

中学生の動脈スティフネスと運動能力 —筋力・柔軟性との検討—

松本希（幼児教育学科）

吉岡哲（香川大学）

高原皓全（人間総合科学大学）

野瀬由佳（安田女子大学）

高木祐介（川崎医療福祉大学大学院）

荒金圭太（岡山県立矢掛高等学校）

斎藤辰哉（川崎医療福祉大学大学院）

山口英峰（吉備国際大学）

家光素行（立命館大学）

高橋康輝（東京有明医療大学）

宮地元彦（独立行政法人国立健康・栄養研究所）

小野寺昇（川崎医療福祉大学）

Arterial stiffness and physical fitness in puberty — muscular strength and flexibility —

Nozomi Matsumoto (Department of Preschool Education)

Akira Yoshioka (Kagawa University)

Terumasa Takahara (University of Human Arts and Sciences)

Yuka Nose (Yasuda Women's University)

Yusuke Takagi (Graduate School, Kawasaki University of Medical Welfare)

Keita Arakane (YAKAGE Senior High School)

Tatsuya Saito (Graduate School, Kawasaki University of Medical Welfare)

Hidetaka Yamaguchi (Kibi International University)

Motoyuki Iemitsu (Ritsumeikan University)

Kouki Takahashi (Tokyo Ariake University of Medical and Health Science)

Motohiko Miyachi (National Institute of Health and Nutrition)

Sho Onodera (Kawasaki University of Medical Welfare)

抄 録

成人において、動脈硬化度の指標である動脈スティフネスは、加齢や生活習慣病の進行に伴い増加する。しかしながら、習慣的な運動の実施は、動脈スティフネスの増加を予防・改善する。先行研究は、20～39歳における柔軟性と動脈スティフネスの間に相関関

係を示さないが、40歳以上の中高齢者では相関関係があることを報告した。本研究は、中学生を対象に運動能力の構成要素である握力及び柔軟性と動脈スティフネス及び血圧の関係を調べた。結果、中学生ではこれらに相関関係を示さなかった。中学生では、十分な動脈コンプライアンス（柔らかさ）による動脈圧緩衝機能により、筋力及び柔軟性が動脈スティフネスへの及ぼす影響を緩和させていると考えられ、これは発育期特有の動脈の機能が寄与している可能性が示唆された。

キーワード：動脈スティフネス，血圧，柔軟性，筋力，第二性徴期

I. 諸言

動脈硬化度の指標である動脈スティフネスは、加齢や生活習慣病の進行に伴い増加する^{8) 17) 18) 22)}。しかしながら、習慣的な有酸素運動の実施は、動脈スティフネスの増加を予防及び改善させることがわかっている^{8) 9)}。一方で、筋力トレーニングは動脈スティフネスの増加を促進させることもわかっている^{11) 12)}。これらのことは、身体活動の方法により、動脈スティフネスへの影響が異なることを示している。体力は行動体力と防衛体力に分類されるが、有酸素性運動能力を示す全身持久力や筋力は行動体力に分類され、その他にも柔軟性や瞬発力等がある。柔軟性は全身持久力や筋力と同様にヒトの体力を構成する要素であるにも関わらず、柔軟性と循環器疾患の危険因子との関連を検討した報告は少ない。なぜなら柔軟性は、日常生活やスポーツ場面での動作を円滑に行い、怪我や関節疾患の予防の観点から評価されてきたからであると予測する。先行研究では、全身持久力は循環器疾患リスクと関連があることから、動脈スティフネスを指標に多くの研究が行われてきた^{8) 9) 10)}。しかしながら、筋力や柔軟性との関連性の報告は少ない。Yamamoto et al.²⁰⁾の成人を対象とした研究では、20～39歳では体の柔軟性と動脈スティフネスに相関関係を示さないが、40歳以上の中高齢者では柔軟性と動脈スティフネスに相関関係があることを報告した。筋力と動脈スティフネスの関連性については、筋力トレーニング方法の違いが動脈スティフネスに及ぼす影響についての報告^{5) 10) 11) 12)}はあるが、筋力レベルとの関連性の報告は無い。

一方で、子どもにおける動脈スティフネスの研究報告は少ない。これまで動脈硬化は成人期以降になって起こると認識されていたからである。しかしながら、増加傾向にあった肥満児及び肥満傾向児は、平成18年度以降減少傾向にあるものの、昭和50年代と比較すると増加したままであり、子どもの体力低下も社会問題になっている。平成23年度体力・運動能力調査¹³⁾では、昭和60年代頃と比較して、現代の子どもの体力水準が低いことを報告している。子どもにおいても、成人と同様に体力が動脈スティフネスと関連している可能性がある。加えて、第二性徴期には特徴的な発育発達が起こる。性ホルモンの産生が促進されて二次性徴が始まり、男性ホルモンのテストステロンと女性ホルモンのエストロゲンの相対的な分泌量の違いによって、性差が決定的なものとなり、男女で異なる機能が維持される。二次性徴中の女子は、エストロゲンの分泌が増加する。成人女性において

は、閉経まで男性より低い動脈スティフネスの値を示すが、このことは女性ホルモンであるエストロゲンの血管拡張・弛緩作用により説明されている¹⁷⁾。二次性徴中の男子においては、テストステロンの増加により骨格筋が増大することがわかっている。骨格筋の増大により、成長期が終わるまで体力は向上する。これらのことから、第二次性徴期の子どもにおいては、男子では骨格筋の増大の影響を強く受け、体力と動脈スティフネスに関連性を持つが、女子はエストロゲンの影響を受けるため、体力と動脈スティフネスの関連性が小さいと仮説立てた。本研究は、二次性徴中にある中学生を対象に体力の中でも動脈スティフネスとの報告が少ない筋力と柔軟性に着目して研究をすすめた。

Ⅱ．目的

中学生を対象に、動脈スティフネスと筋力、柔軟性の関係を調べることを目的とした。

Ⅲ．方法

1. 対象者

〇県下の中学校1校に在学する全校生徒72名（男子40名、女子32名）を対象とした。身体的特性は表1に示した。学校長、対象者及びその保護者には、ヘルシンキ宣言の趣旨に沿って研究内容及び方法、倫理的配慮、期待される効果を口頭及び書面にて説明を行い、同意を得た。全ての測定及び調査は、生徒の意志を尊重して実施した。本研究の倫理性については、川崎医療福祉大学倫理委員会の承認（承認番号181）を得て実施した。

表1 参加者の身体的特性

	男子 n=40	女子 n=32
年齢（歳）	13.8±0.9	13.7±1.0
身長（cm）	161.2±9.1	154.0±4.2*
体重（kg）	55.9±10.1	51.2±6.8*
収縮期血圧（mmHg）	113±11	112±7
拡張期血圧（mmHg）	58±7	61±5
baPWV（cm/s）	920±121	1085±114*
握力（kg）	32.6±8.4	21.3±4.2*
長座体前屈（cm）	41.5±8.3	42.8±9.0

平均値±標準偏差 *p<0.05

2. 測定及び調査の流れ

生徒は、教室にて、男女別に身長及び体重の測定を行った。身長及び体重は、動脈スティフネス（baPWV）の測定に必要なため、計測した。その後、男女別の部屋に移動し、仰臥位にて動脈スティフネス及び血圧の測定を行った。動脈スティフネスの測定後、

筋力の指標として握力、柔軟性の指標として長座体前屈を測定した。

3. 測定項目

1) 動脈スティフネスと血圧

動脈スティフネスは、上腕足首間脈波伝播速度 (baPWV: brachial-ankle Pulse Wave Velocity) を指標として、血圧脈波検査装置 (formPWV/ABI: オムロンコーリン株式会社) を用いて仰臥位安静時の両上腕及び両足首の収縮期血圧、拡張期血圧と同時に測定した。baPWV は、左右の上腕と足首にセンサー付きカフを取り付けることで、非侵襲的に全身性の動脈スティフネスの指標を評価することができる²⁾。カフ内の容積脈波から両上腕と両足首の脈波を獲得でき、これらの脈波から立ち上がりの時間の差 (ΔT) を測定し、身長から求めた大動脈弁口から足首までの長さ (La)、大動脈弁口から上腕までの長さ (Lb) を求め、 $baPWV = (La - Lb) / \Delta T$ の式から baPWV を算出した²¹⁾。測定時には、仰臥位にてセンサー付きカフを両上腕及び両足首に装着し、安定した心拍応答を確認した後、測定を行った。本法による baPWV 測定の再現性テストによる推定標準誤差は $\pm 3\%$ であった。

2) 筋力：握力

筋力の指標として、握力を測定した。握力は、デジタル握力計 (TKK5401, 竹井機器工業) を用いて、左右 2 回ずつ測定した。第二指の第二関節が 90° 屈曲になるよう握り幅を調節し、握力の表示画面を外側に握り、足を自然に開けて直立させ、握力計を身体や服につけないようにして、息を吐きながら力一杯握りしめるよう指示した。左右の数値のそれぞれ大きい方の値の平均値を算出した。

3) 柔軟性：長座体前屈

柔軟性の指標として、長座体前屈を用いた。長座体前屈は、デジタル長座体前屈計 (TKK5112, 竹井機器工業) を用いて、2 回測定した。壁に股関節角度が 90° になるよう背中をつけて長座させ、測定器に手を乗せ、自然に手を伸ばし、この位置を 0cm とした。その後、ゆっくり息を吐きながら前屈し測定器を前に滑らし、最大に前屈した位置を計測した。2 回測定したうち、値が大きい方の数値を研究に用いた。

4. 統計処理

統計処理は、統計ソフト Macintosh 版 Stat-view-J5.0 を用いて行った。握力及び長座体前屈の学年間の比較には Tukey-Kramer の多重比較検定を行った。相関係数の検定には、Pearson の相関係数を用いた。各測定値は平均値 \pm 標準偏差で表記し、統計学的な有意水準は危険率 (p) 5% 未満とした。

Ⅳ. 結果

図1に学年間の握力の比較を示した。男子生徒の握力は、学年が上がるごとに有意に増加した ($p<0.05$) が、女子生徒では学年間に有意な差を示さなかった。図2に学年間の長座体前屈の比較を示した。男子生徒では、中学1年と比較して3年生で有意に高値を示した ($p<0.05$) が、女子生徒では有意な差を示さなかった。

握力は、表2に示す通り、男子生徒の身長 ($r=0.70$, $p<0.01$) 及び体重 ($r=0.79$, $p<0.01$)、収縮期血圧 ($r=0.46$, $p<0.01$) と有意な正の相関関係を示したが、女子生徒では、身長及び体重、血圧とも相関関係を示さなかった。baPWVについては、図3に示す通り、男女とも握力と相関関係を示さなかった。

長座体前屈は、表2に示す通り、男子生徒は身長と有意な正の相関関係を示した ($r=0.45$, $p<0.05$) が、その他の項目では、相関関係を示さなかった。女子生徒は、男子生徒と同様に、身長とは有意な正の相関関係を示した ($r=0.36$, $p<0.05$) が、その他の項目とは相関関係を示さなかった。baPWVについては、図4に示す通り、男女とも長座体前屈と相関関係を示さなかった。

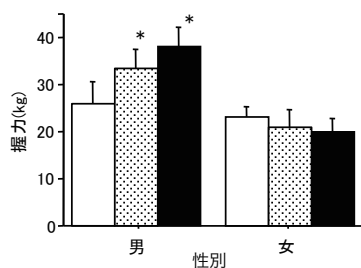


図1 握力の学年間の比較

□: 1年生, ▨: 2年生, ■: 3年生 * $p<0.05$ 1年vs2年・3年

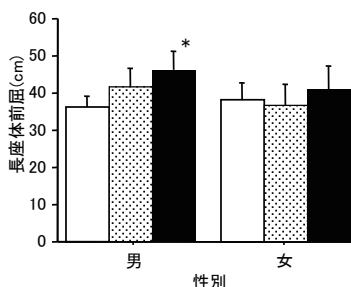


図2 長座体前屈の学年間の比較

□: 1年生, ▨: 2年生, ■: 3年生 * $p<0.05$ 1年vs2年・3年

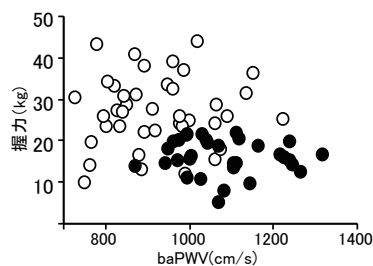


図3 握力とbaPWVの関係

○: 男子, ●: 女子 NS

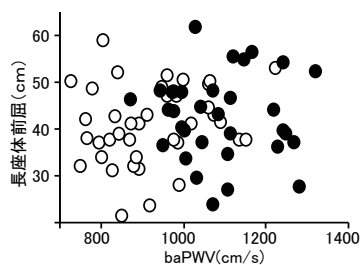


図4 長座体前屈とbaPWVの関係

○: 男子, ●: 女子 NS

表2 握力及び長座体前屈と身長、体重、血圧の相関係数

	身長		体重		収縮期血圧		拡張期血圧	
	男子	女子	男子	女子	男子	女子	男子	女子
握力	0.70**	0.21	0.79**	0.28	0.46**	0.10	0.28	0.22
長座体前屈	0.45*	0.36*	0.29	0.18	0.14	0.04	0.13	0.05

*p<0.05, **p<0.01

V. 考察

本研究の結果から、第二性徴期にある中学生の動脈スティフネスと筋力及び柔軟性の関連性が少ない可能性が示唆され、第二性徴期の子どもの動脈スティフネスに関する新たな知見を得た。

成長期の子どもにおいては、成人に達するまで体力が向上していくのは周知の事実である¹⁹⁾。本研究では、筋力の指標として握力を用いた。平成23年度体力・運動能力調査¹³⁾の結果と本研究の対象者の握力の値を比較したところ、本研究の対象者は約8%高い値を示したが、男子では年齢が上がるごとに増加し、女子では年齢が上がっても差が無いことは同じ結果であった。17～39歳を対象とした先行研究²⁵⁾では、男女とも握力と身長、体重に相関関係があり、身長より体重の方が握力と強相関があると報告している。第二性徴にある子どもを対象にした本研究では、男子においては握力と身長、体重に強い有意な相関関係を示したが、女子にはそのような傾向は観察されなかった。握力の発現筋の多くは、前腕部及び上腕部にある。成人を対象とした先行研究²⁴⁾は、男性の前腕部及び上腕部の全断面積と握力に有意な相関関係を示すが、女性では前腕部との相関関係であることを報告した。これは、各部位の筋肉、骨、脂肪を含む皮厚の違いによるものであると考えられるが、男性は両部とも80%以上の筋の割合であるのに対して、女性では前腕部69%、上腕部49%の割合である²³⁾。第二性徴中の子どもでは、特に女子は皮下脂肪の増加の途中であるため、全ての項目と相関関係を示さないというような成人と異なった結果を示したものと予測する。一方で、成長期の間、発育発達に伴い、血液量が増加することがわかっている。加えて、成長期中は男子の全血比重は増加し続ける¹⁵⁾。これらのことから、男子では、第二性徴に伴う発育発達により、筋肉量の増加に伴い握力が増大し、加えて、筋肉量の増加による骨格筋内血液量の増加が、握力と収縮期血圧の相関関係の要因であると考えられる。本研究において、男女で同様の結果を示さなかったことは、①女子の第二性徴の早期出現（ずれ）が関与していること、②女子の第二性徴の特徴に皮下脂肪の沈着があり、そのことが前・上腕部の筋肉及び脂肪の分量の差に表れていること、③女性ホルモンであるエストロゲンの血管拡張・弛緩作用を受けたことにあると考える。

握力と動脈スティフネスの指標であるbaPWVには相関関係を認めなかった。成人を対象とした研究では、血圧とbaPWVには強相関があることがわかっている^{1) 22)}。加齢に起因する頸動脈や大動脈などの中心動脈スティフネスの増加は、収縮期血圧の増大の原因となる²⁾。本研究では、男子において収縮期血圧と握力に相関関係を認めたことから、

baPWV とも相関関係があることが予測されるが、実際には、相関関係を示さなかった。本研究の男子生徒の baPWV 値の平均は $920 \pm 121 \text{ cm/s}$ である。健診受診者のうち、心疾患や動脈硬化危険因子がなく正常血圧であった約 5700 名の健常人から得た baPWV 値は 60 歳で 1400 cm/s 前後になると報告⁷⁾ されていることから、本研究の対象者は約 50% 程度低い値を示している。動脈には、血管の弾性機能と導管機能がある。この弾性機能が動脈の硬さ（スティフネス）と柔らかさ（コンプライアンス）に影響しているが、動脈が柔らかい場合には、心臓から駆出される時に生じる動脈への拍動成分を緩衝させる。動脈は平滑筋や弾性線維、エラスチン等を材質としており、これらは加齢により硬化を示し、動脈スティフネスの増加につながる^{14) 16)}。本研究の対象者は成長期にある子どもであり、成人よりもかなり低い baPWV 値を示していることから、十分な血管の柔らかさ（コンプライアンス）による動脈圧緩衝機能により、握力と baPWV に影響を及ぼさなかったものと考ええる。

体の柔軟性は、長座体前屈を指標として用いた。長座体前屈は、男女とも身長と相関関係を認めたものの、体重及び血圧、baPWV とは相関関係を示さなかった。立位体前屈計を用いた先行研究⁶⁾ は、柔軟性は 9 歳頃より次第に柔軟度を増していき、17 歳頃にピークを迎えると報告した。しかしながら、筋硬度や柔軟角度を用いて評価すると、この成長期の前屈計による柔軟性の増加は、そのまま柔軟度の変化では無いことがわかっており、身長の高いグループで前屈計の柔軟性は高値を示すとも報告している⁶⁾。一方で、成人においては、身長的高低と前屈計の柔軟度には相関関係を示さないと報告している⁶⁾。本研究においても、男女ともに身長と長座体前屈に有意な正の相関関係を示したことは、この先行研究を支持する結果であったと考える。加えて、Yamamoto et al.²⁰⁾ の先行研究は、20 ～ 39 歳では体の柔軟性と動脈スティフネスに相関関係を示さないが、40 歳以上の中高齢者では柔軟性と動脈スティフネスに相関関係があることを報告した。形態的側面からみると、動脈と体の柔軟性は、筋や結合組織という同様の組成で決定される。したがって、加齢に伴う動脈の硬化と柔軟性の低下は一致する可能性がある。本研究の対象者は、発育発達の最中にある子どもであったため、柔軟性と動脈スティフネスに関係を示さなかったと予測する。加えて、前述した通り、本研究の対象者の baPWV 値は低く、十分な動脈の柔らかさ（コンプライアンス）がある。このことも体の柔軟性と動脈スティフネスに関係を示さなかった要因であると予測する。

近年肥満児及び肥満傾向児は増加傾向にあり、子どもの体力低下は深刻な社会問題となっている。小学 4 年生から高校生までを対象とした先行研究⁴⁾ は、加速度計付歩数計を用いて身体活動レベルが高い児童生徒の体力（握力及び長座体前屈を評価項目に含む）が高いことを報告した。本研究は、発育発達という側面から動脈スティフネスと筋力、柔軟性の関連性を調べたが、日々の身体活動レベルから体力の高低を調査し、さらに動脈スティフネスや血圧との関連性を調べることで、より現代の子どもの実態が明らかにできるものと考ええる。今後、対象者を拡充し、検討していく予定である。

VI. まとめ

第二次性徴期にある中学生の baPWV と筋力及び柔軟性に有意な相関関係を認めなかった。成人の傾向と必ずしも一致しないことから、成長期特有の動脈の緩衝機能が寄与するものと考えられた。

VII. 謝辞

本研究に、ご理解とご協力頂きました中学校長及び担当教員の先生方に感謝いたします。なお本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金研究活動スタート支援（課題番号 :23800070）の助成を得て実施した。

VIII. 参考文献

- 1) Asmar R, Benetos A, Topouchian J, Laurent P, Pannier B, Brisac AM, Target R, Levy BI. 1995, Assessment of arterial distensibility by automatic pulse wave velocity measurement. Validation and clinical application studies. Hypertension, 26 (3) :485-490
- 2) Benetos A, Safar M, Rudnichi A, Smulyan H, Richard JL, Ducimetiere P, Guize L. 1997, Pulse pressure: a predictor of long-term cardiovascular mortality in a French male population. Hypertension, 30 (6) : 1410-1415
- 3) Benetos A, Adamopoulos C, Bureau JM, Temmar M, Labat C, Bean K, Thomas F, Pannier B, Asmar R, Zureik M, Safar M, Guize L. 2002, Determinants of accelerated progression of arterial stiffness in normotensive subjects and in treated hypertensive subjects over a 6-years period. Circulation, 105:1202-1207
- 4) 引原有輝, 笹山健作, 沖嶋今日太, 水内秀次, 吉武裕, 足立稔, 高松薫. 2007, 思春期前期および後期における身体活動と体力との関連性の相違－身体活動の「量的」および「強度的」側面に着目して－. 体力科学, 56:327-338
- 5) Kawano H, Tanaka H, Miyachi M. 2006, Resistance training and arterial compliance: keeping the benefits while minimizing the stiffening. J Hypertens, 24:1753-1759
- 6) 紺野義雄. 1952, 柔軟度に関する研究（第1報）「前屈計」による身体柔軟度の年齢別変化並びに運動能力の関係. 体力科学, 1 (5) :190-193
- 7) 増田善明, 宮崎彰. 1999, 動脈病変の非観血的診断法, 中枢および末梢脈波速度. 動脈硬化の診断ガイドライン, 非侵襲的動脈硬化診断研究会編, 共立出版, 67-75
- 8) 松本希, 宮地元彦, 高橋康輝, 安東裕美, 小堀浩志, 小野寺昇. 2010, 中高年女性を対象とした健康運動指導士等による運動介入及び非介入時の動脈スティフネスの比較～加齢及び運動習慣が動脈スティフネスに及ぼす影響～. トレーニング科学, 22 (3) : 247-256
- 9) 松本希, 宮地元彦, 高橋康輝, 安東裕美, 小堀浩志, 小野寺昇. 2011, 週1回の有酸素運動を主体とした特定保健指導の実施が動脈スティフネスに及ぼす影響. 日本生理人類学会誌, 16 (3) :123-132

- 10) 三浦哉, 青木さくら. 2005, 低強度のサーキットトレーニングが成人女性の動脈ステイフネスに及ぼす影響. 体力科学, 54 : 205-210
- 11) Miyachi M, Donato AJ, Yamamoto K, Takahashi K, Gates PE, Moreau KL, Tanaka H. 2003, Greater age-related reductions in central arterial compliance in resistance-trained men. *Hypertension*, 41:130-135
- 12) Miyachi M, Kawano H, Sugawara J, Takahashi K, Hayashi K, Yamazaki K, Tabata I, Tanaka H. 2004, Unfavorable effects of resistance training on central arterial compliance: a randomized intervention study. *Circulation*, 110:2858-2863
- 13) 文部科学省. 2012, 平成 23 年度体力・運動能力調査. <http://www.mext.go.jp/>
- 14) Nagai Y, Metter EJ, Earley CJ, Kemper MK, Becker LC, Lakatta EG, Fleg JL. 1998, Increased carotid artery intimal-medial thickness in asymptomatic older subjects with exercise-induced myocardial ischemia. *Circulation*, 98:1504-1509
- 15) 助川卓夫, 東郷実香, 瀧谷和紀. 1953, 思春期前後に於ける身体的機能の発達段階に就て. 体力科学, 3 (1) :26-32
- 16) Taniwaki H, Kawagishi T, Emoto M, Shoji T, Kanda H, Maekawa K, Nishizawa Y, Morii H. 1999, Correlation between the intima-media thickness of the carotid artery and aortic pulse-wave velocity in patients with type 2 diabetes. Vessel wall properties in type 2 diabetes. *Diabetes Care*, 22 (11) :1851-1857
- 17) Tomiyama H, Arai T, Koji Y, Yamabe M, Motobe K, Zaydun G, Yamamoto Y, Hori S, Yamashina A. 2004, The age-related increase in arterial stiffness is augmented in phases according to the severity of hypertension. *Hypertension research*, 27 (7) : 465-470
- 18) Tomiyama H, Yamashina A, Arai T, Hirose K, Koji Y, Chikamori T, Hori S, Yamamoto Y, Doba N, Hinohara S. 2003, Influences of age and gender on results noninvasive brachial-ankle pulse wave velocity measurement—a survey or 12517 subjects. *Atherosclerosis*, 166 (2) : 303-309.
- 19) 八木保, 武内ひとみ, 井街悠, 万井正人. 1989, 児童より高齢者にわたる体格・筋力などの測定値の分布にみられる身体に加齢変化. 体力科学, 38 : 186-196
- 20) Yamamoto K, Kawano H, Gando Y, Iemitsu M, Murakami H, Sanada K, Tanimoto M, Ohmori Y, Higuchi M, Tabata I, Miyachi M. 2009, Poor trunk flexibility is associated with arterial stiffening. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*, 297:1314-1318
- 21) 山科章. 2002, 脈波速度測定法. 脈波速度, メディカルビュー社, 東京, 26-34
- 22) Yamashina A, Tomiyama H, Arai T, Koji Y, Yamabe M, Motobe H, Glunizia Z, Yamamoto Y, Hori S. 2003, Nomogram of the relation of brachial-ankle pulse wave velocity with blood pressure. *Hypertension research*, 26 (10) : 801-806
- 23) 吉田泰郎. 1958, 握力の体力医学的再吟味に関する研究 第一編 握力の要因としての上肢断面積について. 体力科学, 8 (1) :52-64

- 24) 吉田泰郎. 1958, 握力の体力医学的再吟味に関する研究 第二編 握力と上肢断面積, 特に前腕部断面積との関係について. 体力科学, 8 (1) :65-73
- 25) 吉田泰郎. 1958, 握力の体力医学的再吟味に関する研究 第三編 握力の機能指数としての比筋力指数について. 体力科学, 8 (1) :74-80