

【論文】

自転車エルゴメーターによる 大学女子陸上短距離選手の最大無酸素パワーと 競技パフォーマンスとの関係性について

河上 俊和¹・藤川 浩喜¹・三浦 愛華²
安達 茉鈴²・大坂谷明里²・新井 宏昌³
藤澤 政美¹

¹ 園田学園大学人間健康学部総合健康学科

² 愛媛県競技力向上対策本部

³ 園田学園高等学校陸上競技部

要旨

本研究は、大学女子陸上短距離選手におけるトレーニング課題やコンディション評価のあり方の示唆に加えて、短距離走の指導現場における生理学的な指導エビデンスの蓄積に寄与するため、自転車エルゴメーターによる大学女子陸上短距離選手の最大無酸素パワーと競技パフォーマンスとの関係性について検討を行った。

実験的検討の結果、体重あたりの最大無酸素パワーと競技記録（最近記録）との関係については、100m 競走（100m）及び200m 競走（200m）、400m 競走（400m）、100m ハードル（100mH）、400m ハードル（400mH）において有意な相関関係は認められなかったものの、最大無酸素パワーが高いほど最近記録が優れる傾向が見られた。

また、400m では、全短距離種目の中で唯一両データ間において有意な相関関係が認められたことから（ $r = -0.66, p < 0.05$ ）、体重あたりの最大無酸素パワーは測定時期に近い大会や記録会における競技記録との間において関連性の深い体力要素であり、当該時期のトレーニング成果と選手のコンディションの状態を評価するための指標として応用が可能である可能性が示唆された。

1. 目 的

陸上競技における短距離走¹⁾は、走動作に貢献する組織を中心とした全身の筋により大きな出力を発揮し、疾走スピードとその記録を競う競技である。このため、短距離走では走動作の技術要因とともに体力要因による貢献も大きく、体力要因の中でも敏捷性や筋力、パワーが必須な競技種目であり、とりわけパワーは疾走スピードに重要な役割を担う。

短距離走に関する研究は、疾走フォームや疾走動作、パワーやストライド・ピッチ等の走動作を構成する要素に関するバイオメカニクス的研究や酸素負債や筋力の特性に関する生理学的研究

による報告が古くからなされてきた²⁻⁶⁾。一方、近年は短距離走における疾走速度と疾走動作や下肢関節のトルク、下肢の筋横断面積との関係、スプリントパフォーマンスに関する経済性、ピリオダイゼーションに着目したスプリントパフォーマンスの発達過程等、多様な観点と研究手法による研究⁷⁻¹⁰⁾が発展している。特に、年代や各種カテゴリーによる陸上競技大会の整備は、マクロサイクルやメゾサイクル、ミクロサイクルといった年間のピリオダイゼーションに基づいたトレーニングの計画と指導実践の重要性を高めていると思われる。この点に関連して、日本の大学生を対象とした競技大会や短距離走種目における年間のトレーニング計画については、一般的に春の試合期（4月から7月）と秋の試合期（8月から10月）の2重周期で構成されることが多く、11月から12月は移行期となり、12月から1月は一般準備期、2月から3月は専門的準備期の周期として位置付けられる¹¹⁾ことから、この年間の周期に応じたトレーニング課題の設定と評価を行うことは競技能力の向上を図る上において不可欠であると考えられる。

しかしながら、短距離走のスプリントパフォーマンスに関する研究は、国内一流選手の事例や少人数の限られた選手を対象にピッチやストライド、疾走動作の分析を試みた事例報告がほとんどである¹²⁻¹⁴⁾。そして、短距離走のスプリントパフォーマンスは、運動能力を支持する生理学的要因として、エネルギー供給システムの中でも無酸素性エネルギー供給システムによる割合が200m では71%程度、400m では57%程度、中距離種目の800m では34%程度を占めるとされ¹⁵⁾、100m のように短時間かつ高強度である種目ほど無酸素性のエネルギー供給割合が高い特性を有する¹⁶⁾。このため、無酸素性のエネルギー代謝能力で支持される無酸素パワーは短距離走のパフォーマンスを決定する要因の一つになると考えられるが、これまで陸上短距離走種目を対象としたトレーニングの課題や成果、選手の体力とコンディションの評価に関する研究では、前述の動作分析によるバイオメカニクス的研究手法を用いた研究報告^{17, 18)}が多い。また、自転車エルゴメーターを用いた無酸素パワーの測定により生理学的観点から競技能力を検討した研究の多くは、疾走局面を細分化した課題に限定して検討を行った報告¹⁹⁻²¹⁾がほとんどである。さらに、短距離走選手の無酸素パワーと競技能力、競技成績について検討した研究は意外にも少なく、大学女子陸上短距離選手の無酸素パワーの測定と競技記録との関係に迫る研究に至っては、研究協力者の参画人数や競技能力水準の高い集団のデータ収集と分析の難しさといった種々の条件設定で課題が多いのか、先行研究による報告はほぼ見当たらない。

そこで本研究は、大学女子陸上短距離選手におけるトレーニング課題やコンディション評価のあり方の示唆に加えて、短距離走の指導現場における生理学的な指導エビデンスの蓄積に寄与するため、自転車エルゴメーターによる大学女子陸上短距離選手の最大無酸素パワーと競技パフォーマンスとの関係性について検討を行った。

2. 方 法

1) 研究協力者 (対象者)

研究協力者 (対象者) は、園田学園大学陸上競技部に所属する大学女子陸上競技選手でトラック競技種目を専門種目とする選手のうち短距離走の種目として、100m 競走 (100m, n=16) 及び 200m 競走 (200m, n=5)、400m 競走 (400m, n=11)、100m ハードル (100mH, n=8)、400m ハードル (400mH, n=5) を専門とする大学女子短距離種目選手: 計 45 名 (年齢 20.33±1.63 歳) を対象とし、対象者の 2025 年度の新シーズンを控えた時期 (準備期) におけるトレーニングの成果と体力、コンディションの評価を行う観点から、2025 年 3 月 10 日から 3 月 15 日までを測定期間に設定した。

また、本研究における対象者が所属する陸上競技部の 2024 年度の主要大会の競技成績は、第 101 回関西学生陸上競技対校選手権大会: 女子総合第 2 位、女子トラック 2 位、天皇賜盃第 93 回日本学生陸上競技対校選手権大会: 女子総合 3 位、女子トラック 3 位、秩父宮賜杯第 77 回西日本学生陸上競技対校選手権大会: 女子総合 4 位、女子トラック 2 位であり、日本の大学女子陸上競技界を上位入賞校として常に牽引する競技能力水準を有する選手で構成されるチームと位置付けることができるものである。なお、陸上競技は、学生連盟主催の各種の大会及び記録会において、年齢の制限なく大学生および大学院生が出場することが可能であり、学生連盟所属の選手も参加標準記録の条件を満たしておれば、日本陸上競技連盟主催の日本選手権等の大会に出場可能である。このため、各専門種目選手の測定データとパフォーマンスの指標としての競技記録データの精度を高めるため、通年で本学陸上競技部の選手と同練習時間かつ同練習メニューでトレーニングに取り組んでいる 100m: 1 名、400m: 1 名、400H: 1 名の大学卒業後すぐの時期の大学院生と同年齢で競技を継続している選手 3 名も測定の対象者に含めた。

2) 最大無酸素パワーの測定方法

本研究における最大無酸素パワーの測定は、過電流制御式の負荷システムを搭載する自転車エルゴメーター: 風神雷神 (形式: BU01, 株式会社 OCL, 東京, 日本) を用いた。対象者は、最大無酸素パワーの測定に合わせて陸上競技部の指導者と測定補助員のもとで体調の確認と十分なウォーミングアップを行なった後、自転車エルゴメーターのサドルの高さとハンドルの傾斜角度を調整し、足部 (シューズ) をペダルのトゥークリップに確実に固定して安定性を確保し、対象者自身が最もペダリングを行ないやすいポジションの設定を行った後、無負荷で 10 秒間の全力ペダリングを行った。そして、7 分以上の休憩を挟んだ後、「風神雷神」のシステムに内蔵されたテストメニューとして、無酸素パワーテスト (計 3 段階の負荷) の測定を実施した^{21, 22)}。

女性を対象とした無酸素パワーテストの計 3 段階の負荷設定は、第 1 STEP の負荷設定: 体重 49kg までは負荷 3kp、50kg から 69kg までは 4kp、70kg 以上は 5kp であり、第 2 STEP の負荷設

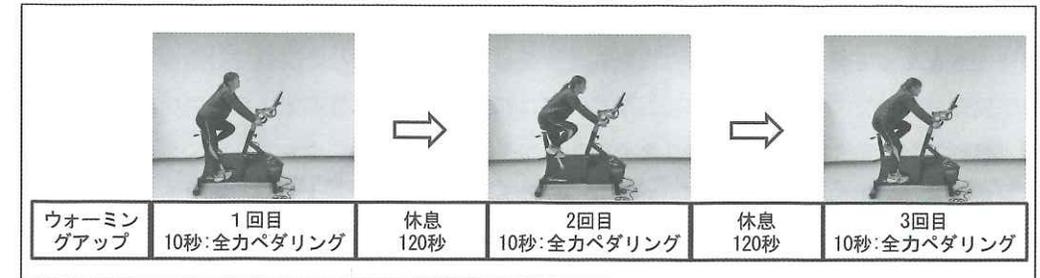


図 1 最大無酸素パワーの測定方法

最大無酸素パワーの測定は、過電流制御式の負荷システムを搭載する自転車エルゴメーター: 風神雷神 (形式: BU01, 株式会社 OCL, 東京, 日本) を用いた。対象者は、最大無酸素パワーの測定に合わせて陸上競技部の指導者と測定補助員のもとで体調の確認と十分なウォーミングアップを行なった後、自転車エルゴメーターのサドルの高さとハンドルの傾斜角度を調整し、足部 (シューズ) をペダルのトゥークリップに確実に固定して安定性を確保し、対象者自身が最もペダリングを行ないやすいポジションの設定を行った後、無負荷で 10 秒間の全力ペダリングを行った。そして、7 分以上の休憩を挟んだ後、「風神雷神」のシステムに内蔵されたテストメニューとして、無酸素パワーテスト (計 3 段階の負荷) の測定を実施した。

定: 第 1STEP の最大回転数 149rpm までは第 1STEP の負荷に 1kp 追加、第 1STEP の最大回転数 150rpm から 179rpm までは第 1STEP の負荷に 2kp 追加、第 1STEP の最大回転数 180rpm 以上は第 1STEP の負荷に 3kp 追加される設定であり、第 3 STEP の負荷設定: 第 2STEP の最大回転数 129rpm までは第 2STEP の負荷に 1kp 追加、第 2STEP の最大回転数 130rpm から 149rpm までは第 2STEP の負荷に 2kp 追加、第 2STEP の最大回転数 150rpm 以上は第 2STEP の負荷に 3kp 追加される設定である。なお、対象者には、無酸素パワーテストの実施に際して、正確な測定データを得るためにペダリング中は臀部をサドルから浮かさず、テスト開始から終了まで常に全力を出し切るように指示を行った (図 1)。

また、無酸素パワーテストから得られた測定結果は、最大無酸素パワー (w) に加えて、体格 (体重) の要素による影響を消去するためにパワーの値を体重で除することにより、相対値として体重 1kg あたりの最大無酸素パワー (W/kg: 体重あたりの最大無酸素パワー) を算出し、対象者のパワー発揮能力の指標として有効な数値を得た。

3) 統計処理

最大無酸素パワー測定で得られた結果は、各専門種目の特徴を見出すために最高値および中央値、最低値に加えて、平均値および標準偏差で示した。

年齢及び身長 (cm)、体重 (kg)、BMI (Body Mass Index: 体格指数, kg/m²)、最大無酸素パワー (W)、体重あたりの最大無酸素パワー (W/kg) について、各専門種目間の平均値の比較は分散分析 (Fisher PLSD) にて統計処理を行い、危険率 5% をもって統計的に有意とした。

また、対象者の専門種目別にみた最大無酸素パワーと競技記録との関係については、各専門種目における体格が走パフォーマンスとして競技記録に及ぼす要因になることを消去することを考慮し、体重あたりの最大無酸素パワーと競技記録 (最近記録) との関係及び体重あたり

の最大無酸素パワーと競技記録（最高記録）との間の関係について相関係数の分析を行ない、危険率5%をもって統計的に有意とした。

4) 倫理的配慮

対象者には、事前に陸上競技部の練習プログラムの一部として最大無酸素パワーの測定を実施することの趣旨および測定手順に加えて、測定当日に体調不良や怪我、医師からの指示により測定への参加が困難な条件を有する場合は、対象者の安全を配慮し測定への参加をいつでも辞退できることについて書面と口頭による説明を行った。

また、本測定は、陸上競技部の新シーズン開始前の準備期におけるトレーニングの成果とコンディションの状態を評価する取り組みの一環として実施するものである。このため、測定結果を研究利用する際には、研究目的のみに限定して利用することについての理解と同意が得られた対象者の測定結果のみを研究用データとして取り扱った（インフォームドコンセント）。

3. 結 果

1) 対象者の専門種目の内訳と身体的特徴

本研究における対象者の身体的特徴を表1に示した。身長では、100mH: 164.75±3.04cmが100m: 159.42±4.62cmに比べて有意に高く (vs 100m: p<0.01)、400mH: 166.28±2.43cmは100m: 159.42±4.62cm及び400m: 161.63±4.36cmより有意に高い数値を示した (vs 100m: p<0.01, vs 400m: p<0.05)。

また、BMIでは、100m: 21.32±1.29kg/m²が400m: 20.42±1.31kg/m²及び400mH: 19.91±0.95kg/m²に比べて有意に高い数値を示した (vs 400m: p<0.05, vs 400mH: p<0.05)。

表1 対象者の専門種目の内訳と身体的特徴

種目	人数 (n)	年齢 (age)	身長 (cm)	体重 (kg)	BMI (kg/m ²)
100m	16	20.13 ± 1.05	159.42 ± 4.62	54.19 ± 4.01	21.32 ± 1.29 †*
200m	5	19.80 ± 0.75	162.20 ± 0.75	53.24 ± 3.98	20.24 ± 1.52
400m	11	20.91 ± 2.43	161.63 ± 4.36	52.62 ± 4.39	20.13 ± 1.31
100mH	8	19.63 ± 1.11	164.75 ± 3.04 **	55.36 ± 2.24	20.42 ± 1.13
400mH	5	21.40 ± 1.36	166.28 ± 2.43 ***	55.03 ± 2.55	19.91 ± 0.95

Mean ± SD

** : p<0.01 (vs 100m)

: p<0.05 (vs 400m)

† : p<0.05 (vs 400m)

‡ : p<0.05 (ns 400mH)

2) 測定時における各専門種目の最近記録と最高記録の内訳

各専門種目の競技記録について、本研究では最大無酸素パワーと競技パフォーマンスとの関係性の検討において、最大無酸素パワーは測定時に近い時期におけるトレーニングの実施状況や各選手の体力、コンディションの状態が測定結果に深く関係する可能性について検討することも研究課題として焦点を当てていた。このため、対象者のこれまでの自己最高記録を「最高記録」、測定時に最も近い大会・記録会における記録を「最近記録」に設定し、競技記録として集約したデータは、専門種目別に平均値および標準偏差、最高値、中央値、最低値を算出した。

測定時における各専門種目の最近記録と最高記録の内訳として、100mは最近記録: 12.54±0.46秒 (中央値: 12.53秒)、最高記録 12.14±0.28秒 (中央値: 12.20秒) で、200mは最近記録: 25.47±0.62秒 (中央値: 25.44秒)、最高記録 24.82±0.26秒 (中央値: 24.71秒)、400mは最近記録: 57.72±3.38秒 (中央値: 56.55秒)、最高記録 56.59±2.39秒 (中央値: 55.75秒)、100mHは最近記録: 14.72±0.50秒 (中央値: 14.59秒)、最高記録 14.11±0.53秒 (中央値: 14.01秒)、400mHは最近記録: 66.57±4.88秒 (中央値: 64.97秒)、最高記録 60.72±1.46秒 (中央値: 61.68秒) であった (表2)。

3) 専門種目間における最大無酸素パワーの比較

専門種目における最大無酸素パワー (W) 及び体重あたりの最大無酸素パワー (W/kg) の比較を表3に示した。最大無酸素パワー (W) の比較では、200m: 761.20±128.08Wが400m: 640.45±100.60Wに比べて有意に高かった (p<0.05)。

一方、体重あたりの最大無酸素パワー (W/kg) の比較では、200m: 14.23±1.45W/kgが100m: 12.39±0.89W/kg及び400m: 12.13±1.38W/kg、100mH: 12.14±0.57W/kg、400mH: 12.44±0.44W/kgであり、200mが他の専門種目に比べて有意に高かったが (vs 100m: p<0.01, vs 400m: p<0.01, vs 100mH: p<0.01, vs 400mH: p<0.05)、200m以外の専門種目間の比較においては有意な差は認められなかった。

表2 測定時における各専門種目の最近記録と最高記録の内訳

種目	人数 (n)	最近記録 (sec)				最高記録 (sec)			
		平均値	最高値	中央値	最低値	平均値	最高値	中央値	最低値
100m	16	12.54 ± 0.46	11.53	12.53	13.35	12.14 ± 0.28	11.45	12.20	12.59
200m	5	25.47 ± 0.62	24.56	25.44	26.47	24.82 ± 0.26	24.50	24.71	25.21
400m	11	57.72 ± 3.38	53.14	56.55	65.03	56.59 ± 2.39	53.14	55.75	60.07
100mH	8	14.72 ± 0.50	13.75	14.59	15.40	14.11 ± 0.53	13.34	14.01	14.90
400mH	5	66.57 ± 4.88	62.02	64.97	75.00	60.72 ± 1.46	58.90	61.68	62.29

平均値: Mean±SD

表3 専門種目間における最大無酸素パワーの比較

種目	人数 (n)	最大無酸素パワー(W)				最大無酸素パワー(W/kg)			
		最高値	中央値	最低値	平均値	最高値	中央値	最低値	平均値
100m	16	797	687	554	672.69 ± 69.75	14.10	12.28	10.66	12.39 ± 0.89
200m	5	981	697	636	761.20 ± 128.08 *	16.80	13.61	12.54	14.23 ± 1.45 ## + + + † † †
400m	11	779	658	410	640.45 ± 100.60	14.17	12.25	8.88	12.13 ± 1.38
100mH	8	732	679	570	672.25 ± 45.64	13.17	12.11	11.40	12.14 ± 0.57
400mH	5	739	655	621	679.20 ± 47.78	13.19	12.37	11.90	12.44 ± 0.44

平均値: Mean ± SD

*: p<0.05 (vs 400m)

##: p<0.01 (vs 100m)

††: p<0.01 (vs 400m)

‡‡: p<0.01 (vs 100mH)

§: p<0.05 (vs 400mH)

4) 各専門種目における体重あたりの最大無酸素パワーと最近記録、最高記録との関係

各専門種目における体重あたりの最大無酸素パワーと最近記録、最高記録との関係を図2に示した。体重あたりの最大無酸素パワーと最高記録との関係については、400mと100mHにおいて最大無酸素パワーが高いほど競技記録(最高記録)が優れる傾向が見られ、400mの両データ間において有意な相関関係が認められた($r=-0.61, p<0.095$)。

一方、体重あたりの最大無酸素パワーと最近記録との関係については、100m及び400m、100mH、400mHにおいて最大無酸素パワーが高いほど競技記録(最近記録)が優れる傾向であり、400mの両データ間において有意な相関関係が認められたことから($r=-0.66, p<0.05$)、体重あたりの最大無酸素パワーは測定時期に近い大会や記録会における競技記録(競技パフォーマンス)との間において関連性を有することが見出された。

4. 考 察

スポーツ選手の体力については、さまざまな競技種目を対象とした研究から体力特性が明らかにされ、多くの運動・パフォーマンスを発揮する場面において、疾走スプリント能力は各種の競技種目における競技力と深く関係している¹⁾。中でも、陸上競技はトラック種目とフィールド種目に大別され、トラック種目は短距離種目と長距離種目で構成され、短距離を加速的に疾走する能力としてスプリント能力はあらゆる短距離走におけるパフォーマンスの基礎になる。

これまで、陸上競技選手を対象としたスプリント能力とパフォーマンスとの間の関係性については、比較的多くの研究成果が報告^{19, 21, 23)}されている。これらの報告は、本研究の研究課題として位置付ける自転車エルゴメーターによるペダリング運動の発揮パワーとスプリント能力のパフ

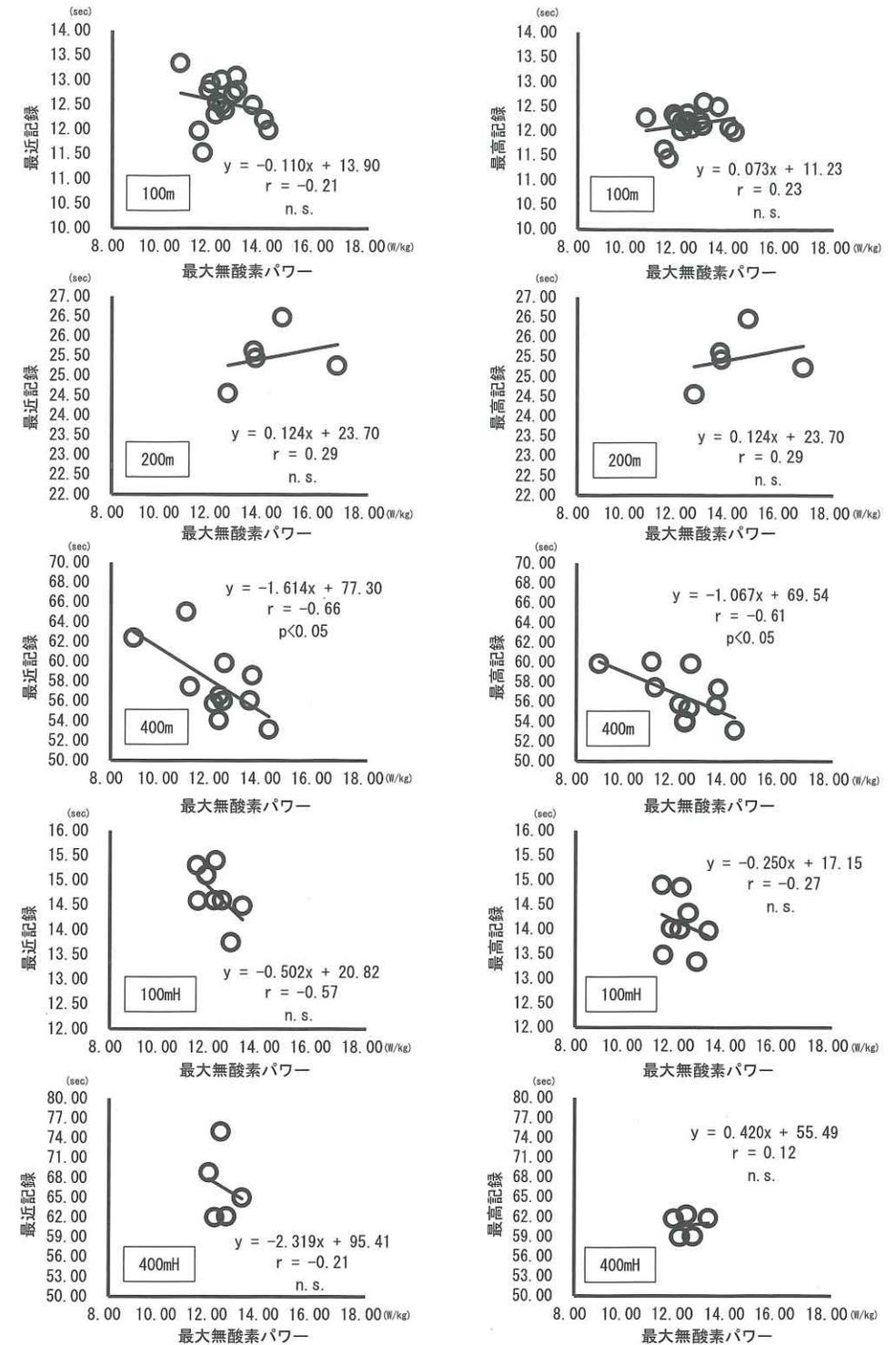


図2 各専門種目における体重あたりの最大無酸素パワーと最近記録、最高記録との関係

パフォーマンスとの間には深い関係性があると理解され、自転車エルゴメータによる短時間で高強度の全力ペダリング運動は陸上競技の短距離走に不可欠なパワーをもたらすものであり、実験室での測定としても容易に評価することが可能なテスト方法として広く知られているものである。

しかしながら、これらの研究報告の多くは女子選手特有の月経周期等の身体的な条件による影響を受けにくい男子競技者を対象とした研究が多く^{19,21)}、各専門種目の実際のレース距離や記録との関係性について検討を加えた研究報告は少ない。むしろ、先行研究^{4,9,19)}では、スプリント能力を50m前後の距離やスタート局面のステップタイプ、加速局面、最大疾走局面、減速局面のように疾走局面を細分化した課題として抽出し検討されたものが多いことから、本研究では先行研究報告でも非常に少ない大学女子陸上短距離選手を対象に選手や指導者に求められる指導現場へ還元可能なデータとしての性質を考慮し、自転車エルゴメータによる最大無酸素パワー値と短距離走の各専門種目の競技記録との関係性に焦点を当てて検討を加えたものである。

今回、研究協力を得られた女子陸上短距離選手をそれぞれの主となる専門種目に基づいて100m、200m、400m、100mH、400mHに専門種目別に最大無酸素パワーの比較を行った結果、最大無酸素パワーは200m>400mH>100m>100mH>400mの順で高値を示し、200mが400mに比べて有意に高い結果が認められた。この差について、200mにおける無酸素性エネルギー供給システムによる貢献度は71%程度に及ぶものであり¹⁵⁾、400mでの57%程度の貢献度との間で生じる14%程度の差が直接的に最大無酸素パワーの絶対値の違いとして表出したものと推察された。

ところで、今般の研究では体格とスプリント能力との関係に関する報告が散見されており、選手間における体格の違いがスプリント走に影響を及ぼす結果として、競技記録を左右する要因になることについて少なからず指摘がなされている²³⁻²⁵⁾。このため、本研究では最大無酸素パワーを絶対値のみで扱うのではなく、既に前述したように競技パフォーマンスの分析対象を専門種目別の最高記録と最近記録を採用した。この理由として、最大無酸素パワーのような客観的な測定結果との間の相関関係を見出すことは難しくなる可能性が予測されるものの、陸上競技の競技パフォーマンスはレースの全局面の総和でもたらされるものである。また、競技の実践場面において選手と指導者の両者に受け入れやすく理解とイメージしやすいデータとして、分析対象を体格の影響を消去した相対値としての体重あたりの最大無酸素パワーの比較と競技記録との関係性に着目して検討を加えた。

体重あたりの無酸素パワーの比較では、最大無酸素パワーは200m>400mH>100m>100mH>400mの順で高値を示し、200mが400mに比べて有意に高い結果が認められた。この理由として、200mにおける無酸素性エネルギー供給システムによる貢献度は70%を超えるものである¹⁵⁾ことから、比較例として100mより運動の時間と距離も長くATP-PCr系や解糖系を含めた高強度でパフォーマンスを発揮する能力が求められる過酷な競技としての種目特性によるところが大きいものと思われる。また、200mの選手は中央値：13.61W/kgで全種目の中で最も高く、当該種目の選手も対象者の全体の中で優れた測定結果を示していたとともに、中には最高値：16.80W/kgの結果が算出された選手がいたことによる影響も見逃すことはできないところであ

る。この点について、最高値を示した選手においては、第2STEPの負荷と第3STEPの負荷で測定する際に広く見受けられるようにペダリングの回転数は減少するものの、比較的回転数は高い水準が維持されており、むしろ第1STEPの負荷における回転数が他の選手より高値とは決して言えないものであった。このため、測定データの信頼性確保のため、後日、当該選手の再測定を行ったが同水準かつ同様の運動パターンによる結果であったことから測定結果として採用したが、今回の研究課題では取り扱っていない分析方法として、各負荷STEPのペダリング回転数をもとにしたパワータイプの分析や分類を加えることの重要性や種目適性を精査する上で有用な情報として指導現場に還元するプロセスの重要性を再確認することになった。この根拠として、自転車エルゴメータによるペダリングの最大無酸素パワーの発揮特性は、負荷の増加に伴って高回転数を発揮できる選手はパワー型として分類し、軽負荷において高回転数を発揮できる選手はスピード型に分類することが可能であるからであり²⁶⁾、競技としての運動時間をも考慮する場合は、ウイングテストや300m走の測定との関係性²⁷⁾についての検討も一考する必要があると考える。

一方、本研究の主目的になる体重あたりの最大無酸素パワーと競技記録（最高記録、最近記録）との間の関係から競技パフォーマンスに及ぼす影響について検討を行った結果、400mと100mHにおいて最大無酸素パワーが高いほど最高記録が優れる傾向は見られたが有意な相関関係は認められなかった。しかし、400mでは両データ間において有意な相関関係が認められたことから($r=-0.61, p<0.095$)、大学女子陸上短距離選手の中でも400mの選手においては自己ベストタイムを記録するための方法として、最大無酸素パワーの向上を図ることは有効なトレーニング手段になる可能性が見出された。しかしながら、本来、無酸素パワーの貢献度が大きいと思われる100mや200mで強い相関関係が見出されなかったことは、今回のデータ項目のみでは断言できないが、生理学的な体力要素を意識したトレーニング課題とそれを活かしたパフォーマンスの向上において、女子陸上短距離選手は男子陸上短距離選手と同様のトレーニングアプローチでトレーニング効果を直接的に得られ難い側面があるのかもしれない。

一方、体重あたりの最大無酸素パワーと最近記録との間の関係については、100m及び400m、100mH、400mHにおいて、最大無酸素パワーと最高記録との関係と同様に有意な相関関係は認められなかったものの、最大無酸素パワーが高いほど競技記録（最近記録）が優れる傾向が見られたことから、大学女子陸上短距離選手では最大無酸素パワーの測定結果は、測定時期におけるトレーニング成果と選手のコンディションの状態を評価するための指標として応用が可能である可能性が示唆された。また、400mでは、全短距離種目の中で唯一、両データ間において有意な相関関係が認められたことから($r=-0.66, p<0.05$)、体重あたりの最大無酸素パワーは測定時期に近い大会や記録会における競技記録（競技パフォーマンス）との間に深い関連性を生じる体力要素であることが裏付けられた。この400mについて、400mの記録は最大酸素借との関係性があり、無酸素性代謝能力は短距離種目のパフォーマンスの決定要因として重要である。また、400mは短距離種目で最も距離が長いことから、スプリントのスピードと代謝エネルギーを効率

よくペース配分し、走速度における効率的なエネルギーの産生とパワーを発揮する能力として、ランニングエコノミー¹⁰⁾も 400m 選手を支持する生理学的能力として重要な要因になると推察されるが、本研究の女子選手において短距離選手の体力の基礎となる最大無酸素パワーの開発は不可欠であることが見出された。この知見は、今後の女子 400m 選手の育成と強化を図る上で有用な情報になることを期待するものである。

ところで、今回の研究では、最大無酸素パワーが競技パフォーマンスに最も密接に関係すると予測していた 100m において、最高記録及び最近記録とも有意な相関関係は認められなかった。この点の原因や理解を掘り下げるため、100m の対象者の詳細について検討を加えたところ、測定時点で 100m 選手の最高記録の上位 1 位と 2 位に位置する選手の体重あたりの最大無酸素パワーは、最高記録 1 位：11.45 秒で日本の女子 100m でランキング 4 位に位置する選手では 11.55 W/kg、同年度の U20 アジア選手権第 3 位入賞実績を有し最高記録 2 位：11.63 秒の選手は 11.63 W/kg であり、100m 選手の平均値：12.39W/kg と中央値：12.28W/kg に比べても低値を示すものであった。スポーツ科学の教科書的な考え方に基くと、この 2 名の選手については競技成績と直結するように最大無酸素パワーも対象者の中で上位の水準を位置すると予測していたが、日本ランキングや大学レベルの上位かつ日本選手権や世界大会にも出場する選手では、競技パフォーマンスの発揮において生理学的能力をより効率的に活用可能なランニングメカニクスや筋出力特性を有する可能性が考えられた。この点については、選手のレース映像等をもとにした動作分析やバイオメカニクスの分析手法を交えた検討により、そのパフォーマンスのメカニズムに迫ることができるものと思われ、今後の発展的な研究課題として興味深いものである。

そこで本研究では、実験的に 100m の最高記録上位 2 名を除いた選手のみのデータを用いて、体重あたりの最大無酸素パワーと最高記録、最近記録との関係性について分析を試みた結果、最高記録との間には有意な相関関係は見られなかったが、最近記録との間には有意な相関関係 ($Y = -0.284x + 16.22$, $r = -0.69$, $p < 0.05$) が認められ、その相関係数は 400m よりも強い関係性を示すことが判明した。この実験的な結果から、本来は女子 100m においても生理学的能力を開発するため、最大無酸素パワーに対するトレーニングの取り組みは不可欠であるが、日本選手権や世界大会に出場する国内一流レベルの女子選手においては、ランニングのフォームや動作メカニクス、筋出力特性が特徴的に見出される才能の発掘と潜在能力を引き出すための指導が重要であると考えられる。しかしながら、この点については本研究の分析対象データでは限界があるため、発展的な研究課題として捉えるものである。本研究で見出された体重あたりの最大無酸素パワーと最近記録との関係性と 100m における実験的な分析結果は、大学女子陸上短距離選手の指導現場に対して、トレーニングの成果とコンディションの評価において最大無酸素パワーテストを応用すべき利点と指標を示唆するための一助になるものと思われた。

5. 指導現場への示唆と本研究の課題、展望

本研究は、最大無酸素パワーと競技記録との間の関係性の検討から、最大無酸素パワーの測定結果は大学女子陸上短距離選手の測定時の体力やコンディションを評価し、最も近い出場大会における競技パフォーマンスの発揮とレース戦略の調整に有用な指標になり得ることを見出すことができた。今後は、最大無酸素パワーの測定で抽出可能な各負荷段階の回転数から、選手個人の無酸素パワー発揮特性に基づいたパワータイプの分類と専門種目適正の精査を加えて、指導方法やトレーニング計画に有効な測定データの活用方法を探る研究を進展させる予定である。

また、大学女子陸上競技選手は、コンディショニングにおいて月経周期が体調や筋力発揮に対して複雑に関連するため、インシーズンにおいても体調面の変化が生じやすい可能性がある^{28, 29)}。新シーズンの試合期を控えた準備期を起点として、年間の主要大会に合わせた時期に最大無酸素パワーの定期測定を実施し、コンディションレベルの縦断的な評価から個々の選手の状態に応じたトレーニング計画の調整を図るための指針を考案することも、指導現場に還元可能な研究課題として意義あるものと思われた。

6. ま と め

本研究は、大学女子陸上短距離選手のトレーニングの成果やコンディションの評価方法のあり方を検討するためのプロジェクトであり、男子競技者を対象とした大規模調査研究のようなデータ量ではない。しかしながら、本研究成果は国内女子一流短距離選手に加えて、学生連盟主催の陸上競技大会で毎年上位入賞を果たす競技能力水準の高い選手の協力を得ることを実現したものであり、測定データは比較的精度が高い水準に位置するものと言える。このため、日本の大学女子陸上短距離選手の競技力向上のためのトレーニングにおける最大無酸素パワー値の客観的指標の構築にも寄与するものと思われる。

謝辞

本研究の趣旨に対する理解と測定のご協力を頂きました園田学園大学陸上競技部の選手の皆様及び稲岡真由選手 (KAGOTANI)、齊藤朋佳選手 (尼崎陸上競技連盟)、最大無酸素パワー測定補助員としてご協力を頂きました竹井杏さん・田中佑果さん (園田学園大学人間健康学部総合健康学科 河上研究室) に、心より御礼を申し上げます。

利益相反 (COI) 自己申告

著者全員が利益相反について申告すべきものはない。

著者の資格と著者貢献

著者：河上俊和、藤川浩喜、新井宏昌、藤澤政美は、研究の概念化やデザインなど研究計画の立案に携

わった。著者：藤川浩喜及び新井宏昌は、研究協力者のウォーミングアップの指導と安全管理に携わり、著者：三浦愛華、安達茉鈴、大坂谷明里、河上俊和は研究協力者を対象としたデータの測定と集約を実施した。すべての著者がデータの分析と解釈に携わり、原稿の執筆は河上俊和が担当した。すべての著者が、最終原稿を批判的にレビューし、投稿を承認した。

参考文献

- 1) 生田香明, 根木哲朗, 栗原崇志, 播本定彦: 敏捷性・筋力・パワーからみた短距離疾走能力. 体育学研究, 26(2): 111-117, 1981.
- 2) 金子公有, 北村潔和: 「100m 疾走スピード減速要因に関するキネシオロジー的分析」. 日本体育協会スポーツ科学研究報告, No.V ハイスピード持続能力の解明-第2次研究報告-, 12-20, 1972.
- 3) 猪飼道夫・芝山秀太郎・石井喜八: 疾走能力の分析-短距離走のキネシオロジー. 体育学研究, 7-3: 59-70, 1963.
- 4) 生田香明, 渡部和彦, 大築立志: 50m 疾走におけるパワーの研究. 体育学研究, 17(2): 61-67, 1972.
- 5) Tshujino A: "The kick in sprint running - An analysis of force acting to the foot-". Kobe J. Med. Sci., 12: 1-26, 1966.
- 6) 長谷川常次郎: 「走能力の分析的研究 (第2報)」. 体育学研究, 2: 201-202, 1957.
- 7) 伊藤章, 市川博啓, 斉藤昌久, 佐川和則, 伊藤道郎, 小林寛道: 100m 中間疾走局面における疾走動作と速度との関係. 体育学研究, 43 (5-6): 260-273, 1998.
- 8) 阿江通良: スプリントに関するバイオメカニクス研究から得られるいくつかの示唆. スプリント研究, 11: 15-26, 2001.
- 9) 渡邊信晃, 榎本好孝, 大山下圭悟, 狩野豊, 安井年文, 宮下憲, 久野譜也, 勝田茂: スプリンターの股関節筋力とスプリント走パフォーマンスとの関係. 体育学研究, 45 (4): 520-529, 2000.
- 10) Reis VM and MiguelPP: Changes in accumulated oxygen deficit and energy cost of running 400 meters. New Studies in Athletics, 22: 49-56, 2007.
- 11) 内藤景, 谷川聡: 短距離走競技者における準備期から試合期にかけてのスプリント走パフォーマンスの発達過程に関する研究. コーチング学研究, 27 (2): 225-229, 2014.
- 12) 土江寛裕: 日本代表スプリンターにおけるレース中のピッチ変化が記録向上に及ぼす影響. スポーツパフォーマンス研究, 1: 169-176, 2009.
- 13) Gajer B, Thepaut-Mathieu C and Lehenaff D: Evolution of stride and amplitude during course of the 100m event in athletics. New Studies in Athletics, 14(1): 43-50, 1999
- 14) Shiffier J: The sprints. New studies in Athletics, 24(1): 7-17, 2009.
- 15) Spencer MR and Gustin PB: Energy system contribution during 200- to 1500-m running in highly trained athletes. Medicine Science in Sports and Exercise, 33(1): 157-62, 2001.
- 16) Medbø JI and Tabata I: Relative importance of aerobic and anaerobic energy release during short-lasting exhausting bicycle exercise. Journal of Applied Physiology, 67(5): 1881-1886, 1989.
- 17) 馬場崇豪, 和田幸洋, 伊藤章: 短距離走の筋活動様式. 体育学研究, 45(2): 186-200, 2000.
- 18) 伊藤章: 短距離走におけるスナップの意味. バイオメカニクス研究, 4: 159-163, 2000.
- 19) 三本木温, 黒須慎夫: 陸王競技選手における 30m 走の疾走能力と無酸素性パワーおよび柔軟性との関係. 八戸大学紀要 42: 57-64, 2011.
- 20) 奈良春樹, 吉本隆哉, 山本正嘉: ハムストリングスの肉離れを発症した陸上競技短距離選手に対する早期復帰のためのリハビリテーショントレーニング-自転車エルゴメータを用いた間欠的ペダリングの効果-. スポーツパフォーマンス研究, 6: 289-299, 2014.
- 21) 若吉浩二, 藤田能彰, 明石光史: スプリント能力と自転車エルゴメータによるペダリング発揮パワーおよび体格との関係. 大阪経大論集, 74(6): 37-53, 2024.
- 22) 馬場崇豪. 無酸素性パワーからみたトランポリン選手の体力特性. 大阪体育学研究 58: 69-74, 2020.
- 23) 信岡沙希重, 樋口貴俊, 中田大貴, 小川哲也, 加藤孝基, 中川剣人, 土江寛裕, 磯繁雄, 彼末一之: 児童の疾走速度とピッチ・ストライド・接地時間・滞空時間の関係. 体育学研究, 60(2): 497-510, 2015.
- 24) 櫻田淳也, 水浦彩子: ピッチとストライドに着目した 100m 走の指導法に関する一考察 ~レーザー式速度測定器 (LAVEGSPORT LDM300C) を使用して~. 東京女子体育大学紀要, 39: 43-46, 2004.
- 25) 篠原康男, 前田正登: 疾走速度変化からみた小学生の 50m 走における局面構成. 61(2): 797-813, 2016.
- 26) 星野宏司, 角田和彦, 佐々木敏, 藁内豊, 武田秀勝: アルペンスキー選手における無酸素性パワーの発揮特性について. スキー研究, 10(1): 47-53, 2013.
- 27) 森健一, 吉岡利貢, 荻山靖, 尾縣貢: 短距離走者における無酸素性能力および走パフォーマンス評価としての Wingate test の有用性. 体育学研究, 57(1): 275-284, 2012.
- 28) 須永美歌子: 高強度トレーニングを実施する女性における留意点. 第22章 女性アスリート, 子ども, 特定の疾患をもつアスリート, 中高年アスリートのためのトレーニング. パワーズ運動生理学 体力と競技力向上のための理論と応用 (スコット K. パワーズ, エドワード T. ハリー著, 内藤久士, 柳谷登志雄, 小林裕幸, 高澤祐治日本語版 監). 東京都, 株式会社 メディカル・サイエンス・インターナショナル, p.536-554, 2020.
- 29) 河上俊和, 木田京子, 足立学, 澤田浩, 藤川浩喜, 藤澤政美, 板谷昭彦: YO-YO Intermittent Recovery Test からみた大学女性アスリートの間欠性回復力の特徴. 園田学園女子大学論文集 (58): 36-45, 2024.

[かわかみ としかず 運動生理学、スポーツ医学]

[ふじかわ ひろよし 運動学、陸上競技]

[みうら まなか 健康学、陸上競技]

[あだち まりん 健康学、陸上競技]

[おおさかや あかり 健康学、陸上競技]

[あらい こうすけ 体育学、陸上競技]

[ふじさわ まさみ スポーツマネジメント学、運動生理学]