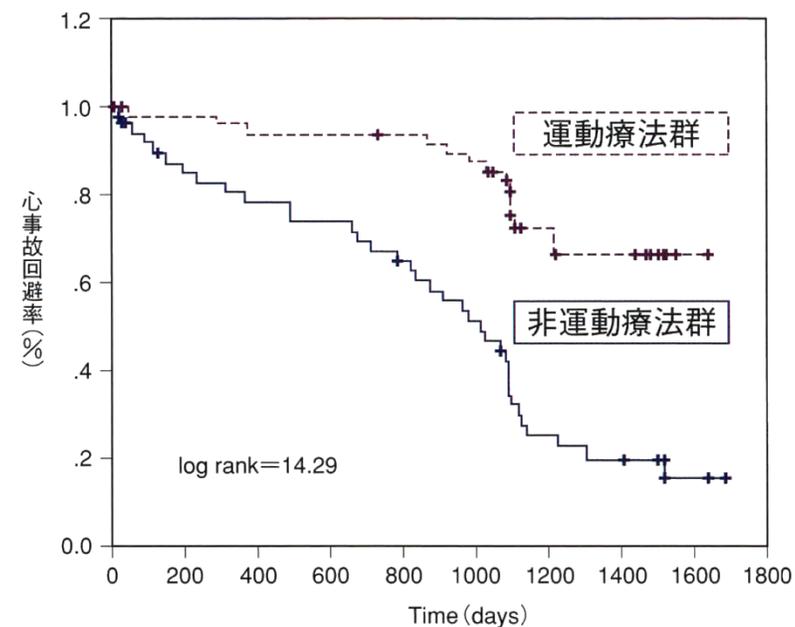


運動能力と生存率



N Engl J Med 2002; 346: 793.

心不全患者への効果



心不全患者 99例を対象
最高酸素摂取量の60%運動強度
週に2~3回のトレーニングを14ヶ月間施行
心不全スコア、心事故の回避率、全死亡 改善

Circulation 1999; 99: 1173.

- 全身持久力を高めるには、

「運動・トレーニング強度」

は重要である。



- 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

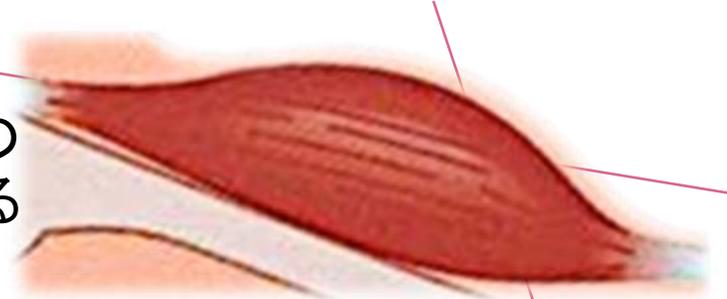


- ✓ 分析装置が高額
- ✓ 熟練した測定技術が必要

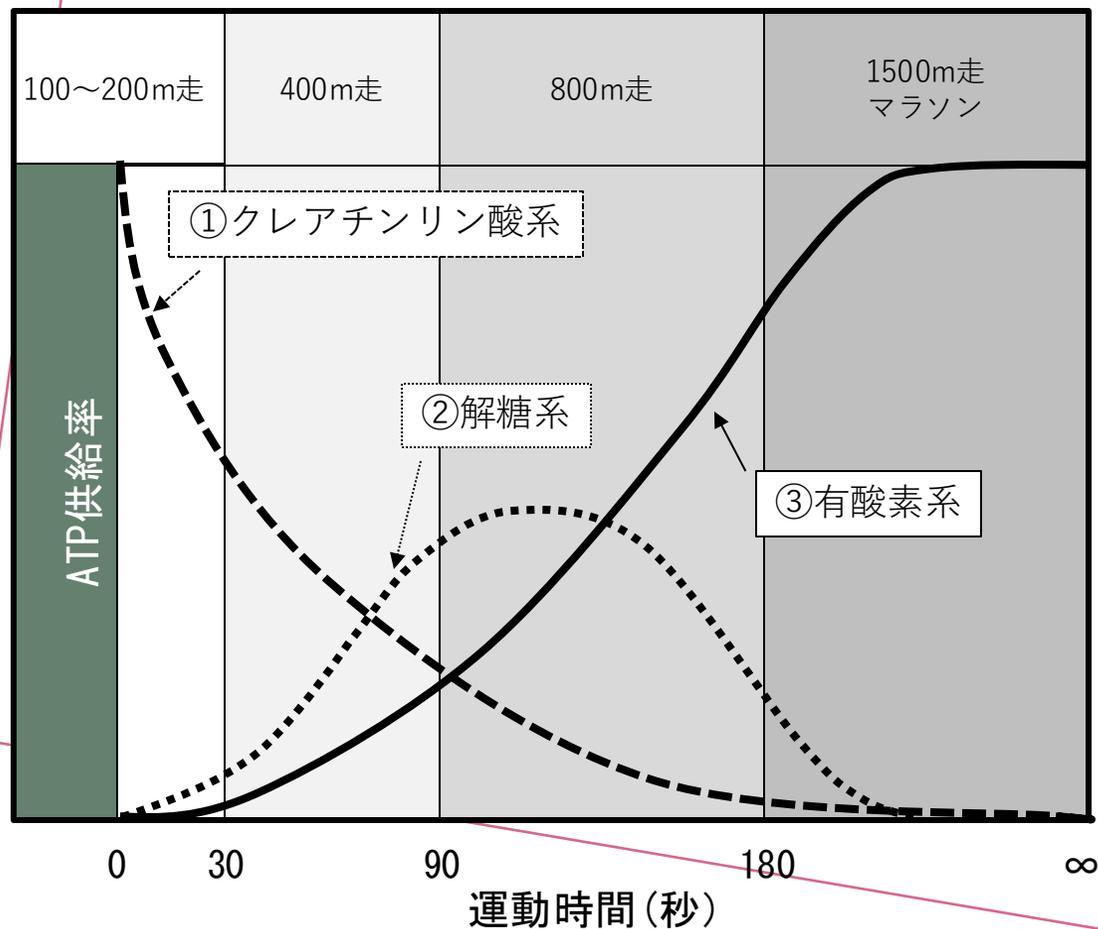
普及可能なトレーニング強度判定システムが求められている

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



有酸素性能力 = 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

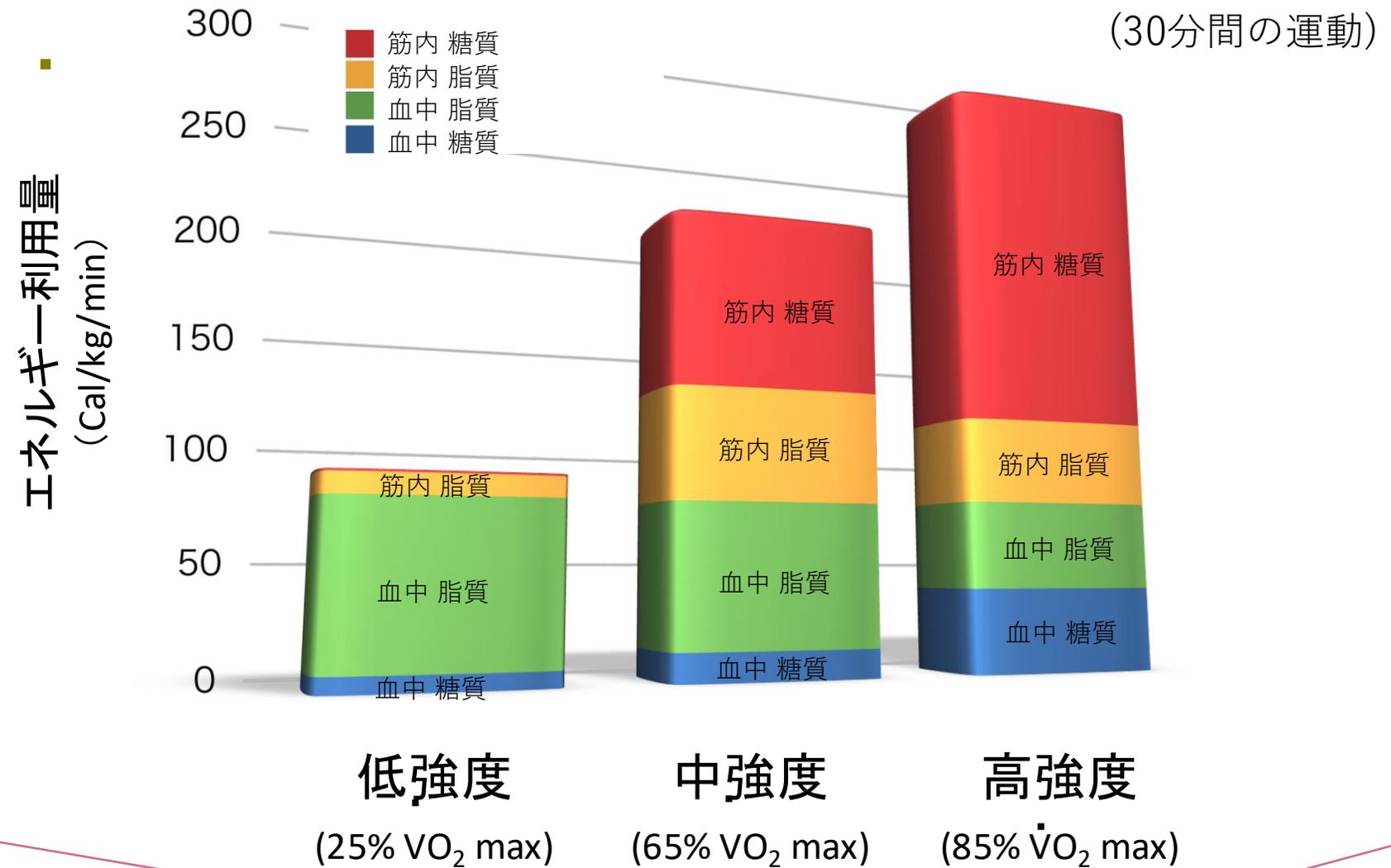
アスリート

- ・ 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. . .

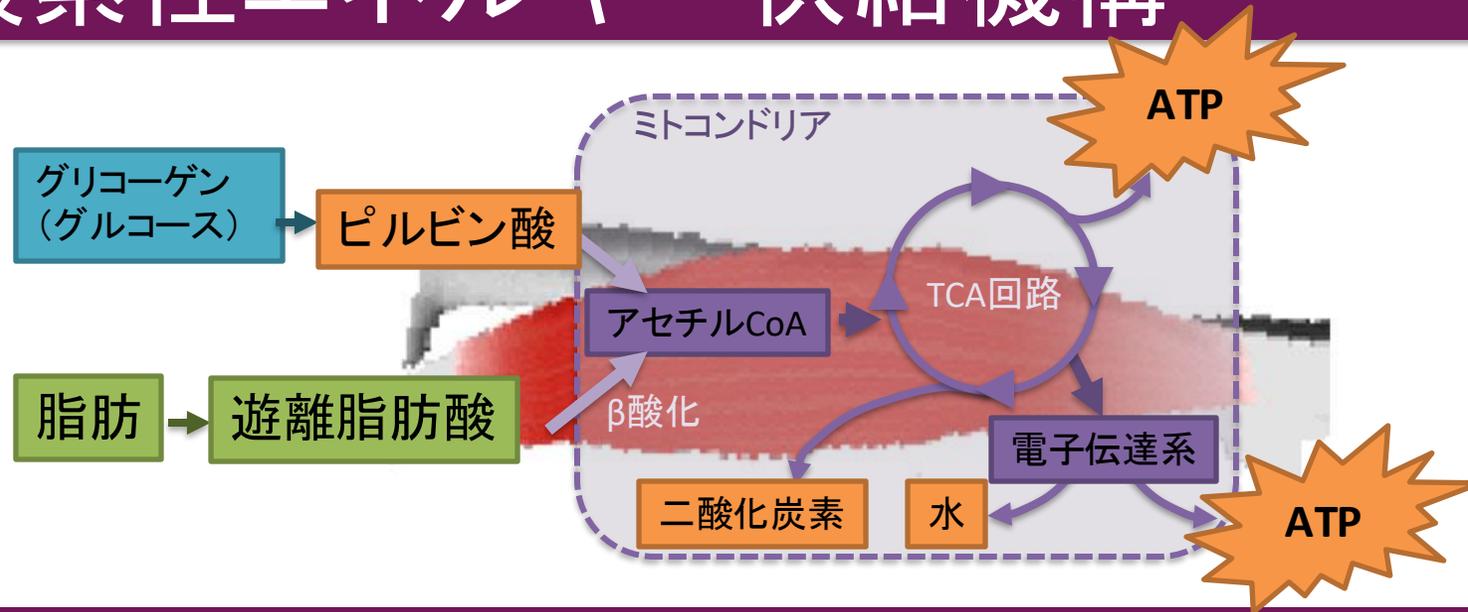
非アスリート

- ・ 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. . .

運動強度別の糖質・脂質の利用率



・ 有酸素性エネルギー供給機構



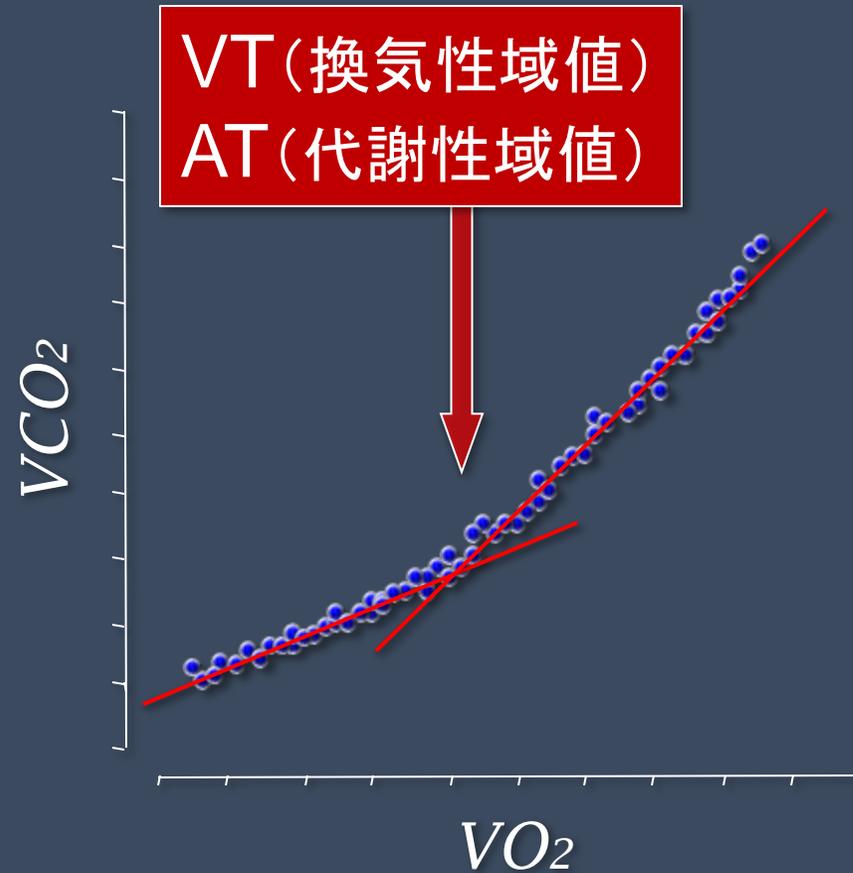
・ 無酸素性エネルギー供給機構



- 運動と持久力
- **運動強度評価法**
- 新たな非侵襲的運動強度評価法の開発

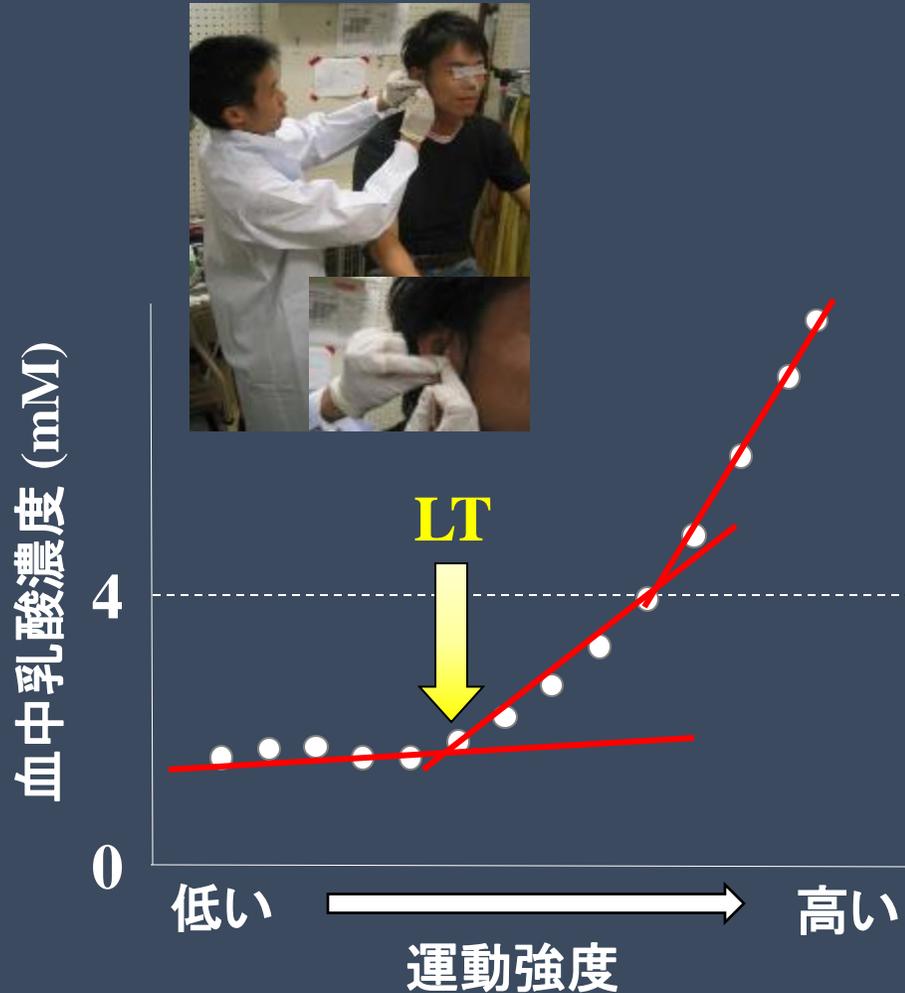
O₂消費／CO₂排出量測定による持久能力測定

CPX (CardioPulmonary Exercise test) 心肺運動負荷試験

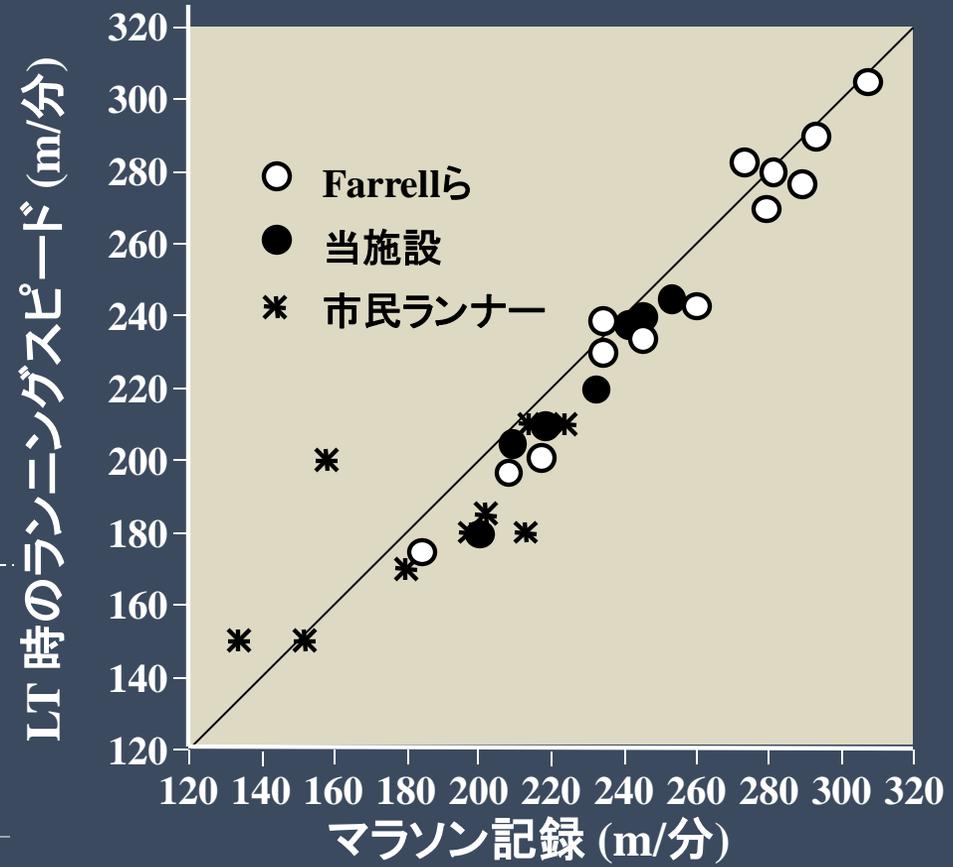


乳酸閾値(LT)とマラソン記録の関係性

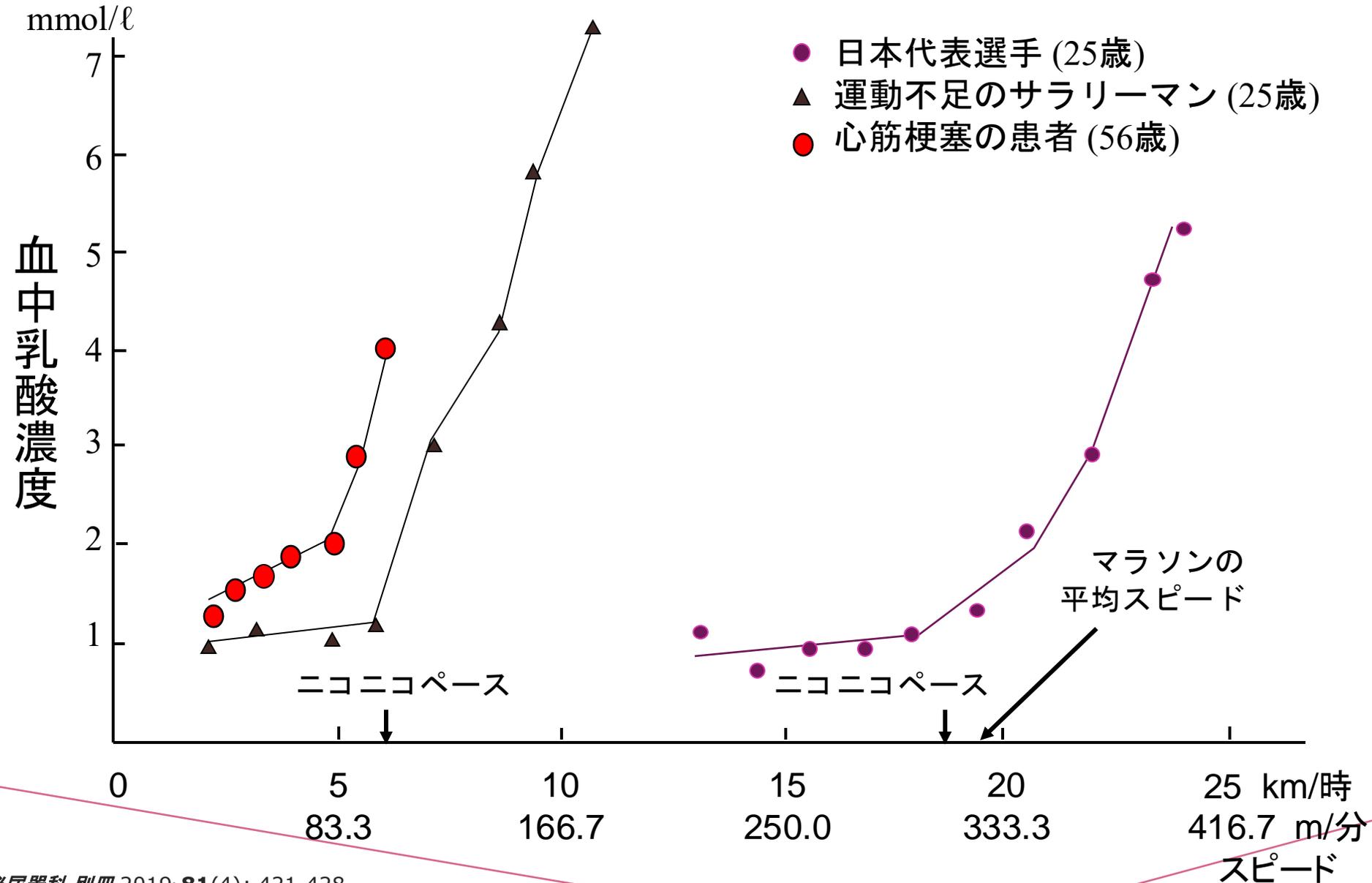
乳酸閾値(LT)の測定



乳酸域値(LT)とマラソン記録



日本代表長距離選手と運動不足気味のサラリーマン、心筋梗塞患者の 走行スピードと血中乳酸濃度

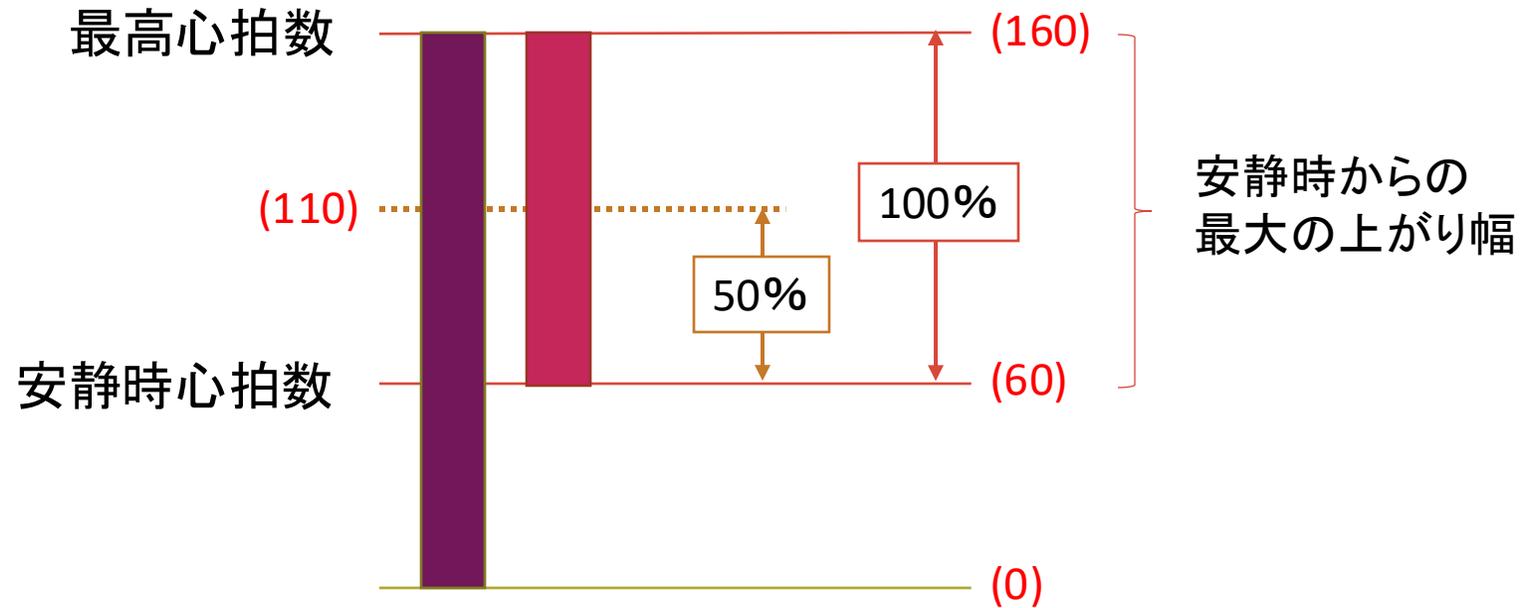


相対的運動強度

Borg指数

指数 (Scale)	自覚的運動強度		運動強度 (%)
20	もう限界！		100
19	非常にきつい	very very hard	95
18			
17	かなりきつい	very hard	85
16			
15	きつい	hard	70
14			
13	ややきつい	fairy hard	55 (乳酸域値相当)
12			
11	楽である	light	40
10			
9	かなり楽である	very light	20
8			
7	非常に楽である	very very light	5
6	安静時		

心拍数を用いた相対的運動強度

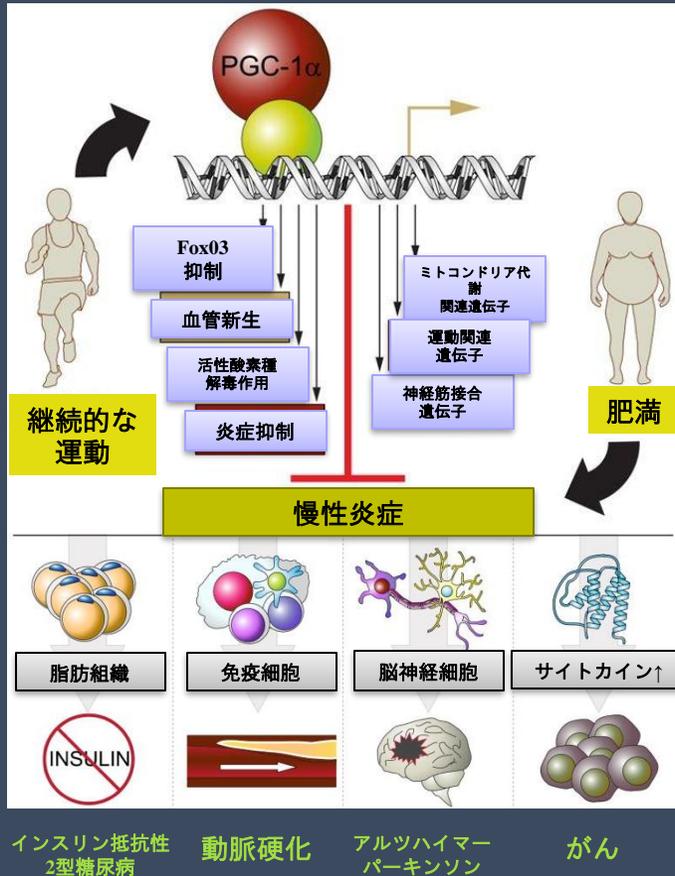


$$\text{目標心拍数} = \text{安静心拍数} + \frac{(\text{最高心拍数} - \text{安静心拍数}) \times \% \text{運動強度}}{100}$$

$$\text{推定最高心拍数(拍/分)} = 220 - \text{年齢[歳]}$$

PGC-1 α と運動による骨格筋の適応

Peroxisome proliferator - activated receptor γ coactivator -1 α



β -Ad stimulate
AMPキナーゼ

PGC-1 α 発現



悪玉マイオカイン ↓

善玉マイオカイン ↑

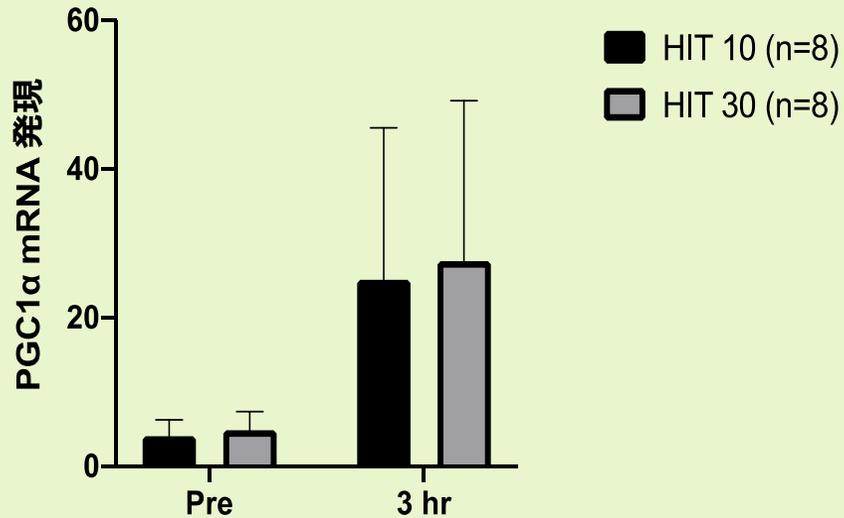


有酸素能改善

慢性疾患の予防・治療

運動による PGC-1 α の骨格筋発現

- HIT 10:
10秒全力ペダリング + 80秒40%VO₂max X 10 セット
- HIT 30:
30秒全力ペダリング + 4分休憩 X 4 セット

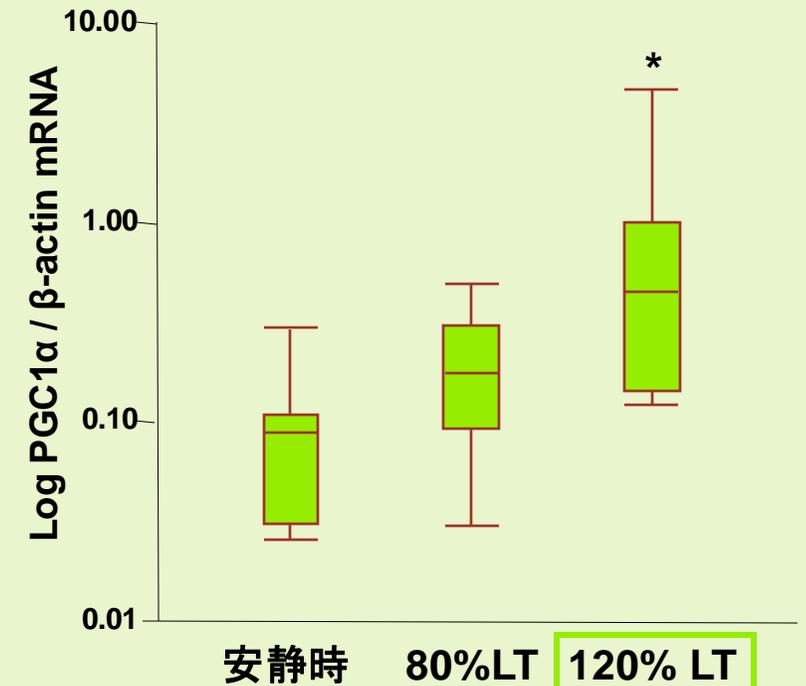


Kagimura and Uehara et al. in submission



60分 有酸素性運動

乳酸閾値 (Lactate threshold : LT)



Tobina et al., *J Sports Med Phys Fitness*. 2011; 51: 683-8

PGC-1 α の発現のためには LT 強度以上が必要

歩行と走行

楽ちん？

ウォーキング
(歩行)



ほどほど？

ジョギング
(走行)



きつい？

ランニング
(走行)



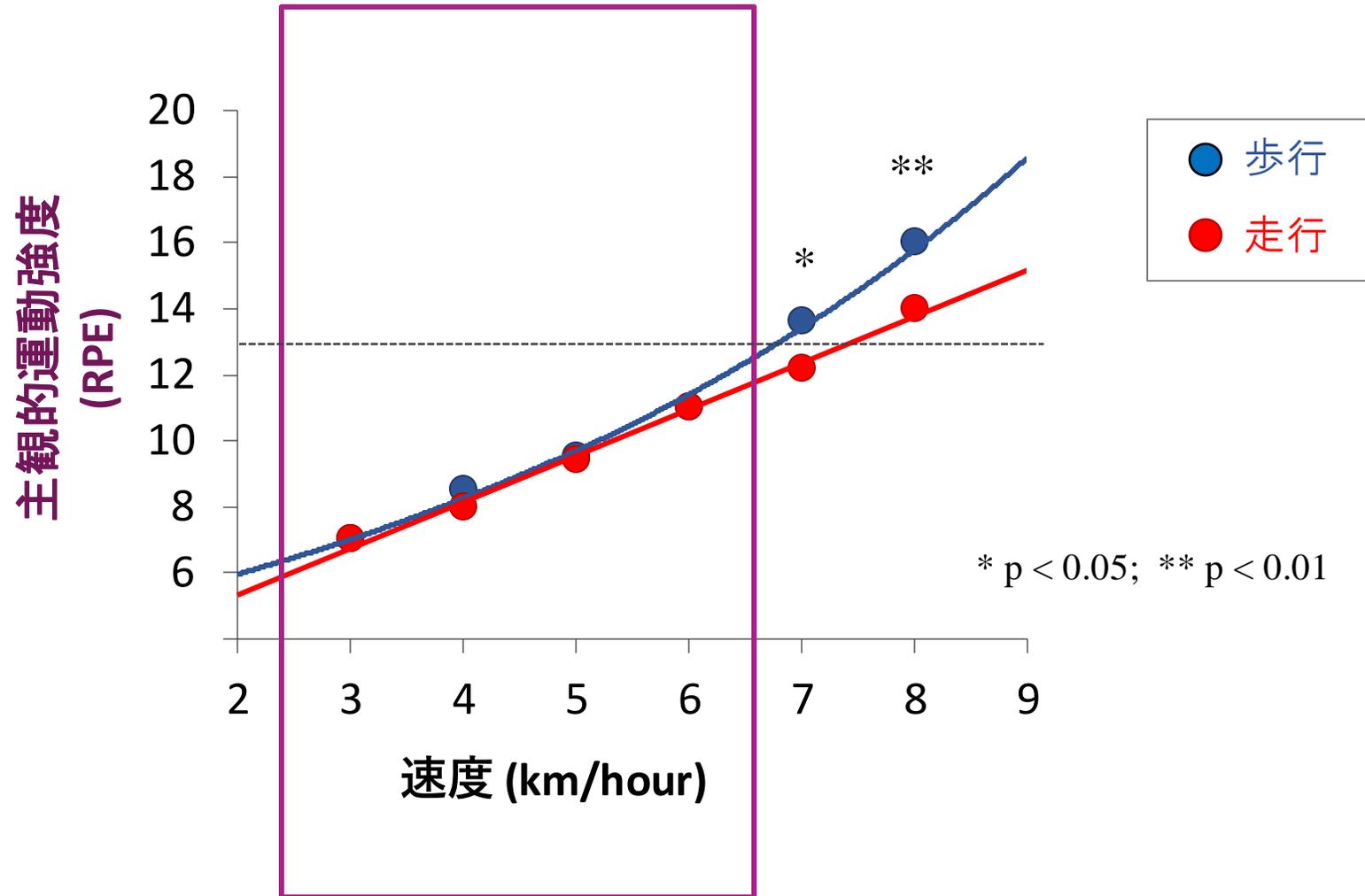
遅

移動速度

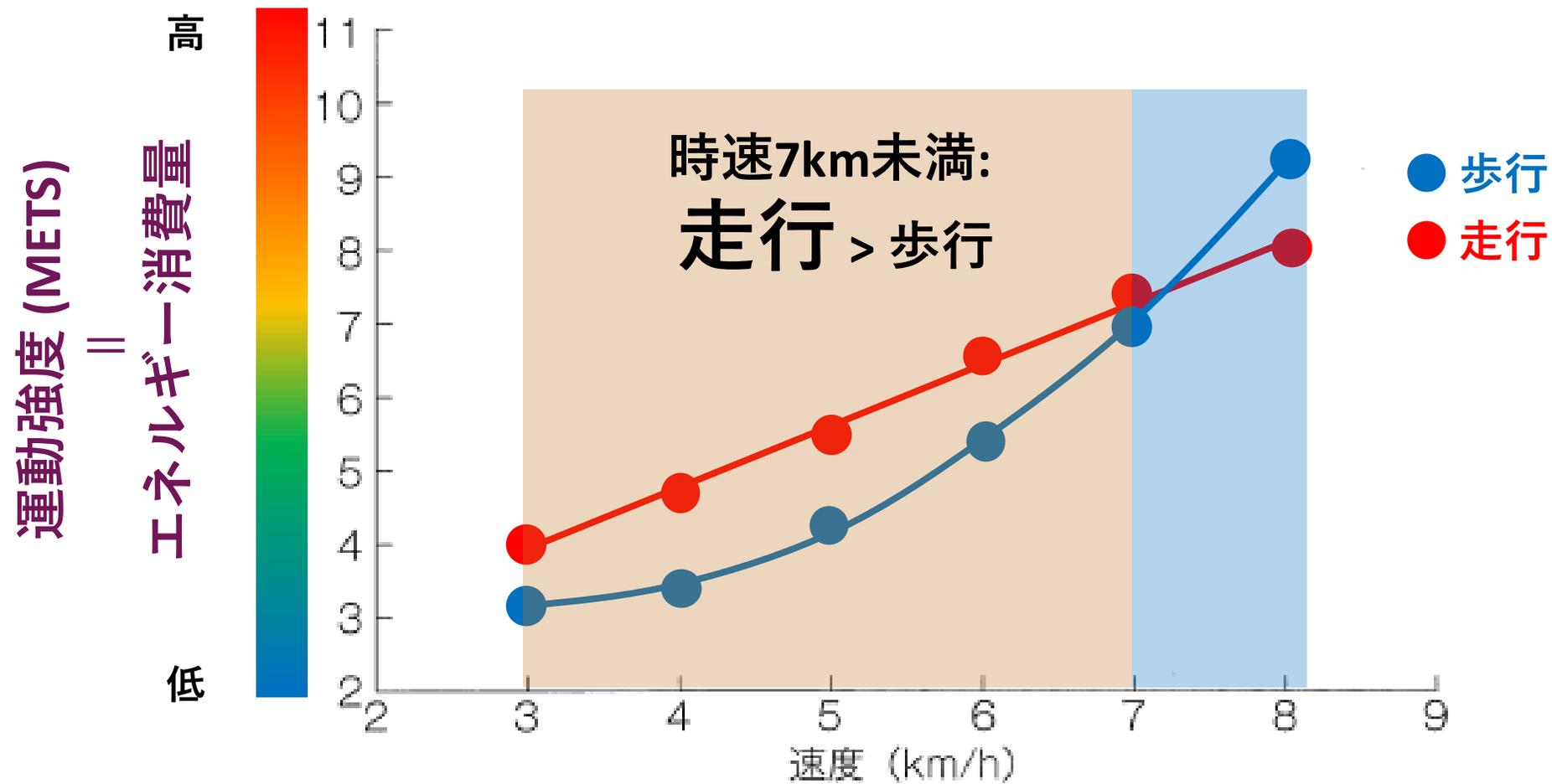
速



歩行と走行の主観的運動強度の比較



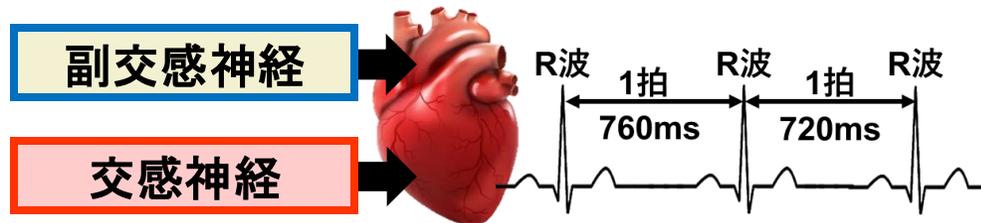
歩行と走行のエネルギー消費量の比較



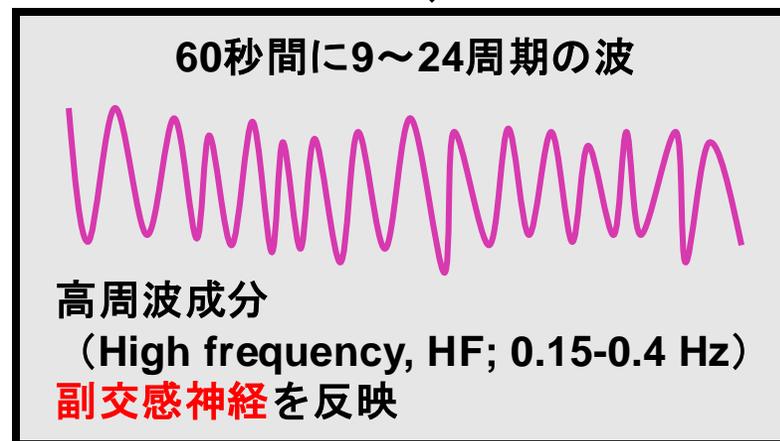
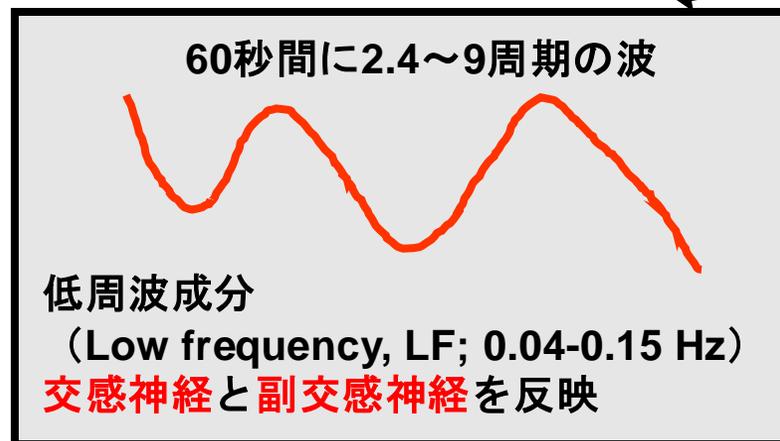
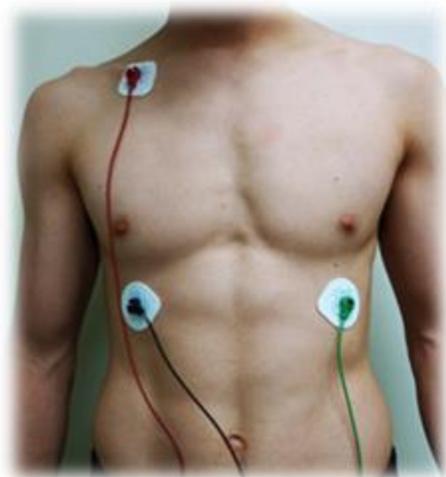
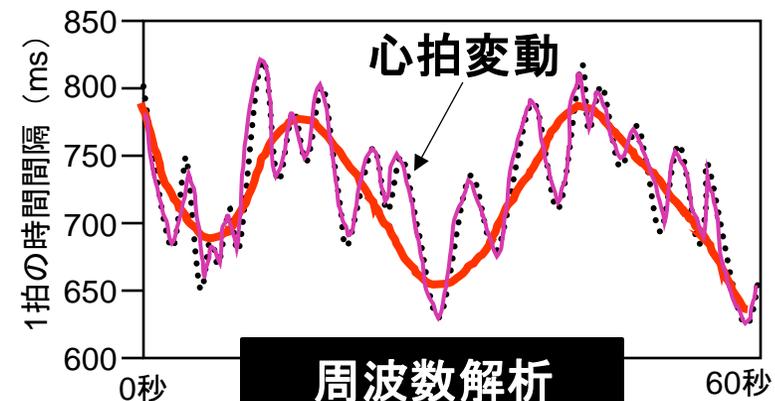
- 運動と持久力
- 運動強度評価法
- **新たな非侵襲的運動強度評価法の開発**

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

○心拍変動とは心拍1拍1拍の間隔のずれである



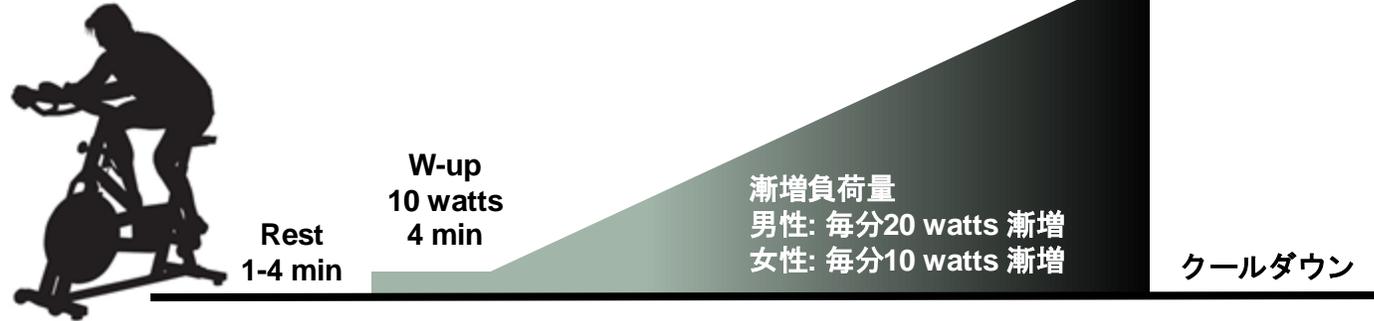
○心拍変動には複数の周期の波が混在



自律神経活動を抽出し、運動強度推定に応用

実験プロトコル

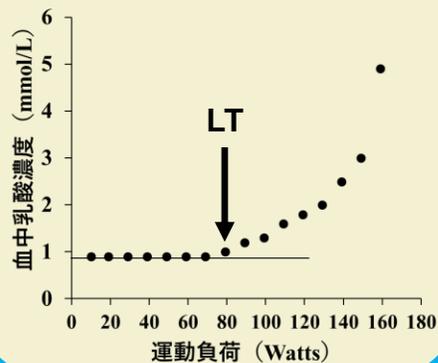
運動様式：自転車エルゴメータ
負荷方法：ランプ式漸増運動負荷



○測定項目

血中乳酸濃度

✓ 乳酸閾値 (LT) の判定

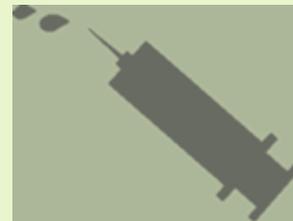


呼気ガス分析

✓ 酸素摂取量の測定



静脈採血

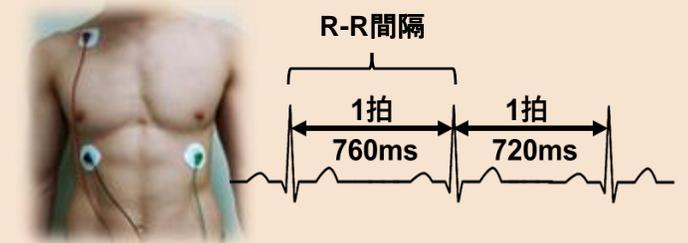


【評価項目】
アドレナリン
ノルアドレナリン

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

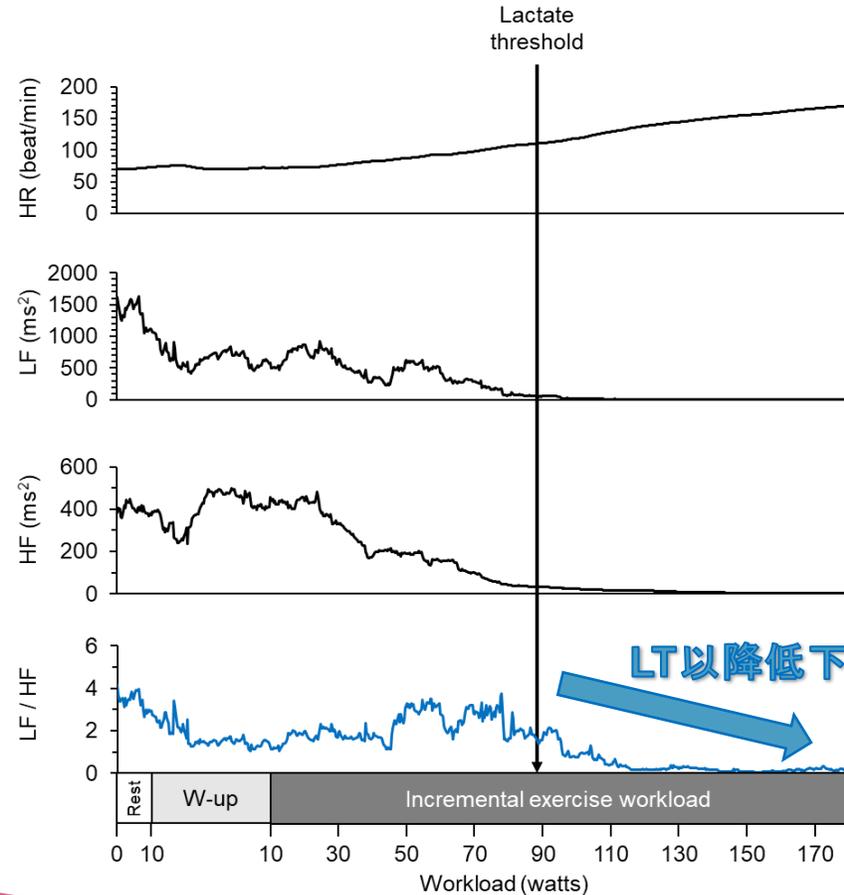
✓ 周波数解析を実施

周波数成分

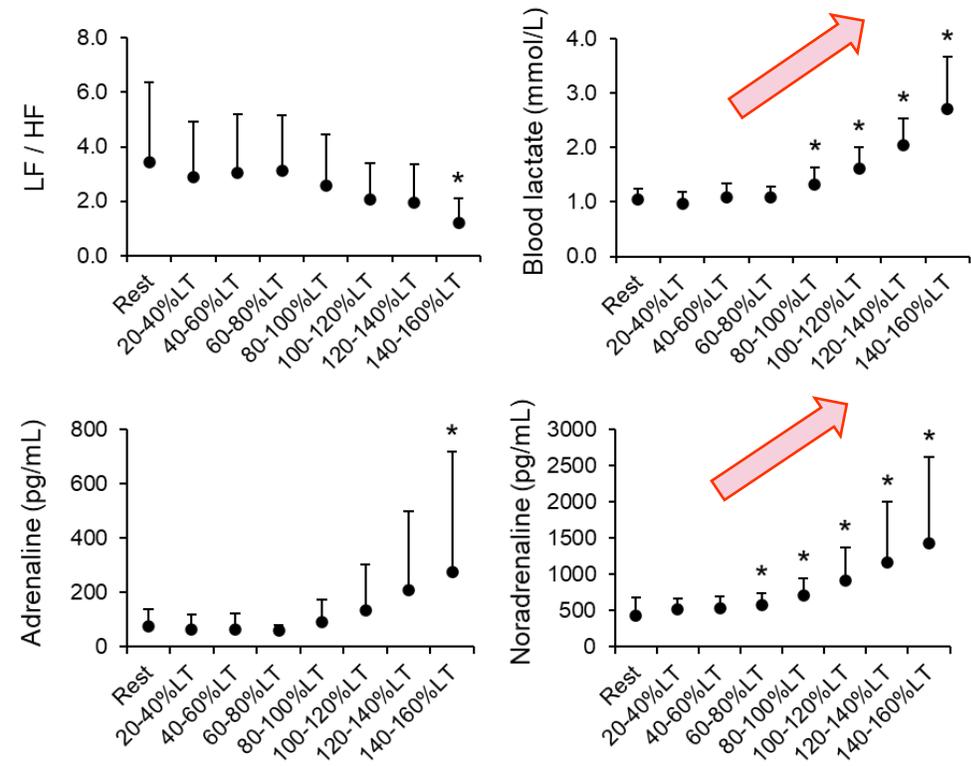
- ・低周波成分 (LF) : 0.04-0.15 Hz
交感神経および副交感神経の両方を反映
- ・高周波成分 (HF) : 0.15-0.83 Hz
副交感神経を反映
- ・交感神経指標 : LF/HF

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

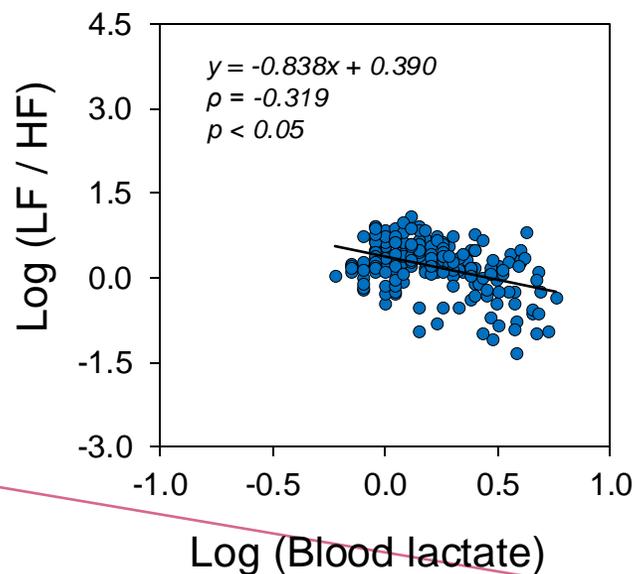
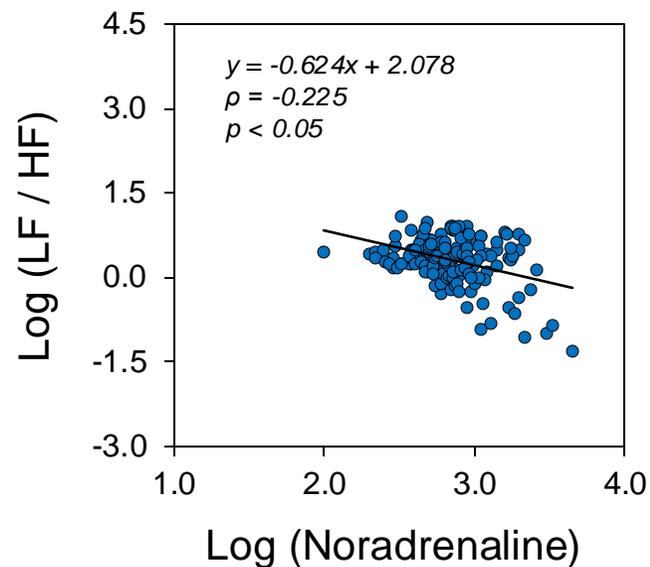
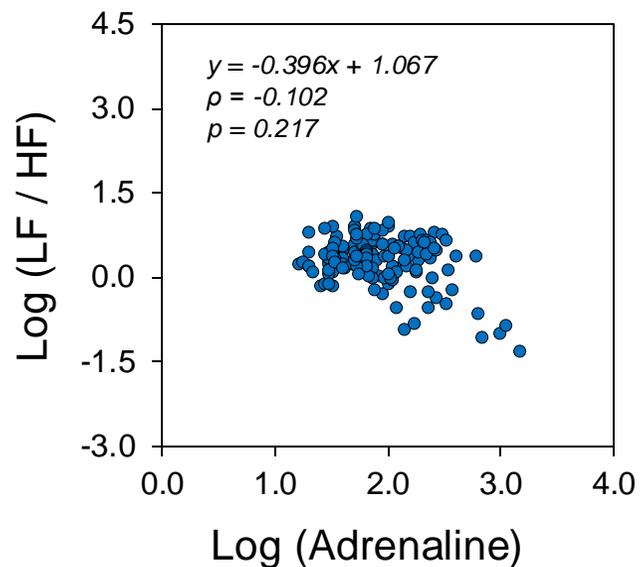


○乳酸閾値前後の比較



*p < 0.05 vs. Rest

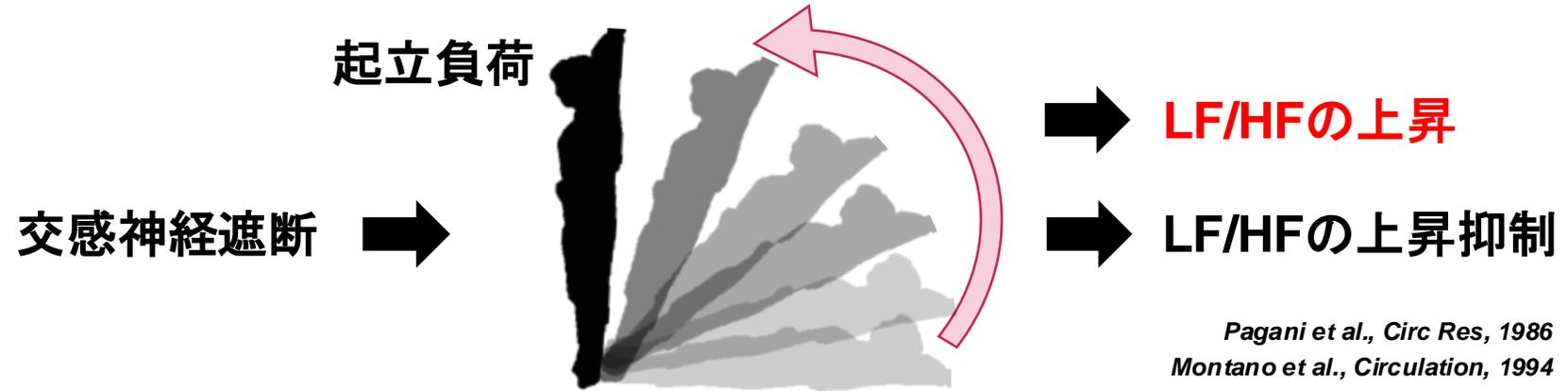
従来交感神経指標 (LF/HF) はカテコラミンと負の相関関係が認められた



**LF/HFは
漸増運動中の交感神経活動を
反映していない**

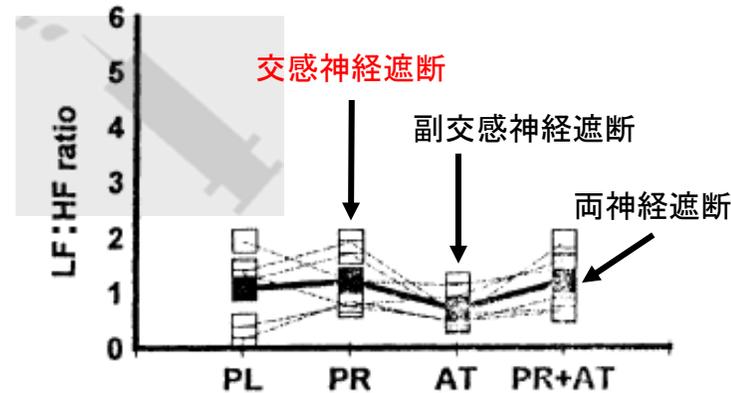
心拍変動における従来指標 (LF/HF) による交感神経評価の課題

○LF/HFは姿勢変化によって上昇する



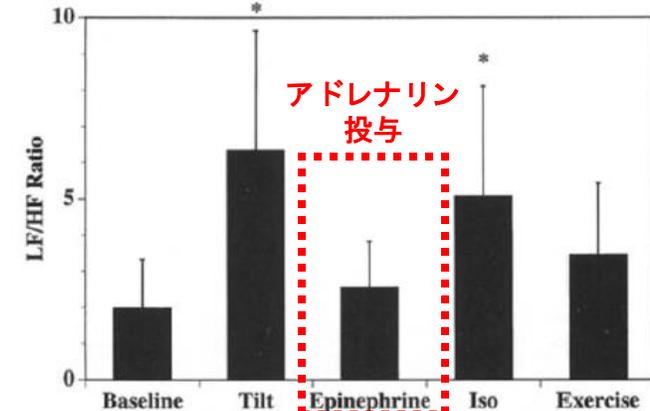
Pagani et al., Circ Res, 1986
Montano et al., Circulation, 1994

○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

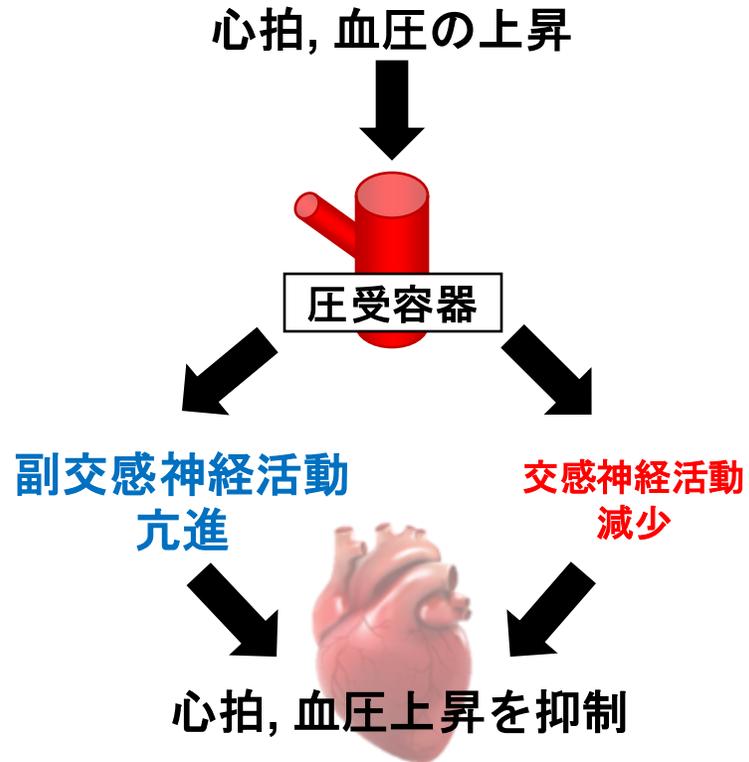


Ahmed et al., J Am Coll Cardiol, 1994

LF/HFの再検討と新たな交感神経指標の開発が必要

心拍制御に関わる圧受容器反射に着目

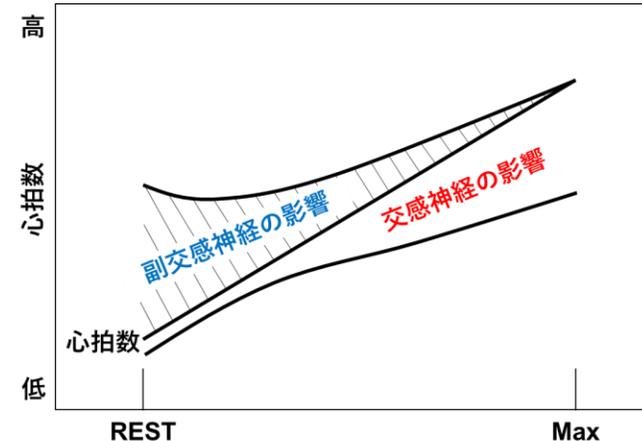
- 圧受容器反射
圧受容器が反射的に心拍, 血圧を制御する機能



- 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

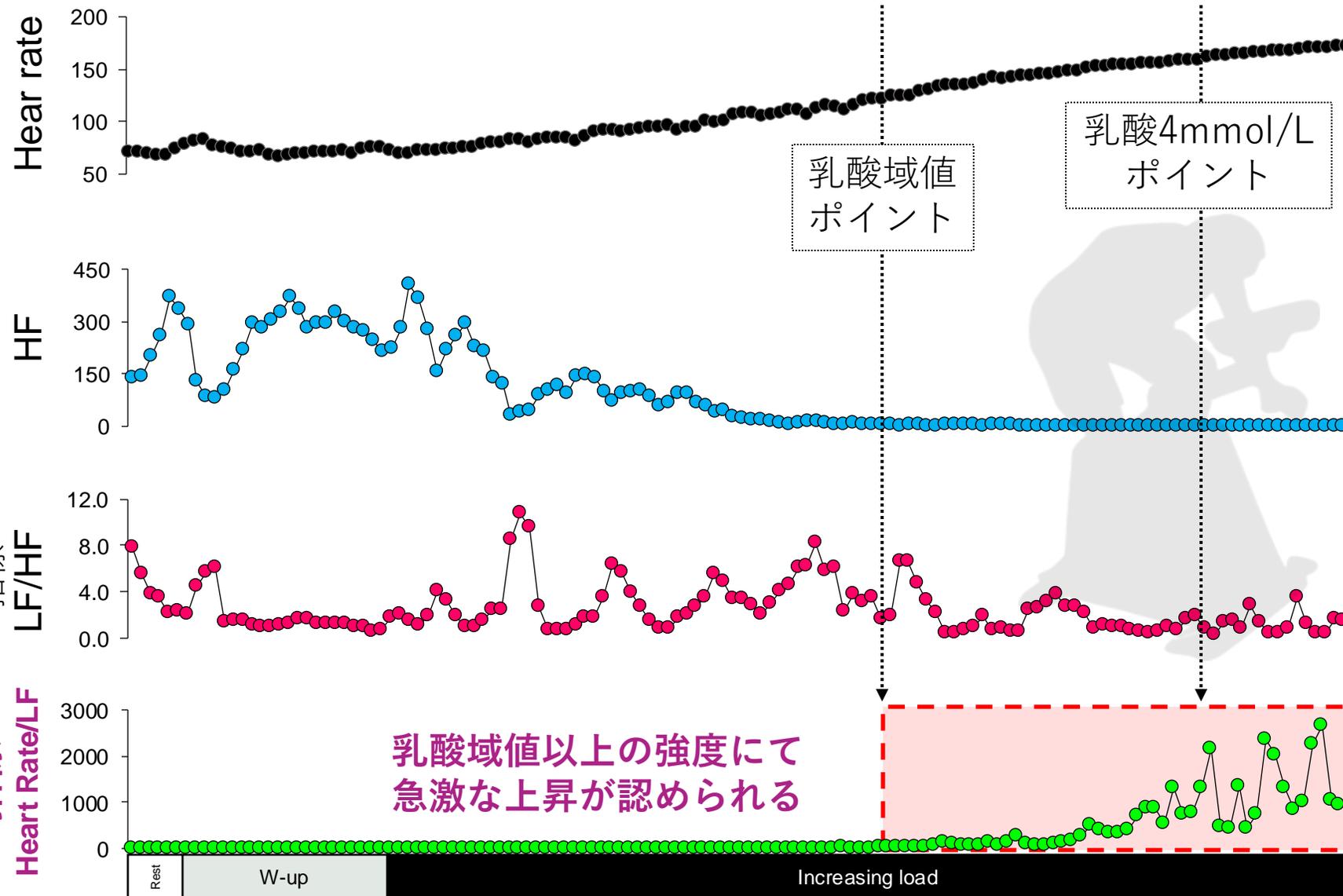
漸増運動負荷中の従来法と比較した新規の交感神経活動指標の推移



新規
交感神経
指標

従来
交感神経
指標

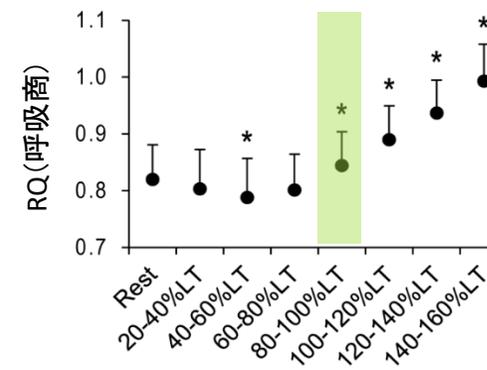
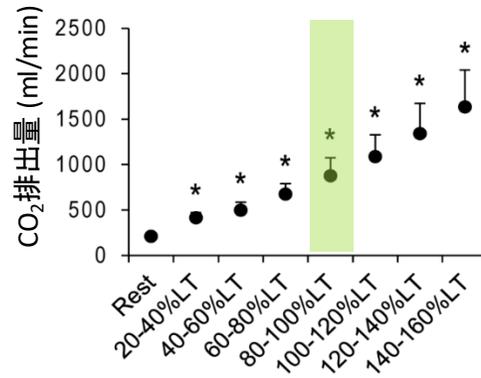
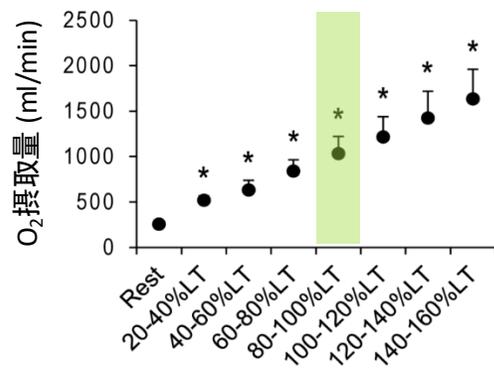
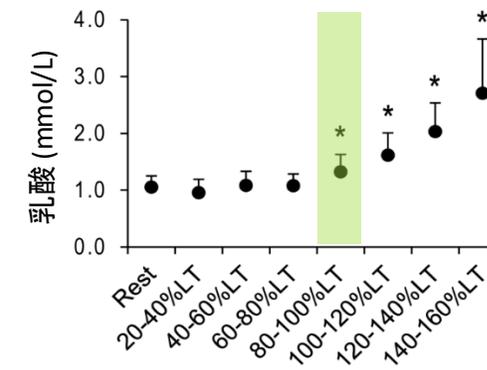
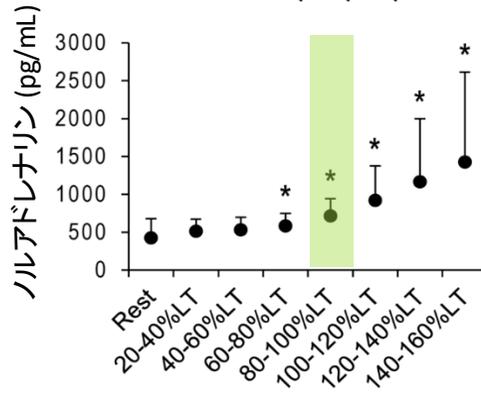
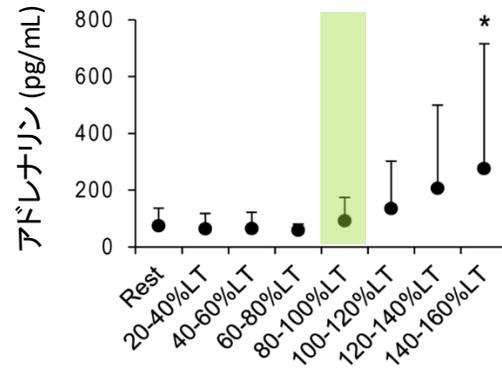
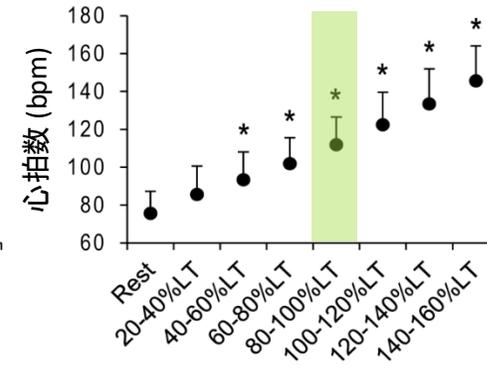
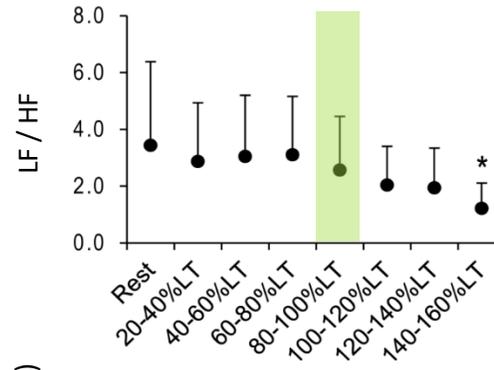
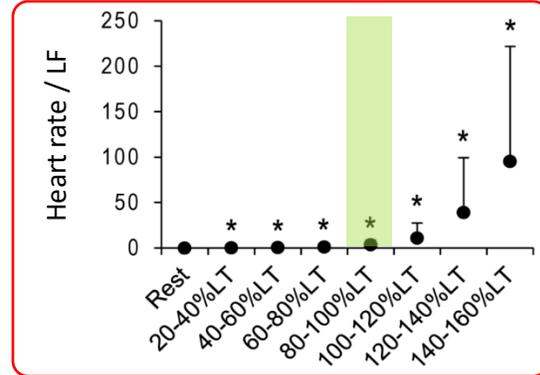
副交感神経
指標



心電図を用いた新規体カレベル測定法の開発

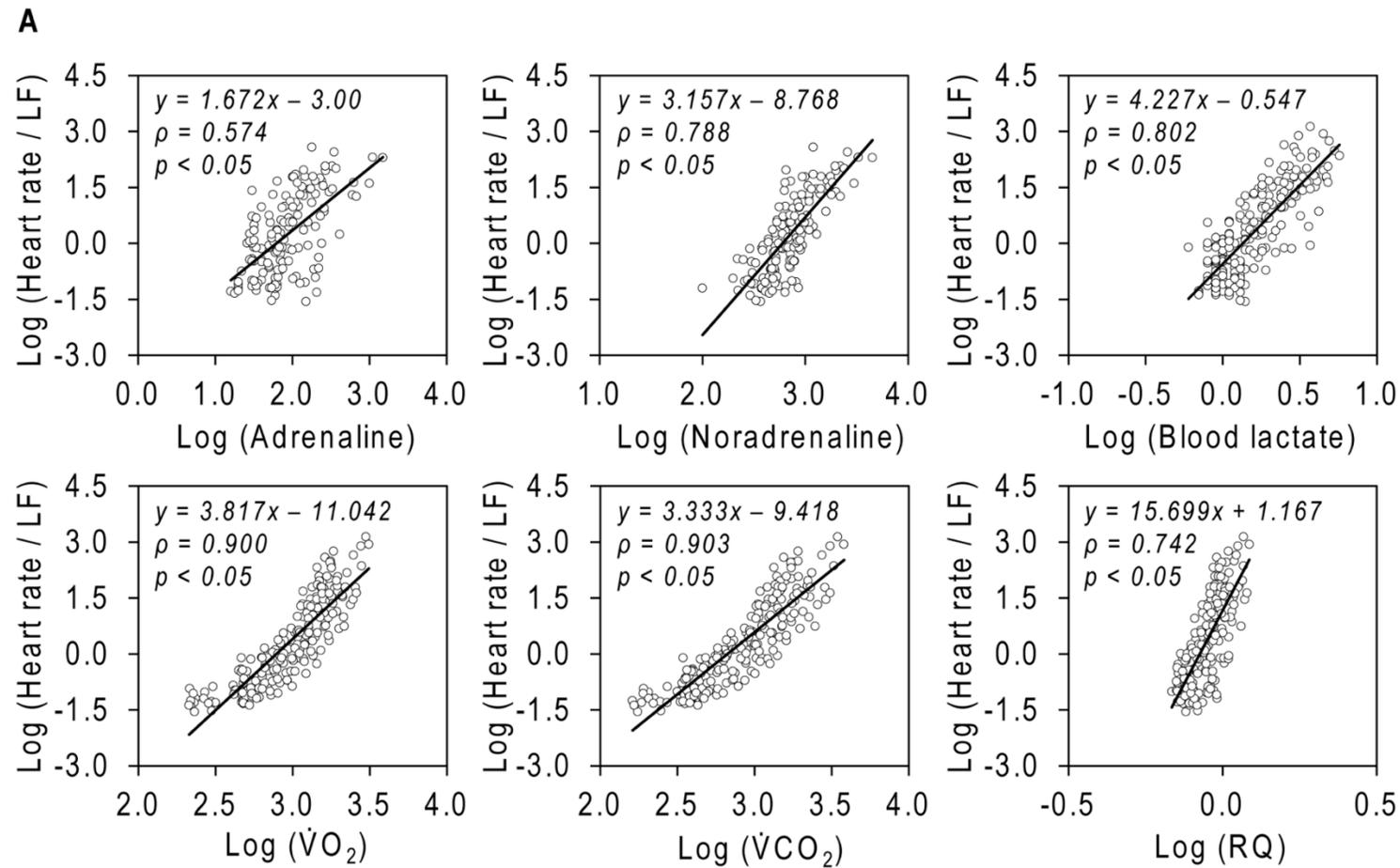
・国内特許 第7493811号
 ・PCT国際出願 (PCT/JP2020/016762)
 ・米国特許 Patent No.: US 11,986,303B2

新規交感神経指標

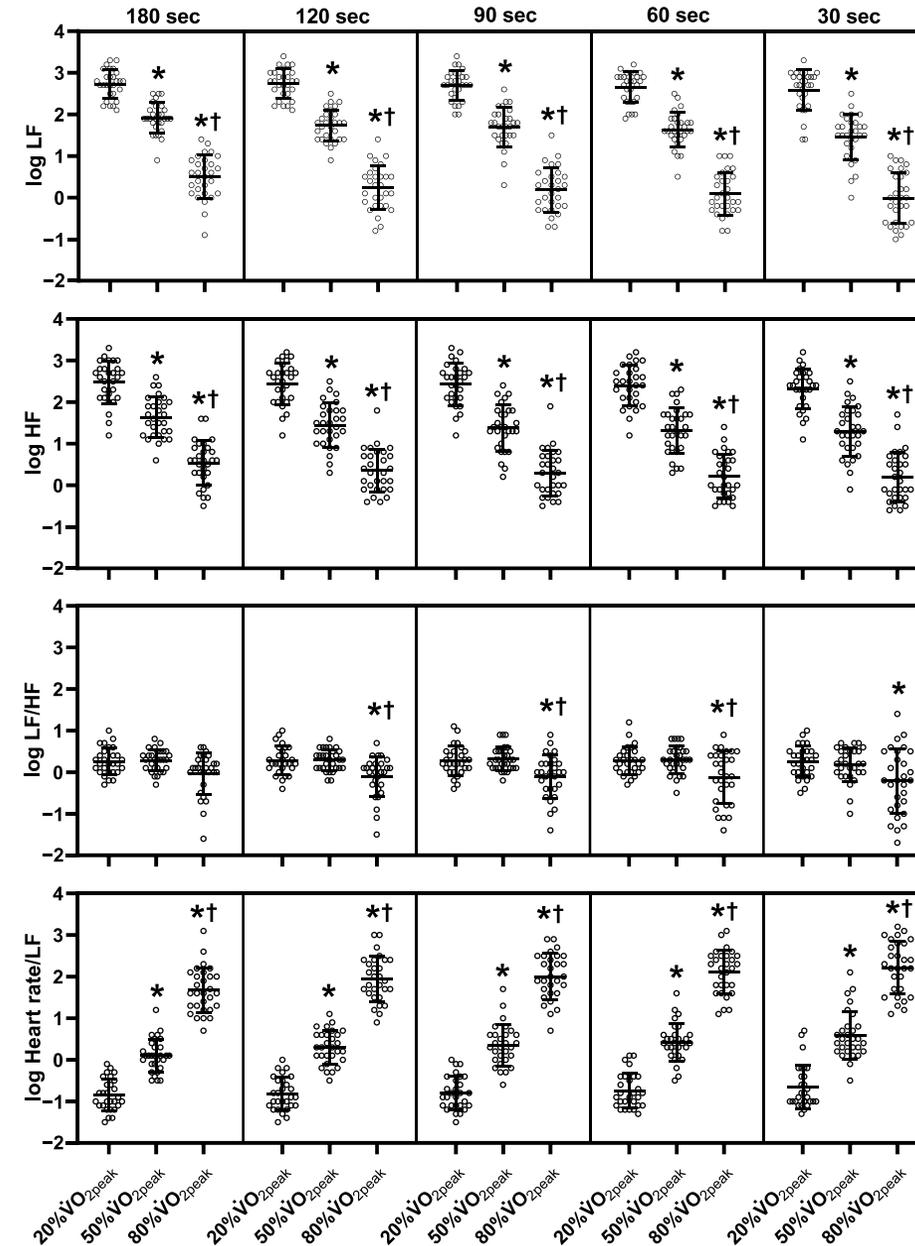


エルゴメーター漸増運動中の Heart rate / LF と各種パラメーターとの関係

(男性7名、女性8名)



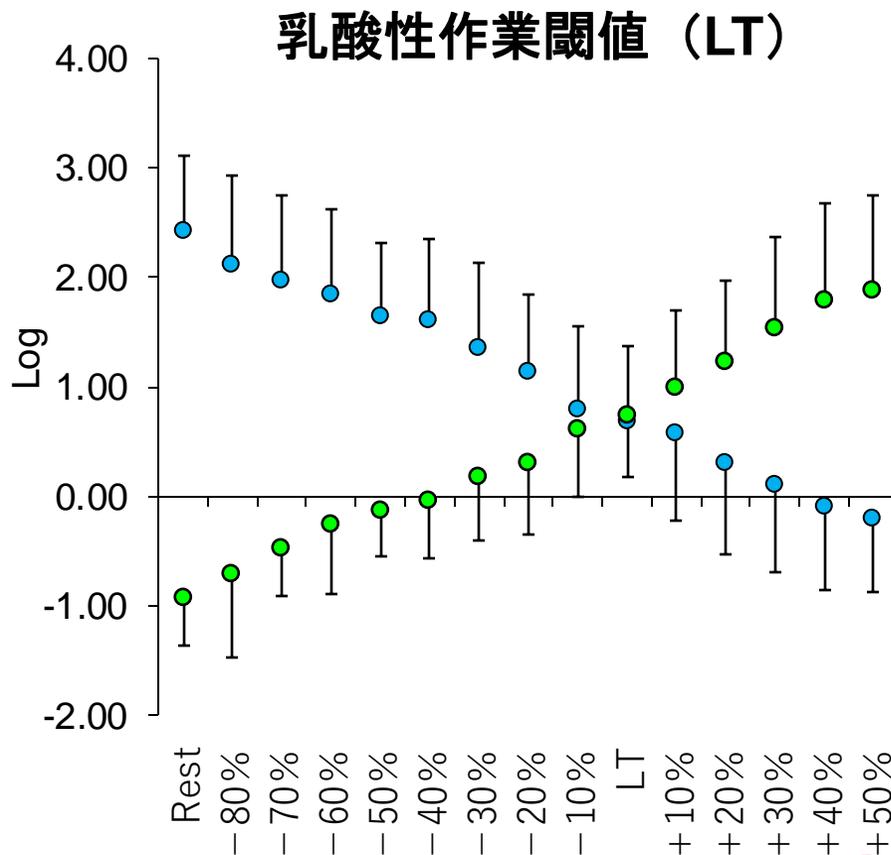
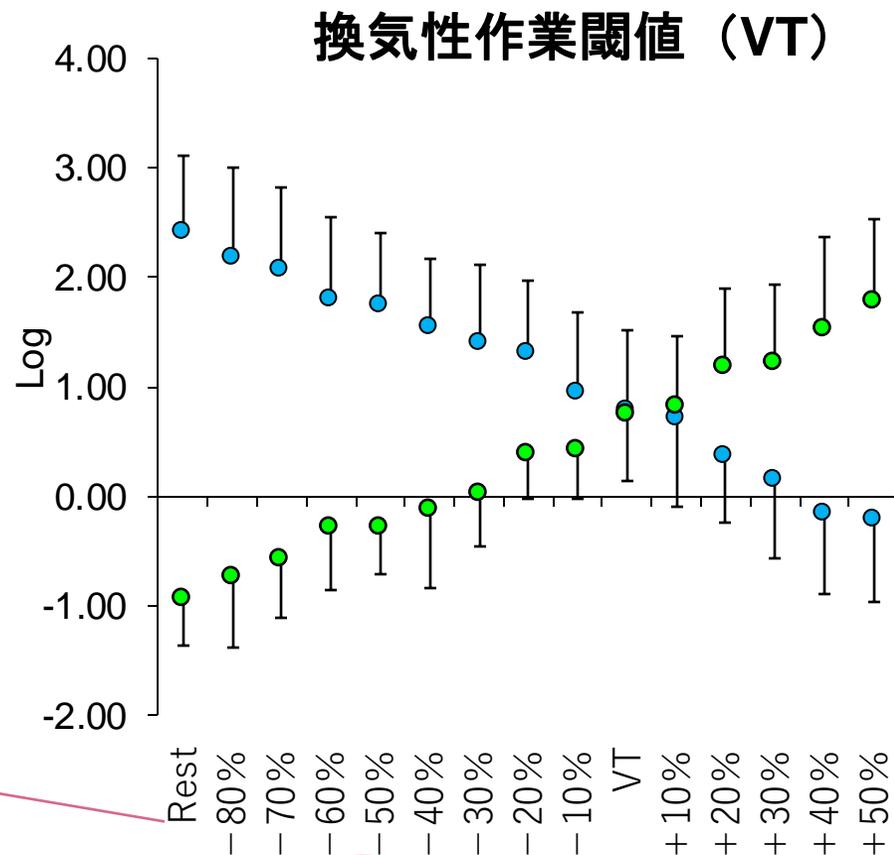
周波数解析時間の Heart rate / LF ratio へおよぼす影響



自転車エルゴメーター漸増運動では、HF（副交感神経指標）と Heart rate / LF（新規交感神経指標）の交点は換気性域値および乳酸域値と一致する

- HF（副交感神経指標）
- Heart rate / LF（交感神経指標）

- ・国内特許 第7493811号
- ・PCT国際出願(PCT/JP2020/016762)
- ・米国特許 Patent No.: US 11,986,303B2



サマリー

①運動強度の重要性

- ・ スポーツ・運動において、その**運動強度**は極めて重要なファクターである。
- ・ 運動強度の違いは、運動時の代謝に影響をおよぼす。
- ・ 簡便かつ**正確な運動強度評価法**が求められている。

②運動中の交感神経活性を反映する心拍変動を応用した運動強度評価法の開発

- ・ これまでの課題であった運動中の交感神経活動を**心拍変動を用いた新規指標から求める方法を開発した。**
- ・ **非侵襲的かつ簡便に**運動中の交感神経活動の状態を評価することが可能となる。
- ・ Heart rate / LF ratio を応用することで、**乳酸域値に相当する運動強度をリアルタイムに、かつ正確に判定する方法を開発した。**