

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 11 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21500624

研究課題名（和文） 高齢者における水中運動の中心動脈伸展性に対する効果

研究課題名（英文） Effect of water exercise on central arteries distensibility in elderly subjects

研究代表者

鯉坂 隆一（AJISAKA RYUICHI）

筑波大学・体育系・教授

研究者番号：70151058

研究成果の概要（和文）：加齢に伴い大動脈などの中心動脈は硬くなり伸展性が低下する。中心動脈伸展性の低下は心筋梗塞などの心血管疾患の危険因子の1つである。運動は中心動脈伸展性を改善するとされているが、高齢者に人気の水中運動の中心動脈伸展性に対する効果は不明であり、それに対する水温の影響も不明である。本研究の結果、温浴およびプール水温での水中運動よりも 38℃ 水温における水中運動が高齢者の中心動脈伸展性の改善により有効であることが示唆された。

研究成果の概要（英文）：The central arteries are stiffened and their distensibility decreases with aging. Decrease in central arteries distensibility is one of the risk factors of cardiovascular diseases such as myocardial infarction. It has been reported that exercise improves decrease in central arteries distensibility. However, the effect of water exercise, which is popular in elderly people, on central arteries distensibility has not been investigated so far. Moreover, influence of water temperature to the effect of water exercise has not been unclear. The present study showed that warm water immersion or water exercise in 30℃ water temperature had no significant effects on central arteries distensibility, while, water exercise in 38℃ water temperature improved central arteries distensibility significantly in elderly subjects.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	2,700,000	810,000	3,510,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学・スポーツ科学

キーワード：水中運動、動脈伸展性、中心動脈、温熱、高齢者

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 加齢に伴い大動脈およびその第一分枝である太い動脈（中心動脈）の伸展性は低下する。最近、中高齢者における増加が懸念され

ている肥満、脂質異常症、糖尿病などは、動脈伸展性の低下をさらに促進すると考えられる。中心動脈の伸展性の低下は収縮期血圧の上昇および拡張期血圧の低下、すなわち脈

圧の増加をもたらす。高齢者においては高血圧症の罹患頻度が高いが、高齢になって発症する収縮期高血圧には中心動脈の伸展性低下が関与すると考えられる。収縮期高血圧および拡張期血圧の低下はいずれも冠動脈疾患の罹患リスクを高めることが知られている。わが国における高齢人口は総人口の20%を越え超高齢社会が到来していることから収縮期高血圧罹患率は益々増加すると考えられる。したがって、高齢者の健康寿命を延長し生活の質を向上させるためには中心動脈伸展性の低下を改善し収縮期高血圧の罹患率を減少させて心疾患や脳血管疾患による日常生活活動の制限を予防することが重要である。

(2) 中高齢者において定期的な全身持久性運動が中心動脈伸展性の改善に有効であることが知られている。すなわち、日常の身体活動量が多いと加齢に伴う中心動脈伸展性の低下が抑制され、短期間の比較的低強度の運動トレーニングにより中心動脈の伸展性は改善する。加齢に伴う中心動脈伸展性の低下は主に血管壁の弾性線維の変性などの器質的変化により生じると考えられている。短期間の運動トレーニングによって弾性線維の変性が回復することは考えにくいので、運動の効果には他の因子が関与していると考えられる。急性の運動において一過性の動脈伸展性の上昇が認められることは、運動の効果が機能的因子により生じることを支持する。高齢者においても運動トレーニングにより交感神経の活動度が低下し、血管内皮機能が改善する可能性があることから、運動の中心動脈伸展性に対する効果はこれらを介して血管平滑筋の緊張度が低下することによって考えられる。

(3) 水中運動は体重による負担が軽減され、転倒による怪我や骨折のリスクが低いため肥満者の運動として適しており、整形外科的問題を有する高齢者にも人気が高い運動である。すなわち、水の浮力や抵抗を利用して有酸素運動として、また関節痛や腰痛の改善やリハビリテーションとして多くの人に実践され、最近では低強度のレジスタンス運動としての水中運動の効果も報告されている。しかし、前述のごとく、陸上持久性運動での中心動脈伸展性改善効果は明らかになっているが、水中運動においてはこの課題に関する研究は無いのが現状であり、水中運動が中心動脈伸展性に及ぼす影響および陸上運動との差異については全く分っていない。

(4) 最近、温熱による血管拡張に血管内皮から分泌される一酸化窒素が関与する可能性が報告されており、心疾患患者においても温熱療法により末梢血管内皮機能が改善することが報告されている。温熱が血管内皮機能を改善するとすれば、それは高齢者における

中心動脈伸展性の低下にも好影響を与える可能性がある。また、高齢者における水中運動の中心動脈伸展性に対する効果は水温によって異なる可能性が予想され、温水での運動において改善効果が得られる可能性がある。しかし、運動も体温上昇を伴うので温水条件での体温上昇の上乗せの効果は適度であれば有効であることが予想されるが過度になると逆に悪影響をもたらす可能性もある。さらに、中心動脈伸展性は血圧に影響されるので、温熱による変化には温熱自体の効果に加え、血管拡張を介する血圧低下の効果も考慮する必要がある。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、健常な高齢男性において水中運動の中心動脈伸展性に及ぼす効果を検討することである。まず、陸上運動の中心動脈伸展性に及ぼす効果を検討し、次に水温条件を変えて温浴の効果を検討する。最後に、適度な体温上昇が付加されれば水中運動と温熱の相加効果によりより大きな効果が得られるかどうかについて検討する。

## 3. 研究の方法

(1) 被験者:対象は65歳以上で自立して日常生活を送っており運動習慣が無く明らかな疾患に罹患していない健常な男性高齢者とする。水浸および運動に対する生理的反応には男女差があるが、高齢者では恐らく、その差異は若齢者に比べ小さいと考えられるので、本研究では被験者を男性に限定する。運動習慣の無い男性高齢者については、地域広報誌などにて募集する。ただし、安全面への配慮から一部の測定においては健常若年男性を被験者とする。

(2) メディカルチェック:問診、身体所見、心電図所見、罹病歴、服薬状況などを調査し、血液検査などの臨床検査を行う。明らかな心疾患、コントロールされていない高血圧、糖尿病の保有者など、本研究への参加が不適当と考えられる者は除外する。さらに、測定当日、被験者の体調、服薬状況、身長、体重、血圧を測定し、体調不良や血圧高度上昇あるいは低血圧、頻拍などが認められた場合には、測定は中止・延期する。以下の測定は食後2時間以上経過した午前中に行う。室温、湿度および水温を経時的に計測する。室温は24°C前後を維持するよう調整する。

(3) 水浸測定:30分間の安静座位の後、安静時における測定を行い、心窩部までの水位にて座位にて15分間水浸する。水温条件を変えて、中立温浴(36°C)、微温浴(38°C)および温浴(40°C)の3条件とし、日を変えて測定する。その後、保温に務めながら30分毎に1時間後まで温熱効果を検討する。水浸中、自覚症状、血圧、心電図を適宜監視・測

定し、安全性に留意する。検討項目は以下のとおりである。体温は、直腸温測定装置（温度ロガーLT-8B、グラム株式会社製）および付属プローベ（LT-ST08-11、グラム株式会社製）を用いて直腸温を測定する。さらに深部温度計（コアテンプ CTM-205、テルモ社製）および熱流補償型プローベ（PD-11、PD-31）を用いて前額深部温を同時に測定する。同意の得られない高齢者においては後者のみを測定する。

(4) 血管機能（中心動脈伸展性）：本研究では脈波伝播速度測定装置（formPWV, コーリンメディカルテクノロジー社製）およびその解析装置を用いて中心動脈スティフネスの指標である脈波伝播速度（PWV）を評価する。本法は既に多くの報告がなされ確立された方法である。測定は水浸前および水浸後 30 分毎に 1 時間後まで行う。血圧測定を同時に行う。PWV は頸動脈-大腿動脈（cfPWV）または上腕動脈-足首動脈（baPWV）の 2 方法で測定する。

(5) 体力測定：座位自転車エルゴメータ（コンビ社製）を用いて症候限界漸増心肺運動負荷試験を実施し、全身持久性体力の指標として、最高酸素摂取量を測定する。測定には、呼気ガス分析装置（ミナト医科学社製 MG360）および心電図測定装置（フクダ電子社製 ML4500）を用いる。

(6) 水中運動時測定：最高酸素摂取量の 50% の運動強度で 15 分間の自転車エルゴメータによる陸上運動とプール水温および微温条件下水中運動を行い、それぞれを比較するとともに、15 分間の中立温浴、微温浴、温浴と比較する。運動前および運動後 15 分毎に PWV、体温および血圧を前述の方法で測定する。水中運動には深さ 90cm の水槽に設置した自転車エルゴメータ（特注）を用い、足首にフィンを付けて回転させ、運動中、呼気ガス分析装置でモニターして最高酸素摂取量の 50% の運動強度の維持を確認する。運動中、心電図、血圧を経時的に測定し安全性を確保する。各測定は 3 日程度の間隔を空けて順不同で実施する。

#### 4. 研究成果

(1) 陸上運動が高齢男性における動脈脈波伝播速度に及ぼす影響：健常高齢男性を対象に座位自転車エルゴメータによる 15 分間の一過性中強度有酸素運動（6 名）および自覚的最大の運動（16 名）が上腕動脈-足首動脈脈波伝播速度（baPWV）に及ぼす影響を比較検討した。その結果、一過性中強度有酸素運動においては baPWV（cm/秒）に有意の変化を認めなかった（前：1583.9±101.4、運動後 30 分：1585.3±110.8、運動後 60 分：1597.7±110.1）。しかし、自覚的最大の運動においては、運動後

30 分において baPWV（cm/秒）の有意の低下（ $p<0.0167$ ）を認めた（前：1575.6±74.5、運動後 30 分：1499.6±62.7、運動後 60 分：1510.9±64.1）。

若年者においては有酸素運動によって運動後 PWV が一過性に低下し、中心動脈スティフネスが低下することが報告されているが、加齢により血管に器質的变化が生じていると考えられる高齢者において同様の効果が得られるかどうかは明らかではない。この結果は、高齢者であっても自覚的最大の運動を行えば、一過性の有酸素運動による刺激が運動後の中心動脈スティフネスを低下させる可能性を示唆しているが、健康維持のために広く行われる一過性中強度有酸素運動においては中心動脈スティフネスに変化を生じにくいことが示唆された。

(2) 水中運動が若年男性における中心動脈スティフネスに及ぼす影響：研究(1)において 15 分間の中強度陸上運動は、高齢男性における中心動脈スティフネスを低下させないことが示唆された。しかし、水中運動の効果については先行研究も無く、明らかではない。そこで、研究(2)の目的は、高齢男性における水中運動の中心動脈スティフネスに対する効果を検討する前の予備的検討として、若年男性 9 名を対象に自転車エルゴメータを用いた同一運動強度（最大酸素摂取量の 50%）の水中運動（プール水温）と陸上運動を施行し、運動時の循環・体温動態が PWV に及ぼす影響および運動後の PWV に対する影響に水中運動と陸上運動とで差異があるかを検討することである。以下の表 1 に運動前と運動後 30 分の循環および体温動態を示す。陸上運動では、運動後、有意な血圧の低下および体温の上昇を認めたのに対し、水中運動では、いずれも有意な変化を認めなかった

（表 1）。陸上運動においては、頸動脈-大腿動脈脈波伝播速度（cfPWV）は運動前（774.3±15.3cm/秒）と比較して運動後 30 分（739.4±18.4cm/秒）と有意に（ $p<0.0167$ ）低下した。一方、水中運動では cfPWV に有意の変動は認められなかった。運動後に示された PWV 変動の陸上と水中での運動の差異には運動後の体温動態および血圧動態の差異が関与している可能性が示唆された。

表 1. 陸上および水中運動前後の血圧および体温

		運動前	運動後 30 分
収縮期血圧 (mmHg)	陸上	112.4±2.7	106.6±1.4*
	水中	111.4±2.2	109.2±2.0
拡張期血圧 (mmHg)	陸上	63.2±2.1	58.8±1.4*
	水中	61.8±2.1	60.2±1.5
体温 (°C)	陸上	36.6±0.1	36.8±0.1*
	水中	36.8±0.1	36.6±0.1

\* : p<0.0167

(3) 温浴が高齢男性における中心動脈スティフネスに及ぼす影響：研究(2)において運動時の体温応答が運動後のPWVの急性変化に影響する可能性が示唆された。温熱による血管拡張に、血管内皮から分泌される一酸化窒素が関与する可能性や温熱療法による血管内皮機能の改善が報告されているが、温熱による受動的体温上昇が中心動脈スティフネスに及ぼす影響については明らかではない。温熱刺激により、摘出したヒト頸動脈<sup>1</sup>やブタ胸大動脈の伸展性が増大するとの報告があり、体温動態は動脈スティフネスに何らかの影響を及ぼすのではないかと考えられる。そこで、研究(3)の目的は体温上昇がPWVに及ぼす影響に着目し、健常高齢男性8名を対象に受動的体温上昇を引き起こす温浴が中心動脈PWVに及ぼす影響を循環・体温動態とともに検討することである。

温浴は、35°C、38°C、40°Cの水温の湯を用い、水位は心窩部とし15分間行った。35°C中立温浴では温浴中の直腸温に変化はなかったが、38°C微温浴では温浴開始時(36.5±0.08°C)と比較して5分(36.9±0.09°C)、10分(36.7±0.08°C)、15分(36.9±0.09°C)でいずれも有意に(p<0.0083)上昇した。また、40°C温浴では温浴開始時(36.8±0.12°C)と比較して5分(36.9±0.08°C)、10分(37.0±0.09°C)、15分(37.2±0.09°C)でいずれも有意に(p<0.0083)上昇した。35°C中立温浴では温浴後の心拍数、血圧、体温、PWVのいずれも有意な変化を認めなかった。38°C微温浴では体温は温浴後有意に高値を示したが、心拍数、血圧、PWVに有意な変化を認めなかった。40°C温浴では温浴後に体温は有意な(p<0.0083)上昇を認めた。また、心拍数の有意な(p<0.0167)上昇を認めたが、血圧に有意な低下は認めずPWVにも有意な変化を認めなかった。以上の結果から、高齢者において、温浴による受動的な温熱のみでは中心動脈スティフネスに影響を及ぼしにくい可能性が示唆された。

(4) 温水条件での水中運動が高齢男性における中心動脈スティフネスに及ぼす影響：高齢者において中心動脈スティフネスが低下する可能性が認められた陸上での高強度運動は、転倒による怪我や骨折といったリスクを伴うことや、心血管系に過大な負荷を与えるため安全な運動方法とはいえない。一方、水中運動は陸上運動より関節や骨への障害リスクが低いため、中高齢者の運動としてより安全に行えることが期待できる。しかし、プール水温での中強度水中運動では陸上運動と比較して中心動脈スティフネスに及ぼす影響が小さく、その背景に運動時の体温動態が関与することが示唆された。また、受動的な体温上昇をもたらす温浴は高齢者における中心動脈スティフネスを有意に改善しえず、能動的な体温上昇をもたらす運動による体温上昇の効果を検討する必要があると考えられた。そこで、研究(4)の目的は体温上昇を生じる水中運動であれば、高齢者の中心動脈スティフネスが一過性に低下するという仮説を立て、6名の高齢者を対象に38°C水温で15分間の水中運動(38°C水中運動)を行い、中心動脈および下肢動脈PWVに及ぼす影響を循環・体温動態とともに検討することとした。表2に運動前と運動後30分の循環および体温動態を示し、図1にPWVの結果を示す。38°C水中運動では収縮期血圧は運動後有意に低下したが、拡張期血圧に有意な変化は認められなかった。体温は運動後有意に上昇した(表2)。38°C水中運動における頸動脈-大腿動脈PWVは運動後有意に低下した。下肢動脈PWVも有意に低下した(図1)。

表 2. 水中運動前後の血圧および体温

	運動前	運動後 30 分
収縮期血圧 (mmHg)	121.2±4.2	114.7±3.3*
拡張期血圧 (mmHg)	73.8±2.5	71.5±2.4
体温 (°C)	36.7±0.1	37.4±0.1*

\* : p<0.0167

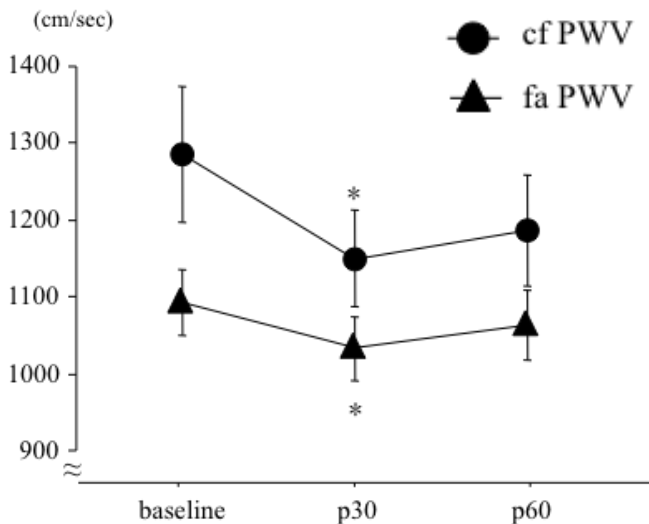


図 1. 中心動脈および下肢動脈 PWV に及ぼす効果

cfPWV: 頰動脈-大腿動脈 PWV、faPWV: 下肢動脈 PWV

baseline: 運動前、p30(60): 運動後 30(60)分 \* :  $p < 0.0167$

(5) 結論 :

1. 高齢男性において自覚的最大の運動では運動後一過性に動脈 PWV の低下が生じるが、15 分間の中強度運動では効果が得られないことが示唆された。

2. 若年男性においてプール水温における中強度水中運動では大動脈 PWV の低下を認めなかった。その要因として運動後の体温動態が影響している可能性が示唆された。

3. 高齢男性において温浴による受動的体温上昇が中心動脈 PWV に及ぼす影響を検討した。38°C 微温浴、40°C 温浴ともに体温上昇を生じたが中心動脈スティフネスの低下を認めなかった。

4. 38°C 水温下の中強度水中運動によって高齢男性の大動脈・下肢動脈 PWV が低下し、中強度運動であっても適度な温熱を付加することで、高齢男性の中心動脈スティフネスが低下する可能性が認められた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

- 野上順子、斉藤陽子、谷村祐子、佐藤幸治、大槻 毅、前田清司、鯉坂隆一 : 一過性の水中運動が動脈スティフネスに及ぼす影響-陸上運動との差異-. 体力科学、査読有り、60 巻、2011 年、269-277. URL:<http://www.jspfsm.umin.ne.jp/journal/index.html>
- 野上佳恵、野上順子、鯉坂隆一 : Left

ventricular function during and after warm-water immersion at 40° C in elderly subjects. 日本温泉気候物理医学会雑誌、査読有り、74 巻、2011 年、141-154.

URL:<http://www.onki.jp/kikanshi.htm>

- 野上順子、野上佳恵、大槻 毅、前田清司、鯉坂隆一 : 高齢男性における一過性有酸素運動が動脈波伝播速度に及ぼす影響. 日本臨床スポーツ医学会誌、査読有り、19 巻、2011 年、50-56. URL:<http://www.meteo-intergate.com/>

[学会発表] (計 4 件)

- 野上順子、成戸丈紘、大槻 毅、前田清司、鯉坂隆一 : 高齢者における一過性の 38° C 水中持久性運動が動脈スティフネスに及ぼす影響. 第 66 回日本体力医学会大会、2011 年 9 月 16 日、海峡メッセ、下関 (山口県) .
- Nogami J, Nogami Y, Sato K, Otsuki T, Maeda S, Ajisaka R: The effect of acute aerobic exercise on arterial stiffness in elderly subjects. The 15<sup>th</sup> Annual Congress of the European College of Sport Science. 2010 年 6 月 25 日、アンタルヤ、トルコ.
- Nogami Y, Seo Y, Ishizu T, Nogami J, Sato K, Tanimura Y, Ajisaka R: The effects of warm water immersion on left ventricular diastolic function and exercise tolerance in elderly subjects. The 15<sup>th</sup> Annual Congress of the European College of Sport Science. 2010 年 6 月 25 日、アンタルヤ、トルコ.
- 野上順子、野上佳恵、佐藤幸治、大槻 毅、前田清司、鯉坂隆一 : 高齢者における急性持久性運動と 40° C 水浸による温浴が動脈スティフネスに及ぼす影響. 第 64 回日本体力医学会大会、2009 年 9 月 19 日、朱鷺メッセ、新潟.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鯉坂 隆一 (AJISAKA RYUICHI)  
筑波大学・体育系・教授  
研究者番号 : 70151058

(2) 研究分担者

前田 清司 (MAEDA SEIJI)  
筑波大学・体育系・准教授  
研究者番号 : 30282346

(3) 連携研究者

( )  
研究者番号 :