

減量を目的とした食事制限および 運動種目の違いが血液流動性に及ぼす影響

筑波大学 片山靖富
(共同研究者) 長崎大学 中垣内真樹
信州大学 岡崎和伸
東取手病院 山吹啓介
筑波大学 田中喜代次

Effects of Weight Reduction Through Dietary Restriction and Exercise Training on Blood Fluidity in Obese Middle-aged Women

by

Yasutomi Katayama

Graduate School of Comprehensive Human Sciences, University of Tsukuba

Masaki Nakagaichi

Research and Development Center for Higher Education, Nagasaki University

Kazunobu Okazaki

*Department of Sports Medicine, Research Center on
Aging and Adaptation, Shinshu University*

Keisuke Yamabuki

Higashi Toride Hospital

Kiyoji Tanaka

Institute of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba

ABSTRACT

The purpose of the present study was to investigate the influence of weight reduction by dietary restriction with / without exercise training on whole blood fluidity in obese women. Subjects were 80 obese middle-aged women who had followed four kinds of weight

reduction programs; diet only (Group D, $n = 31, 46.7 \pm 9.9$ yr), diet and walking (Group DW, $n = 25, 46.7 \pm 9.0$ yr), diet and resistance training (Group DR, $n = 14, 45.0 \pm 4.1$ yr), and diet and aqua exercise (Group DA, $n = 10, 54.9 \pm 9.0$ yr). Blood fluidity was defined as the time of $100 \mu\text{l}$ whole blood passage, which was measured by novel capillary-size channels (width; $7 \mu\text{m}$, depth; $4.5 \mu\text{m}$, length; $30 \mu\text{m}$, and number; 8736). Analyses of the data indicated that the time of whole blood passage was significantly shorted after weight reduction programs (Group D; -4.4 ± 8.6 s, Group DW; -7.4 ± 5.0 s, Group DR; -7.2 ± 10.7 s, Group DA; -7.5 ± 5.9 s). However, no significant differences existed in the time of whole blood passage among the 4 groups. Thus, it is impossible to improve blood fluidity with reduction of weight by dietary restriction. It cannot be denied that exercise habitation alone would improve blood fluidity because (1) occlusion of novel capillary-size channels observed in some woman of Groups DW, DR, and DA before the onset of our program disappeared after the program, and (2) the average time of whole blood passage because significantly shorter in these groups.

要 旨

本研究では、減量を目的とした食事制限および運動種目の違いが血液流動性に及ぼす影響について検討した。対象者は、中年肥満女性80名であり、そのうち31名 (46.7 ± 9.9 歳)は食事制限のみによる減量プログラムを受けた群 (D群)、25名 (46.8 ± 9.0 歳)は食事制限にウォーキングを併用した群 (DW群)、14名 (45.0 ± 4.1 歳)は食事制限にレジスタンストレーニングを併用した群 (DR群)、10名 (54.9 ± 9.0 歳)は食事制限に水中運動を併用した群 (DA群)であった。血液流動性は、人工的な毛細血管モデル (流路幅 $7 \mu\text{m}$, 流路深 $4.5 \mu\text{m}$, 流路長 $30 \mu\text{m}$ の微細な溝が8736本配置されたフィルタ)に、全血 $100 \mu\text{l}$ が流れるまでの時間 (血液通過時間)を測定することで求めた。血液通過時間は、各群とも減量処方前に比べ処方後において有意に短縮した (D群: -4.4 ± 8.6 秒, DW群: -7.4 ± 5.0 秒, DR群: -7.2 ± 10.7 秒, DA群: -7.5 ± 5.9 秒)が、有意な群間差は認められなかった。このことから、運動

種目によって血液流動性の改善は認められず、食事制限による減量のほうが、血液通過時間に与える影響は大きいということが示唆された。しかしながら、運動による血液流動性の効果も否定できない。運動を併用した群では、処方後の血液通過時間の測定において、白血球や血小板による毛細血管モデルの流路閉塞がほとんど見られなくなったことや、運動を併用した群をひとつの運動群とし、D群と血液通過時間について比較すると、運動群のほうが有意 ($P = 0.05$)に短縮していた。積極的に運動を実践することで、血液流動性が改善する可能性も示唆された。

緒 言

血管と血液の機能と構造を踏まえた流体力学をヘモレオロジーという^{1, 2)}が、このうち血液の流体力学的特性を血液流動性と定義する。血液流動性の低下は、循環器系疾患のリスクファクターになるといわれており³⁻⁵⁾、実際に循環器系疾患を有する者の血液粘度は高いことが認められている⁶⁾。Ernst et al.⁷⁾は、肥満者や運動不足の者

の血液粘度は高く、血液流動性は生活習慣と密接な関係にあると報告している⁷⁾。また、日常生活での身体活動量が低い者は、高血圧⁸⁾、動脈硬化⁹⁾、心疾患^{9, 10)}の罹患率が高いことや、運動には体力の維持、増進に効果がある¹¹⁾ことが明らかにされている。これらのことから、循環器系疾患の予防や健康の回復、維持、または増進のためには、運動を実践することが必要であると指摘されてきた。

ヘモレオロジーは、血液（流れるもの）と血管（流れる場所）の両者の機能と構造が重要になる。高血圧や動脈硬化、血管狭窄、心疾患、脳血管疾患における血管の機能や構造と運動との関係については明らかにされたが、血液のみの流動特性（血液流動性）についての先行研究は少なく、血液流動性と運動との関係が明らかにされたとはいえない。特に近年では、健康に関わりの深い運動と血液流動性との関係について検討され、循環器系疾患を有する中高齢女性¹²⁾や大学生^{13, 14)}を対象にした横断研究において、有酸素性運動は血液流動性を改善する可能性のあることが明らかにされている。しかしながら、これまでの先行研究の多くは横断的観察であることや、異なる運動種目が及ぼす影響、食事の変化が及ぼす影響については検討されていない。したがって、食事の変化や運動の習慣化が血液流動性にもたらす影響を縦断的に検討することは、循環器系疾患の予防、改善の効果を明らかにするためにも意義深い。そこで本研究では、血液流動性には食事制限や運動実践の継続による減量がいかなる影響を及ぼすのか、また血液流動性の改善が運動種目の違いによる影響を受けるかについて検討することとした。

1. 方法

1. 1 対象者

対象者は、日本肥満学会¹⁵⁾が定めた肥満の判定基準（body mass index; BMI 25以上）を満たす

成人肥満女性80名であった。対象者をそれぞれ食事制限のみの群（diet group; D群31名）、食事制限にウォーキングを併用する群（diet and walking group; DW群25名）、食事制限にレジスタンス運動を併用する群（diet and resistance training group; DR群14名）、食事制限に水中運動を併用する群（diet and aqua exercise group; DA群10名）の4群に分けた。群分けに際しては、対象者の希望を考慮しつつ、各群の年齢、身長、体重および体脂肪率の平均値には差が出ないように配慮した。なお、対象者には本研究の目的および測定内容を説明し、研究参加への承諾を得た。また、研究機関の倫理委員会の承認を得て本研究をおこなった。

1. 2 食事指導

1日の摂取エネルギーは約1200 kcal（1000～1500 kcal）とし、毎食の摂取カロリーが約400 kcal（300～500 kcal）となるように食事指導をおこない、対象者各自で食事を管理できるように導いた。対象者は、毎日の食事内容を記録するとともに、週1回、管理栄養士が食事記録を詳細にチェックし、改善すべき点を個別に指導した。また、最初の1ヵ月間は栄養補助食品としてマイクロダイエット（サニーヘルス社製）を、原則として毎夕食時に摂取するよう勧めた。マイクロダイエットは、1食約169～173 kcalと低エネルギー食品であるが、蛋白質、糖質、脂質、アミノ酸、ビタミン、ミネラルをバランスよく摂取できる特徴を有する¹⁶⁾。指導期間は3ヵ月であった。

1. 3 運動指導

DW群の運動プログラムは、1回90分間とし、15分間のウォーミングアップ、60分間のウォーキング、15分間のクールダウンから構成された。この内容の運動教室を週1回ないし2回指導し、教室以外でも自宅付近で同様の運動をおこなうよう指示した。運動強度は、有酸素性運動能力や脂

質代謝の期待ができる無酸素性代謝閾値 (anaerobic threshold; AT) 水準付近とし、自覚的運動強度 (ratings of perceived exertion; RPE) が 12~15 付近、AT に相当する心拍数あたり ± 20 拍/分を保つよう指導した。

DR 群の運動プログラムは、1 回 90 分間とし、15 分間のウォーミングアップ、60 分間のレジスタンス運動、15 分間のクールダウンから構成され、これを週 3 回指導した。レジスタンス運動の内容は、ベンチプレス、スクワット、レッグカール、レッグエクステンションを各 4~6 セット、1 セットにつき 10~12 回、最大筋力 (1RM) の 50~60% の負荷をかけておこなうよう指導した。このほかに、0.5~2 kg のダンベルを用いたアームカール、ラテラルレイズ、ダンベルフライによって上肢の筋力トレーニングや、自重を負荷によるクランチやプッシュアップなどによって体幹や上半身の筋力トレーニングをおこなった。

DA 群の運動プログラムは、1 回 90 分間とし、15 分間のウォーミングアップ、60 分間の水中運動、15 分間のクールダウンから構成され、これを週 2 回指導した。水中運動は室内プール (縦 20 m, 横 7 m, 水深 1.1 m, 水温 30℃, 室温 32℃) でおこなった。水中運動の内容は、水中でのウォーキング (大股歩行, 後ろ向き歩行, 横向き歩行, 身体をひねりながらの歩行などさまざまな動作を取り入れたウォーキング)、水中での筋力トレーニングをおこなった。運動強度は DW 群と同様に、RPE 12~15 付近、AT に相当する心拍数あたり ± 20 拍/分を保つよう指導した。なお、D 群に対しては減量処方終了後に、運動指導の機会を設けた。

1. 4 測定項目

① 身体的特徴

対象者の身体的特徴として、身長、体重を測定し、それらより BMI (kg/m^2) を算出した。体脂肪率は、オムロン社製インピーダンス計 (HBF-

300) を用いて測定した。

② 血液流動性

対象者には採血の前日から激しい運動を控えるよう指示し、12 時間以上の絶食および、採血当日は 15 分程度の安静座位後、肘正中皮静脈により採血した。抗凝固剤としてヘパリン (ノボ・ヘパリン 1000 単位/ml) 0.1ml (試料の 5% 量) を 2ml の真空採血管にあらかじめ注入し、そこに採取した血液 1.9ml を加えた。血液流動性の測定には、細胞マイクロレオロジー測定装置 (MC-FAN; 日立原町電子工業社製)¹⁷⁾ を用い、全血通過時間を測定した。この測定装置は、マイクロチャンネルアレイ (bloody6-7; 流路の深さ 4.5 μm , 流路の幅 7 μm , 流路の長さ 30 μm , 流路本数 8736 本) を光学研磨したガラス基盤に圧着させて毛細血管モデルを作り出し、血液標本 100 μl が 20 cm 水中圧差で通過する時間を計測するものである。全血通過時間は、各測定の前日に測定した生理食塩水 100 μl の通過時間を 12 秒として補正計算した値で示した¹⁷⁻¹⁹⁾。

③ 血液学および血液生化学検査項目

血液流動性を測定する血液試料を採取する際に、血液学および血液生化学検査を実施するための血液標本を採取した。血液学および血液生化学検査の測定項目は、赤血球、白血球、血小板、ヘモグロビン (hemoglobin; Hb)、ヘマトクリット (hematocrit; Hct)、平均赤血球容積 (mean corpuscular volume; MCV)、平均赤血球血色素量 (mean corpuscular hemoglobin; MCH)、平均赤血球血色素濃度 (mean corpuscular hemoglobin concentration; MCHC)、総蛋白、総コレステロール、HDL コレステロール (high-density lipoprotein cholesterol; HDLC)、LDL コレステロール (low-density lipoprotein cholesterol; LDLC)、中性脂肪であった。LDLC については Friedewald らの式²⁰⁾ により算出した。

1. 5 統計処理

減量処方開始前と後における身体的特徴, 血液通過時間, 血液学および血液生化学検査項目の測定値について群間差を検討するために, 一元配置の分散分析を適用し, 有意差の認められた項目には Scheffe の多重比較検定を施した. 群内における処方前後の測定値の比較には, 対応のある t 検定を用いた. また, 血液通過時間における処方前後の群間差については, 介入 (D 群, DW 群, DR 群, DA 群) と時間 (pre, post) を要因とする反復測定二元配置の分散分析を施し, 交互作用の有無を検討した. さらに, 2 変数間の相関関係は, Pearson の積率相関係数によって表した. 測定値はすべて平均値 ± 1 標準偏差で表した. 統計的有意水準は 5% 未満に設定した.

2. 結果

各群における対象者の身体的特徴とその変化を表 1 に, 血液学および血液生化学検査項目と血液通過時間の処方前後の変化を表 2 に示した. 各群とも処方後の体重, 体脂肪率, BMI は, 処方前と比べて処方後において有意に減少したが, 処方量に有意な群間差はみられなかった. また, 図 1 よ

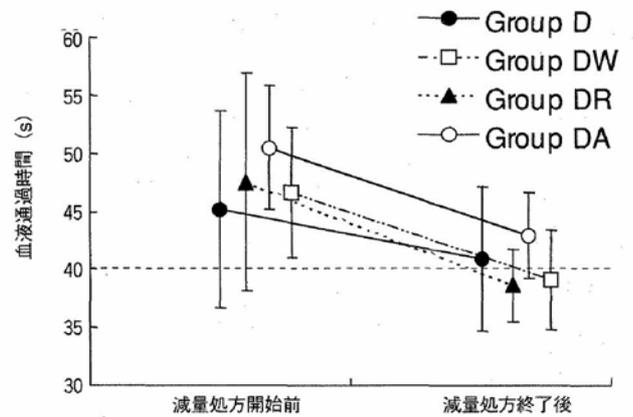


図 1 3 ヶ月間の減量処方への継続的参加に伴う血液通過時間の変化

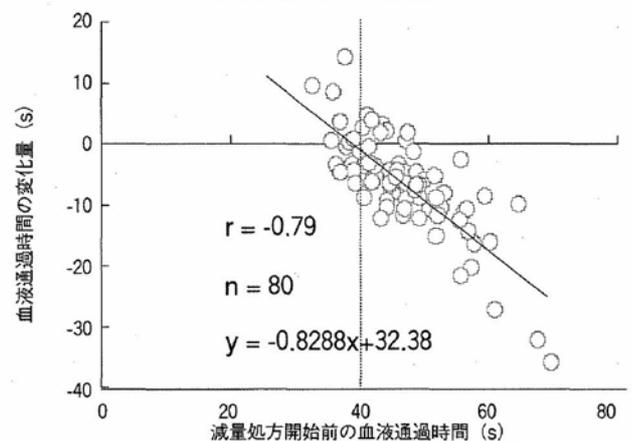


図 2 減量処方開始前の血液通過時間と 3 ヶ月間におけるその変化量との関係

り血液通過時間は, 各群とも処方前に比べ処方後において有意に短縮したが, 介入 (D 群, DW 群, DR 群, DA 群) と時間 (pre, post) における交互作用は認められなかった. ただし, 運動を併用

表 1 3 ヶ月間の減量処方への継続的参加に伴う対象者の身体的特徴の変化

		Group D (n=31)	Group DW (n=25)	Group DR (n=14)	Group DA (n=10)	ANOVA
年齢 (yr)		46.7 ± 9.9	46.8 ± 9.0	42.1 ± 7.7	54.9 ± 9.0	DA<DR
身長 (cm)		153.8 ± 6.9	155.2 ± 5.5	157.5 ± 5.2	154.7 ± 4.2	n.s.
体重 (kg)	処方開始前	66.5 ± 7.3	66.6 ± 7.4	70.5 ± 8.0	66.8 ± 5.3	n.s.
	処方終了後	60.2 ± 6.8	58.4 ± 7.1	60.4 ± 6.3	59.4 ± 4.3	n.s.
	変化量	-6.3 ± 2.8 *	-8.2 ± 3.2 *	-10.1 ± 3.9 *	-7.4 ± 2.6 *	D<DR
BMI	処方開始前	28.1 ± 2.7	27.6 ± 2.0	28.4 ± 2.2	27.9 ± 1.6	n.s.
	処方終了後	25.5 ± 2.7	24.5 ± 2.9	24.4 ± 2.2	24.9 ± 1.6	n.s.
	変化量	-2.6 ± 1.1 *	-3.1 ± 2.4 *	-4.0 ± 1.3 *	-3.0 ± 1.1 *	D<DR
体脂肪率 (%)	処方開始前	35.2 ± 3.8	35.4 ± 3.1	36.0 ± 2.4	36.3 ± 3.2	n.s.
	処方終了後	25.2 ± 8.4	30.3 ± 3.8	29.3 ± 3.8	32.5 ± 3.5	D<DW, DA
	変化量	-10.1 ± 7.3 *	-5.2 ± 2.5 *	-6.7 ± 2.4 *	-3.8 ± 1.9 *	DW, DA<D

Group D ; diet group, Group DW ; diet + walking group, Group DR ; diet + resistance training group, Group DA ; diet + aqua exercise group

BMI ; body mass index

*; 減量処方前後で有意な変化 (p<0.05)

ANOVA ; 一元配置の分散分析および多重比較検定

表2 3カ月間の減量処方への継続的参加に伴う血液学・血液生化学検査項目と血液通過時間の変化

			Group D (n=31)	Group DW (n=25)	Group DR (n=14)	Group DA (n=10)	ANOVA
総蛋白	(mg/dl)	処方開始前	7.4 ± 0.3	7.7 ± 0.4	7.7 ± 0.4	7.6 ± 0.5	n.s.
		処方終了後	7.4 ± 0.5	7.5 ± 0.5	7.5 ± 0.4	7.6 ± 0.4	n.s.
		変化量	-0.1 ± 0.4	-0.2 ± 0.4 *	-0.2 ± 0.3	0.0 ± 0.4	n.s.
総コレステロール	(mg/dl)	処方開始前	214.7 ± 24.7	210.8 ± 31.6	228.7 ± 37.6	219.8 ± 26.8	n.s.
		処方終了後	204.7 ± 26.1	193.1 ± 26.4	209.6 ± 37.0	203.0 ± 19.6	n.s.
		変化量	-10.0 ± 19.5 *	-19.1 ± 24.5 *	-17.7 ± 23.9 *	-16.8 ± 23.3 *	n.s.
HDLC	(mg/dl)	処方開始前	62.1 ± 16.8	65.0 ± 14.9	66.7 ± 11.9	64.8 ± 17.3	n.s.
		処方終了後	59.0 ± 13.9	63.3 ± 14.1	63.1 ± 12.6	64.9 ± 12.5	n.s.
		変化量	-3.0 ± 7.3 *	-1.6 ± 8.5	-3.6 ± 8.0	0.1 ± 8.1	n.s.
LDLC	(mg/dl)	処方開始前	130.0 ± 23.4	141.3 ± 35.7	122.0 ± 21.8	131.1 ± 35.5	n.s.
		処方終了後	126.5 ± 22.4	129.5 ± 32.4	116.6 ± 20.2	121.7 ± 22.0	n.s.
		変化量	-3.6 ± 19.3	-11.7 ± 18.8 *	-5.4 ± 19.9	-9.4 ± 23.1	n.s.
中性脂肪	(mg/dl)	処方開始前	113.3 ± 62.6	112.2 ± 51.0	110.6 ± 54.6	119.4 ± 111.0	n.s.
		処方終了後	96.2 ± 48.8	83.7 ± 49.2	66.7 ± 35.4	84.0 ± 34.1	n.s.
		変化量	-17.0 ± 40.9 *	-28.6 ± 56.6	-43.9 ± 38.3	-35.4 ± 106.1	n.s.
白血球	(×10 ⁴ /μl)	処方開始前	5629.0 ± 1150.0	5720.0 ± 1146.7	5623.5 ± 1416.7	5880.0 ± 1353.8	n.s.
		処方終了後	5729.0 ± 1748.8	5504.0 ± 1210.0	5317.7 ± 1352.4	5420.0 ± 1461.2	n.s.
		変化量	100.0 ± 1364.8	-216.0 ± 1098.4	-305.9 ± 872.1	-460.0 ± 1157.8	n.s.
赤血球	(×10 ⁴ /μl)	処方開始前	447.3 ± 36.3	461.8 ± 35.6	459.7 ± 38.1	438.7 ± 25.7	n.s.
		処方終了後	433.7 ± 43.6	444.8 ± 32.4	432.4 ± 43.0	432.8 ± 20.7	n.s.
		変化量	-13.7 ± 18.8 *	-17.0 ± 31.4 *	-27.4 ± 23.7	-5.9 ± 22.1	n.s.
ヘマトクリット	(%)	処方開始前	40.1 ± 3.5	40.5 ± 3.0	39.8 ± 2.7	41.7 ± 2.3	n.s.
		処方終了後	39.4 ± 4.3	39.2 ± 3.4	38.5 ± 3.7	40.9 ± 2.1	n.s.
		変化量	-0.7 ± 2.0 *	-1.3 ± 2.6 *	-1.3 ± 2.2	-0.8 ± 2.3	n.s.
ヘモグロビン	(g/dl)	処方開始前	13.1 ± 1.4	13.2 ± 1.1	13.1 ± 1.0	13.5 ± 0.8	n.s.
		処方終了後	12.9 ± 1.4	13.0 ± 1.0	12.6 ± 1.2	13.4 ± 0.7	n.s.
		変化量	-0.2 ± 0.5 *	-0.2 ± 0.6	-0.5 ± 0.6	-0.1 ± 0.7	n.s.
MCV	(fl)	処方開始前	89.9 ± 6.4	88.0 ± 5.1	86.8 ± 5.2	95.2 ± 1.9	DR, DW<DA
		処方終了後	91.1 ± 6.2	88.2 ± 4.5	89.2 ± 4.8	94.4 ± 2.0	DW<DA
		変化量	1.2 ± 2.4 *	0.2 ± 1.9 *	2.4 ± 2.5	-0.8 ± 1.5	DA<DR
MCH	(Pg)	処方開始前	29.4 ± 2.7	28.6 ± 2.2	28.6 ± 1.0	30.7 ± 1.1	n.s.
		処方終了後	29.7 ± 2.4	29.2 ± 1.9	29.2 ± 2.1	30.9 ± 1.0	n.s.
		変化量	0.3 ± 0.8 *	0.6 ± 0.9 *	0.6 ± 0.7	0.2 ± 0.5	n.s.
MCHC	(g/dl)	処方開始前	32.7 ± 1.2	32.5 ± 1.2	32.9 ± 0.7	32.3 ± 0.7	n.s.
		処方終了後	32.7 ± 1.1	33.1 ± 1.3	32.7 ± 0.8	32.7 ± 0.7	DR<DW
		変化量	0.0 ± 1.1	0.6 ± 1.0 *	-0.2 ± 0.7	0.4 ± 0.8	DR<DW
血小板	(×10 ⁴ /μl)	処方開始前	28.2 ± 6.2	27.9 ± 6.1	26.8 ± 6.3	27.5 ± 5.2	n.s.
		処方終了後	26.0 ± 6.6	25.1 ± 4.5	23.6 ± 5.5	25.5 ± 4.4	n.s.
		変化量	-2.2 ± 2.7 *	-2.8 ± 4.3 *	-3.2 ± 3.3	-2.0 ± 5.0	n.s.
血液通過時間	(s)	処方開始前	45.2 ± 8.5	46.6 ± 5.6	46.7 ± 8.8	50.8 ± 5.3	n.s.
		処方終了後	40.9 ± 6.2	39.1 ± 4.3	39.5 ± 3.6	43.3 ± 3.7	n.s.
		変化量	-4.4 ± 8.6 *	-7.4 ± 5.0 *	-7.2 ± 10.7 *	-7.5 ± 5.9 *	n.s.

Group D ; diet group, Group DW ; diet + walking group, Group DR ; diet + resistance training group, Group DA ; diet + aqua exercise group
 HDLC ; high-density lipoprotein cholesterol, LDLC ; low-density lipoprotein cholesterol, MCV ; mean corpuscular volume,
 MCH ; mean corpuscular hemoglobin, MCHC ; mean corpuscular hemoglobin concentration.

* ; 減量処方前後で有意な変化 (p<0.05), ANOVA ; 一元配置の分散分析および多重比較検定

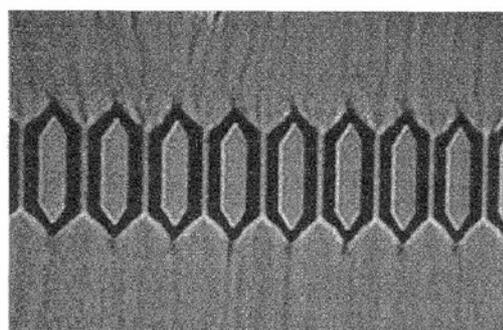


図3-a 血液標本が毛細血管モデルを流れる様子 (流路の閉塞が起きていない例)

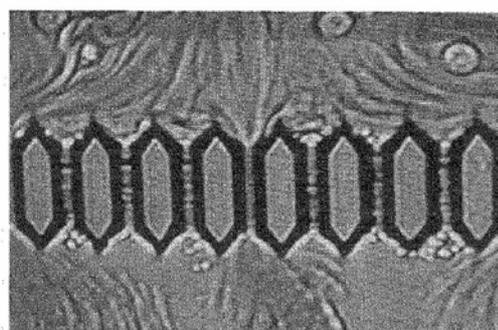


図3-b 血液標本が毛細血管モデルを流れる様子 (流路の閉塞が起きている例)

表3 血液通過時間の変化量と有意な相関関係が認められた血液成分の変化量

	相関係数 (n=80)
Δ総蛋白 (mg/dl)	0.32
Δ総血球数 ($\times 10^4$ /dl)	0.34
Δヘモグロビン (g/dl)	0.30
Δヘマトクリット (%)	0.25

Δ; 変化量 (減量処方開始前の値-処方終了後の値) P<0.05

したDW群, DR群, DA群はそれぞれ7秒以上の短縮, 食事制限のみのD群では4.4秒の短縮であった(表2). 処方前の血液通過時間において, 毛細血管モデルの流路の閉塞(図3-b)が顕著になる50秒以上を示した者はD群で5名, DW群で7名, DR群で5名, DA群で5名であった. 処方後には, D群で4名, DW, DR, DA群の3群とも0名に減少し, 運動を併用した群では全員が改善した(図3-bのような毛細血管モデルの流路の閉塞はほとんど認められなかった).

処方前に血液通過時間が遅かった対象者ほど, 処方後に大きな改善がみられ, その多くが40秒付近に近づいた(図2). 血液通過時間の変化量は, 総蛋白, 赤血球, Hb, Hctの減少量と有意な相関関係がみられた(表3). 図3は, 血液が毛細血管モデルを流れる様子である. 図3-aは, 流路の閉塞を起こさず血液が流れ, 血液通過時間が短い例を示した. 図3-bは, 白血球や血小板の凝集による流路閉塞が起き, 血液の流れが滞り, 血液通過時間が長い例である.

3. 考 察

本研究では, 中高齢の肥満女性を対象とし, 毛細血管モデルに基づいて測定した血液流動性は, 食事制限や運動実践の継続による減量がいかなる影響を及ぼすかについて検討した.

血液流動性は, 血液中の構成成分の機能と構造によって変化する. つまり, 血液流動性は赤血球の量, 赤血球の変形能, 赤血球の集合形成, 血小板の凝集, 血漿粘度などによって決まるとされている^{21, 22)}. 赤血球は血球の中でも数や体積を占

める割合が高いことから, 血液流動性に最も影響を与えている²²⁾. その赤血球に関するHb, MCV, MCHCは, 赤血球変形能と関係があり, HbおよびMCHCが高まると赤血球変形能が低下する^{21, 23)}ことや, MCVの増加によって赤血球変形能が亢進する^{13, 24)}ことが認められている. また, 岡崎ら²⁴⁾は本研究と同様の装置で測定し, 血液通過時間とHbやMCVとの間に有意な相関関係があったことを明らかにしている. 本研究においても, Hbの変化量と血液通過時間の変化量とに有意な相関関係が認められた(表3)ことから, 赤血球変形能の増加が血液通過時間を減少させたと推察できる. 白血球は, 赤血球よりも数は少ないが, サイズは赤血球よりも大きく直径10~15 μ mである. 5 μ mのフィルタを用いた速度論解析によると, フィルタ通過の全抵抗のうち白血球が占める割合は, 赤血球, 血漿に比べて最も高く, 白血球の微小循環における流動特性も重視されている^{25, 26)}. 血液通過時間の測定中における毛細血管モデルの流路閉塞は, 白血球と血小板によって起こっていたが, 本研究では白血球数と血液通過時間に有意な相関関係は認められなかった. これらのことから, 白血球数よりも白血球の変形能が, 血液通過時間に影響を与えたと推察される. 血小板は, 血球の中で最も小さく, 形態による血液流動性への影響はないように考えられるが, 血小板が活性化すると凝集し血流を妨げることになる. 実際に, 毛細血管モデルの流路閉塞には, 血小板の凝集がみられたことから, 血液流動性に与える血小板の影響は無視できない. 血液通過時間と血小板数との関係が認められなかったのは, 血小板の数よりも, 血小板の活性の程度が影響していたのではないかと思われる.

血液流動性に影響を与える要因として挙げられている血漿粘度は, 血漿蛋白や脂質の濃度によって決定される. 血液に含まれる蛋白は, 主にアルブミン, グロブリン, フィブリノーゲンである.

このうち、グロブリン、フィブリノーゲンは高分子蛋白であり血液流動性に影響を与えるといわれている^{27, 28)}。さらに、フィブリノーゲンは、血液凝固にかかわる重要な機能を持つ以外にも、赤血球の変形能を低下させたり、赤血球同士を集合させたりする作用を持ち、血液流動性を低下させる^{21, 29)}。本研究では、血液通過時間の変化量とこれら総蛋白の減少量との間に有意な相関関係がみられた(表3)ことから、蛋白質、特にグロブリンやフィブリノーゲンが血液流動性に影響を与えると推察される。他に血漿粘度に影響を与えるものは脂質である。血漿中の脂質が増加すると血漿粘度を上昇させ、血液流動性が低下するということは推察できるが、LDLCや中性脂肪は、赤血球の集合を亢進し血液流動性を低下させると報告されている³⁰⁾。本研究では、血液通過時間の減少量と脂質の減少量との間に有意な差は認められなかったため、脂質の影響は小さかったと推察される。

次に、血液通過時間、総蛋白、赤血球、Hb、Hctの変化に対して、食事制限による減量が及ぼす影響力と、食事制限に運動の実践を加えた減量が及ぼす影響力の違いを検討するため、4群間の比較をおこなった。表2が示すように血液通過時間の減少量において、有意な群間差は認められなかった。運動実践を併用する、しないに関わらず、特に、減量処方開始前に血液流動性が低かった対象者ほど、処方終了後には血液流動性が大きく改善し、減量に伴う血液流動性の変化は、全体として望ましい方向への変化であった。よって、血液流動性の改善は、運動による効果よりも、食事制限による減量の効果が大きいことが示唆された。なお、血液通過時間の群間差は統計的に有意でなかったが、運動を併用した群においてD群よりも血液流動性の変化量が大きいことから、血液流動性に与える運動の効果も考えられる。血液通過時間が50秒を超えると、図3-bのようにMC-

FANの毛細血管モデルの流路閉塞が起り始める^{19, 31)}。これは、変形しにくく微小循環を流れにくい白血球が流路を塞いだり、血小板が凝集することで流路を塞いだりすることが原因で、映像からも確認できる。処方開始前に50秒を超えていた例は、D群で5名、DW群で7名、DR群で5名、DA群で5名であったが、処方終了後では、運動を併用したDW群、DR群、DA群ともに0名に減少し、D群では4名が50秒を超えたままであった。つまり、運動を併用した3群では、処方終了後に流路閉塞がほとんど認められなくなった。運動を併用したDW、DR、DA群を運動群(n=49)とし、D群と血液通過時間の変化量について比較すると、D群の変化量に比べて運動群の変化量のほうが有意に大きいことが認められた。このことから、運動が血液流動性を改善する可能性があると考えられる。しかしながら、毛細血管モデルの流路閉塞を起こす白血球、血小板をはじめ、赤血球、総コレステロールなど血液組成において4群間に有意な差は認められなかった。血球数や総コレステロール濃度には差がなかったことから、運動が白血球の変形能、血小板の活性による凝集の程度に何らかの影響を与え、その結果として血液流動性が改善した可能性が考えられる。また、運動種目の違いによる群間差も認められなかったが、血液流動性の改善には食事制限のみならず、積極的に運動を実践し、身体活動量を増やすことが大切だと考えられる。中垣内ら¹²⁾の研究によると、数年以上健康のために運動を継続している者では、血液流動性が良くなっている。健康の維持、増進のための運動が、血液流動性に与える明らかな効果の出現は、3ヵ月間の介入では短く、数年を要することも考えられる。また、運動選手の血液流動性は良いことが報告されている^{13, 14)}。Levineら³²⁾は、虚血性心疾患患者を対象に、最大心拍数の60~80%の運動負荷での有酸素性運動を10週間おこなったところ、心肺機

能の向上はみられたが血液流動性は改善せず，心肺機能回復のリハビリテーション的な運動では効果がないと考察している．運動のみの効果によって血液流動性を改善するためには，運動選手がおこなうような高強度のトレーニングを実践する必要があるのかもしれない．今後，介入期間を延長したり，強度の異なる運動の影響を調べたりすることで，血液流動性に及ぼす効果をみていく必要があるだろう．

結 論

血液流動性の改善には，食事制限によって食習慣を改善し減量することが重要であり，運動種目による差はみとめられないことが示唆された．なお，運動のみの効果も否定できず，食事制限による減量だけでなく，積極的に運動を実践することで，血液流動性はさらに改善する可能性が示唆された．また，血液流動性は，総蛋白，赤血球，Hb，Hctによる影響を受けていることが明らかになった．

謝 辞

稿を終えるにあたり，本研究に対して研究助成を賜りました石本記念デサントスポーツ科学振興財団に，心より感謝申し上げます．

文 献

- 1) 磯貝行秀：レオロジー，その病態・治療に持つ意義，臨床検査 **44**, 123-125 (2000)
- 2) 菅原基晃，前田信治：血液のレオロジーと血流，コロナ社，東京，p1 (2003)
- 3) 磯貝行秀：血液レオロジーと疾病の成因，日本レオロジー学会誌 **12**, 214-216 (1984)
- 4) 磯貝行秀：血液レオロジーと臨床的意義，病態生理 **6**, 814-818 (1987)
- 5) 池本卓：血栓症疾患と Hyperviscosity, 磯貝行秀 (編)，血液レオロジー最新の進歩，メディカルレビュー社，東京，438-446 (1992)
- 6) Zannad F., Stoitz J.F.: Blood rheology in arterial hypertension, *J. Hyper* **10**, suppl. 5, S69-S78 (1992)
- 7) Ernst E., Weihmayr T., Schmid M., Baumann M., Matrai A.: Cardiovascular risk factors and hemorheology - physical fitness, stress, and obesity - , *Atherosclerosis* **59**, 263-269 (1986)
- 8) Seals D.R., Hagberg J.M., Hurley B.F., Ehsani A.A., Holloszy J.O.: Effects of endurance training on glucose tolerance and plasma lipid levels in older men and women, *JAMA* **252**, 645-649 (1984)
- 9) Dawber T.D.: The Framingham study, Harvard Univ. Press, (1980)
- 10) Paffenbarger R.S.Jr., Hyde R.T., Wing A.L., Steinmentz C.H.: A natural history of athleticism and cardiovascular health, *JAMA* **252**, 491-495 (1984)
- 11) Blair S.N., Kohl H.W.III., Barlow C.E., Paffenbarger R.S.Jr., Gibbons L.W., Macera C.A.: Changes in physical fitness and all-cause mortality, *JAMA* **273**, 1093-1098 (1995)
- 12) 中垣内真樹，岡崎和伸，田中喜代次：長期にわたる運動の実践が循環器系疾患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 (2002)
- 13) 岡崎和伸，浅野勝己，菊池佑二：持久性トレーニングの全血流動性に及ぼす影響，ヘモレオロジー研究会誌 **1**, 54-64 (1998)
- 14) 岡崎和伸，水野康，浅野勝己，菊池佑二：持久性トレーニングによるMC-FAN全血通過時間の短縮について，日本ヘモレオロジー学会誌 **6**, 7-12 (2003)
- 15) 松澤佑二，井上修二，池田義雄，坂田利家，齋藤康，佐藤祐造，白井厚治，大野誠，宮崎滋，徳永勝人，深川光司，山之内国男，中村正：新しい肥満の判定と肥満症の診断基準，肥満研究 **6**, 18-28 (2000)
- 16) 大蔵倫博，重松良祐，中田由夫，坂井智明，李東俊，田中喜代次：減量補助食品を使用した低エネルギー食療法と有酸素性運動が内臓脂肪型肥満女性の体組成，体脂肪分布，体力に及ぼす影響，体育学研究 **48**, 269-279 (2003)
- 17) Kikuchi Y., Sato K., Mizuguchi Y.: Modified cell-flow microchannels in a single-crystal silicon substrate and flow behavior of blood cells, *Microvasc. Res.* **47**, 126-139 (1994)
- 18) Kikuchi Y., Okazaki K.: Variations in whole blood fluidity through capillaries among health subjects including gender difference - a hypothesis for relation between whole blood fluidity and hematocrit - , *Hemorheol Related Res.* **3**, 15-23 (2000)
- 19) 菊池佑二，岡崎和伸：MC-FANによる全血通過時

- 間の測定と健常者におけるその分布, ヘモレオロジー研究会誌 1, 53-57 (1998)
- 20) Friedewald W.T., Levy R.I., Fredrickson D.S.: Estimation of the concentration of low-density lipoprotein cholesterol in plasma, without use of the preparative ultracentrifuge, *Clin. Chem.* 18, 499-502 (1972)
- 21) 志賀健: 赤血球のレオロジー, 日本生理学会 44, 187-198 (1982)
- 22) 磯貝行秀: 血液レオロジー, 医用電子と生体工学 18, 43-52 (1980)
- 23) Maeda N., Shiga T.: Velocity of oxygen transfer and erythrocyte rheology, *News Physiol Sci.* 9, 22-27 (1994)
- 24) 岡崎和伸, 浅野勝己, 菊池佑二: 毛細血管モデルによる全血流動性とマラソン走行パフォーマンスの関係, 磯貝行秀 (編), 血液レオロジー—バイオレオロジーと臨床の接点—, メディカルレビュー社, 東京, 8-16 (1998)
- 25) Cook A.M., Evans S.A., Lane I.F., Jones J.G.: Leucocyte filterability - comparing diluted with undiluted blood -, *Br. J. Haematol* 102, 952-956 (1998)
- 26) Jones J.G., Adams R.A., Cook M.A., Evans S.A.: Examination of rheological profile for blood using micropore filters, *Br. J. Haematol* 104, 100-107 (1999)
- 27) Usami S.: Development of hemorheology - perspective in instrumentation development -, *Clin. Hemorheol Microcirc* 23, 77-83 (2000)
- 28) Somer T, Meiselmant H.J.: Disorders of blood viscosity, *Ann. Med.* 25, 31-39 (1993)
- 29) 志賀健: 血液の一般的性質, 星猛, 伊藤正男 (編), 新生理学体系, 医学書院, 東京, 1-15 (1990)
- 30) Cicha I., Suzuki Y., Tateishi N., Maeda N.: Enhancement of red blood cell aggregation by plasma triglycerides, *Clin. Hemorhol Microcirc.* 24, 247-255 (2001)
- 31) 菊池佑二, 高橋千栄子, 磯野厚子: MC-FANによる全血通過時間の測定と男女間の比較, ヘモレオロジー研究会誌 2, 25-28 (1999)
- 32) Levine G.N., O'Malley C., Balady G.J.: Exercise training and blood viscosity in patients with ischemic heart disease, *Am. J. Cardiol.* 76, 80-81 (1995)