

鳥取砂丘でのスプリント走における生理学的特性の検討

鳥取大学 地域学部 関 耕二
鳥取大学 地域学部 田中 大和

The physiological research of sprint running in Tottori sand dunes

Koji SEKI (Faculty of Regional Sciences, Tottori University)
Yamato TANAKA (Faculty of Regional Sciences, Tottori University)

キーワード：砂地環境，短時間高強度運動，エネルギー代謝

Key Words : sandy area, high-intensity exercise, energy metabolism

I. 緒言

近年，ビーチバレーやビーチフラッグ等のビーチスポーツが盛んに行われるようになってきた。ビーチスポーツとは，砂浜及びその周辺で行われるスポーツの総称で，様々な種類のビーチスポーツが行われている。ビーチスポーツは体育館やグラウンドで行われる競技が派生し，砂浜で行われるようになったものがほとんどで，その歴史は比較的浅い。例えば，ビーチスポーツの代表でもあるビーチバレーボールは，1930年にポール・ジョンソン発案のもと行われ始め，1987年に初の世界ビーチバレーボール選手権が開催されたことをきっかけに普及し始めた（キライら，2003）。現在，全国各地の砂浜では多くのビーチスポーツ大会が開催されている。また，砂地環境はトレーニングを行う場としても活用されている。これまでに，砂地でのトレーニングは経験的に良いとされ，アマチュアからプロに至るまで多くのアスリートがトレーニングに取り入れている。

これまでにランニングパフォーマンスの向上を目指し，様々なトレーニングが開発されてきた。トレーニングのバリエーションが豊富なこ

とで選手は飽きずにトレーニングに取り組むことができる。また，それぞれのトレーニングでは鍛えることのできる能力や筋群が異なるため，多くのトレーニングの中から競技者に合ったトレーニングを選択することが可能である。トレーニングを行う環境は陸上競技場トラックのような平坦な地形だけではなく，森林，砂浜や斜面等自然の中の様々な地形や起伏を利用して行われている。多くの陸上競技選手が取り入れているトレーニングにクロスカントリー，ファルトレクやヒルトレーニングなどがある。クロスカントリーやファルトレクトレーニングは自然の中のいろいろな地形，柔らかい足場等を走ることで全身を鍛えることができ，心身のリフレッシュになるとされている（マーティンら，2001）。リディアード（1993）はクロスカントリーでは，砂地のようにグリップの悪い柔らかい地形もトレーニング環境として利用することを推奨している。砂上での運動は堅い地表での運動と比較してより大きなエネルギーが必要とされることは推察できるが，具体的なトレーニング効果についての報告はみられない。

一方，鳥取県には観光地としても有名な鳥取砂丘があり，地元のジュニアランナー等がト

レーニングを行っている。鳥取砂丘は平坦な地形から「馬の背」と呼ばれる急勾配の地形（砂丘列）まで多様な地形が存在する。砂地での運動時の身体への影響についてのこれまでの研究では、砂の緩衝作用や地面反力からの検討やエネルギー代謝などがある。バレーボール選手とビーチバレー選手の跳躍について検討した竹川ら（2008）は、ビーチバレー選手は砂上で跳躍を行う際に、大きな反動動作により強い反力を獲得し、高い跳躍を可能にしていると報告している。さらに、砂を利用した筋トレーニングについての研究では、砂を重りとして利用する以外に砂の抗力を生かした筋力トレーニングの可能性について述べた報告もある（村松ら、2009）。また、エネルギー代謝に注目した研究では、Zamparo et al. (1992) や Pinnington et al. (2001) は砂地でのランニング時のエネルギー消費量について検討するために、砂浜及び堅い路面で5分程度のやや激しいランニングを行わせており、砂地でのランニングは低衝撃であるが、エネルギー効率向上の高いトレーニング刺激が得られると述べている。Lejeune et al. (1998) は人工的に作った砂場走路を用いてランニングテストを行わせ、その際のエネルギー代謝について検討を行っており、Zamparo et al. (1992) や Pinnington et al. (2001) と同様の結果を得ている。さらに、吉田ら（2007）は裸足での砂浜トレーニングが足部機能に与える影響について明らかにすることを目的に、裸足での砂浜トレーニングを3週間実施し、足底部の変化について検討を行っており、裸足での砂浜トレーニングは足部機能の改善において有効であると述べている。しかし、これらの研究のほとんどは砂の緩衝作用に着目したものであり、砂地を利用したトレーニングについては不明な点が多い。また、Zamparo et al. (1998) の研究を筆頭に長時間低強度運動に注目した検討は行われているも

の、短時間高強度運動を行った際の検討は行われていない。さらに、平坦な砂地走路でのランニング時の検討は少なからず行なわれているが、鳥取砂丘の「馬の背」のような砂地の急な登り坂でのランニングに関する研究は、関ら（2010）が無酸素パワーとの関連を検討した基礎的な報告がみられるのみである。

そこで、本研究では鳥取砂丘でスプリント走を行った場合の生理学的特性を検討することを目的とした。

II. 方法

1. 対象

対象は、健全な男子大学生20名とした（Table.1）。被験者には研究の目的及び内容について十分に説明した後、書面にて同意を得た。尚、本研究は鳥取大学地域学部倫理審査委員会の承認のもと行った。

2. エネルギー代謝特性の評価について

被験者の無酸素性能力の指標として、自転車エルゴメーター（Power Max V；COMBI）を用い、Power Maxに内蔵されている無酸素パワーテストの実施により求められる最大無酸素パワーを用いた。また、被験者の有酸素性能力の指標として、自転車エルゴメーター（Aero Bike 75XL III；COMBI）を用い、Aero Bikeに内蔵されている体力テストの実施により間接的に求められる最大酸素摂取量を用いた。

Table.1 Physical characteristics of the subjects.

| Age(years) | Height (cm) | Weight (kg) | BMI |
|------------|-------------|-------------|----------|
| 20.7±1.3 | 173.9±8.6 | 68.1±11.1 | 22.5±2.8 |
| mean±SD | | | |

3. ランニングテストについて

3-1 ランニングテストの実施条件

ランニングテストのプロトコールは、1) 無酸素性を測定するために広く使われている Wingate Test において30秒の自転車駆動運動を1セットというプロトコールが使われていること、2) 短時間高強度運動においては有酸素系よりもATP-PCr系に加えて解糖系がエネルギー供給に貢献するとされている時間が30秒程度であること等を参考に、本研究では30秒の全力ランニングを1セットとした。

ランニングテストの実施場所は、鳥取砂丘の比較的平らな場所（以下、砂丘平地と示す）及び傾斜約30度の上り坂（以下、砂丘登坂と示す）、さらに比較のために鳥取大学の陸上競技トラック（以下、トラックと示す）の3カ所とした。すべてのランニングテストはランニングシューズを履くことを原則とし、地表の状態が雨の後等で濡れている時は避けて実験を行った。

3-2 測定項目

血中乳酸濃度の測定は、アルコールで指先を十分に消毒した後、指穿刺により採血を行い、簡易血中乳酸濃度測定器（Lactate Pro；ARKRAY）を用いて実施した。測定はランニングテスト開始前、ランニングテスト終了直後及び終了5分後の計3回行った。尚、結果の分析にはランニングテスト終了直後及び終了5分後のうち高い方の値を採用した。

主観的運動強度（Rate of Perceived Exertion, 以下、RPEと示す）の測定には、Borg（1982）が考案した指標（Borg Scale）を用いて実施した。ランニングテスト終了直後に被験者の指差しにより測定を行った。

走距離を測定するためランニングテストの走路に5メートル間隔でマーカーを設置し、マーカーを目安に目測した。そして、得られた走距離を運動継続時間30秒の2倍することで走速度（m/min）を算出した。

4. 統計処理

結果はすべて平均値±標準偏差で表記した。統計処理はIBM SPSS Statistics19により行った。被験者の最大無酸素パワー及び最大酸素摂取量と各環境でのランニングテストにおける測定値の関係性を検討するためにPearsonの積率相関係数の算出を行った。また、各環境でのランニングテスト間の測定結果の差異について比較するためにWilcoxonのT検定を行なった。さらに、各環境でのランニングテストにおけるエネルギー代謝の特性を評価するために被験者をグループに分類し、グループ間の測定結果の差異を比較するためにMann-WhitneyのU検定を行った。また、同一標本における相関係数の差を検定するため相関係数の有意性検定を行った。尚、有意水準はすべて5%未満とした。

Ⅲ. 結果と考察

1. ランニングテストにおける各指標の結果について

各環境でのランニングテストにおける各指標の結果をTable.2に示す。トラックにおけるランニングテスト後の血中乳酸濃度と砂丘平地でのランニングテスト後の血中乳酸濃度の間に明らかな差はみられなかった。一方、砂丘登坂におけるランニングテスト後の血中乳酸濃度は、トラック、砂丘平地でのランニングテスト後の血中乳酸濃度よりも有意に高い値を示したことから（それぞれ、 $P < 0.01$ ）、本研究における砂丘登坂でのランニングは、生理学的な視点から考えてもかなり強度の高い運動であったということが伺える。また、トラックにおけるランニングテスト後のRPEと砂丘平地におけるランニングテスト後のRPEの間に明らかな差はみられなかった。一方、砂丘登坂におけるランニングテスト後のRPEはトラック、砂丘平地におけるランニングテスト後のRPEよりも有

Table.2 Results of the running trials.

| | Blood lactate (mmol/l) | | RPE | Running velocity (m/min) |
|---------------|------------------------|----------|----------|--------------------------|
| | Pre | Post | | |
| Track | 2.0±0.4 | 12.4±1.8 | 15.8±1.3 | 394.3±25.4 |
| Sandy surface | 2.1±0.6 | 12.2±2.1 | 16.1±1.7 | 312.8±22.3 |
| Sandy uphill | 2.2±0.6 | 14.1±1.9 | 18.2±1.0 | 82.2±13.3 |

mean±SD
** P<0.01

意に高い値を示したことから（それぞれ、 $P<0.01$ ），砂丘登坂でのランニングはトラック及び砂丘平地でのランニングに比べ主観的にかなり「きつい」運動であることが推察される。さらに、トラックでのランニングテストにおける走速度は砂丘平地、砂丘登坂でのランニングテストにおける走速度よりも有意に高く（それぞれ、 $P<0.01$ ），砂丘平地でのランニングテストにおける走速度は砂丘登坂でのランニングテストにおける走速度よりも有意に高い値を示した（ $P<0.01$ ）。砂丘平地でのランニングテストにおける走速度はトラックの80%程度であり、砂丘登坂に関してはトラックの20%程度の走速度しか出せていない。このように、砂丘登坂でのランニングがきつかったということは走速度の結果からも伺える。Zamparo et al. (1998) や Pinnington et al. (2001) は砂地でのランニングにおけるエネルギー代謝について明らかにするために5分程度のやや激しいランニングを砂上及び堅い路面で行わせているが、砂地でのランニングは足が後方に滑るため、堅い地表でのランニングと比較して、地面から受ける推進力が少ないと報告している。本研究において、砂丘平地でのランニングは地表面が柔らかくグリップしにくいことから地面反力を上手く受けることができず、トラックの80%程度の走速度しか出せなかったと考えられる。さらに、砂丘登坂に関しては、砂丘平地の条件に加え、普段経験したことのないほど急な登坂であったことからトラックの20%程

度の走速度しか出せなかったと示唆される。

これまでに登り坂でのランニングにおける筋活動の検討が行なわれてきた。登り坂でのランニングでは身体を上方へ持ち上げるために腓腹筋や大腿二頭筋、半膜様筋、半腱様筋等のハムストリングといった下肢の後側が主として動員されている（八田，2009）。登坂でのランニングの際、主として短縮性収縮が行われており、下肢の後方の筋群は、身体を上方へ持ち上げるために足が接地している間中、力を発揮しているため、活動筋群の発揮する仕事量が大きくエネルギー消費も多い（川上，2003）。そのため、より多くのATPが必要とされ、これを補うために血中乳酸濃度が多く産生されたと谷代ら（2001，2004）は報告している。これらの研究で用いられているのはトレッドミルでの傾斜5度の登り坂であり、本研究の砂丘での傾斜約30度の登り坂とは条件がかなり違う。また、運動様式も10分間のランニングであったのに対し、本研究は30秒の全力ランニングを1セットであり、全く異なる運動様式であった。しかし、これらの研究とは異なる条件であったが、動員された筋群は同様であり、類似した生理反応が起きたと考えられる。また、本研究のように30秒程度の運動では主に解糖系からエネルギーが供給される。通常、解糖系で蓄積された乳酸は酸素を利用して代謝される。しかし、本研究の砂丘登坂におけるランニングテストはRPEの結果からも分かる通り、かなり「きつい」運動であったため酸素の供給が追い付かず、30秒という短い時間では乳酸が代謝できなかった。そのため、本研究において砂丘登坂の血中乳酸濃度が有意に高い値を示したと考えられる。

2. 生理的指標と走速度の関係について

Power Maxに内蔵されている無酸素パワーテストより得られた最大無酸素パワー、被験者

ごとの体重で除した相対的な最大無酸素パワーおよび最大酸素摂取量をTable.3に示す。最大酸素摂取量と各環境でのランニングテストにおける走速度の間に明らかな関係はみられなかった (Fig.1)。一方、被験者ごとの体重で除した相対的な最大無酸素パワーと砂丘登坂でのランニングテストにおける走速度の間に有意な相関関係は認められなかったが、トラックおよび砂丘平地での走速度との間に有意な正の相関関係が認められた (トラック $r=0.569$, 砂丘平地 $r=0.669$, それぞれ $P<0.01$, Fig.2)。加藤ら (1992, 1994) は疾走能力と無酸素性パワーの関係について検討するために、Power Maxによる無酸素パワーテストと屋外でのスプリント走を実施しており、最大無酸素パワーと走速度の間に有意な相関関係がみられたと報告している。これらは本研究において、最大無酸素パワーとトラック及び砂丘平地でのランニングテストにおける走速度に有意な相関関係が認められたことと一致する。これらの結果より、トラック及び砂丘平地でのランニングは主として、無酸素性からのエネルギー供給に貢献していると考えられる。しかし、砂丘登坂でのランニングテストにおける走速度は最大無酸素パワーとも最大酸素摂取量とも有意な相関関係がみられなかったことから、無酸素性及び有酸素性のエネルギー代謝のどちらかに大きく偏っているわけではないと考えられる。一般的に陸上競技短距離走のような運動は無酸素運動と呼ばれているが、実際にはどんな運動でも全身に

Table.3 Characteristics of physiological parameters of the subjects.

| Maximal anaerobic power | | Maximal oxygen uptake |
|-------------------------|-----------|-----------------------|
| (Watt) | (Watt/kg) | (ml/kg/min) |
| 795.7±147.3 | 11.7±1.3 | 39.5±6.1 |

mean±SD

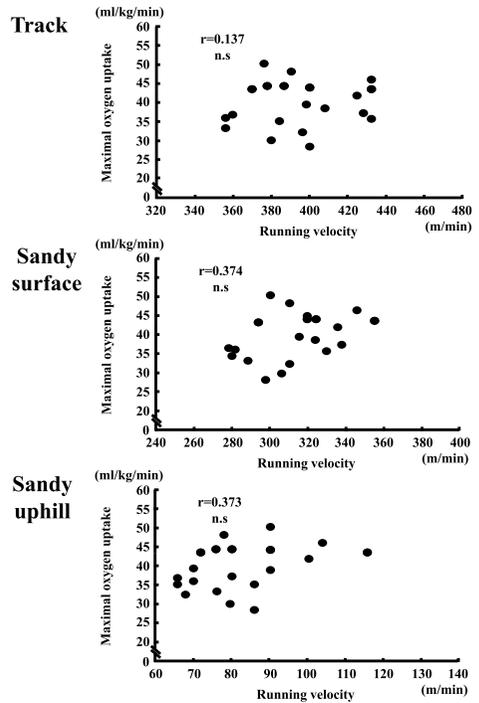


Fig.1 Relationships between maximal oxygen uptake and running velocity in the running trials.

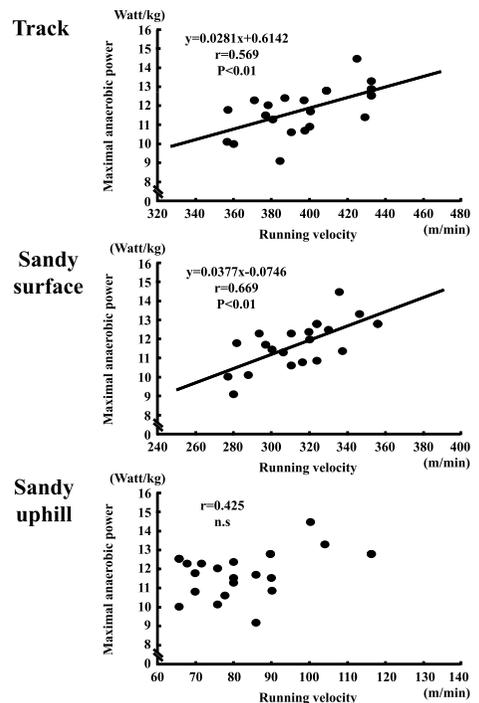


Fig.2 Relationships between maximal anaerobic power and running velocity in the running trials.

酸素が供給されており、無酸素性によるエネルギー供給のみではなく、有酸素性によるエネルギー供給も行われている。関ら（2010）は、鳥取砂丘の平地と登坂において、短距離陸上競技選手と一般被験者を対象に30秒間全力疾走を120秒間の休憩をはさんで3回実施し、最大無酸素パワーと3回疾走後の血中乳酸濃度が正の相関関係を示すことを報告している。さらに、関ら（2010）の報告では、平地での疾走後の血中乳酸濃度は短距離選手が一般被験者より有意に高値を示すが登坂では明らかな差は認められないことより、鳥取砂丘の登坂では無酸素性のエネルギー供給系の貢献度は低くなる可能性を指摘している。森ら（2011）は40秒のWingate Testを実施し、40秒のWingate Testにおける経過時間ごとのエネルギー供給能力の関係について検討をおこなっており、30秒以内では有酸素性能力の関与は少ないが30秒以降は有酸素性能力の関与が徐々に大きくなると報告している。したがって、本研究におけるトラック及び砂丘平地でのランニングテストは有酸素性能力の関与が少なかったが、砂丘登坂でのランニングテストは無酸素性能力と有酸素性能力が平衡して貢献していたと考えられる。

3. 各環境でのランニングテスト間の走速度の関係について

ランニングテストにおける走速度の各環境間での関係について検討した結果、トラックー砂丘平地、砂丘平地ー砂丘登坂、砂丘登坂ートラックのそれぞれで有意な正の相関関係が認められた（トラックー砂丘平地 $r=0.882$ 、砂丘平地ー砂丘登坂 $r=0.603$ 、それぞれ、 $P<0.01$ 、砂丘登坂ートラック $r=0.550$ 、 $P<0.05$ 、Fig. 3）。これらの結果より、トラックとは異なり地表面が柔らかく、走りづらい砂丘でも、基本的には個人の走能力の高い者が優位であると考えられる。また、本研究において、ランニング

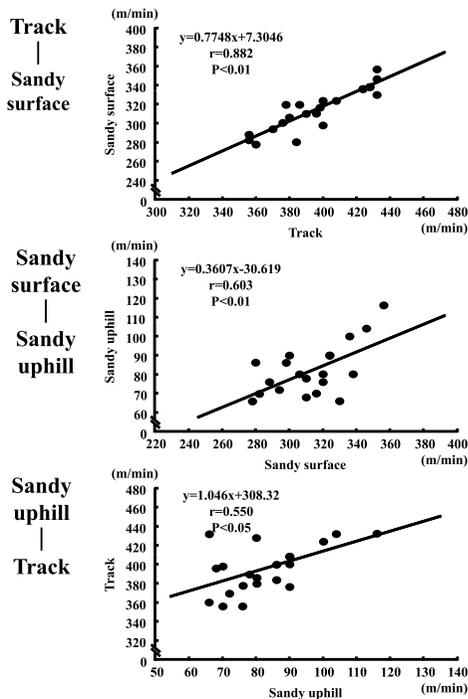


Fig.3 Relationships of running velocities in the running trials.

テストの実施環境として選択した砂丘登坂は傾斜が約30度あり、普段経験することのないほど急傾斜であるため、トラックでの走速度には関係しないと予想していたが、本研究の結果からいくらかきつい登り坂でも個人の走能力が関係していることが明らかになった。しかし、相関係数の差の検定を行った結果、トラックー砂丘平地の相関係数は砂丘平地ー砂丘登坂及び砂丘登坂ートラックの相関係数よりも有意に高い値であり（それぞれ、 $P<0.05$ 、 $P<0.01$ ）、砂丘平地ー砂丘登坂の相関係数と砂丘登坂ートラックの相関係数の間には明らかな差はみられなかった。これらの結果から、トラックでのランニングテストにおける走速度と砂丘平地でのランニングテストにおける走速度の関連は強く、トラック及び砂丘平地でのランニングテストにおける走速度と砂丘登坂でのランニングテストにおける走速度の関連は弱いと考えられる。こ

れまでに、登り坂でのランニングの様相についての検討は行われてきた（安ら2007, 谷代ら2001, 谷代ら2004）。しかし、これらの研究における登り坂の傾斜は5度程度であり、本研究の傾斜に匹敵する検討はみられない。また、本研究で使用した砂丘登坂ほど傾斜のきつい登り坂を普段の生活では経験することが無く、この登り坂に対応できるランニングフォームが獲得できていないために、トラック及び砂丘平地でのランニングテストにおける走速度と砂丘登坂でのランニングテストにおける走速度の関連は弱くなったと考えられる。

4. 疾走能力と生理的指標の関係について

トラックでのランニングテストにおける走速度上位5名をFast群（年齢21.8±0.4歳，身長176.2±4.6cm，体重65.7±2.2kg，BMI21.2±1.4，トラック走速度429.6±3.6m/min），下位5名をSlow群（年齢20.0±0.7歳，身長165.8±3.7cm，体重67.5±9.0kg，BMI24.5±2.8，トラック走速度363.6±9.0m/min）と分類した。Fast群及びSlow群のエネルギー代謝の特性をTable.4に示す。Fast群の被験者ごとの体重で除した相対的な最大無酸素パワーはSlow群よりも有意に高い値を示した（P<0.05）。一方，最大酸素摂取量は両群間に明らかな差はみられなかった。これまでに最大無酸素パワーと疾走能力の関係について数多くの検討が行なわれており，生田ら（1981）や加藤ら（1992, 1994）はPower Maxの無酸素パワーテストと屋外でのスプリント走を実施し，最大無酸素パワーと疾走能力の関係について検討を行っており，最大無酸素パワーの高い者は低い者に比べ疾走能力が優れていると報告している。本研究において，Fast群の最大無酸素パワーがSlow群に比べ有意に高いという結果が得られたことは，これらの報告と一致している。このように最大無酸素パワーと疾走能力は

Table.4 Characteristics of physiological parameters of Fast group and Slow group.

| | Running velocity on the track (m/min) | Maximal anaerobic power (Watt) | Maximal anaerobic power (Watt/kg) | Maximal oxygen uptake (ml/kg/min) |
|------------|---------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Fast group | 429.6±3.6 | 844.2±53.1 | 12.9±1.1 | 41.0±4.3 |
| Slow group | 363.6±9.0 | 745.2±60.4 | 11.1±1.0 | 40.0±6.8 |

mean ± SD
* P<0.05
** P<0.01

密接に関わっており，本研究のFast群でも同様に高いスプリント能力を反映したものと考えられる。

さらに，トラックでのランニングテストの走速度を100%としたときの砂丘平地の走速度の割合を算出し，値の高い上位5名をHigh-1群（年齢21.0±1.2歳，身長174.4±4.8cm，体重72.0±8.8kg，BMI23.7±3.0，砂丘平地の走速度の割合82.4±1.5%），下位5名をLow-1群（年齢20.8±1.6歳，身長176.6±12.3cm，体重76.3±14.5kg，BMI24.4±3.2，砂丘平地の走速度の割合75.9±2.2%）とした。High-1群とLow-1群のエネルギー代謝の特性をTable.5に示す。最大無酸素パワーおよび被験者ごとの体重で除した相対的な最大無酸素パワーは，High1群とLow1群の間に明らかな差はみられなかった。一方，最大酸素摂取量においてはHigh-1群がLow-1群よりも有意に高い値を示した（P<0.05）。これらの結果に加えて，最大無酸素パワーと砂丘平地でのランニングテストの走速度の間には有意な正の相関関係がみられたことも考慮すると，砂丘平地でのランニングでは主として無酸素性のエネルギー代謝が貢献しているが，有酸素性のエネルギー代謝も少なからず関与していると考えられる。

Table.5 Characteristics of physiological parameters of High-1 group and Low-1 group.

| | Ratio of running velocity (%) | Maximal anaerobic power | | Maximal oxygen uptake (ml/kg/min) |
|--------------|-------------------------------|-------------------------|-----------|-----------------------------------|
| | | (Watt) | (Watt/kg) | |
| High-1 group | 82.4±1.5 | 831.6±66.6 | 11.6±1.1 | 42.0±4.9 |
| Low-1 group | 75.9±2.2 | 854.6±230.3 | 11.1±1.5 | 33.7±3.3 |

Ratio of running velocity (%) = Running velocity on the sandy surface (m/min) / Running velocity on the track (m/min) x 100
 mean±SD
 *P<0.05
 ** P<0.01

また、トラックでのランニングテストの走速度を100%としたときの砂丘登坂の走速度の割合を算出し、値の高い割合上位5名をHigh-2群(年齢21.2±0.8歳、身長174.7±6.5cm、体重66.6±8.0kg、BMI21.8±1.6、砂丘登坂の走速度の割合24.2±1.6%)、下位5名をLow-2群(年齢20.8±1.6歳、身長173.4±7.9cm、体重68.6±6.8kg、BMI23.0±3.6、砂丘登坂の走速度の割合17.4±1.3%)とした。High-2群とLow-2群のエネルギー代謝の特性をTable.6に示す。最大無酸素パワーおよび被験者ごとの体重で除した相対的な最大無酸素パワーは、High-2群とLow-2群の間に明らかな差はみられなかった。一方、最大酸素摂取量においてはHigh-2群がLow-2群よりも有意に高い値を示した(P<0.01)。これらの結果に加えて、砂丘登坂においてはランニングテストの走速度と最大無酸素パワーの間に明らかな関係はみら

Table.6 Characteristics of physiological parameters of High-2 group and Low-2 group.

| | Ratio of running velocity (%) | Maximal anaerobic power | | Maximal oxygen uptake (ml/kg/min) |
|--------------|-------------------------------|-------------------------|-----------|-----------------------------------|
| | | (Watt) | (Watt/kg) | |
| High-2 group | 24.2±1.6 | 833.4±88.5 | 12.6±1.4 | 45.2±3.2 |
| Low-2 group | 17.4±1.3 | 782.2±126.1 | 11.4±1.0 | 36.3±2.7 |

Ratio of running velocity (%) = Running velocity on the sandy uphill (m/min) / Running velocity on the track (m/min) x 100
 mean±SD
 ** P<0.01

れなかったことから、砂丘登坂でのランニングは無酸素性及び有酸素性のエネルギー供給系が平衡して関与している可能性が考えられる。

IV. 結 語

本研究では、鳥取砂丘でのスプリント走における生理的特性の検討を行った。結果を要約すると以下の通りである。

- 1) 各環境でのランニングテスト後の血中乳酸濃度及びRPEは砂丘登坂がトラック及び砂丘平地に比べて有意に高い値を示した。また、走速度はトラックが砂丘平地及び砂丘登坂よりも有意に高く、砂丘平地は砂丘登坂よりも有意に高い値を示した。
- 2) 最大酸素摂取量と各環境でのランニングテストにおける走速度との間に有意な相関関係はみられなかった。一方、最大無酸素パワーと砂丘登坂での走速度の間に明らかな関係はみられなかったが、トラック及び砂丘平地での走速度との間に有意な正の相関関係が認められた。
- 3) ランニングテストにおける走速度は各環境間で有意な正の相関関係が認められた。
- 4) トラックでのランニングテストにおける走速度を基準にFast群及びSlow群に分類して検討を行なった結果、最大酸素摂取量はFast群とSlow群の間に明らかな差はみられなかった。一方、最大無酸素パワーはFast群がSlow群よりも有意に高い値を示した。
- 5) トラックの走速度に対する砂丘平地の走速度の割合を基準にHigh-1群及びLow-1群に分類して検討を行なった結果、最大無酸素パワーはHigh-1群とLow-1群の間に明らかな差はみられなかった。一方、最大酸素摂取量はHigh-1群がLow-1群よりも有意に高い値を示した。
- 6) トラックの走速度に対する砂丘登坂の走速

度の割合を基準にHigh-2群及びLow-2群に分類して検討を行なった結果、最大無酸素パワーはHigh-2群とLow-2群の間に明らかな差はみられなかった。一方、最大酸素摂取量はHigh-2群がLow-2群よりも有意に高い値を示した。

以上の結果より、砂丘平地でのスプリント走はトラックでの場合と同様に主として無酸素性エネルギー供給系によりエネルギーが供給されているが、トラックでの場合よりも有酸素性エネルギー供給系の関与が大きいと考えられる。さらに、砂丘登坂でのスプリント走はトラックでの場合とは全く異なり、無酸素性及び有酸素性エネルギー供給系の両方が影響する特性をもつ可能性が考えられた。

今後は、アスリートでの検討や、無酸素性エネルギー供給系に加えて有酸素性エネルギー供給系の改善を目的としたトレーニングとしての有効性の検討が課題である。

V. 引用・参考文献

- カーチ・キライ, バイロン・シューマン: 瀬戸山正二監訳 (2003) 実戦ビーチバレーボール-最強プレーヤーに学ぶ技術・戦術・トレーニング-. 大修館書店 pp.2-9
- デビッド・マーティン, ピーター・コー: 征矢英昭, 尾縣貢監訳 (2001) 中距離ランナーの科学的トレーニング. 大修館書店 pp175-183
- アーサー・リディアード: 小松美冬訳 (1993) リディアードのランニング・バイブル. 大修館書店 pp.79-84
- 竹川智樹, 小野浩二, 渡辺剛 (2008) バレーボール選手とビーチバレー選手の垂直跳びおよび膝関節角度. 体育・スポーツ科学研究 8: 65-76
- Zamparo P, Perini R, Orizino C, Sacher M, and Ferretti G. (1992) The energy cost of walking or running on sand. *Eur J Appl Physiol* 65: 183-187
- Pinnington H.C and Dawson B (2001) The energy cost of running on grass compared to soft dry beach sand. *Journal of Science and Medicine in Sport* 4: 416-430
- Pinnington H.C and Dawson B (2001) Running economy of elite surf iron men and male runners, on soft dry beach sand and grass. *Eur J Appl Physiol* 86: 62-70
- Lejeune T.M, Willems P.A, and Heglund N.C (1998) Mechanics and energetics of human locomotion sand. *The Journal of Experimental Biology* 201: 2071-2080
- 吉田早織, 中村豊 (2007) 裸足での砂浜トレーニングが足部に与える影響. 東海大学スポーツ科学雑誌 19: 69-74
- 関耕二, 国森敬章 (2010) 砂丘におけるランニングの運動強度推定の基礎的検討. 日本体育学会体育方法分科会会報 36: 171-174
- Borg G (1982) Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and Science in sports and exercise* 14: 377-381
- 八田秀雄 (2009) 乳酸と運動生理・生化学-エネルギー代謝の仕組み-. 市村出版 pp24-32
- 川上泰雄 (2003) 運動中の筋線維収縮動態. *バイオメカニズム学会誌* 27: 67-71
- 谷代一哉, 石井友保, 鈴木一宏, 清田寛, 中野昭一 (2001) MRI-T2値を指標とした Uphill runningとDownhill runningにおける下肢骨格筋動員の検討について. *体力科学* 50: 201-210
- 谷代一哉, 石井友保, 中野昭一 (2004) 登り坂および下り坂の連続走におけるランニング様相について-血中乳酸値とストライド長か

らの検討一. ランニング学研究 16 : 29-35

加藤謙一, 山中任広, 宮丸凱史, 阿江通良
(1992) 男子高校生の疾走能力および最大無酸素パワーの発達. 体育学研究 37 :
291-304

加藤謙一, 宮丸凱史, 阿江通良 (1994) 女子
高校生の疾走能力および最大無酸素パワーの
発達. 体育学研究 39 : 13-27

森健一, 山中美和子, 吉岡利貢, 荻山靖, 尾
縣貢 (2011) Wingate Testにおける発揮パ
ワーとエネルギー供給能力との関係. 陸上競
技研究 86 : 10-17

安裁漢, 桜井伸二, 金興烈 (2007) さまざま
な傾斜の路面を走るときの下肢筋活動の差異
—平地, 上り, 下り, 左右斜面について—.
体力科学 52 : 167-178