運動負荷による血圧と脈拍の変動に及ぼす 体脂肪率の影響について

法橋 尚宏¹ 金 直美² 藤本 典子³ 豊川 裕之⁴

Effects of body fat percentage on the perspective of changes in blood
pressure and pulse rate during exercise

Naohiro HOHASHI¹, Naomi KIM², Noriko FUJIMOTO³ and Hiroyuki TOYOKAWA⁴

Obesity is regarded as one of the risk factors for lifestyle-related diseases. The obesity level is usually evaluated by Body Mass Index (BMI). However, BMI does not necessarily represent exact amount of fat in the body. Use of body fat percentage may be desirable to determine the obesity level, but it is virtually impossible to define the degree of obesity unless criteria of an "ideal" body fat percentage are established. Because obesity, as well as physical activity, is closely related to hemodynamics, the reaction of the hemodynamics to exercise load was investigated for 25 young Japanese female subjects according to body fat percentage.

Body fat percentage was classified into the following four groups: "thin," "ideal," "borderline" and "obese", and systolic blood pressure and pulse rate changes in response to exercise load were analyzed by these four groups. From the analyses on the changes in the measurement waves, six and four patterns were ascertained for the systolic blood pressure and pulse rate, respectively. Majority of the subjects in the two categories, "ideal" and "borderline," showed similar characteristics, with the designated type "a" for the systolic blood pressure (which showed a single-stage symmetrical left-right rise), and type "A" for the pulse rate (indicating a two-stage rise). As a future topic, we would like to report on what data can be obtained concerning the blood circulatory system based on classification of systolic blood pressure and pulse rate wave patterns.

Because significant or mildly significant differences were recognized in the rates of change and overall degree of change in both systolic blood pressure and pulse rate, these were subjected to analysis. The rates of change and overall degree of change in systolic blood pressure be-

¹神戸大学医学部保健学科小児・家族看護学分野

²大阪赤十字病院

³神戸大学医学部附属病院

⁴財団法人循環器学研究振興財団

¹*Child and Family Health Nursing, Faculty of Health Sciences, Kobe University*

²*Osaka Red Cross Hospital*

³*Kobe University Hospital*

⁴*Japan Foundation of Cardiovascular Research*

came progressively greater from “thin” to “borderline” groupings, but then conversely in the “obese” grouping became smaller. Because both the rates of change and overall degree of change among those in the “borderline” grouping were greater than those in the other three groupings, it may be possible that those in this “borderline” grouping would have the lowest rate of mortality due to cardiovascular disease. Further, the rates of change and overall degree of change in pulse rate, while relatively small from the “thin” grouping to the “ideal” grouping, became slightly greater in the “borderline” grouping and then reverted to smaller in the “obese” grouping. Because no significant differences were observed in the rates of change and overall degree of change in pulse rate between the “ideal” grouping and “borderline” grouping, no necessity was seen in segmenting these two groupings based on body fat percentage. In the “ideal” and “borderline” groupings, the pulse rate is considered to increase at moderate rates up to maximum cardiac output, which is believed to indicate the effective vital reaction to exercise load.

Key words : body fat percentage, exercise tolerance, blood pressure, pulse, hemodynamics

体脂肪率, 運動負荷, 血圧, 脈拍, 循環動態

1 緒 言

食糧供給が充足し、機械文明の中で運動不足になりがちな現代社会において、肥満は必然的に高頻度に認められる身体状況となっている。厚生労働省の平成12年国民栄養調査によると（健康・栄養情報研究会，2002），BMI（Body Mass Index）により判定される肥満者の割合は、男性ではいずれの年代においても、昭和55年、平成2年に比べて増加している。女性では60歳代で肥満者の割合が最も多く、一方で若年女性ではやせの割合が増加している。これらに伴って疾病構造の変化が生じ、糖尿病、高脂血症、痛風、さらには動脈硬化性疾患などの生活習慣病の増加が顕著になっている（松澤佑次ほか，2000）。これらのリスクファクターである肥満の改善は、生活習慣病の根本的な解決策となることが明らかにされている（高倉康人ほか，2001）。

肥満とは脂肪組織が過剰に蓄積した状態と定義されている（松澤佑次ほか，2000）。身長と体重から算出するBMIは便宜的な指標に過ぎず（豊川裕之ほか，1985），適切な肥満度の判定のためには体内の脂肪量（率）を測定することが望ましい（佐藤等ほか，1996）。とくにインピーダンス

法は、非侵襲で素早く体脂肪率を測定でき、再現性が良く、機器がポータブルであるため、その有用性が注目されている（佐藤富男，1995）。しかし、日本肥満学会では、肥満度の判定基準としてBMIを指標とし、体脂肪量による厳密な判定は今後の課題としている（松澤佑次ほか，2000）。そして、健康障害（耐糖能異常、高血圧、脂質代謝異常、心電図異常など）に対する公衆衛生学的なリスクを根拠として、成人の適正なBMIを 22kg/m^2 に設定している（松澤佑次ほか，2000）。このような健康障害のリスクファクターとしての肥満という視点に対して（Manson et al., 1987），脂肪組織が生理活性物質（leptinやTNF- α など）の生成の場となり、直接種々の病態につながるということが明らかにされたことで（Maffei et al., 1995；Hotamisligil et al., 1995），現在では疾患としての肥満という視点が医学的に重要となっている。

我々の先行研究においては、肥満が循環動態へ直接的な影響を及ぼすことに着目して、ホワイトノイズの負荷による循環動態の変化と体脂肪率の関係を検討したが（中谷弥栄子ほか，1999），循環動態の変化が総じて小さかったため、循環動態の変化に及ぼす体脂肪率の影響は十分に検討できなかった。体重は血液量と相関があり、肥満者は

循環血液量の増加により高血圧症を起こしやすい(杉本恒明ほか, 1995)。また, 循環動態は運動の影響を受け, 有酸素運動時の生体反応としては血圧上昇, 脈拍数の増加などの循環器系機能の変動を起こし(後藤純規ほか, 1995), 運動負荷時の循環反応に対する影響が最も大きい項目として除脂肪体重があげられている(神本昌宗ほか, 1998)。このように, 肥満と循環動態, 運動負荷と循環動態にはそれぞれ関連があることが立証されている。そこで本研究では, 有酸素運動として自転車エルゴメーターによる運動負荷を取り上げ, 心拍毎の血圧値と脈拍数の変化に及ぼす体脂肪率の影響を明らかにすることを目的とした。

2 対象と方法

1. 被験者および実施期間

兵庫県内のK大学に在籍する20歳代の女子大学生で, 高血圧と不整脈をもたず, 降圧剤を服用していない健常人を対象として被験者を募集し, 本研究の趣旨を説明した上で参加への同意が得られた30名を被験者とした。実験の実施期間は, 2001年7月16日から9月4日であった。

2. 実験内容

図1に示した実験デザインにもとづき, 26℃から27℃に設定した静粛な測定室内において実施した。実験前に自記式問診票を配布し, 生年月日(年齢)に加えて, 循環動態に影響を及ぼすと考えられる飲酒習慣, 喫煙習慣, 常用薬, 既往歴(家族歴を含む), 運動歴および生活活動強度(日本高血圧学会高血圧治療ガイドライン作成委員会, 2001; 健康・栄養情報研究会, 1999)に関する質問を行った。

1) 身体計測

身長(cm), 体重(kg), 体脂肪率(%)の測定を行った。体脂肪率は, 脂肪計付ヘルスメーターBF-571(タニタ株式会社)を用い, インピーダンス法により測定した。

2) 運動負荷

自転車エルゴメーターEC-8000(キャットアイ株式会社)に乗り, 運動強度95Wで5分間の運動負荷を実施した。この運動強度は, 自転車エルゴメーターに付属している初期運動強度基準表において20歳代の女性の基準値であり, 一般女性の運動強度の標準である75Wから100Wの範囲内にある(日本医師会, 1996)。

図1 実験デザイン

3) 収縮期血圧値と脈拍数の記録

測定開始前に、椅坐位にて15分以上の安静を保った。その後、トノメトリー方式連続血圧監視装置JENTOW-7700内科バージョン（日本コーリン株式会社）を使用して、3分間の安静時、5分間の運動負荷時、運動負荷終了後10分以上経過するまで継続的に、右橈骨動脈に装着した幅7mmの圧脈波センサ（30個の圧力センサエレメントが並んでいるセンサハウジング）により心拍毎の血圧波形を測定した。圧脈波センサは橈骨動脈の中心の位置を常時感知して血圧を測定でき、橈骨動脈の中心が圧脈波センサの外にまでずれると測定不能となるが、多少のずれによって測定精度は低下しない。なお、圧脈波センサの装着にあたっては、運動負荷時の体動による影響を抑制するために、付属のアームレストとクッションで手首を固定した。

血圧波形のデータは、トノメトリー方式連続血圧監視装置の出力端子からA/DコンバーターMacLab/8e（パイオリサーチセンター株式会社）を介してMacintosh（アップルコンピュータ株式会社）のハードディスクに収録・保存した。その後、波形解析ソフトウェアChart（パイオリサーチセンター株式会社）により、血圧波形から収縮期血圧値（mmHg）と脈拍数（回/分）の波形を抽出した。

3. 解析方法

1) BMIと体脂肪率による肥満の評価

BMIによる肥満度の判定基準（松澤佑次ほか、2000）にもとづいて、低体重（ $18.5\text{kg}/\text{m}^2$ 未満）、普通体重（ $18.5\text{kg}/\text{m}^2$ 以上 $25.0\text{kg}/\text{m}^2$ 未満）、1度肥満（ $25.0\text{kg}/\text{m}^2$ 以上 $30.0\text{kg}/\text{m}^2$ 未満）、2度肥満（ $30.0\text{kg}/\text{m}^2$ 以上 $35.0\text{kg}/\text{m}^2$ 未満）、3度肥満（ $35.0\text{kg}/\text{m}^2$ 以上 $40.0\text{kg}/\text{m}^2$ 未満）、4度肥満（ $40.0\text{kg}/\text{m}^2$ 以上）に分類した。

また、体脂肪率の適正範囲は、成人女子では20.0%以上25.0%未満であり、30.0%を超えると肥満とされている（大野誠ほか、1992）。本研究では、るいそう群（20.0%未満）、適正群（20.0%以上25.0%未満）、境界域群（25.0%以上30.0%未満）、肥満群（30.0%以上）の4群に分類した（中谷弥栄子ほか、1999）。

2) 収縮期血圧値と脈拍数の解析

運動負荷による収縮期血圧値および脈拍数の変化を観察し（図2）、それぞれに対して以下の4項目を算出した。なお、統計解析にはWindows版StatViewバージョン5.0（SAS Institute Inc.）を用い、t検定、相関分析、一元配置分散分析を行った。なお、一元配置分散分析の結果にかかわらず、LSDを用いて平均値の比較を試みた。

(1) 変化率

運動負荷開始前30秒間の平均値（A）と運動負荷開始後の最大値（B）を求め、この差（B -

図2 運動負荷時の観察項目

A) を運動負荷開始前の平均値 (A) に対する百分率で表し、これを変化率 (%) と定義した。

(2) ピーク到達時間

運動負荷開始後に最大値を示すまでの時間 (C) を求め、これをピーク到達時間 (秒) とした。

(3) 反応時間

運動負荷開始後、変動した値が運動負荷開始前の平均値に戻るまでの時間の波形を積分し、運動負荷により変化した面積 (E) を求め、これを変化総量 (収縮期血圧値の場合は mmHg・秒、脈拍数の場合は回) とした。

(4) 変化総量

運動負荷開始から変動した値が運動負荷開始前の平均値に戻るまでの間の波形を積分し、運動負荷により変化した面積 (E) を求め、これを変化総量 (収縮期血圧値の場合は mmHg・秒、脈拍数の場合は回) とした。

3 結 果

1. 被験者の属性

解析の段階で、橈骨動脈の中心が圧脈波センサーの外にまでずれて一時的な測定不能が認められた者3名、脈拍数が算出できなかった者1名、収縮期血圧値の変化率がグラブスースミルノフの棄却検定による外れ値 ($p < 0.05$) を示した者1

名の合計5名を除外し、被験者30名のうち25名に対して解析を行った。なお、不整脈のある者は認められなかった。

被験者25名の平均年齢は、 21.8 ± 0.7 歳 (範囲は21歳から23歳) であった。身体状況については (表1)、平均身長は 156.9 ± 6.1 cm (範囲は144.8cmから168.1cm)、平均体重は 51.5 ± 9.1 kg (範囲は42.0kgから79.3kg)、平均BMIは 20.8 ± 2.5 kg/m² (18.0 kg/m² から 28.0 kg/m²)、平均体脂肪率は 25.5 ± 5.4 % (範囲は16.7%から37.6%) であった。

BMIと体脂肪率の相関係数は0.927であり、正の強い相関が認められた。BMIによる被験者の肥満度の分類 (表2) は、低体重4名 (16.0%)、普通体重19名 (76.0%)、1度肥満2名 (8.0%)、2度肥満以上0名 (0%) であった。また、体脂肪率による被験者の肥満度の分類 (表3) は、るいそう群3名 (12.0%)、適正群10名 (40.0%)、境界域群7名 (28.0%)、肥満群5名 (20.0%) であった。

2. 被験者の生活習慣

被験者25名の生活習慣は表4に示すとおりであ

表1 被験者の身体状況

	平均値	標準偏差	最小値	最大値
身長 (cm)	156.9	6.1	144.8	168.1
体重 (kg)	51.5	9.1	42.0	79.3
BMI (kg/m ²)	20.8	2.5	18.0	28.0
体脂肪率 (%)	25.5	5.4	16.7	37.6

表2 被験者のBMIによる肥満度の分類

	人数 (%)
低体重 (18.5 kg/m ² 未満)	4 (16.0)
普通体重 (18.5 kg/m ² 以上 25 kg/m ² 未満)	19 (76.0)
1度肥満 (25 kg/m ² 以上 30 kg/m ² 未満)	2 (8.0)
2度肥満以上 (30 kg/m ² 以上)	0 (0)
合計	25 (100)

表3 被験者の体脂肪率による肥満度の分類

	人数 (%)
るいそう群 (20% 未満)	3 (12.0)
適正群 (20% 以上 25% 未満)	10 (40.0)
境界域群 (25% 以上 30% 未満)	7 (28.0)
肥満群 (30% 以上)	5 (20.0)
合計	25 (100)

った。飲酒習慣のない者18名(72.0%),ある者7名(28.0%),喫煙習慣のない者22名(88.0%),以前はあった者1名(4.0%),ある者2名(8.0%),常用薬のない者20名(80.0%),ある者5名(20.0%),既往歴のない者24名(96.0%),ある者1名(4.0%),運動歴のない者17名(68.0%),ある者8名(32.0%)であった。また、生活活動強度の分類をみると、Ⅰ(低い)10名(40.0%),Ⅱ(やや低い)14名(56.0%),Ⅲ(適度)1名(4.0%),Ⅳ(高い)0名(0%)であった。

飲酒習慣,喫煙習慣,常用薬,運動歴,生活活動強度が収縮期血圧値と脈拍数に及ぼす影響は、対応のないt検定では有意差はなかった。さらに、被験者のうち既往歴のある者は1名であったが、既往歴による循環動態への影響はとくに認められなかった。

3. 運動負荷による収縮期血圧値と脈拍数の変化

安静時における収縮期血圧値と脈拍数を表5に示した。体脂肪率による肥満度の分類で区分してみると、一元配置分散分析の結果、収縮期血圧値におけるF値は0.23 ($p = 0.873$),脈拍数におけるF値は0.18 ($p = 0.912$)であった。

運動負荷により収縮期血圧値と脈拍数はいずれも増加した。体脂肪率による肥満度の分類で区分

してみたピーク到達時間における収縮期血圧値と脈拍数を表6に示した。一元配置分散分析の結果、収縮期血圧値におけるF値は2.73 ($p = 0.070$),脈拍数におけるF値は2.31 ($p = 0.105$)であった。また、LSDでは、収縮期血圧値では、適正群と境界域群,境界域群と肥満群の間で有意差 ($p < 0.05$) が認められた。また、脈拍数では、適正群と肥満群,境界域群と肥満群の間で有意差 ($p < 0.05$) がみられ、るいそう群と肥満群の間には差

表4 被験者の生活習慣の状況

		人数(%)
飲酒習慣	なし	18(72.0)
	あり	7(28.0)
喫煙習慣	なし	22(88.0)
	以前はあった	1(4.0)
	あり	2(8.0)
常用薬	なし	20(80.0)
	あり	5(20.0)
既往歴	なし	24(96.0)
	あり	1(4.0)
運動歴	なし	17(68.0)
	あり	8(32.0)
生活活動強度	Ⅰ(低い)	10(40.0)
	Ⅱ(やや低い)	14(56.0)
	Ⅲ(適度)	1(4.0)
	Ⅳ(高い)	0(0)

表5 安静時における収縮期血圧値および脈拍数の群別比較

	F 値 (p 値)	平均値	標準偏差	最小値	最大値
収縮期血圧値(mmHg)					
るいそう群	0.23 (0.873)	111.0	15.0	96.0	126.1
適正群		108.4	20.0	89.3	149.2
境界域群		110.5	9.8	96.6	128.6
肥満群		115.4	9.2	102.4	125.0
脈拍数(回 / 分)					
るいそう群	0.18 (0.912)	69.6	5.6	63.3	74.0
適正群		74.3	11.6	53.0	90.5
境界域群		73.0	9.7	56.7	86.2
肥満群		73.2	6.6	65.2	79.1

N.S.: Not Significant(LSD)

表6 運動負荷時のピーク到達時間における収縮期血圧値および脈拍数の群別比較

	F 値 (p 値)	平均値	標準偏差	最小値	最大値
収縮期血圧値 (mmHg)					
るいそう群		165.6	33.6	144.1	204.3
適正群	2.73	** 165.8	14.2	153.1	204.4
境界域群	(0.070)	187.9	** 10.6	173.5	198.4
肥満群		159.9	26.7	134.2	204.3
脈拍数 (回 / 分)					
るいそう群		171.0	0.0	171.0	171.0
適正群	2.31	** 166.5	21.4	133.0	199.0
境界域群	(0.105)	166.6	20.5	133.0	199.0
肥満群		141.4	** 19.7	120.0	171.0

*p<0.1, **p<0.05 (LSD)

がある傾向 ($p < 0.1$) が認められた。

なお、運動負荷時の収縮期血圧値と脈拍数の相関係数は、変化率では0.396、ピーク到達時間では0.182、反応時間では0.411、変化総量では0.251であり、変化率と反応時間では正の弱い相関が認められた。

4. 収縮期血圧値と脈拍数の波形のパターン分類

運動負荷により変化した波形のパターンを分析すると、収縮期血圧値が6パターン (a型からf型と命名)、脈拍数が4パターン (A型からD型と命名) に分類でき、体脂肪率による肥満度の分類に区分してその分布を示した (図3, 図4)。

収縮期血圧値の波形では、適正群と境界域群はほぼ同様の分布を示しており、この2群が最も多く分布していたパターンはa型 (左右対称の1段階の上昇を示した型) であった。なお、るいそう群と肥満群においては、パターンの分布に特徴は認められなかった。

脈拍数の波形では、適正群はA型とC型に多く分布しており、境界域群はA型とB型に多く分布していた。この2群がともに多く分布していたパターンはA型 (2段階の上昇を示した型) であった。また、るいそう群はC型に多く、肥満群ではB型に多く分布していた。

5. 収縮期血圧値の変化率、ピーク到達時間、反応時間、変化総量

収縮期血圧値の変化率、ピーク到達時間、反応時間、変化総量は、体脂肪率による肥満度の分類で区分して表7に示した。一元配置分散分析の結果、変化率におけるF値は3.59 ($p = 0.031$)、変化総量におけるF値は2.90 ($p = 0.059$) であった。LSDでは、変化率は、境界域群と肥満群の間に有意差 ($p < 0.01$) がみられ、るいそう群と境界域群、適正群と境界域群、適正群と肥満群の間に差がある傾向 ($p < 0.1$) が認められた。また、変化総量は、境界域群と肥満群の間に有意差 ($p < 0.05$) がみられ、るいそう群と境界域群の間には差がある傾向 ($p < 0.1$) が認められた。

6. 脈拍数の変化率、ピーク到達時間、反応時間、変化総量

脈拍数の変化率、ピーク到達時間、反応時間、変化総量は、体脂肪率による肥満度の分類で区分して表8に示した。一元配置分散分析の結果、変化率におけるF値は2.63 ($p = 0.077$)、変化総量におけるF値は3.28 ($p = 0.041$) であった。LSDでは、変化率は、るいそう群と肥満群、適正群と肥満群、境界域群と肥満群の間に有意な差 ($p < 0.05$) が認められた。反応時間は、るいそう群と肥満群の間に差がある傾向 ($p < 0.1$) がみられ

波形のパターン	るいそう群	適正群	境界域群	肥満群	合 計
a型	1 (33.3)	4 (40.0)	3 (42.9)	0 (0)	8
b型	0 (0)	2 (20.0)	2 (28.6)	0 (0)	4
c型	1 (33.3)	1 (10.0)	1 (14.3)	0 (0)	3
d型	0 (0)	1 (10.0)	1 (14.3)	1 (20.0)	3
e型	1 (33.3)	1 (10.0)	0 (0)	2 (40.0)	4
f型	0 (0)	1 (10.0)	0 (0)	2 (40.0)	3
合 計	3 (100)	10 (100)	7 (100)	5 (100)	25

人数 (%)

図3 運動負荷による収縮期血圧値波形のパターン分類

た。また、変化総量は、るいそう群と肥満群の間に有意差 ($p < 0.01$) がみられ、るいそう群と適正群、適正群と肥満群、境界域群と肥満群の間に差がある傾向 ($p < 0.1$) が認められた。

4 考 察

1. BMI と体脂肪率による肥満度の判定の相違
被験者25名の肥満度をみると、BMIでは2名(8.0%)が肥満(1度肥満以上)に分類された

(表2)。一方、体脂肪率では、BMIで肥満であり体脂肪率でも肥満群と判定された者2名に加えて、BMIで普通体重であったが体脂肪率で肥満群とされた者3名(具体的には、BMIが 21.2kg/m^2 で体脂肪率が30.3%、BMIが 22.9kg/m^2 で体脂肪率が30.3%、BMIが 24.4kg/m^2 で体脂肪率が35.4%の3名)の合計5名(20.0%)が肥満群に分類され(表3)、BMIと体脂肪率による肥満度の判定には相違がみられた。

波形のパターン	るいそう群	適正群	境界域群	肥満群	合 計
A型	0 (0)	3 (30.0)	3 (42.9)	1 (20.0)	7
B型	1 (33.3)	2 (20.0)	3 (42.9)	3 (60.0)	9
C型	2 (66.7)	3 (30.0)	1 (14.3)	0 (0)	6
D型	0 (0)	2 (20.0)	0 (0)	1 (20.0)	3
合 計	3 (100)	10 (100)	7 (100)	5 (100)	25

人数 (%)

図4 運動負荷による脈拍数波形のパターン分類

日本では1999年に肥満の判定基準が変更になり(松澤佑次ほか, 2000), BMIが 26.4kg/m^2 以上から 25kg/m^2 以上に下方修正されたことにより肥満と判定される割合が高くなった。しかし, 本研究の結果では, BMIよりも体脂肪率による判定のほうが肥満と判定される者が多く, 体脂肪率を指標にすることでBMIは低いが体脂肪率が高いというかれ肥満を発見できた。

身長と体重から算出したBMIは体脂肪量を考慮しない体格指数であり, 例えば, 一見太って見

えなくても骨格が細く, 筋肉の発達も乏しく, 皮下脂肪が十分についている場合は, 実質的には肥満であるがBMIでは肥満と判定されないことが以前から指摘されている(豊川裕之, 1993; 高柳満喜子ほか, 1989)。本研究では, BMIと体脂肪率の間には正の強い相関($r=0.927$)が認められたものの, かくれ肥満という例外的な存在を発見できたことを考慮すると, 体脂肪率が測定できる場合は体脂肪率による判定を優先したほうが適切である可能性が示唆された(豊川裕之ほか,

表7 運動負荷による収縮期血圧値の変化

	F 値 (p 値)	平均値	標準偏差	変動係数(%)
変化率(%)				
るいそう群	3.59 (0.031)	48.9	16.9	34.5
適正群		55.8	19.6	35.2
境界域群		70.5	9.6	18.6
肥満群		38.6	19.6	50.7
ピーク到達時間(秒)				
るいそう群	0.28 (0.838)	207.6	95.2	45.9
適正群		211.2	85.2	40.4
境界域群		218.9	59.7	27.3
肥満群		179.3	68.8	38.4
反応時間(秒)				
るいそう群	0.42 (0.744)	453.4	110.8	24.4
適正群		465.0	85.0	18.3
境界域群		461.3	48.8	10.6
肥満群		419.3	77.7	18.5
変化総量(mmHg・秒)				
るいそう群	2.90 (0.059)	9,792.4	4,546.5	46.4
適正群		11,831.7	5,685.0	48.0
境界域群		16,380.9	5,569.1	34.0
肥満群		7,358.4	5,038.0	68.5

*p<0.1, **p<0.05, ***p<0.01(LSD)

1985；佐藤等ほか，1996)．最近では，インピーダンス法を採用した低価格の脂肪計付ヘルスメーターが販売され，体脂肪率の測定が身近になっているので，体脂肪率を指標にした肥満の是正や自己管理が可能になっている．なお，先行研究（中谷弥栄子ほか，1999）では，体密度法を採用した体脂肪率計BSF-200形（株式会社島津製作所）とAモード式超音波皮脂肪厚計CCF1001（コルメディアジャパン株式会社）による測定値を利用した．測定値の普遍性においてはインピーダンス法は体密度法に比べて劣るが，インピーダンス法が普及しているので本研究で採用した．

2. 収縮期血圧値と脈拍数の波形パターンの分析

運動負荷時の収縮期血圧値と脈拍数の相関をみると，変化率（ $r = 0.396$ ）と反応時間（ $r = 0.411$ ）では正の弱い相関がみられたが，ピーク到達時間

（ $r = 0.182$ ）と変化総量（ $r = 0.251$ ）では相関が認められなかった．したがって，収縮期血圧値と脈拍数では強い相関が認められなかったのでそれぞれを独立して評価できると考え，それぞれの波形パターンを検討した．

本研究では，非観血的に心拍毎の血圧値を測定できる新技術を採用することで，収縮期血圧値と脈拍数の波形パターンによる検討が可能になった．トレンド表示から波形パターンを抽出し，その特徴から被験者を分類するという新しい手法を試みたが，6種類（図3）と4種類（図4）の波形パターンに分類できることが判明した．パターン分類の手法を臨床適用している例としては加速度脈波（指尖容積脈波二次微分波）があるが，6種類の波形パターンに分類することで血管系の情報（血管年齢の推定など）を得ることができる（Takazawa et al, 1987）．本研究の収縮期血圧値と脈拍数の波形パターンにより，血管系に関する

表8 運動負荷による脈拍数の変化

	F 値 (p 値)	平均値	標準偏差	変動係数 (%)
変化率 (%)				
るいそう群		146.7	20.7	14.1
適正群	2.63	126.5	27.2	21.5
境界域群	(0.077)	129.4	20.5	15.8
肥満群		95.1	38.4	40.4
ピーク到達時間 (秒)				
るいそう群		147.3	49.2	33.4
適正群	0.59	175.2	54.3	31.0
境界域群	(0.631)	173.5	66.3	38.2
肥満群		203.8	67.6	33.1
反応時間 (秒)				
るいそう群		485.2	11.8	2.4
適正群	1.37	455.4	63.1	13.9
境界域群	(0.279)	449.1	34.6	7.7
肥満群		407.3	75.7	18.6
変化総量 (回)				
るいそう群		29,454.8	3,961.1	13.4
適正群	3.28	22,181.3	6,270.1	28.3
境界域群	(0.041)	23,018.2	5,047.8	21.9
肥満群		15,966.6	7,459.5	46.7

*p<0.1, **p<0.05, ***p<0.01 (LSD)

何らかの情報を得ることができるかは今後の課題としたい。

適正群が最も望ましい体脂肪率であると設定されている一方で、最も死亡率が低いのは体重が平均値よりもやや重い者であるという報告がある(塚本宏ほか, 1986)。換言すると、適正群よりも境界域群にある者のほうが長生きすることになる。図3と図4の波形パターンの分類において適正群と境界域群の分布に着目すると、2群が最も多く分布していたのは、収縮期血圧値ではa型(左右対称の1段階の上昇を示す型)、脈拍数においてはA型(2段階の上昇を示す型)であり、適正群と境界域群は同様の分布をしていた。したがって、体脂肪率による肥満度の分類では適正群と境界域群を群分けする必然性は見いだせず、この2群がともに適正である可能性が考えられた。日本では体脂肪率による肥満度の判定基準が確定されていない現状も鑑み(松澤佑次ほか, 2000)、

被験者数を増やして検討を重ねる必要があろう。

3. 収縮期血圧値と脈拍数に及ぼす体脂肪率の影響

運動負荷により血圧の上昇と脈拍数の増加がみられることは明らかであるが(後藤純規ほか, 1995)、本研究においても被験者全員が体脂肪率に関係なく同じ反応を示した。体脂肪率による肥満度の分類で区分してみると、収縮期血圧値と脈拍数は、ともに変化率と総変化量において有意差($p < 0.05$)もしくは差がある傾向($p < 0.1$)が認められたので、以下ではこれらに絞って考察していく。

収縮期血圧値では(表7)、変化率と変化総量はともにるいそう群から境界域群になるにしたがって大きくなり、肥満群では逆に小さくなっていた。4群の中で変化率と変化総量が最も大きいのはともに境界域群であり、とくに変化率では境界

域群は適正群と肥満群よりも有意に大きかった。有酸素運動中に収縮期血圧が上昇しないと心血管系疾患死の危険率が高くなるので (Morrow et al., 1987), 境界域群で心血管系疾患死の危険率が最も低くなる可能性が考えられた。

また、脈拍数では (表8), 変化率と変化総量はともにいそう群よりも適正群で小さくなったが、境界域群でわずかながら大きくなり、肥満群では逆に小さくなっていた。適正群と境界域群では変化率と変化総量はともに有意な差が認められず、適正群と境界域群を群分けする必然性は説明できなかった。運動時には運動強度にみあった酸素を供給するために心拍出量が増加する。このときの脈拍数と心拍出量の関係をみると、脈拍数が増加することで心拍出量は増加していくが、あるところで心拍出量は最大になり、脈拍数がこれより増加すると心拍出量は逆に減少することが明らかになっている (Rothe, 1962)。本研究の結果にあてはめると、適正群と境界域群では心拍出量が最大になる脈拍数まで適度に増加することで、運動負荷に対して効果的な生体反応を示していることが考えられた。

4. 本研究の限界と今後の課題

被験者25名は、体脂肪率がいそう群から肥満群まで広く分布していたが (表3), 全員女性で平均年齢は21.8歳と限られていた。体脂肪率による肥満度の判定では、成人であれば年齢によって基準が異なることはないが、性別に基準が設定されているので (大野誠ほか, 1992; 原光彦ほか, 2001), 今後は本研究で確認できた方法論により性別と年齢の異なる解析対象で検討していきたい。

収縮期血圧値が飛び離れて大きく変化し、外れ値に該当した者1名は、被験者が少ないためにこの外れ値による影響が大きいと判断して解析対象から除外した。この被験者は、実験や測定室の環境による一過性のストレス反応を自覚的に強く感じていたので、血圧変動因子であるストレス (Nishimura et al., 1987) が血圧変動を増強した

可能性が考えられる。また、被験者25名の自記式問診票に記載した血圧変動因子 (表4) が収縮期血圧値と脈拍数に及ぼす影響は認められなかったが、これは被験者が少なかったためかも知れない。今後は、血圧変動因子に関する質問項目を増やすと同時に、対象者数も増やして検討する必要があるだろう。

5 結 論

本研究では、運動負荷による循環動態の変化に及ぼす体脂肪率の影響を明らかにすることを目的とした。女子大学生25名を解析対象とし、体脂肪率によりいそう群・適正群・境界域群・肥満群の4群に分類し、運動負荷による収縮期血圧値および脈拍数の変動を解析した。

トレンド表示でみた収縮期血圧値と脈拍数の波形により、収縮期血圧値では6パターン、脈拍数では4パターンに分類できた。適正群と境界域群の2群は同様の分布をしており、収縮期血圧値ではa型 (左右対称の1段階の上昇を示す型)、脈拍数ではA型 (2段階の上昇を示す型) に2群とも最も多く分布していた。

収縮期血圧値と脈拍数は、ともに変化率と総変化量において有意差もしくは差がある傾向が認められたので、これらに着目して分析したところ、収縮期血圧値の変化率と変化総量は、ともにいそう群から境界域群になるにしたがって大きくなるが、肥満群になると逆に小さくなっていた。境界域群は他の3群に比べて変化率と変化総量がともに最も大きく、このことが境界域群で心血管系疾患による死亡の危険率が最も低くなる事実に関係している可能性が考えられた。また、脈拍数の変化率と変化総量は、ともにいそう群よりも適正群で小さくなったが、境界域群でわずかながら大きくなり、肥満群になると逆に小さくなっていた。適正群と境界域群では変化率と変化総量はともに有意な差が認められず、適正群と境界域群を体脂肪率で群分けする必然性は説明できなかった。適正群と境界域群では、心拍出量が最大になるまで脈拍数が適度に増加し、運動負荷に対して

効果的な生体反応を示していることが考えられた。

謝辞：本研究に被験者としてご協力いただきましたK大学の皆様に深謝いたします。

文 献

- 大野 誠, 堂満憲一, 池田義雄ほか (1992) : 体脂肪量 (率) 測定からみた肥満症の診断, 第13回日本肥満学会記録, 70-73
- 神本昌宗, 上月正博, 樋渡正夫ほか (1998) : 健康人における運動負荷時の循環反応を規定する因子についての検討, リハビリテーション医学, 35(11), 824
- 健康・栄養情報研究会編 (2002) : 国民栄養の現状—平成12年厚生労働省国民栄養調査結果, 59-60, 第一出版 (東京)
- 健康・栄養情報研究会編 (1999) : 第六次改定日本人の栄養所要量—食事摂取基準—, 36-40, 第一出版 (東京)
- 後藤純規, 菅谷潤寛, 小川徳雄 (1995) : 有酸素運動時の生体反応, 日本老年医学会雑誌, 32(7), 532
- 佐藤富男 (1995) : 電気伝導度法, インピーダンス法, 日本臨床, 53 (特別号), 179-182
- 佐藤 等, 坂本要一 (1996) : 体脂肪と測定法, 診断と治療, 84(6), 975-979
- 杉本恒明, 水野有三 (1995) : 血行動態, 日本臨床, 53(特別号), 325-331
- Rothe CF (1962) : *Cardiodynamics*, Selkurt EE ed., Physiology, 3ed., 285-304, Little, Brown (Boston)
- 高倉康人, 坂根直樹, 小暮彰典ほか (2001) : 生活習慣病における肥満撲滅の意義, 京都府立医科大学雑誌, 110(6), 449-458
- Takazawa K, Tanaka N, Fujita M et al. (1998) : Assessment of vasoactive agents and vascular aging by the second derivative of photoplethysmogram waveform, Hypertension, 32 (2), 365-370
- 高柳満喜子, 豊川裕之 (1989) : 超音波による皮下脂肪厚の測定法, 保健の科学, 31(7), 438-442
- 塚本 宏, 田村 誠 (1986) : 死亡率からみた日本人の体格—明治生命・標準体重表—, 厚生省の指標, 33(2), 3-14
- 豊川裕之, 佐伯圭一郎 (1985) : 肥満度と皮脂厚計測, 公衆衛生, 49(7), 473-478
- 豊川裕之 (1993) : 正確に肥満度を測定して適正肥満度を求める研究, 上原記念生命科学財団研究報告集, 7, 17-20
- 中谷弥栄子, 法橋尚宏, 杉下知子 (1999) : 肥満度別にみたホワイトノイズによるストレスの循環動態に及ぼす影響, 民族衛生, 65(4), 208-218
- Nishimura H, Nishioka A, Kubo S et al. (1987) : Multifactorial evaluation of blood pressure fall upon hospitalization in essential hypertensive patients, Clin Sci, 73 (2), 135-141
- 日本医師会編 (1996) : 運動療法処方せん作成マニュアル, 7-8, 日本医事新報社 (東京)
- 日本高血圧学会高血圧治療ガイドライン作成委員会 (2001) : 実地医家のための高血圧治療ガイドライン, 11-21, 学会出版センター (東京)
- 原 光彦, 岩田富士彦, 岡田知雄ほか (2001) : インピーダンス法を用いた思春期における体密度変化を考慮した体脂肪率のパーセンタイル曲線—体脂肪率推定指標としてのBody Mass Index×インピーダンス値の有用性—, 肥満研究, 7(2), 130-137
- Hotamisligil GS, Arner P, Caro JF et al. (1995) : Increased adipose tissue expression of tumor necrosis factor- α in human obesity and insulin resistance, J Clin Invest, 95 (5), 2409-2415
- 松澤佑次, 井上修二, 池田義雄ほか (2000) : 新しい肥満の判定と肥満症の診断基準, 肥満研究, 6(1), 18-28
- Maffei M, Halaas J, Ravussin E et al. (1995) : Leptin levels in human and rodent: measurement of plasma leptin and ob RNA in obese and weight-reduced subjects, Nat Med, 1 (11), 1155-1161
- Manson JE, Stampfer MJ, Hennekens CH et al. (1987) : Body weight and longevity: A reassessment, JAMA, 257 (3), 353-358
- Morrow K, Morris CK, Froelicher VF et al. (1993) : Prediction of cardiovascular death in men undergoing noninvasive evaluation for coronary artery disease, Ann Intern Med, 118 (9), 689-695

(受稿 2002. 5. 17 ; 受理 2002. 7. 26)