

運動介入が青年女性正常体重肥満者（隠れ肥満者）の 血中脂質，糖代謝，アディポサイトカイン， および心臓自律神経活動機能に及ぼす影響

北海道大学 石井好二郎
(共同研究者) 同 佐久間一郎
同 小林範子
福岡大学 田中宏暁
京都大学 森谷敏夫

Influence of Exercise Intervention on Blood Lipid Levels, Glycometabolism, Adipocytokines, and Cardiac Autonomic Function in Adolescent Females with Hidden Obesity

by

Kojiro Ishii,
Graduate School of Education, Hokkaido University
Ichiro Sakuma, Noriko Kobayashi,
Graduate School of Medicine, Hokkaido University
Hiroaki Tanaka,
Faculty of Sports and Health Science, Fukuoka University
Toshio Moritani,
Graduate School of Human and Environmental Studies, Kyoto University

ABSTRACT

We performed exercise intervention for 12 weeks in adolescent females (22.3 ± 2.5 yrs: mean \pm SD) with a %fat value of 30% or more (dual energy X-ray absorptiometry: DXA) despite a body mass index (BMI) of less than 25 kg/m^2 , which indicates hidden obesity, and the following results were obtained.

The intensity of exercise was established as the double product break point calculated from heart rate and systolic blood pressure, and the subjects were instructed to exercise for 30 minutes or more per set 3 or more times a week. Six weeks after exercise intervention, the BMI, body fat level, and blood sugar level were lower than those before exercise intervention, and the %fat value was decreased 12 weeks after intervention. However, 12 weeks after intervention, there were no significant decreases in the BMI or body fat level in comparison to those 6 weeks after intervention, whereas the blood sugar level 12 weeks after intervention was significantly increased compared to that 6 weeks after intervention, being similar to the pre-intervention value. Furthermore, cardiac autonomic function (CAF) was negatively correlated with changes in High-frequency and changes in fat (kg), suggesting that exercise-related improvement in CAF is involved in a decrease in %fat.

Exercise performed in this study led to reduction of %fat without decreasing lean body mass. However, the results also suggest that our exercise program should be further improved, considering poor compliance 7 weeks or more after intervention.

要 旨

われわれはbody mass index (BMI) が25kg/m²未満でありながらも体脂肪率(二重エネルギーX線吸収法: DXA法)の30%以上を示す,いわゆる“隠れ肥満”の青年女性(22.3 ± 2.5yrs: mean ± SD)を対象に12週間の運動介入を実施し,以下の結果を得た。

運動は心拍数と収縮期血圧より求められる二重積変曲点(DPBP)の強度とし,1回30分以上,週3回以上実施するよう指示した。運動介入前と比較し,介入6週目でBMI,体脂肪量,血糖値の減少が認められ,介入12週目には体脂肪率の減少が認められた。しかしながら,BMIおよび体脂肪量の6週目から12週目の減少は統計上有意ではなく,血糖値は6週目から12週目で有意に上昇し,介入前の値と差が無くなった。また,心臓自律神経活動機能(CAF)は高周波成分の変化と体脂肪量の変化が負の相関を示した。すなわち,運動によりCAFが改善することが体脂肪率の減少に関係することが示唆された。

本研究の運動は徐脂肪体重の減少を伴うことなく,体脂肪率の減少を示したことから一応の効果を上げたと判断できる。しかし,7週目以降の運動の実施が少なくなるなど,運動プログラムには改善の余地があることも示唆された。

緒 言

近年,青年女性における“ヤセ願望”は社会現象となっており,厚生労働省の国民栄養調査(H12年度実施)¹⁾によれば,20歳代女性の低体重者(BMI < 18.5)は20年間で約2倍に増加していることが報告された。

しかし一方では,BMIでは標準であっても,体脂肪率では肥満と判定される正常体重肥満,いわゆる「隠れ肥満」は青年女性の誤った体型認識を象徴する現象として注目されており²⁾,青年女性の低体重者の増加は単純に「青年女性の痩身化」とは言えない。われわれ³⁾の任意により研究に参加した青年女性の身体組成(%Fat)をDXA法(二重エネルギーX線吸収法: dual energy X-ray absorptiometry)により測定した結

果においても、BMIでは肥満度が過小評価される対象が約30%に認められた。

正常体重肥満者は除脂肪体重が少ないことから不活動が懸念される。また、不活動は自律神経活動を低下させる。とくに肥満者においては熱産生に関連する交感神経活動が低下していることが報告されている。そこで本研究では青年女性正常体重肥満者に運動介入を行うと同時に、心臓自律神経活動機能 (Cardiac autonomic function: CAF) を調査し、運動介入により青年女性正常体重肥満者の体組成、血中脂質、血糖コントロール指標、アディポサイトカイン、およびCAFが改善するか否かについて検討することを目的とした。

1. 研究方法

1.1 対象

われわれの先行研究により、DXA法を用いて正常体重肥満者 ($18.5 \leq \text{BMI} < 25$, $30\% \leq \% \text{Fat}$) と判定された青年女性の中から、本研究の意義に賛同し、運動介入に同意した者10名を対象とした (表1)。なお、対象の1名は再測定の結果、BMIが18.5未満であり、日本肥満学会の判定基準⁴⁾では低体重と判定されるが、「過体重ではないが体脂肪率が女性で30%以上を示している者は隠れ肥満であるといえる」との先行研究⁵⁾を受け、本研究の対象に加えた。

表1 対象の身体特性

Subj.	年齢 (yrs)	身長 (cm)	体重 (kg)	BMI (kg/m ²)	体脂肪率 (%)
AY	22	165.6	61.6	22.5	32.1
OS	22	159.2	59.3	23.4	32.9
KA	21	163.3	58.2	21.8	30.0
SR	19	154.8	55.7	23.2	33.6
SN	23	158.5	50.5	20.1	31.4
SY	21	150.4	42.0	18.6	30.0
HN	22	155.8	47.3	19.5	33.7
MT	22	158.4	51.8	20.6	31.1
WK	22	159.2	59.6	23.5	36.4
KM	29	158.4	46.0	18.3	30.7
平均	22.3	158.4	53.2	21.2	32.2
標準偏差	2.6	4.2	6.7	2.0	2.0

1.2 運動介入方法

自転車エルゴメータ (Lode社製, CORIVAL) によるランブ負荷を用いて対象の二重積変曲点 (DPBP) の強度を測定した。DPBPは心拍数と収縮期血圧の積の屈曲点であり、乳酸閾値⁶⁾や無酸素性作業閾値^{7,8)}との間に有意な相関関係が認められている。対象にはDPBP強度による自転車クランキング運動を1回30分以上、週3回以上実施するよう指示した。また、都合により自転車エルゴメータを使用できない場合は、ハートレートモニターによりDPBP強度の心拍数を確認しながらのウォーキングあるいはジョギングを行うよう指示した。運動の実施記録は各自に配付したカレンダー型の記録ノートへ運動時間を記入させるようにした。なお、運動介入期間は12週間とし、6週目にはDPBPを再測定し負荷強度を修正した。さらに、管理栄養士による栄養アドバイスも運動介入期間中に実施した。

1.3 測定項目

日常的な運動量および歩数は加速度付歩数計 (スズケン社製, ライフコーダ) により測定した。

運動介入前、介入6週目、および12週目に、体重、BMI、DXA法 (Hologic社製, QDR-2000) による身体組成 (体脂肪率、除脂肪体重)、血中脂質 (総コレステロール、HDLコレステロール、LDLコレステロール、中性脂肪)、血糖コントロール指標 (空腹時血糖、インスリン、HOMA-R)、アディポサイトカイン (レプチン、アディポネクチン)、DPBP時の運動強度を測定した。

また、心臓自律神経活動機能 (CAF) は運動介入前と介入後に測定した。なお、CAFは電子メトロノームにより0.25Hz (4秒に1回) に対象の呼吸数を調整した座位安静の状態に測定し

た. 対象のCM5誘導の心電図信号を生体アンプ(日本光電社製, AB-621G)によって増幅し, A/D変換器(TEAC社製, PS-2032GP)を介して1Khzでサンプリングした後コンピュータに入力した. 得られた心電図信号から1ms内でR-R間隔を測定するとともに, 高速フーリエ変換(FFT)によってパワースペクトルを求めた. 得られたスペクトルから先行研究^{9, 10, 11, 12})に基づき, 2つの周波数帯域, 低周波成分(Low-frequency: LF, 0.03~0.15Hz, 交感および副交感神経活動を反映)と高周波成分(High-frequency: HF, 0.15~0.5Hz, 副交感神経活動を反映)とに定量化した. さらに, 0.03~0.5Hz間の総和(Total power: TP)を総自律神経活動の指標として用いた.

1.4 統計

すべてのデータは平均±標準偏差で示した. 1~6週目と7~12週目の運動介入の運動実施時間, ライフコーダによる日常的な運動量ならびに歩数, および介入前後のCAFの比較についてはpaired t-testを用いた. 運動介入前, 介入6週目, および12週目の体重, BMI, 身体組成, 血中脂質, 血糖コントロール指標, アディポサイトカイン, DPBP時の運動強度の比較については, One-Way Repeated-Measures ANOVAあるいはFriedman testを用い, 有意であった場合はPost-hoc testとしてFisher's PLSDを行った. また, 介入前後のCAFの変化と, 体脂肪率および体脂肪量の変化の相関についてはPearson's correlation coefficient testを用いた. いずれの場合も有意水準は5%未満とした.

2. 研究結果

2.1 運動介入期間中の運動実施時間, 日常的な運動量および歩数

運動介入期間中の運動実施時間を表2に示し

た. われわれの指示した運動プログラムを12週間に渡って遂行できたのはわずかに3名であった. また, 1~6週目と7~12週目の運動時間は統計学的に有意差を認めないものの, 運動時間が減少したのが10名中6名存在した.

ライフコーダによって測定された日常的な運動量および歩数は, 1~6週目と7~12週目の間に差は認められなかった(表3).

2.2 DPBP時の運動強度の変化

DPBP時の運動強度は6週目で有意に介入前より向上を示した. 以後はそのレベルを保ち, 6週目と12週目の間には差は認められなかった(図1).

表2 運動介入期間中の運動実施時間

Subj.	1~6週 (分/週)	7~12週 (分/週)	1~12週 (分/週)
AY	101	54	78
OS	93	90	91
KA	120	113	117
SR	80	70	75
SN	81	53	67
SY	107	22	64
HN	76	77	76
MT	78	97	88
WK	35	78	56
KM	116	119	118
平均	88.6	77.3	82.9
標準偏差	24.8	29.5	20.8

表3 ライフコーダによる日常的な運動量および歩数

	1~6週	7~12週	1~12週
運動量(kcal/日)	272 ± 92	263 ± 84	267 ± 87
歩数(steps/日)	10372 ± 3267	10028 ± 2938	10200 ± 3062
平均±標準偏差			

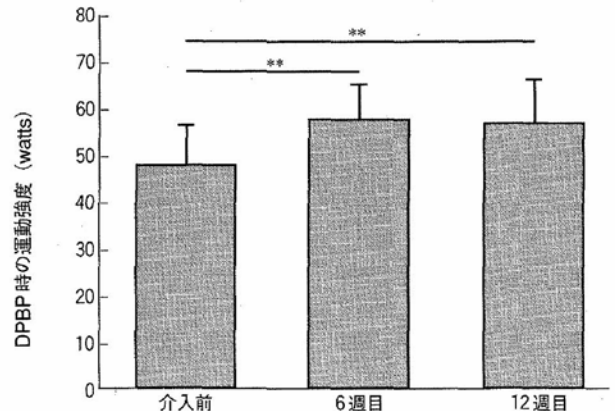


図1 DPBP時の運動強度の変化

表4 体重, BMI, および身体組成の変化

	介入前	6週目	12週目
体重 (kg)	53.2 ± 6.7	52.4 ± 6.5*	51.7 ± 6.1***
BMI (kg/m ²)	21.2 ± 2.0	20.8 ± 2.0*	20.6 ± 1.8***
体脂肪率 (%)	32.2 ± 2.0	31.1 ± 1.9	30.5 ± 2.2**
除脂肪体重 (kg)	35.4 ± 4.2	35.4 ± 3.8	35.4 ± 3.7

平均±標準偏差 *:p<0.05, **:p<0.01, ***:p<0.001 vs.介入前

表5 血中脂質, 血糖コントロール指標, およびアディポサイトカインの変化

	介入前	6週目	12週目
総コレステロール (mg/dl)	185.8 ± 26.4	182.1 ± 20.1	185.1 ± 17.0
HDLコレステロール (mg/dl)	71.8 ± 8.1	73.4 ± 10.3	71.8 ± 12.8
LDLコレステロール (mg/dl)	93.9 ± 201.9	96.1 ± 20.0	97.1 ± 16.2
中性脂肪 (mg/dl)	54.1 ± 18.9	46.6 ± 10.3	56.8 ± 19.2
空腹時血糖 (mg/dl)	81.8 ± 6.9	75.4 ± 11.3*	82.5 ± 6.1#
インスリン (μ U/dl)	9.90 ± 6.70	6.82 ± 3.59	7.83 ± 4.21
HOMA - R	2.06 ± 1.57	1.34 ± 0.85	1.62 ± 0.95
レプチン (μ U/ml)	8.23 ± 3.06	8.15 ± 2.96	7.73 ± 3.43
アディポネクチン (μ U/dl)	8.87 ± 2.62	9.44 ± 2.88	8.51 ± 3.23

平均±標準偏差 *:p<0.05 vs.介入前, #:p<0.05vs.6週目

2. 3 体重, BMI, および身体組成の変化

体重, BMI, および身体組成の変化を表4に示した. 除脂肪体重の変化を伴うことなく, 体重とBMIは6週目および12週目で介入前より有意に減少し, 体脂肪率は12週目で介入前より有意に減少した.

2. 4 血中脂質, 血糖コントロール指標, およびアディポサイトカインの変化

血中脂質, 血糖コントロール指標, およびアディポサイトカインの変化を表5に示した. 血中脂質およびアディポサイトカインの各項目に運動介入による変化は認められなかった. 一方, 血糖コントロール指標ではインスリンおよびHOMA-Rでは変化を認めないものの, 空腹時血糖は6週目で介入前より有意に低下した. しかし, 12週目では6週目より有意に高値を示し, 介入前と差も認められなくなった.

2. 5 介入前後のCAFの変化について

介入前後のCAFの測定は artifact のため8名での分析となった. 介入前後のCAFの各項目の変化は有意ではなかった. しかしながら, 介入前

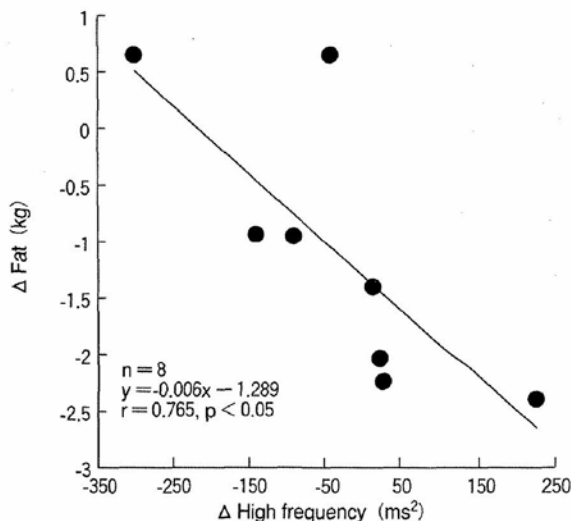


図2 運動介入前後のHFの変化と体脂肪量の変化の相関

後HFの変化と体脂肪量の変化は有意な相関を示した(図2). なお, 介入前後のTPの変化と体脂肪量の変化, および介入前後のHFならびにTPの変化と体脂肪率の変化は, 各々 p=0.06 (r=-0.69), p=0.09 (r=-0.64), p=0.08 (r=-0.66) と負の相関傾向を示すものの有意ではなかった.

3. 考 察

BMIが25kg/m²未満でありながらも体脂肪率では30%以上を示す, いわゆる“隠れ肥満”の問題は, 形態的・体力的特徴, および生活習慣

について検討されているものがほとんどであった。われわれ³⁾は標準者 ($18.5 \leq \text{BMI} < 25$, $22\% \leq \% \text{Fat} < 30\%$) に比べ、隠れ肥満者は LDL コレステロールおよび血中レプチンでは高値を、HDL コレステロールでは低値を示すことを報告し、隠れ肥満者の代謝機能に問題が生じつつあることを提言した。本研究はこれら代謝機能を改善することも目的として運動介入を実施したわけであるが、空腹時血糖を除き血中脂質、血糖コントロール指標、およびアディポサイトカインには変化が認められなかった。6週目における空腹時血糖の低下を運動介入の効果と見ることもできるかもしれない。しかしながら、空腹時血糖は測定前の食事の影響を強く受けるため、他の血糖コントロール指標に変化が生じていないことから、本研究では言及することを避けた。すなわち、本研究で注目すべき点の一つは、運動介入により除脂肪体重の変化をとまなうことなく、体重、BMI、および体脂肪率が介入前より有意に減少したのに対し、血中脂質、血糖コントロール指標、およびアディポサイトカインには変化が認められなかったということである。近藤ら¹³⁾は肥満女子学生を対象に低強度一般的運動（歩行、ダンベル体操、ストレッチ、自転車エルゴメータ、エアロビクダンス、マシントレーニングなど）を1回約20分、週2回の頻度で実施し、体重とBMIが減少すると共に、血中レプチン、総コレステロール、および中性脂肪が低下したことを報告している。しかしながら、運動の期間は2年間の長期継続であり、本研究の12週間という運動介入期間とは大きく異なる。すなわち、運動による体脂肪の減少が代謝機能に影響を及ぼすには、ある程度の期間を必要とするのかもしれない。

また、本研究のもう一点の注目すべき結果は、運動介入によるCAFの変化と体脂肪の変化に関係が認められたということである。Amano et

al.¹⁴⁾は肥満者を対象に本研究とほぼ同様の運動介入を実施し、12週間後の体重や体脂肪率の低下とCAFの亢進を報告している。本研究は運動介入を非監視型としたため、われわれが指示した運動プログラムを遂行できたのは10名中僅かに3名であった。この影響からか本研究ではCAFの亢進は認められなかった。しかしながら、CAFと体脂肪率および体脂肪量の変化に有意な相関あるいは相関傾向が認められており、自律神経活動の亢進が体脂肪の減少に、あるいはその逆に体脂肪の減少が自律神経活動の亢進に影響することが示唆される。Moritani et al.⁹⁾はよく鍛練された長距離走者のCAFが一般健常者に比べ高値であることを報告している。おそらくは本研究においても運動介入による日常活動量の増加や有酸素性能力の向上がCAFの亢進に影響したものと思われる。

以上のことから、隠れ肥満者への運動介入の効果は、まず自律神経活動の亢進および体脂肪の減少に表れ、その後、各代謝機能に影響を及ぼすものと考えられる。しかしながら、本研究の運動プログラムを遂行できたのは少数であり、とくに7週目以降には半数以上が運動時間の減少を示した。すべての被験者が指示通りに運動プログラム遂行できたのであれば、12週間という運動介入期間であっても、各代謝機能やCAFの変化に影響を及ぼした可能性もある。運動は自発的なものが望ましいため本研究では非監視型とした。隠れ肥満者の現在の運動習慣は標準者に比べて少ないことが報告されており³⁾、非監視型であっても運動の実施や継続が可能な運動プログラムを開発する必要がある。

謝 辞

本研究に対し研究助成を賜りました財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に深謝いたします。また、本研究の実施に際しては、

北海道大学大学院教育学研究科体力科学の綾部誠也, 岡部哲子, 高山晃作, 岩田貴士の諸氏より多大な協力を得ました. ここに記して謝意を表します.

文 献

- 1) 健康・栄養情報研究会編; 国民栄養の現状 平成12年度厚生労働省国民栄養調査結果, 第一出版, 東京 (2002)
- 2) 浦田秀子ら; 女子学生の体型と体型認識に関する研究, 長崎大学医学部保健学科紀要, 12 (2), 43-48 (2001)
- 3) 石井好二郎ら; 青年女性における正常体重肥満者および低体重正常体重脂肪者の身体的特徴, 肥満研究, 9 (Suppl), 131 (2003)
- 4) 松澤祐次ら; 新しい肥満の判定と肥満症の判定基準, 肥満研究, 6 (1), 18-28 (2000)
- 5) 大野秀樹ら (編); 運動生理・生化学辞典, pp100 (2001)
- 6) Tanaka H. et al., Double product response is accelerated above the blood lactate threshold, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 29 (4), 503-508 (1997)
- 7) Brubaker P.H. et al., Identification of the anaerobic threshold using double product in patients with coronary artery disease, *Am. J. Cardiol.*, 1;79 (3), 360-362 (1997)
- 8) Riley M. et al., Association between the anaerobic threshold and the break-point in the double product/work rate relationship, *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, 75 (1), 14-21 (1997)
- 9) Moritani T. et al., Comparison of sympatho-vagal function among diabetic patients, normal controls and endurance athletes by heart rate spectral analysis, *J. Sports Med. Sci.*, 7 (1), 31-39 (1993)
- 10) Moritani T. et al., Sympatho-vagal activities of NIDDM patients during exercise as determined by heart rate spectral analysis, In: Glucose fluxes, exercise and diabetes, Kawamori R. et al. (Eds) Great Britain, Smith-Gordon, pp91-96 (1995)
- 11) Shihara N. et al., The association between Trp64Arg polymorphism of the beta3-adrenergic receptor and autonomic nervous system activity, *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, 84 (5), 1623-1627 (1999)
- 12) Nagai N. et al., Autonomic nervous system activity and the state and development of obesity in Japanese school children, *Obes. Res.*, 11 (1), 25-32 (2003)
- 13) 近藤照彦ら, 2年間の低強度一般的運動が肥満女子学生の血清レプチン濃度および血清脂質値に及ぼす影響, 日本臨床スポーツ医学会誌, 10 (2), 303-309 (2002)
- 14) Amano M. et al., Exercise training and autonomic nervous system activity in obese individuals, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 33 (8), 1287-1291 (2001)