

ローイング・トレーニングが 中高年者の糖処理能力に及ぼす影響

早稲田大学 寺田 新
(共同研究者) 同 樋口 満
国立健康・栄養研究所 田畑 泉
東京家政大学 岡 純

Rowing Exercise Has a Preventive Effect Against Insulin Resistance and Diabetes in Elderly Men

by

Shin Terada, Mitsuru Higuchi

Waseda University Faculty of Sport Sciences

Izumi Tabata

National Institute of Health and Nutrition

Division of Health Promotion and Exercise

Jun Oka

Tokyo Kasei University

ABSTRACT

PURPOSE: The purpose of this study was to determine whether rowing exercise is an appropriate type of exercise to prevent insulin resistance and diabetes mellitus in elderly men. **METHODS:** Blood samples were taken from older men who regularly performed either walking (n=10) or rowing exercise (n=7). Blood glucose, hemoglobin A1c, and serum insulin concentrations were measured as a marker of glucose metabolism. **RESULTS:** There were no significant differences in glucose, hemoglobin A1c, insulin concentration, and HOMA index between walking and rowing groups. Higher significant correlations were observed between fat mass and

insulin concentration and HOMA index ($p < 0.01$). CONCLUSION: These results may indicate that rowing exercise is a valuable tool to prevent insulin resistance and diabetes mellitus in elderly men as effective as walking exercise, and that insulin resistance is closely associated with adiposity in elderly men.

要 約

中高年者の糖代謝能向上を目的とした運動処方としてのローイング運動の有効性を検証することを目的として、本研究では、ローイング運動とウォーキング運動を実施している中高年者の血中糖代謝マーカーを比較検討した。ローイング運動（週2～3回）およびウォーキング運動（週3～5回）を日常的に実施している中高年者17名（年齢；60～73歳）から早朝空腹時に採血を行い、血糖値、Hemoglobin A1c、血清インスリン濃度の分析を行い、さらにHOMA指数を算出した。血糖値、血清インスリン濃度、ヘモグロビンA1c濃度、およびHOMA指数は両群の間に有意な差が認められなかった。血漿インスリン濃度と体脂肪量およびHOMA指数の間に高い相関関係が認められた ($p < 0.01$)。以上の結果から、1) 日常的なローイング運動は、ウォーキング運動と同程度に中高年者の糖代謝能を良好に維持できる運動形態であること、2) 中高年者においては、体脂肪量の増加を抑制することが、糖代謝能を維持する上で重要であることが示唆された。

緒 言

加齢によりインスリン抵抗性が増大し、糖尿病を発症しやすくなることがよく知られている。また、食事などで摂取した糖質の80%以上が骨格筋において処理されることが明らかとなっている²⁾。したがって、糖尿病の予防および治療において、骨格筋の糖処理能力を向上させることが重要であると考えられている。ウォーキング、ランニング
デサントスポーツ科学 Vol. 26

およびスイミングなど定期的に行われる有酸素性運動は骨格筋の糖処理能力を向上させることから、中高年者の糖尿病予防に効果的であることが知られており、有効な運動処方として広く用いられている。

ボート競技は、最大酸素摂取量の85～95%という高い強度で2000mをいかに速く漕ぐことができるかを競うスポーツである。そのため、ローイング運動が中高年者の健康増進のために推奨される運動様式という認識はスポーツ医学の専門家の間でも薄い。しかし、ローイング運動は全身の70%の骨格筋を動員する有酸素運動であり、ローイング愛好者の除脂肪量が多いことからレジスタンス運動の特徴も有した様式の運動であると考えられる^{14,15)}。したがって、ローイング運動は、骨格筋の糖処理能力を質と量の両面から改善させることができる中高年者にとって有用な運動形態である可能性が考えられる。

そこで、本研究では、日常的にローイング運動を実施している中高年者とウォーキング運動を行っている中高年者における血中の糖代謝マーカーの比較検討を行い、中高年者の糖代謝能向上を目的とした運動処方としてのローイング運動の有効性について検証した。

1. 方 法

1. 1 被検者

対象とした被検者は、60歳以上の中高年男性スポーツ愛好者（年齢範囲：60-73歳）17名（ウォーキング群：10名、ローイング群：7名）であった。ローイング群の運動実施頻度は、毎週2～

3回であり、ウォーキング群の運動頻度は、毎週3~5回であった。両群ともに、1回の運動実施時間は約2時間であり、数年以上にわたって運動を継続している者を被検者とした。

本研究は、ヘルシンキ宣言の精神を遵守し、被検者にはあらかじめ研究の目的と内容を説明し、文書により同意を得て諸検査を実施した。

1. 2 身体組成

身長および体重は、排尿を済ませた早朝空腹時に測定し、Body mass index (BMI: kg/m²) を算出した。体脂肪率は、空気置換法体脂肪測定装置 BOD POD Body Composition System (Life Measurement Instruments, Concord, CA, USA) を用いて体密度を測定し、Brožekら¹⁾の式により算出した。また、得られた体重と体脂肪率から除脂肪体重 (LBM: Lean Body Mass) と体脂肪量 (FM: Fat Mass) を算出した。

1. 3 血液検査項目

検査実施前夜から絶食状態を保ち、翌朝に肘前静脈から採血を行った。検査項目は、血糖値、血清インスリン濃度、ヘモグロビンA1c濃度、血清フルクトサミン濃度、血清総コレステロール濃度、血清トリグリセリド濃度、血清HDLコレステロール濃度、および血清レプチン濃度であった。検査は(株)SRLに委託した。また、血糖値とインスリン濃度からHOMA指数を算出した。

1. 4 統計処理

本実験で得られた各指標の統計処理は、Sigma Stat Ver 2.03 (SPSS Inc.) にて行った。群間の平均値の差の検定は対応のないt-testを用いた。血清インスリン濃度の結果については、体重、BMI、LBM、体脂肪率、FMとの間の相関関係の検討を行った。統計データの記載はすべて平均値±標準偏差で示した。すべての統計処理について、危険

率5%未満を有意水準とした。

2. 結果

2. 1 被検者の身体的特性

本研究で対象とした被検者の身体的特性を表1に示した。ローイング群の年齢は、ウォーキング群に比べて、有意に低い値であった (p<0.05)。また、体重およびLBMは、ウォーキング群に比べてローイング群で有意に高い値を示した (p<0.05)。身長、BMI、体脂肪率、およびFMには両群の間に有意な差は認められなかった。

表1 Physical characteristics of subjects

		Rowing	Walking
Age	(years)	65.0 ± 1.4*	69.5 ± 4.5
Height	(cm)	171.4 ± 4.3	167.6 ± 6.6
Weight	(kg)	66.9 ± 4.2*	62.2 ± 4.2
Body mass index	(kg/m ²)	22.8 ± 1.8	22.2 ± 2.2
% Fat	(%)	20.7 ± 5.2	22.6 ± 4.5
Fat mass	(kg)	13.9 ± 3.8	14.1 ± 3.2
Lean body mass	(kg)	53.0 ± 4.2*	48.1 ± 3.7

*indicate significant difference from walking group at a level of p<0.05

2. 2 血液検査項目

ローイング群およびウォーキング群の血液検査の結果を表2に示した。いずれの検査項目においても、2群間に有意な差は認められなかった。平均値でみると、両群ともに、全ての検査項目において正常域の範囲におさまるものであった。ウォーキング群の1名の被検者で、インスリン濃度が正常域より高値を示した (20 μU/ml)。血糖値に関しては、ローイング群で2名、ウォーキング群で1名が正常域よりも高い値を示したが、3名と

表2 Measured blood parameters in rowing and walking groups

		Rowing	Walking
Glucose	(mg/dl)	98.4 ± 10.2	95.9 ± 8.7
Insulin	(μU/ml)	7.1 ± 3.5	8.2 ± 5.2
HOMA index		1.8 ± 1.1	1.9 ± 1.2
Hemoglobin A1c	(%)	4.7 ± 0.1	4.8 ± 0.4
Fructosamine	(μmol/l)	270.1 ± 24.9	249.7 ± 10.4
Total cholesterol	(mg/dl)	218.6 ± 29.6	201.0 ± 28.4
HDL cholesterol	(mg/dl)	57.6 ± 12.7	55.6 ± 13.8
Triglyceride	(mg/dl)	139.6 ± 44.7	117.0 ± 43.9
Leptin	(ng/ml)	3.3 ± 2.5	2.8 ± 1.5

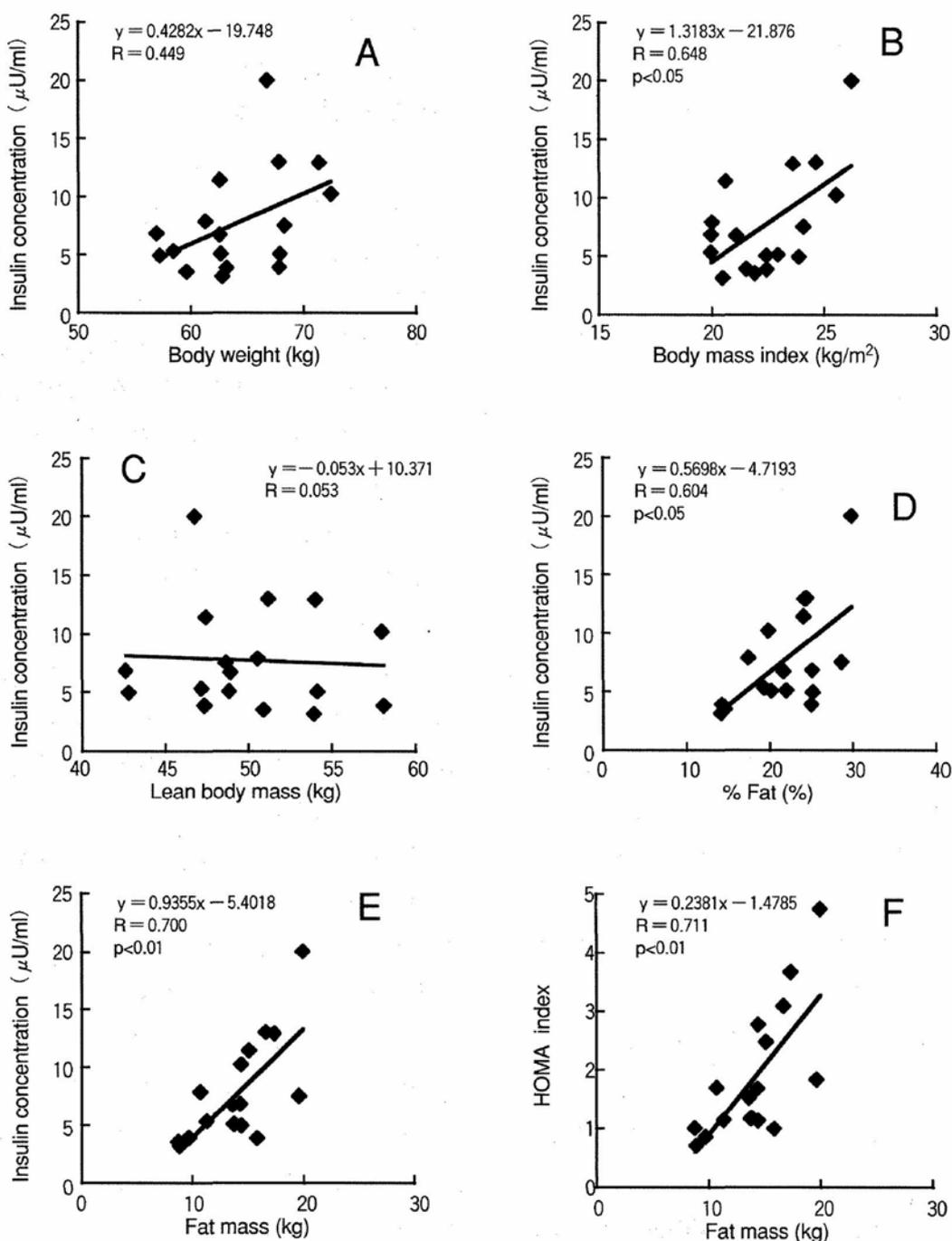


図1 The relationship between insulin concentration and body mass (A), body mass index (B), lean body mass (C), %fat (D), and fat mass (E) in rowing and walking group. Figure1-F presents the relationship between HOMA index and fat mass.

も $110\text{mg/dl} \sim 115\text{mg/dl}$ 程度であり、日本糖尿病学会の糖尿病判定基準（早朝空腹時 126mg/dl 以上）よりは低い値であった。

体重と血漿インスリン濃度の関係を検討したところ、有意な相関関係は認められなかったが、BMIとインスリン濃度の間には有意な正の相関関

係が認められた ($p < 0.05$)。LBMとインスリン濃度の間には相関関係は認められなかったが、体脂肪率およびFMとインスリン濃度との間には高い相関関係が認められた ($p < 0.05$, $p < 0.01$)。また、FMとHOMA指数の間にも高い相関関係が認められた ($p < 0.01$) (図1)。

3. 考 察

本研究の主な知見は、1) 中高年者における週2～3回のローイング運動は、血糖値、インスリン濃度、ヘモグロビンA1c濃度などの血中糖代謝マーカーを、ウォーキングを週3～5回実施している中高年者と同程度に維持できること、2) 日常的なローイング運動により、LBMが高められること、3) FMとインスリン濃度およびHOMA指数の間に高い相関関係が認められたこと、の3点である。

本研究では、運動を実施していないコントロール群とローイング群およびウォーキング群の比較を行うことができなかった。これは、運動を実施していない男性中高年者を被検者として募ることが困難であったためである。したがって、本研究では、毎週3～5回ウォーキング運動を行っており、糖代謝能が良好に維持されている人々と比較することで、糖尿病予防の運動処方としてのローイング運動の有効性について検討するという手法を採用した。その結果、血糖値、血漿インスリン濃度、HOMA指数、ヘモグロビンA1c濃度などいずれの検査項目においても両群で同レベルを示し、大部分の被検者が正常域におさまることが明らかとなった。このことから、週2～3回のローイング運動は、週3～5回のウォーキング運動と同程度に中高年者の糖代謝能を良好に保つことができる可能性が示唆された。Yoshigaら¹⁴⁾は、ローイング運動を行っている中高年者では、血中リポ蛋白プロフィールが良好に保たれることを報告している。本研究でも、糖代謝マーカーだけではなく、血中脂質に関する検査項目でも、ローイング群は、ウォーキング群と同レベルの値を示しており、Yoshigaら¹⁴⁾の結果を支持するものである。本研究の結果は、ローイング運動が糖質および脂質代謝改善のための運動・スポーツとして中高年者に推奨できることを示唆するものである

と考えられる。今後の研究においては、運動を行っていないコントロール群を設けて検討を行うこと、さらには、そのような運動を実施していない中高年者に対し、ローイング・トレーニングによる介入研究を行う必要がある。

ローイング運動は、全身の70%の骨格筋を動員する運動であり、かつレジスタンス運動としての特徴も有している。Yoshigaら¹⁵⁾は、ローイング運動を行っている中高年者では、運動習慣の無い者に比べて、骨格筋量が高く維持されていることを報告している。本研究でも、ローイング群では、LBMがウォーキング群より高い値を示しており、加齢に伴う筋萎縮を予防する運動形態としてローイング運動が有効である可能性が示唆される。

本研究では、LBMと血清インスリン濃度の間には相関関係は認められなかった。Kohrt and Holloszy⁹⁾は、加齢に伴う骨格筋量の減少がインスリン抵抗性の直接的な原因ではないことを報告している。したがって、ローイング運動は、骨格筋の量的な変化ではなく、質的な変化を生じさせることによって糖代謝能の維持に貢献しているのかもしれない。食事などで摂取した糖質の80%以上が骨格筋において処理される²⁾ことから、糖尿病予防のためには、骨格筋の糖代謝機能を向上させることが重要であると考えられている。骨格筋の糖代謝律速段階は、血中から血糖を取り込む段階であることが知られている¹⁰⁾。骨格筋の糖取り込み速度と糖輸送体GLUT-4濃度の間には高い相関関係が認められる⁵⁾ことから、骨格筋のGLUT-4濃度を高めることが全身の糖代謝能を向上させる上で重要であると考えられている。これまでの数多くの研究により、ウォーキングやジョギングのような低強度から中等度の運動トレーニングにより骨格筋のGLUT-4濃度が増加し、経口糖負荷試験の成績やインスリンクランプ時のグルコース注入率などが向上することが報告されて

いる^{4,7,11,13}). 一方, 我々は総運動時間が280秒間という短時間のうちに行われる高強度の間欠的トレーニングでも, 骨格筋のGLUT-4濃度ならびに糖取り込み機能が, 6時間の有酸素性トレーニングと同程度に向上することを明らかにしている¹²). したがって, 本研究では, 実際に骨格筋のGLUT-4濃度を測定することができなかつたが, ローイング運動により骨格筋のGLUT-4濃度が増加したことにより, ウォーキング群と同程度に血中糖代謝マーカーが良好に維持されていたと推察される。

体脂肪量, とくに内臓脂肪量の増加にともない, 全身の糖代謝能が低下することがよく知られている⁸). これは, 脂肪細胞からのResistin, TNF α などの分泌量の増加や, adiponectinの分泌量の減少などにより, 骨格筋の糖代謝能が低下することに起因していると考えられている. 本研究でも先行研究と同様に, 体脂肪率および体脂肪量と血漿インスリン濃度およびHOMA指数の間には高い相関関係が認められた. したがって, 中高年者においては, 筋活動量を増加させ骨格筋の糖処理能力を直接的に向上させるだけではなく, 体脂肪量を減らすことも糖尿病予防のうえで重要である可能性が示唆された. Hulveら⁶)は, 運動トレーニングと胃のバイパス手術によるエネルギー摂取制限が体脂肪量に及ぼす影響について検討している. この研究では, 運動に比べて摂取エネルギー制限による体脂肪量の減少効果が高かったことを報告している. 同様に, Fontanaら³)は, 摂取エネルギーを長期間にわたって制限することにより, 体脂肪量の減少に伴い血糖値やインスリン濃度, さらには総コレステロール濃度が低下することを報告しており, 運動だけではなく, 摂取エネルギーを制限し, 両面から体脂肪量の増加を抑制することが糖尿病予防で重要であると思われる.

以上, 本研究をまとめると, 中高年者におけるローイング運動は, ウォーキング運動と同程度に

血中糖代謝マーカーを良好に維持できる運動処方プログラムである可能性が示唆された. 最近ではローイングエルゴメーターが開発され, ローイング運動は, 健康増進施設などで広く実行することができる運動となっており, 中高年者に推奨できる運動・スポーツとしての利用が可能であると思われる. また, 本研究の結果は, 健康な人々では, 低強度の有酸素運動に加えて, ローイングのような比較的強度の高いさまざまな運動・スポーツも取り入れることによって糖代謝機能の向上, 糖尿病の一次予防が可能であることを示唆するものであると考えられる. ただし, さまざまな生活習慣病の危険因子を潜在させている可能性のある運動習慣のない中高年者に対しては, はじめから高強度のトレーニングを処方することが適切でないことは明らかであり, 低強度の運動から処方するほうが安全であることはいうまでもない.

謝 辞

本研究課題に対して助成していただきました石本記念デサントスポーツ科学振興財団に感謝の意を表します. また, 本研究の遂行に際しましてご協力いただきました早稲田大学大学院人間科学研究科の薄井澄誉子氏に心から感謝いたします.

文 献

- 1) Brožek, J., Grande, F., Anderson, J.T., and Keys, A. Densitometric analysis of body composition: revision of some quantitative assumptions, *Ann. NY. Acad. Sci.*, 110, 113-140 (1963)
- 2) DeFronzo, R.A., Ferrannini E., Sato Y., Felig P., and Wahren J. Synergistic interaction between exercise and insulin on peripheral glucose uptake. *J. Clin. Invest.* 68, 1468-1474 (1981)
- 3) Fontana L., Meyer T.E., Klein S., and Holloszy J.O. Long-term calorie restriction is highly effective in reducing the risk for atherosclerosis in humans. *Proc. Natl. Acad. Sci. U S A.* 101,6659-6663 (2004)
- 4) Gulve E.A., and Spina R.J. Effect of 7-10 days of

- cycle ergometer exercise on skeletal muscle GLUT-4 protein content. *J. Appl. Physiol.* 79,1562-1566 (1995)
- 5) Henriksen E.J., Bourey R.E., Rodnick K.J., Koranyi L., Permutt M.A., and Holloszy J.O. Glucose transporter protein content and glucose transport capacity in rat skeletal muscles. *Am. J. Physiol.* 259, E593-E598 (1990)
 - 6) Hulver M.W., Zheng D., Tanner C.J., Houmard J.A., Kraus W.E., Slentz C.A., Sinha M.K., Pories W.J., MacDonald K.G., and Dohm G.L. Adiponectin is not altered with exercise training despite enhanced insulin action. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 283, E861-E865 (2002)
 - 7) Kawanaka K., Tabata I., Katsuta S., and Higuchi M. Changes in insulin-stimulated glucose transport and GLUT-4 protein in rat skeletal muscle after training. *J. Appl. Physiol.* 83, 2043-2047 (1997)
 - 8) Kohrt W.M., Kirwan J.P., Staten M.A., Bourey R.E., King D.S., and Holloszy J.O. Insulin resistance in aging is related to abdominal obesity. *Diabetes* 42, 273-281 (1993)
 - 9) Kohrt W.M., and Holloszy J.O. Loss of skeletal muscle mass with aging: effect on glucose tolerance. *J. Gerontol. A. Biol. Sci. Med. Sci.* 50, 68-72 (1995)
 - 10) Kubo, K., and Foley J.E. Rate-limiting steps for insulin-mediated glucose uptake into perfused rat hindlimb. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 250, E100-E102 (1986)
 - 11) Ren J.M., Semenkovich C.F., Gulve E.A., Gao J., and Holloszy J.O. Exercise induces rapid increases in GLUT4 expression, glucose transport capacity, and insulin-stimulated glycogen storage in muscle. *J Biol Chem.* 269, 14396-14401 (1994)
 - 12) Terada S., Yokozeki T., Kawanaka K., Ogawa K., Higuchi M., Ezaki O., and Tabata I. Effects of high-intensity swimming training on GLUT-4 and glucose transport activity in rat skeletal muscle. *J. Appl. Physiol.* 90, 2019-2024 (2001)
 - 13) Yamanouchi K., Nakajima H., Shinozaki T., Chikada K., Kato K., Oshida Y., Osawa I., Sato J., Sato Y., Higuchi M., Kobayashi S. Effects of daily physical activity on insulin action in the elderly. *J. Appl. Physiol.* 73, 2241-2245 (1992)
 - 14) Yoshiga C.C., Higuchi M., and Oka J. Serum lipoprotein cholesterol in older oarsmen. *Eur. J. Appl. Physiol.* 87, 228-232 (2002a)
 - 15) Yoshiga C.C., Yashiro K., Higuchi M., and Oka J. Rowing prevents muscle wasting in older men. *Eur. J. Appl Physiol.* 88, 1-4. (2002b)