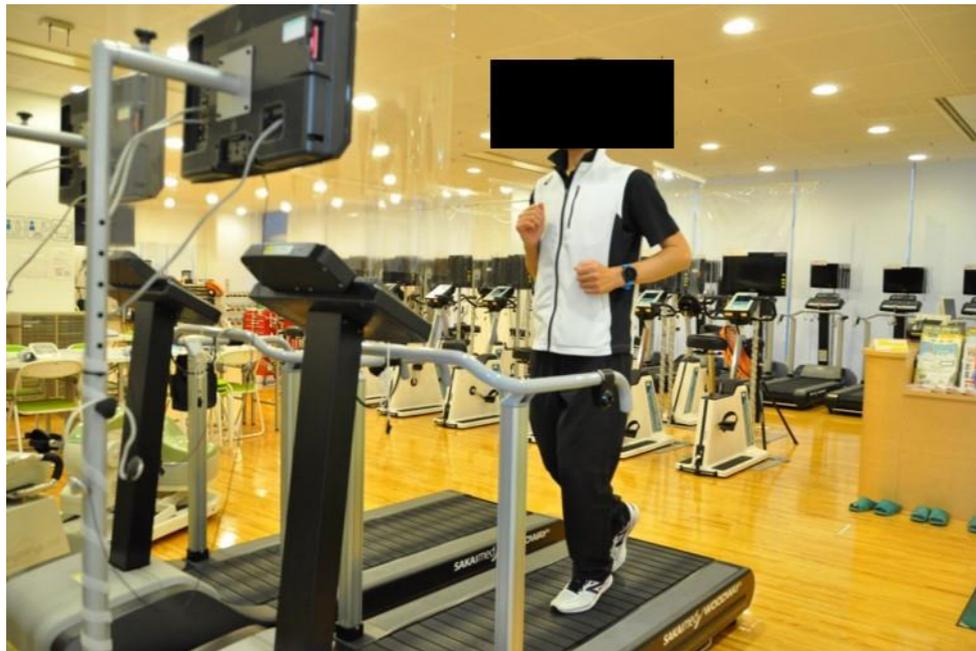
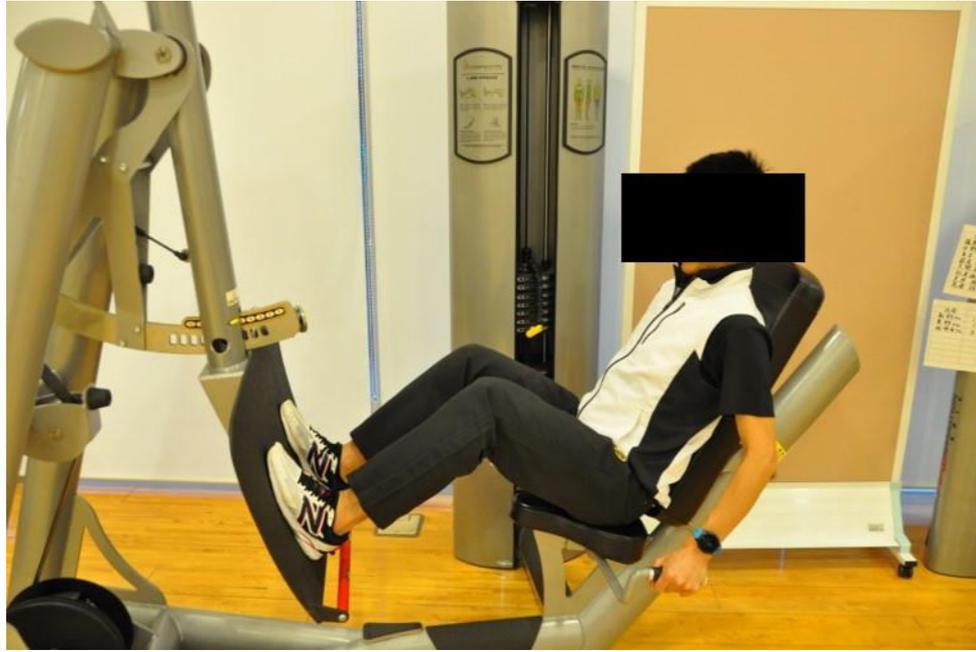


# 準備運動段階でその日の最適な運動 強度を予測するプログラム機器

福岡大学病院 循環器内科  
講師 末松 保憲

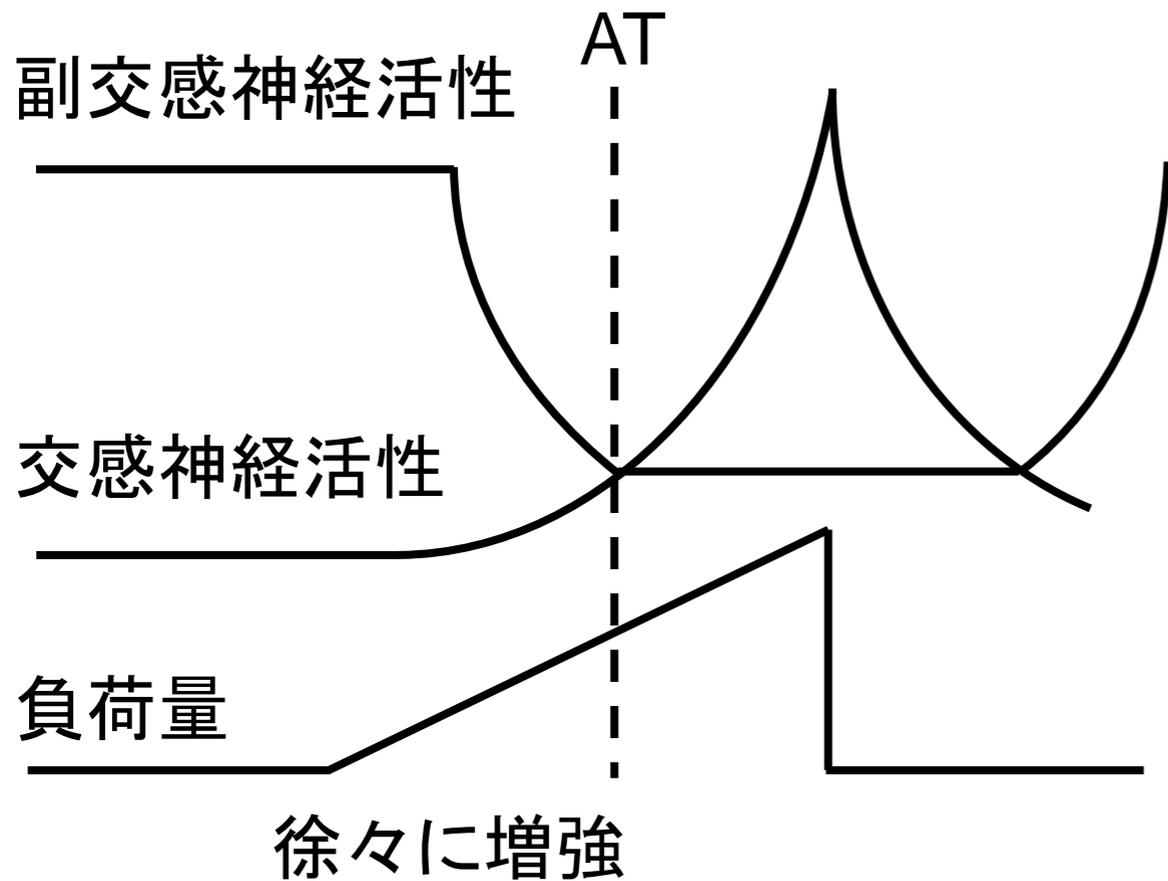
2025年 5月 27日



## 運動について

- 運動は大きく分けて有酸素運動とレジスタンス運動に分けられる。
- 有酸素運動には体重減少、生活習慣病の改善、心臓病の再発予防・予後改善効果がある。
- しかし低負荷、過負荷では十分な効果は得られない。
- そして、至適運動強度はその日の体調、メンタル、睡眠状況、病気の方は病態によって毎日異なる。

# 有酸素運動の最適な運動強度とは



- 健康的な運動のためには、嫌気性代謝閾値(AT: Anaerobic Threshold)を超えない強度が交感神経活性賦活化、乳酸産生、アシドーシス進行が起こらず、最適な運動強度である。
- 一般にATは最大酸素摂取量の50%程度である。
- ATを超えると有酸素運動でなくなり、心肺に負担が生じる。

## 従来技術とその問題点

- 運動負荷をしないで至適強度を求める方法  
カルボーネン法

運動強度 (%) = (運動時心拍数 - 安静時心拍数) ÷ (最大心拍数 - 安静時心拍数) × 100

\*最大心拍数 = 220 - 年齢, 高齢者は207 - (年齢 × 0.7)

しかし、日々変化する至適強度を求める事は不可能

## 従来技術とその問題点

- 運動負荷をかけて至適強度を求める方法

CPX (心肺運動負荷試験)

汗で測る乳酸値で判定

筋肉内の自律神経活性による判定

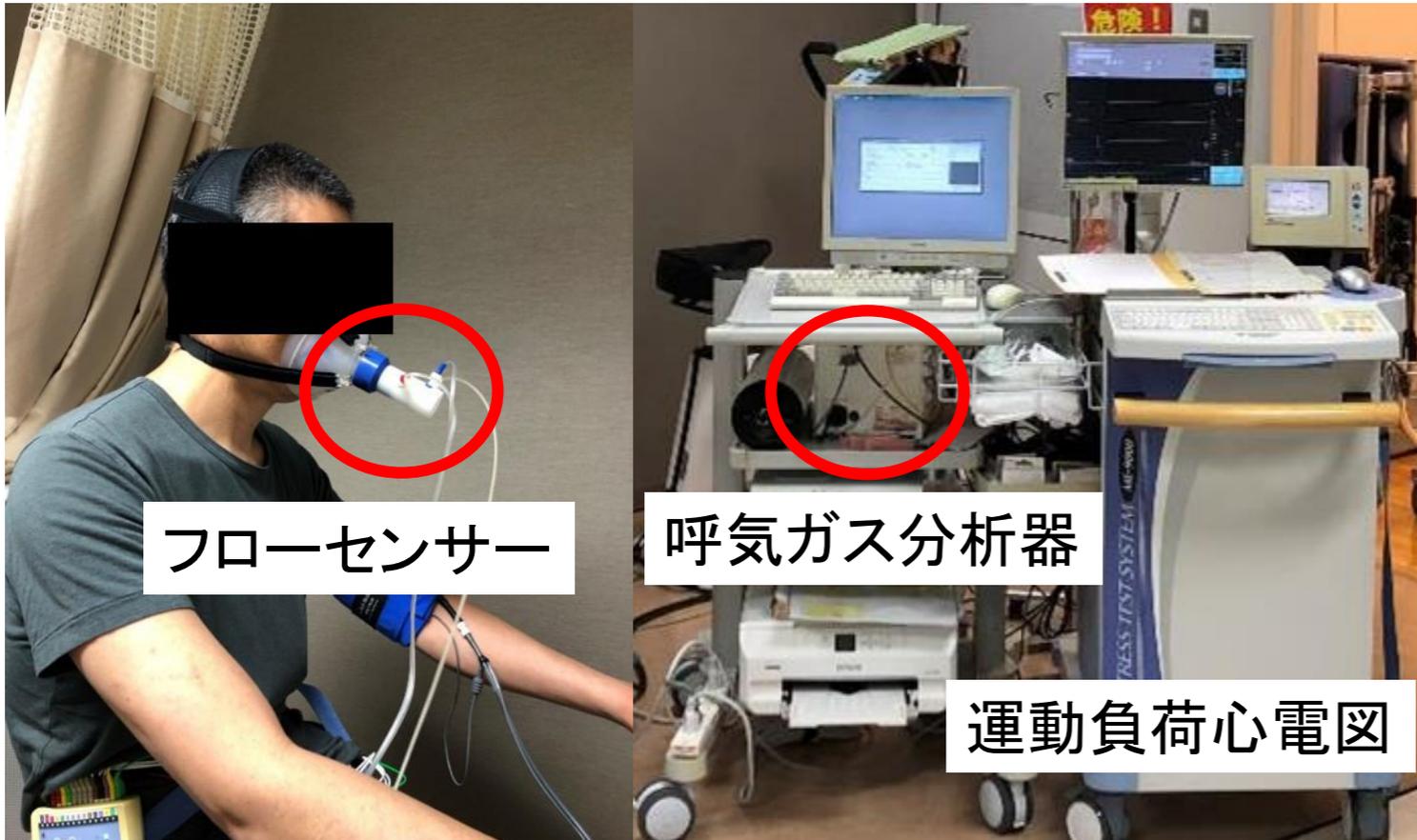
心拍数と収縮期血圧 (ダブルプロダクト) から判定

SpO<sub>2</sub>/HRの変化から判定

脈拍の2次微分 (加速度脈波) から判定

至適強度を超える十分な運動負荷を行わなければ  
ならず、運動前に至適強度を知ることが出来ない。

# 従来技術: CPX (心肺運動負荷試験)

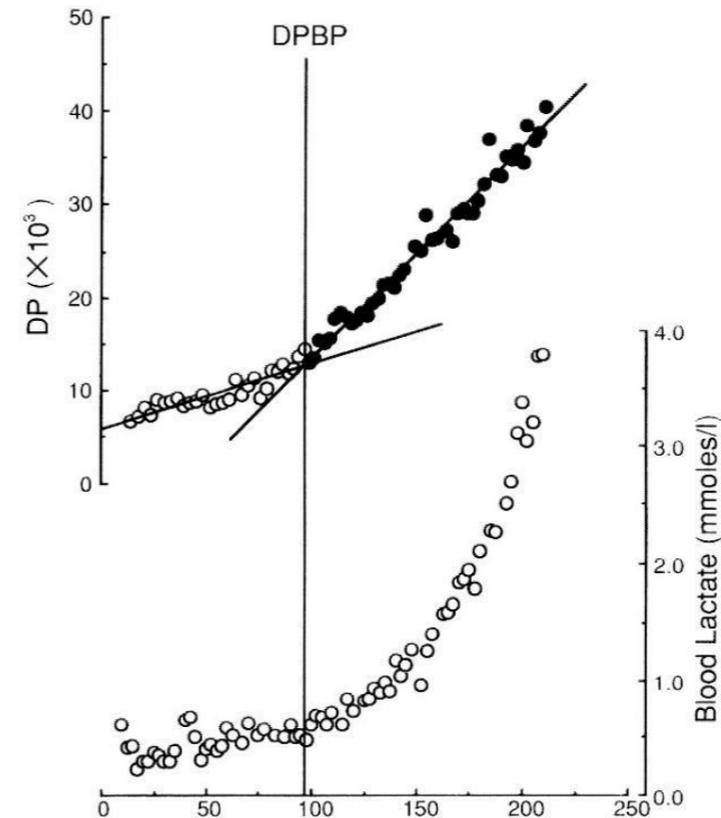
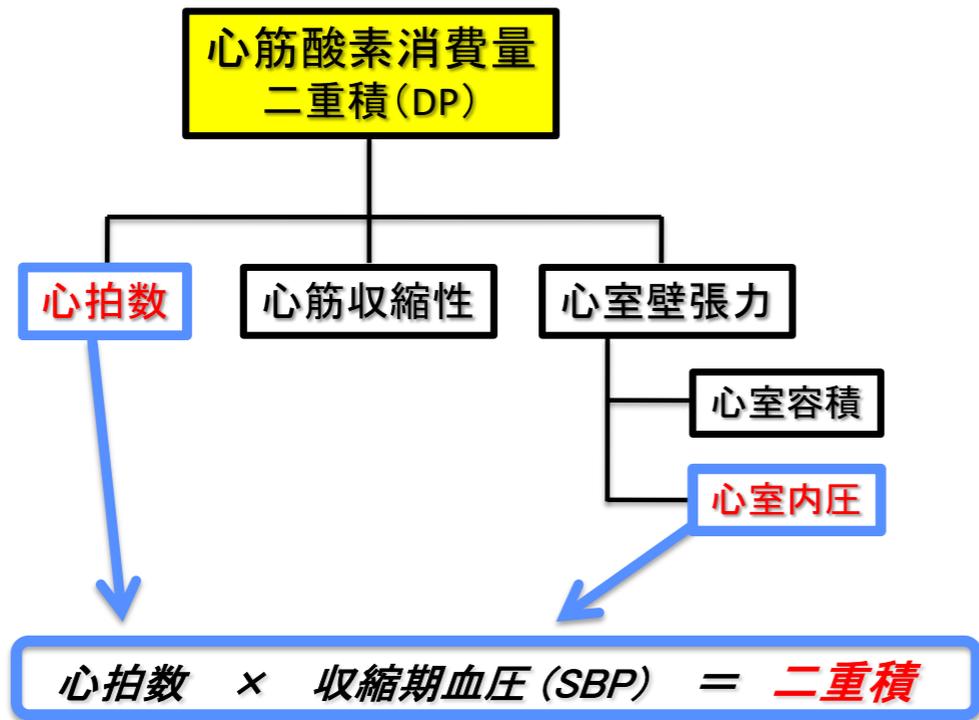


- 代表的な測定方法
- 呼気ガス分析
- 酸素摂取量
- 二酸化炭素排出量など
- 最大酸素摂取量、嫌気性代謝閾値 (AT)、代謝等量 (METS)などを判定

# 従来技術:ダブルプロダクト (DP)

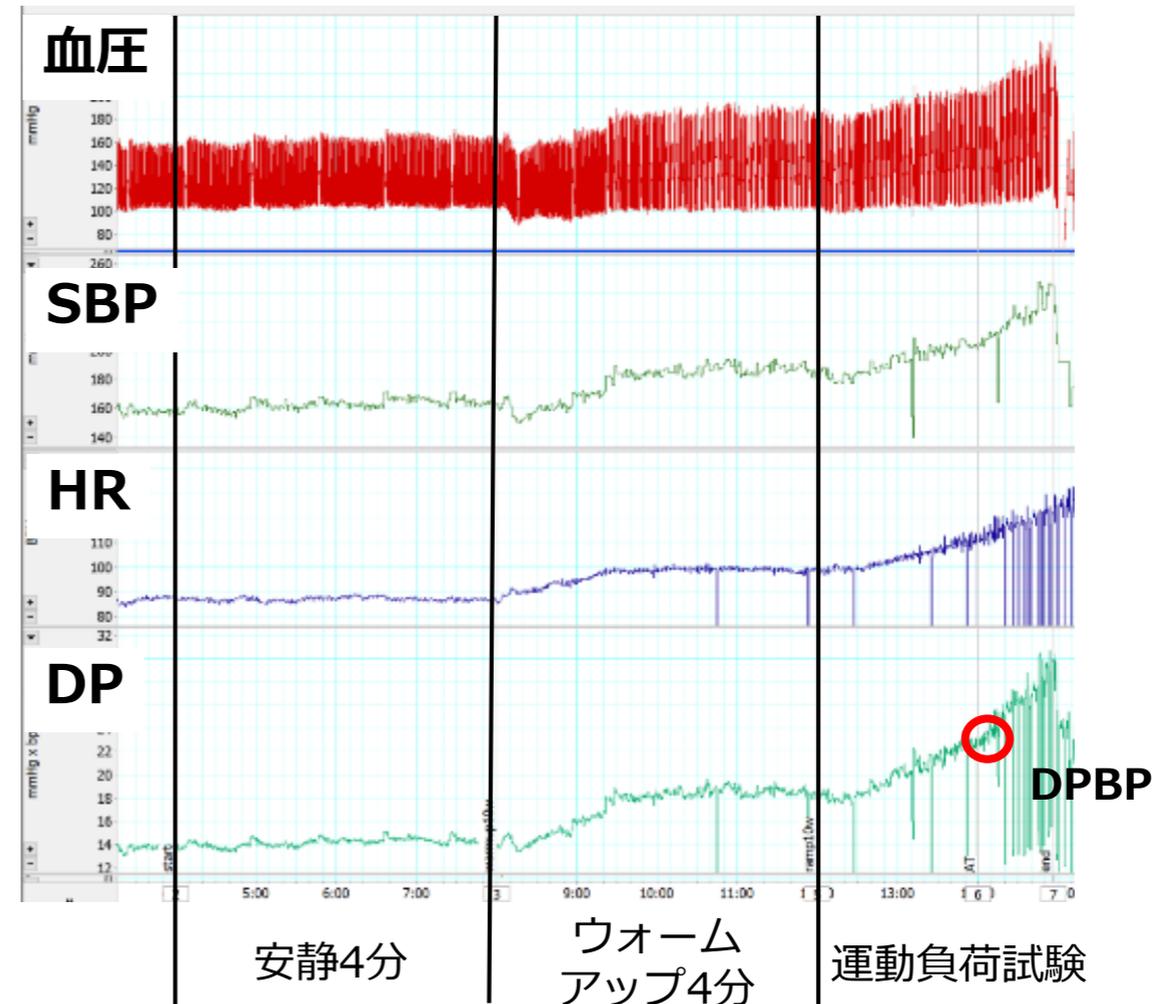
DP=収縮期血圧 (SBP)と心拍数 (HR)の積

DPの傾きが急上昇する点 (DPBP)がATと一致する



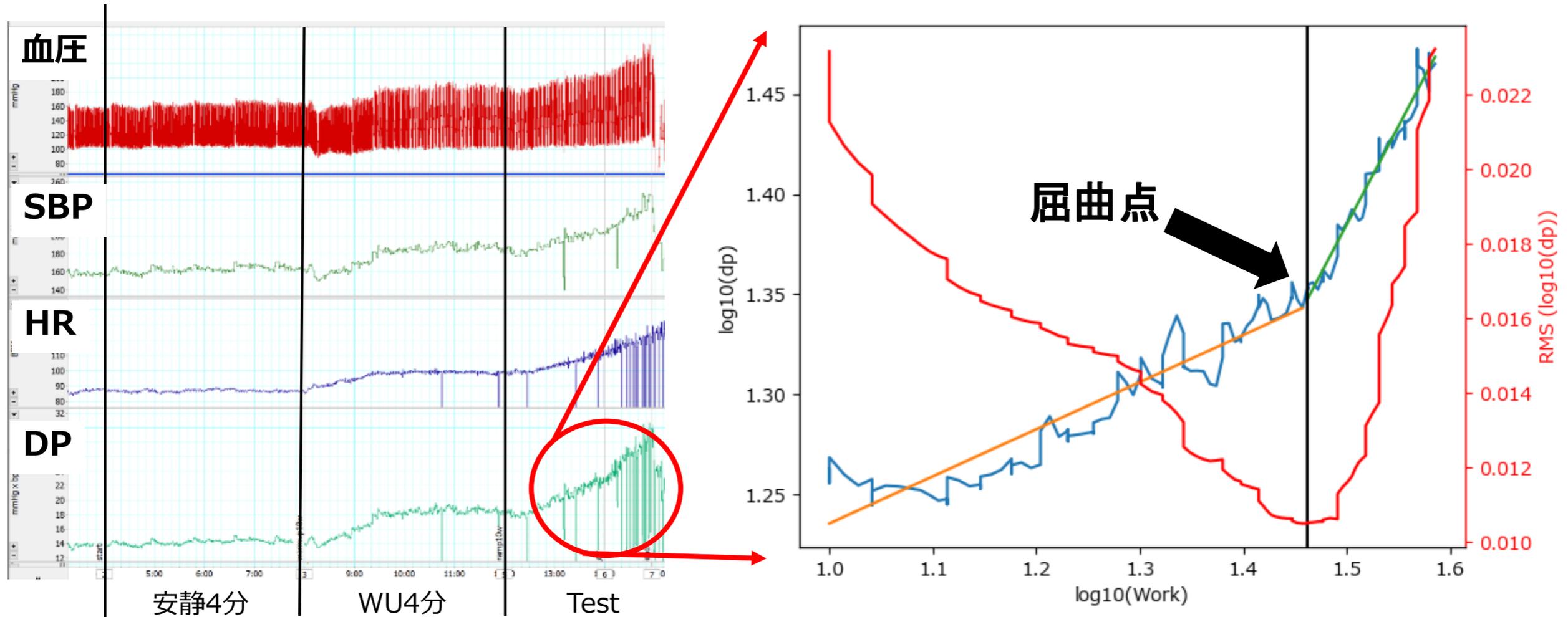
# 非侵襲連続血圧計によるDPの測定

動脈にカテーテルを留置せずともATを評価できる



# 非侵襲DPBPの算出

負荷とDPを両対数軸に変換し2区間の区分線形近似、二乗平均平方根誤差を算出し最小となる点がDPBPである



# 実験プロトコル

- 福岡大学病院にて、心血管疾患患者58例（IHD 67.2%、CHF 50.0%）健常人26例において、心肺運動負荷試験を行う際に呼気ガス分析機と連続血圧計を同時に装着した。
- 心房細動、ペースメーカー植え込み後の患者は除外した。
- 呼気ガス検査によるATと連続血圧計から求められるDPBPとの相関関係について検証した。



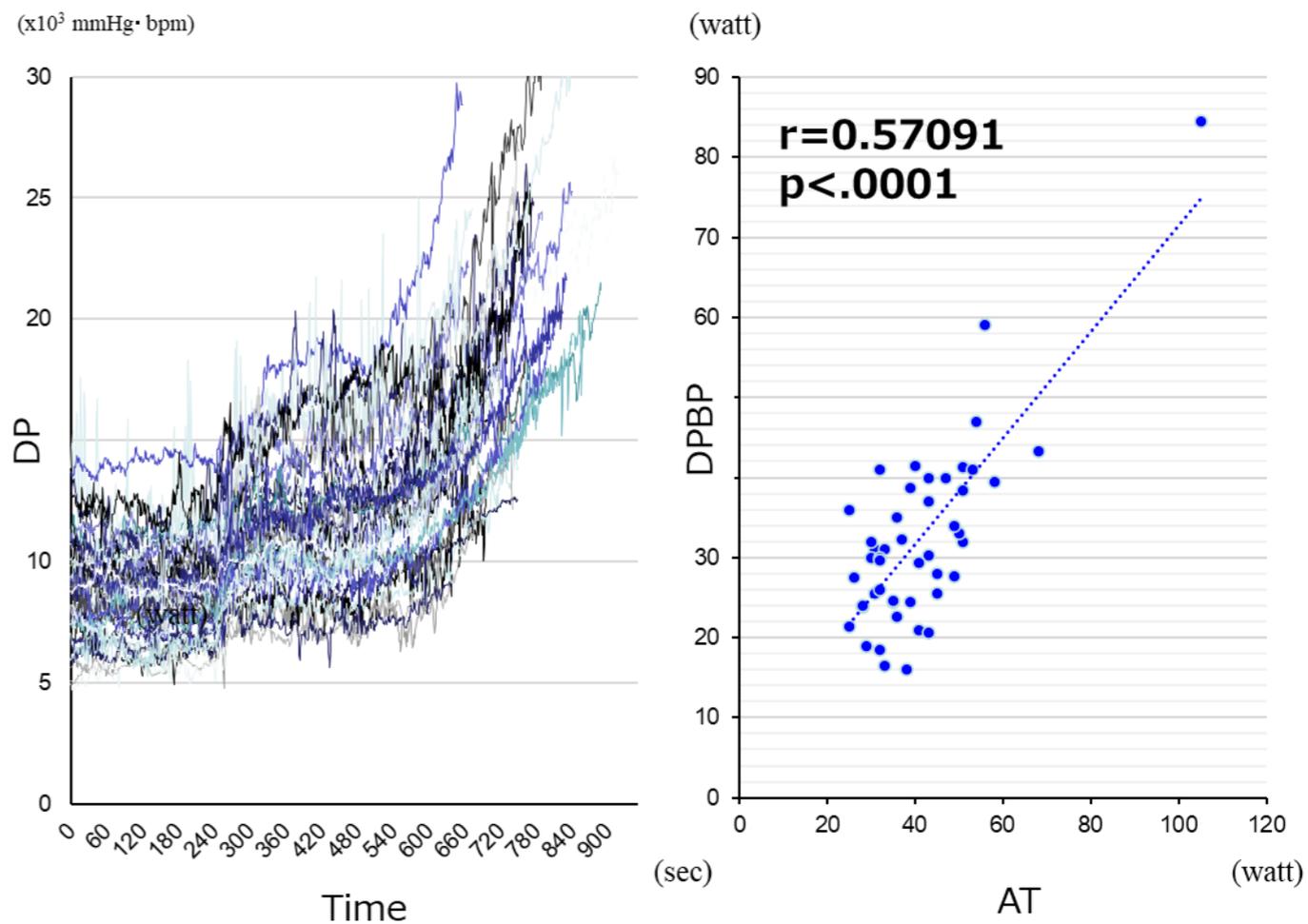
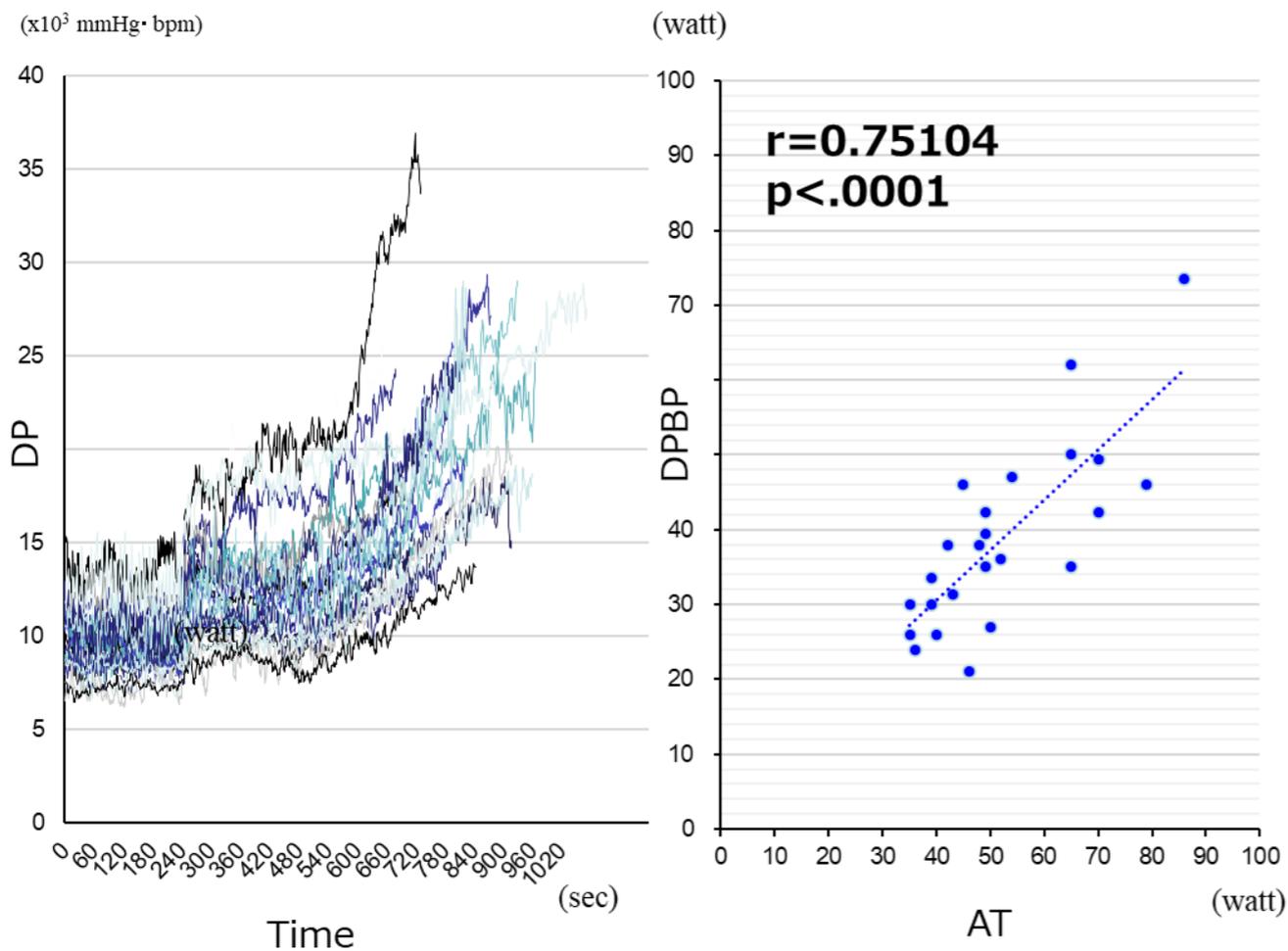
# 被検者背景

健常者	(n=26)	心血管患者	(n=58)	心血管患者	(n=58)
年齢, 歳	35.0±9.2	年齢, 歳	63.7±12.6	内服	
男性, n(%)	16 (61.5)	男性, n(%)	42 (72.4)	RAS, n(%)	30 (51.7)
BMI, kg/m <sup>2</sup>	21.1±2.8	BMI, kg/m <sup>2</sup>	23.7±3.4	CCB, n(%)	21 (36.2)
		基礎疾患		利尿剤, n(%)	15 (25.9)
		高血圧, n(%)	35 (60.3)	硝酸薬, n(%)	14 (24.1)
		糖尿病, n(%)	18 (31.0)	MRA, n(%)	20 (34.5)
		脂質異常症, n(%)	42 (72.4)	β blocker, n(%)	31 (53.4)
		基礎心疾患		SGLT2i, n(%)	12 (20.7)
		虚血性心疾患	39 (67.2)	ARNI, n(%)	5 (8.6)
		心不全, n(%)	29 (50.0)	ベレイシグアト	1 (1.7)
		治療		BNP, pg/ml	166±189
		PCI, n(%)	26 (44.8)	LVEF, %	57.3±15.3
		CABG, n(%)	8 (13.8)		
		心臓手術, n(%)	7 (12.1)		
		大血管手術, n(%)	2 (3.4)		

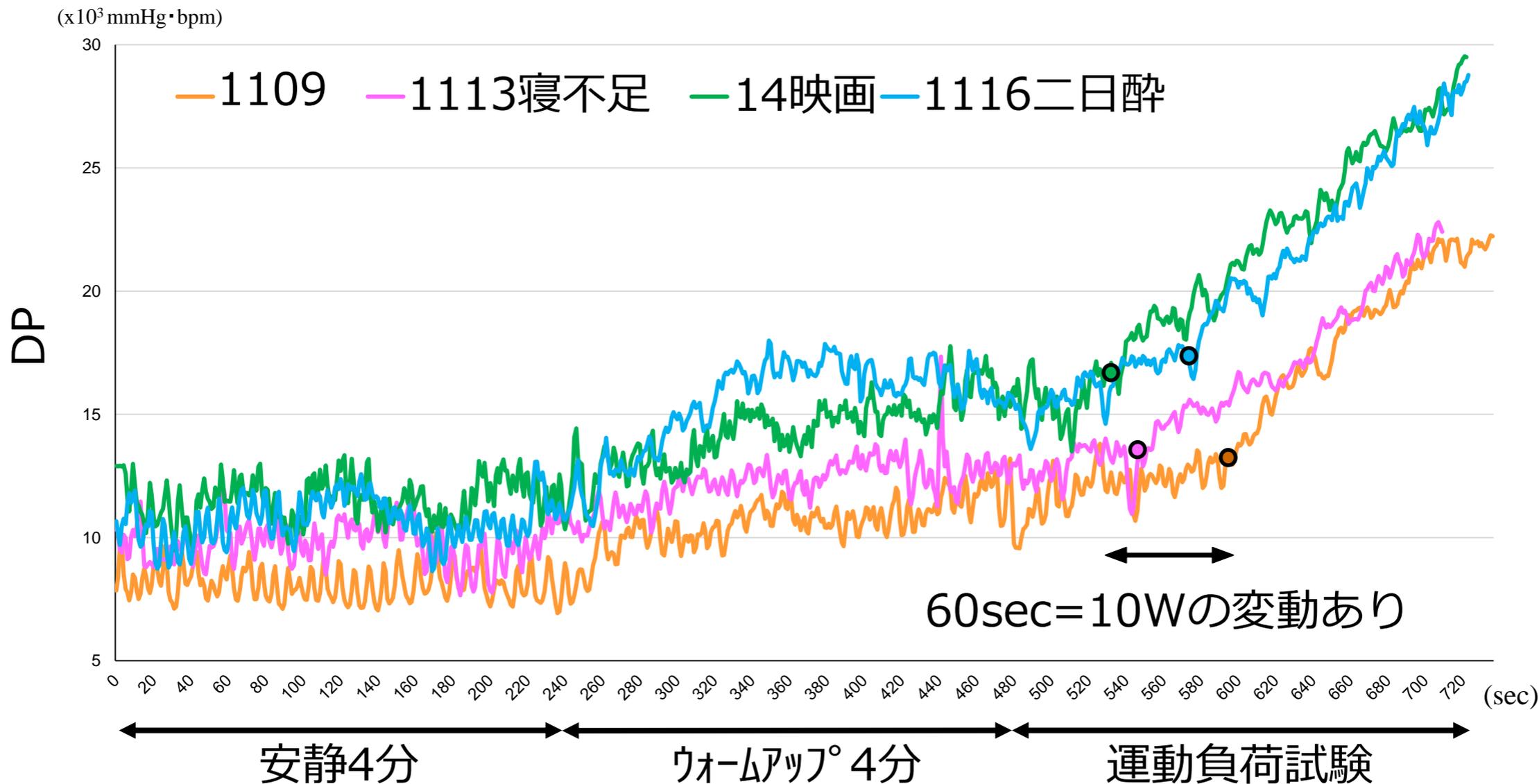
# 非侵襲DPBPとATとの相関

健常者

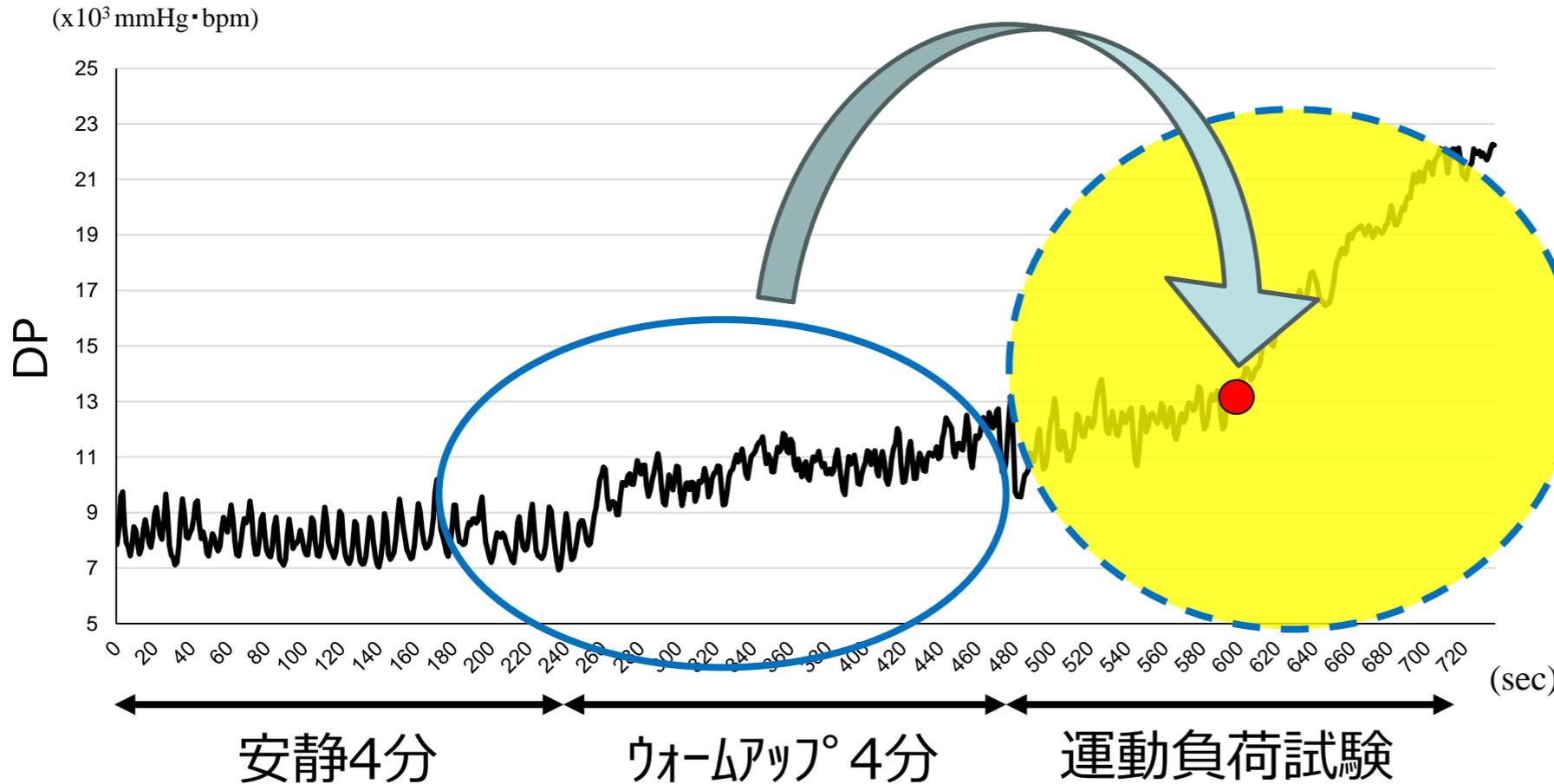
患者



# 非侵襲DPBPによる日差変動の同定

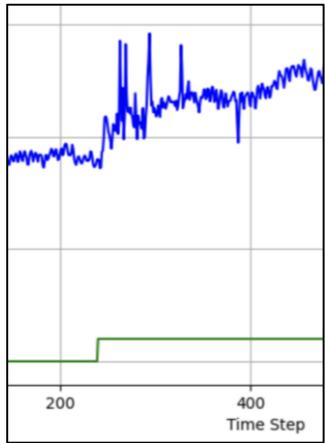


# 準備運動段階からのDPBPの予測



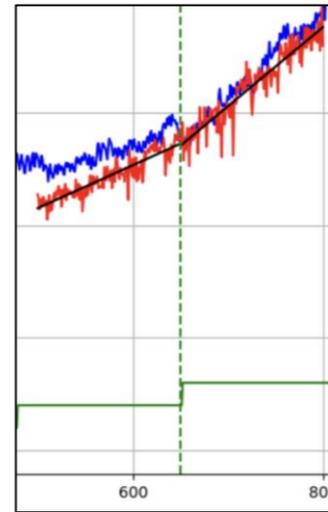
安静から準備運動  
までの変化から、  
運動負荷時の変化  
を予測し屈曲点を  
求める事ができれ  
ば準備運動段階で  
その日の最適な運  
動強度を知ること  
が出来る

# マシンラーニングによる予測プログラム



入力データ

時系列  
予測



出力データ

屈曲点  
算出

至適運動  
強度閾値

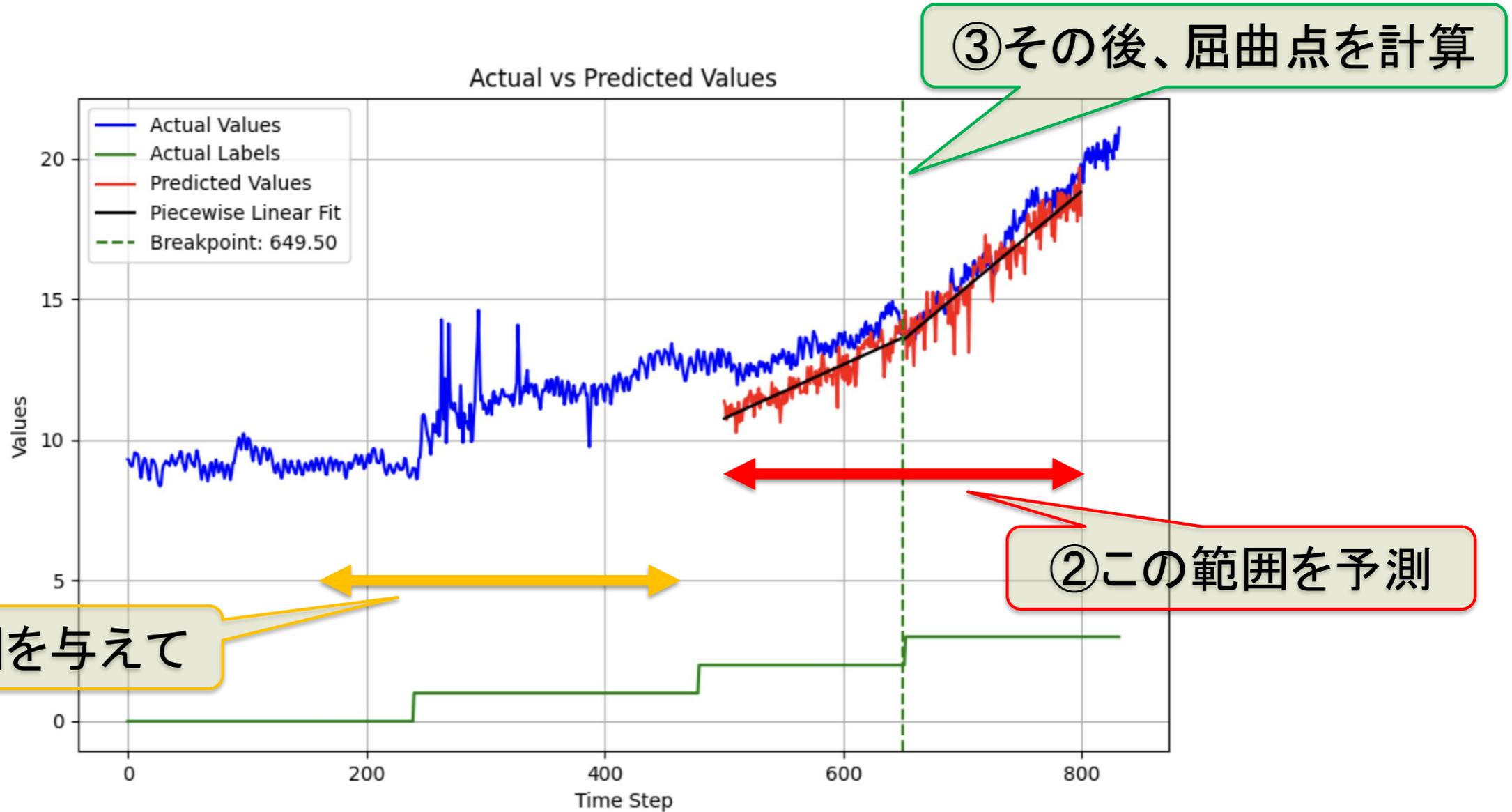
- マシンラーニング
- ニューラルネットワーク
  - ARIMA

最小二乗法に基づく  
区分線形近似

# 予測プログラムのアルゴリズム

1. 学習データ(=1次元またはN次元の時系列データ)を
  - 入力データ: 180s~480s...「問い」に相当
  - 教師データ: 500s~800s...「答え」に相当の2つに分ける
  - 学習データを増やす場合は、n秒ずつずらして複数用意する
2. 入力データから教師データに近い答えが出力されるようにニューラルネットを学習する → 予測
  - ここで、どのようなニューラルネットモデルを用いるかは任意
    - 今回 → LSTM+Multi-Head Attention を採用
    - 今後 → Transformerモデルも検討

# 予測プログラムの実行例



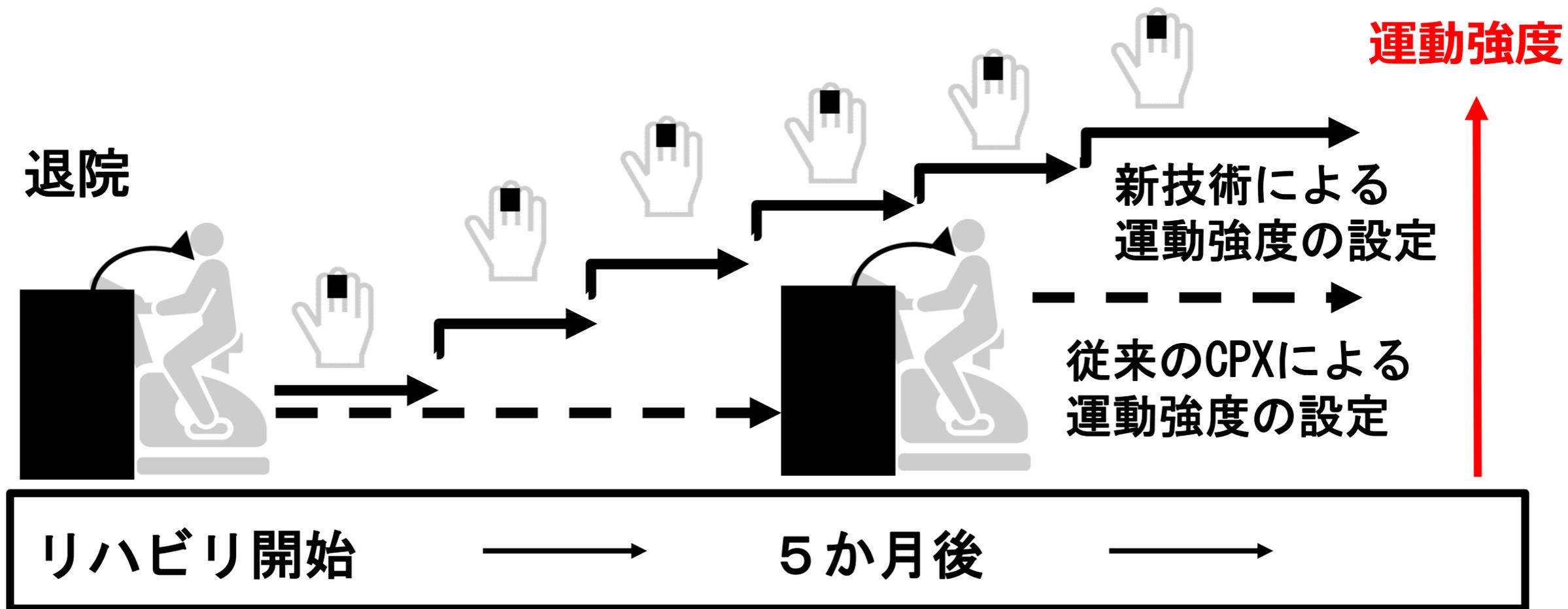
## 新技術の特徴・従来技術との比較

- 従来技術の問題点であった、運動負荷をしないで測定する方法の曖昧性、運動負荷をかけた場合のユーザビリティの低さを改良することに成功した。
- 従来は運動負荷をかけた測定方法は検査のみの使用に限られていたが、新技術では準備運動段階で判定できるため、日々の運動に活用することが可能となった。
- また十分な運動負荷をかけられない方の、信頼性の高い至適強度を求める事が可能になった。

## 想定される用途

- 本技術を用いることで、健常者の健康維持のための1次予防や、心血管疾患患者の再発予防のための2次予防に役立てることが出来る。
- トレーニングによる運動強度の増加や、体調不良時の運動強度の低下などを鋭敏に反映するため、日々の運動を効率よく、安全に行うことが出来る。
- 上記以外に、十分な運動負荷が行えない高齢者や患者でも至適強度が得られることに着目すると、介護や福祉、自宅でのセルフリハビリテーションといった分野に展開することも可能と思われる。

# トレーニング効果の上昇



## 実用化に向けた課題

- 新技術について予測可能なところまで開発済みである。しかし、実際にトレーニング効果が上昇するかどうかは検証できておらず、今後、臨床研究を行い検証していく。
- 既存の理論であるダブルプロクトに基づいているが、より予測精度の高まるプログラムを追及していく。
- 患者、心機能、内服薬など、予測に関して特徴のある被検者集団を抽出し、別のプログラムが必要かどうかを検証していく。

# 社会実装への道筋

時期	取り組む課題や明らかにしたい原理等	社会実装の取り組みについて記載
基礎研究	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 非侵襲ダブルプロダクトによる嫌気性代謝閾値の同定を確認</li></ul>	
現在	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 準備運動までの変化から至適運動強度を予測するプログラムを開発</li></ul>	
1年後	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 新技術を用いたリハビリテーションによってトレーニング効果の増強を確認</li></ul>	例：獲得した科研費で臨床研究を実施予定
3年後	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 連続血圧測定技術のある企業との共同研究を実施</li><li>・ 多施設共同研究を行い多くの臨床データを取得し、異なる特徴量を持ったグループを検出</li></ul>	例：評価基礎データの提供、サンプル提供が実現
4年後	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 予測プログラムの精度向上（例：新たな変数を用いた予測プログラム作成、グループ別での予測プログラム作成）</li></ul>	例：試験サービスの実現

## 企業への期待

- ウェアラブルに血圧、心拍を測定できる技術を持つ企業との共同研究を希望。
- 未解決のグループ化については、症例数の追加により克服できると考えている。
- また、運動アプリを開発中の企業、健康分野への展開を考えている企業には、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

- 一般健常者、患者とともに活用できる技術であるため、運動に関係する企業に広く貢献でき、フィットネスジムなどでの適切な運動処方が可能となります。
- ウェアラブルデバイス用のアプリを製作するに当たり、プログラムは研究室で試作済みであり、簡単な調整は可能です。デバイスに向けての最適化やお持ちのニーズなどの意見交換から広く受け付けておりますので、一緒に開発を行っていきたいと考えています。

## 本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 至適運動強度算出装置、至適運動強度算出プログラム、及び、至適運動負荷システム
- 出願番号 : 特願2025-036628
- 出願人 : 学校法人福岡大学
- 発明者 : 末松保憲、松田拓朗、高橋伸弥、藤見幹太、三浦伸一郎

# お問い合わせ先

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](mailto:sanchi@adm.fukuoka-u.ac.jp)