

減量を目的とした有酸素性運動の実践および食事制限が 肥満者の血液流動特性に及ぼす影響

片山靖富* 中垣内真樹** 中田由夫***
沼尾成晴**** 大河原一憲***** 堀米仁志***
田中喜代次***

EFFECTS OF AEROBIC EXERCISE AND DIETARY RESTRICTION FOR WEIGHT LOSS ON BLOOD FLUIDITY IN OBESE MEN

Yasutomi Katayama, Masaki Nakagaichi, Yoshio Nakata, Shigeharu Numao,
Kazunori Ohkawara, Hitoshi Horigome, and Kiyoji Tanaka

SUMMARY

Objective: Previous studies have reported that aerobic exercise is an effective way to improve blood fluidity. However, these studies did not consider dietary change. The purpose of this study was to investigate the effect of aerobic exercise and dietary restriction for weight loss on blood fluidity.

Methods: Forty-five obese men (50.6 ± 10.8 yr) underwent an aerobic exercise intervention (3 times/wk, 90 min/session) for 12 weeks, and 23 obese men (47.8 ± 10.7 yr) underwent a dietary intervention (1 time/wk, 90 min/session) wherein the target energy intake was 1680 kcal/day for 12 weeks. Blood fluidity was defined as the time of whole blood passage measured by MC-FAN. Energy intake was assessed by 3-day dietary records. Physical activity was assessed by a uniaxial accelerometry sensor.

Results: Blood passage time decreased significantly after the intervention in both groups, and the group \times time interaction was not significant (exercise group, from 53.3 ± 6.2 s to 50.6 ± 4.1 s; diet group, from 53.7 ± 7.2 s to 50.3 ± 5.9 s). In exercise group, total energy expenditure (TEE) increased significantly during the intervention (from 2317 ± 270 kcal/day to 2524 ± 312 kcal/day, $P < 0.05$), while total energy intake remained unchanged. On the other hand, in diet group, TEE remained unchanged during dietary restriction.

Conclusion: These results suggest that blood fluidity may be improved by aerobic exercise as much as by dietary restriction in obese men.

Key words: blood fluidity, exercise, energy intake, weight loss, obesity.

* 皇學館大学教育学部
** 長崎大学大学院教育機能開発センター
*** 筑波大学大学院人間総合科学研究科
**** 早稲田大学スポーツ科学学術院
***** 国立健康・栄養研究所

Faculty of Education, Kogakkan University, Mie, Japan.
Research and Development Center for Higher Education, Nagasaki University, Nagasaki, Japan.
Graduate School of Comprehensive Human Sciences, University of Tsukuba, Ibaraki, Japan.
Faculty of Sports Sciences, Waseda University, Saitama, Japan.
National Institute of Health and Nutrition, Tokyo, Japan.

緒 言

長期間に及ぶ血液の流動力学的特性（以下、血液流動性）の悪化は、血管壁にかかるズリ応力を高めるため、血栓や動脈硬化を生じさせる³¹⁾。肥満者や冠危険因子保有数の多い者では、血液流動性が悪化する^{14,21)}。また、血液流動性は循環器系疾患の罹患率や死亡率を高める独立したリスクファクターとなる可能性が報告されている^{20,22,27,46)}。更には、血液流動性の悪化によるメカニカルストレスがプラーク破裂や血小板凝集を誘発し、最終的には循環器系疾患の発症につながる可能性が報告されていることから¹²⁾、血液流動性の改善、および良好な状態の維持が望まれる。

健康者を対象とした運動療法によって血液流動性が改善する可能性を示す研究がいくつか報告されている^{1,6)}。そのメカニズムとしては、有酸素性運動の実践が血液凝固系蛋白質に関与することが示唆されている。また、有酸素性の運動トレーニングを積んでいる者では血液流動性が良好である³³⁾ことから、有酸素性運動の実践が血漿量を増加させ、その結果として、血液流動性が改善すると考えられる。更に、有酸素性運動の実践の効果として、中性脂肪や血糖濃度の低下、高比重リポ蛋白コレステロール（high-density lipoprotein cholesterol; HDL-C）濃度の増加がある。これら血液成分の量（濃度）や構造、機能が血液流動性に関係があるとされていることから、肥満者においては、これらの変化が血液流動性に影響を及ぼすとも考えられる。したがって、運動実践に伴う血液流動性および血液成分の変化を検討することで、血液流動性が改善するメカニズムを明らかにできるものと考えられる。

一方で、運動を実践しても血液流動性が変化しなかった報告も散見される^{25,34)}。Reinhart et al.³⁴⁾は運動の効果について一致した結果が得られない原因として、運動以外の要因が影響していると考察している。片山ら¹⁴⁾は、食事制限による減量とともに血液流動性が改善することを報告しており、エネルギー摂取量の減少に伴う減量が血液流動性に影響していると考えられる。また、血液流動性に改善効果が認められた研究の多くは、健康者を対象にしたものであり、肥満者を対象とした

検討が必要と考えられる。そこで本研究では、肥満者を対象にエネルギー摂取量の変化を考慮したうえで、有酸素性運動の実践が血液流動性に及ぼす効果を検討することを目的とした。同時に、運動実践よりも減量効率・減量幅が大きく、身体活動量に変化のない食事制限群を設けた。食事制限群では運動実践とは異なる血液成分の変化が起こる可能性があるため、運動実践の効果と比較することで、血液流動性改善のメカニズムについての知見を得るとともに、運動実践のみの有効性を検討した。

研究方法

A. 対象者

本研究の対象者は、日本肥満学会³²⁾の定める肥満の定義に基づくbody mass index (BMI)が25以上の肥満者であり、かつ運動が禁忌となる疾患を有さない男性とした。対象者は、茨城県T市およびT市近隣の市町村自治体の広報誌や地域情報誌を通じて、自らの意思によって集まった。運動教室には60名が参加登録したが、出席率が50%に満たない者や家庭の事情により教室を完遂できなかった者6名をドロップアウト者とし、対象者の参加率は90.0%であった。この6名と血液流動性に影響を及ぼすことが予想される薬剤（抗血栓剤、血糖降下薬など）を服用している者9名を除外した45名（ 50.6 ± 10.8 歳）を本研究の対象とした。食事教室には27名が参加登録したが、家庭の事情により教室を完遂できなかった者4名（対象者の参加率は85.2%）を除外した23名（ 47.8 ± 10.7 歳）を本研究の対象とした。すべての対象者には教室参加に先立ち、本研究の目的と教室および測定内容を説明し、書面にて研究参加への同意を得た。なお、本研究は筑波大学に帰属する倫理委員会の承認を得た。

B. 運動教室

運動教室の開催頻度は週3回であり、1回当たり90分のプログラムを3か月間（全39回）提供した。教室では、徒手体操や柔軟体操によるウォーミングアップを15分間行い、その後60分間の主運動、15分間のクーリングダウンを行った。主運動の内容は、ウォーキングやジョギングなどの有酸素性運動を中心とし、それら以外にも

自体重を負荷とした腕立て伏せや腹筋などのレジスタンストレーニングやレクリエーション運動、ゲーム運動などを織り交ぜた。クーリングダウンでは、徒手体操や柔軟体操を行った。運動中は怪我や事故が起こらないように配慮した。主運動の運動強度は、Borgの自覚的運動強度 (ratings of perceived exertion; RPE)³⁾ が13~15 (ややきつい~きつい) になるよう導いた。また、心拍数測定器 (610i, Polar社製) を用いて主運動中の心拍数を確認した。介入期間中における運動教室のない日の運動については特に指示を与えず、対象者の自主性に任せた。また、エネルギー摂取量の減少に伴う体重減少の影響を考慮するため、対象者には介入前の食習慣を維持するよう指示した。

C. 食事教室

食事教室の開催頻度は週1回であり、1回当たり90分のプログラムを3か月間 (全13回) 提供した。栄養・エネルギー摂取状況の把握と効果的な減量を支援するために四群点数法¹⁰⁾を用いたSMARTダイエット⁴⁰⁾理論を導入した。四群点数法は食品に含まれる栄養素によって食品を4つの群 (1群: 卵・乳製品, 2群: 肉類・魚介類・豆製品, 3群: 野菜類・芋類・海藻類・果実類, 4群: 穀類・油脂類・砂糖などの調味料・その他の嗜好品) に分類し、80kcalを1点として栄養計算する方法である。1食当たり560kcal、1日1680kcalを目標とした。その内訳は、1群から1点 (80kcal)、2群から2点 (160kcal)、3群から1点 (80kcal)、4群から3点 (240kcal)、合計7点 (560kcal) の範囲内で栄養バランスの良い食事を摂取するよう熟練したスタッフが懇切丁寧に指導した。特に脂質と糖質の摂取を適量に留め、蛋白質やビタミン、ミネラルが不足しないよう留意した。参加者には毎食の食事内容をできる限り詳細に、日記に記録するよう求めた。参加者は週1回、食事記録を提出し、その記録を基にスタッフがエネルギー摂取量のチェックと、栄養バランスや食習慣の適正化に向けた個別指導を提供した。

D. 測定項目

1. 身体的特徴

身長は身長計 (YG200, ヤガミ社製) を用いて0.1cm単位で測定した。体重は体重計 (TBF-551,

タニタ社製) を用いて0.1kg単位で測定した。BMIは体重 (kg) を身長 (m) の2乗で除すことで求めた。体脂肪率は体脂肪計 (HBF-300, オムロン社製) を用いてインピーダンス法により算出した。

2. 加速度計によるエネルギー消費量、身体活動量、歩数の測定

対象者に加速度センサーを内蔵した一軸加速度計 (ライフコーダ, スズケン社製) を配布し、毎日のエネルギー消費量、身体活動量、歩数を測定した。加速度計は、介入前の2週間と介入期間中の3か月間にわたって腰部に装着するよう指示した。加速度計は起床から就寝まで入浴時を除き常時装着することとした。対象者には、加速度計の装着状況および毎日の運動実践状況を記録させた。その記録と加速度計によって測定されたデータを照らし合わせて、加速度計を装着していなかった日や装着時間が12時間に満たない場合、水中運動など加速度計を装着できない運動や自転車運動のように加速度計が感知できないような運動を行った日の身体活動を統計処理の対象から除外した。

3. 食事・栄養調査

運動群のみ、介入前と介入中の食事・栄養調査を行った。調査に先立ち、すべての対象者に食事・栄養調査の記録の仕方について詳細に説明した。介入前と介入期間中 (教室開始から9および10週目) のそれぞれにおいて、平日 (仕事のある日) 2日と休日 (仕事のない日) 1日の各3日分、計6日分の食事内容を詳細に記録させた。可能な限り通常の食習慣を反映するような日を記録日にするよう指示した。エネルギー摂取量の算出に際し、記録内容が不十分である場合は管理栄養士が個別に聞き取り調査をした。これを基に、食事療法栄養計算ソフト (エクセル栄養君 ver 4.0, 建帛社製) を用いて、熟練した管理栄養士がエネルギー摂取量を算出した。なお食事群は介入前および介入中の詳細な食事・栄養調査を行わなかったが、教室期間中、週に1回の食事日記の提出を義務付け、エネルギー摂取量の過不足や栄養バランスの偏り、エネルギー摂取量を抑える調理方法や食材の選び方などについて指導を受けている。そのときに、エネルギー摂取量が概ね1680kcal

になっていることを確認している。

4. 血液流動性

1) 血液標本の作製

本研究では、血液標本作製のための採血に先立ち、対象者には測定前日の激しい運動と採血の12時間前から食事を控えるよう指示し、絶食状態で午前中に採血を行った。対象者は測定場所に集合し、15分程度の座位または仰臥位で安静状態を保った後、医師または看護師が正中肘静脈から採血を行った。採血には21ゲージの翼付き採血針(SV-21CLK, テルモ社製)と三方活栓(TS-TR1K, テルモ社製)、ポリプロピレンの採血用シリンジ(SS10S, テルモ社製)を用いた。生体内での血液は凝固しないものと仮定し、ヘパリン(ノボ・ヘパリン10000単位/10ml)0.1ml(血液標本の5%量)を、血小板活性による血栓形成を抑制する ethylenediamine tetra-acetic acid-2 kalium (EDTA-2K) の入った2ml真空採血管(VP-DK052, テルモ社製)にあらかじめ注入し、そこに採取した血液1.9mlを分注したものを血液標本とした。

血液流動性は、microchannel array flow analyzer (MC-FAN, 日立原町電子工業社製)¹⁷⁻¹⁹⁾を用い血液細孔通過時間を測定した。MC-FANを用いた血液細孔通過時間測定の再現性や信頼性は高く^{13,15)}、粘度とも高い相関関係が認められている³⁶⁾。また、MC-FANを用いた血栓形成の評価に有用である可能性も報告されている¹¹⁾。なお、健康男性の血液細孔通過時間は40~50秒と考えられる^{15,16,37)}。血液流動性の測定は、採血後すぐに行うことを原則とし、すべての測定は、採血後の時間経過が測定誤差に影響を与えないとされる1時間以内に終了することとした^{30,37)}。すべての液体の流動特性は温度の影響を受けることから、測定中および測定までの血液標本の保存は室温(25度)とした。

2) MC-FANの測定操作手順

MC-FANは、細孔通過法の原理を用いた血液流動性測定装置であり、約1cm四方のシリコン単結晶基盤に深さ4.5 μ m、幅7 μ m、長さ30 μ mの流路が総数8736本あるフィルタ(Bloody 6-7, 日立原町電子工業社製)を、光学研磨したガラス基盤に圧着させることで毛細血管をモデルとした

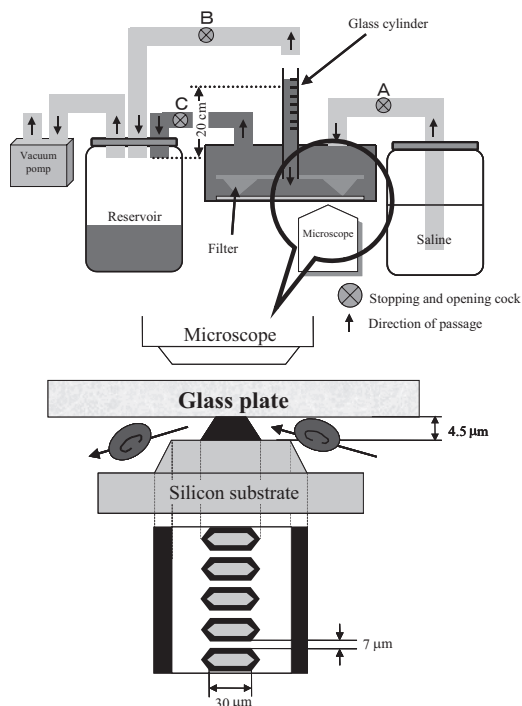


図1. MC-FANとマイクロチャネルアレイ(フィルタ)の概要図

Fig.1. Schematic representation of the microchannel array flow analyzer (MC-FAN) and microchannel array (filters).

The whole sample is introduced into a glass cylinder and is passed through a siliconized chip with 8736 slits of 7 μ m width and 30 μ m length under negative pressure of 20cmH₂O.

流路を作り出している(図1)。フィルタとガラス基盤が作り出す流路に、毛細血管にかかる圧力と等しくなるよう20cmH₂O圧をかけ、血液標本100mlをこのフィルタに通過させるのに要する時間(血液細孔通過時間)を計測し、血液流動性を評価した。血液細孔通過時間は、各測定の直前に計測した生理食塩水100mlの通過時間を12秒として以下の式により補正計算を行った。

血液細孔通過時間(秒) = 血液標本100mlの細孔通過時間(秒) × 12(秒) / 生理食塩水100mlの細孔通過時間(秒)

測定に使用したフィルタは、測定ごとに超音波洗浄器を用いて10分間洗浄し、フィルタ内部に血球などの詰まりや破損のないことを顕微鏡で確認した後、再度測定に用いた。なお、操作はすべて同一検者が行った。

5. 血液学・血液生化学検査

血液流動性測定のための血液を採取する際に、血液学および血液生化学検査のための血液を採取した。検査項目は赤血球 (red blood cell; RBC) 数、ヘモグロビン (hemoglobin; Hb) 濃度、ヘマトクリット (hematocrit; Hct)、白血球 (white blood cell; WBC) 数、血小板 (platelets; Plt) 数、総コレステロール (total cholesterol; TC) 濃度、HDL-C 濃度、中性脂肪 (triglyceride; TG) 濃度、空腹時血糖 (fasting plasma glucose; FPG) 濃度、フィブリノーゲン (fibrinogen; Fbg) 濃度であった。これらの分析は江東微生物研究所 (つくば市) に依頼した。低比重リポ蛋白コレステロール (low-density lipoprotein cholesterol; LDL-C) 濃度は、Friedewald の式⁹⁾ より算出した。

6. 活力年齢・体力年齢

種々の疾病の要因となる血圧、血中脂質、血糖値など、ヒトの健康や老化過程を反映する健康関連項目は複数あるが、それらが単独で健康を評価できるものではなく、複数の要因から健康度・老

化度を評価すべきである。したがって、本研究ではヒトの老化を如実に反映する運動時の生理的応答や体力水準から健康度・老化度を評価できるとされる活力年齢を用いて対象者の健康度を評価した⁴¹⁻⁴³⁾。

体力年齢は Nakamura et al.²⁹⁾ が最初に提唱した概念で、活力年齢と同様に、筋力や柔軟性など複数の体力要素から総合的に体力を評価するものである。李ら^{23,24)} がこの概念を発展させて算出式を作成した。なお、活力年齢および体力年齢算出式には乳酸性閾値時の酸素摂取量と心拍数が用いられているが、本研究では、無酸素性代謝閾値 (anaerobic threshold; AT) 時の酸素摂取量 (oxygen uptake at the AT; $\dot{V}O_2@AT$) と心拍数 (heart rate at AT; HR@AT) を代用し活力年齢を求めた。活力年齢および体力年齢の算出に必要な説明変数と算出式は補遺に示した。

活力年齢および体力年齢の算出に必要な説明変数の情報を得るための測定項目は、収縮期・拡張期血圧、TC、LDL-C、TG、反復横とび、閉

表 1. 介入前後の身体的特徴
Table 1. Physical characteristics at baseline and post the intervention.

		Exercise group	Diet group	Interaction
Age, yr	Baseline	50.6 ± 10.8	47.9 ± 11.5	
	Post	50.6 ± 10.8	47.9 ± 11.5	
Height, cm	Baseline	168.8 ± 7.0	168.4 ± 5.8	
	Post	168.8 ± 7.0	168.4 ± 5.8	
Weight, kg	Baseline	85.2 ± 12.3	77.7 ± 5.8 [†]	
	Post	81.8 ± 11.8	69.7 ± 6.0 [†]	
	Change	-3.4 ± 2.9*	-8.0 ± 3.1* [†]	<i>P</i> < 0.05
BMI, kg/m ²	Baseline	29.9 ± 3.4	27.6 ± 1.5	
	Post	28.6 ± 3.3	24.8 ± 1.7	
	Change	-1.2 ± 1.0*	-2.8 ± 1.1*	<i>P</i> < 0.05
%fat, %	Baseline	28.9 ± 3.7	27.5 ± 3.5	
	Post	26.5 ± 3.6	23.8 ± 4.2	
	Change	-2.4 ± 1.7*	-3.8 ± 2.0*	<i>P</i> < 0.05
Waist, cm	Baseline	101.9 ± 7.9	94.3 ± 11.0 [†]	
	Post	97.3 ± 7.6	84.8 ± 5.1 [†]	
	Change	-4.7 ± 3.4*	-9.5 ± 8.1* [†]	<i>P</i> < 0.05
SBP, mmHg	Baseline	138 ± 17	129 ± 17	
	Post	137 ± 14	118 ± 9	
	Change	-2 ± 11	-12 ± 15* [†]	<i>P</i> < 0.05
DBP, mmHg	Baseline	93 ± 12	87 ± 14	
	Post	92 ± 13	76 ± 8	
	Change	-1 ± 11	-11 ± 9* [†]	<i>P</i> < 0.05

Values are means ± standard deviation. BMI; body mass index, DBP; diastolic blood pressure, SBP; systolic blood pressure, *: significant difference compared with the baseline value (*P* < 0.05), [†]: significant difference compared with exercise group value (*P* < 0.05).

表2. 介入前と介入期間中のエネルギー摂取量と身体活動量
Table 2. Energy intake and physical activity at baseline and during the intervention.

		Exercise group	Diet group	Interaction
Energy intake, kcal/day	Baseline	2394 ± 517		
	During the intervention	2413 ± 488	1680	
	Change	19 ± 518		
Total energy expenditure, kcal/day	Baseline	2317 ± 270	2310 ± 268	
	During the intervention	2524 ± 312	2172 ± 242	
	Change	207 ± 162*	-137 ± 133 [†]	<i>P</i> < 0.05
Active energy expenditure, kcal/day	Baseline	259 ± 114	323 ± 132	
	During the intervention	451 ± 133	292 ± 135 [†]	
	Change	192 ± 131*	-32 ± 86 [†]	<i>P</i> < 0.05
Steps, steps/day	Baseline	7034 ± 2801	8645 ± 2945	
	During the intervention	10795 ± 2817	8742 ± 3139 [†]	
	Change	3761 ± 2960*	97 ± 2384 [†]	<i>P</i> < 0.05

Values are means ± standard deviation. *: significant difference compared with the baseline value (*P* < 0.05), [†]: significant difference compared with exercise group value (*P* < 0.05).

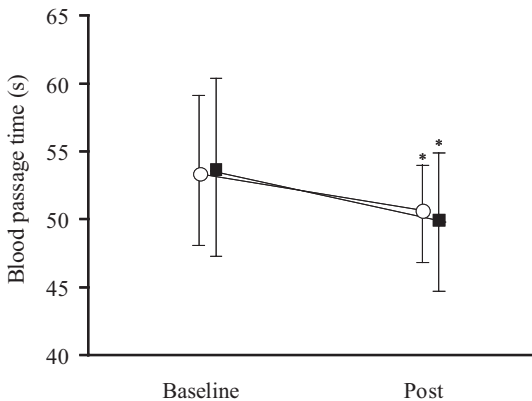


図2. 介入前後の血液細孔通過時間

Fig.2. Blood passage time at baseline and post intervention.

Data are expressed as mean ± standard deviation. Blood passage time decreased significantly in both group. The group × time interaction was not significant. ○: exercise group, ■: diet group, *: significant difference compared with the baseline value (*P* < 0.05).

眼片足立ち、握力（左右の平均値）、伏臥上体反らし、立位体前屈、垂直とび、1秒量、腹囲径（臍位）、肩甲骨下部皮下脂肪厚、最大酸素摂取量（maximal oxygen uptake; $\dot{V}O_{2max}$ ）、 $\dot{V}O_2@AT$ 、HR@ATであった。 $\dot{V}O_2@AT$ は、自転車エルゴメータ（Model 828E, Monark社製）を用いた運動負荷テストにより計測した。0 wattで2分間のウォーミングアップの後、主観的限界に至るまで毎分15wattsずつ段階的に負荷強度を高める多段階漸増負荷を用い $\dot{V}O_2@AT$ と $\dot{V}O_{2max}$ を測定した⁴⁴。このときのペダルの回転数（revolution per minute;

rpm）は、メトロノーム音に合わせ60rpmを維持するように指示した。ATはV-slope法を用い、酸素摂取量（ $\dot{V}O_2$ ）に対する二酸化炭素排出量（ $\dot{V}CO_2$ ）の上昇開始点および CO_2 換気当量の増加を伴わない O_2 換気当量の増加開始点として決定した²⁾。このAT時に相当する心拍数をHR@ATとした。負荷テスト中の換気および呼気ガス諸量は自動呼気ガス分析器（Oxycon Alpha, Mijnhardt社製）を用いてbreath-by-breath法により分析し、分時換気量、 $\dot{V}O_2$ 、 $\dot{V}CO_2$ を30秒ごとの平均値として求めた。負荷テスト中は心電計（DS-2150, フクダ電子社製）を用いて心電図と心拍数を、更にRPEを連続監視し、データの収集とともに運動中の事故防止に努めた。介入前および介入後におけるこれらの測定は、エネルギー消費量および食事・栄養調査の終了後に行った。

E. 統計処理

各測定項目の結果は平均値 ± 標準偏差で示した。教室前の各測定結果の群間比較には対応のないt検定を、教室前から教室中および教室終了後にかけての各測定項目の変化については対応のあるt検定を施した。運動群と食事群の群間差を検証するために、時間（介入前と介入後）および群を要因とする二元配置分散分析を施した。

結 果

体重と腹囲径、活力年齢は、baselineにおいて両群間で有意な差が認められた（表1, 4）。

表3. 介入前後の血液組成
Table 3. Hematological variables at baseline and post the intervention.

		Exercise group	Diet group	Interaction
TC, mg/dl	Baseline	226 ± 38	221 ± 35	
	Post	206 ± 35	191 ± 30	
	Change	-21 ± 19*	-30 ± 23*	n s
HDL-C, mg/dl	Baseline	52.5 ± 13.2	55.0 ± 10.0	
	Post	54.0 ± 13.2	57.3 ± 13.3	
	Change	1.5 ± 4.8	2.3 ± 8.7	n s
LDL-C, mg/dl	Baseline	140.2 ± 38	132.8 ± 36	
	Post	127.1 ± 33.6	112.6 ± 21.9	
	Change	-13.1 ± 16.7*	-20.2 ± 28.1*	n s
TG, mg/dl	Baseline	168.8 ± 103.1	167.5 ± 134.7	
	Post	123.2 ± 55.6	109.1 ± 94.8	
	Change	-45.6 ± 76.1*	-58.4 ± 66.3*	n s
Fbg, mg/dl	Baseline	331 ± 79	315 ± 56	
	Post	326 ± 58	278 ± 49	
	Change	-5 ± 75	-37 ± 43*	n s
FPG, mg/dl	Baseline	99.6 ± 18.5	101.0 ± 14.9	
	Post	98.9 ± 11.3	97.4 ± 10.8	
	Change	-0.7 ± 13.7	-3.7 ± 12.4	n s
WBC, 10 ³ /μl	Baseline	5353 ± 1401	6205 ± 857	
	Post	5313 ± 1361	5432 ± 1040	
	Change	-40 ± 1358	-773 ± 1091 [†]	P < 0.05
RBC, 10 ⁶ /μl	Baseline	518 ± 33	521 ± 44	
	Post	504 ± 30	503 ± 45	
	Change	-14 ± 17*	-18 ± 29*	n s
Hb, g/dl	Baseline	15.7 ± 1.0	16.0 ± 1.2	
	Post	15.3 ± 0.9	15.2 ± 1.3	
	Change	-0.4 ± 0.5*	-0.8 ± 1.0*	n s
Hct, %	Baseline	46.6 ± 2.6	47.6 ± 3.2	
	Post	45.6 ± 2.4	45.7 ± 3.5	
	Change	-1.0 ± 1.7*	-1.9 ± 3.4*	n s
Plt, 10 ³ /μl	Baseline	22.1 ± 4.1	25.0 ± 6.1	
	Post	21.5 ± 4.3	24.6 ± 5.5	
	Change	-0.6 ± 2.6	-0.5 ± 2.6	n s

Values are means ± standard deviation. *: significant difference compared with the baseline value ($P < 0.05$), [†]: significant difference compared with exercise group value ($P < 0.05$), ns; not significant, Fbg; fibrinogen, FPG; fasting plasma glucose, Hb; hemoglobin, Hct; hematocrit, HDL-C; high-density lipoprotein cholesterol, LDL-C; low-density lipoprotein cholesterol, Plt; platelet, RBC; red blood cell, TG; triglycerides, WBC; white blood cell.

両群の体重およびBMI、体脂肪率、腹囲径が有意に減少し、収縮期・拡張期血圧は、食事群においてのみ介入前から介入後にかけて有意に減少した。また、それぞれに有意な交互作用が認められ、食事群のほうが大きな減少を示した(表1)。

運動群のエネルギー摂取量には変化がなく、エネルギー消費量と身体活動量、歩数は有意に増加した。食事群はエネルギー消費量、身体活動量、

歩数ともに変化がなかった。エネルギー消費量と身体活動量、歩数に有意な交互作用が認められた(表2)。

血液細孔通過時間は両群ともに介入前から後にかけて有意に減少(短縮)した(運動群: $53.3 \pm 6.2 \rightarrow 50.6 \pm 4.1$ s, 食事群: $53.7 \pm 7.2 \rightarrow 50.3 \pm 5.9$ s)。また、有意な交互作用は認められなかった(図2)。

表 4. 介入前後の活力年齢と体力年齢およびその構成因子
 Table 4. Vital age, physical fitness age and its components at baseline and post the intervention.

		Exercise group	Diet group	Interaction
Vital age, yr	Baseline	60.2±9.5	50.8±12.1 [†]	
	Post	52.3±10.5	44.7±10.1 [†]	
	Change	-7.9±5.7*	-6.1±7.4*	n s
Physical fitness age, yr	Baseline	52.9±10.5	49.2±13.1	
	Post	45.6±10.9	46.3±12.5	
	Change	-7.3±4.8*	-2.9±3.6* [†]	<i>P</i> <0.05
Skin-fold thickness at the subscapular site, mm	Baseline	35.4±7.4	25.1±4.3	
	Post	29.0±8.4	20.7±5.1	
	Change	-6.3±4.9*	-4.5±3.4*	n s
$\dot{V}O_{2max}$, ml/kg/min	Baseline	30.1±5.5	31.5±5.9	
	Post	34.4±6.3	34.7±6.8	
	Change	4.3±3.8*	2.8±3.3*	n s
$\dot{V}O_{2@AT}$, ml/kg/min	Baseline	17.6±3.9	18.3±3.3	
	Post	20.1±4.4	18.8±3.4	
	Change	2.5±2.9*	0.5±2.9 [†]	<i>P</i> <0.05
HR@AT, beats/min	Baseline	115±16	116±16	
	Post	112±14	116±18	
	Change	-3±10	0±17	n s
Side-to-side steps, number/20 s	Baseline	38.9±6.9	39.5±8.6	
	Post	42.8±6.8	43.0±8.8	
	Change	3.9±4.5*	3.5±3.1*	n s
Single-leg balance with eyes closed, s	Baseline	17.1±14.1	25.6±20.9	
	Post	27.9±19.0	23.7±20.3	
	Change	10.8±15.4*	-1.9±8.1 [†]	<i>P</i> <0.05
Grip strength, kg	Baseline	44.6±7.7	44.8±7.6	
	Post	45.2±6.9	43.1±6.7	
	Change	0.6±2.9	-1.7±4.0	n s
Trunk flexion from a standing position, cm	Baseline	-1.3±8.0	0.1±9.3	
	Post	3.0±7.8	4.2±9.4	
	Change	4.3±4.1*	3.8±2.9*	n s
Trunk extension, cm	Baseline	40.1±10.6	38.8±10.7	
	Post	41.5±10.7	42.0±11.4	
	Change	1.5±4.3	3.3±6.9	n s
Vertical jump, cm	Baseline	45.0±8.1	48.1±8.7	
	Post	44.0±7.5	45.9±9.1	
	Change	-1.0±5.1	-2.7±5.4	n s
Forced expiratory volume for 1 sec, <i>l</i>	Baseline	3.08±0.59	3.12±0.59	
	Post	3.20±0.67	3.26±0.60	
	Change	0.12±0.23	0.14±0.36	n s

Values are means ± standard deviation. *: significant difference compared with the baseline value (*P*<0.05), [†]: significant difference compared with exercise group value (*P*<0.05), n s; not significant, $\dot{V}O_{2max}$; maximal oxygen uptake, $\dot{V}O_{2@AT}$; oxygen uptake at the anaerobic threshold, HR@AT; heart rate at the anaerobic threshold.

血液学・血液生化学検査項目は、両群ともTC、LDL-C、TG、RBC、Hb、Hctが有意に減少し、食事群ではFbgも低下した。これらの項目の変化に有意な交互作用は認められなかった。WBCにのみ有意な交互作用が認められた(表3)。

活力年齢と体力年齢は両群とも有意に低下した(若返った)。体力年齢、 $\dot{V}O_2@AT$ 、閉眼片足立ちは有意な交互作用が認められ、 $\dot{V}O_2@AT$ 、閉眼片足立ちは運動群のほうが大きな増加、体力年齢においては運動群のほうが大きな減少(若返り)であった(表4)。

考 察

A. 有酸素性運動の実践による効果

血液流動性に対する有酸素性運動の実践による効果について、一致した結果が得られない原因として、Reinhart et al.³⁴⁾は運動以外の要因が影響していると考察しており、片山ら¹⁴⁾は食事制限による減量とともに血液流動性が改善することを報告していることから、エネルギー摂取量の減少に伴う減量が血液流動性に影響していると考えられる。そこで本研究では、運動介入の期間中、エネルギー摂取量に変化のないよう統制することで、血液流動性に及ぼす運動実践のみの効果を検討した結果、運動群は介入前と介入中のエネルギー摂取量に変化がなく、エネルギー消費量、身体活動量、歩数が有意に増大していたことや活力年齢、体力年齢が有意に低下していたことから、血液細孔通過時間をはじめとする各測定項目の変化は運動実践のみの効果と考えられた。一方、食事群においてはエネルギー消費量や身体活動量、歩数に変化が認められなかったことから、各測定項目の変化はエネルギー摂取量の変化によるものと考えられた。血液流動性の改善効果は、食事群および運動群で同程度であった。食事群のように大きな体重減少が伴わなくても、運動実践によって肥満者の血液流動性が改善することから、運動実践が血液流動性の改善に有効である可能性が示された。ただし、運動群も有意に体重が減少していたことから、体重変化そのものの影響は否定できない。今後は、運動を介入したときに体重の変化がないようエネルギー摂取量を調整した群を設けて

検討することも課題となろう。

運動群は介入期間中の身体活動量が約200kcal/日、歩数が約3800歩/日の増加が認められた。この増加は、「健康づくりのための運動指針2006」に示されている目標値(1日3000歩の増加)⁴⁵⁾と同等であった。したがって、肥満者においても、健康づくりのための運動実践で血液流動性は改善することが示唆される。しかしながら、循環器系疾患患者を対象にした先行研究では、体力の向上は認められたものの血液流動性の改善には効果がなかったという報告がある^{25,34)}。El-Sayedは結果の異なる原因として、対象者や介入期間の違いを指摘している⁸⁾。今後は、重度肥満者やメタボリックシンドロームに該当する者など、疾患別の効果について詳細に検討していく必要がある。また、中垣内ら²⁸⁾やShaskey and Green³⁸⁾は横断的な調査結果から、運動習慣のある者は血液流動性が良好であったと報告している。運動効果を十分に得るためには、少なくとも数か月間にわたり運動を習慣化することが必要かもしれない。ただし、運動実践が血液流動性に悪影響を及ぼすという報告はない(激しいスポーツ活動中の脱水などによる血液粘度の上昇は除く)。先行研究や本研究から運動実践が血液流動性の改善に有効であることが示されたことから、重度肥満者や運動が禁忌となる疾患を有する者には、食事制限による減量によって血液流動性を改善し、運動を好む者には運動を習慣化することによって血液流動性を改善あるいは良好な状態を維持させるなど、両者の使い分けも有効な手段となろう。

B. 血液流動性のメカニズム

血液流動性は、血液を構成する成分の濃度変化や生理的作用の状態によって変化する。運動を習慣化している者はLDL-CやTGなどの血清脂質濃度が基準値内に保たれていることや、HDL-C濃度が高いことが多い。有酸素性運動によるトレーニングを積んでいる者は、RBC数やHct、Hb濃度が低く、場合によっては貧血傾向である者もみられることから³³⁾、有酸素性運動を中心とした運動実践によってこれらの血中脂質濃度やRBC数、Hctが減少し、血液流動性が改善すると考えられた。しかしながら、本研究では運動群のRBC数や血清脂質濃度が介入前後で減少し、

RBC数と血清脂質濃度のどちらによる影響か、どちらの影響度が強いかを明らかにすることはできなかった。これは、食事群においても同様の結果であった。仮に血漿量増加による血液希釈が起こったとすれば、RBCを含めすべての血球数は見かけ上減少するはずである。しかしながら、RBC数やHctは減少しているものの、WBC数やPlt数には変化が認められなかった。したがって、血液希釈による影響は小さいものと考えられ、運動を実践することで造血作用に変化があった可能性がある。今後、エリスロポエチンなど造血因子を測定することや血漿量の変化を直接測定し、運動実践による造血作用への影響や造血のメカニズムを明らかにすることも必要となろう。

RBCが全血液に占める容量の割合(Hct)は40%以上あることや、RBCの変形能や集合能も血液流動性に影響を及ぼすことが報告されている^{5,39)}。一方で血清脂質や血糖の容量は10%にも満たないことから、血液流動性に及ぼす影響度は、RBCのほうが大きいと考えられる^{4,35)}。しかしながら、LDL-CやTG、血糖は、RBCの凝集や変形能の低下(赤血球の硬化)を亢進し、血液流動性に対し、生理的(質的)な影響を及ぼすことが知られている^{5,39)}。また、凝固線溶系蛋白質の影響も否定できない^{7,16)}。したがって、血清脂質や凝固線溶系蛋白質のわずかな増加であっても、RBCに対し生理的作用が亢進し、間接的に血液流動性に影響を及ぼすことも考えられる。なお、WBC数にのみ交互作用が認められたが、WBC数が基準値内である場合は血液流動性にほとんど影響を及ぼさない²⁶⁾。したがって、食事群における血液流動性の改善がWBC数によるものだとはいえにくい。血液流動性に及ぼす各血液成分の影響度(貢献度)については、更に詳細な検討が必要である。

ま と め

肥満男性を対象にウォーキングを主とした運動介入を行った結果、総エネルギー消費量、身体活動量、歩数は増大したものの、エネルギー摂取量に変化がなかったことから、血液流動性に及ぼす運動実践のみの影響が明らかとなった。更に、運動群の体重減少量は食事群よりも小さかったもの

の、血液流動性は同様の変化が認められたことから、運動実践によって血液流動性を改善できることが示唆された。ただし、食事群より体重減少は小さかったものの運動群においても体重減少が伴ったことから、体重減少が血液流動性に及ぼす影響については今後の課題である。また、血液流動性の改善メカニズムについても、更なる検討が必要と考えられた。

謝 辞

本研究を実施するにあたり、筑波大学大学院人間総合科学研究科田中喜代次研究室の院生および研究員の皆様に多大なご協力を賜りましたことを感謝いたします。また、本研究に対して助成を賜りました財団法人明治安田厚生事業団に深謝いたします。

参 考 文 献

- 1) Adachi H, Sakurai S, Tanehata M, Oshima S, Taniguchi K (2000): Effect of long-term exercise training on blood viscosity during endurance exercise at an anaerobic threshold intensity. *Jpn Circ J*, **64**, 848-850.
- 2) Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ (1986): A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J Appl Physiol*, **60**, 2020-2027.
- 3) Borg GAV (1971): Perceived exertion: a note on "history" and methods. *Med Sci Sports*, **5**, 90-93.
- 4) Chien S, Usami S, Dellenback RJ, Brayant CA (1971): Comparative hemorheology - Hematological implications of species differences in blood viscosity - . *Biorheology*, **8**, 35-57.
- 5) Cicha I, Suzuki Y, Tateishi N, Maeda N (2001): Enhancement of red blood cell aggregation by plasma triglycerides. *Clin Hemorheol Microcirc*, **24**, 247-255.
- 6) Coppola L, Grassia A, Coppola A, Tondi G, Peluso G, Mordente S, Gombos G (2004): Effects of moderate-intensity aerobic program on blood viscosity, platelet aggregation and fibrinolytic balance in young and middle-aged sedentary subjects. *Blood Coagul Fibrinolysis*, **15**, 31-37.
- 7) El-Sayed MS (1996): Fibrinogen levels and exercise - Is there a relationship? - . *Sports Med*, **21**, 402-408.
- 8) El-Sayed MS (1998): Effects of exercise and training on blood rheology. *Sports Med*, **26**, 281-292.
- 9) Friedewald WT, Levy RL, Fredrickson DS (1972): Estimation of the concentration of low-density lipoprotein cholesterol in plasma, without use of the preparative ultracentrifuge. *Am J Clin Pathol*, **27**, 379-382.

- trifuge. *Clin Chem*, **18**, 499-502.
- 10) 香川芳子 (2002): 五訂版食品 80 キロカロリーガイドブック. 女子栄養大学出版部, 東京.
 - 11) Kamada H, Hattori K, Hayashi T, Suzuki K (2004): In vitro evaluation of blood coagulation activation and microthrombus formation by a microchannel array flow analyzer. *Thromb Res*, **114**, 195-203.
 - 12) Kario K (2007): Vascular damage in exaggerated morning surge in blood pressure. *Hypertension*, **49**, 771-772.
 - 13) 片山靖富, 中垣内真樹, 田中喜代次 (2005): MC-FAN を用いた血液流動性 (血液通過時間) 測定の再現性. *日本バイオレオロジー学会誌*, **19**, 100-106.
 - 14) 片山靖富, 中田由夫, 大河原一憲, 沼尾成晴, 松尾知明, 大藏倫博, 田中喜代次 (2006): 食事制限と運動実践による血清脂質の変化が血液流動性に及ぼす影響—減量前後の変化に着目して—. *肥満研究*, **12**, 225-233.
 - 15) 片山靖富, 中垣内真樹, 田中喜代次 (2007): 日差・月差変動からみた血液流動性測定の再現性. *日本ヘモレオロジー学会誌*, **10**, 13-20.
 - 16) Katayama Y, Horigome H, Murakami T, Takahashi-Igari M, Miyata D, Tanaka K (2006): Evaluation of blood rheology in patients with cyanotic congenital heart disease using the microchannel array flow analyzer. *Clin Hemorheol Microcirc*, **35**, 499-508.
 - 17) Kikuchi Y, Sato K, Ohki H, Kaneko T (1992): Optically accessible microchannels formed in a single-crystal silicon substrate for studies of blood rheology. *Microvasc Res*, **44**, 226-240.
 - 18) Kikuchi Y, Sato K, Mizuguchi Y (1994): Modified cell-flow microchannels in a single-crystal silicon substrate and flow behavior of blood cells. *Microvasc Res*, **47**, 126-139.
 - 19) Kikuchi Y, Da Q-W, Fujino T (1994): Variation in red blood cell deformability and possible consequences for oxygen transport to tissue. *Microvasc Res*, **47**, 221-231.
 - 20) Koenig W, Sund M, Filipiak B, Doring A, Lowel H, Ernst E (1998): Plasma viscosity and risk of coronary heart disease. Results from the MONICA-Augsburg cohort study, 1984 to 1992. *Arterioscler Thromb Vasc Biol*, **18**, 768-772.
 - 21) Kotani K, Inata A, Araga S (2007): Hemorheology by microchannel method in males with metabolic syndrome. *Arch Med Res*, **38**, 463-464.
 - 22) Kumari M, Marmot M, Rumley A, Lowe G (2005): Social, behavioral, and metabolic determinants of plasma viscosity in the Whitehall II study. *Ann Epidemiol*, **15**, 398-404.
 - 23) 李 美淑, 松浦義行, 田中喜代次 (1993): 中高年男性の体力年齢の評価. *体力科学*, **42**, 59-68.
 - 24) 李 美淑, 田中喜代次, 松浦義行, 早川洋子, 竹田正樹, 盧 昊成, 浅野勝巳 (1993): 冠動脈疾患を有する中高年男性の体力年齢と運動療法に伴う変化. *体力科学*, **42**, 371-379.
 - 25) Levine GN, O'Malley C, Balady GJ (1995): Exercise training and blood viscosity in patients with ischemic heart disease. *Am J Cardiol*, **76**, 80-81.
 - 26) Lichtman MA, Gregory A, Kearney E (1973): Rheology of leukocytes, leukocyte suspensions, and blood in leukemia. *J Clin Invest*, **52**, 350-358.
 - 27) Lowe GOD, Lee AJ, Price JE, Fowkes FGR (1997): Blood viscosity and risk of cardiovascular events: the Edinburgh Artery Study. *Br J Haematol*, **96**, 168-173.
 - 28) 中垣内真樹, 岡崎和伸, 田中喜代次 (2002): 長期にわたる運動の実践が循環器系疾患者の血液流動性に及ぼす影響. *デサントスポーツ科学*, **23**, 158-165.
 - 29) Nakamura E, Moritani T, Kanetaka A (1989): Biological age versus physical fitness age. *Eur J Appl Physiol*, **58**, 778-785.
 - 30) 中村秀也, 伊藤克之, 中澤八恵美, 木下藤寿, 川嶋彩加, 津原多恵, 渡邊 豊, 稲田貴子, 宮楠徳子, 志迎好, 本田達郎, 麦谷耕一, 大畑 博, 岩根幹能, 葭川明義, 茂原 治 (2003): 和歌山県健康センターにおける MC-FAN の臨床検討. *日本ヘモレオロジー学会誌*, **6**, 53-55.
 - 31) 新見英幸 (1989): ヘモレオロジーと血栓形成. 田中健蔵監修, 血栓形成・背景・治療, メディカルレビュー, 東京.
 - 32) 日本肥満学会肥満症診断基準検討委員会 (2000): 新しい肥満の判定と肥満症の診断基準. *肥満研究*, **6**, 18-28.
 - 33) 襦屋光男, 川原 貴 (1997): 長距離選手における血液性状の特徴: 総ヘモグロビン量と循環血液量からの検討. *体力科学*, **46**, 870.
 - 34) Reinhart WH, Dziekan G, Gobbels U, Myers J, Dubach P (1998): Influence of exercise training on blood viscosity in patients with coronary artery disease and impaired left ventricular function. *Am Heart J*, **135**, 379-382.
 - 35) Rosenson RS, Shott S, Lu L, Tangney CC (2001): Hypertriglyceridemia and other factors associated with plasma viscosity. *Am J Med*, **110**, 488-492.
 - 36) 佐藤 敦, 酒井宏水, 武岡真司, 土田英俊 (2007): 各種代用血漿剤に分散させたヘモグロビン小胞体 (人工赤血球) とその血液混合系のレオロジー特性. *日本ヘモレオロジー学会誌*, **10**, 3-12.
 - 37) 関 耕二, 角野博之, 村上正巳 (2003): MC-FAN を

(48)

- 用いて測定した血液流動性について. 臨床病理, **51**, 770-775.
- 38) Shaskey DJ, Green GA (2000): Sports hematology. Sports Med, **29**, 27-38.
- 39) Shiga T, Maeda N, Kon K, Sekiya M, Oka S (1979): Rheological and kinetic dysfunctions of the cholesterol-loaded, human erythrocytes. Biorheology, **16**, 363-369.
- 40) 田中喜代次, 大藏倫博 (2007): スマートダイエット～メタボリックシンドローム予防・改善のための減量指導～. 健康・体力づくり事業財団編, 東京.
- 41) 田中喜代次, 松浦義行, 中塘二三生, 中村栄太郎 (1990): 主成分分析による成人女性の活力年齢の推定. 体育学研究, **35**, 121-131.
- 42) 田中喜代次, 吉村隆喜, 前田如矢, 中塘二三生, 竹島伸夫, 浅野勝己, 竹田正樹, 熊崎泰仁, 渡邊 寛, 檜山輝男 (1991): CHD 危険因子に基づく健康評価尺度としての成人女性用の活力年齢の妥当性. 動脈硬化, **19**, 303-310.
- 43) 田中喜代次 (1993): 壮年者の老化度診断のための指数の作成. 松浦義行編, 数理体力学, 朝倉書店, 東京, 76-83.
- 44) Tanaka K, Takesima N, Kato T, Niihata S, Ueda K (1990): Critical determinants of endurance performance in middle-aged and elderly endurance runners with heterogeneous training habits. Eur J Appl Physiol, **59**, 443-449.
- 45) 運動所要量・運動指針の策定検討会 (2006): 健康づくりのための運動指針 2006.
- 46) Woodward M, Rumley A, Tunstall-Pedoe H, Tunstall-Pedoe H, Lowe GDO (2003): Dose sticky blood predict a sticky end? Associations of blood viscosity, haematocrit and fibrinogen with mortality in the West of Scotland. Br J Haematol, **122**, 645-650.

補遺 活力年齢および体力年齢の算出式

Supplementary Equation of vital age and physical fitness age.

成人男性用の活力年齢 (歳) = $15.16 \times (1.85 + 0.025X_1 + 0.011X_2 + 0.002X_3 + 0.002X_4 - 0.046X_5 - 0.013X_6 - 0.025X_7 - 0.008X_8 - 0.241X_9) + 0.188X_{10} + 39.7$

X_1 = 肩甲骨下部皮脂厚 (mm), X_2 = 収縮期血圧 (mmHg), X_3 = 総コレステロール (mg/dl), X_4 = 中性脂肪 (mg/dl), X_5 = 乳酸性閾値に相当する酸素摂取量 (ml/kg/分), X_6 = 乳酸性閾値に相当する心拍数 (拍/分), X_7 = 反復横とび (回/20秒), X_8 = 閉眼片足立ち (秒), X_9 = 1秒量 (l), X_{10} = 暦年齢 (歳)

成人男性用の体力年齢 (歳) = $-15.3 \times (0.021X_1 + 0.037X_2 + 0.020X_3 + 0.024X_4 + 0.017X_5 + 0.017X_6 + 0.008X_7 + 0.016X_8 - 2.69) + 0.12X_9 + 42.2$

X_1 = 最大酸素摂取量 (ml/kg/分), X_2 = 乳酸性閾値に相当する酸素摂取量 (ml/kg/分), X_3 = 左右握力の平均値 (kg), X_4 = 反復横とび (回/20秒), X_5 = 伏臥上体反らし (cm), X_6 = 立位体前屈 (cm), X_7 = 閉眼片足立ち (秒), X_8 = 垂直とび (cm), X_9 = 暦年齢 (歳)
