

## 十種競技選手の筋形態と無酸素性パワー発揮特性

Characteristics of muscle structure and anaerobic power generation capacity in decathlon athletes

平松 忠浩 (国士館大学大学院スポーツ・システム研究科)  
熊川 大介 (国士館大学大学院スポーツ・システム研究科)  
青山 利春 (国士館大学大学院スポーツ・システム研究科)

田中 重陽 (国士館大学大学院スポーツ・システム研究科)  
角田 直也 (国士館大学大学院スポーツ・システム研究科)

### 緒言

陸上競技の十種競技は、「走」、「跳」、「投」といった陸上競技の3要素が一つの種目に収集されており、各種目でマークした記録を国際陸上競技連盟 (IAAF) の定めた Scoring Tables (2001) に基づいて得点化され、その合計得点を争う競技である。「走」、「跳」、「投」の異なった分野の種目を行う為、精神的、身体的に過酷な競技であり、競技者には高い運動能力が必要とされている<sup>7)</sup>。

これまでに競技スポーツ選手は、種目によって身体の活動様式やトレーニングの内容が異なるため、特定の種目を長期間経験することで、その種目特有の身体組成や体肢組成を示す<sup>12)</sup>ことが報告されている。しかし、十種競技選手は、高いパワー発揮能力を養うトレーニングに加え、持久能力の向上を目的としたトレーニングを併せて実施しており、それらのトレーニングが筋の形態や機能にどの程度影響を及ぼしているのかは明らかにされていない。十種競技選手の筋形態特性を明らかにし、他種目選手との比較を行うことは、十種競技選手の競技力向上やトレーニング計画のために貴重な資料になるものと考えられる。また、自転車ペダリングにおける無酸素性パワー発揮は下肢の筋量及び筋力に依存することが報告されている<sup>10)</sup>。専門種目特有のトレーニングを長期間に亘り実施し、異なる筋形態を有している陸上競技選手の筋形態と無酸素性パワーとの関係を種目ごとに明らかにすることは意義あるものと思われる。

そこで本研究では、十種競技選手及び各種目の専門選手を対象に、筋量及び無酸素性パワーを測定し、他種目と比較することで、十種競技選手の筋形態及び無酸素性パワー発揮特性を明らかにすることを目的とした。

### 方法

#### 1. 被験者

被験者は、大学陸上競技部に所属する十種競技選手6

名、100m選手8名、400m選手6名、跳躍選手11名、投擲選手8名の計39名とした。競技レベルのばらつきを少なくするため、各種目の選手は関東学生陸上競技連盟一部校に在籍し、関東インターカレッジの標準記録を突破している者に限定した。被験者の身体特性を表1に示した。各被験者には、実験目的、実験内容を十分に説明し、参加の同意を得た。

表1 被験者の身体的特性

群	n	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)
十種競技	6	22.0±1.9	180.0±8.2	72.7±7.1
100m	8	20.5±0.9	173.9±3.9	66.2±5.4
400m	6	21.0±0.9	173.2±3.7	63.6±3.7
跳躍	11	21.1±1.6	174.3±5.4	67.4±6.5
投擲	8	20.0±1.4	180.1±3.0	97.0±7.1

十種競技<他種目:##: p<0.01

平均値±標準偏差値

#### 2. 形態計測

身長は身長計で測定し、体重、全身筋量、上肢、下肢及び体幹の筋量の測定はInBody720 (BIOSPACE社製)を用いて測定した。この測定器は身体に微弱な電流を流しその抵抗値により体成分データが算出される。InBody720によって得られた各部位の筋肉量は、除脂肪量からミネラル量を除いた値であり、その値を全身筋量と定義した。また、上肢、下肢及び体幹の各部位の筋量を測定し、全身筋量に占める各部位の筋量の割合を次の式より算出した。「各部位の筋量/全身の筋量\*100」。

#### 3. 無酸素性パワーの測定

無酸素性パワーの測定は、POWER MAX-VII (COMBI社製)を用いて行った。負荷重量の設定は、Wingate testで用いられている、体重の7.5%kpとした。また、低負荷

Tadahiro HIRAMATSU (Graduate School of Sport System, Kokushikan University)  
Shigeharu TANAKA (Graduate School of Sport System, Kokushikan University)  
Toshiharu AOYAMA (Graduate School of Sport System, Kokushikan University)

Daisuke KUMAGAWA (Graduate School of Sport System, Kokushikan University)  
Naoya TSUNODA (Graduate School of Sport System, Kokushikan University)

時のパワー発揮能力を測定するために、体重の2.5%kp<sup>16)</sup>の負荷重量を設定した。被験者には30秒間の全力ペダリングを行わせ、無酸素性パワーの最高値(Peak power: 以下PPと定義)及び時間に伴う無酸素性パワーの変化を記録した。また、運動開始からの5秒間の仕事量(以下FPと定義)及び30秒終了前の5秒間の仕事量を求め、その低下率を算出した。尚、測定にあつた被験者には、十分なウォーミングアップを行わせ、各自に適したサドルの高さを設定させ、サドルから腰を上げないように指示をした。被験者の負担を考慮し、1日1試技とし、2日間に亘り測定を実施した。

4. 統計処理

本研究における相関関係の算出は、すべてピアソンの相関分析によって求めた。また、各種目間における差の検定には、一元配置分散分析を用い有意な効果が認められた場合には、Scheffe法による多重比較検定を行った。各検定における有意水準はすべて5%とした。

結果

1. 十種競技選手の筋形態特性

表2に十種競技選手と他種目選手の筋量の比較を示した。十種競技選手と各競技種目選手の全身筋量を比較したところ、十種競技選手は400m選手より有意に高い値を示したが、投擲選手より有意に低い値を示した。次に各部位の筋量について比較したところ、十種競技選手の上肢及び体幹の筋量は100m選手及び400m選手より有意に高い値を示し、投擲選手よりも有意に低い値を示した。これに対して、下肢の筋量は十種競技選手と他種目選手の間に著しい差は認められず、ほぼ同様の値を示した。次に、全身筋量のうち各部位の筋量が占める割合について十種競技選手と他の競技種目選手と比較した(表3)。十種競技選手の上肢の筋量の割合は、400m選手よりも有意に高い値を示し、投擲選手よりも有意に低い値を示した。しかし、十種競技選手における下肢の筋量の割合は、投擲選手よりも有意に高い値を示した。体幹の筋量の割合については、他種目選手との間に著しい差は確認されなかった。

2. 十種競技選手の無酸素性パワー発揮特性

表4は2.5%kp及び7.5%kp負荷におけるPPを各競技種目で比較したものである。2.5%kp負荷では、投擲選手が最も高い値を示し、次に十種競技選手、続いて跳躍選手、100m選手、400m選手の順であった。7.5%kp負荷では、最も高い値を示したのは投擲選手であり、次いで十種競技選手であった。十種競技選手は、両負荷とも投擲選手

表2 十種競技と他種目の筋量比較

群	全身(kg)	上肢(kg)	下肢(kg)	体幹(kg)
十種競技	64.5±7.1	7.6±1.0	21.9±2.7	29.2±3.0
100m	56.7±3.7	6.2±0.4 *	19.5±1.6	25.2±1.2 *
400m	55.0±4.0 *	6.0±0.6 *	19.1±1.2	24.5±1.6 *
跳躍	57.5±4.9	6.7±0.8	19.3±1.5	26.3±2.3
投擲	73.5±4.6 #	9.3±0.7 ##	23.1±1.7	34.0±2.0 ##

十種競技>他種目:\*p<0.05 平均値±標準偏差値  
十種競技<他種目:#p<0.05,##p<0.01

表3 全身筋量のうち上肢、下肢及び体幹の筋量の割合

群	上肢 (%)	下肢 (%)	体幹 (%)
十種競技	11.8±0.3	34.0±1.0	45.2±0.9
100m	11.0±0.4	34.4±1.1	44.5±1.5
400m	10.9±0.5 *	34.6±1.3	44.5±1.1
跳躍	11.6±0.6	33.6±1.3	45.7±1.0
投擲	12.7±0.5 #	31.5±1.2 **	46.3±1.3

十種競技>他種目:\*p<0.05,\*\*p<0.01 平均値±標準偏差値  
十種競技<他種目:#p<0.05

表4 各競技種目におけるPPの比較

	2.5%kp(W)	7.5%kp(W)
十種競技	394.5±34.3	942.8±80.7
100m	359.5±42.7	874.0±85.5
400m	342.2±28.6	807.8±69.7
跳躍	361.5±37.7	850.3±127.4
投擲	514.3±48.5 ##	1134.6±90.9 #

十種競技<他種目:#p<0.05,##p<0.01 平均値±標準偏差値

表5 各競技種目における全身筋量当たりのPPの比較

	2.5%kp(W/kg)	7.5%kp(W/kg)
十種競技	6.1±0.3	14.7±0.6
100m	6.2±0.4	15.3±0.9
400m	6.2±0.4	14.7±0.7
跳躍	6.3±0.3	14.7±1.2
投擲	7.0±0.5 ##	15.4±0.8

十種競技<他種目:##p<0.01 平均値±標準偏差値

より有意に低い値を示した。

次に、全身筋量に対するPPを各競技種目間で比較した(表5)。低負荷である2.5%kp負荷において十種競技選手は投擲選手より有意に低い値を示したが、高負荷である7.5%kp負荷では他種目選手との間に有意な差は認められなかった。

図1は時間の経過に伴う無酸素性パワーの変化を示したものである。低負荷である2.5%kpでは、十種競技選手と投擲選手との間で、試技開始から18秒まで有意な差が認められ、19秒以降ではほぼ同様の値を示していた。これに対して負荷の重い7.5%kpでは、試技開始から5秒まで十種競技選手は投擲選手よりも有意に低い値を示しており、6秒以降はほぼ同様の値を示した。また、十種競技選手における時間の経過に伴う無酸素性パワーの変化様相は、投擲選手を除く他の種目選手とほぼ同様の傾向を示していた。表6は運動開始5秒間の仕事量(FP)と運動終了前5秒間の仕事量から算出した低下率を種目間で比較したものである。両負荷とも最も高いのは投擲選

表6 仕事量の低下率

	2.5%kp(%)	7.5%kp(%)
十種競技	2.1±7.8	21.5±4.8
100m	5.3±8.2	22.5±10.3
400m	-2.1±9.6	14.4±15.5
跳躍	5.6±9.1	22.7±10.4
投擲	16.5±8.4	39.6±6.4 #

平均値±標準偏差

手であり、十種競技選手は高負荷の7.5%kp時に投擲選手と比較して有意に低い値を示した。

図2に2.5%kp及び7.5%kp時におけるFPとPPの関係

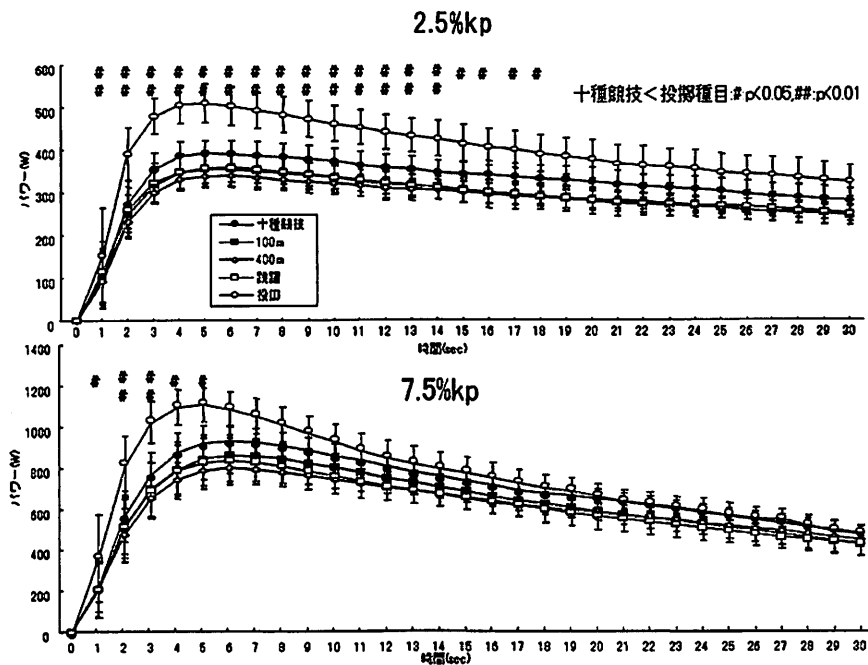


図1 30秒間の無酸素性パワーの変化

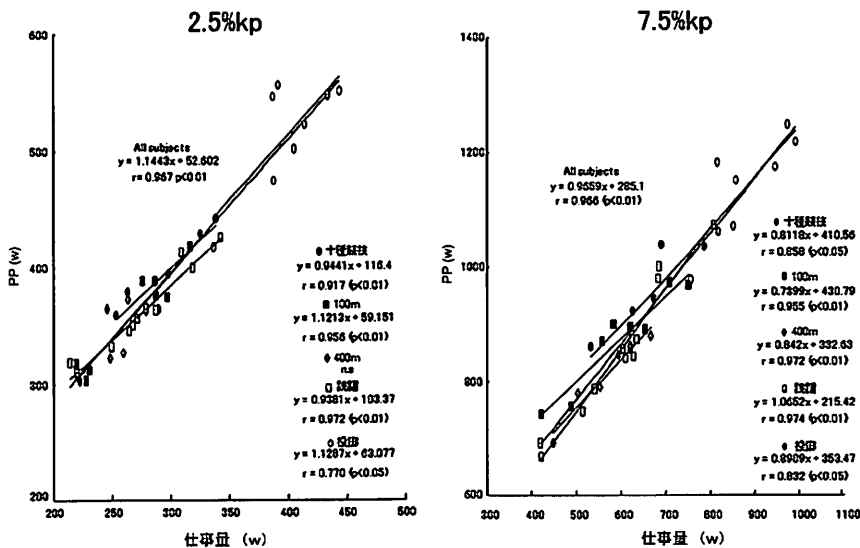


図2 FPとPPの関係

をそれぞれ示した。両負荷とも全被験者においてFPとPPとの間に有意な相関関係(2.5%kp:  $r=0.967$ , 7.5%kp:  $r=0.966$ )が認められた。各群では、2.5%kp時は、400m選手を除く他の種目において有意な相関関係が認められ、7.5%kp時では全ての群で有意な相関関係が認められた。次に、全身筋量と低下率の関係を図3に示した。全被験者では両者に有意な相関関係が認められた。また、全被験者の全身筋量と低下率の平均値を図中に点線で示したところ、2.5%kp及び7.5%kp時ともに、十種競技選手のみ右下方に位置し、全被験者の両者の関係を示す回帰直線よりも下に位置していた。

考察

1. 十種競技選手の筋形態特性

十種競技選手は投擲選手に次いで全身筋量、上肢、下肢及び体幹の筋量が多いことが確認された。また、全身筋量に占める各部位の筋量の割合についてみたところ、十種競技選手における上肢の筋量の割合は投擲選手より有意に低い値を示したが、下肢の筋量の割合は投擲選手よりも有意に高い値を示した。即ち、十種競技選手の下肢の筋量は絶対値では投擲選手よりも劣るものの、全身筋量に対する相対値で評価すると投擲選手よりも下肢の筋量の割合が高いことを示す。このことは、十種競技選手の筋形態特性であろうことが予想される。

角田ら<sup>14)</sup>は、スポーツ選手を対象に筋形態と筋出力特性を検討し、筋の発達はトレーニング様式及びトレーニング度合いに影響されることを報告している。100mの競技種目としての特徴は、膝関節群の高速運動下における

筋発揮能力であり<sup>8)</sup>、トレーニング例として、スターティングブロックからのスタート練習や短い距離の疾走練習が挙げられる。また、400mの競技種目としての特徴は、運動時間が約50秒程度要するため、ATP-CP系と乳酸系のエネルギー供給機構が主となる<sup>9)</sup>。そのため、主なトレーニングとしては、500mのレペーショントレーニング等が行われている。跳躍種目の競技種目としての特徴は、スピード・筋力要素が重要とされ<sup>5)</sup>、疾走練習及び助走からの跳躍練習等を行っている。一方、投擲種目の競技特徴は、爆発的なパワー発揮能力が重要であるために<sup>3)4)</sup>、日常より高強度の筋力トレーニングを行っている。十種競技に関しては、競技種目の特性上、各競技種目のトレーニングを全て取り入れている。本研究においても各競技種目の日常トレーニング様式の相違が、筋形態の差を生じさせたものと推察された。

2. 十種競技選手の無酸素性パワー発揮特性

1) 最大無酸素性パワー発揮特性

先行研究において高橋は<sup>12)</sup>、大学男子スポーツ選手を対象に最大無酸素性パワーについて検討したところ、短時間に高い運動強度がより要求される競技種目は、最大無酸素性パワーの重要度が高いことを報告しており、無酸素性パワーテストの重要性について指摘している。さらに山本ら<sup>15)</sup>は、十種競技選手を対象に筋パワー特性を検討したところ、1500mを除く9種目の競技成績が無酸素性パワーとの間に有意な相関関係を示したことから、十種競技は無酸素性パワーの貢献度が大きい競技種目であることを報告している。本研究では、十種競技選手の無酸素性パワー発揮特性を明らかにするために、日常よ

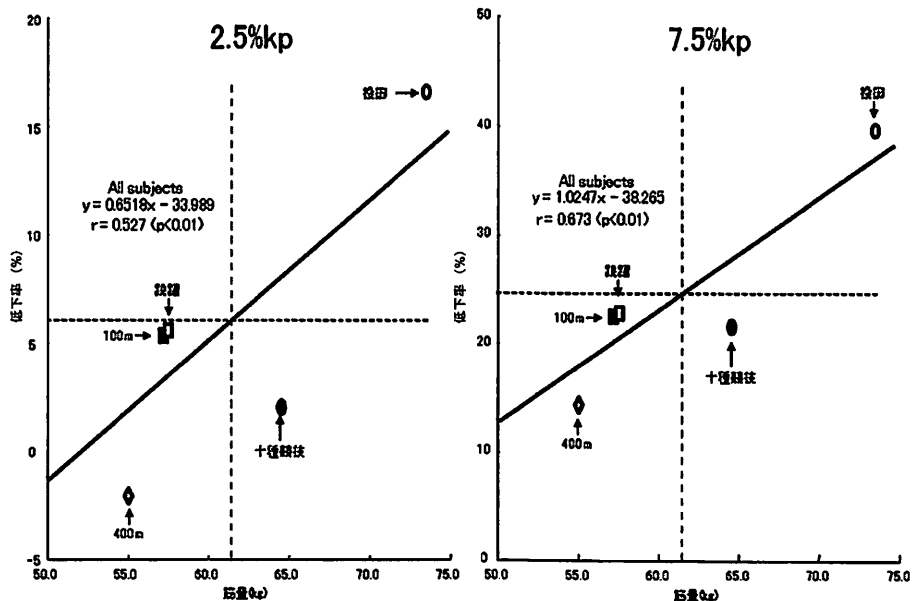


図3 全身筋量と低下率の関係

り異なるトレーニングを実施している他種目選手と比較した。その結果、十種競技選手の無酸素性パワーは負荷値が異なっても投擲選手に次いで高値を示した。高いパワー発揮は神経衝撃による多くの運動単位及び筋線維の瞬時的動員、個々の筋節の素早い短縮及び速筋線維の発達に影響していることが指摘されている<sup>6)</sup>。100m、400m及び跳躍選手も種目の特性上、瞬発的な能力に優れる種目であることが予想されるが、これらの種目よりも十種競技選手及び投擲選手はPPに優れていたことから、他の種目に比べ、先行研究で指摘されている、神経衝撃による多くの運動単位及び筋線維の瞬時的動員、個々の筋節の素早い短縮及び速筋線維の占める割合が多い可能性が示唆された。また、投擲選手の無酸素性パワーが高い値を示したことは、日常のトレーニングにおいても、他種目と比べて高重量の物体を用いて爆発的な筋力発揮をさせるトレーニングを主としているという報告があるように<sup>4)</sup>、高負荷によるトレーニングの影響が強いものと推測できる。一方、十種競技選手においてもその種目の特性上、投擲選手が行っている高負荷でのトレーニングを取り入れているものの、その頻度は投擲選手よりも少ないことが考えられる。このようなトレーニングの影響がPPに影響したものと推察できる。また、無酸素性パワーは形態特性に影響を受けることが指摘<sup>2)</sup>されている。本研究では筋形態特性に種目差が確認されたので、PPを全身筋量で除した相対値での評価を行ったところ、軽い負荷である2.5%kpでは、投擲選手に劣るものの、設定負荷が高くなると投擲選手と同等のパワー発揮能力を有していることが明らかとなった。

次に、異なる負荷値設定時の時間の経過に伴うパワーの変化を種目ごとに比較した。その結果、軽い負荷では十種競技選手と投擲選手の間に運動開始から18秒まで、重い負荷では5秒まで有意な差が認められた。中村ら<sup>10)</sup>は、自転車ペダリング運動においてピークパワーに達するまでの過程についても検討しなければならないことの重要性を指摘している。また、会田ら<sup>1)</sup>は、5種類の6秒間全力ペダリングにおける無気的パワー特性を検討したところ、力・パワーは、どの負荷においても5秒間の仕事量に大きな影響を与えること、また、負荷が大きい場合の5秒間の仕事量は、筋力が大きく影響を及ぼすことを報告している。大きな無酸素性パワーの発揮には、比較的軽い負荷設定である2.5%kpでは、速くペダルを回転させるといった速度の要素が大きく、7.5%kpでは負荷の設定が大きいために力の要素も必要とされる。このような異なる条件下において、運動開始直後の仕事量とピークパワーとの関係について検討したところ、2.5%kp時においては400m選手以外で、有意な相関関係が認められた。また、7.5%kp時においては全ての群において有意な相関関係が

認められた。この結果は、負荷設定値が異なるとしても運動開始直後の仕事量によって、ピークパワーが決定されることを意味するものである。さらに、十種競技選手におけるFPとPPとの間で得られた相関係数は、トレーニング様式の異なる他の種目のそれと変わらず高い係数を示していたことから、仕事量とピークパワーとの関係性には種目による差は存在しないであろうことが考えられた。

また、本研究では、十種競技選手の筋形態と仕事量の低下率について検討した。その結果、十種競技選手の2.5%kp及び7.5%kpの仕事量の低下率は、400m選手に次いで低い値を示した。次に、仕事量の低下率と全身筋量及び下肢筋量との関係について検討したところ、全被検者において有意な相関関係が認められた。さらに、全被検者の全身筋量及び下肢筋量と仕事量の低下率の平均値を散布図に点線で示したところ、十種競技選手のみ右下方に位置する傾向にあった。尾縣ら<sup>11)</sup>は、陸上競技100m、200m、400m、800m及び十種競技を対象に、筋疲労と疾走能力と体力的要因との関係について検討したところ、400m選手は有酸素性能力の重要性を指摘し、筋疲労時においてより全力疾走時に近い速度で走ることのできる能力を有していると報告している。このことから、400m選手は有酸素的能力に優れているため比較的疲労しにくいことが予想され、仕事量の低下率が他の種目より低値であったものと考えられる。さらには、持続能力に優れる400m選手は遅筋線維の占める割合が高いことから、仕事量の低下率が低値であったことは筋線維タイプの影響も考えられる。筋量の多い投擲選手は他の種目選手よりも高い無酸素性パワーを発揮できるが、高いパワー発揮を持続する能力は他の種目よりも劣っている。これに対し、筋量の少ない400m選手は無酸素性パワー値は低いものの、持続能力が優れているといった特性を有している。十種競技選手においては、全身筋量の値が投擲選手に次いで高い値であり、全被検者の平均値よりも高いこと、また、仕事量の低下率が400m選手同様に回帰直線より下に位置していた。即ち、十種競技選手は全身の筋量が多く、持続的な能力にも比較的優れているであろうことが推察された。

## まとめ

本研究では十種競技選手及び各種目の専門選手を対象に、筋量及び無酸素性パワーを測定し比較することで、十種競技選手の筋形態及び無酸素性パワー発揮特性を明らかにすることを目的とした。

その結果、次の事が明らかになった。

1. 十種競技選手の下肢の筋量は投擲選手よりも劣るも

の、全身の筋量に対する相対値で評価すると投擲選手よりも下肢の筋量の割合が高いことが明らかになった。

2. 十種競技選手の全身及び下肢の筋量に対する最大無酸素性パワーにおいて、負荷値の低い2.5%kpでは100m、400m及び跳躍選手と同様のパワー発揮だが投擲選手よりも劣った。しかし、設定負荷が高い7.5%では各競技種目選手と同等のパワー発揮能力を有していることが明らかになった。
3. 十種競技選手の30秒間の無酸素性パワーの変化は、負荷の大小に関わらず100m、400m、及び跳躍選手と同様であったが、投擲選手との比較において、軽い負荷である2.5%kp時は運動開始から18秒まで、重い負荷である7.5%kp時では運動開始から5秒まで有意に低い値を示した。また、競技種目に関わらず運動開始直後の仕事量が最大無酸素性パワーの大小を決定することが明らかになった。
4. 十種競技選手の仕事量の低下率は、400m選手に次ぐ低値であり陸上競技選手において高い無酸素性パワーの持続能力に優れていることが明らかになった。

以上のことから、十種競技選手の筋形態及び異なる作業負荷時の無酸素性パワー発揮特性が明らかになった。また、十種競技選手の日常のトレーニング内容が筋形態及び無酸素性パワー発揮特性に大いに影響しているであろうことが示唆された。

#### 引用文献

- 1) 会田宏, 高松薫, 杉森弘幸, 向井俊哉 (1992) 自転車エルゴメーターの全力ペダリングにおいて発揮される無氣的パワーの特性: 筑波大学体育科学系紀要 15 191-197
- 2) 明石正和, 横内靖典, 武藤幸政, 畠山栄子, 永都久典 (1994) スポーツ選手の形態および最大無酸素パワーに関する事例的研究: 城西大学研究年報, 自然科学編 18 37-50
- 3) 青山慎一郎, 青山利春, 岡田雅次, 角田直也 (2003) 女子投擲選手における競技能力と下肢筋力の関係: 陸上競技研究第54号 35-40
- 4) 青山慎一郎, 青山利春, 岡田雅次, 西山一行, 角田直也 (2002) 投擲選手における筋機能特性と競技能力: 国士舘大学体育研究所報 21 131-133
- 5) 伊藤信之 (2004) 種目別体力特性の測定と実際 跳躍(スポーツ医学検査測定ハンドブック) — (第1章 体力・運動能力・競技能力の測定) —: 臨床スポーツ医学 21 46-48
- 6) 金子公有 (1998) パワーアップの科学—人体エンジンの

パワーと効率—: 朝倉書店

- 7) 持田尚 (2007) 混成競技の特性: 陸上競技学会誌 112-117
- 8) 持田尚, 小林論, 繁田進, 有吉正博 (1999) 100m 疾走能力と下肢筋力およびその持久性との関係: 陸上競技研究第38号 1-14
- 9) 中原凱文, 石田良恵, 角田直也, 多賀恒雄 (1994) 健康科学として運動生理学 53
- 10) 中村好男 (1988) 自転車エルゴメーターによる最大パワー評価の問題点: 早稲田大学人間科学研究 第1巻第1号 105-113
- 11) 尾縣貢, 福島洋樹, 大山圭梧, 安井年文, 関岡康雄 (1998) 筋疲労時の疾走能力と体力的要因との関係: 体力化学 47, 535-542
- 12) 高橋篤志 (1989) 大学男子スポーツ競技選手の最大無酸素パワーについて: 大阪城南女子短期大学研究紀要 24 83-94
- 13) 角田直也, 金久博昭, 福永哲夫, 近藤正勝, 池川繁樹 (1986) 大腿四頭筋断面積における各競技選手の特性: 体力科学 192-199
- 14) 角田直也, 松本高明, 滝山将剛, 西山一行, 中野雅之 (1995) 筋形態と筋出力特性に及ぼすスポーツ競技種目特性: 国士舘大学研究所報 14 47-52
- 15) 山本正嘉, 山本利春 (1990) 十種競技選手の筋パワー特性: J. J. Sports Sci 9 247-252
- 16) 吉田昌平, 守田武志, 池添寛人, 原邦夫 (2007) 自転車エルゴメーターにおける負荷別のパワー発揮特性と等速性単関節筋力および垂直跳びの関係: 体力医学 56 (6) 740

#### 連絡責任者

平松 忠浩  
〒206-8515 東京都多摩市永山 7-3-1  
国士舘大学体育学部  
TEL: 090-7804-8049  
Email: ikedacco@yahoo.co.jp