

# 水泳インターバルトレーニングの泳距離、泳速度、休息時間の関係からみた生理的応答とそのトレーニング処方への応用

若吉 浩二(Kohji Wakayoshi)

奈良教育大学

## 1. 水泳のインターバルトレーニングについて

水泳競技には、自由形、背泳ぎ、平泳ぎ、バタフライ、個人メドレーの計5種目があり、世界記録を参照すれば競技時間は、およそ20数秒～15分前後の範囲となる。Holmer<sup>7)</sup>は、最大努力泳の時間および距離に対する水泳中の無酸素性および有酸素性エネルギー消費の相対的貢献度を示し、100mのレースでは総エネルギー消費の80%が無酸素性エネルギー、400mのレースでは60%が有酸素性エネルギーであるとし、競技種目によってエネルギー代謝に大きな相違のあることを報告している。したがって、選手は、各自の専門種目に求められるパフォーマンスを高めるための適切なトレーニングプログラムを処方する必要がある<sup>15)</sup>。

インターバルトレーニングは、運動と運動との間に休息期を挟んで繰り返し行うトレーニング方法である。Counsilman<sup>2)</sup>は、水泳におけるインターバルトレーニングの構成要素を"DIRT"と表現した(図1)。

D: Distance to be swum (距離)

I: Interval of rest between each repeat swim (休息時間)

R: Repetitions of repeat swim (回数)

T: Time the distance is to be swum in (タイム)

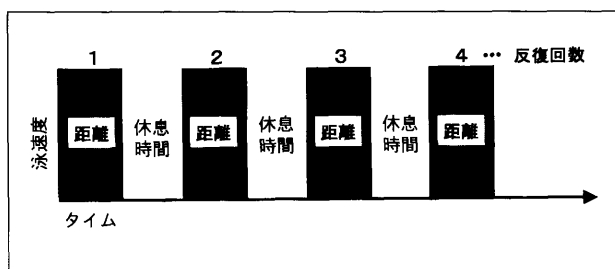


図1 インターバルトレーニングを構成する4要素  
(距離、休息時間、回数、タイム)

$$\text{距離} \div \text{タイム} = \text{泳速度}$$

$$\text{タイム} + \text{休息時間} = \text{サイクルタイム}$$

$$\text{距離} \times \text{反復回数} = \text{総泳距離}$$

つまり、インターバルトレーニングは、距離、休息時間、回数およびタイムの4要素によって構成され、トレーニングの目的に応じてそれらを組み合わせる必要があるとしている。実際、競泳のトレーニング方法の中では、インターバルトレーニングは、大いに活用されており、Maglischo<sup>9)</sup>は、そのトレーニングと運動強度の観点から、目的に応じたトレーニングカテゴリーの分類を行った。しかしながら、このカテゴリーを利用して運動強度である泳速度を設定することができたとしても、その他の3要素の泳距離、休息時間および回数を適切に組み合わせるにはそれなりの知識と経験が必要となり、誰にでも容

易に設定できるものではない。

水泳のインターバルトレーニングについて実験を行った Beltz<sup>1)</sup>は、休息時間を変化させることによって有酸素性または無酸素性の運動能力の向上につながるトレーニングの実施が可能であると報告している。中谷と伊藤<sup>11)</sup>は、200mの最大泳速度における95%以上のインターバルトレーニングを実施し、身体に与える運動負荷を乳酸値および心拍数で評価した。その結果、運動と休息時間の比を1:1でトレーニングを行うと、乳酸値が最大に蓄積されると報告している。したがって、これらの先行研究からも、インターバルトレーニングを処方する場合、トレーニング目的に合致した泳速度および休息時間の設定が重要であるといえるだろう。つまり、Maglischo<sup>9)</sup>の示したトレーニングカテゴリーをより進化させるためには、個人の能力とトレーニング目的に応じた泳距離、泳速度、休息時間および回数の4要素の最適な組み合わせを可能とする方法論の開発が望まれることになる。

本稿では、インターバルトレーニングにおける泳距離、泳速度および休息時間の変化に伴う生理的応答およびストローク特性を調査したこれまでの研究成果等<sup>19,22)</sup>を基に、コーチングに活用され得るインターバルトレーニングの方法論について検討を加えることにする。

## 2. 距離、泳速度および休息時間の関係からみた生理的応答

### 2-1. 研究方法

#### 2-1-1. 被験者

被験者は、大学水泳部に所属する学生で年間を通してトレーニングを実施している男子選手を対象とした。泳距離100mのインターバルテスト ( $T_{int}$ ) に参加した選手10名、50mおよび200mの $T_{int}$ に参加した選手10名の計20名であった。

#### 2-1-2. 20分間泳テストおよび最大努力泳テスト

20分間泳テストでは、各被験者に20分間最高努力で泳ぎ続けるよう指示し、その時の速度を、20分間の最大平均泳速度 (以下 $V_{20min}$ ) とした。 $T_{int}$ 泳の負荷泳速度は $V_{20min}$ を基準に、それよりも高負荷の3段階を設定した。なお、20分間泳テスト後には、直後、3分後および5分後の血中乳酸濃度 (BLa) を測定した。また、50m、100mおよび200mの最大努力泳を行わせ、その平均速度を $V_{50max}$ 、 $V_{100max}$ および $V_{200max}$ とした。

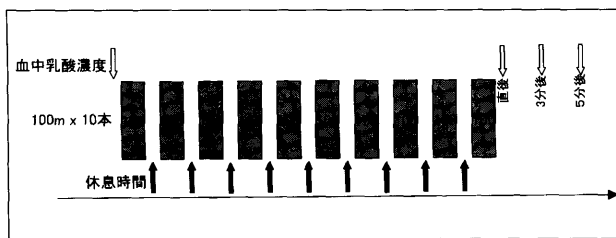


図2 100mインターバルテストの実験プロトコール

|                                | 泳速度<br>(% $V_{20min}$ ) | 休息時間 (秒) |       |        |
|--------------------------------|-------------------------|----------|-------|--------|
|                                |                         | ふつうである   | ややきつい | 非常にきつい |
| 50m インターバルテスト<br>(20 x 50 m)   | 110                     | 20       | 10    | 5      |
|                                | 118                     | 60       | 40    | 20     |
|                                | 126                     | 150      | 120   | 90     |
| 100m インターバルテスト<br>(10 x 100 m) | 105                     | 20       | 10    | 7      |
|                                | 110                     | 55       | 40    | 30     |
|                                | 115                     | 120      | 90    | 50     |
| 200m インターバルテスト<br>(5 x 200 m)  | 103                     | 40       | 20    | 10     |
|                                | 106                     | 120      | 75    | 30     |
|                                | 109                     | 240      | 180   | 150    |

表1 50m、100mおよび200mインターバルテストの泳速度とそれに対する休息時間

#### 2-1-3. インターバルテスト ( $T_{int}$ )

図2は、インターバルトレーニングの測定項目と実験プロトコールを示す。負荷泳速度は、 $V_{20min}$ を100%とし、

それに対して、50mインターバルテスト ( $T_{50int}$ ) では110% (以下110% $V_{20min}$ )、118% (118% $V_{20min}$ ) および126% (126% $V_{20min}$ )、100mインターバルテスト ( $T_{100int}$ ) では105% (以下105% $V_{20min}$ )、110% (110% $V_{20min}$ ) および115% (115% $V_{20min}$ )、そして200mインターバルテスト ( $T_{200int}$ ) では、103% (以下103% $V_{20min}$ )、106% (106% $V_{20min}$ ) および109% (109% $V_{20min}$ ) の、それぞれ3段階を設定した。なお、各 $T_{int}$ 泳後には、直後、3分後および5分後のBLaを測定した。回数についてはそれぞれ $T_{50int}$ は50m×20本、 $T_{100int}$ は100m×10本、 $T_{200int}$ は200m×5本を1セットとして行った (表1参照)。

休息時間の設定については、各被験者に各負荷泳速度でインターバルトレーニングを行う際の、休息時間に関するアンケート調査を行った。このアンケートでは、各泳速度での、主観的運動強度の「非常にきつい」、「ややきつい」、「ふつうである」に相当する休息時間を調査した。その調査結果に基づいて、表1のように $T_{50int}$ 、 $T_{100int}$ および $T_{200int}$ のそれぞれのテストにおいて、各泳速度毎に休息時間を設定した。したがって $T_{int}$ 毎に計9セットを実施した (表1および図2参照)。

また、 $T_{int}$ 泳では泳速度の一定化を図るため、高木鋼業製のスイミングペースメーカーPMS-103をプールの底に設置し、泳速度のコントロールを行った。被験者には、最後尾の発光体を追い越さないよう一定速度で泳ぐように指示した。なお、被験者には、ペースメーカーに慣れるようテスト前に泳がせた。 $T_{int}$ 泳中は、点灯しているランプの最後尾から、2つ以上 (1m以上) 離れた時点で、テスト遂行困難とみなし、実験を直ちに中止させた。

### 2-2. 研究結果

図3は、 $T_{50int}$ 、 $T_{100int}$ および $T_{200int}$ において休息時間別に得られたBLaを示したものである<sup>19-22</sup>)。プロットされた点は、全被験者の $T_{int}$ 後の平均BLaおよび標準偏差を示す。 $T_{50int}$ および $T_{100int}$ における全ての負荷泳速度において、BLaは、休息時間の短縮により有意な高値を示した。また、 $T_{200int}$ もほぼ同様に休息時間の短縮に併せて、103% $V_{20min}$ では増加傾向、106% $V_{20min}$ および109% $V_{20min}$ では有意な高値となった。

図中に描かれた点線は、 $V_{20min}$ 後の平均BLaを表したものである。休息時間別と20分間泳テスト後のBLaを比較すると、 $T_{50int}$ の110% $V_{20min}$ における休息時間20秒のBLaは、 $V_{20min}$ のそれよりも1%水準で有意な低値を示したが、休

息時間5秒のBLaは、 $V_{20min}$ のそれよりも顕著に高い傾向を示した。118% $V_{20min}$ における休息時間20秒のBLaは、 $V_{20min}$ のそれと比較して5%水準で有意な高値を示し、休息時間60秒では、 $V_{20min}$ のそれよりも低い傾向を示した。また、126% $V_{20min}$ における休息時間90秒および120秒のBLaは、 $V_{20min}$ のそれよりも5%水準で有意に高く、休息時間150秒では低い傾向にあった。T100 intの105% $V_{20min}$ における休息時間7秒、110% $V_{20min}$ における休息時間30秒、115% $V_{20min}$ における休息時間90秒および120秒のBLaは、 $V_{20min}$ のそれよりも有意な高値を示し、105% $V_{20min}$ における休息時間20秒のBLaで有意な低値を示した。T200intでは106% $V_{20min}$ における休息時間30秒、109% $V_{20min}$ における休息時間150秒のBLaは、 $V_{20min}$ のそれと比較して1%水準で有意な高値を示した。

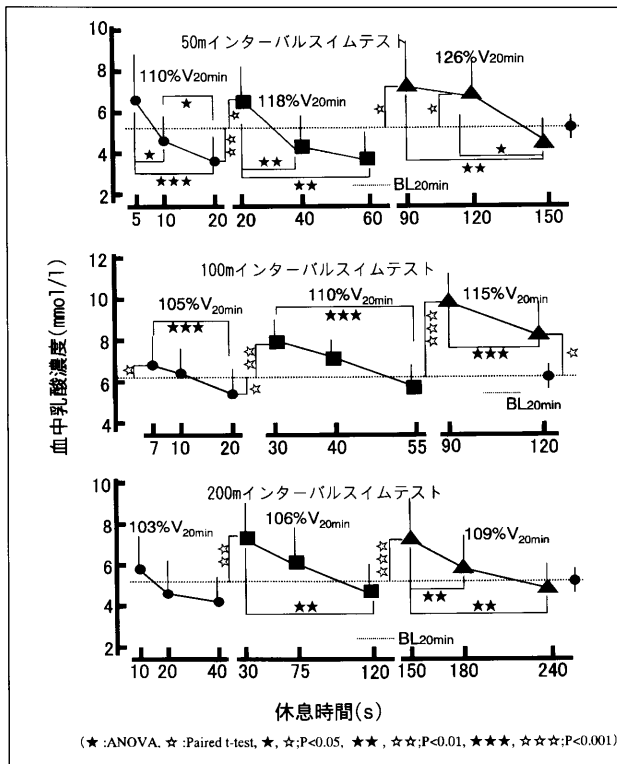


図3 50m、100mおよび200mインターバルテスト時の各泳速度における休息時間別に得られた血中乳酸濃度

### 3. インターバルトレーニング疲労性閾値の存在

競泳選手の持久的能力を評価する手段として、トレーニングの現場では、高価な実験機材を必要としない非観血的で、簡便な手法が望まれる。実際、選手や指導者は、20分間もしくは30分間泳テストを活用し、その時間内に泳ぎ続けることのできる最大泳速度を決定し、それを基

準値としてトレーニング時の泳速度を設定している。Wakayoshiら<sup>15,17)</sup>のcritical swimming velocityに関する報告からも、1500mよりも長い距離での連続泳で決定された最大泳速度は、最大乳酸定常レベルの泳速度にほぼ相当するとしている。これらからも、20分間泳テストで得られた $V_{20min}$ は、無酸素性作業閾値(AT)レベルに相当する泳速度として活用することの妥当性を示唆している。

各泳速度においてBLaを休息時間別に比較した結果、それは休息時間の短縮に伴って有意に増加した。これは、水泳のインターバルトレーニングを、ある目的に応じてプログラムするためには、泳速度の設定と併せて運動と運動との間の休息時間の設定が重要であることを示唆するものである。ATレベルに相当する $V_{20min}$ での泳運動は、乳酸の産生と除去による動的な平衡状態が保持されている運動強度であるから、20分間泳後のBLaは、最大乳酸定常値とほぼ等しいといえる。しかしながら、それぞれの泳速度において最長の休息時間でのインターバル泳後に得られたBLaは、20分間泳テスト後よりも低値を示した。これは、 $V_{20min}$ よりも高い3段階の泳速度でのインターバル泳では、必然的にATP-CP系や解糖系による無酸素性エネルギーも供給され、乳酸の蓄積が生じることになるが<sup>6)</sup>、休息時間の延長により、乳酸の産生と除去の動的な平衡状態が保たれたものと考えられよう。また先行研究<sup>5,10,12,13)</sup>によると、間欠的運動の運動期には、有酸素系のエネルギーに加えて高エネルギー磷酸の分解によるATP-CP系のエネルギーが利用されることを指摘し、運動期に分解された高エネルギー磷酸は、休息期に有酸素系のエネルギーを用いて再合成され、これが次の運動期に再利用されることにより、乳酸を上昇させることなく運動を反復できるとしている。したがって、休息時間の延長は、高エネルギー磷酸の有酸素系のエネルギーによる十分な再合成をもたらし、それによって乳酸の上昇が抑制されたものと考えられる。これらの現象を図4でまとめた。

そこで、本研究で得られた50mのインターバルトレーニング後のBLaと20分間泳テスト後のBLaを基に、上記の考察を踏まえ、泳速度と休息時間の関係からみた身体に与える影響について図式化を試みた(図5)。各泳速度別にみた休息時間の違いによるBLaを線で結び、20分間泳テスト後のBLaに相当する休息時間を推定(図5-A)し、その休息時間と泳速度の関係を図5-Bに示した。本研究では、推定された休息時間が、その泳速度に対して、短

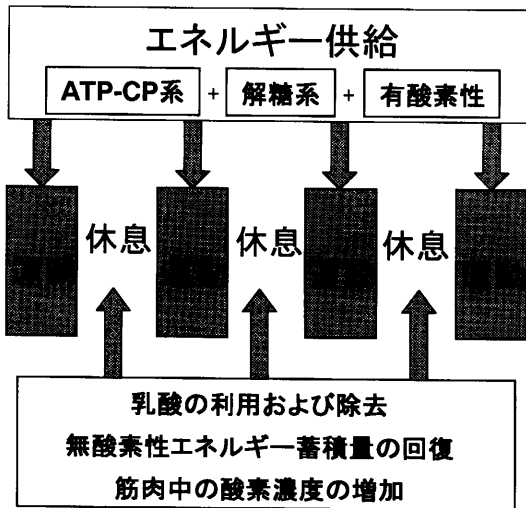


図4 インターバルトレーニングの運動中および休息中の生理的応答

ければ疲労困憊に至る、長ければ至らないインターバルトレーニングであると仮定した。ATレベルに相当する運動強度では、長時間に渡り疲労困憊に至ることなく運動の継続が、理論上可能となる。したがって、休息时间0秒、泳速度 $V_{20min}$ を原点とした場合、原点および推定された3つの休息时间を通る曲線は、インターバルトレーニングにおける泳速度と休息时间の関係からみた疲労性閾値 (ITFT, Interval Training Fatigue Threshold) を示し、その曲線は、休息时间の延長に伴い、限りなく50mの最大泳速度である $V_{max}$ に近づくことになる。そして、その曲線の上側での泳速度と休息时间の組み合わせでは、泳運動の繰り返しにより疲労困憊に至る、また下側でのそれらの組み合わせでは、疲労困憊に至らないインターバルトレーニングと考えられる。本研究では、この曲線をインターバルトレーニング疲労性閾値曲線と名付けた。

上記の条件より、ITFTの数式化を行うため、下記の式で表した。

$$y = -be^{-ax} + C \quad (a < 0)$$

上記の式のCは $V_{50max}$ と等しくなり、 $137\%V_{20min}$ に相当する。bは原点 $(x_0, y_0) = (0, 100)$ および $C = 117$ を代入することで決定できる。

$$100 = -be^{-a \cdot 0} + 137$$

$$b = 37$$

aは最小2乗法により、決定できる。

$$\text{Sum} = [y_1 - (-be^{-ax_1} + V_{50max})]^2 + [y_2 - (-be^{-ax_2} + V_{50max})]^2 + [y_3 - (-be^{-ax_3} + V_{50max})]^2$$

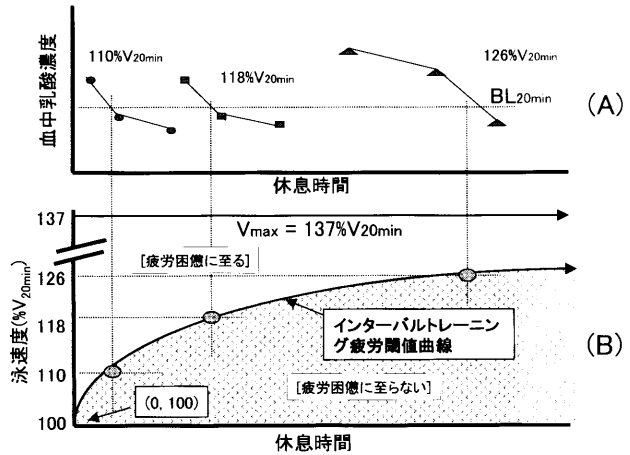


図5 50mインターバルトレーニング泳速度と休息时间の関係からみた身体への影響

$$a = 0.0168$$

したがって、上記の計算式より、 $T_{50int}$ のITFTの数式化が可能となる。

$$y = -37e^{-0.0168x} + 137 \quad (a < 0)$$

この方法により、先行研究である若吉ら<sup>6)</sup>の報告の $T_{100int}$ および $T_{200int}$ のITFTの数式は下記のようにになった。

$$T_{100int}; y = -29e^{-0.0057x} + 129$$

$$T_{200int}; y = -17e^{-0.0035x} + 117$$

さらに、図6に泳速度、休息时间および泳距離の3次元のグラフ化を試みた<sup>22)</sup>。これにより、若吉ら<sup>22)</sup>のインターバルトレーニングとトレーニングカテゴリーの関係を3次元的に表現することが可能になるものと思われる。

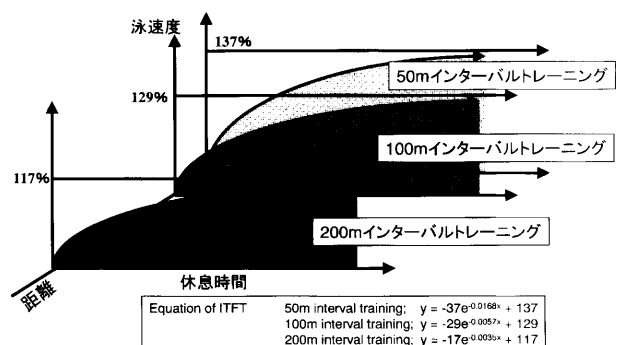


図6 インターバルトレーニングにおける泳速度、休息时间および泳距離の関係

#### 4. インターバルトレーニング疲労性閾値とトレーニングカテゴリとの関係

男子大学水泳部所属の12名に対し、インターバルトレーニングについてのアンケート調査を実施した。調査内容は50m、100m、200m、400mおよび800mのベストタイム、ATレベルに相当する100m当りのタイム（タイム/100m）、そして50mのインターバルトレーニングに関する調査である。ATレベルに相当する100m当りのタイムについては、「泳ぎ続けることのできる最高のスピードは？ それは100m当りのタイムに換算すると？」といった質問を行った。また、50mのインターバルトレーニングに関する調査については、「40秒、60秒、90秒および2分サークルにおいて、4本、8本、16本および40本を最高に頑張る、それぞれ何秒で回れますか？」という質問を行った。それらの調査結果を表2（対象者のパフォーマンスに関する調査）と表3（50mインターバルトレーニングに関する調査）に示す。

表2および3より、50mインターバルトレーニングにおける各トレーニングカテゴリに応じたタイム（泳速度）、休息时间および回数に関する関係についての図式化を試みた（図7）。図5と同様、横軸に休息时间、縦軸にタイム、原点をATレベル相当の50m当りのタイムと休息时间0秒とした。縦軸のタイムの上限は50mのベストタイムである。

図中の曲線は、表2と3の泳距離がそれぞれ200m（50mを4本）、400m（50mを8本）、800m（50mを16本）および2000m（50mを40本）となる休息时间とタイムの関係を示している。例えば、400mの曲線であれば、400mベストタイムから求めた50m当りのタイム31秒8（休息时间0秒）、40秒サークル8本の最高タイム30秒0（休息时间10秒）、60秒サークル8本の最高タイム28秒5（休息时间31秒5）、90秒サークル8本の最高タイム27秒9（休息时间62秒1）、そして2分サークル8本の最高タイム27秒4（休息时间92秒6）を曲線で結んだものである。

先行研究を参考にして、50mのインターバルトレーニングを最大酸素消費トレーニング（C1）、有酸素性-無酸素性ミックストレーニング（C2）、スピード持久カトレーニング（C3）および200mレースペーストレーニング（C4）のカテゴリに分類した場合、それぞれのタイムと休息时间の組み合わせは、図中のエリアで示されることができる。つまり、この図を用いれば、ATレベルのタイムと最高タイムから、ある程度トレーニングカテゴリに合致するタイムが設定でき、それに応じて休息时间、サークルタイムおよび回数も設定することができる。したがって各選手の泳距離の最高タイムとATレベルのタイムを決定するだけで、それぞれカテゴリに応じてトレーニング処方の可能性のあるものといえよう。

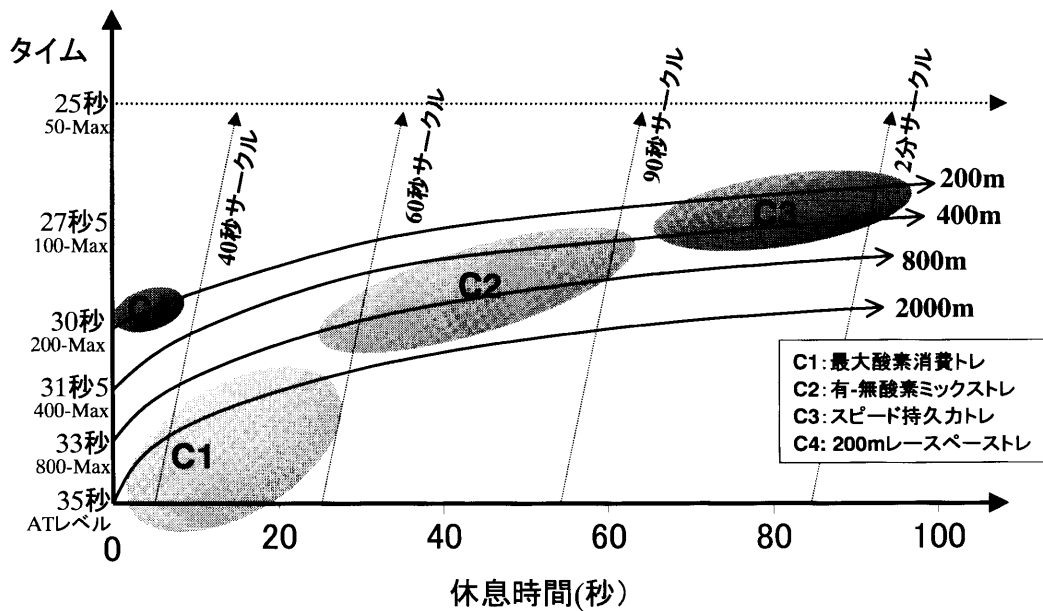


図7 50mインターバルトレーニングにおける各トレーニングカテゴリに応じたタイム（泳速度）、休息时间および回数に関する関係

| 種目                      | 人数 | 記録 (平均値±SD)  | 速度      |
|-------------------------|----|--------------|---------|
| 50m <sup>ハ</sup> スタタイム  | 12 | 25秒2(0.6)    | 1.99m/s |
| 100m <sup>ハ</sup> スタタイム | 12 | 55秒0(1.2)    | 1.82m/s |
| 200m <sup>ハ</sup> スタタイム | 12 | 1分59秒9(3.4)  | 1.67m/s |
| 400m <sup>ハ</sup> スタタイム | 11 | 4分14秒1(11.4) | 1.58m/s |
| 800m <sup>ハ</sup> スタタイム | 10 | 8分47秒0(27.8) | 1.52m/s |
| AT(100m)                | 12 | 1分10秒9(4.3)  | 1.42m/s |

表2 対象者のパフォーマンスに関する調査

| サークルタイム | 本数  | 平均タイム(SD)  | 泳速度     | 休憩時間 |
|---------|-----|------------|---------|------|
| 40秒サークル | 4本  | 28秒9 (1.0) | 1.73m/s | 11秒0 |
|         | 8本  | 30秒0 (1.1) | 1.67m/s | 10秒0 |
|         | 16本 | 31秒5 (1.4) | 1.59m/s | 8秒5  |
|         | 40本 | 33秒1 (2.1) | 1.52m/s | 6秒9  |
| 1分サークル  | 4本  | 27秒7 (0.8) | 1.81m/s | 32秒2 |
|         | 8本  | 28秒5 (1.0) | 1.76m/s | 31秒4 |
|         | 16本 | 29秒8 (1.3) | 1.68m/s | 30秒2 |
|         | 40本 | 31秒1 (1.7) | 1.61m/s | 28秒8 |
| 90秒サークル | 4本  | 27秒2 (0.5) | 1.84m/s | 62秒8 |
|         | 8本  | 27秒9 (0.7) | 1.80m/s | 62秒2 |
|         | 16本 | 28秒8 (1.2) | 1.74m/s | 61秒2 |
|         | 40本 | 30秒0 (1.6) | 1.67m/s | 60秒0 |
| 2分サークル  | 4本  | 26秒8 (0.7) | 1.87m/s | 93秒2 |
|         | 8本  | 27秒4 (0.7) | 1.83m/s | 92秒6 |
|         | 16本 | 28秒5 (1.0) | 1.76m/s | 91秒5 |
|         | 40本 | 29秒5 (1.5) | 1.70m/s | 90秒5 |

表3 50mインターバルトレーニングに関する調査

### 5. インターバルトレーニング中のストローク頻度の変化

KeskinenとKomi<sup>8)</sup> およびWakayoshiら<sup>18)</sup> は、BLaが急激に増加し始める乳酸性作業閾値 (LT: Lactate threshold) やエネルギー代謝の変換点となるATレベル以上の泳速度では、身体の疲労の蓄積に伴い、ストローク頻度 (SR: Stroke rate) は有意に増加し、ストローク長 (SL: Stroke length) は有意に低下すると報告している。これらの先行研究を競技力向上に結びつけていくためには、インターバルトレーニング中のSRとSLの変化を調査する必要性があり、それによって、体力的要素と技術的要素を組み合わせた効率の良いインターバルトレーニングの実施が可能と考えられる。

図8は、T100<sub>int</sub>中の各負荷泳速度での1本毎のSR(mean±SD)を休憩時間別に示したものである<sup>19)</sup>。各テスト後のBLaがV<sub>20min</sub>レベルのBLaよりも高値となったテストにおいては、SRは反復回数を重ねる毎に顕著な増加傾向を示した。つまり、インターバルトレーニング中、疲労困憊に至る泳速度と休憩時間の組み合わせにおいては、疲労の蓄積により、SRを増加させることによって速度の

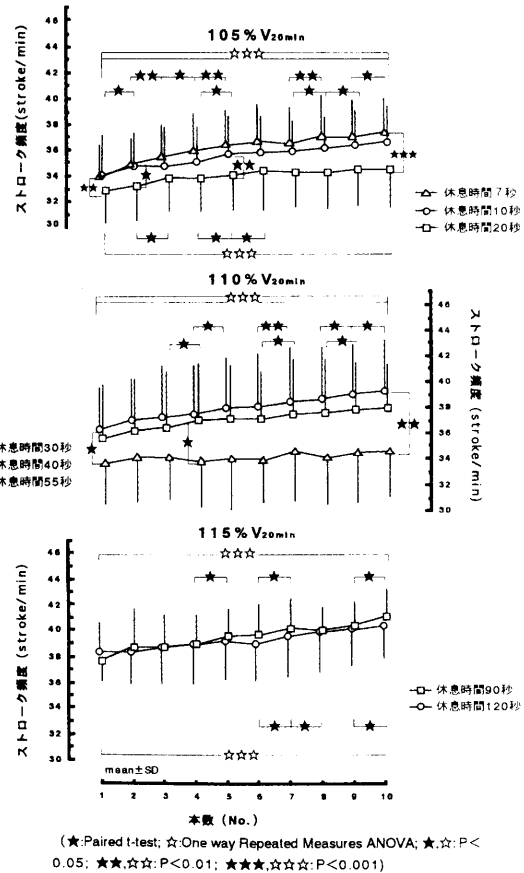


図8. 100mインターバルテスト中の各泳速度における休憩時間別の1本毎のストローク頻度の変化

維持を図っているものと推察される。先行研究においても同様に、Craigら<sup>4)</sup>、Wakayoshiら<sup>14)</sup> は、レース中のストローク特性の変化について研究を行い、レース後半、SRの増加によって泳速度が維持されていると報告している。このインターバルトレーニング中のSRの増加は、100m泳の後半に局部筋の疲労現象が生じ、1ストローク中に大きな推進力を発揮することのできる技術を持続することが不可能になり、その代償として強い大筋群の活動に大きく依存した泳ぎ方であるSRの増加に結びついたものと推測される<sup>3,16,18)</sup>。したがって、インターバルトレーニング中、SRが本数を重ねる度に増加する場合には、図5のインターバルトレーニング疲労性閾値曲線よりも上側に位置する泳速度と休憩時間の設定であるものと考えられる。

### 6. 今後の課題

ITFTの概念は、生理的パラメータであるBLaを用いて

導き出されたものであり、また日頃からトレーニングを行っている大学生男子の集団を対象として得られた結果によるものである。したがって、この方法では各個人毎にその疲労性閾値を決定できるものではない。実際には、個人の能力差、短・長距離といった専門性、泳法等に応じて、ITFTを決定できる方法論が必要なのである。しかしながら、現段階では、そこまで至っていない。むしろ、インターバルトレーニングや間欠的運動は、“これからの研究テーマ”かもしれない。なぜなら、ITFTの理論は、水泳競技に限らず、陸上競技、自転車競技、自転車運動などのトレーニング、さらに広範囲に捉えれば筋力トレーニングにも応用可能と思われるからだ。

#### 【参考文献】

- 1) Beltz J.D., Costill D.L., Thomas R., Fink W.J., Kirwan J.P.; Energy demands of interval training for competitive swimming. *J. Swimming Research*, 4, No.3, 5-9, 1989.
- 2) Counsilman J.E.; *Competitive swimming manual*. Counsilman Co., Inc., Bloomington, 1977.
- 3) Craig A.B., Pendergast D.R.; Relationship of stroke rate, distance per stroke and velocity in competitive swimming. *Med. Sci. Sport Exerc.*, 11, 278-283, 1979.
- 4) Craig A.B., Skehan P.L., Pawelczyk J.A., Boomer W.L.; Velocity, stroke rate, and distance per stroke during elite swimming competition. *Med. Sci., Sport Exerc.*, 17, 625-634, 1985.
- 5) Gaitanos G.C., Williams C., Boobis L.H., Brooks S.; Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. *J. Appl. Physiol.*, 75(2), 712-719, 1993.
- 6) Gullstrand L., Lawrence S.; Heart rate and blood lactate response to short intermittent work at race pace in highly trained swimmers. *Austral. J. Sci. Med. Sport*, 19(1), 10-14, 1987.
- 7) Holmer I.; Energetics and mechanical work in swimming. In: Holmlander A.P., Huijing P.A., Groot G.D. (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming, Human Kinetics, Champaign*, pp 154-164, 1983.
- 8) Keskinen K.L., Komi P.V.; Stroking characteristics of front crawl swimming during exercise. *J. Appl. Biomechanics*, 9, 219-226, 1989.
- 9) Maglischo E.W.; *Swimming even faster*. Mayfield Publishing Company, Mountain View, California, 1993.
- 10) Margaria R.; Energy utilization in intermittent exercise of super-maximal intensity. *J. Appl. Physiology*, 26, 752-756, 1969.
- 11) 中谷敏昭, 伊藤稔; 競泳選手のインターバル・トレーニング・耐乳酸トレーニングについて. *体育の科学*, 46, 552-556, 1996.
- 12) Olbrecht J., Madsen O., Mader A., Liesen H., Hollmann W.; Relationship between swimming velocity and lactic concentration during continuous and intermittent training exercises. *Int. J. Sports Med.*, 6, 74-77, 1985.
- 13) Tabata I., Irisawa K., Kouzai M., Nishimura K., Ogita F., Miyachi M.; Metabolic profile of high intensity intermittent exercises. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 29, 390-395, 1997.
- 14) Wakayoshi K., Nomura Te., Takahashi G., Sakata I., Nomura Ta., Tsubakimoto S.; Swimming techniques of Japanese elite swimmers. 1988 Seoul Olympic Congress, Proceedings, 521-530, 1990.
- 15) Wakayoshi K., Ikuta K., Yoshida T., Udo M., Moritani T., Mutoh Y., Miyashita M.; The determination and validity of critical velocity as swimming performance index in the competitive swimmer. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 64, 153-157, 1992.
- 16) Wakayoshi K., Moritani T., Mutoh Y., Miyashita M.; Electromyographic Evidence of selective muscle fatigue during competitive swimming. *Med. and Sci. in Aquatic Sports, Basel, Karger, Vol. 39*, 16-23, 1994.
- 17) Wakayoshi K., Yoshida T., Udo M., Harada T., Moritani T., Mutoh Y., Miyashita M.; Does critical swimming velocity represent exercise intensity at maximal steady state. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 66, 90-95, 1995.
- 18) Wakayoshi K., D'Acuisto L.J., Cappert J.M., Troup J.P.; Relationship between oxygen uptake, stroke rate and swimming velocity in competitive swimming. *Int. J. Sport Med.*, 16, 19-23, 1995.
- 19) 若吉浩二, 立貞栄司, 寺田晶裕, 森 弘暢, 小野桂市; 競泳インターバルトレーニングにおける泳速度と休息時間の変化に伴う血中乳酸濃度およびストローク頻度の変化. *スポーツ方法学研究*, 16, 69-77, 1999
- 20) 若吉浩二, 荻田太, 寺田晶裕; 競泳インターバルトレーニングのトレーニングカテゴリーに応じた泳速度と休息時間の関係に関する研究. 平成10年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告, 36-40, 1999.
- 21) Wakayoshi K., Tatesada E., Ono K., Terada A., Ogita F.; Blood lactate response to various combinations of swimming velocity and rest period of interval training *Biomechanics and Medicine in Swimming VIII*, pp 401-406, 1999.
- 22) 若吉浩二, 寺田晶裕; 競泳インターバルトレーニングにおける泳速度、休息時間および泳距離の関係. 平成11年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告, 2000.