

5) 熱中症予防のために、スポーツドリンクはお茶、水に比べて有用であることを示唆する結果を得た。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

- 1) Nemoto K, Genno H, Masuki S, Okazaki K, Nose H: Effects of high-intensity interval walking training on physical fitness and blood pressure in middle-aged and older people. Mayo Clinic Proceedings, 82:803-811, 2007.
- 2) Masuki S, Eisenach JH, Schrage WG, Johnson CP, Dietz NM, Wilkins BW, Sandroni P, Low PA and Joyner MJ. Reduced stroke volume during exercise in postural tachycardia syndrome. J Appl Physiol 103: 1128-1135, 2007.
- 3) Masuki S, Eisenach JH, Schrage WG, Dietz NM, Johnson CP, Wilkins BW, Dierkhising RA Sandroni P, Low PA and Joyner MJ. Arterial baroreflex control of heart rate during exercise in postural tachycardia syndrome. J Appl Physiol 103: 1136-1142, 2007.
- 4) Masuki S, Eisenach JH, Johnson CP, Dietz NM, Benrud-Larson LM, Schrage WG, Curry TB, Sandroni P, Low PA and Joyner MJ. Excessive heart rate response to orthostatic stress in postural tachycardia syndrome is not caused by anxiety. J Appl Physiol 102: 896-903, 2007.

2. 学会発表

- 1) Okazaki K, Goto M, and Nose H. Protein and carbohydrate supplementation during aerobic exercise training accelerates thermoregulatory adaptation (Symposium: Exercise and Food

Factor: Multiple Effects in Health Promotion). International Conference on Food Factors for Health Promotion, Kyoto, 11.30.2007.

- 2) Nose H, Goto M, and Okazaki K: Protein and carbohydrate supplementation during aerobic exercise training accelerates an improvement of thermoregulatory capacity (Symposium: Coping with Dehydration in Sport and Exercise), The 2007 SEA Games Scientific Congress, Bangkok, 12.1-4.2007.
- 3) Nose H, Nemoto K, Masuki S, Okazaki K, Gen-no H. High intensity interval walking training prevents life-style associated diseases and a reduction of physical fitness in middle-aged and older people (Symposium: Healthy Aging in Asian Society), The 2007 SEA Games Scientific Congress, Bangkok, 12.1-4.2007.
- 4) 能勢 博: 運動処方と予防医療, 信州大学医学部附属病院先端医療推進センター・市民公開講座, 5月27日, 2007年.
- 5) 能勢 博: 介護予防と健康スポーツ (教育講演: 介護予防と熟年対策), 第44回日本リハビリテーション医学会, 神戸, 6月6日-8日, The Japanese Journal of REhabilitation Medicine, 44: S185, 2007.
- 6) 能勢 博, 源野広和, 根本賢一: マシンなしの筋トレ・インターバル速歩の効果: 松本市熟年体育大学の現状と将来 (シンポジウム: 筋年齢), 第7回日本抗加齢医学会, 京都, 7月20日-21日, 抄録集, p 57, 2007.
- 7) Masuki S and Nose H. Activated motor cortex activity decreases baroreflex sensitivity before the onset of voluntary locomotion in mice. The Experimental Biology 2007, April 28th-May 2nd, 2007, Washington, DC. FASEB J, 21 (6), A875, 2007.
- 8) Okada Y, Kamijo Y, Okazaki K, Masuki S, Goto M, Nose H. Sensory receptors in periodontal tissue were involved in pressor responses to isometric biting in humans. The Experimental Biology 2007, April 28th-May 2nd, 2007, Washington, DC. FASEB J, 21 (6), A571, 2007.
- 9) Goto M, Kamijo Y, Okazaki K, Masuki S, Miyagawa K, Nose H. Protein and

carbohydrate supplementation during 5-day aerobic training enhanced improvement of thermoregulation in young men. The Experimental Biology 2007, April 28th-May 2nd, 2007, Washington, DC. FASEB J, 21 (6), A1296, 2007.

- 10) 山崎敏明, 源野広和, 能勢 博: 気圧センサー内蔵型加速度計による中高年者傾斜地歩行時の消費エネルギー測定, 第84回日本生理学会, 大阪, 3月20-21日, 2007年, プログラム集, p87.
- 11) 岡田芳幸, 上條義一郎, 岡崎和伸, 増木静江, 後藤正樹, 能勢 博: 咬合時昇圧反応におけるヒト歯周組織内感覚受容器の関与, 第84回日本生理学会, 大阪, 3月20-21日, 2007年, プログラム集, p87.
- 12) 近藤新一, 降旗俊一, 田邊愛子, 岡崎和伸, 源野広和, 濱田広一郎, 能勢 博: 虚弱中高年におけるインターバル速歩トレーニング時の糖質・蛋白質補助食品の摂取効果, 第62回日本体力医学会, 9月14-16日, 2007年, 抄録集, P198.
- 13) 降幡真由佳, 源野広和, 石川 忍, 関 洋一, 能勢 博: インターバル速歩トレーニングはカロリー摂取制限による体力の低下と体重減少のリバウンドを抑制する, 第62回日本体力医学会, 9月14-16日, 2007年, 抄録集, P198.
- 14) 矢澤大輔, 岡崎和伸, 後藤正樹, 上條義一郎, 源野広和, 濱田広一郎, 能勢 博: 中高年者における糖質・蛋白質補助食品摂取はインターバル速歩トレーニング効果を増強させる, 第62回日本体力医学会, 9月14-16日, 2007年, 抄録集, P198.
- 15) 上條義一郎, 後藤正樹, 岡田芳幸, 能勢 博: 低血液量による皮膚血管拡張と皮膚交感神経活動の心周期との同期性, 第62回日本体力医学会, 9月14-16日, 2007年, 抄録集, P226.
- 16) 山崎敏明, 源野広和, 能勢 博: 傾斜地用歩行カロリー計測器の開発, 第62回日本体力医学会, 9月14-16日, 2007年, 抄録集, P226.
- 17) 宮川 健, 山崎敏明, 森川真悠子, 丸岡禎之, 源野広和, 能勢 博: 携帯型カロリー計による登山時のエネルギー消費量の測定, 第46回日本生気象学会, 11月24-25日, 2007年, 名古屋, 日生気誌 44:S83, 2007.

H. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

1. 森 政之, 樋口京一, 増木静江, 能勢 博, 源野広和: 生活習慣病改善および体力増強を目的とした運動処方に対する感受性を予測する方法, 特願 2007-191507 (出願日: 平成 19 年 7 月 24 日)
2. 能勢 博, 源野 広和, 山崎 敏明: 消費カロリー算出方法および携帯用消費カロリー測定装置, 特願 2007-60705 (出願日: 平成 19 年 3 月 12 日)

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

表 1: Mayo Clinicでのトレーニング状況と体力向上効果

Training period, days (from pre to post test)	Training days	%
86.2±0.6	48.8±1.8	56.6

Training	Total time, min	Mean time, min/day	Total energy expenditure, kcal	Mean energy expenditure, kcal/day	Mean intensity, kcal/min
Slow walking	836±36	17.2±0.5	3714±367	76±7	4.3±0.3
Fast walking	808±34	16.6±0.5	6116±508	124±8	7.4±0.4
Total	1644±61	33.8±0.7	9829±825	200±13	5.9±0.3

Test	12min endurance test		
	25m walking test	Resting HR, beats/min	Peak HR, beats/min
Before	Speed, m/sec 2.63±0.10	80±3	146±5
After	2.78±0.11	81±3	152±4
			Peak energy expenditure, kcal/min 8.4±0.5
			10.2±0.5

n=24

Means ± SE

***, P<0.001

傾斜地歩行時の消費エネルギー量計測機器の開発

分担研究者 山崎 敏明 キッセイコムテック株式会社

(信州大学大学院医学系研究科・博士課程4年)

研究要旨 遠隔型個別運動処方システムで使用している運動量計測器「熟大メイト」は、内蔵された三軸加速度センサーの出力値から平地歩行時の消費エネルギー量を計測できる。しかし、上り坂では過小に、下り坂では過大に評価し傾斜地では正確性を欠く。この問題を解決するために、42名の中高年者を対象にトレッドミルの傾斜角度、歩行速度を変化させながら歩行実験をおこなった。その結果、歩行時の体重心の累積加速度 (I_{total} , $N \cdot \min$), 理論上の位置エネルギーの増加分 (ΔP_g , $kg \cdot m/\min$), 減少分 (ΔP_l , $kg \cdot m/\min$) から、平地及び傾斜地歩行時の消費エネルギー量 (酸素摂取量: VO_2 , l/\min) の算出式を $VO_2 = 0.0467I_{total} + 0.0014\Delta P_g - 0.0006\Delta P_l$ と決定した。次に気圧センサーを組み込んだ熟大メイトにこの計算式を実装し、フィールドにおいて計測精度の検証実験をおこなった。その結果、酸素摂取量の実測値と熟大メイトによる推定値の差は、 0.01 ± 0.23 (平均 \pm SD, l/\min) であり、上り坂、下り坂を含むフィールド歩行時の消費エネルギー量を精度よく計測できることを確かめた。

A. 研究目的

熟年体育大学では、運動量計測器「熟大メイト」を利用して個人の体力レベルの把握およびこれに基づく個別運動処方を実践している。すなわち、最大体力の 70%以上とそれ未満の歩行を交互に繰り返す「インターバル速歩」のトレーニング指導である。

インターバル速歩によるトレーニング量の計測結果は他の健康関連データと共に遠隔型個別運動処方システム「e-ヘルスプロモーションシステム」に送信され、大規模なデータベースが構築されている。そして、このデータの解析により、インターバル速歩トレーニングが生活習慣病関連指標、介護予防関連指標の改善に効果があるこ

とが実証されている。

熟大メイトは、歩行時の単位時間あたりの体重心の加速度累積値が歩行強度 (単位時間あたりの消費エネルギー量) と相関があるという知見に基づいて、内蔵された三軸加速度センサーの出力値から歩行時の消費エネルギー量を算出している。しかし、この方法は平地歩行を前提としており、傾斜地で歩行をおこなう場合には、正確な運動量の把握ができない。

本研究事業の特徴は、IT を活用し正確なエビデンスに基づいた個別の遠隔型運動処方を行うことであり、個人の日々の運動量の正確なモニターは必須である。ところが、特に山間地などの傾斜地でトレーニングをおこなう場合、旧来の方式では正確な運動量が把握できない。そこで、平地

だけでなく傾斜地においても正確な歩行時の消費エネルギー量を算出するアルゴリズムの開発と、これに基づく熟大メイトの改良を本研究の目的とする。

B. 研究方法

傾斜地歩行時の消費エネルギー量の算出式を確立するために、歩行面の傾斜が可変の電動トレッドミルを用いて実験をおこなった。被験者は熟年体育大学いきいき健康ひろば事業の参加者から男女42名(男性21名, 女性21名)を募った。被験者の身体特性を表1に示す。なお、トレッドミルを設置した実験室内は、気温約25°C, 相対湿度約50%に維持されている。

各被験者は、3日に分けて実験をおこなった(表2参照)。まず初日に電動トレッドミルの歩行に慣れさせるために各被験者の通常の歩行速度で約20分間の歩行練習をおこなった。その後、約20分間の座位安静の時間をとった後に、傾斜0%(平地)で立位安静3分、被験者の主観でゆっくり、普通、速い、最も速いの4段階の歩行をそれぞれ3分おこなった。次に、20分間の座位安静の後、傾斜角度を-5%(下り)に設定し、立位安静、ゆっくり、普通、速いの3段階の歩行をおこなった。さらに、20分間の座位安静の後、傾斜角度を+5%(上り)に設定し、立位安静、ゆっくり、普通、速いの3段階の歩行をおこなった。なお、下りの設定では、トレッドミルの仕様上の制限から最高速度を5km/hとした。実験2日目は、初日同様のプロトコルで-10%と+10%の傾斜で、3日目は-15%と+15%の傾斜で実験をおこなった。

実験中は、20分間の座位安静以外のときに酸素摂取量(VO_2 , 携帯型呼気ガス分析装置, MetaMax 3B), 心拍数(HR, Polar), 加速度累積値(I_{total} , 熟大メイト)を計測した。なお、なお、MetaMaxの VO_2 は、事前に標準ガスと大気を用いてキャリ

ブレーションをおこない、計測の直前にも大気を利用して簡易キャリブレーションをおこなった。また、熟大メイトは、被験者の体重心の加速度を正確に反映させるために、腰にしっかりと巻いた革製のベルトの背面の位置に装着した。

なお、解析に用いた VO_2 , I_{total} のデータは、3分間の立位安静および歩行の各トライアルの最後の1分間の平均値である。 I_{total} は、重力加速度成分を除くためにローカットフィルタを通し、その出力値である20Hzの瞬時値の絶対値を三軸方向(xyz)成分それぞれに1秒間累積し、この累積値のノルム($(x^2+y^2+z^2)^{1/2}$)を計算した。さらに、このノルムを1分間合計し I_{total} を算出した。

トレッドミルによる実験の結果から、体重心の累積加速度と位置エネルギーの変化量から傾斜地歩行時の消費エネルギー量を算出する計算式を導出した(後述)。この計算式を熟大メイトのファームウェアに組み込み、気圧センサーを新たに搭載した改良版熟大メイトを開発した。

この改良版の熟大メイトの精度をフィールドにおいて検証するため、3カ所のトレッキングコースを用いて、先のトレッドミル実験の被験者の中から募った11名の被験者にそれぞれの体力にあったトレッキングコースを歩かせた。被験者の身体特性を表3に、トレッキングコースの物理特性を表4に示す。実験日の気象条件は気温 14 ± 3 (平均 \pm SD, °C), 相対湿度 60 ± 7 (平均 \pm SD, %)であった。測定項目は、 VO_2 , HR, I_{total} , 歩行に伴う高度変化を求めるための大気圧(P, 改良型熟大メイト)である。なお、熟大メイトはトレッドミル実験のときと同様に装着した。また、フィールドにおける歩行時の位置エネルギー変化量は、気圧センサーの出力値である大気圧値を標高に変換し、1分ごとの標高の変化量と被験者の体重を掛けた値を用いた。大気圧値(P, hPa)から

絶対標高 (A, m) を算出する式は次の通りである。

$$A = 18410 \cdot \{ \log_{10}(1013.25) - \log_{10}(P) \}$$

C. 研究結果

トレッドミル実験における、各トライアルの歩行速度、心拍数の平均値を表 5 に示す。歩行速度は約 2.5km/h から 6.0km/h であるが、傾斜角度が正に大きくなると歩行速度は遅くなり、心拍数は大きくなる傾向が見られる。特に+15%の「速い」速度のトライアルでの心拍数は、 141 ± 2 (平均 \pm SE) であり、年齢から推測する最大予備心拍の 80%程度まで上昇している。

傾斜角度毎の I_{total} と VO_2 の関係を回帰直線と共に図 1 に示す。それぞれの傾斜角度において I_{total} と VO_2 には、相関関係が見られ、回帰直線の傾きは、傾斜角度につれて大きくなっている。

平地歩行では位置エネルギーの変化量はないため、傾斜地歩行時に 0%の回帰直線から VO_2 がずれるのは、位置エネルギーの増加、減少によるものと考えられる (図 2)。そこで、0%の回帰直線との差 (ΔVO_2) と、そのときの理論上の位置エネルギーの変化量の関係をプロットすると図 3 のようになる。ここから、上り、下り時に ΔVO_2 と位置エネルギーの変化量はそれぞれ相関することがわかる。よって、傾斜地歩行時の VO_2 は、図 1、図 3 の結果から

$$VO_2 = k_1 \cdot I_{total} + k_2 \cdot \Delta P_g + k_3 \cdot \Delta P_l$$

$$K_1: 0.0467$$

$$K_2: 0.0014$$

$$k_3: 0.0006$$

と表すことができる。なお、トレッドミル歩行時の理論上の高度変化 Δh (m) は、歩行速度を v (m/sec)、傾斜角度を s (%) とすると次式で計算できる。

$$\Delta h = v \cdot \sin\{ \tan^{-1}(s / 100) \}$$

そして、 ΔP_g 、 ΔP_l は被験者の体重を bw とする

と次式で求まる。

$$\Delta P_g = \Delta h \cdot bw \quad (\Delta h \geq 0)$$

$$\Delta P_l = \Delta h \cdot bw \quad (\Delta h < 0)$$

図 4 には、フィールド実験における呼気ガス分析装置による実測 VO_2 と、改良型熟大メイトから求めた推測 VO_2 の典型例を示す。(a)は、 VO_2 の実測値と推定値の時系列変化、(b)は大気圧から計算した絶対標高の時系列変化である。

図 5 には、フィールド実験の全被験者 11 名の結果を示す。また、この結果の実測 VO_2 と推測 VO_2 の比較をするために、図 6 に、横軸に実測 VO_2 と推測 VO_2 の平均値、縦軸に実測 VO_2 と推測 VO_2 の差をとる Bland-Altman プロットを載せる。実測値と推測値の差は、 0.01 ± 0.23 (平均 \pm SD, l/min) である。

D. 考察

本研究の結果、傾斜地歩行時の消費エネルギー量の算出式は、体重心の加速度累積値に比例する項と、位置エネルギー変化量に比例する補正項の和で表すことができることがわかった。この新しい算出式を用いると、平地歩行時には位置エネルギー項が 0 になり、体重心の累積加速度の項だけが残る。つまり、平地歩行であれば、新しい手法と従来手法は矛盾せず、従来のデータとの一貫性は保持できる。また本方式は、傾斜の条件によって計算式を使い分ける必要がないため、測定機器への実装が容易であるという特長をもつ。

従来、傾斜地歩行時の消費エネルギー量を算出することを目的に、歩行面の傾斜角度や歩行速度を求める試みや、全地球測位システム (GPS) を用いて移動距離や高度変化を算出する手法の研究が進められてきたが、課題が多く実用化には至っていない。本研究で用いた、気圧センサーは歩行時の高度変化を検出する十分な分解能があり、携帯性がよく精度の高い消費エネルギー量計測

器の開発を可能にした。

消費エネルギー量の算出式を導出したトレッドミル実験では傾斜角度の設定を-15%から+15%としたが、急峻な山岳路や階段ではこれ以上の傾斜も想定できる。よって、本実験のトレッドミルの設定範囲をはずれると熟大メイトの推定結果が真値と異なる可能性がある。特に下り坂では、-10%より急峻になると制動力を働かせる必要から消費エネルギー量が増えるという報告がある。本実験の-15%の設定でのエネルギー消費量は、-10%と比べて増加しなかったが、これは下りの設定では時速 5km が最速であり、この速度制限によってあまり制動力を必要としなかった可能性が考えられる。よって、急峻な下り坂で時速 5km より速く歩く場合には、従来の報告通りエネルギー消費量が増える可能性がある。

しかしながら、フィールド実験の結果から、一般のトレッキングコースであれば、平地、上り、下りともに実測値と大きな乖離はなく、実用上はほとんど問題がないと考えられる。図 5 の典型例からは、地形に関係なく VO_2 の実測値と提案手法による推定値は全体的にはよく一致していることがわかる。このグラフを詳細に見ると、推定値に比べて実測値の変動が小さい。これは、生体反応が、地形変化に伴う負荷の変化から遅延して起きていることが原因だと思われる。しかしながら、平均すれば実測値と推定値はよく合っており、図 6 の Bland-Altman プロットからもわかるように全被験者の VO_2 の実測値と推定値の差の平均は 0.01 ± 0.23 (平均 \pm SD, l/min) と非常に小さくなっており、本提案手法は高精度にフィールド歩行時の消費エネルギー量を計測できることがわかる。

E. 結論

歩行時の体重心の加速度累積値から消費エネルギー量を算出する従来の手法に、傾斜地歩行による位置エネルギー変化量も考慮に入れた手法を開発した。気圧センサーを組み込んだ改良型運動量計測器「熟大メイト」にこのアルゴリズムを実装し、傾斜地歩行時の消費エネルギー量の計測精度をフィールドにて検証した。その結果、酸素摂取量の実測値と推定値の差の平均 \pm SD は、 0.01 ± 0.23 (l/min) であり、傾斜を含むフィールド歩行時の消費エネルギー量を精度よく計測できることを確かめた。これにより、過去にデータベースに蓄積したトレーニングデータと一貫性を保ちながら、傾斜地ではより精度の高いトレーニング量の計測が可能になった。

F. 研究危険情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

花岡正明 他：EBH に基づく e-ヘルスプロモーションシステム, VR 学会研報, 10(1):15-20, 2004.

山崎敏明 他：コミュニティ形成を支援する熟年体育大学ヘルスプロモーションシステムの開発, VR 学会研報, 7(3):1-8, 2002.

2. 学会発表

T. Yamazaki et al., A new device to measure energy expenditure during walking on uphill and downhill roads using accelerometer and barometric sensor for middle-aged and older people, The 84th annual meeting of the physiological Society of Japan, Osaka, March 20-22, 2007, JPS vol.57 suppl. April 2007 s187.

山崎敏明 他：IT ネットワークを用いた遠隔個別運動処方プログラムの開発, 第 61 回日本体力医

学会大会シンポジウム, 神戸, 9月24-26日, 2006年, 体力科学 vol.56:66, 2007.

長岩利幸 他: インターバル速歩の効果予測のためのデータ解析システムの開発, 第61回日本体力医学会大会シンポジウム, 神戸, 9月24-26日, 2006年.

山崎敏明 他: 傾斜地歩行用カロリー計測器の開発, 第62回日本体力医学会大会シンポジウム, 秋田, 9月14-16日, 2007年, 体力科学 vol.56:779, 2007.

H. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

著作物の題号: 消費カロリー算出方法および携帯用消費カロリー測定装置

出願番号: 特願 2007-60705

出願日: 平成 19 年 3 月 12 日

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

表1 被験者の身体特性(トレッドミル実験)

	Male (n=21)	Female (n=21)	Total (n=42)
Age, year	67 ± 5	59 ± 7	63 ± 7
Height, cm	166 ± 4	155 ± 5	161 ± 7
Weight, kg	68 ± 7	57 ± 8	63 ± 10

表2 トレッドミル実験プロトコル

	1 st day	2 nd day	3 rd day
	seated rest 30 min	seated rest 30 min	seated rest 30 min
<i>0% trial</i>		<i>-10% trial</i>	<i>-15% trial</i>
	stand 3 min	stand 3 min	stand 3 min
	walk, #1 3 min	walk, #1 3 min	walk, #1 3 min
	walk, #2 3 min	walk, #2 3 min	walk, #2 3 min
	walk, #3 3 min	walk, #3 3 min	walk, #3 3 min
	walk, #4 3 min		
	seated rest 30 min	seated rest 30 min	seated rest 30 min
<i>-5% trial</i>		<i>+10% trial</i>	<i>+15% trial</i>
	stand 3 min	stand 3 min	stand 3 min
	walk, #1 3 min	walk, #1 3 min	walk, #1 3 min
	walk, #2 3 min	walk, #2 3 min	walk, #2 3 min
	walk, #3 3 min	walk, #3 3 min	walk, #3 3 min
	seated rest 30 min		
<i>+5% trial</i>			
	stand 3 min		
	walk, #1 3 min		
	walk, #2 3 min		
	walk, #3 3 min		

表3 被験者の身体特性(フィールド実験)

	Male (n=8)	Female (n=3)	Total (n=11)
Age, year	58 ± 11	60 ± 10	58 ± 10
Height, cm	167 ± 5	154 ± 3	163 ± 7
Weight, kg	64 ± 7	51 ± 8	61 ± 9

表4 フィールド実験トレッキングコース地形特性

	#1	#2	#3
Horizontal distance, m	2150	3180	5200
Vertical distance, m	292	199	72
Start point altitude, m	610	650	910

表5 トレッドミル実験各トライアルの結果(歩行速度、酸素摂取量、心拍数)

	-15%	-10%	-5%	0%	+5%	+10%	+15%
<i>rest</i>							
VO ₂ , l/min	0.23 ± 0.01	0.24 ± 0.01	0.23 ± 0.01	0.23 ± 0.01	0.22 ± 0.01	0.22 ± 0.01	0.23 ± 0.01
HR, beats/min	75 ± 2	74 ± 2	74 ± 2	75 ± 2	72 ± 2	70 ± 2	71 ± 2
<i>slow</i>							
Speed, km/h	2.7 ± 0.1	2.9 ± 0.1	3.0 ± 0.0	3.0 ± 0.1	3.1 ± 0.1	2.8 ± 0.1	2.5 ± 0.1
VO ₂ , l/min	0.51 ± 0.03	0.54 ± 0.03	0.54 ± 0.03	0.70 ± 0.03	0.82 ± 0.02	0.98 ± 0.03	1.11 ± 0.04
HR, beats/min	84 ± 2	83 ± 2	84 ± 2	92 ± 2	95 ± 2	102 ± 2	107 ± 2
<i>medial</i>							
Speed, km/h	3.7 ± 0.1	3.9 ± 0.1	4.0 ± 0.0	4.0 ± 0.1	4.1 ± 0.1	3.8 ± 0.1	3.3 ± 0.1
VO ₂ , l/min	0.58 ± 0.03	0.59 ± 0.03	0.62 ± 0.03	0.81 ± 0.03	1.02 ± 0.03	1.25 ± 0.04	1.40 ± 0.05
HR, beats/min	89 ± 3	86 ± 3	88 ± 2	98 ± 2	105 ± 2	116 ± 2	124 ± 2
<i>fast</i>							
Speed, km/h	4.6 ± 0.1	4.8 ± 0.0	5.0 ± 0.0	5.0 ± 0.1	5.2 ± 0.1	4.7 ± 0.1	4.1 ± 0.1
VO ₂ , l/min	0.67 ± 0.04	0.66 ± 0.04	0.76 ± 0.04	1.00 ± 0.04	1.31 ± 0.04	1.55 ± 0.05	1.71 ± 0.06
HR, beats/min	96 ± 3	91 ± 3	97 ± 2	108 ± 2	120 ± 2	133 ± 2	141 ± 2
<i>fastest</i>							
Speed, km/h				5.9 ± 0.1			
VO ₂ , l/min				1.25 ± 0.05			
HR, beats/min				118 ± 3			

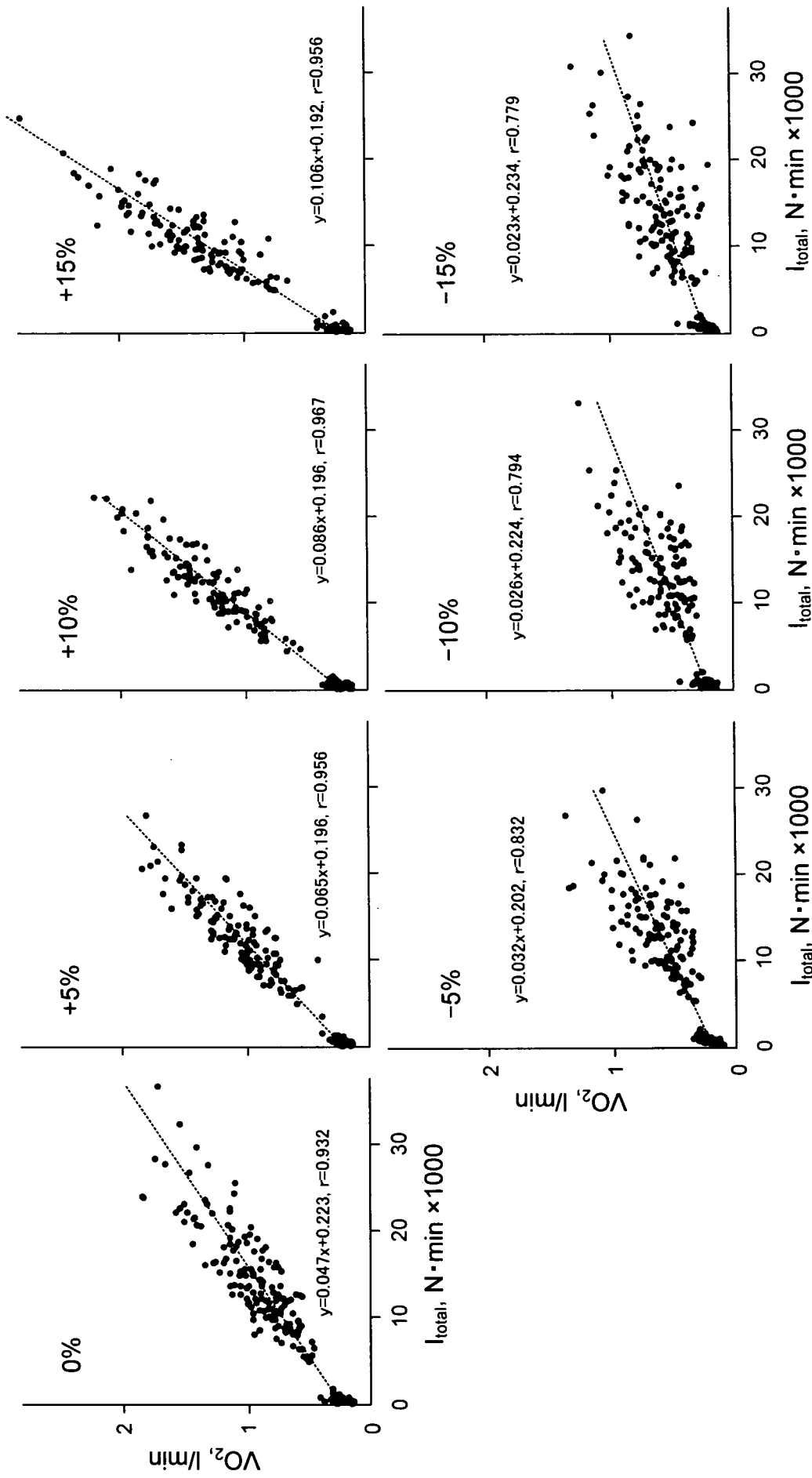


図1 各傾斜における加速度累積値 (I_{total}) と酸素摂取量 (VO_2) の関係

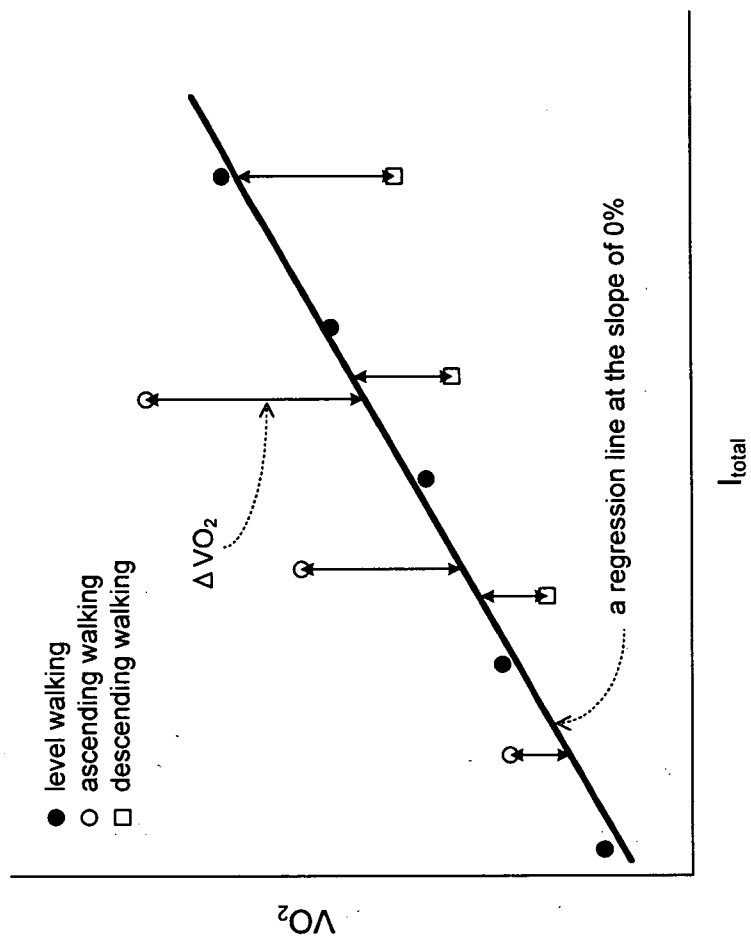


図2 歩行面の傾斜が VO_2 に与える影響

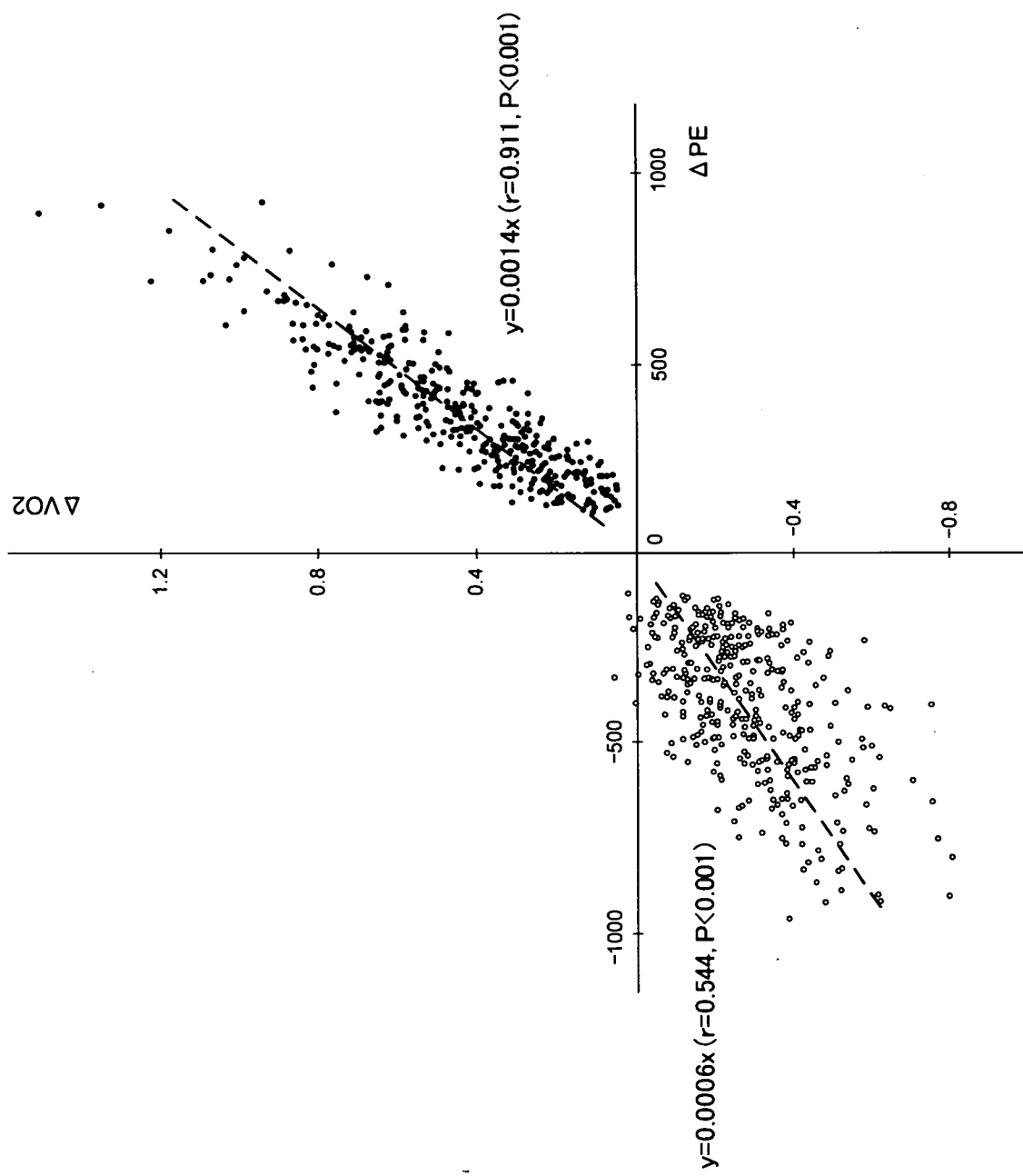


図3 位置エネルギー(ΔPE)と酸素摂取量(VO₂)の変化量の関係

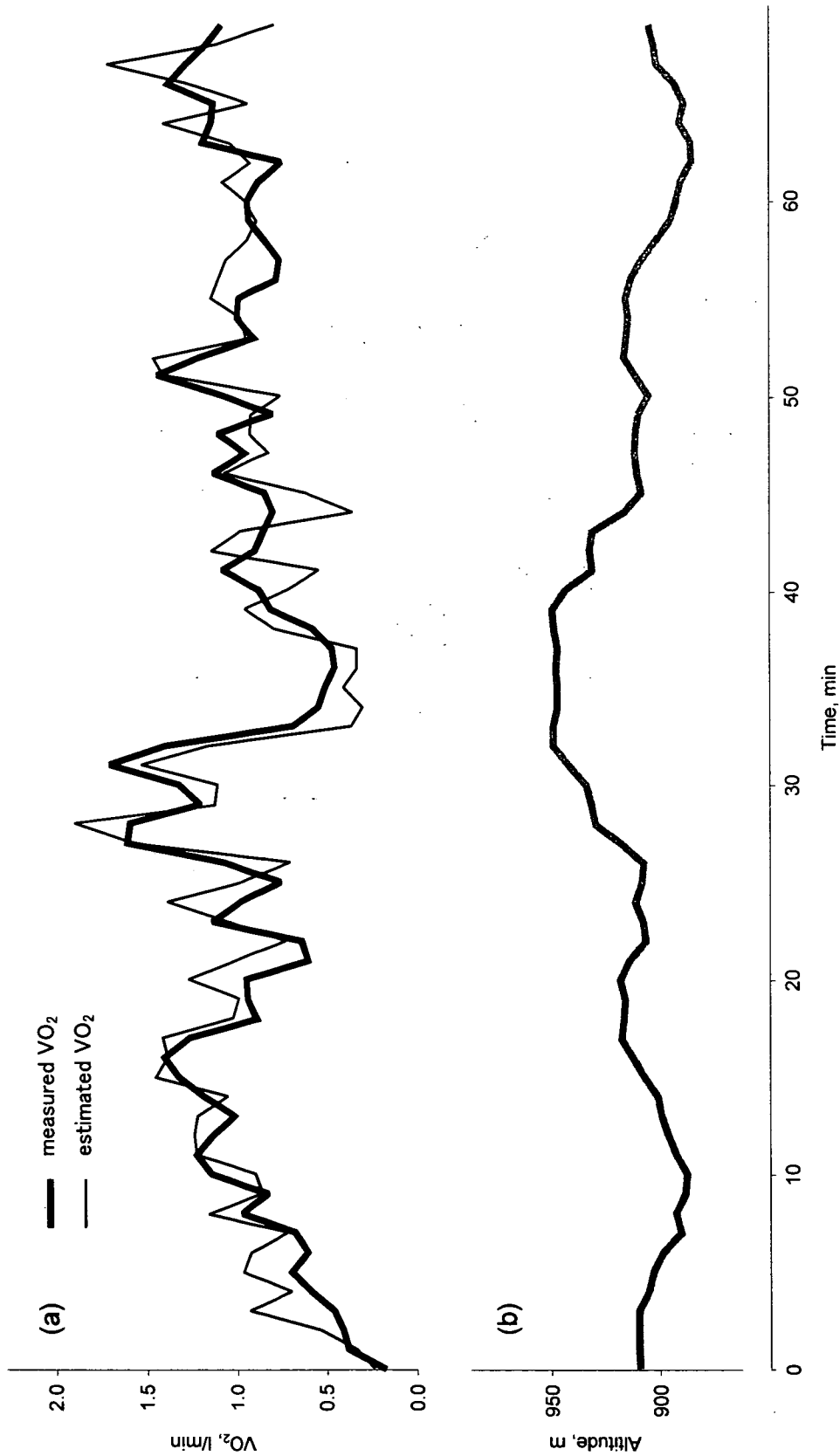


図4 フィールド実験結果(典型例)

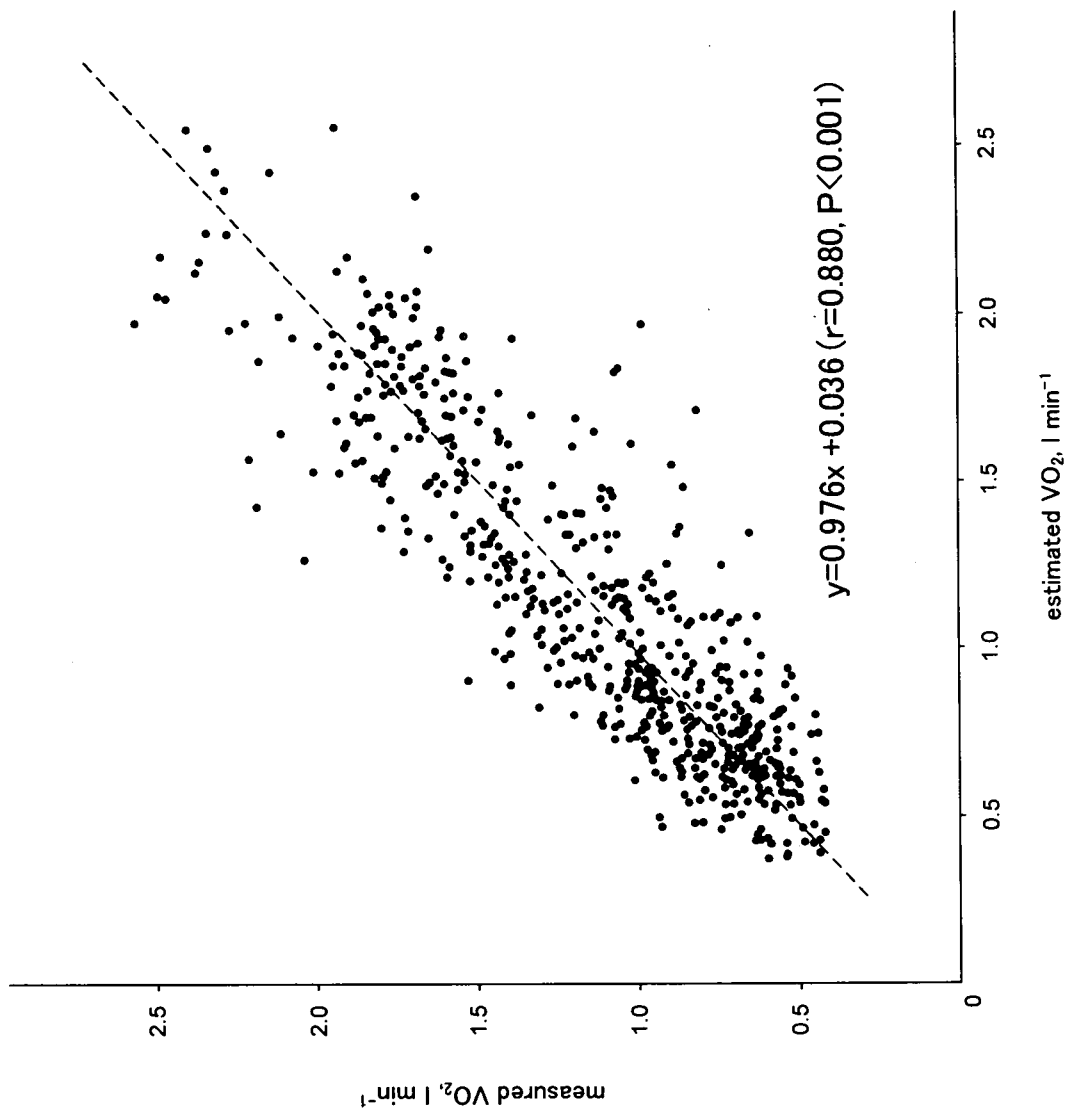
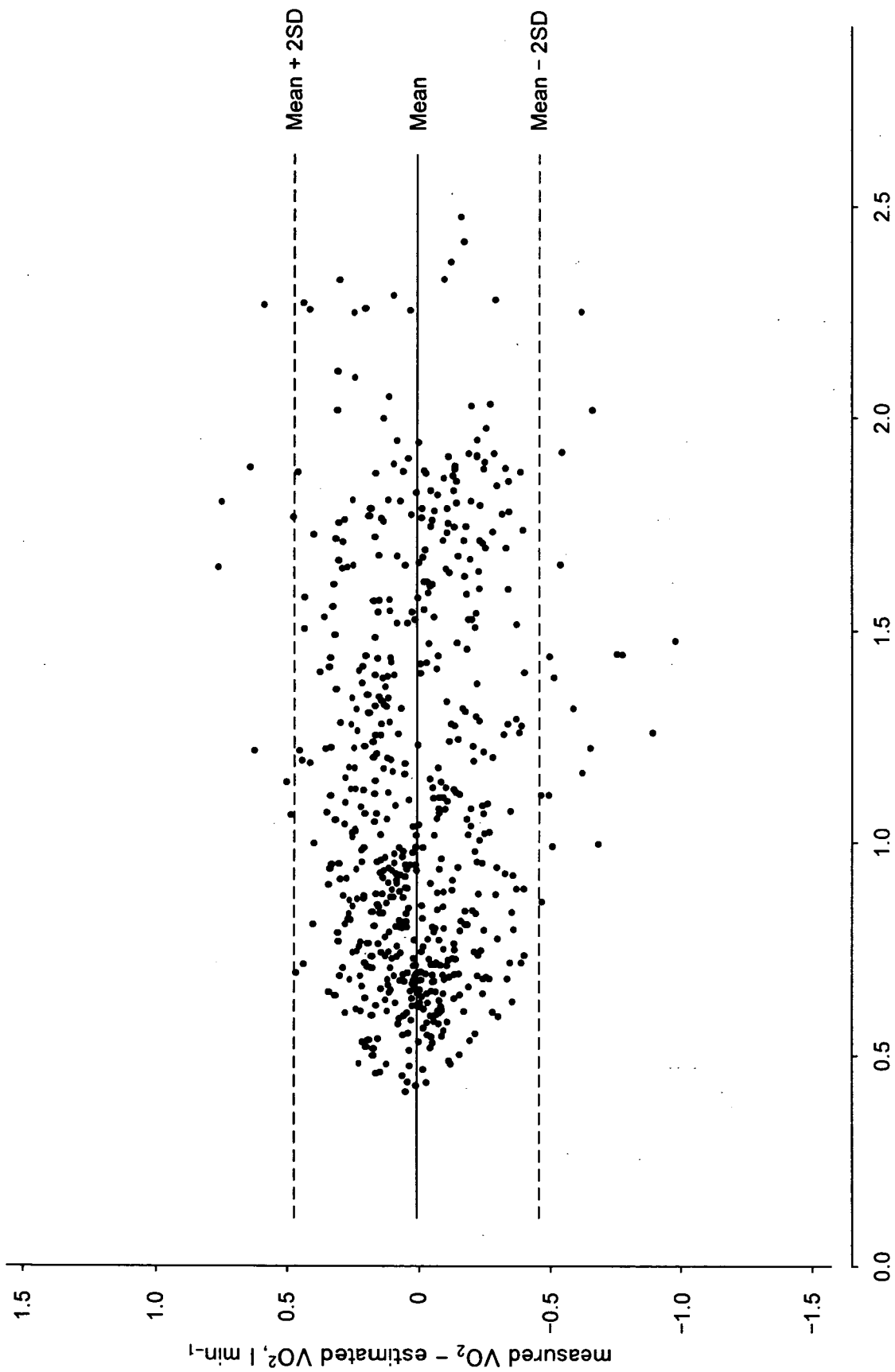


図5 実測 VO_2 と推定 VO_2 の関係



(measured VO_2 - estimated VO_2) / 2

図6 実測 VO_2 と推定 VO_2 の差 (Bland-Altman plot)

松本市熟年体育大学を基盤とした運動処方反応性遺伝子の探索

分担研究者 樋口京一 信州大学大学院医学系研究科加齢生物学分野

共同研究者 森 政之 信州大学大学院医学系研究科加齢生物学分野

研究要旨 中高年者の健康増進に最適の運動処方を確立するためには、運動処方が生活習慣病関連指標を改善する効果のメカニズムを解明することが必須である。我々は、「松本市熟年体育大学受講者が、個人毎の体力に合わせた運動処方を適用されているにもかかわらず、生活習慣病関連指標の改善効果に大きな個人差を示す」ことに着目した。そこで「このような個人差の原因が各個人のもつ遺伝子組成（運動処方反応性遺伝子群）の違いにある」との仮説を考え、運動処方反応性遺伝子の同定を目的とした研究を行なった。研究目的・方法の説明後に研究参加への同意を得られた松本市熟年体育大学受講者を解析対象とした。インターバル速歩を主体とした運動処方適用前後で測定された体脂肪率、血圧、血糖値、血漿中コレステロール値、血漿中中性脂肪値を解析した。運動処方反応性遺伝子の候補として、機能的に血圧、糖代謝、脂質代謝、骨代謝、エネルギー代謝、難聴、老化に関与することが示唆される 100 個の遺伝子を選定し、これらの遺伝子上の 143 個の single nucleotide polymorphisms (SNPs) に関して TaqMan プローブ法、塩基配列決定法、および PCR/アガロースゲル電気泳動法を併用して対象者の遺伝子型判定を行った。本年度は、昨年度までに未了であった 44 個の SNPs についての解析を行なった。統計解析の結果、いくつかの遺伝子上の SNPs において上記の生活習慣病関連指標の運動処方実施前後での改善効果との相関が検出された。これらは運動処方反応性遺伝子の有力な候補であると考えられる。また本年度は、本運動処方システムの松本市以外の地方自治体への拡大にともない、これらの地域での計 572 名の受講者からの血液サンプルを収集し、DNA を採取した。

A. 研究目的

松本市熟年体育大学の目的の一つは中高年者の健康増進に最適の運動処方を確立することにある。これまでに多くの中高年者の参加を得て、実績・データを蓄積して来た。この結果、インターバル速歩を主体とした運動処方が血圧、血糖値、体脂肪率などの生活習慣病関連指標に対する著明な改善効果をもつことが明らかとなった。しかしながら、その効果には大きな個人差が観察されることも問題点として明らかとなった。すなわち、同じ強度と頻度の運動を行なっても、生活習慣病関連指標の大きな改善効果が得られる者がある一方で、ほとんど改善効果が得られない者もあることが確認された。また、どの指標が改善されるかも個人毎に異なる。このことから、生活習慣病関連

指標の改善には画一的なプロトコールではなく、個人毎の違い（体質）を考慮した運動処方を適用することがより効果的であると考えられる。

このような個人ごとの体質に適した運動処方を確立するためには、インターバル速歩が生活習慣病関連指標の改善効果を生むメカニズム、およびその改善効果に個人差が存在することのメカニズムの解明が必要である。我々はインターバル速歩による生活習慣病関連指標の改善効果の個人差の原因の一つとして、各個人には遺伝子群（運動処方反応性遺伝子群）の違いがあり、これらの組み合わせが運動処方に対する反応の個人差を規定していると考えた。そこで、松本市熟年体育大学のシステムを基盤として、運動処方反応性遺伝子を同定することを目