

マラソンパフォーマンスを左右する Durabilityの概念

鍋倉研究室 修士2年
原 月乃, 平野大樹, 村上朋郎

マラソンの難しさ

約2～6時間走り続ける競技

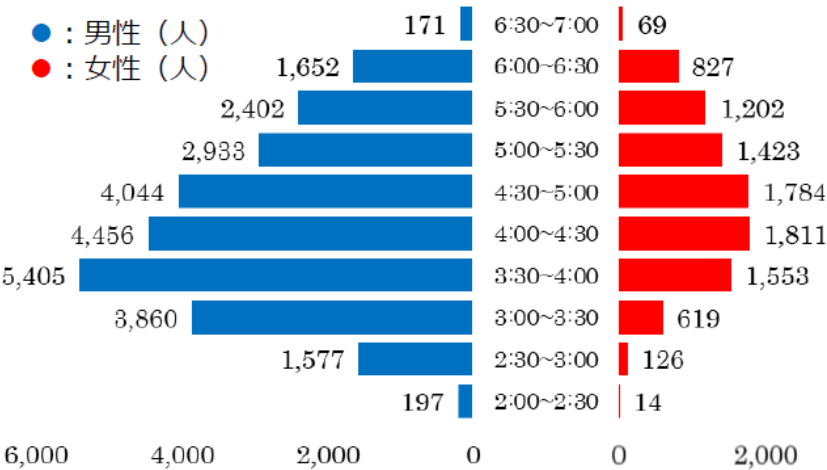


図1. 完走タイム別の人数（東京マラソン2025）

表1. 完走タイムおよび失速率の変遷

年月	完走タイム (ネットタイム)	失速率
2022.11	3:45:40	-6.2
2023.02	3:32:43	1.3
2023.11	3:28:51	2.0
2024.02	3:21:50	-1.5
2024.11	3:48:38	11.9
2025.02	3:23:03	6.0
2025.11	3:26:56	-2.3
2026.02	4:11:03	42.0

※ 失速率：レース前半に対する
後半のタイムの変化率

マラソン8回目
→ 初めての失速・大失敗

マラソンって難しい！

歩かず完走できるのか？

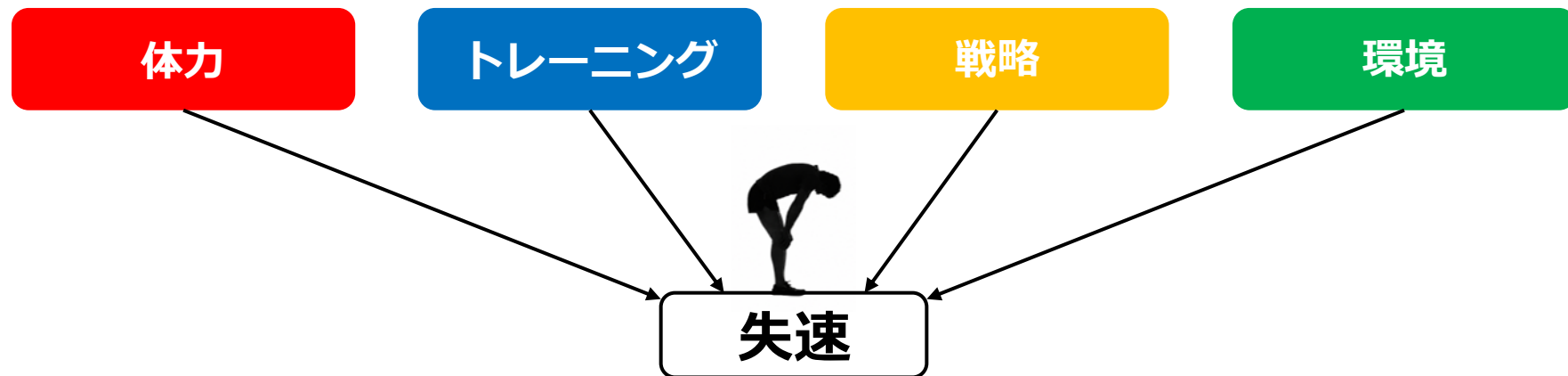
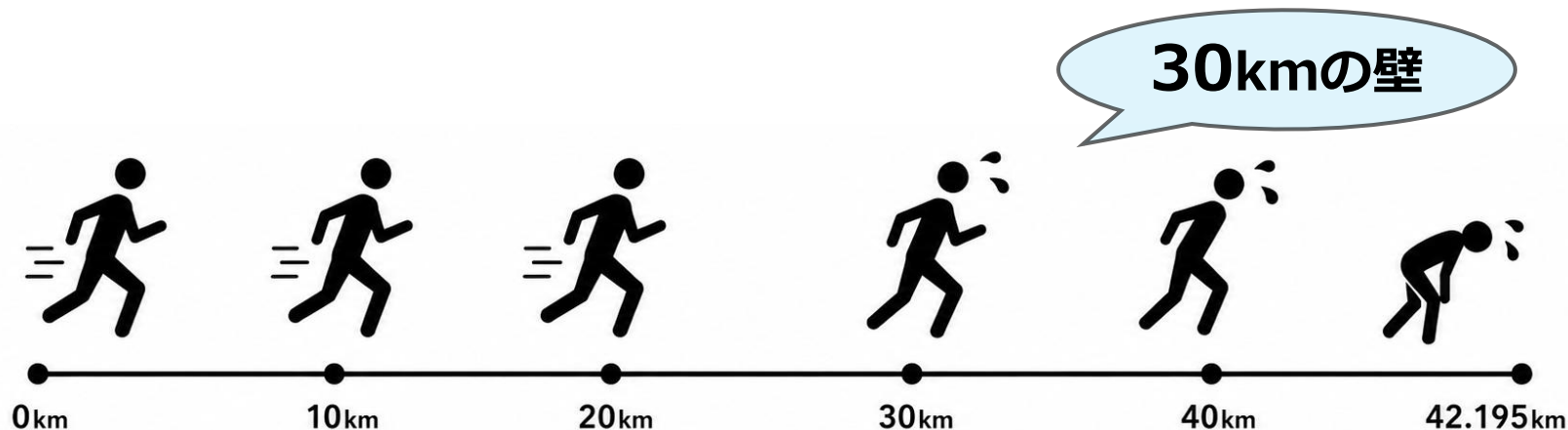
完走できるのか？

目標タイムを達成できるのか？



マラソンの難しさ

レース後半に走速度が著しく低下する“Hitting the wall”が観察される



どの程度失速するのか？

男女差は？

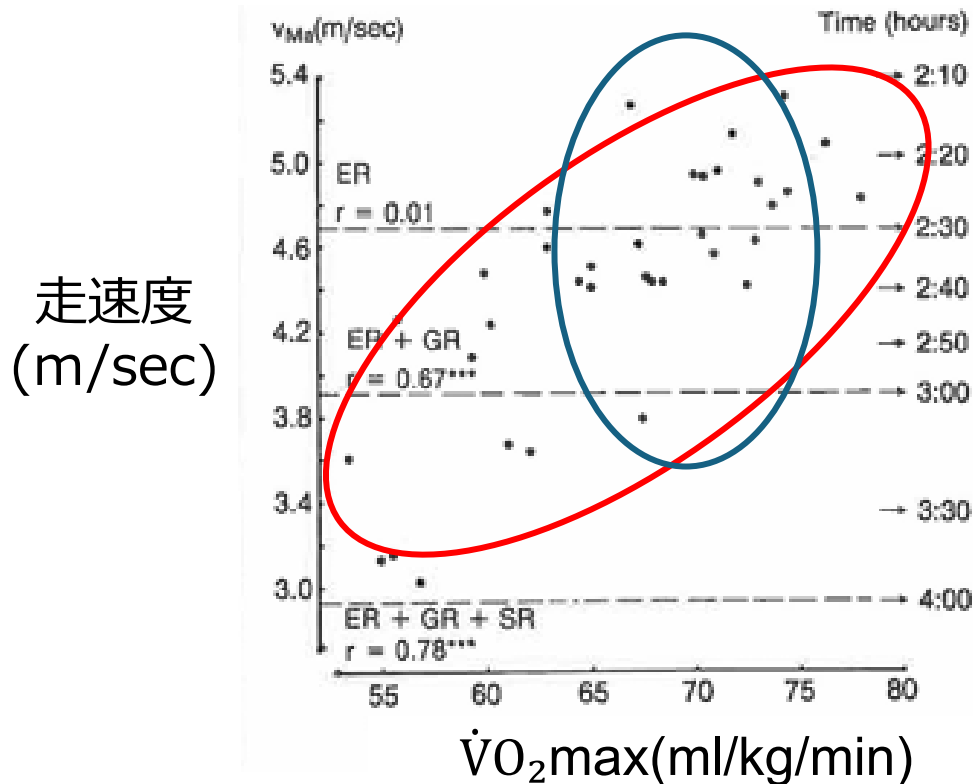
年代差は？

最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_2\text{max}$)

酸素を取り込み, どれだけエネルギーを作り出せるか

酸素摂取量 = 1回拍出量 × 心拍数 × 動静脈酸素較差

血液で酸素を運搬する能力や酸素を取り込む能力が関わる



幅広い競技レベルのランナー間でマラソン走速度と相関がある

同じ $\dot{V}O_2\text{max}$ でも
マラソン走速度が異なる

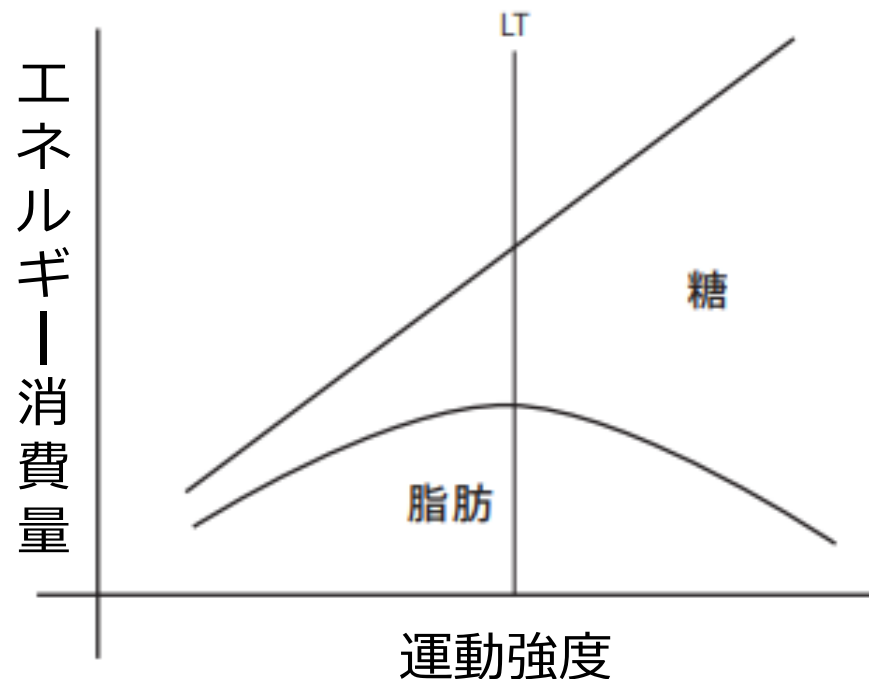
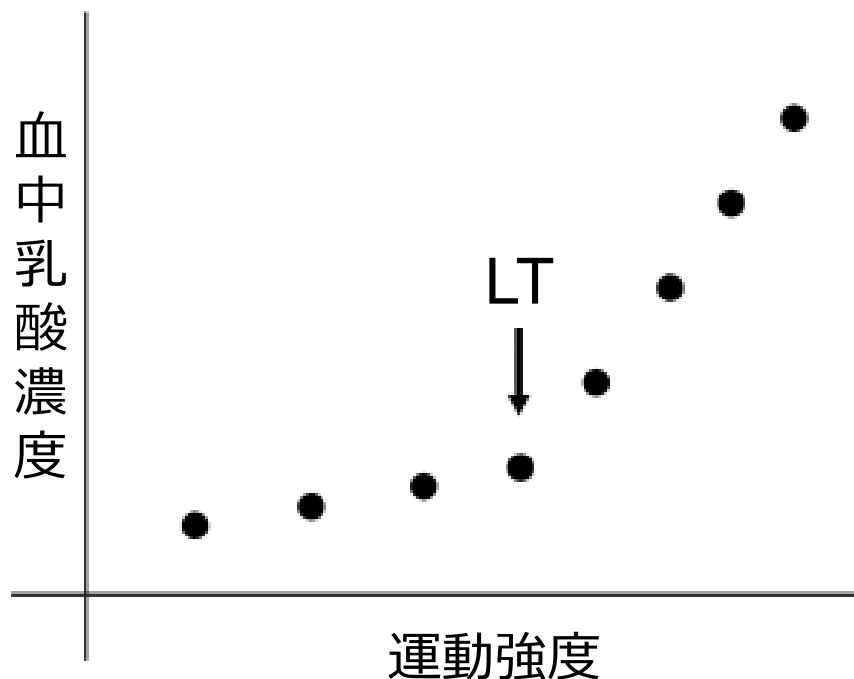
(Sjödín and Svedenhag, 1985)

乳酸性代謝閾値 (LT)

血中乳酸濃度が急激に高くなる強度

乳酸 = 糖代謝によって産生される代謝産物
エネルギー源として利用される

マラソンペース $\approx$ LT

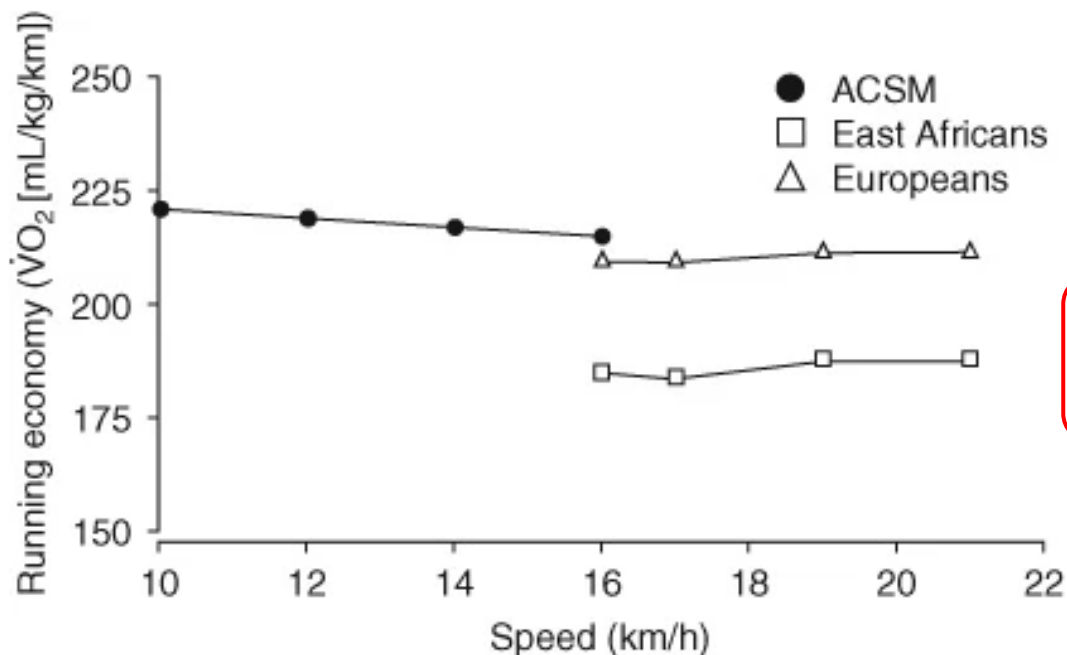


ランニングエコノミー (RE)

一定距離を走行するためのエネルギー消費量

値が大きいほど悪く、小さいほど優れる

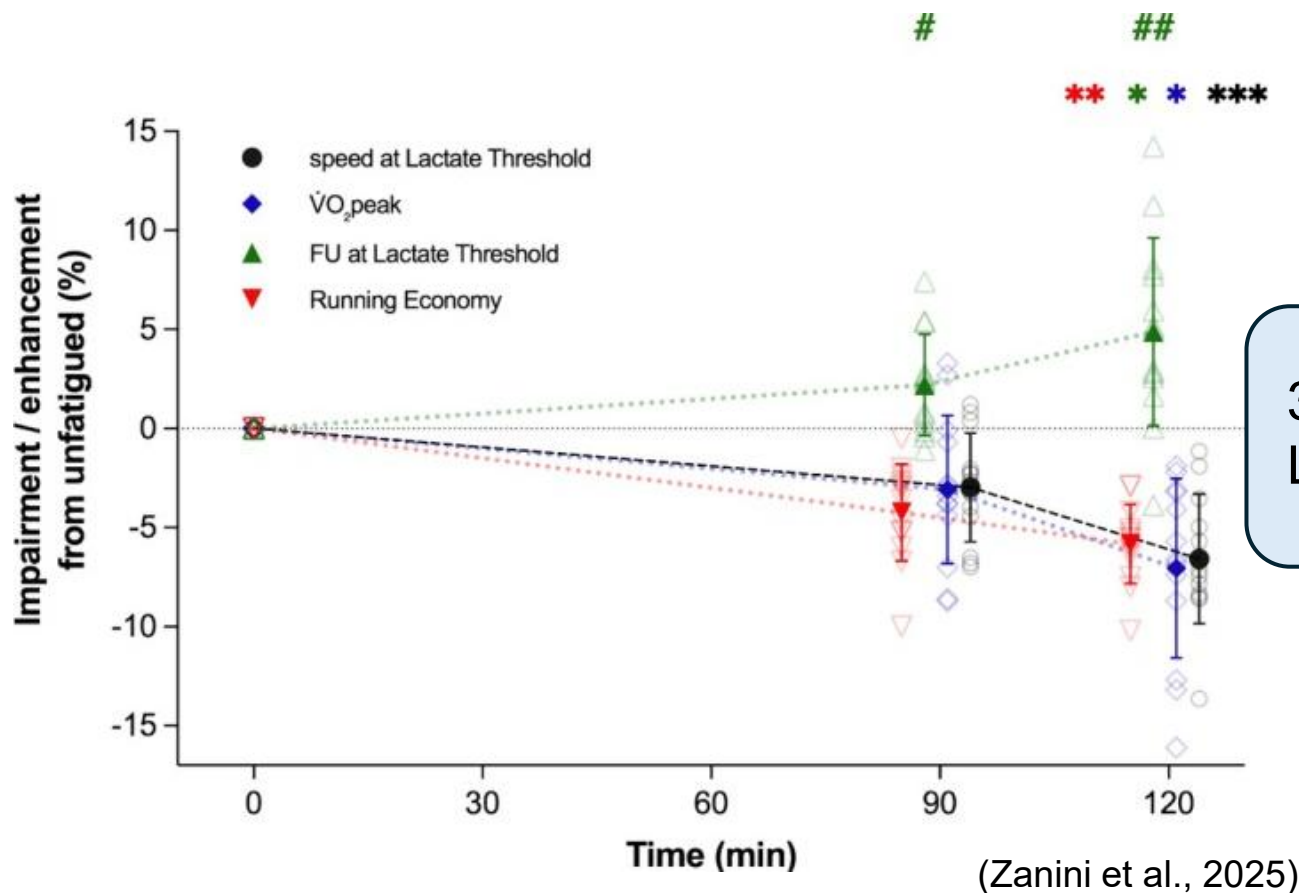
同程度の $\dot{V}O_2\text{max}$ を持つ等質集団において重要性が高まる
(Conley and Krahenbuhl, 1980)



長距離界を席巻するアフリカ人ランナーは RE が優れる

(Foster and Lucia, 2007)

3要因は長時間運動によって低下する (Unhjem, 2024; Clark et al., 2021; Zanini et al., 2024, 2025)



3要因 : 0%~16%悪化
LT速度 : 1%~14%低下

個人差があり, 疲労に抵抗する能力が重要

(Jones, 2023)

Durability

長時間運動中に生理学的指標を維持する能力

3要因に次ぐ第4の因子になる可能性がある

(Maunder et al., 2021)

脂質酸化能力 筋繊維組成 ピッチ・ストライド 筋腱の剛性

筋力 ジャンプ能力 筋損傷 トレーニング量・内容

競技レベル 性別

などが関係する

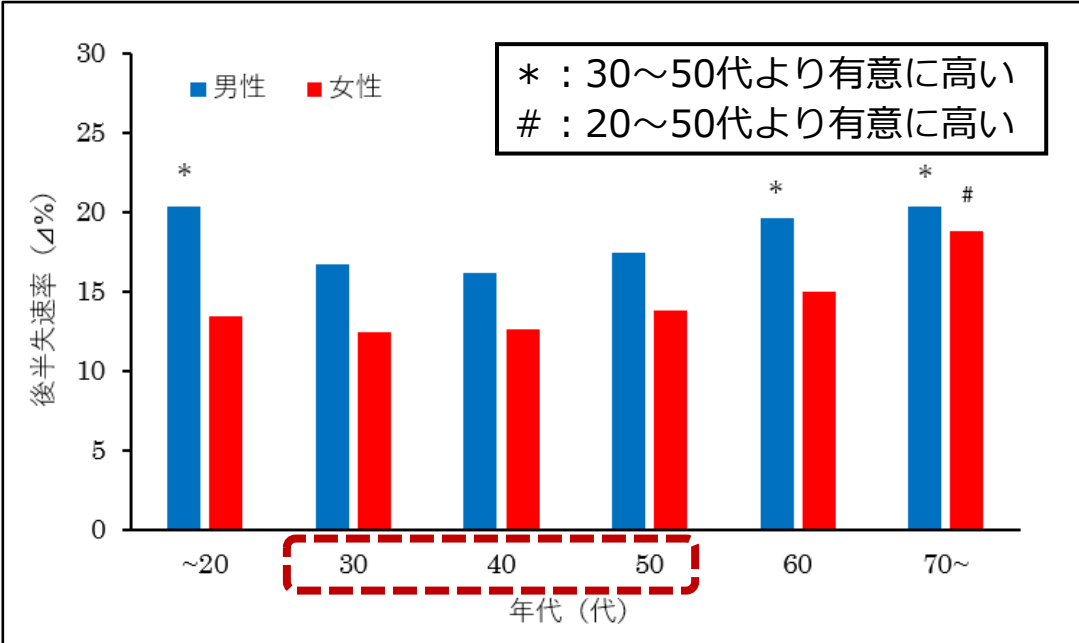
(Haizlip et al., 2015; Simoneau et al., 1989; Maunder et al., 2018; Ørtenblad et al., 2013; Vercruyssen et al., 2016; Zanini, 2026; Unhjem, 2024)

簡単にいうと・・・

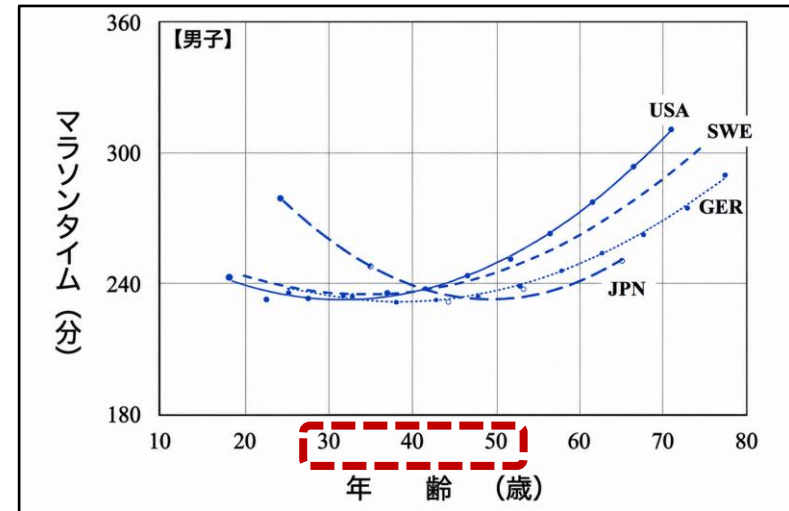
Durability = 疲れにくさ

生理学, バイオメカニクス, 神経筋機能, トレーニング, 性別

など様々な要因が関わる



東京マラソン 年代別の失速率



年代別平均タイム

(ランニング学会HPより引用)

若年ランナーよりも**中高年ランナー** の平均タイムが速い

中高年ランナーにおける3要因は？

$\dot{V}O_2\max$

LT

RE

Durability

低下

相対的には維持

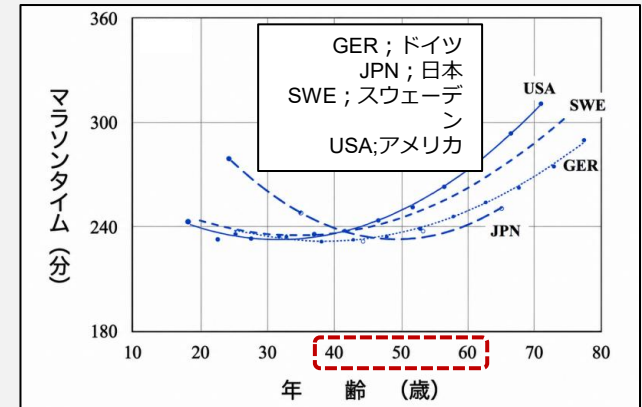
維持

?

(Pimentel et al. 2003) (Iwaoka et al., 1988, Maffulliet al., 1994, Evanset al, 1995)

(Astrand, 1960, Allen et al., 1985, Wells et al., 1992, Evans et al., 1995)

$\dot{V}O_2\max$ は低下するが中高年ランナーは速い



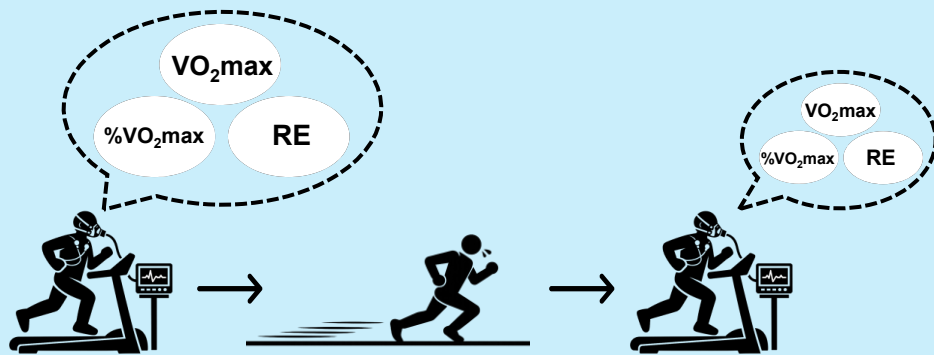
年代別平均タイム

(ランニング学会HPより引用)

$\dot{V}O_2\max$ 低下の影響を **補償している能力** がある

(Joyner, 1993)

3要因が低下 or 維持でも速い → Durability が優れるのでは？



長時間運動の前後で評価

長時間運動前後の「低下量」を評価

漸増負荷試験による疲労と
長時間運動による疲労が区別できない。

Unhjem らの研究 (2024年)

1 回目 ;  漸増負荷試験

2 回目 ;  →  漸増負荷試験
70%vVO₂max 60分間持続走

一般的な成人 VS トレーニングしているランナー

10人 (男 ; 6人, 女 ; 4人)

10人 (男 ; 6人, 女 ; 4人)
10km Time (平均) ; 35分
週間走行距離 (平均) ; 69km



1 回目 ;



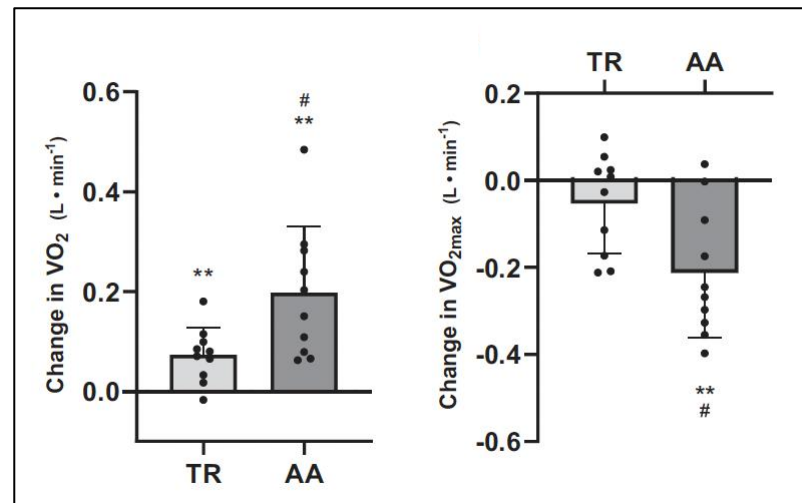
2 回目 ;



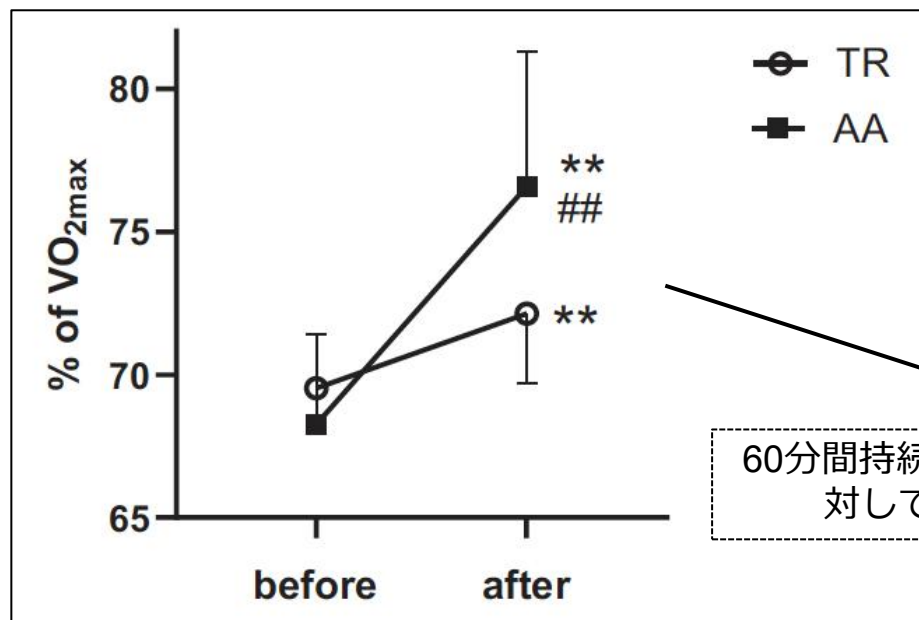
TR ; トレーニング群
AA ; 一般的な成人群

トレーニング群の方が

2回目の漸増負荷試験の値が低下しない



持続走後の O_2 costと VO_{2max}



相対強度の変化

トレーニング群の方が

相対的強度が変化しない

60分間持続走のペースが VO_{2max} に対してどれくらいだったか

つまり, Durability は個人差ではなく,
トレーニングによって高められる**生理学的特性**



長時間運動中の変化を評価

運動中のドリフトを評価

「同じ強度でもきつくなる」

いつ変化し始めるかも大切

Carrillo らの研究 (2026年)

1 回目 ;



漸増負荷試験

2 回目 ;

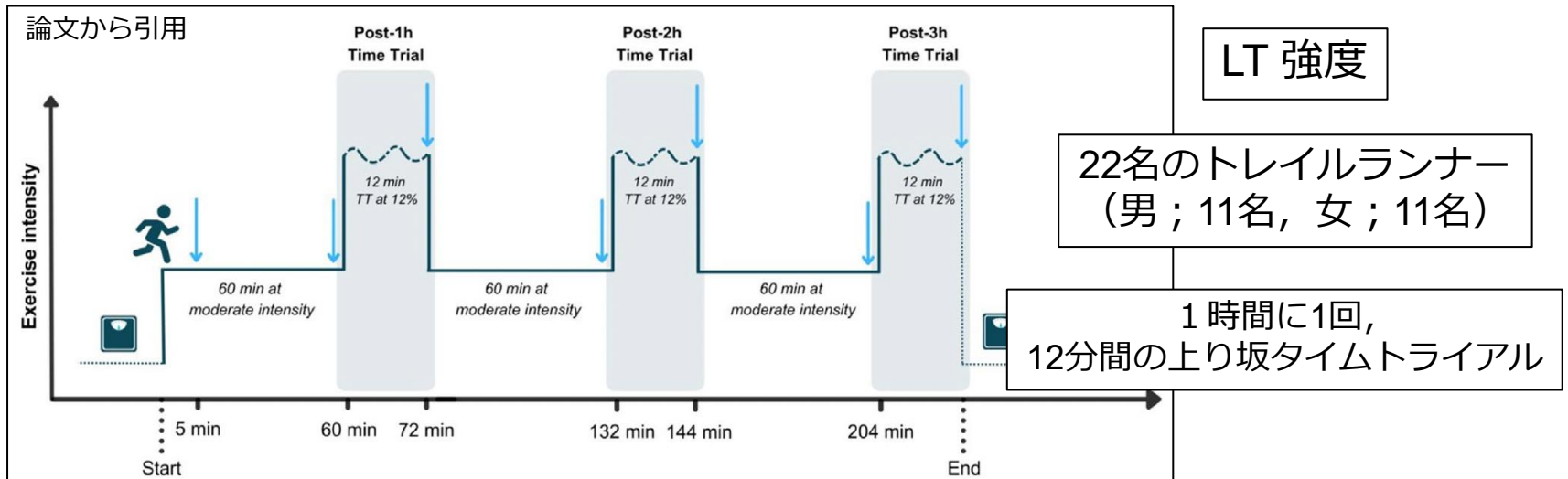


12分間上り坂タイムトライアル

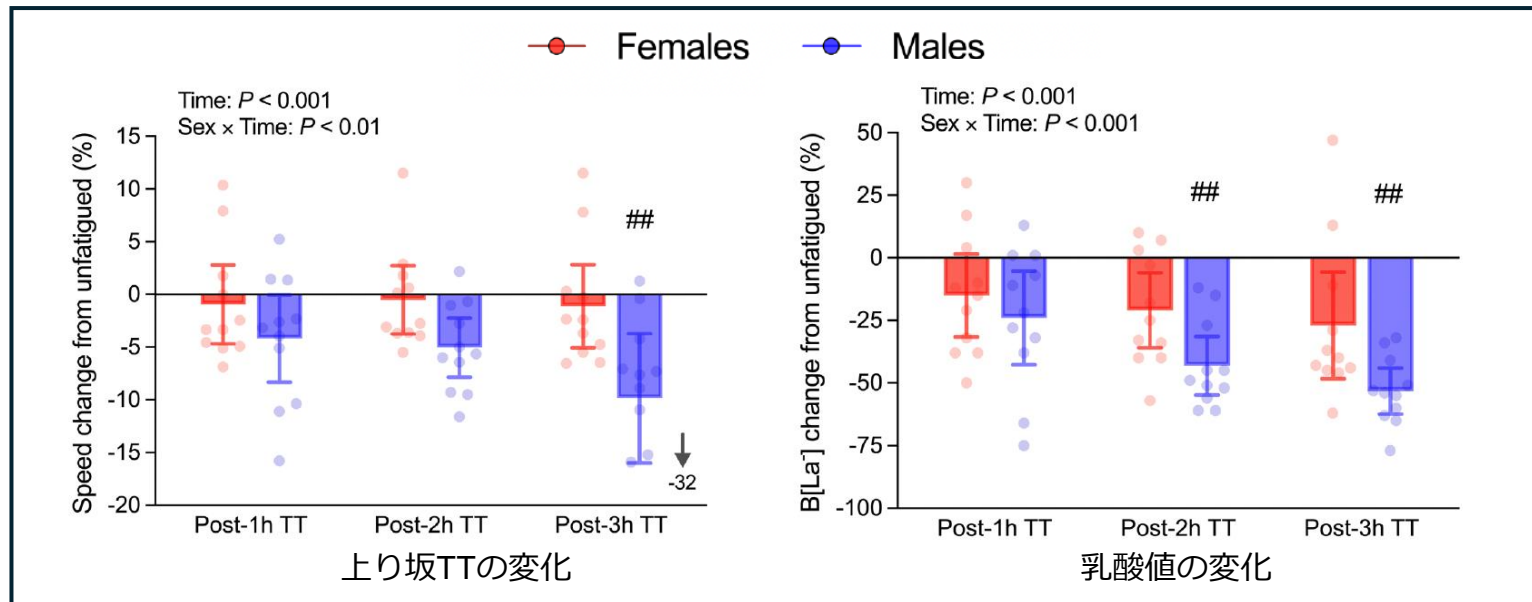
3 回目 ;



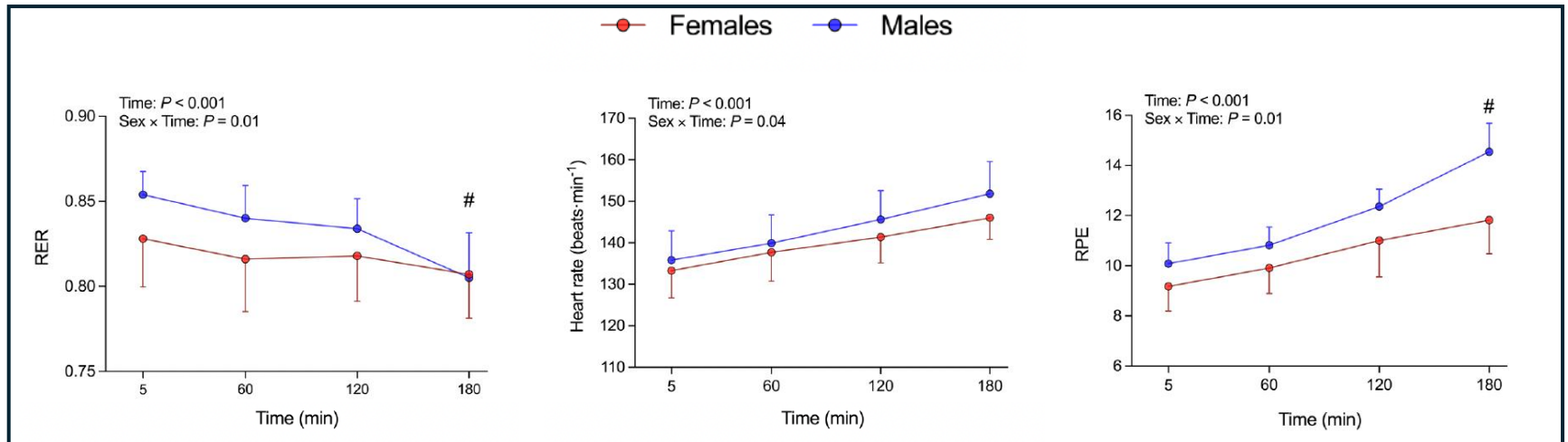
3 時間持続走 @トレッドミル



【結果】



女性の方が上り坂走のスピードと血中乳酸値が変化しづらい

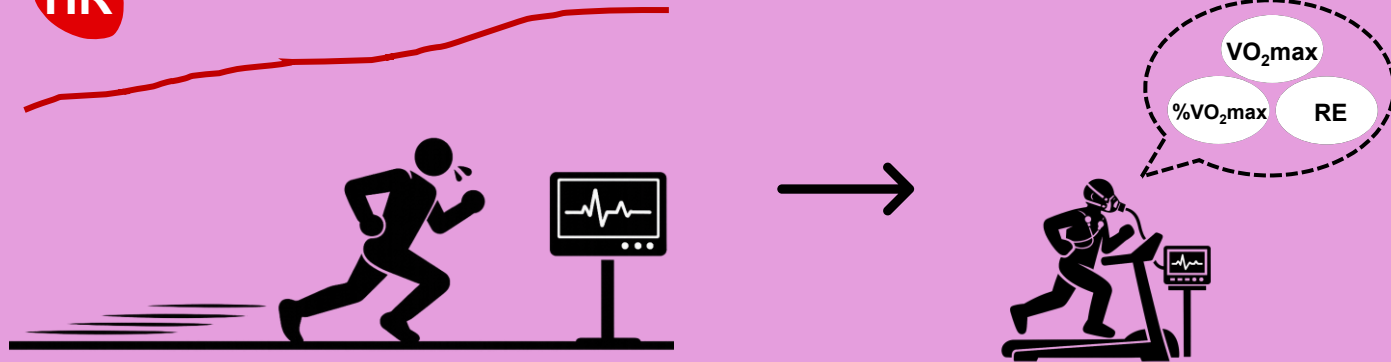


【呼吸交換比（RER）】

$$\frac{\text{吸い込んだ酸素量}}{\text{吐き出した二酸化炭素量}}$$

呼吸交換比（RER）と心拍数（HR），
主観的作業強度（RPE）も女性の方が変化しづらい

女性の方が Durability が高い



長時間運動中の変化を評価し，長時間運動後のパフォーマンスも評価

本研究の概要

1 回目；漸増負荷試験



2 回目；25km 持続走（+α）

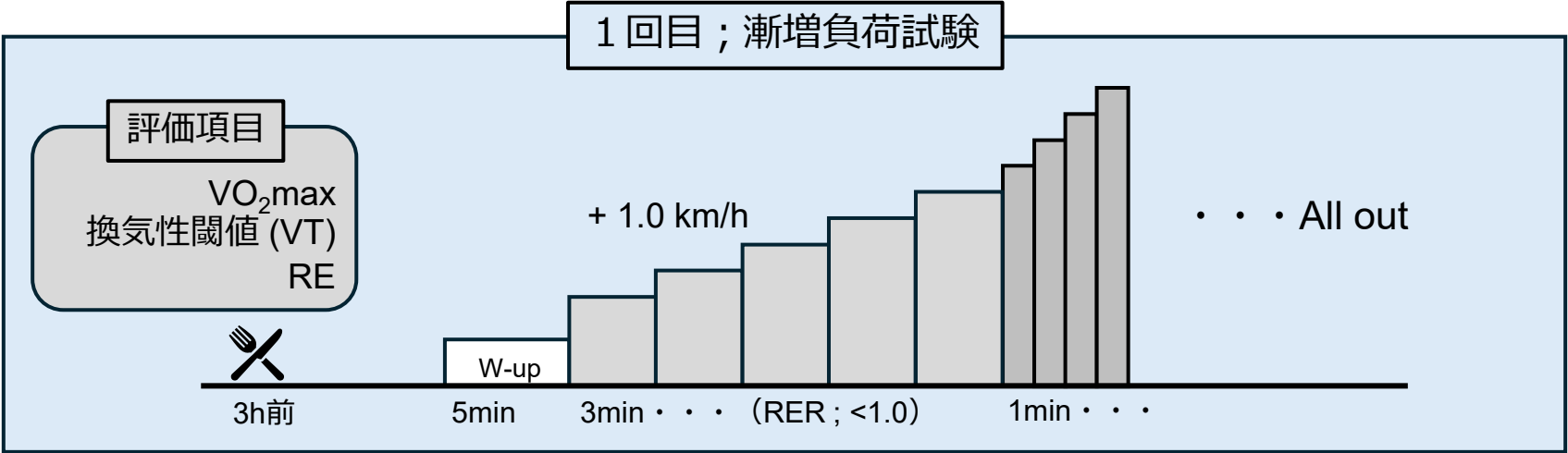


明らかにしたいこと

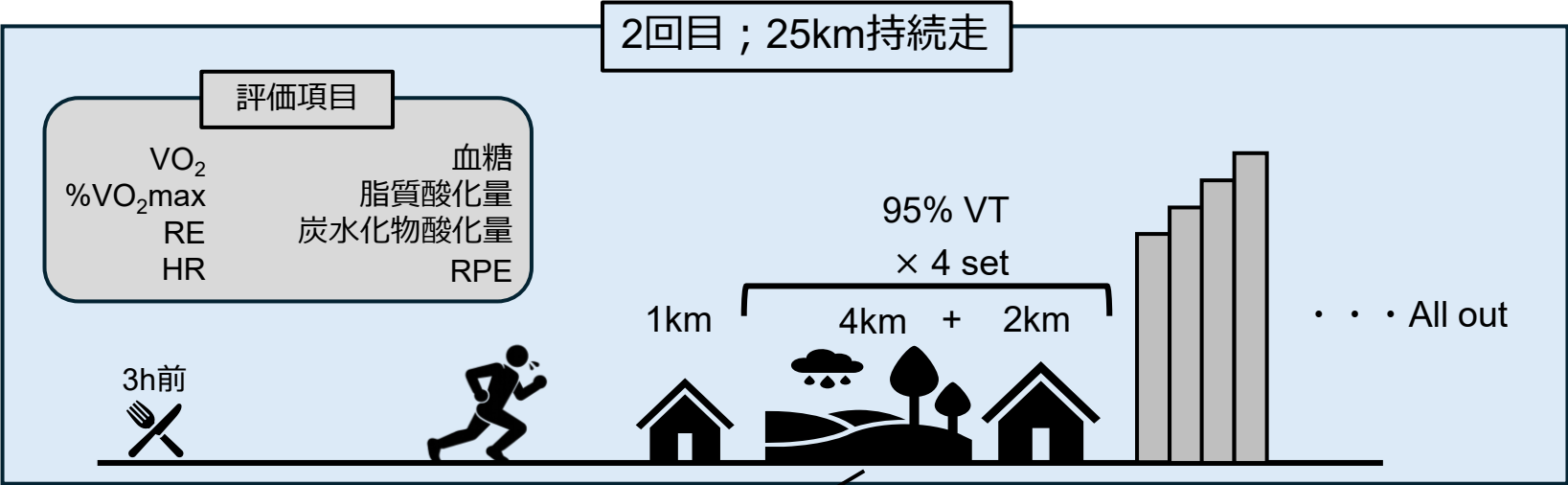
Durability に関する代謝特性を明らかにしたい

「大学生 vs つくばランニングラボ」

実験詳細（運動内容；漸増負荷試験）



実験詳細（運動内容；25km 持続走）



自転車でペースメイク