

III. 研究成果

男女高高齢者アスリートの身体能力の評価

勝田 茂 (筑波大学体育科学系教授)
松田光生 (筑波大学体育科学系教授)
鯨坂隆一 (筑波大学体育科学系助教授)
久野譜也 (筑波大学体育科学系講師)
高橋英幸 (日本体育・学校健康センター)
安田俊広 (筑波大学体育科学系助手)
大島利夫 (筑波大学体育研究科)
馬場紫乃 (筑波大学体育研究科)

I 緒言

加齢にともない体力レベルが低下していくことは最も実感する変化であろう。しかし、その低下の経緯は個人によって大きく異なり、高齢者の体力レベルは寝たきりのヒトから競技者としてスポーツ活動ができるヒトまで非常に幅広い。しかし、現在行われている高齢者の体力レベルの調査は一般レベルのヒトを対象にしたものが多く、またその調査は体力テストで行われているものばかりであるため、そのような調査では高齢者の体力に関する情報に偏りが生じ、また、体力の維持に必要な能力などの詳細な情報を得ることは難しい。そこで、我々は非常に貴重な存在である各種マスターズ競技会において優秀な成績を収めている 80 歳以上の男性高齢アスリート（以下、高高齢アスリートと称す）の身体能力の調査をおこなった。さらに、今現在、女性に関するこのような調査はほとんど行われていないため、同様に女性についても 70 歳以上の優秀なアスリートを対象に調査をおこなった。そして、本研究は体力テストの調査だけにとどまらず、体力テストの結果をうみだす源になる筋力、全身持久力、筋量、そして彼らの過去から現在までのライフスタイルなど詳細な部分に関しても調査をおこなった。この研究により、高高齢者におけるトレーナビリティーの限界を知ることができ、その能力を維持するのに重要な要素を明らかにすることができると思われる。また、この研究は今後の高齢者研究における非常に貴重な知見になると思われる。

II 先行研究

1. 加齢にともなう機能的, 形態的变化

A. 加齢にともなう等速性筋力と筋量の低下

加齢にともなう等速性筋力の低下に関する研究は, 短縮性収縮 (Lindel et al., 1997; Lynch et al., 1999; Thelen et al., 1996; Jubrias et al., 1997; Hortobágyi et al., 1995; Harridge et al., 1995; Klitgaard et al., 1990; Aniansson et al., 1992; Harries et al., 1990; Frontera et al., 1991; Always et al., 1996; 今泉ら, 1993) と伸張性収縮 (Porter et al., 1997; Lindel et al., 1997; Lynch et al., 1999; Hortobágyi et al., 1995) で行われている. 一般的に, 角速度の増加にともない筋力は低下するが, 高齢者の場合, 特に高速度での筋力低下が著しい (Always et al., 1996) といわれている. そして, この高速度での筋力低下の原因としては, 加齢にともなう Type II 線維の消失, Type II 線維の選択的萎縮 (Roos et al., 1997) などがよくいわれている. 例えば, Jubrias ら (1997) は, 65-80 歳の間で 60 deg/sec の膝関節伸展筋力は統計的に有意な低下を示さない (31%低下) が, 120, 180, 240 deg/sec においては統計的に有意な低下を示した (39%低下), と報告した. 一方, この時, 大腿四頭筋の筋横断面積は 21%の低下であった. Hortobágyi ら (1995) は, 加齢にともなう筋力の低下は短縮性収縮のほうが伸張性収縮より大きく, 短縮性では 10 年で 30 ニュートン (N) 低下するのに対し, 伸張性では 10 年で 9N 低下することを示した. この時, Type II 線維横断面積も加齢にともない有意に低下していた. また, Lynch ら (1999) は, 加齢による筋力の低下は上肢よりも下肢で大きいことを報告した. 一方, 縦断的研究においては, 等尺性または低速度での筋力の方が高速度での筋力より加齢の影響を受けやすいという, 異なる報告 (Aniansson et al., 1992) もなされている.

B. 加齢にともなう全身持久力の低下

全身持久力の指標である $\dot{V}O_2\max$ は 20 歳までにピークに達し、それ以降 75 歳までに 0.5-1.0%/年の割合で低下することが報告されている (Aoyagi and Katsuta, 1990). Fleg と Edward (1988) は、22 歳から 87 歳までの一般男女を調査した結果、30 歳から 70 歳までの間に男性で 39%、女性で 30%の低下がみられたことを報告した。横断的研究による $\dot{V}O_2\max$ は、1 年間で 0.3-0.4 ml/kg/min 低下していくと報告されている (Profant et al., 1972; Takeshima et al., 1990). また、52 歳から 62 歳までの 10 年間の縦断的研究でも、1 年間で 0.4 ml/kg/min の低下を報告している (Pollock et al., 1987).

C. 加齢にともなう骨密度の低下

加齢にともなう骨密度の低下について、藤田 (1987) は、骨量は成長にともない増加し、30 歳前後でピークを迎え、それ以降 0.3-0.5%/年の割合で低下するとし、特に女性においては閉経後、急激 (約 1.5%/年) に骨密度が低下していくと報告している。

加齢にともなう骨密度の低下の原因としては、主に力学的負荷の低下 (七五三木, 1995) によるものと考えられており、恐らく女性においては力学的負荷の低下と女性ホルモンの分泌低下 (伊東, 1997) が重なることで、高齢期における骨密度の低下が男性に比べ大きくなっていると考えられる。

D. 加齢にともなう基礎体力の低下

基礎体力の評価として広く用いられている体力テストでは、筋力、持久力、瞬発力、敏捷性、柔軟性、平衡性が測定されている。木村 (1991) は、加齢にともなう各能力の低下は、平衡性 (閉眼片足立ち) で最も大きく、男女とも 60 歳前半ですでにピーク時 (20 歳) から 80%低下しており、80 歳以上にもなると 90-95%低下することを報告している。それ以外では、瞬発力 (垂直跳び) の低下も非常に早く、60 歳前半でピーク時から 50%、80 歳代では 80%低下する。一方、比較的維持されやすいものとして、

筋力（握力）、敏捷性（ステッピング）、柔軟性（体前屈）があり、60歳前半でピーク時から約30%の低下、80歳代では50%の低下に、また、持久力（息こらえ）でも、60歳前半でピーク時の30-50%の低下、80歳代では50-60%の低下にとどまる。石河（1993）の報告では、50歳から69歳までの一般高齢者を5歳刻みに4群に分け、開眼片足立ち、落下棒反応、長座体前屈、握力、反復横跳びなどの体力テストを行った結果、65-69歳群の前記項目の測定値は50-54歳群の値からそれぞれ10%、20%、100%、15%、12%低下していた。また、出村ら（1998）の報告では、60歳代（66.1±2.6歳）、70歳代（74.2±2.7歳）、80歳代（82.2±2.6歳）に生活調査や体力調査を行った。それによると、体力テストに関しては、60歳代に比べ80歳代で握力が21%、垂直跳びが43%、閉眼片足立ちが66%低下していた。金と田中（1994）の報告でも、80歳以上の被検者の手腕作業（ペグボード）、長座体前屈、握力、開眼片足立ち、8の字歩行の結果は、60歳前半の被検者に比べそれぞれ20%、61%、28%、70%、25%低下した。須山ら（1998）は、23-78歳の被検者を、39歳以下群、40-49歳群、50-59歳群、60歳以上群に分け、握力、上体起こし、垂直跳びを行わせた。その結果、60歳以上群は39歳以下群に比べそれぞれ24%、58%、70%低下していた。

以上の報告をまとめると、加齢による影響をもっとも受けるのは、平衡性であり、そして比較的維持されているのは、筋力、持久力である。しかし、筋力に関しては、主に握力を代表としており、上体起こしといった体幹の筋力に関しては、加齢の影響を大きく受けている。

2. 高齢者のトレーニング効果

A. 等速性筋力、筋量に対するトレーニング効果

トレーニングにより筋力は増加するが、等速性筋力の場合、角速度の違いによってトレーニング効果は異なる（Grimby et al., 1992; Tracy et al., 1999; Judge et al., 1993;

Poter et al., 1997; Brown et al., 1990). Grimby ら (1992) の報告によると、平均年齢 81.3 ± 0.6 歳の高齢男性に週 2-3 回、56-72 日間の等尺性、短縮性 (30 deg/sec, 180 deg/sec) 膝伸展筋力トレーニングを行わせたところ、30 deg/sec 短縮性膝伸展筋力は 10% 増加し、30 deg/sec, 120 deg/sec 伸張性膝伸展筋力は 19%、13%、それぞれ増加した。また、Judge ら (1993) は、平均年齢 82.1 歳の高齢者に週 3 回、12 週間の筋力トレーニングを行わせたところ、120 deg/sec と 180 deg/sec の短縮性膝伸展筋力が、それぞれ 25% ($p < 0.05$)、27% ($p < 0.01$) 増加した。一方、60 deg/sec の短縮性筋力に関しては、統計的に有意ではないが、17% の増加傾向 ($p = 0.07$) がみられた。このように短縮性等速性筋力に対するトレーニング効果は、比較的高速度で大きく、低速度では小さいようである。

B. 全身持久力に対するトレーニング効果

一般高齢者に対する全身持久力のトレーニング効果に関しては、持久性トレーニングやレジスタンストレーニングで調べられている (Hagberg et al., 1989; Frontera et al., 1990; Cress et al., 1991; Pollock et al., 1991; Coggan et al., 1992; Hepple et al., 1997; Vito et al., 1999)。また、高齢持久性競技者と一般高齢者を比較し、持久性トレーニングの影響を調べている報告もある (Heath et al., 1981; Coggan et al., 1990)。例えば、Hagberg ら (1989) は、一般高齢女性 (70-79 歳) に対し、強度 $50-85\% \dot{V}O_2\max$ 、時間 20-45 分の歩行運動を週 3 回、26 週間行う endurance training 群、12RM 以下の比較的軽い強度で、約 30 分の筋力トレーニングを同様の頻度、期間で行う resistance training 群、control 群の 3 群で $\dot{V}O_2\max$ (ml/kg/min) に対するトレーニング効果を調べたところ、endurance training 群でのみ有意に増加 (22%) することを報告した。一方、Frontera ら (1990) は、60-72 歳の高齢男性に $80\%1RM \times 8$ 回 $\times 3$ セットの膝伸展、屈曲のトレーニングを週 3 回、12 週間行わせたところ、除脂肪体重当たりの $\dot{V}O_2\max$ (ml/kgFFM/min) と絶対値の $\dot{V}O_2\max$ (ml/min) がトレーニング前に比べそれぞれ 5、6% とわずかであるが有意に増加することを示した。この研究では、外側

広筋の筋線維横断面積が 28%増加しているため、これが $\dot{V}O_2\max$ 増加に貢献したものとと思われる。

Heath ら (1981) によると、高齢持久性アスリート (平均年齢 59 歳) の $\dot{V}O_2\max$ は一般高齢者 (平均年齢 50 歳) の値からさらに 44%高いが、若齢アスリート (平均年齢 22 歳) の値からは 15%低いことを報告した。また、Coggan ら (1990) は、優秀な高齢持久性アスリート (平均 63 歳) と 10km 走のベストタイムが同レベルの若齢ランナー (平均 26 歳) の $\dot{V}O_2\max$ を調べた結果、絶対値と体重当たりの $\dot{V}O_2\max$ は若齢ランナーに比べ高齢アスリートでそれぞれ 15、11%低かったが、酸化系酵素 (SDH, β -HAD) 活性が有意に高かったことを報告した。これらから、持久性トレーニングを実施していても $\dot{V}O_2\max$ は低下していくこと、高齢持久性競技者のパフォーマンスは $\dot{V}O_2\max$ だけでは説明がつかないこともわかる。

C. 骨密度に対するトレーニング効果

骨密度に対するトレーニングの効果は、筋力と骨密度に関係があること (Hughes et al., 1995) や“骨は力学的ストレスに対応してその形状や内部構造を変化させる”という Wolff の法則から主にレジスタンストレーニングを用いて研究されている (Menkes et al., 1993; Treuth et al., 1994; Shaw et al., 1998)。しかし、これら研究から一致した結果は出されていない。例えば、Menkes ら (1993) は、平均年齢 59 歳の一般高齢者に 13 種目のマシントレーニングを各種目 15RM \times 15 回 \times 2 セット、週 3 回、16 週間行わせたところ、腰椎、大腿骨頸部の骨密度がそれぞれトレーニング前に比べ 2.0% (1.180 \pm 0.06 \rightarrow 1.203 \pm 0.06 g/cm²), 3.8% (0.900 \pm 0.05 \rightarrow 0.933 \pm 0.05 g/cm²) 有意に増加することを示した。一方、Treuth ら (1994) は、13 名の高齢男性 (平均 60 歳) に 14 種目のマシントレーニングを Menkes らと同様のプロトコルで行わせたところ、筋力や筋量には有意な増加が見られたが、全身の骨量には変化が見られなかった。この Treuth らの研究は体組成に関する研究であったため、骨量の変化がなかったことに関しては特に言及されていない。

七五三木ら（1992）は、49-61歳の運動習慣を有する女性と運動習慣を持たない女性（いずれも閉経後）の骨密度を比較したところ、前者の方が後者よりも有意に高い骨密度を有することを示した。また、Suominen と Rahkila（1991）は、70-81歳の高齢スリートは同年代一般高齢者よりも骨密度が19-28%有意に高いことを報告した。以上より、骨密度は運動を継続することにより高まるというのが一般的な見解である。

III 方法

1. 被検者

被検者には、国内外における高齢者を対象とした各種競技大会において、優秀な成績を収めている、または、非常に高い身体能力を有すると思われる男性 80 歳以上 (18 名)、女性 70 歳以上 (17 名) のエリートアスリート (以下、Male Athlete (MA) 群、Female Athlete (FA) 群と称す)、ならびに、身体的に自立しており、かつ、特定のスポーツ活動を行っていない男性 80 歳以上 (8 名)、女性 70 歳以上 (17 名) の一般高齢者 (以下、Male Control (MC) 群、Female Control (FC) 群と称す) を採用した。なお、MA 群の被検者には競技ではないが日々厳しい鍛練を怠らない登山家 1 名、また、MC 群の被検者には 79 歳のヒト 1 名が含まれている。日常のトレーニング状況ならびにライフスタイルは、面接法ならびに質問紙法によるアンケートにより調査した。

全ての被検者は、本研究への参加に先立ち健康診断を受け、実験可能な健康状態であることを確認するとともに、実験当日はそれをふまえて、問診にて測定可能項目の選定を行った。また、研究の目的、実験内容ならびにその危険性について十分に説明し、参加の同意を得た。

2. 形態測定

形態は、身長、体重、体脂肪率 (インピーダンス法 (TBF-501, TANITA 社製)) を測定した。

3. 下肢の等速性筋力の測定

下肢の等速性筋力の測定には、等速性筋力測定装置（BIODEX SYSTEM 3、バイオデックス メディカルシステムズ社製）を用いた。右股関節の伸展・屈曲筋力をそれぞれ 120 deg/sec で、右膝関節の伸展・屈曲筋力をそれぞれ 60, 180, 300 deg/sec で、右足関節の底屈・背屈筋力をそれぞれ 60, 180 deg/sec の角速度で測定した。各角速度とも 3 回の試行を最大努力で実施させ、この中で発揮されたピークトルク (Nm) の最高値を各被検者の最大筋力として採用した。それぞれの試行前には、被検者の負担にならない程度の練習を行わせた。

A. 股関節の伸展および屈曲筋力

股関節の伸展および屈曲筋力の測定の際は、被検者をシート上で仰臥位に固定し、体幹をベルトで固定した。ダイナモメーターの中心軸と大転子が合うように調節し、アームの長さを合わせ、膝の前上部にパッドを固定した。股関節の運動範囲は、解剖学的正位から随意による最大屈曲位までに設定した。

B. 膝関節の伸展および屈曲筋力

膝関節の伸展および屈曲筋力の測定の際は、被検者の膝の後面がシートに軽く当たるように座らせて、体幹および右大腿部をベルトで固定した。ダイナモメーターの中心軸と膝の回転軸が合うように調節し、アームの長さを合わせ、足関節の前上部にパッドを固定した。膝関節の運動範囲は、最大伸展位（この位置を 0 deg と定義）から 90 deg 屈曲位までに設定した。

C. 足関節の底屈および背屈筋力

足関節の底屈および背屈筋力の測定の際は、被検者をシートに固定し、右下腿部をパッドの上に固定した。ダイナモメーターの中心軸と外果が合うようにアームの長さを調

節した。足関節の運動範囲は、随意による最大底屈位から最大背屈位までに設定した。

4. 筋横断面積の算出

筋横断面積の算出には、磁気共鳴映像法（MRI）により得られた大腿部の横断像から行った。MRIの撮像には1.5Tの超伝導MR装置（Signa, GE社製; Gyroscan ACS-NT, Philips社製）を用いた。撮像の際には、膝関節を完全に伸展させ、大腿部がベッドに触れないように注意を払った。得られた縦断像より大腿骨の外側踝間結節を0%、大転子最上端部を100%として30%、50%、70%部位を決定した。横断像撮像に用いたパルスシーケンスは、スピンエコー法を用いて、Signaの場合は、繰り返し時間900 msec、エコー時間20 msec、撮像領域24×24 cm、スライス厚10 mm、スライス間隔10 mm、マトリックス256×128および励起1回の条件、Gyroscanの場合は、繰り返し時間555 msec、エコー時間20 msec、撮像領域24×24 cm、スライス厚10 mm、スライス間隔10 mm、マトリックス256×128および励起1回の条件であった。30%、50%、70%部位の横断像から、内側広筋、外側広筋、中間広筋、大腿直筋、縫工筋、薄筋、大腿二頭筋短頭、大腿二頭筋長頭、半腱様筋、半膜様筋、内転筋群（大内転筋、長内転筋、短内転筋、恥骨筋）をトレースし、コンピューター（Power Macintosh 9500/120, Apple社製）に接続されたスキャナー（GT-9000, EPSON社製）を用いて画像を取り込んだ。面積の算出は、ソフト NIH image (NIH製)により各筋の横断面積(CSA; cross-sectional area)を算出した。また、筋の機能的単位として、膝関節伸展筋群を大腿四頭筋（内側広筋、外側広筋、中間広筋、大腿直筋）、膝関節屈曲筋群を大腿二頭筋（短頭、長頭）、縫工筋、薄筋、半腱様筋、半膜様筋、股関節伸展筋群を大腿二頭筋長頭、半腱様筋、半膜様筋、そして股関節屈曲筋群を大腿直筋、縫工筋とした。

5. 全身持久力の測定

全身持久力の測定は、自転車エルゴメーター（Corival WLP-400, LODE社製）を用いて行った。2分30秒から3分間の座位安静の後、ランプ負荷で1分毎に15 watts

ずつ漸増させて最大下の運動を行わせた。使用するエルゴメーターの精度を考慮して、初期の仕事率は 25 watts とした。但し、Male Athlete 1 群の 2 名に関しては、本実験の主治医の判断により、20 watts からスタートし 1 分毎に 10 watts ずつ負荷を漸増させた。クランクの回転数は 1 分間当たり 60 回転で一定とした。運動の終了は、(a) 予測最高心拍数 (220 - 年齢) の 85% に到達した、(b) 収縮期血圧が 250 mmHg を超えた、(c) 心電図において心筋虚血所見が有意に発現した (虚血性 ST 下降)、(d) 息切れ、疲労感などの自覚症状、などから総合的に行った。

呼気ガス分析は、呼気ガス分析装置 (AE-280, ミナト医科学社製) を用い、breath-by-breath 法にて呼吸数 (RR)、1 回呼吸量 (TV)、分時換気量 ($\dot{V}E$)、酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$)、二酸化炭素排出量 ($\dot{V}CO_2$)、酸素ならびに二酸化炭素に対する換気量 ($\dot{V}E / \dot{V}O_2$, $\dot{V}E / \dot{V}CO_2$)、ガス交換比 ($R = \dot{V}CO_2 / \dot{V}O_2$)、呼気終末酸素濃度 (PETO₂)、呼気終末二酸化炭素濃度 (PETCO₂) の連続測定を行った。心拍数 (HR) および心電図は心電図無線モニタ (DS-3120, フクダ電子社製) を、血圧 (BP) は負荷用血圧計 (STBP-780B, 日本コーリン社製) を用いて連続測定した。

得られたデータをもとに、Nigel (1988) の方法によって最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) を推定した。

6. 骨密度の測定

骨密度の測定は、骨塩量計測装置 (DEXA ; dual energy X-ray absorptiometry, DCS-3000, アロカ社製) を用いて、腰椎、左大腿骨頸部、左大腿骨 Ward 三角、左大腿骨大転子の骨密度 (BMD ; bone mineral density) を測定した。骨密度とは骨塩量 (g) を骨の投影面積で除した値 (g/cm²) のことである。

7. 体力診断テスト

体力診断テストとしては、文部省体育局による新体力テスト（1998）65歳以上対象の項目に、ベグ移動、落下棒反応、さらに、アスリートには垂直跳び、立ち幅跳び、反復横跳びを加えたものを用いた。全てのテストにおいて測定前にテストの方法、内容についての説明を十分に行い、必要なものについては練習を行ってから実施した。

A. 文部省新体力テスト

a. 握力

握力は、上肢の筋力の評価のために用いられている。

スモドレー式握力計を使って直立の姿勢で測定した。左右交互に2回ずつ実施し、おのおの大きい方の値をとり、それらを平均したものを測定値とした。

b. 上体起こし

上体起こしは、腹、腰、大腿諸筋の筋持久力の評価のために用いられている。

被検者は仰臥姿勢をとり両腕を胸の前で組み、両膝を90°に保ち、検者が被検者の両膝をおさえて行った。仰臥姿勢から両肘と両大腿部がつくまで上体を起こす動作を30秒間で何回繰り返せるかを測定した。試行は1回とした。

c. 長座体前屈

長座体前屈は、体幹部の柔軟性の評価のために用いられている。

長座体前屈測定器（ヤガミ社製）を用いて行った。被検者は背筋を伸ばし、壁に背、尻をつけ両脚を測定器の箱の間に入れ長座姿勢をとる。但し、足関節の角度は固定しない。肩幅の広さで両肘を伸ばし、両手のひらを測定器の厚紙の上に置く。この姿勢を初期姿勢とし、ここから膝を曲げないでゆっくり測定器を前方に滑らせ、最大に前屈した時の測定器の移動距離を測定した。試行は2回行い大きい値を測定値とした。

d. 開眼片足立ち

開眼片足立ちは、身体の静的平衡性の評価のために用いられている。

最大120秒までの開眼片足立ち時間をストップウォッチを用いて秒単位で測定した。被検者は素足で床の上に立ち、腰に手を当て左右のどちらが立ちやすいか確かめてか

ら行った。挙げた足を立脚側に接触させることは禁じた。挙げた足が床面に接した時、あるいは立脚した足が移動した時を片足立ちの終了とした。試行は 2 回行い時間の長い方の値を測定値とした。

e. 10 m 障害物歩行

10 m 障害物歩行は、歩行の調整力の評価のために用いられている。

スタートラインからゴールラインまでの 10 m の間に、2 m 間隔で障害物を 6 個置き、スタートから最後の障害物をまたいだ足が床に着地するまでの時間を測定した。走ったり、跳び越したりした場合はやり直しとした。試行は 2 回行い、タイムのよい方を測定値とした。

f. 6 分間歩行

6 分間歩行は、全身の持久力の評価のために用いられている。

1 時間歩き続けられるくらいの速さで歩くよう指示し、6 分間で歩いた距離を測定した。スタートから 1 分毎に経過時間を伝え、6 分経過したところで測定の終了を伝えた。試行は 1 回とした。

B. 生活体力テストおよびその他の体力テスト

a. ペグ移動（手腕作業）

ペグ移動は、生活体力の一部である。調理、裁縫、掃除などの手腕作業の能力を評価するために用いた。

ペグボード（TKK-1306、竹井機器社製）を置いた机の前に被検者を座らせ、ペグを両手で同時に移し替える作業を 15 秒間、利き手でペグを抜き、逆さにして同じ穴に戻す作業を 30 秒間、それぞれ 3 回ずつ行った。移し替えたペグ、逆さにして返したペグの合計数を測定値とした。

b. 落下棒反応

落下棒反応は、敏捷能力の評価のために用いた。

肘を固定させ、親指と人差し指の間が 2 cm 位離れるような輪をつくらせ、その上縁

が棒反応時間測定器（TKK-5008、竹井機器社製）の下端（0 目盛り位置）に合うところから検者がランダムに棒を落下させ、被検者が握った距離を測定した。試行は 2 回行い、小さい値を測定値とした。

c. 垂直跳び

垂直跳びは、瞬発力の評価のために用いた。

デジタル垂直跳び測定器（TKK-5106、竹井機器社製）を用い、膝を曲げて身構えてから垂直に跳びあがり、跳躍した高さを測定した。着地時に測定器のマットの外に出た場合は、やり直しとした。試行は、2 回行い、大きい値を測定値とした。

d. 立ち幅跳び

立ち幅跳びは、瞬発力の評価のために用いた。立ち幅跳びの場合、垂直跳びにおける垂直方向への距離とは異なり、水平方向への距離で瞬発力を評価している。

被検者はつま先が踏み切り線の前端に揃うように立ち、両足で同時に踏みきって前方に跳躍し、身体が着地場に触れた位置のうち最も踏み切り線に近い位置と、踏み切り前の両足の中央の位置（踏み切り線の前端）とを結ぶ直線の距離を測定した。試行は 2 回行い、大きい値を測定値とした。

e. 反復横跳び

反復横跳びは、敏捷能力の評価のために用いた。落下棒反応とは異なり、体重を負荷とした移動がともなうため、全身的な敏捷能力を反映している。

被検者は 1 m 間隔に引かれた 3 本の線の中央のラインを跨いで立ち、「始め」の合図で左右どちらかのラインを越すか、または触れるまでサイドステップし、中央に戻り逆のラインを越すか、または触れるまでサイドステップする。この運動を 20 秒間繰り返す。それぞれのラインを通過する毎に 1 点を与えた。試行は 2 回行い、大きい値を測定値とした。

8. 血液分析

各被検者の血液に関するデータは、本研究の測定前に各被検者がおこなった健康診断の結果である。

9. 統計処理

統計量は平均値および標準偏差で示した。MA 群と MC 群の平均値の差の検定には、Mann-Whitney の U 検定を用いた。統計的有意水準は 5%とした。