

下肢無酸素能力が陸上投擲選手の 競技パフォーマンスに及ぼす影響

The relationship between the throwing performance and the anaerobic power

小川剛司、榎 幸実、野澤絵里、白石智子、水尾彰太、山岸由佳
徳山大学 経済学部

緒 言

陸上競技投擲種目はその試技において、ごく短時間のうちに高い筋力発揮をする競技種目である。投擲競技者は、走種目や跳躍種目の競技者と比較して、体重が多く、肩幅および腰幅が広いことや、特に、上肢と体幹の筋量が多いことや体脂肪は一般成人に比べて多いか、同程度であるということが報告されている (Pipes 1977)。さらに、投擲競技においても円盤投げ、砲丸投げ、槍投げなど種目によっても競技パフォーマンス発揮に必要な要素が異なることが考えられており (中野ら 2007)、投擲競技パフォーマンスに影響を及ぼす体力要素を調べることは効果的なトレーニングを行う上でも重要である。

有酸素能力の指標である最大酸素摂取量 (VO_{2max}) は、持久的競技者において非鍛錬者よりも高く、 VO_{2max} が高い者ほどマラソンのゴールタイムがよいことは古くから知られている。投擲選手の有酸素能力について、 VO_{2max} は円盤投げ選手において47.5ml/kg/min、砲丸投げ選手において42.6ml/kg/minであったことが報告されており (Faheyら 1975)、非鍛錬者と比較して高いわけではない。 VO_{2max} の高さは、体脂肪の多さとの間に有意な負の相関関係がある。したがって、投擲選手は前述の通り、体格が大きく、体脂肪が比較的多いため、有酸素能力が低く評価されている可能性があり、有酸素能力と投擲競技パフォーマンスの間に関係があるか否かについては十分に明らかでない。

一方で、無酸素能力と競技パフォーマンスとの関係について、無酸素能力の指標である酸素借は持久的競技者よりも短距離選手のほうが高く、短時間運動

の発揮パワーも同様であることが知られている (Geraldら1985)。無酸素的な運動の能力を測定する手法として、短時間の全力自転車こぎ運動中の発揮パワーを測定する Wingate test (WT) が提唱され (Dotan 2006; Bar-Or 1987), その妥当性が検討されてきた。WTにおける運動中の無酸素代謝からのエネルギー供給量は全体のうちの大部分を示しており、酸素借の最大値と有意な相関関係が見られることから (Calbetら1997)、無酸素能力の測定法として妥当性があると考えられる。投擲選手のパフォーマンスと無酸素能力の関係を調べた先行研究では Bouhlerら (2007) は槍投げ選手において、上肢エルゴメーターを用いた30秒間の全力自転車こぎ運動時の発揮パワーを調べ、槍投げの競技パフォーマンスとの関係を調べたところ、槍投げの記録と発揮パワーの高さとの間に有意な正の相関関係があることを報告し、投擲選手において、上肢の短時間の発揮パワーがパフォーマンスに重要であることを示唆している。しかしながら、下肢の発揮パワーと投擲競技パフォーマンスとの間に関係があるか否かについては十分に明らかでない。

そこで本研究では、陸上競技投擲選手の下肢の有酸素能力および、無酸素能力と競技パフォーマンスとの関係を明らかにすることを目的として、大学陸上投擲選手において、自転車エルゴメーターを用いた VO_{2max} テスト、WT および、投擲フィールドテストを行い、競技パフォーマンスと有酸素能力および、無酸素能力の関係を検討した (実験Ⅰ)。

有酸素能力および無酸素能力が精密に投擲競技パフォーマンスに影響を及ぼすのならば、個人内における競技パフォーマンスの変化を、これらを調べることでトレーニング状態を把握できる可能性が考えられる。しかしながら、選手のコンディションにより、有酸素能力および無酸素能力は変動し、それに伴って円盤投げパフォーマンスも変化するかは明らかでない。そこで、本研究では下肢の能力の縦断的な変動が円盤投げのパフォーマンスの変化と連動するかどうかについても調べるために、2か月ごとに計3回のWTを行い、同時期の円盤投げの記録との関係についても検討した (実験Ⅱ)。

2012年1月 小川剛司、楨 幸実、野澤絵里、白石智子、水尾彰太、山岸由佳：
下肢無酸素能力が陸上投擲選手の競技パフォーマンスに及ぼす影響

方 法

実験 I

被験者は大学陸上競技部に所属する投擲選手，男子 11 名，女子 6 名であった。前週の競技レベルは全日本インカレ出場レベルから，地方インカレ入賞レベルまでさまざまであった。被験者の身長は，男性で $172 \pm 9\text{cm}$ ，女性で $165 \pm 5\text{cm}$ であり，体重は男性で $80 \pm 19\text{kg}$ ，女性で $74 \pm 20\text{kg}$ であった。被験者には実験に先立ち，実験の目的，方法および実験実施上の危険性を十分に説明し実験参加の同意を得た。本実験は徳山大学教務委員会において研究倫理審査会の承認を得て行われた。

$\text{VO}_{2\text{max}}$ テストでは，自転車エルゴメーター（Power Max V - II；コンビ社製・日本）を用いた。実験を行う前に，各部位のストレッチ運動など任意のウォーミングアップを行った後，自転車に乗った。サドルの高さは，ペダルに踵を乗せ，膝が十分に伸展することのできる程度とした。ハンドルの位置は被験者が運動しやすい位置とした。ペダルにストラップを用いて足を固定した。1 分間安静の後，負荷 0.5kp で 3 分間のウォーミングアップを行った。その後，本運動を開始した。本運動開始負荷は 1.0kp とし，2 分毎に男子では 0.5kp ，女子では 0.4kp ずつ負荷を漸増させ，男女共，ペダル回転数 60回/分 以上を維持させた。被験者は，ペダル回転数 60回/分 を維持できなくなった時点で疲労困憊とし，運動を中止させた。運動中は，ガス分析を自動ガス分析器（AE-310i；ミナト社製・日本）を用いて行い， VE ， O_2 濃度， CO_2 濃度を測定した。得られたデータから，1 分毎の VE ， VO_2 ， VCO_2 を算出した。運動中の VE の最高値を VE_{max} ， VO_2 の最高値を $\text{VO}_{2\text{max}}$ として評価した。同時に心拍数（HR）を HR モニター（RS - 800；ROLAR 社製・フィンランド）を用いて測定した。被験者が $\text{VO}_{2\text{max}}$ に至っていたかを確認するために，呼吸をモニターし続け，1） VO_2 が定常状態（1 分以上 VO_2 上昇が見られない）に達していた，2）呼吸商（RQ）が 1.1 を超えていた，3）HR が予想最高心拍数の 90% 以上であった，4）主観的運動強度（RPE）が 19 以上であった，の 4 つの基準を調べた。上記 4 つの条件のうち 3 つ以上を満たした場合， $\text{VO}_{2\text{max}}$ に至っているものとした。

Wingate test (WT) は自転車エルゴメーター (Power Max V- II ; コンビ社製・日本) を用い、30秒の全力自転車こぎ運動を行った。被験者は実験室入室後、各部位のストレッチ運動など任意のウォーミングアップを行った後、自転車に座った。サドルの高さは、ペダルと脚の伸展の程度の関係から、被験者が最も運動を行いやすい位置とした。ハンドルは被験者が運動しやすい位置とした。ペダルと前足部をストラップを用いて固定した。実験開始合図の後、1分間の安静に続いて、負荷1kpで3分間のウォーミングアップを行った。その後1分間の休憩をはさみ本運動を開始した。本運動は30秒間の全力こぎであった。本実験での負荷設定は、男性では体重 \times 0.1kp、女性では体重 \times 0.07kpとした。運動中はペダル回転数を0.1秒ごとに測定し続け、発揮パワーを算出した。また、自転車エルゴメーターをこぐ時にサドルから腰が浮かないように注意した。得られたデータは、0.1秒毎にパーソナルコンピューターに保存した。5秒毎に平均されたデータから最大値を最大パワー (P_{max})、最小値を最小パワー (P_{min})、30秒全体の平均値を平均パワー (P_{mean}) とした。また、 P_{max} と P_{min} の差を P_{max} で除した値を百分率で表し、疲労度 (FI) とした。

実験Ⅱ

被験者は、大学陸上競技部に所属する投擲選手、男子3名、女子2名であった。被験者の身長は、男子では 172 ± 7 cm、女子では 160 ± 2 cm、被験者全体では 167 ± 8 cmであった。体重は、男子では 75 ± 7 kg、女子では 67 ± 2 kg、被験者全体では 71 ± 7 kgであった。年齢は、男女全てにおいて 20 ± 1 歳であった。

実験は7月、9月および11月の3回にわたり、無酸素能力を調べるために Wingate Test (WT) を、投擲パフォーマンスを調べるために、円盤投げのフィールドテストを行った。フィールドテストでは、円盤投げの記録測定を行った。測定は徳山大学総合グラウンド (日本陸連第3種公認陸上競技場) で行った。測定方法は、通常の記録会と同様に、被験者のパフォーマンス発揮がしやすいよう、任意に十分なウォーミングアップ後、試技練習を3本行った。

2012年1月 小川剛司、楨 幸実、野澤絵里、白石智子、水尾彰太、山岸由佳：
下肢無酸素能力が陸上投擲選手の競技パフォーマンスに及ぼす影響

その後、本試技3投を計測した。3回の投擲の最高記録および平均記録を求めた。これらの縦断的測定の結果をもちいて、投擲選手の投擲パフォーマンスの変化は下肢の無酸素能力の変化に影響されるかを調べた。

統計分析

値はすべて平均値±標準偏差で表した。WTおよびフィールドテストのパラメーターは、一元配置分析を用いて調べた。また、パラメーター間の関係はPearsonの相関分析を用いて調べた。すべての分析の有意水準は $P < 0.05$ とした。

結果

実験 I

VO_{2max} は男性で 46.6 ± 8.7 ml/kg/min, 女性で 39.6 ± 7.1 ml/kg/min, 被験者全体で 44.2 ± 8.7 ml/kg/min であった。

Wingate test (WT) の結果を Table1 に示す。 P_{max} は男性で 989 ± 30 W, 女性で 725 ± 27 W, 被験者全体で 985 ± 30 W であった。 P_{mean} は男性で 772 ± 28 W, 女性で 604 ± 25 W, 被験者全体で 527 ± 23 W であった。 P_{min} は男性で 552 ± 23 W, 女性で 483 ± 22 W, 被験者全体で 527 ± 23 W であった。 体重当たりの発揮パワー (P_{max}/W) は男性で 13 ± 3 W/kg, 女性で 10 ± 3 W/kg, 被験者全体で 527 ± 23 W であった。

Wingate testにおける各パラメーターとやり投げ, 円盤投げ, ハンマー投げ

Table1. The results of wingate test in *experiment I*

	male	female	all subjects
P_{max} (W)	989 ± 31	$725 \pm 27^*$	895 ± 30
P_{mean} (W)	772 ± 23	$604 \pm 25^*$	712 ± 27
P_{min} (W)	552 ± 23	$483 \pm 22^*$	527 ± 23
P_{max}/W (W/kg)	13 ± 4	$10 \pm 3^*$	12 ± 3

*; $P < 0.05$ vs. male

を専門に行う競技者においてそれぞれ自己最高記録との間の関係を調べたところ、 P_{\max} と円盤投げの記録との間にのみ有意な相関関係が見られた ($r=0.78, p<0.05$) (Fig.1).

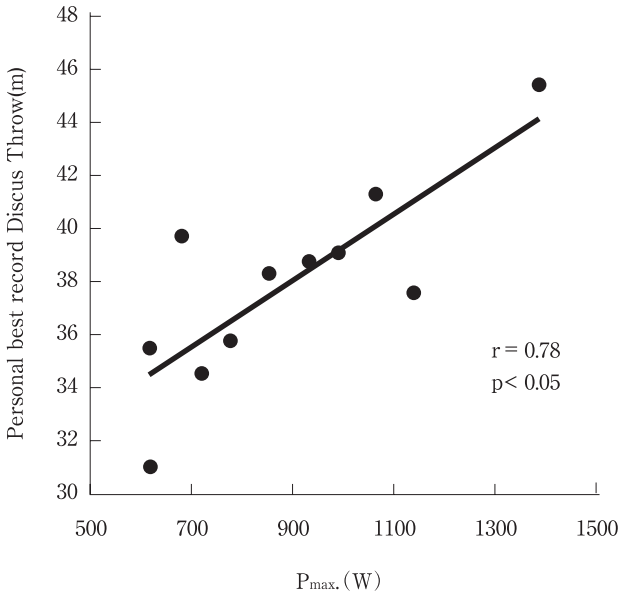


Figure 1 ; the relationship between Discus Throw performance and P_{\max} .

実験Ⅱ

フィールドテストの結果を Table2 に示す。フィールドテストにおいての円盤投げの最高記録および平均記録ともに7月から11月までの間で有意に大きな変化はなかった。円盤投げの季節ごととの最高記録の変化率を Table3 に示す。7月から9月では $2.5 \pm 8.7\%$ 低下した。9月から11月では $4.9 \pm 13.7\%$ 増加した。7月から11月では 1.3 ± 5.0 増加した。

実験ⅡのWingate testの結果を Table4 に示す。 P_{\max} は7月では $813.6 \pm 176w$ 、9月では $824.0 \pm 181w$ 、11月では $822.8 \pm 199w$ であった。 P_{mean} は7月では 645.9

2012年1月 小川剛司、楨 幸実、野澤絵里、白石智子、水尾彰太、山岸由佳：
 下肢無酸素能力が陸上投擲選手の競技パフォーマンスに及ぼす影響

Table 2. The results of field test in *experiment II*

	July	September	November
Best record (m)	33.43 ± 3.22	33.95 ± 3.22	33.84 ± 3.22
Mean record (m)	32.06 ± 3.49	32.00 ± 3.50	31.85 ± 3.39

Values are showed as mean ± SD.

Table3. The rate of change in field test

	July-September	September-November	July-November
%dDT	-2.5 ± 8.7	4.9 ± 13.7	1.3 ± 5.0

%dDT; the percentage change of discus throw among seasons.

± 136w, 9月では624.6 ± 136w, 11月では635.5 ± 155であった。P_{min}は7月では467.8 ± 109w, 9月では445.2 ± 87w, 11月では464 ± 118wであった。FIは7月では41.9 ± 9.2%, 9月では45.5 ± 4.9%, 11月では43.5 ± 3.5であった。

7月から11月のWingate testのパラメーターの変化率を求めた結果をTable5に示す。P_{max}について、7月から9月では5.0 ± 13.2%低下した。9月から11月では7.7 ± 14.9%増加した。7月から11月では0.8 ± 4.0%増加した。P_{mean}について、7月から9月では7.9 ± 9.8%低下した。9月から11月では7.2 ± 12.7%増加した。7月から11月では2.2 ± 3.7%低下した。P_{min}は7月から9月では8.8 ± 9.1%低下した。9月から11月では9.3 ± 12.5%増加した。7月から11月では0.6 ± 13.0%低下した。FIについて、7月から9月では8.7 ± 16.5%増加した。9月から11月では1.5 ± 9.6%低下した。7月から11月では7.1 ± 19.8%増加した。

7月から9月の円盤投げの記録の変化率とP_{mean}の変化率の間 (r=0.898, p < 0.05) (Fig.2), 9月から11月の円盤投げの記録の変化率とP_{mean}の変化率の間 (r=0.947, p < 0.05) (Fig.3) のそれぞれに有意な相関関係が見られた。

また、9月から11月の円盤投げの記録の変化率においてはP_{max}の変化率とも有意な相関関係が見られた (r=0.974, p < 0.05)。

Table4. The results of wingate test in *experiment II*

	July	September	November
P_{max} (W)	813.6 ± 176	824.0 ± 181	822.8 ± 199
P_{mean} (W)	645.9 ± 136	624.6 ± 136	635.5 ± 155
P_{min} (W)	467.8 ± 109	445.2 ± 87	464 ± 118
FI (%)	41.9 ± 9.2	45.5 ± 4.9	43.5 ± 3.5

P_{max} ;peak power output, P_{mean} ;mean power output, P_{min} ;minimal power output.

Table5. The rate of change in wingate test

	July-September	September-November	July-November
$\%dP_{max}$ (%)	-5.0 ± 13.2	7.7 ± 14.9	0.8 ± 4.0
$\%dP_{mean}$ (%)	-7.9 ± 9.8	7.2 ± 12.7	-2.2 ± 3.7
$\%dP_{min}$ (%)	-8.8 ± 9.1	9.3 ± 12.5	-0.6 ± 13.0
$\%dFI$ (%)	8.7 ± 16.5	-1.5 ± 9.6	7.1 ± 19.8

$\%dP_{max}$;the percentage change of P_{max} among seasons, $\%dP_{mean}$;the percentage change of P_{mean} among seasons, $\%dP_{min}$;the percentage change of P_{min} among seasons, $\%dFI$;the percentage change of $\%dP$ among seasons.

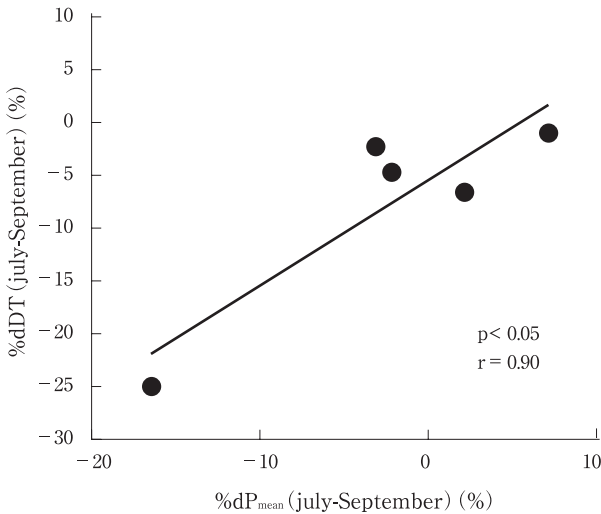


Figure2 ; the relationship between $\%dDT$ and $\%dP_{mean}$.

2012年1月 小川剛司、楨 幸実、野澤絵里、白石智子、水尾彰太、山岸由佳：
下肢無酸素能力が陸上投擲選手の競技パフォーマンスに及ぼす影響

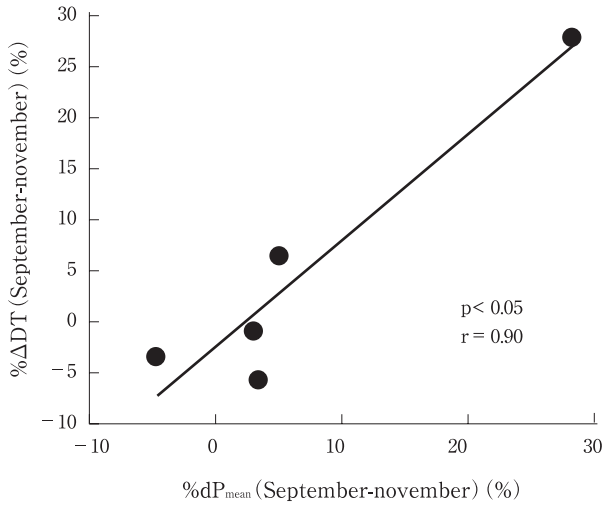


Figure3 ; the relationship between %ΔDT and %ΔP_{mean}.

考 察

本研究は、陸上競技投擲選手において、下肢の有酸素能力および無酸素能力が競技パフォーマンスに及ぼす影響を調べた。その結果、有酸素能力の指標であるVO_{2max}は投擲競技の記録とは関係が見られなかったが、円盤投げの自己記録とP_{max}の間に有意な正の相関関係が見られた。この結果から、円盤投げの競技パフォーマンス発揮には下肢の無酸素能力が関係するが、有酸素能力は関係しないことが示唆された。さらに本研究では、相関関係の見られた投擲選手の下肢の無酸素能力と円盤投げパフォーマンスとの関係について縦断的に検討したところ、P_{mean}の2か月ごとの変化の程度と円盤投げの記録の変化率の間に有意な正の相関関係が見られた。この結果から、円盤投げの競技パフォーマンスの変化は、無酸素能力の発揮パワーの変化と連動することが示唆された。

陸上競技者の有酸素能力について調べた先行研究では、世界選手権レベルの長距離選手を被験者とした先行研究では、78.1ml/kg/min、女性では68.8ml/

kg/minであり (Gregorら1981), 中距離選手においても男性で78.1ml/kg/minであったことが報告されている (Ruskoら1978). 一方で, 競技時間の短い短距離選手においては男性において 60.1ml/kg/min, 女性において 43.0ml/kg/minであったことが報告されている. 競技時間が短くともトップアスリートは非鍛錬者の平均値よりも高い有酸素能力を有している. 一方, 世界選手権レベルの男性円盤投げ選手の VO_{2max} は47.5ml/kg/min, 男性砲丸投げ選手においては42.6ml/kg/minであり (Fahey1975), 非鍛錬者と同程度の有酸素能力である. 短距離選手よりも体重の大きい投擲選手では VO_{2max} が低く評価されやすいことが考えられる. 本研究の大学陸上競技部に所属する投擲選手は, 円盤投げ選手で45.4 ml/kg/min, 砲丸投げ選手で43.6 ml/kg/minであった. 大学競技選手と世界選手権レベルの選手では有酸素能力は同程度であったことから, 有酸素能力は競技パフォーマンスと強く関係しないことが示唆された.

投擲選手の無酸素能力について, 男性槍投げ選手を被験者とした先行研究では, Wingate testにおける P_{max} は $1208 \pm 272w$ であったことが報告されている (Boulhelら2007). 本研究の男性被験者よりも高かったが, 体重当たりの P_{max} は先行研究では14W/kgと本研究の被験者と比較してほとんど差がなかった. 発揮パワーの絶対値は体重で除することにより, 体重 (筋量) の影響を排除し, 筋出力の質的な評価になると考えられる. したがって, 本研究の結果は陸上投擲種目においては, 下肢の発揮パワーの絶対値が高いことがパフォーマンスを発揮する上で重要であることを示唆するものである.

さらに, 投擲パフォーマンスと上肢および下肢の無酸素能力の関係について30秒間Wingate testを用いて検討した先行研究では, やり投げの競技パフォーマンスの高さと上肢および下肢双方の発揮パワーの高さに有意な相関関係が見られ, 投擲やり投げ選手は四肢の発揮パワーがそのパフォーマンス発揮に重要であることを示唆している. 本研究では, 円盤投げのパフォーマンスと P_{max} の高さに有意な相関関係が見られ, 円盤投げパフォーマンスには下肢の発揮パワーの高さが重要であることが示唆された. 一方で, 他の種目においては発揮パワーと有意な関係が見られなかったことについては, それぞれの種目を専門

2012年1月 小川剛司、楨 幸実、野澤絵里、白石智子、水尾彰太、山岸由佳：
下肢無酸素能力が陸上投擲選手の競技パフォーマンスに及ぼす影響

に行っている数が少なかったことから、解析数が少なく、関係の検出力が低かったことが原因の一つと考えられる。今後、種目ごとの被験者を多くしたり、上肢の重要性についても検討するなどの課題が残されている。

本研究では実験Ⅱとして、円盤投げ選手において7, 9, 11月にWingate testを行い、無酸素能力の変化が投擲パフォーマンスに影響を及ぼすかについて縦断的に検討した。その結果、 P_{max} は7月では $813 \pm 176w$ 、9月では $824.0 \pm 181w$ 、11月では $822 \pm 199w$ であり、被験者全体としての無酸素能力の有意な変化は生じないシーズンであった。投擲パフォーマンスにおいても同様に有意な差は生じなかった。しかしながら、個人での変化率に注目すると、円盤投げの競技パフォーマンスの変化率と発揮パワーの変化率には有意な正の相関関係が見られた。この結果から、円盤投げ競技パフォーマンスは無酸素能力の高低の影響を受けることが示唆された。さらに、Wingate testをコントロールテストとしてトレーニング計画に用いて投擲パフォーマンスを無酸素能力の面から評価することが可能であることが考えられる。

本研究の結果の注意点として、実験Ⅱにおいては被験者数が5名であったこと、さらに検出された相関関係は変化の大きかった1名の結果が強く影響しているなどが挙げられる。今後、より多くの被験者で検討したりするなどの必要がある。

まとめ

本研究では、下肢の無酸素能力および有酸素能力が投擲パフォーマンスに及ぼす影響を明らかにすることを目的として、最大酸素摂取量やWingate testにおける下肢の発揮パワーと、投擲パフォーマンスの関係を調べた。その結果、有酸素能力と競技パフォーマンスは関係しないが、Wingate testにおける P_{max} と円盤投げの競技パフォーマンスに有意な正の相関関係がみられた。また、円盤投げパフォーマンスの変動と発揮パワーの変動の間に有意な正の相関関係が見られた。これらの結果から、円盤投げパフォーマンスには下肢の無酸素能力

の影響を受け、Wingate testを用いて無酸素能力の変化を調べることで円盤投げのパフォーマンスの代謝的な評価が可能であることが示唆された。

参考文献

- Bar-Or O (1987) The Wingate anaerobic test. An update on methodology, reliability and validity *Sports Med* 4 (6): 381-394
- Bouhlel E, Chelly MS, Tabka Z, Shephard R (2007) Relationships between maximal anaerobic power of the arms and legs and javelin performance. *J.Sports Med Phys Fitness*. 44:141-146,
- Calbet JA, Chavarren J, Dorado C (1997) Fractional use of anaerobic capacity during a 30- and a 45-s Wingate test. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 76 (4):308-313.
- Dotan R (2006) The Wingate anaerobic test's past and future and the compatibility of mechanically versus electro-magnetically braked cycle-ergometers *Eur J Appl Physiol* 98 (1): 113-116
- Fahey TD, Akka L, Rolph R. (1975) Body composition and VO_{2max} of exceptional weight-trained athletes. *J Appl Physiol* Oct;39 (4):559-561
- Gerald DT, Robert KN, Lavonne U, William GT, Glen OJ. (1985) Comparison of Sprint and Run Times with Performance on the Wingate Anaerobic Test. *Research Quarterly For Exercise and sport*. 56:73-76
- Gregor RJ, Edgerton VR, Rozenek R, Castleman KR. (1981) Skeletal muscle properties and performance in elite female track athletes. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 47 (4):355-364.
- 中野美沙, 大山圭吾, 尾縣貢: 国内女子やり投げ競技者の体力特性. *陸上競技研究*. 71:37-44, 2007
- Pipes TV (1977) Body composition characteristics of male and female track and field athletes. *Res Q* 48: 224-247
- Rusko H, Hovu M, Karvonen E (1978) Aerobic performance capacity in athlete. *Eur J Appl Physiol* 38: 151-159