

報告書 1

タイトル

身体活動量の評価と生活習慣病予防のための運動指針の作成
歩数計を用いた検討

慶應義塾大学スポーツ医学研究センター 大西祥平

目的

万歩計は日常の生活の運動量を計測するにあたって非常に簡便で有効なツールであることは多くの報告から確認されている。生活習慣を変えていくこと、また継続のための重要な手段としても万歩計の有用性は期待されている。今回はこのような点を明らかにするために数多くの対象者に対し検討を行った。

対象

慶應義塾大学病院内科外来糖尿病教室受講者（DM群）25名、慶應義塾大学教職員その他（関係者など）（教職員群）28名、慶應義塾大学病院スポーツクリニック通院患者（スポクリ群）25名（うち長期継続が8名）、ウォークラリー（ラリー群）28名、計106名を対象とした。

結果

各グループ年齢、身長、体重、BMI、年齢、性別（女性を1、男性を2として計算）、一日平均歩数、運動強度（light, moderate, vigorous）ごとの一日に費やした時間の平均（分/日）、一日の平均運動量・総消費量(kcal/day)・その比の平均値ほかを表1に示した。

性別はラリー群で女性がやや多いがその他はほぼ半々であった。年齢は各群ともに幅広く分布した（全体で21歳から78歳）が、平均ではDM群で高く、ついで、スポクリ群、ラリー群の順となった。BMIは、スポクリ群で特に高い傾向（平均27）、ついでDM群で高い傾向（平均24.6）を認めた。これは、スポーツクリニックでは、特に生活習慣改善が有効な糖尿病前段階の肥満者や、軽度の糖尿病患者を主な対象としているのに対し、糖尿病教室では、比較的高齢で糖尿病歴の長い患者も多く含むため、もっともな結果である。

一日平均歩数については、ラリー群を除くと3000歩程度から1万歩超（2万歩近く）とば

らつきが大きかった。（ラリー群については後述）DM群では、特に歩数が少なかった。一方、スポクリ群には既に運動指導を受け、運動療法を継続している者も含まれているため、健常群（教職員およびラリー群）と比較しても歩数は少なくなかった。特に、消費エネルギー（kcal/day）の形に換算した“運動量”では、体重が多い分、特に他群より多かった。運動強度については、6 Mets以上の強度の運動を行っている者は極少なく、一日計10分以上となるのは市民ランナー（教職員群）、スポーツジムでトレッドミルを行う女性（スポクリ群）の2名のみであった。DM群に至っては、0から2分とほとんど全く強度の高い運動は行っていなかった。3から6Mets相当の中等度の運動については、DM群で30分弱、その他の群で35分前後であった。

参考として、106名全体の歩数、およびlight, moderate, vigorous各時間の度数分布とBMIと対比した散布図を1から4に図示した。

また、年齢やBMIと各種運動量の指標その相関については、表2に示した。運動強度別の時間light, moderate, vigorousと歩数ないし運動量はいずれも有意($p<0.001$)の相関を認めているが特にmoderateとの相関係数が高かった。歩数に比し運動量では、lightとの相関が低くなっている。運動量増加のためには、歩数だけでなく、ある程度運動強度の高い歩行を励行する必要があり、個々人への解析結果のフィードバックや指導後の再評価が重要である。

2.ウォークラリーについて

ウォークラリーとは、昨年11月の一ヶ月間、慶應義塾健康保険組合で行った、教職員およびその家族を対象とした、一ヶ月で30万歩ウォークラリーに協力し、その間希望者の歩行記録をライフコーダで行ったものである。ラリー参加者（教職員とその家族が対象）は全体で男性52名、女性96名計148名（うち家族13名）目標達成者は男性45名、女性76名計121名（うち家族7名）、全体の82%（うち家族7名）が目標の月30万歩以上を達成している。（達成者には完歩賞として、食物油・緊急避難用袋・体温計等の景品が用意された。）

ライフコーダ装着者はそのうちの28名（うち女性19名）で、年齢は26歳から62歳の平均43.8歳。

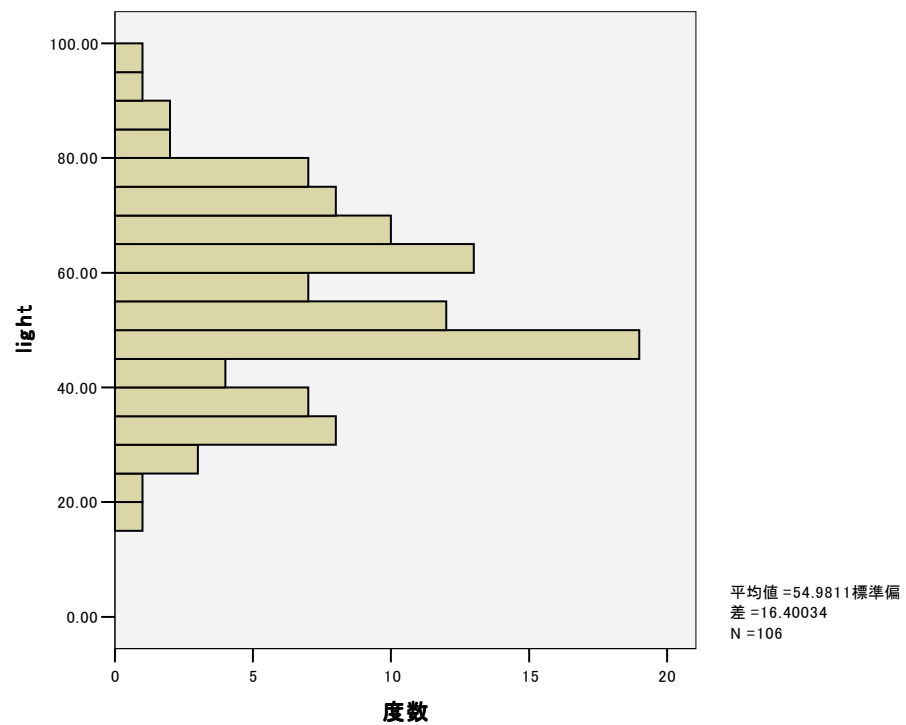
一日平均歩数については、比較的ばらつきが少なく平均10186歩となっている。これは、ラリー中、一日一万歩30日で30万歩を目標とした結果が現れているといえよう。教

表1

所属3		身長	体重	BMI	年齢	性別	歩数	light	moderate	vigorous	運動量	総消費量	割合
DM教室	平均値	163.6040	65.9720	24.6375	61.4400	1.52	7796.4400	48.0400	28.8000	.4000	219.8400	1926.5200	.1110
	度数	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	標準偏差	10.15367	15.17930	5.40704	10.92810	.510	2942.72184	19.78948	18.04162	.57735	116.00240	321.06647	.04373
	最小値	143.00	44.00	17.10	32.00	f	2057.00	17.00	2.00	.00	61.00	1353.00	.04
	最大値	182.00	102.00	38.35	78.00	m	12501.00	94.00	63.00	2.00	588.00	2752.00	.21
教職員	平均値	165.6071	56.6786	20.5461	36.7857	1.46	9561.6786	54.4286	33.8929	4.5714	254.8214	1949.4286	.1286
	度数	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
	標準偏差	6.81686	10.68767	2.88705	12.15138	.508	3262.70624	16.15304	14.97242	7.36573	109.69387	266.64284	.04191
	最小値	152.00	40.00	15.24	21.00	f	3946.00	30.00	8.00	.00	106.00	1519.00	.06
	最大値	181.00	81.00	28.70	65.00	m	18061.00	98.00	78.00	40.00	653.00	2479.00	.26
スポクリ	平均値	162.7600	71.4000	26.9558	53.6000	1.52	10273.3600	58.8800	38.3200	2.8000	336.0400	2132.2800	.1553
	度数	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	標準偏差	9.51875	11.87785	4.16050	10.56724	.510	2694.17682	15.88060	22.55127	5.28362	124.99449	298.11652	.04459
	最小値	143.00	43.00	19.11	37.00	f	5856.00	29.00	9.00	.00	165.00	1490.00	.09
	最大値	178.00	99.00	36.11	73.00	m	19000.00	87.00	110.00	26.00	676.00	2673.00	.26
ウォークラリー	平均値	163.0000	59.0714	22.1061	43.8214	1.32	10186.3214	58.2500	38.0000	3.3571	280.5714	1933.7143	.1438
	度数	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
	標準偏差	8.31331	10.37064	2.52843	10.24895	.476	1756.02550	11.94625	11.13220	2.37603	73.30425	304.38047	.02375
	最小値	151.00	43.00	18.03	26.00	f	6822.00	37.00	14.00	.00	135.00	1491.00	.09
	最大値	180.00	82.00	28.30	62.00	m	15762.00	89.00	60.00	9.00	452.00	2508.00	.20
合計	平均値	163.7745	62.9745	23.4349	48.4245	1.45	9478.1981	54.9811	34.8208	2.8491	272.5283	1983.0000	.1348
	度数	106	106	106	106	106	106	106	106	106	106	106	106
	標準偏差	8.67776	13.25200	4.51868	14.36262	.500	2851.00941	16.40034	17.16464	4.91410	113.33593	304.95189	.04188
	最小値	143.00	40.00	15.24	21.00	f	2057.00	17.00	2.00	.00	61.00	1353.00	.04
	最大値	182.00	102.00	38.35	78.00	m	19000.00	98.00	110.00	40.00	676.00	2752.00	.26

図1

a)



b)

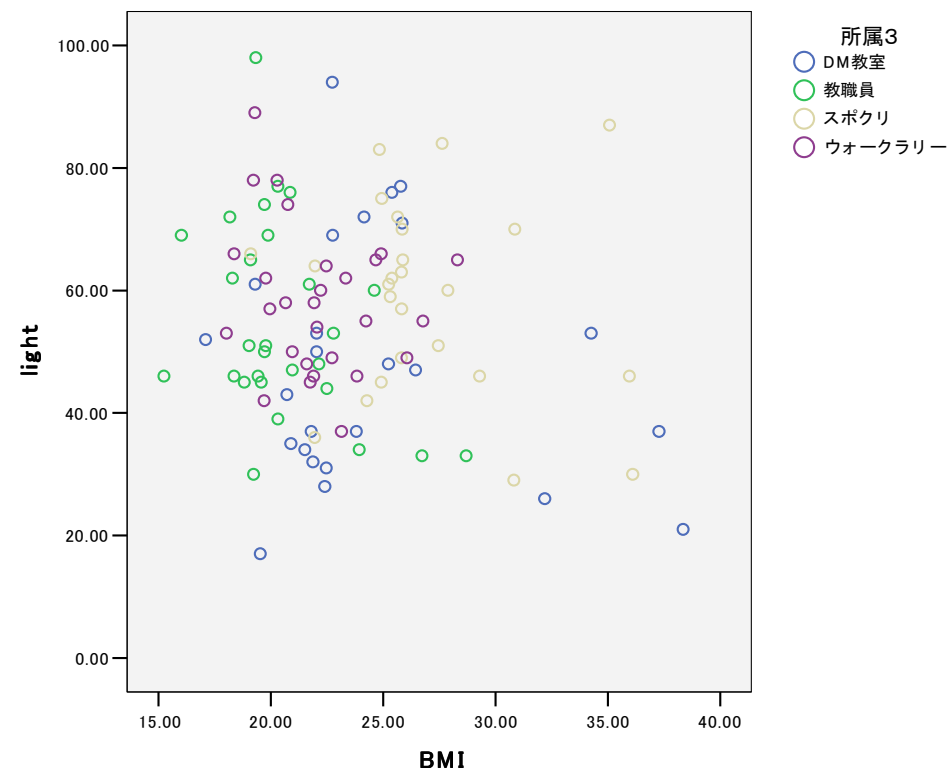
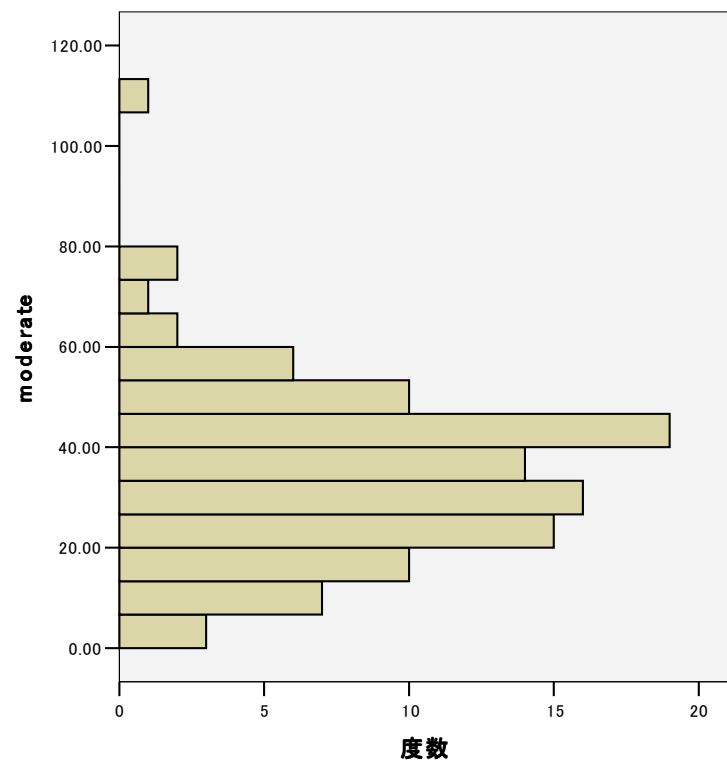


図2

a)



平均値 = 34.8208 標準偏差 = 17.16464
N = 106

b)

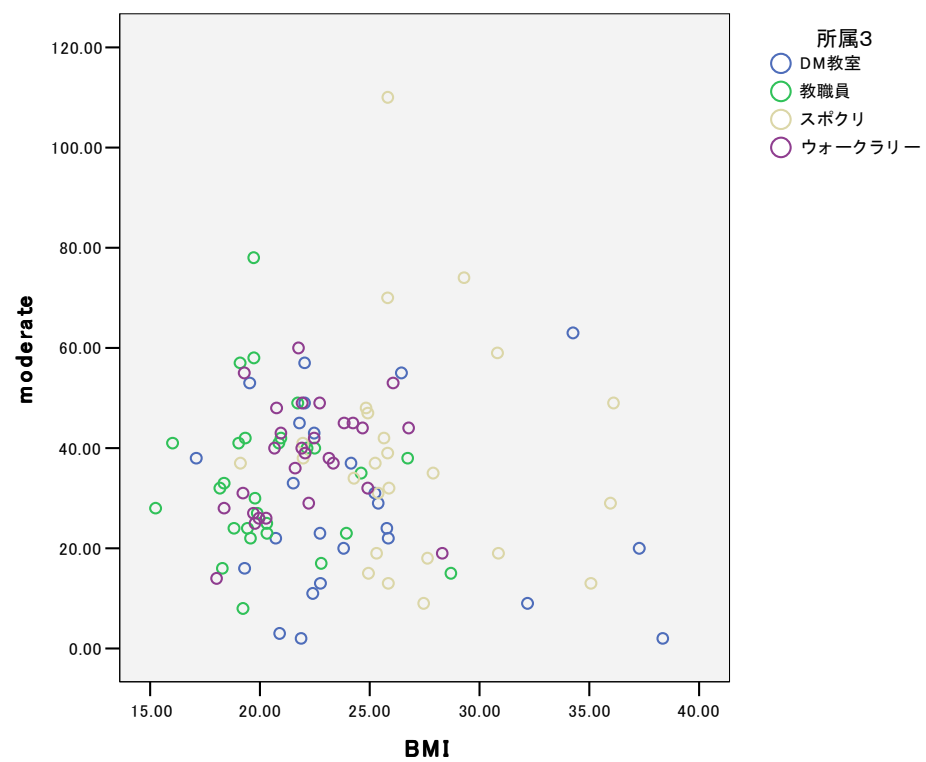
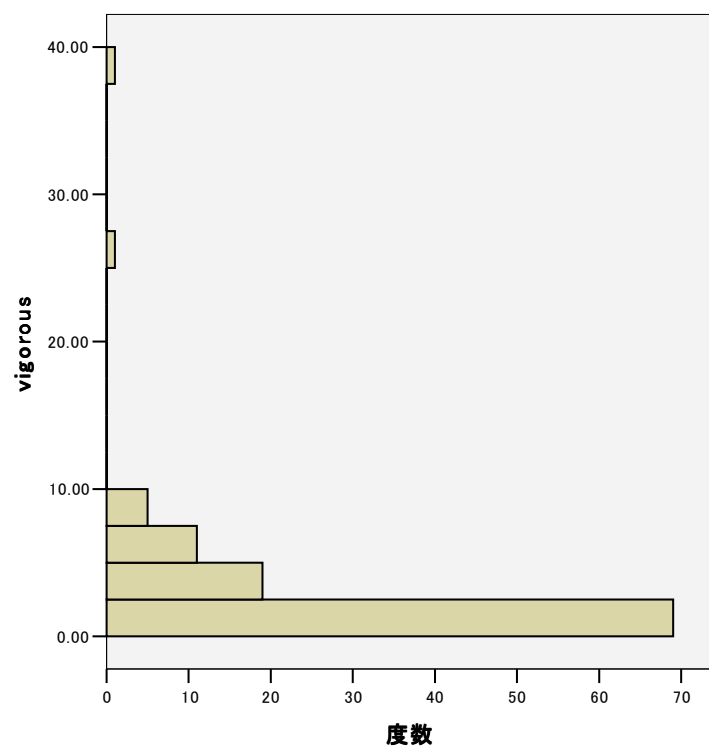


図3 a)



b)

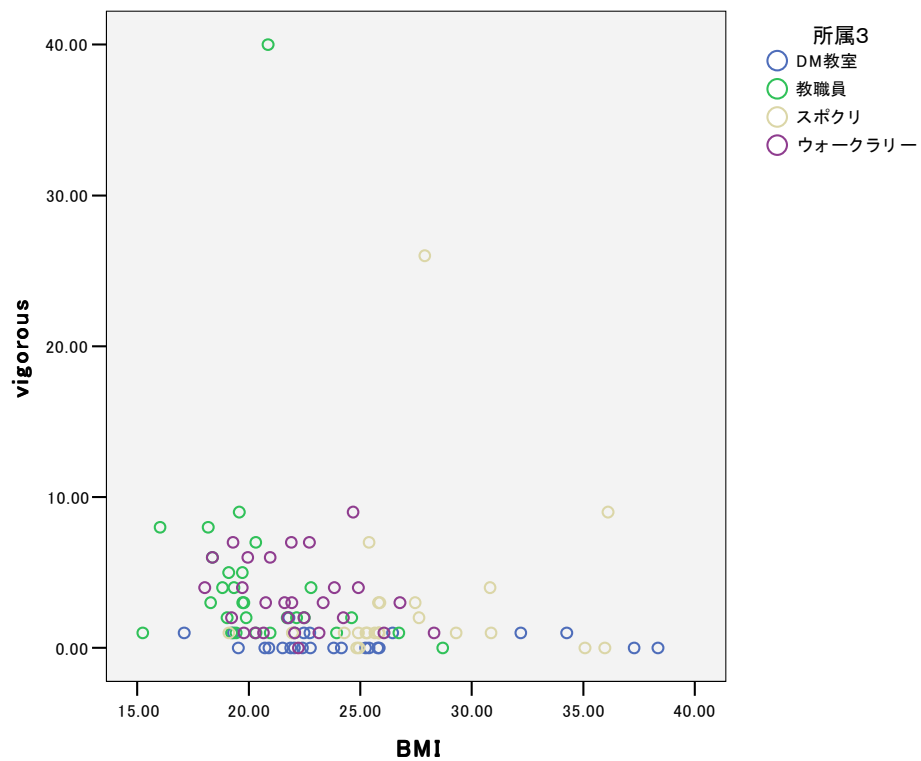
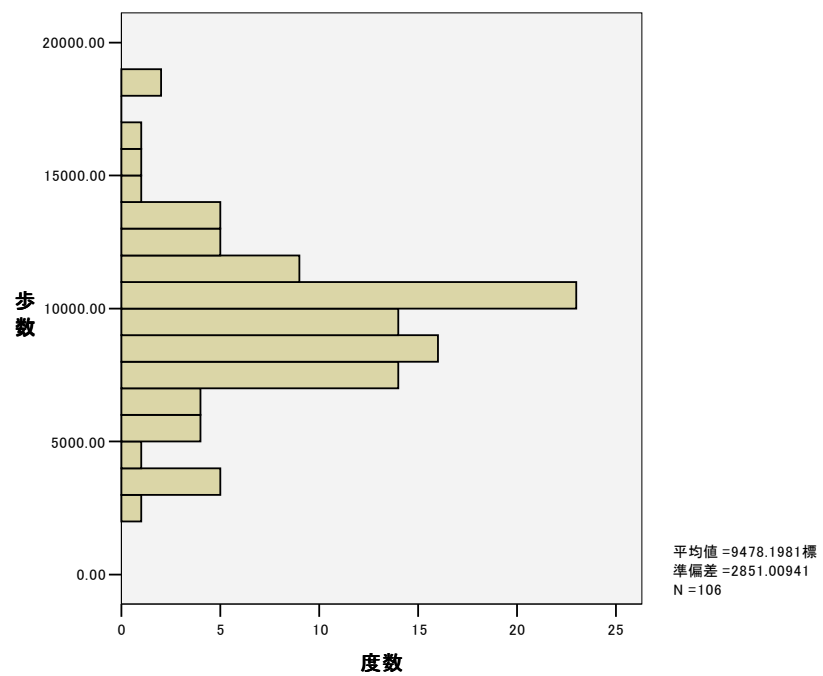


図4

a)



b)

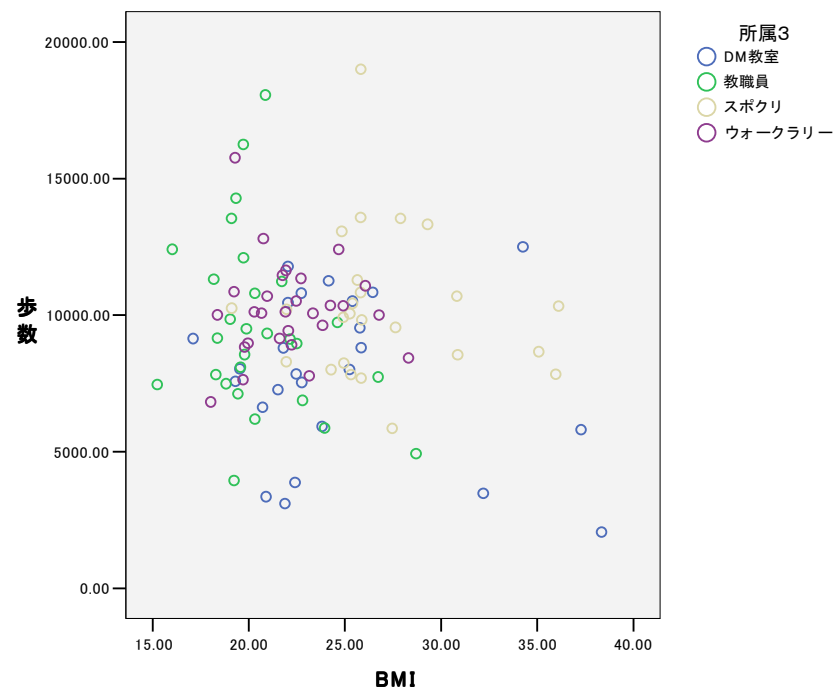
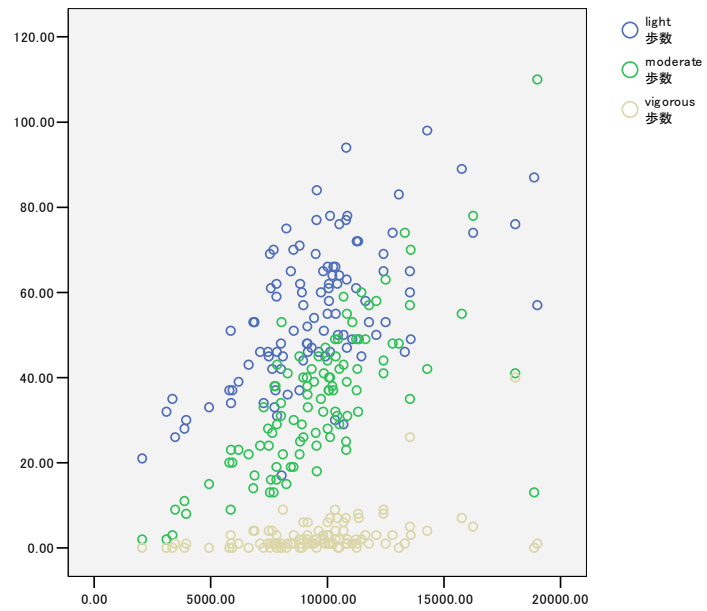


図5 a) 全体



b) ラリー群に限る

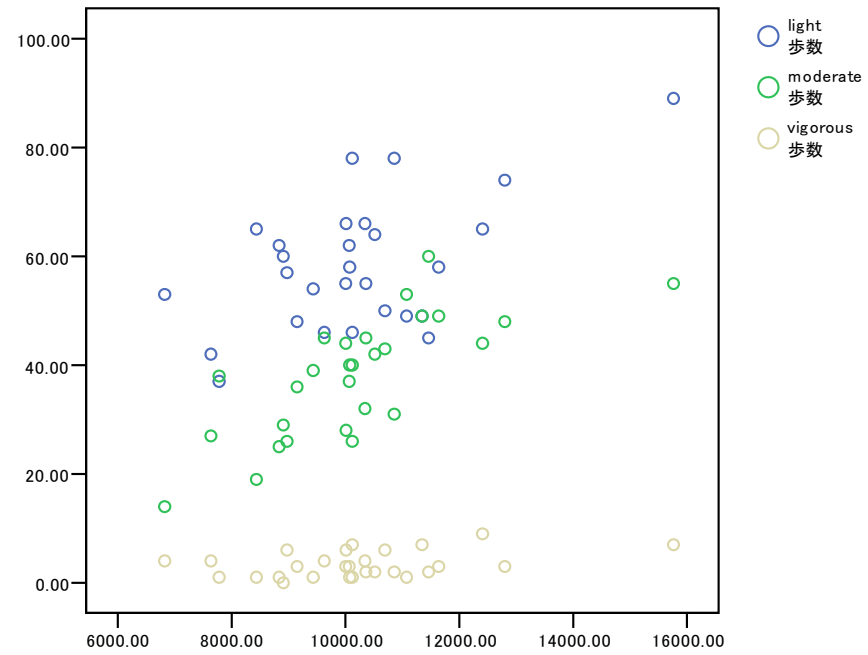


表2 相関係数

		年齢	総消費量	運動量	歩数	light	moderate	vigorous	total	BMI	割合
年齢	Pearson の相関係数	1	-.150	-.093	-.142	-.078	-.113	-.116	-.148	.242(*)	-.084
	有意確率 (両側)		.125	.341	.146	.429	.247	.234	.130	.012	.393
	N	106	106	106	106	106	106	106	106	106	106
総消費量	Pearson の相関係数	-.150	1	.695(**)	.286(**)	-.002	.341(**)	.154	.253(**)	.509(**)	.417(**)
	有意確率 (両側)	.125		.000	.003	.985	.000	.116	.009	.000	.000
	N	106	106	106	106	106	106	106	106	106	106
運動量	Pearson の相関係数	-.093	.695(**)	1	.835(**)	.275(**)	.772(**)	.457(**)	.776(**)	.279(**)	.935(**)
	有意確率 (両側)	.341	.000		.000	.004	.000	.000	.000	.004	.000
	N	106	106	106	106	106	106	106	106	106	106
歩数	Pearson の相関係数	-.142	.286(**)	.835(**)	1	.569(**)	.800(**)	.450(**)	.981(**)	-.132	.939(**)
	有意確率 (両側)	.146	.003	.000		.000	.000	.000	.000	.177	.000
	N	106	106	106	106	106	106	106	106	106	106
light	Pearson の相関係数	-.078	-.002	.275(**)	.569(**)	1	.048	.177	.702(**)	-.153	.381(**)
	有意確率 (両側)	.429	.985	.004	.000		.623	.070	.000	.117	.000
	N	106	106	106	106	106	106	106	106	106	106
moderate	Pearson の相関係数	-.113	.341(**)	.772(**)	.800(**)	.048	1	.120	.720(**)	-.043	.826(**)
	有意確率 (両側)	.247	.000	.000	.000	.623		.221	.000	.662	.000
	N	106	106	106	106	106	106	106	106	106	106
vigorous	Pearson の相関係数	-.116	.154	.457(**)	.450(**)	.177	.120	1	.383(**)	-.113	.490(**)
	有意確率 (両側)	.234	.116	.000	.000	.070	.221		.000	.248	.000
	N	106	106	106	106	106	106	106	106	106	106
total	Pearson の相関係数	-.148	.253(**)	.776(**)	.981(**)	.702(**)	.720(**)	.383(**)	1	-.147	.887(**)
	有意確率 (両側)	.130	.009	.000	.000	.000	.000	.000		.133	.000
	N	106	106	106	106	106	106	106	106	106	106
BMI	Pearson の相関係数	.242(*)	.509(**)	.279(**)	-.132	-.153	-.043	-.113	-.147	1	.108
	有意確率 (両側)	.012	.000	.004	.177	.117	.662	.248	.133		.269
	N	106	106	106	106	106	106	106	106	106	106
割合	Pearson の相関係数	-.084	.417(**)	.935(**)	.939(**)	.381(**)	.826(**)	.490(**)	.887(**)	.108	1
	有意確率 (両側)	.393	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.269	
	N	106	106	106	106	106	106	106	106	106	106

* 相関係数は 5% 水準で有意 (両側) です。

** 相関係数は 1% 水準で有意 (両側) です。

職員群と比較してもやや歩数が多い傾向にあり、通常より、意識して運動量を増やしていることがうかがえる。個々のデータをみると、一日にまとめて、歩数の多い日があったり、夜遅くにまとめてウォーキングしていたり、といった努力の跡がみられた。歩数を目標としているため、運動強度については、まちまちであるが、運動として強度の高い者を行っている者はなく、主にlightからmoderateの活動によっている。（図5を参照）健康増進という意味では今後歩数だけでなく、運動の強度として、中等度（きびきび歩く）といった指導や、可能な方ではもっと強度の高い運動（その分時間ないし歩数は少なくてよい）をすすめていく、といった指導も必要であろう。

報告書 2

タイトル

脂肪酸化（利用）に最適な運動強度の検討

慶應義塾大学スポーツ医学研究センター 大西祥平

要約

脂肪酸化（利用）に最適な運動強度の検討

肥満は種々の慢性疾患に合併しやすく、肥満の予防・治療のための運動の脂肪利用の効果が注目される。運動強度は脂肪利用に影響する重要な因子、従来は低～中等度の強度で脂肪利用が多いとされてきた。一方、近年の肥満の運動指針では、従来より多くのエネルギー消費（2000-2500kcal/週）が必要とされ、時間の制約から高強度の運動も推奨されている。しかしその時の脂肪利用は不明であるため、一定時間の運動で脂肪利用に有意となる強度を検討した。

健常成人8名を対象に、呼気ガス分析で脂肪利用を測定した。自転車エルゴメータによる多段階負荷では脂肪利用は低強度で最大、中等度の強度でその約1/2、高強度でほぼ0であった。この結果から、低・中・高の3つの強度を設定、各強度で1時間の運動を行わせ、運動中および運動後3時間の脂肪利用を検討した。脂肪利用は運動中・後とも高い強度ほど多い傾向を示した。運動直後のカテコラミン濃度は高い強度ほど高く、交感神経の活性化が運動中の脂肪利用に影響したことが示唆された。運動後は交感神経活性に差がなく、運動後の脂肪利用には糖質の欠乏が関与した可能性がある。運動後の食欲の指標は強度で差がなく、エネルギー摂取の点からも高強度の運動が負のエネルギー出納バランスを得るのに有利な可能性が示唆された。

本検討は、高強度の運動がエネルギー消費量のみならず脂肪利用にも好ましい効果を有することを示し、より高い濃度の運動が肥満の運動療法として有用な可能性を脂肪利用の点からも指示する成績である。

目的

健康上好ましい体重を確立するためには日常生活の身体活動量を（運動を含めて）如何に増やすかが鍵となっていることは周知である。活動量はその活動内容すなわち時間と強度に依存するが、肥満となる過剰な脂肪の蓄積（体脂肪量）をより多く、もちろん効率よく燃焼することが望ましい。一般的に運動強度を上げていくと燃料となる基質（脂肪、炭水化物、タンパク質）の利用度、すなわち全体のエネルギー消費量におけるそれぞれの基質の消費量の割合が異なっている。運動強度が低ければ脂肪を主として利用するが、運動強度が上がるにつれて炭水化物の利用割合が高くなる。このようなことから脂肪燃焼を目的とした運動強度は低から中等度に設定することが云われる。

しかし健康維持増進、疾病予防という観点から日常生活での身体活動によるエネルギー消費量は少なくとも1週間に1000キロカロリーが要求され、さらには最近肥満管理の運動には中等度、60-90分の運動量を必要であるとされ、エネルギー消費量は週に2000-25000キロカロリーにまでになる。時間的制約から今日的な対応を考えると運動強度をどうしても上げて対応しなければならない。しかし、それには医学的な注意点も多くなることから実現可能なプログラムを作り上げるのは困難である。

はたして効率よく多くの脂肪燃焼が期待できる運動とはどのようなプロトコールなのか、多くの研究者により検討がなされている。しかし様々な運動強度を設定した検討の中で運動時間および鍛錬者・非鍛錬者などのさらなる議論が必要となる要素があり、この点をも踏まえて期待する運動効果、とくに肥満者に対して好ましい運動プロトコールはどのような要素を含んだものかどうかを検討することが本研究の目的である。

対象と方法

8人の健康成人を対象とした。それぞれの身体的特性を表1に示す。

	平均値	範囲
対象人数	8	
年齢	22	19 - 24
身長 (cm)	168.3	156.1 - 178.9
体重 (kg)	55.2	43.9 - 63.3
BMI (kg/m ²)	19.4	17.9 - 20.4
体脂肪率 (%)	16.9	9.7 - 27.7

	平均値	範囲
体脂肪量 (kg)	9.1	5.5 - 13.1
除脂肪体重 (kg)	46.0	34.3 - 53.4
最大心拍数	183	168 - 202
Vo2max (ml/min)	2429	1432 - 2802
Vo2max/kg (ml/kg/min)	43.7	32.6 - 51.0

BMI: Body Mass Index, Body weight/Height²

被験者すべて体重の変化は最近6ヶ月間で1kg以上の変化は無く安定した状態である。

体組成

体組成は水中体重秤量法を用いて測定した。秤量計はAD-6204;A&D東京、日本を用いた。体脂肪率の計算はBrozekの式を用いた。

$$\% \text{Body fat (\%)} = (4.570 / \text{body density} - 4.142) * 100$$

最大酸素摂取量

最大酸素摂取量の測定は自転車エルゴメーター (Monark 818E, Monark Stiga AB, Sweden)を用い段階的運動負荷テストで行った。ペダル回転数は50回転を維持し、2分ごとに25ワットずつ増加し、疲労困憊まで運動を負荷した。最大酸素摂取量の基準は以下の如くとした。

- I. 1分間継続運動強度で最も高い値
- II. 呼吸商が1.1を越える
- III. 運動強度を上げても酸素摂取量が2ml/kg/min未満である

酸素摂取量の測定はQuark b2, Cosmed, Rome, Italyを用いた。換気量はVise medical co., Ltd type v-30-2を用いた。心拍数はPOLAR T41 CE0537 N2965, Polar Electro, Oy Finlandで行った。

漸増運動負荷テストによる最大脂肪燃焼速度決定のための検査法

段階的運動負荷テストを自転車エルゴメーターを用い、同時に酸素摂取量および二酸化炭素排泄量を測定した。ペダル回転数は50回転を維持し、3分ごとに25ワットずつ増加させ呼吸商が1.00に到達するまで負荷テストを行ったのち、疲労困憊まで2分ごとに負荷を増した。一呼吸毎に酸素摂取量、二酸化炭素排泄量、心拍数を記録した。脂肪および炭水化物酸化とエネルギー消費量はタンパク質分解は運動時においてエネルギー代謝にほとんど寄与しないという仮定の下にstoichiometric式を用いて計算した。

$$\text{Fat oxidation (kcal/min)} = 15.03 \text{ Vo}_2 \text{ (l/min)} - 15.03 \text{ Vco}_2 \text{ (l/min)}$$

$\text{CHO oxidation (kcal/min)} = 18.2 \text{ Vco}_2 \text{ (l/min)} - 12.84 \text{ Vo}_2 \text{ (l/min)}$

$\text{EE (kcal/min)} = \text{Fat oxidation (kcal/min)} + \text{CHO oxidation (kcal/min)}$

運動負荷テスト前日の食事はカロリーおよびPFCバランスを調整した。総カロリー数2501 kcal、P : F : C = 16 : 26 : 58とした。検査当日の朝はテスト食596 kcal、P : F : C = 9 : 31 : 60とした。

運動1時間と運動後3時間、計4時間での脂肪利用測定

最大脂肪燃焼速度検討運動負荷後1週間して行った。3種類の異なる強度で運動負荷を行い、運動時および運動後のエネルギー消費量と基質利用について検討した。最大脂肪燃焼速度として得られた酸素摂取量リザーブ値を低強度、50%酸素摂取量リザーブ値を中強度そして呼吸商が1.00に等しい強度を高強度とした。それぞれ3強度の負荷は少なくとも間を一週間おいた。低強度と中強度はクロスオーバーさせた。運動負荷後は安静座位にて静かに読者をさせた。運動時および運動後安静座位時は一呼吸ごとの酸素摂取量および二酸化炭素排泄量と心拍数を測定した。エネルギー消費量と基質利用は運動時2分ごと、運動後3分ごと測定した。

交感神経機能

運動時、運動後の心拍変動をMemCalc/Tarawaソフトウェア (Suwa Trust, Tokyo, Japan)を用いて計測し心拍変動値：低周波数 (LF: 0.04 - 0.15 Hz)と高周波数(HF: 0.15 - 0.40 Hz)を求めた。LFとHFの比 (LF/HF) を交感神経機能の指標とした。

血液測定

朝食前、運動前、そして運動直後、60、120、180分後に採血した。血糖、血中インスリン濃度、遊離脂肪酸、血漿カテコールアミンそしてグリセロールを測定した。

統計学的処理

データ分析はStatXactソフトウェア (version 6.6.0, Cytel software Corporation, MA, USA)をも用いた。Wilcoxon Signed Rank Test with Bonferroni correctionにて運動強度による各指標の違いを検討した。有意判定はp値が0.05未満であるときとした。

結果

最大脂肪燃焼速度決定

脂肪酸化と運動強度との関係を検討した。運動強度はパーセント酸素摂取量リザーブとパーセント最大酸素摂取量とした。図1にその結果を示す。運動強度が29%Vo₂R、34%Vo₂maxの時点で脂肪燃焼速度は1.18kcal/minと最大となり、その後の燃焼速度は減少を認めた。

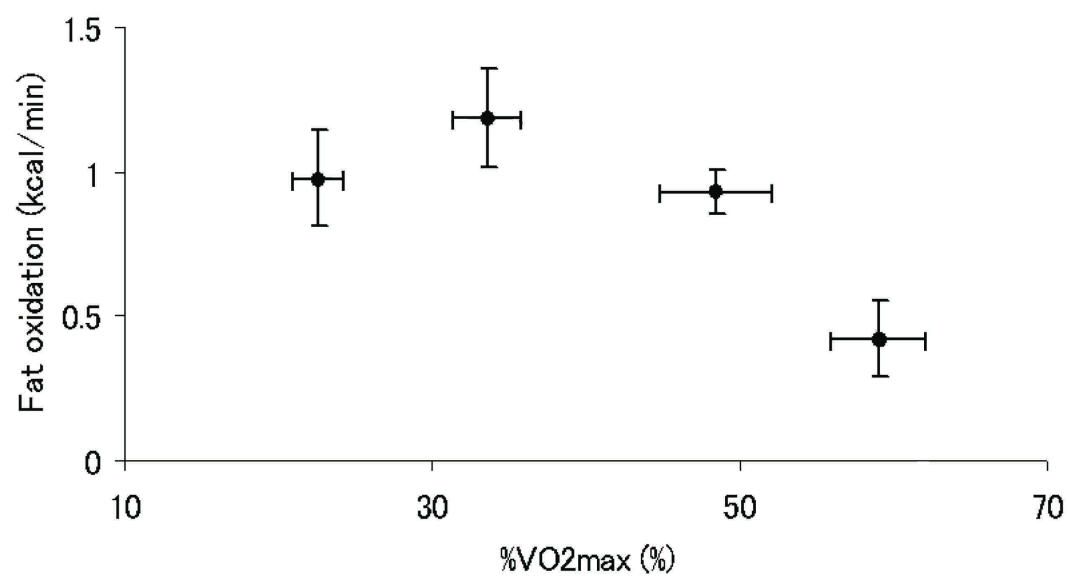
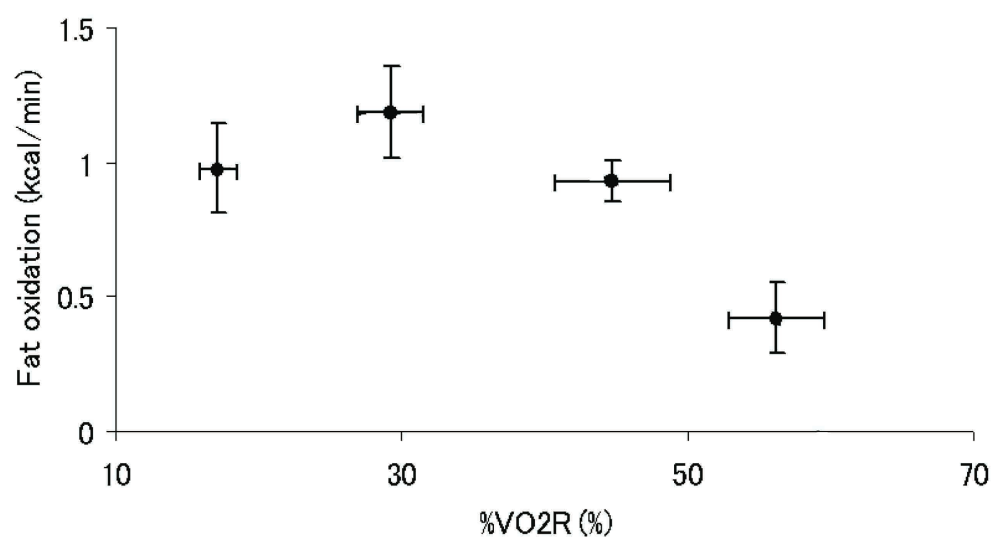


図1 脂肪燃焼速度と相対的運動強度との関係

運動1時間と運動後3時間、計4時間での脂肪利用

3段階の運動強度%Vo2Rと%Vo2maxはそれぞれ、低強度26%、31%、中強度52%、55%、高強度67%、69%であった。エネルギー消費量と基質利用については表2に運動時、運動後のRQ等を含め示す。

時間	強度	RQ	CHO(kcal)	Fat(kcal)	EE(kcal)	Fat/EE(%)
運動時	低	0.93	281	47	327	14.5
	中	0.94	490	74	564	13.0
	高	0.95	599	76	675	11.0
運動後1	低	0.91	46	16	62	25.4
	中	0.9	50	21	71	31.1
	高	0.9	62	27	88	30.3
運動後2	低	0.9	39	19	58	31.5
	中	0.88	36	22	57	36.8
	高	0.88	38	32	71	42.5
運動後3	低	0.87	33	22	55	39.6
	中	0.85	31	26	57	46.0
	高	0.82	29	38	67	56.0

表2 呼吸商（RQ）、基質利用、エネルギー消費量（EE）と脂肪の燃焼度（Fat/EE）

エネルギー消費量は運動強度により明らかに異なっており、低強度に比べて高強度は2倍のエネルギー消費量となっている。運動後のエネルギー消費量も運動強度が高い方が高い。運動時の炭水化物消費量は明らかに異なるが運動後は運動強度における差はみられなかった。脂肪燃焼については運動時の強度が高くなるにつれて脂肪燃焼が明らかには増えなかった。運動後の脂肪燃焼は高強度の運動後の方がより多くなり、また全体のエネルギー消費量に対する脂肪燃焼の割合も同様で、さらに運動後2-3時間後における脂肪燃焼の割合が大であり、炭水化物に比して脂肪燃焼優位であった。

心拍数

運動時の心拍数は強度に応じて上昇したが、中、高強度の負荷時の心拍数は終了時点が最も高かった。また終了後の心拍数の変化をみると低および中強度の負荷ではその値に差は認めなかったが、高強度では3時間を経ても他に比べて心拍数は有意に高かった。

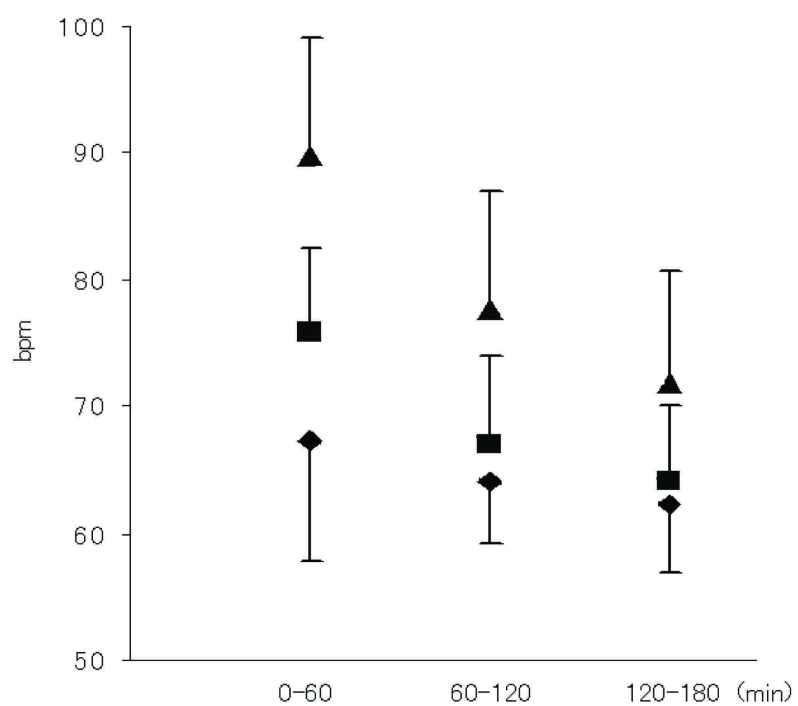
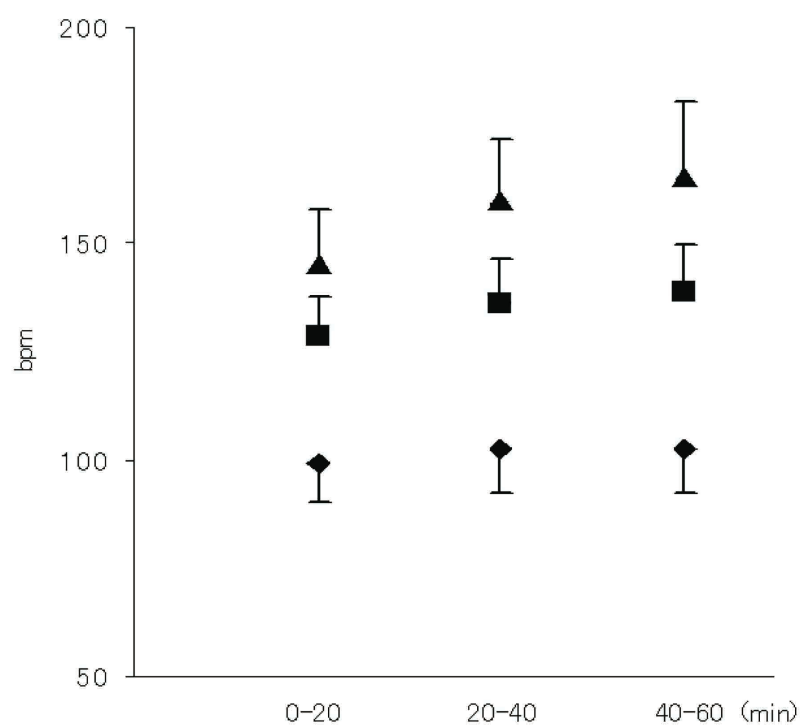


図2 運動時および運動後の心拍数の推移：◆；低強度運動、■；中強度運動、▲；高強度運動時の心

拍数を示す。上段は運動時の心拍数（開始0-20分、20-40分、40-60分）、下段は運動の心拍数（運動後0-60分、60-120分、120-180分）の経過を示す。

交感神経活動

運動後の交感神経活動の評価としての血中カテコールアミンと心拍変動から求めてLF/HF比を表2示す。

Time	運動強度	Epinephrine (ng/ml)	Norepinephrine (ng/ml)	LF/HF ratio
運動直後	低	0.05	0.37	2.98
	中	0.05	0.53	3.27
	高	0.08	0.83	3.43
運動後1時間	低	0.03	0.34	2.71
	中	0.04	0.42	2.58
	高	0.04	0.43	2.46
運動後2時間	低	0.04	0.34	2.71
	中	0.03	0.39	2.58
	高	0.04	0.41	2.46
運動後3時間	低	0.05	0.36	2.52
	中	0.03	0.44	2.40
	高	0.05	0.43	2.64

表2

血中カテコールアミンは運動後時間経過にて減少傾向を示した。特に中、高強度の運動においてその傾向は明らかであった。心拍変動による交感神経活動（LF/HF）の運動後の減少は認められなかった。

血液生化学データ

運動後、血糖値は明らかに減少し、血中インスリン濃度は減少する傾向であった。遊離脂肪酸とグリセロールは運動後、時間とともに増加したが、運動直後の増加は明らかでありさらに高強度において顕著であった（表3）。

Time	運動強度	血糖 (mg/dl)	インスリン (μ U/ml)	FFA (mEq/l)	glycerol (mg/dl)
運動前	低	114	63.3	0.18	1.5
	中	109	57.9	0.2	1.4
	高	110	71.1	0.18	1.0
運動直後	低	107	37.8	0.23	1.9
	中	102	34	0.35	5.1
	高	105	20.8	0.54	11.4
運動後1時間	低	88	17.0	0.17	2.1
	中	91	12.2	0.22	2.8
	高	92	19.3	0.18	2.4
運動後2時間	低	90	9.7	0.25	2.5
	中	90	6.7	0.32	2.9
	高	86	6.3	0.45	4.0
運動後3時間	低	95	8.0	0.34	2.8
	中	91	4.8	0.42	3.3
	高	87	5.8	0.63	4.1

表 3

参考文献

1. Zurlo F, Lillioja S, Esposito-Del Puente A, Nyomba BL, Raz I, Saad MF, Swinburn BA, Knowler WC, Bogardus C, Ravussin E. Low ratio of fat to carbohydrate oxidation as predictor of weight gain: study of 24-h RQ. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 259: E650-E657, 1990.
2. Seidell JC, Muller DC, Sorkin JD, Andres R. Fasting respiratory exchange ratio and resting metabolic rate as predictors of weight gain: the Baltimore Longitudinal Study on Aging. *Int J Obes Relat Metab Disord* 16: 667-674, 1992.
3. Valtuena S, Salas-Salvado J, Lorda PG. The respiratory quotient as a prognostic factor in weight-loss rebound. *Int J Obes Relat Metab Disord* 21: 811-817, 1997.
4. Marra M, Scalfi L, Covino A, Esposito-Del Puente A, Contaldo F. Fasting respiratory quotient as a predictor of weight changes in non-obese women. *Int J Obes Relat Metab Disord* 22: 601-603, 1998.
5. Romijn JA, Coyle EF, Sidossis LS, Gastaldelli A, Horowitz JF, Endert E, Wolfe RR. Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 265: E380-E391, 1993.
6. Thompson DL, Townsend KM, Boughey R, Patterson K, Bassett DR Jr. Substrate use during and follow-

ing moderate- and low-intensity exercise: implications for weight control. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 78: 43-49, 1998.

7. **Bergman BC, Brooks GA.** Respiratory gas-exchange ratios during graded exercise in fed and fasted trained and untrained men. *J Appl Physiol* 86: 479-487, 1999.
8. **Romijn JA, Coyle EF, Sidossis LS, Rosenblatt J, Wolfe RR.** Substrate metabolism during different exercise intensities in endurance-trained women. *J Appl Physiol* 88: 1707-1714, 2000.
9. **Pate RR, Pratt M, Blair SN, Haskell WL, Macera CA, Bouchard C, Buchner D, Ettinger W, Heath GW, King AC, et al.** Physical activity and public health. A recommendation from the Centers for Disease Control and Prevention and the American College of Sports Medicine. *JAMA* 273: 402-407, 1995.
10. **NIH Consensus Conference.** Physical activity and cardiovascular health. *JAMA* 276: 241-246, 1996.
11. **US National Institutes of Health, US Department of Health and Human Services.** A report of the Surgeon General: physical activity and health at a glance. US Department of Health and Human Services: Atlanta, GA, 1996.
12. **Saris WH, Blair SN, van Baak MA, Eaton SB, Davies PS, Di Pietro L, Fogelholm M, Rissanen A, Schoeller D, Swinburn B, Tremblay A, Westerterp KR, Wyatt H.** How much physical activity is enough to prevent unhealthy weight gain? Outcome of the IASO 1st Stock Conference and consensus statement. *Obes Rev* 4: 101-114, 2003.
13. **Institute of Medicine of the National Academies.** Dietary reference intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein, and amino acids. The National Academies Press, Washington, D. C., 2005. pp. 880-935.
14. **International Agency for Research on Cancer.** IARC handbooks of cancer prevention vol.6: weight control and physical activity. IARC Press, Lyon, 2002.
15. **Joint WHO/FAO expert consultation.** Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases. WHO Technical Report No.916, WHO, Geneva, 2003, p. 61-71.
16. **Treuth MS, Hunter GR, Williams M.** Effects of exercise intensity on 24-h energy expenditure and substrate oxidation. *Med Sci Sports Exerc* 28: 1138-1143, 1996.
17. **Phelain JF, Reinke E, Harris MA, Melby CL.** Postexercise energy expenditure and substrate oxidation in young women resulting from exercise bouts of different intensity. *J Am Coll Nutr* 16: 140-146, 1997.
18. **Yoshioka M, Doucet E, St-Pierre S, Almeras N, Richard D, Labrie A, Despres JP, Bouchard C, Tremblay A.** Impact of high-intensity exercise on energy expenditure, lipid oxidation and body fatness. *Int J Obes Relat Metab Disord* 25: 332-339, 2001.
19. **Melanson EL, Sharp TA, Seagle HM, Horton TJ, Donahoo WT, Grunwald GK, Hamilton JT, Hill JO.**

Effect of exercise intensity on 24-h energy expenditure and nutrient oxidation. *J Appl Physiol* 92: 1045-1052, 2002.

20. **Saris WH, Schrauwen P.** Substrate oxidation differences between high- and low-intensity exercise are compensated over 24 hours in obese men. *Int J Obes Relat Metab Disord* 28: 759-765, 2004.
21. **Kuo CC, Fattor JA, Henderson GC, Brooks GA.** Lipid oxidation in fit young adults during postexercise recovery. *J Appl Physiol* 99: 349-356, 2005.
22. **Frayn KN.** Calculation of substrate oxidation rates in vivo from gaseous exchange. *J. Appl. Physiol* 55: 628-634, 1983.
23. **Brooks GA.** Amino acid and protein metabolism during exercise and recovery. *Med Sci Sports Exerc* 19: S150-S156, 1987.
24. **American College of Sports Medicine Position Stand.** The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 30: 975-991, 1998.
25. **Achten J, Gleeson M, Jeukendrup AE.** Determination of the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation. *Med Sci Sports Exerc* 34: 92-97, 2002.
26. **Achten J, Jeukendrup AE.** Maximal fat oxidation during exercise in trained men. *Int J Sports Med* 24: 603-608, 2003.
27. **Venables MC, Achten J, Jeukendrup AE.** Determinants of fat oxidation during exercise in healthy men and women: a cross-sectional study. *J Appl Physiol* 98: 160-167, 2005.
28. **Achten J, Jeukendrup AE.** The effect of pre-exercise carbohydrate feedings on the intensity that elicits maximal fat oxidation. *J Sports Sci* 21: 1017-1024, 2003.
29. **Coppack SW, Jensen MD, Miles JM.** In vivo regulation of lipolysis in humans. *J Lipid Res* 35: 177-193, 1994.
30. **Coyle EF, Jeukendrup AE, Wagenmakers AJ, Saris WH.** Fatty acid oxidation is directly regulated by carbohydrate metabolism during exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 273: E268-E275, 1997.
31. **Schrauwen P, Lichtenbelt WD, Saris WH, Westerterp KR.** Fat balance in obese subjects: role of glycogen stores. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 274: E1027-E1033, 1998.
32. **King NA, Burley VJ, Blundell JE.** Exercise-induced suppression of appetite: effects on food intake and implications for energy balance. *Eur J Clin Nutr* 48: 715-724, 1994.
33. **Goran MI, Poehlman ET.** Endurance training does not enhance total energy expenditure in healthy elderly persons. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 263: E950-E957, 1992.
34. **Klem ML, Wing RR, McGuire MT, Seagle HM, Hill JO.** A descriptive study of individuals successful at

long-term maintenance of substantial weight loss. *Am J Clin Nutr* 66: 239-246, 1997.