

高齢者エリートアスリートの身体能力の特徴

勝田 茂・安田 俊広・高橋 英幸・久野 諱也
鯉坂 隆一・向井 直樹・相馬 りか・西嶋 尚彦

Physiological Characteristics of Elderly Elite Athletes

KATSUTA Shigeru, YASUDA Toshihiro, TAKAHASHI Hideyuki, KUNO Shin-ya,
AJISAKA Ryuichi, MUKAI Naoki, SOMA Rika and NISHIJIMA Takahiko

It is well known that regular physical activity prevents the decline of exercise capacity with aging. However, it is unclear whether this benefit is true for elderly people over 80 years of age. The purpose of this study was to identify the physiological characteristics of elderly subjects who possessed high exercise performance.

The subjects were elderly elite athletes ranging in age from 80 to 86 years. All elderly athletes had trained for long periods and participated in national and international sports competitions in various events. Some elderly athletes held the world records in master events. The isokinetic strength, femoral cross-sectional area (CSA), maximal oxygen uptake ($\dot{V}O_{2max}$), bone mineral density and fitness level were measured in all elderly athletes.

The isokinetic strength for both knee extension and flexion in the athletes was higher than that of untrained elderly subjects, especially at a higher speed level (300 deg/sec). There were no significant differences in the femoral CSA measured by magnetic resonance imaging between the elderly athletes and untrained elderly subjects. $\dot{V}O_{2max}$ in the elderly athletes was similar to the values in controls from 50 to 59 years of age. The elderly athletes had higher bone mineral density of the lumbar and trochanter major than the untrained men, which corresponded to the values of young sedentary men. The elderly athletes recorded a high score for the fitness test, especially in 10 meter obstacle walking, 6 minutes walking and sit up tests.

These results suggest that the elderly elite athletes have excellent physical fitness and that physical training prevents 1) loss of the number of motor unit, 2) decreased $\dot{V}O_{2max}$, and 3) decline of bone mineral density with aging even in subjects over 80 years of age.

Key words: aging, elderly athlete, isokinetic strength, muscle cross-sectional area, bone mineral density, fitness test

I. 目的

高齢になっても自立し、活動的な生活を営むことは誰しも願うことである。しかしながら、加齢にともない運動を遂行する能力は徐々に低下していく。この能力低下の原因は、一つには生物学的な老化現象であり、もう一つは不活動によって引き起こされる身体各器官の退化によるものである。老化現象は人為的に変えることが出来ない

が、不活動による機能低下は運動・トレーニングを行うことによって防ぐことが出来る。事実、これまで高齢者を対象とした先行研究は、中高年者であっても筋力トレーニングや持久性トレーニングに対して、十分な適応能力を有しており、筋力増加や持久力増加が可能であることを示唆している^{6,11}。

このような先行研究をふまえ、我々は、2つの疑問を抱いた。ひとつは、加齢による身体運動能

力の低下をトレーニングはどの程度まで抑制することができるのか、その上限はどこのかということであり、2つめは、80歳以上の高齢者(本論文では高齢者と呼ぶ)でもトレーニングに対する適応能力を持っているのか、ということである。これまで報告されている高齢者の研究はほとんどが60から70歳程度を対象としたものであり、80歳を超える被検者を用いた研究は皆無に等しい。

この2つの疑問を明らかにするために、我々は、様々な競技種目において国内外のマスターズ競技会等でトップクラスにいる80歳以上のアスリートを対象にして、運動能力を中心とした身体能力の測定を行った。これらのアスリートはその年代における身体能力の限界に近い人たちであると考えられ、トレーニングの限界を知る上で、重要な手がかりとなるだろう。

II. 方法

1. 被検者

様々な競技種目において優れた成績を収めている男性6名を対象とした(Table 1)。年齢は平均 83.8 ± 2.4 歳。身長は平均 161.8 ± 2.4 cm、体重は平均 57.2 ± 9.1 kg、体脂肪率は平均 $12.8 \pm 3.0\%$ であった。

2. 被検者の競技成績

被検者Aは1997年マスターズスイミング選手権大会85~89歳の部における50m背泳ぎ、100m背泳ぎで世界記録を樹立した。被検者Bは1997年世界ベテランズ陸上競技大会において十種競技で世界記録樹立、1,500m走で優勝、走り幅跳び、砲丸投げ、800m走で準優勝している。被検者Cは1997年日本シニアテニス全国大会80歳以上の部、およびグランドシニアテニス選手権大会の西大会のダブルスで優勝した。被検者Dは剣道7段、居合道9段の有段者であり、1997年全日本高

齢者武道大会80歳以上の部で準優勝している。被検者Eは、1988年世界ベテランズ陸上競技大会の三段跳びで世界記録を樹立。被検者Fは登山を愛好し、1993年に傘寿をモンブランで迎え、1998年に海外山岳登頂200座を達成した。

3. 等速性筋力

BIODEXを用いて、右脚の股関節、膝関節、足関節の伸展・屈曲筋力を測定した。各速度は股関節が120deg/sec、膝関節、足関節は60, 180, 300deg/secで測定した。測定は全て3回行い、最も高い値を最大筋力として評価した。

4. 大腿部筋横断面積の算出

核磁気共鳴映像法(MRI)により大腿部筋横断像を撮影し、筋横断面積を算出した。MRIの撮像には1.5Tの超伝導MR装置(Signa, GE社製)を用い、スピンエコー法を用いて、繰り返し時間900msec、エコー時間20msec、スライス厚10mm、スライス間隔10mm、励起1回の条件で測定した。大転子最上端部を100%、頭骨骨頭の外側踝間結節を0%とし、大腿部70%部位から遠位方向へ分析可能なスライスまで横断像を得た。得られた横断像から大腿四頭筋、ハムストリングス、内転筋群、および縫工筋をトレースし、スキャナーでコンピュータに取り込んだ後、NIH Imageにより各筋の横断面積を算出した。

5. 全身持久力の測定

自転車エルゴメータを用いて負荷漸増法により全身持久力の評価を行った。ペダルの回転数は60rpmとし、被検者の体力を考慮し20または25wattsの仕事率からスタートし、1分毎に10wattsずつ負荷を漸増させた。運動の終了は1) 予測最高心拍数(220-年齢)の85%に到達、2) 収縮期血圧が250mmHgに達する、3) 心電図において心筋虚血所見の発現(虚血性ST降下)、4) 息切

Table 1 Physical characteristics of elderly athletes.

Subject	Age (yrs)	Sports event	Height (cm)	Weight (kg)	Fat (%)
A	86	Swimming	164.1	71.0	16.5
B	86	Track & Field	161.0	57.1	14.6
C	80	Tennis	164.1	47.5	7.5
D	81	Kendo, Iaido	161.1	62.0	13.3
E	85	Track & Field (Jump)	162.8	47.1	12.5
F	85	Climbing	157.9	58.8	12.4
mean	83.8		161.8	57.2	12.8
SD	2.4		2.4	9.1	3.0

れ、疲労感などの自覚症状から総合的に判断した。呼吸ガス分析は、呼吸ガス分析装置(AE-280, ミナト医科学社製)を使用し, breath-by-breath にて換気量, 酸素摂取量, 二酸化炭素排出量等の連続測定を行った。得られたデータをもとにNigelの方法¹⁵により最大酸素摂取量($\dot{V}O_{2max}$)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、左右大腿骨頭部、左右大腿骨 Ward 三角、左右大腿骨大転子の骨塩量(BMC; Bone Mineral Content), 骨密度(BMD; Bone Mineral Density)を測定した。

7. 体力診断テスト

文部省体育局による新体力テスト(1998)の65歳以上対象の項目に、ベグ移動、落下棒反応、垂直跳び、立ち幅跳び、反復横跳びを加えたものを用いた。新体力テストの内容は、握力、上体起こし、長座体前屈、開眼片脚立ち、10m 障害物歩行、6分間歩行である。

III. 結 果

1. 筋力と筋横断面積

Table 2 に、各被検者の等速性最大筋力の結果を示した。被検者Cについては、測定時の被検者の体調を考慮し、膝関節の角速度60度および180度については測定を行わなかった。本研究の被検者とトレーニングを行っていない一般人との違いを明らかにするため、久野ら¹²が報告しているデータに今回の高高齢者アスリートの膝伸展・屈曲筋力のデータをプロットしたものがFig. 1, 2である。高高齢者アスリートの伸展および屈曲

筋力は、久野らの同年代のデータより高い筋力を有し、この傾向は速い角速度において顕著であった。

Table 3 に高高齢者アスリートの大腿部の70%, 50%, 30%部位における筋横断面積を膝伸展筋群(四頭筋)と膝屈筋群(ハムストリング+内転筋群)に分けて示した。これらのデータを一般人と比較するため、久野ら¹²が報告したデータにプロットしたところ(Fig. 3), 本研究の高高齢者アスリートは、膝伸筋群、膝屈筋群の両方において、一般人との違いは認められなかった。

2. 全身性持久力

本研究の高高齢者アスリートにおける推定した体重当たりの $\dot{V}O_{2max}$ は平均 26.4 ± 3.9 ml/kg/minであり(最大値32.0, 最小値20.2ml/kg/min), この値は一般人の年代別平均値²¹に当てはめると、50歳代のそれ(26.2 ± 0.8 ml/kg min)とほぼ同じ値であった。

3. 骨密度

Table 4 に、各被検者の各部位の骨密度の結果を示した。高高齢者アスリートの各部位の骨密度の平均値を日本人高齢者の標準値に対する割合で示したところ(Fig. 4), 全ての部位において100%を超えており、高高齢者アスリートは顕著に高い骨密度を有していた。

4. 体力診断テスト

Table 5 に文部省体育局の新体力テストの結果と得点および総合評価の結果を示した。このテストは試行段階であり80歳以上のデータがないため、得点および総合評価は65歳以上用のものを用いた。上体起こしや10m 障害物歩行、6分間歩行テストについては全被検者で高い得点を得たが、反対に握力は低得点であった。長座体前屈と開眼

Table 2 Isokinetic strength of the hip, knee and ankle joint of elderly athletes.

Subject	Hip		Knee						Ankle					
			Extension			Flexion			Extension			Flexion		
	120	120	60	180	300	60	180	300	60	180	300	60	180	300
	(deg sec)		(deg sec)			(deg sec)			(deg sec)			(deg sec)		
A	112.3	93.3	108.8	79.2	65.5	52.1	29.6	42.4	18.4	11.0	35.9	42.6	29.8	49.1
B	99.3	70.2	115.7	72.7	76.6	78.9	53.7	61.8	20.1	10.0	10.2	56.0	21.7	17.4
C	72.1	68.5	—	—	35.0	—	—	13.2	14.5	7.9	7.5	43.8	18.6	11.3
D	104.8	70.1	87.7	58.6	55.5	55.2	39.6	29.7	17.2	9.4	9.1	42.8	20.6	12.7
E	101.8	84.6	101.6	57.0	52.2	41.9	43.0	44.6	15.6	10.4	8.3	36.9	16.1	15.7
F	121.4	92.3	111.7	122.7	70.2	65.6	74.0	33.6	17.9	9.5	8.0	58.0	18.8	10.2
mean	102.0	79.8	105.1	78.0	59.2	58.7	48.0	37.6	17.3	9.7	13.2	46.7	20.9	19.4
SD	16.7	11.6	11.0	26.7	14.9	14.1	16.9	16.3	2.0	1.1	11.2	8.4	4.7	14.8

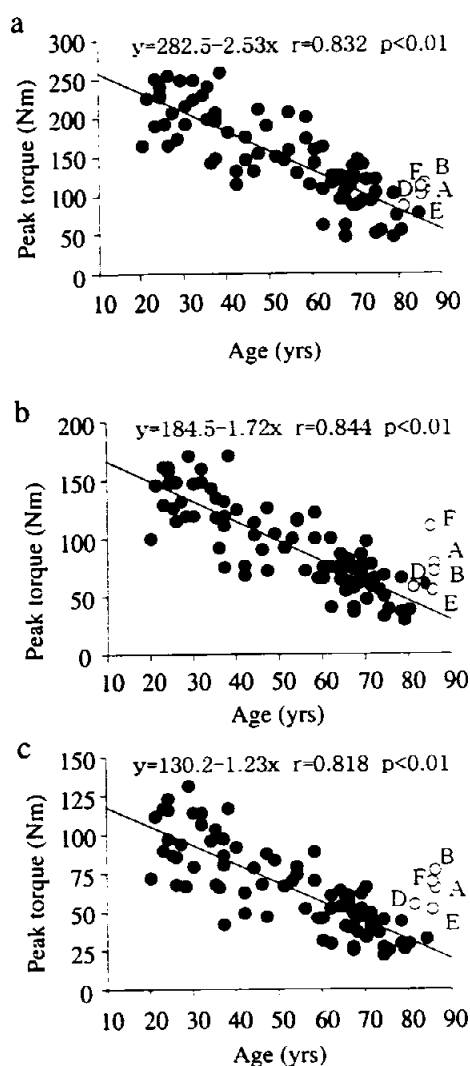


Fig. 1 Change in isokinetic strength of knee extension at (a) 60 deg/sec, (b) 180 deg/sec, and (c) 300 deg/sec with age in sedentary men (filled circle) from Kuno (1998) and elderly athletes in present study (open circle).

片脚立ちの項目においては、得点の高い者から低い者までおり、一定の傾向は見られなかった。各被検者の合計点を平均すると合計得点が41点となり、総合評価はAであった。

IV. 考 察

本研究は、80歳以上でありながら日々高いレベルの活動状態を続けている、高齢者アスリートの身体能力を明確にすることにより、トレーニング

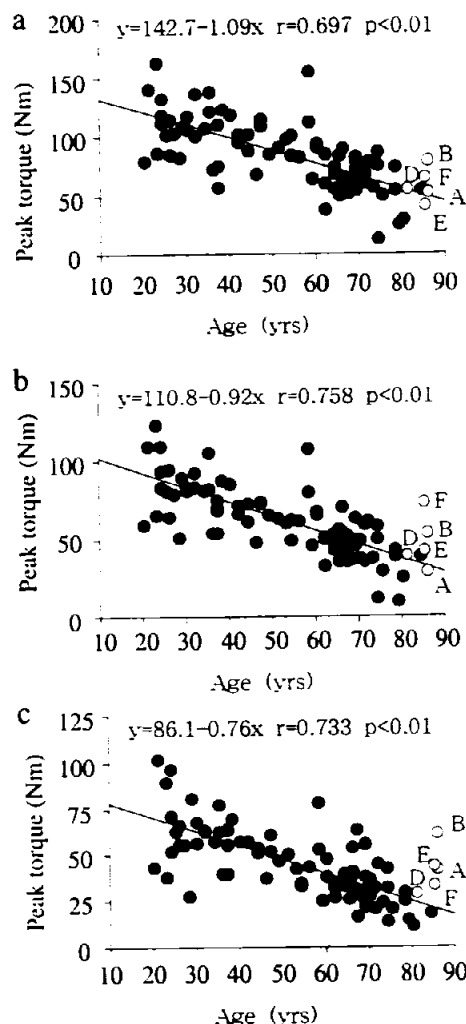


Fig. 2 Change in isokinetic strength of knee flexion at (a) 60 deg/sec, (b) 180 deg/sec, and (c) 300 deg/sec with age in sedentary men (filled circle) from Kuno (1998) and elderly athletes in present study (open circle).

がどの程度まで加齢による身体能力の低下を抑制できるのか、という問題について探ることを目的とした。本研究の結果は、今後訪れるであろう超高齢社会に向けて、現在の中高齢者を対象とした健康づくり、体力向上、さらにQOLに対する運動・スポーツの意義を検討する材料となるだろう。

1. 高齢者アスリートの筋力と筋量

先行研究において、加齢にともなって筋力が低下すること²⁴⁾、そしてその主要原因の1つが

Table 3 Muscle cross-sectional area of elderly athletes.

Subject	70%position		50%position		30%position	
	knee flexion	knee extension	knee flexion	knee extension	knee flexion	knee extension
A	44.95	47.24	57.94	57.04	34.98	29.93
B	50.70	47.38	52.26	47.29	32.59	25.78
C	38.41	36.09	42.14	35.38	21.61	17.85
D	54.10	43.56	59.61	47.84	39.50	28.34
E	37.68	38.45	33.62	35.59	21.07	18.88
F	50.27	48.67	59.78	55.70	25.93	30.30
mean	46.02	43.57	50.89	46.47	29.28	25.18
SD	6.8	5.2	10.8	9.4	7.6	5.5

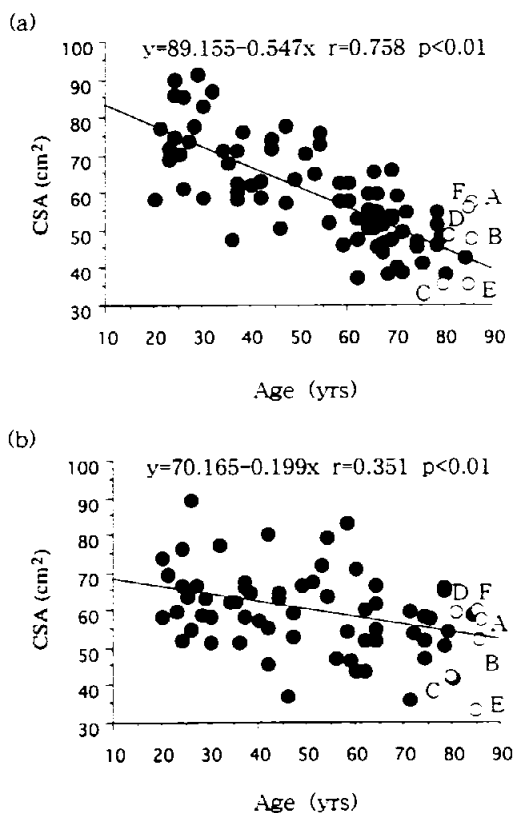


Fig. 3 Relationships between muscle cross-sectional area (CSA) of (a) knee extension and (b) knee flexion muscle and age: sedentary men (filled circle) from Kuno (1998); elderly athletes in present study (open circle).

筋量の減少であることが示されている¹⁵。また、高齢者であっても高強度の筋力トレーニングによって筋力、筋横断面積ともに増加することも示されている^{6,8,11,18}。高高齢者アスリートの筋横断

面積は一般高齢者とほぼ同じ値であった。したがって、80歳以上では加齢の影響による筋の萎縮を防ぐことが出来ないのかもしれない。しかしながら、本研究の被検者は筋力増加を目的とした筋力トレーニングを普段から行っておらず、そのような筋力トレーニングを行っていれば80歳以上になっても筋横断面積を高く維持できる可能性は十分考えられる。Klitgaardら¹⁹は平均70歳前後の競技者を対象に、横断面積を測定した結果、水泳選手と陸上長距離選手の筋横断面積は高齢一般人と差がないが、筋力トレーニングを行っている高齢者では、一般高齢者よりも高い筋横断面積を有していることを報告している。一方、高高齢者アスリートの等速性最大筋力は、一般高齢者よりも高い値を示し、特に筋力発揮が高速になるほどそれが顕著であった。先行研究では加齢にともなう筋の萎縮は、速筋線維の選択的萎縮や速筋型運動単位の選択的消失により生じることが示されており、高高齢者アスリートではこのような速筋線維の機能的・構造的変化が抑制されているのかもしれない。しかしながら、本研究からその詳細なメカニズムを明らかにすることはできない。

2. 高高齢者アスリートの全身性持久力

持久性能力の指標である $\dot{V}O_{2max}$ は20歳をピークに徐々に低下し、その後75歳までに10年間で5~15%の割合で低下することが報告されている²⁰。その低下量は1年間で0.3~0.43ml/kg/minである^{16,21}。そして持久性トレーニングはこの加齢に伴う $\dot{V}O_{2max}$ の低下を抑制することが出来る²²。しかしながら、これら高齢者を対象とした研究でも、その多くは80歳以下のものであり、80歳以上のデータは限られている。我々の知る限り、80歳以上の高齢者を対象に日本人の $\dot{V}O_{2max}$

Table 4 Bone mineral density of elderly athletes.

Subject	Lumbar	Collum femoris		Femoral ward triangle		Trochanter major	
		Left	Right	Left	Right	Left	Right
A	1.333	0.864	0.829	0.482	0.506	0.737	0.746
B	1.083	0.910	0.903	0.687	0.689	0.849	0.874
C	1.353	0.854	0.788	0.565	0.514	0.782	0.779
D	1.256	0.819	0.944	0.602	0.726	0.805	0.900
E	1.260	0.808	0.865	0.611	0.669	0.736	0.770
F	1.220	0.785	0.810	0.602	0.660	0.799	0.771
mean	1.251	0.840	0.857	0.592	0.627	0.785	0.807
SD	0.096	0.045	0.059	0.067	0.094	0.043	0.064

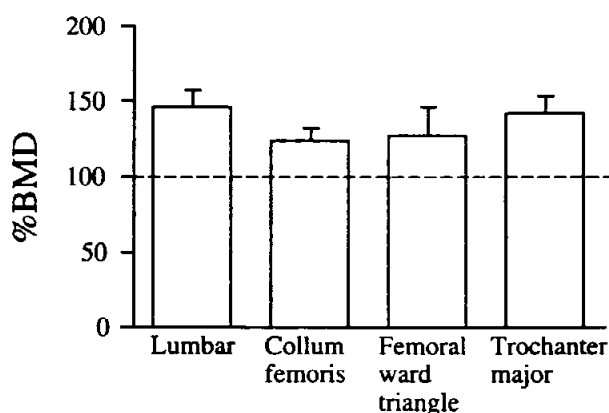


Fig. 4 Bone mineral density of lumbar, collum femoris, femoral ward triangle, and trochanter major of elderly athletes in present study. Values are expressed as percent of standard value in Japanese old people.

Table 5 Results of "Japan fitness test" for elderly athletes.

Subject	Grip strength (kg)	Sit-ups (times)	Sitting trunk flexion (cm)	Opened eyes foot balance (sec)	10m walk with low hurdle (sec)	6 minutes walk (m)	Total point.	Fitness level (A~E)
A	24 (2)	17 (9)	28 (4)	2 (1)	5.0 (9)	635 (8)	33	C
B	31 (4)	16 (8)	40 (7)	23 (6)	5.4 (9)	754 (10)	44	A
C	30 (4)	12 (6)	16 (2)	11 (5)	6.0 (8)	545 (6)	31	C
D	32 (4)	18 (10)	47 (9)	120 (10)	5.4 (9)	730 (10)	52	A
E	30 (4)	20 (10)	34 (6)	79 (8)	5.0 (9)	590 (7)	44	A
F	25 (2)	16 (8)	31 (5)	14 (5)	4.7 (10)	676 (9)	39	B
mean	28.6 (3)	16.5 (8)	32.7 (6)	41.5 (7)	5.3 (9)	655 (9)	41	A
SD	3.3	2.7	10.6	47.2	0.5	80.7		

Figures in parenthesis refer to point

を測定した研究はなく、本研究の被検者がどの程度のレベルであるかを明らかにすることはできない。しかしながら、高高齢者アスリートの体重当たりの $\dot{V}O_2\max$ は、一般人の50歳代に相当する値

であり、普段の活動的な生活が有酸素能力の低下を抑制していることは明らかである。加えて、先行研究において持久性トレーニングを行っている高齢アスリート(平均82歳)は、本研究の高高齢者

アスリートよりも高い $\dot{V}O_2\text{max}$ を有していることが報告されている¹⁰⁾。これは、本研究の高高齢者アスリートがマラソンランナーのような長時間の持久性トレーニングを行っていないために、そのような持久性トレーニングを行っている高齢アスリートに比べて、 $\dot{V}O_2\text{max}$ の低下が抑制できなかったことを示唆している。Pollockら¹¹⁾は、50歳の陸上競技選手をその後20年間に渡って追跡調査し、加齢による $\dot{V}O_2\text{max}$ の低下を抑制するにはHighあるいはModerate強度のトレーニングが必要であり、Low強度のトレーニングではトレーニング効果がないことを示唆している。これらのことから高高齢者アスリートも持続的なトレーニングを取り入れれば、さらなる $\dot{V}O_2\text{max}$ の増加が期待できるかもしれない。

3. 高高齢者アスリートの骨密度

骨量は30歳前後で最大骨量を迎えた後、加齢とともに0.3~0.5%/年の割合で減少する²⁾。加齢に伴う骨量の減少は、高齢者にとって深刻な問題である。なぜなら高齢者は身体の運動能力が低下しているので、つまずきや転倒といった事故に遭遇する機会が多いうえに、骨量減少による骨折の危険性が高い。また、治療能力も低いためにそのまま寝たきりになるケースがある。したがって、骨量増加は高齢者の活動的な生活のために大きな意味を持つ。本研究において、高高齢者アスリートは非常に高い骨密度を有することが示された。一般に、骨は力学的負荷に対応してその形状や内部構造を変化させることが認められている。Ayalonら¹⁾は平均63歳の閉経後女性に対して、週3回、1回50分、5ヶ月にわたって、前腕を引っ張る、圧縮するなどの負荷をかけた結果、これらの局所的負荷を受けた女性の橈骨骨密度が4%増加する一方で、特に運動をしなかった同年代の女性では2.7%減少することを報告し、本研究の結果を支持している。これらのことから80歳以上の高齢であっても、身体活動を行うことによって骨へ力学的負荷を加えると骨密度の低下を抑制することができることを示唆している。

4. 体力テスト

本研究で使用した文部省の新体力テストは、平成10年度に施行されたもので、データの蓄積がないことに加え、80歳以上の評価基準もないために、65歳以上の基準から、本研究の被検者の各測定項目の10段階評価と、5段階の総合評価を行っ

た。判定基準が10歳以上若い被検者用のものであるにもかかわらず、高高齢者アスリートは総合評価で優れた成績を示した。したがって、もし80歳代の運動を行っていないヒトと比較すれば、その差は歴然としたものになるだろう。体力テストの種目のうち、10m障害物歩行と6分間歩行テストはともに9点を記録し、特に優れた成績であった。歩くことは日常生活の基盤となる行動であり、活動水準の高い生活を送ることがこれらの能力を向上させていることは明らかであろう。その一方で、開眼片脚立ちのように1点の者から10点を記録する者まで大きなばらつきを示す種目もあり、運動が老化により生じる様々な影響を完全に抑制することはできないようである。このような得点のばらつきが、種目特性によるものなのか、単に個人差によるものなのかについてはさらなる研究が必要であろう。

5. 今後の超高齢社会における運動・スポーツの意義

加齢とともに筋の萎縮が生じ筋力の低下が生じることは生物学的特性として避けることはできない。特に骨格筋は不活動の影響も加わり、著しい萎縮とそれにとまなう筋力低下が生じる。しかしながら、多くの先行研究は高齢者にも若齢者と同等の筋機能改善能力が備わっていることを示唆しており、身体トレーニングは筋機能維持に大きな役割を果たすと考えられる。本研究の高高齢者アスリートでは、一般人と同様の筋横断面積を有していたが、筋力や体力テストといった身体機能の発揮に優れた成績を示し、身体トレーニングが80歳以上という高齢者であっても高い体力を維持することを可能にすることが示唆された。このような優れた身体能力は活動的な生活を送るための体力的基盤を提供するであろう。また本研究の高高齢者アスリートは常に目標を持って毎日の生活を送っており、精神的な充足度も極めて高いことが推察された。たとえ80歳以上といえども無理のない強度でトレーニングを続けることは、肉体的にも精神的にも健全な生活を送ることができ、QOLの向上に寄与するであろう。

V. まとめ

本研究の結果をまとめると、高高齢者アスリートの特徴は、1) 加齢による筋萎縮は認められるが、高速度での筋力発揮に高い値を示し、速筋繊維の萎

縮が抑制されている, 2) 加齢に伴う $\dot{V}O_2\text{max}$ の低下が抑制されている, 3) 高い骨密度を有していることの3点であり, このような筋骨格系および循環系の優れた能力によって, 体力レベルを高く維持していると言える。加齢に伴う身体活動能力の低下は生物学的事象として避けることが出来ないが, トレーニングはその能力低下を抑制することができ, このトレーニングによる抑制効果は80歳を超えてもなお身体に備わっていると言える。

本研究は平成10・11年度文部省科学研究費補助金・基盤研究(B)(一般)・課題番号10480002(研究代表者: 勝田茂)によるものである。

引用・参考文献

- 1) Ayalon J, Smith PH, Richardson AM (1941): Postmenopausal osteoporosis. Its clinical features. *JAMA* 116: 2465-2474.
- 2) Aniansson A, Grimby G and Hedberg M (1992): Compensatory muscle fiber hypertrophy in elderly men. *J Appl Physiol* 73: 812-816.
- 3) Aoyagi Y and Katsuta S (1990): Relationship between the starting age of training and physical fitness in old age. *Can J Sport Sci* 15: 65-71.
- 4) Asmussen E. Aging and exercise. In: Horvath SM, and Yousefeds KM (1980): *Environmental physiology: Aging, heat and altitude*. New York: Elsevier Science Publishing Co Inc: 419-428.
- 5) Coggan AR, Spina RJ, King DS, Rorers MA, Brown M, Nemeth PM and Holloszy JO (1992): Skeletal muscle adaptations to endurance training in 60- to 70-yr-old men and women. *J Appl Physiol* 72: 1780-1786.
- 6) Fiatarone MA, Marks EC, Ryan ND, Meredith CN, Lipsitz LA and Evans WJ (1990): High-intensity strength training in nonagenarians. *JAMA* 263: 3029-3034.
- 7) Fleg JL and Edward GL (1988): Role of muscle in the age-associated reduction in $\dot{V}O_2\text{max}$. *J Appl Physiol* 65: 1038-1051.
- 8) Frontera WR, Meredith CN, O'reilly KP, Kuntgen HG and Evans WJ (1988): Strength conditioning in older men: skeletal muscle hypertrophy and improved function. *J Appl Physiol* 64: 1038-1044.
- 9) 藤田拓男(1987): 骨の成長と老化. *The Bone* 1: 43-47.
- 10) Heath GW, Hagberg JM, Ehsani AA and Holloszy JO (1981): A physiological comparison of young and older endurance athletes. *J Appl Physiol* 51: 634-640.
- 11) Klitgaard H, Manton M, Schiaffino S, Ausoni S, Gorza L, Laurent-winter C, Schnohr P and Saltin B (1990): Function, morphology and protein expression of aging skeletal muscle: a cross-sectional study of elderly men with different training backgrounds. *Acta Physiol Scand* 140: 41-54.
- 12) 久野謙也, 勝田 茂, 石津政雄, 秋間 広(1998): 高齢者における筋量と筋力の低下は加齢によるものか不活動によるものか? デサントスポーツ科学 19: 175-182.
- 13) Lexell J, Taylor C and Sjöström M (1988): What is the cause of the aging atrophy? Total number, size and proportion of different fiber types studies in whole vastus lateralis muscle from 15- to 83-year old men. *J Neurol Sci* 84: 275-294.
- 14) Neil MC, Audrey LH, Joan M and Colin EW (1995): Long-term resistance training in the elderly, effects on dynamic strength, exercise capacity, muscle, and bone. *J Gerontol Biol Sci* 50: 97-104.
- 15) Nigel PB and Philip AP (1988): Extrapolated maximal oxygen consumption: a new method for the objective analysis of respiratory gas exchange during exercise. *Brit Heart J* 59: 212-217.
- 16) Pollock ML, Carl F, Dorothy K, Joe LR and Donald HS (1987): Effect of age and training on aerobic capacity and body composition of master athletes. *J Appl Physiol* 62: 725-731.
- 17) Pollock ML, Mengelkoch LJ, Graves JE, Lowenthal DT, Limacher MC, Foster C and Wilmore JH (1997): Twenty year follow-up of aerobic power and body composition of older track athletes. *J Appl Physiol* 82: 1508-1516.
- 18) Profant GR, Ronald GE, Early LN, Fusako K, Verona H and Robert B (1972): Response to maximal exercise in healthy middle aged women. *J Appl Physiol* 33: 595-599.
- 19) Roman WJ, Fleckenstein J, Stray-Gundersen J, Always SE, Peshock R and Gonyea WJ (1993): Adaptations in the elbow flexors of elderly males after heavy-resistance training. *J Appl Physiol* 74: 750-754.
- 20) 竹島伸生, 田中喜代次, 小林章雄, 渡辺大真, 中田昌敏 (1996): 長期間の歩行習慣が中高年者の全身持久性と活力年齢に及ぼす効果. *体力科学* 45: 387-394.
- 21) Trappe SW, David LC, Matthew DV, Jared J and Thomas M (1996): Aging among elite distance runners: a 22-yr longitudinal study. *J Appl Physiol* 80: 285-290.