

トライアスロンレースにおける ランの成績に影響する要因： レースにおけるタイムの低下に着目して

篠 田 知 之

- I. 緒 言
- II. 方 法
 - 1. 被 検 者
 - 2. 測定項目および測定方法
 - 3. 統計処理
- III. 結 果
- IV. 考 察
- V. 要 約

I. 緒 言

トライアスロンは水泳（スイム）、自転車（バイク）、ランニング（ラン）の3種目を休みなく連続して行い、その合計時間を競う競技である。トライアスロンの距離には様々なものがあるが、その中でも、近年ではスイム1.5 km、バイク40 km、ラン10 kmの合計51.5 kmの距離からなる大会が多く行われるようになってきている。その競技時間は、男子エリート選手が約1時間50分、女子エリート選手が約2時間である。

トライアスロンの3種目の中でも特にランは最終的な順位を決定する重要な種目であり、ランのタイムがトライアスロンレースの総合成績に大きな影響を及ぼすことが報告されている（Millet and Vleck, 2000; De Vito *et al.*, 1995; Zhou *et al.*, 1997）。トライアスロンのランにおいて優れたパフォーマンスを発揮するためには、何よりも選手個人が持っているランニングそのものの能力に優れることが必要である。このランニングそのものの能力に影響する要因については、陸上長距離走の研究によると、最大酸素摂取量（ $\dot{V}O_{2max}$ ）や換気性閾値（VT）といった有氣的作業能力が重要となることが明らかにされている（Kumagai *et al.*, 1982; Peronnet *et al.*, 1987）。実際にトライアスロンの現場でも、ランニングそのものの能力を高めるために、陸上長距離走のトレーニング内容を参考にトレーニングを行うことが多い。

一方、トライアスロンレースにおけるランは、陸上長距離走にはみられない特色として、スイムおよびバイクで疲労した状態で走ることがあげられる（Zhou *et al.*, 1997）。そのために、トライアスロンレースにおけるランのタイムは、同じ距離を疲労していない状態で走った場合（単独で

のランニング)のタイムに比較して遅くなることが予想される。本研究ではこれをレースにおける「タイムの低下」と呼ぶこととした。この「タイムの低下」に関して、実際の競技場面では、疲労していない状態でのランニングの能力が同等の選手であっても、スイムおよびバイクにより疲労した状態でのランニングタイムには大きな差がみられることがある。これはレースにおける「タイムの低下」の程度が各選手によって異なることを示しており、ランの成績には「タイムの低下」を抑えること、すなわち疲労状況下での走能力の優劣も影響するものと考えられる (De Vito *et al.*, 1995)。そのために、「タイムの低下」が大きい選手は、ランニングそのものの能力を高めなくても、「タイムの低下」を小さくすることのみで、レースにおけるランの成績を改善できる可能性がある。

しかし、これまでに「タイムの低下」がトライアスロンレースにおけるランの成績とどのような関係にあるかを検討した研究は行われておらず、「タイムの低下」に影響する要因についても明らかにされていない。そのために、トレーニングの現場では、「タイムの低下」が大きいと考えられる選手も、「タイムの低下」が小さい選手とともに、疲労していない状態でのランニングそのものの能力を高めるトレーニングを行っていることがほとんどである。そこで本研究では、トライアスロンレースにおけるランタイム、疲労していない状態でのランタイムおよびレースにおける「タイムの低下」の相互関係について検討することを目的とした。また、レースにおける「タイムの低下」に影響する要因を明らかにするために、持久的競技の成績と密接な関係のある $\dot{V}O_2\text{max}$ およびVTと「タイムの低下」との関係についても検討した。

II. 方 法

1. 被 検 者

被検者には、大学トライアスロン選手13名(年齢 20.8 ± 1.8 歳, 身長 172.0 ± 6.4 cm, 体重 63.0 ± 5.8 kg, 競技歴 2.3 ± 1.4 年)を用いた。これらの被検者は、いずれも大学入学後にトライアスロンを開始し、スイム、バイク、ランのトレーニングを定期的に行っており、競技水準は日本選手権出場から関東大学選手権出場までの範囲にあった。実験を開始するにあたり、全ての被検者に本研究の内容、危険性について口頭および文章によって説明し、いかなる時でも実験への参加を取りやめることができるという条件の下で参加の同意書を得た。

2. 測定項目および測定方法

トライアスロンレース、ランニングトライアルおよび実験室内での実験は全てトライアスロンのレースシーズンである5月下旬から6月にかけて行った。

1) レース時のランタイム

トライアスロンレースにおけるランタイムとして、被検者全員が出場したトライアスロンレース（合計距離：51.5 km）の公式記録におけるラン（10 km）のスプリットタイムを用いた。このレースではバイクパートにおけるドラフティングは禁止されていた。ドラフティング禁止のレースにおけるタイムを使用した理由として、ドラフティングが許可されたレースではレース展開により選手の疲労度が大きく異なり、スイムおよびバイク後のランの能力を正しく評価できないと考えたからである。

レース前には被検者に対して、過度のオーバーペースによって、ランにおいて極端にペースダウンしないよう各自でペースをコントロールすること、および最後まで全力で走りきることの2点について指示を行った。

2) トライアル時のランタイム

レース時のランタイムと比較をするために、レース前2週間以内にレース時のランと同一の距離10 kmでのトライアルを行わせ、タイムを測定した。

なお、本来であれば、レースと同一のコースにおいてトライアルを行う必要がある。しかし、トライアスロンレースのコースは、そのレースのために特別に設置されるものであり、レース当日以外には使用することができない。そのため本研究におけるトライアルは、被検者が日常のトレーニングにおいて使用している全天候型陸上競技場で行った。

3) レースにおける「タイムの低下」

レースにおける「タイムの低下」の指標として、トライアル時のランタイムに対するレース時のランタイムの変化率を用いた。なお、変化率は以下の式により算出した：

$$\text{タイム低下率(\%)} = \frac{(\text{レース時のタイム} - \text{トライアル時のタイム})}{\text{トライアル時のタイム}} \times 100$$

4) トレッドミルランニングによる漸増負荷運動テスト

トライアスロンレースの前後2週間以内に、トレッドミル（斜度0度）での漸増負荷運動テストを行わせ $\dot{V}O_2\text{max}$ およびVTを測定した。走行は任意の速度（180～210 m/min）から開始し、1分ごとに10 m/min ずつ速度を増して11～14分の範囲でexhaustionに至らせた。運動中には、自動呼気ガス分析器（Mijnhardt社製OXYCON-ALPHA）を使用して呼気ガスパラメーターを連続的に測定した。

なお、 $\dot{V}O_2\text{max}$ は、酸素摂取量（ $\dot{V}O_2$ ）のレベルオフ、呼吸交換比1.1以上、心拍数が年齢から予測した最高心拍数にほぼ達していることのいずれか二つの条件を満たすこととした。また、VTは、運動中の換気量（ $\dot{V}E$ ）および呼気ガス諸変量から、① $\dot{V}E$ 、二酸化炭素排出量（ $\dot{V}CO_2$ ）の急激な非直線の上昇開始点、② $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ の変化を伴わない $\dot{V}E/\dot{V}O_2$ の上昇開始点、③ 呼吸交

換比の急激な上昇開始点などの基準から判定する方法により決定した (Caiozzo *et al.*, 1982)。

3. 統計処理

各測定項目の値は、平均値±標準偏差で示した。データの解析に用いた統計的手法は、有意差検定のための対応のある t 検定、ピアソンの積率相関分析であり、いずれも有意性の判定には危険率 5% 未満を採用した。

III. 結 果

表 1 に、各被検者のレース時およびトライアル時のランタイムとその低下率、漸増負荷運動テストによる $\dot{V}O_2\max$ と VT 出現時の酸素摂取量 ($\dot{V}O_2@VT$) を示した。レース時およびトライアル時におけるランタイムはそれぞれ 41 分 18 秒 ± 3 分 42 秒、37 分 54 秒 ± 2 分 32 秒であり、両者の間には有意な差が認められた ($p < 0.05$)。また、タイム低下率は $9.0 \pm 6.6\%$ であった。

表 1 Results of measurements in each subject.

Subject	Race time (m:s)	Trial time (m:s)	%Time (%)	$\dot{V}O_2\max$ (ml/kg/min)	$\dot{V}O_2@VT$ (ml/kg/min)
1	37:16	35:53	3.9	75.6	58.2
2	37:33	36:13	3.7	64.4	46.8
3	37:57	34:42	9.4	65.9	50.1
4	38:46	35:48	8.3	68.3	47.1
5	38:51	39:29	-1.6	58.2	47.7
6	39:58	37:47	5.8	73.4	52.9
7	40:27	37:43	7.2	64.7	52.2
8	40:34	38:29	5.4	59.8	45.8
9	41:02	37:06	10.6	62.4	48.2
10	43:34	35:19	23.4	63.4	49.5
11	45:08	40:51	10.5	62.7	40.8
12	47:38	39:44	19.9	51.8	43.3
13	48:13	43:39	10.5	48.9	34.7
Mean	41:18	37:54*	9.0	63.0	47.5
SD	3:42	2:32	6.6	7.5	5.8

1. %Time = (Race time - Trial time) / Trial time × 100

2. *: $p < 0.05$, compared to Race time.

図 1 に、レース時のランタイム、トライアル時のランタイムおよびタイム低下率の相互関係を示した。レース時のランタイムとトライアル時のランタイムとの間 ($r = 0.742$, $p < 0.05$)、レース時のランタイムとタイム低下率との間 ($r = 0.654$, $p < 0.05$) にはいずれも有意な正の相関関係が認められたが、トライアル時のランタイムとタイム低下率との間には有意な相関関係は認められなかった ($r = -0.021$, ns)。

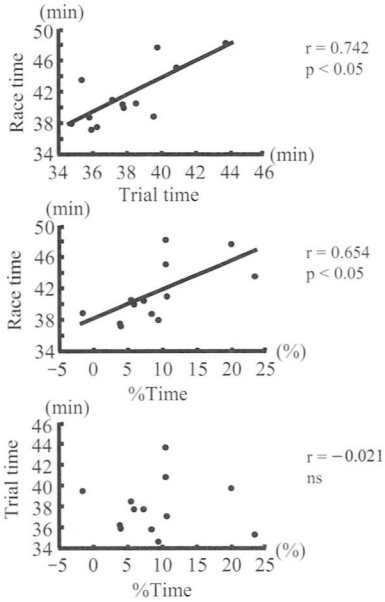


図 1 Interrelationships among Race time, Trial time and %Time.

$$\%Time = (\text{Race time} - \text{Trial time}) / \text{Trial time} \times 100$$

図 2 に、漸増負荷運動テストによる $\dot{V}O_2\text{max}$ とレース時のランタイム、トライアル時のランタイムおよびタイム低下率との関係を示した。 $\dot{V}O_2\text{max}$ とレース時のランタイム ($r = -0.751$, $p < 0.05$) およびトライアル時のランタイム ($r = -0.717$, $p < 0.05$) との間には有意な相関関係が認められたが、タイム低下率との間には有意な相関関係は認められなかった ($r = -0.316$, ns)。

図 3 に、漸増負荷運動テストによる $\dot{V}O_2@VT$ とレース時のランタイム、トライアル時のランタイムおよびタイム低下率との関係を示した。 $\dot{V}O_2@VT$ とレース時のランタイム ($r = -0.753$, $p < 0.05$) およびトライアル時のランタイム ($r = -0.774$, $p < 0.05$) との間には有意な相関関係が認められたが、タイム低下率との間には有意な相関関係は認められなかった ($r = -0.250$, ns)。

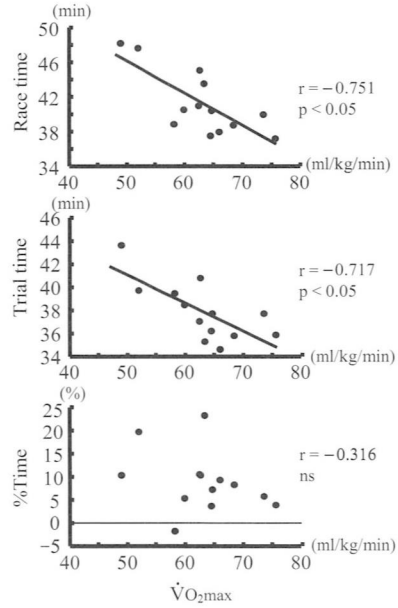


図 2 Relationships between $\dot{V}O_2\text{max}$ and running performances.

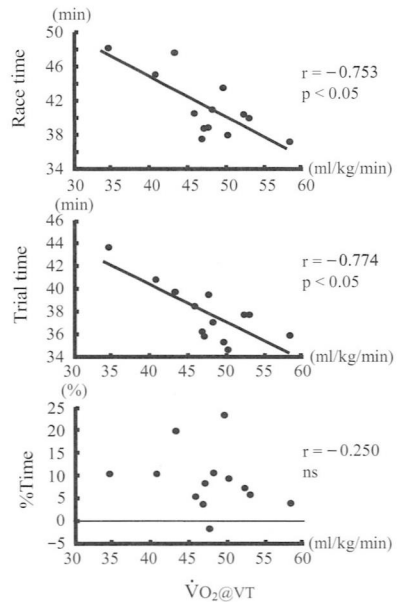


図 3 Relationships between $\dot{V}O_2@VT$ and running performances.

IV. 考 察

トライアスロンレースにおいてランは最終種目であり、最終的な順位を決定する重要な種目である (Millet and Vleck, 2000; De Vito *et al.*, 1995; Zhou *et al.*, 1997)。そのランにおいて優れたパフォーマンスを発揮するためには、何よりも選手個人が持っているランニングそのものの能力に優れることが重要である。このことは、本研究においてレース時のランタイムとトライアル時のランタイムとの間に有意な相関関係が認められたことにより裏付けられる (図1)。また、持続的ランニングの能力は、陸上長距離走における研究によると、最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_2\max$) や換気性閾値 (VT) などの有氣的作業能力に影響を受けることが報告されている (Kumagai *et al.*, 1982; Peronnet *et al.*, 1987)。本研究においても、漸増負荷運動テストによって測定された $\dot{V}O_2\max$ や VT 時の酸素摂取量とレース時およびトライアル時のタイムとの間には有意な相関関係が認められた (図2, 3)。これらの結果は、トライアスロンにおける各種目の成績と有氣的作業能力との関係について検討した先行研究 (三浦ほか, 1994a; Butts *et al.*, 1991; Zhou *et al.*, 1997) の結果と一致するものであり、陸上競技長距離走と同様にトライアスロンのランにおいても、 $\dot{V}O_2\max$ や VT といった有氣的作業能力を向上させることが、重要なトレーニング課題の一つとなることを示している。

しかし一方で、実際のトライアスロンレースにおけるランは、前に行ったスイムおよびバイクにより疲労した状態で行うために、疲労していない状態でランニングを行った場合 (トライアル時) と比較してタイムが遅くなる、すなわちレースにおける「タイムの低下」が生じる選手が多い。本研究においてレース時のタイムとトライアル時のタイムとを比較した結果、両者の間には有意な差が認められ、1名の選手を除き「タイムの低下」が生じることが認められた (表1)。

さらに「タイムの低下」をトライアル時のタイムに対するレース時のタイムの変化率によって評価すると、「タイムの低下」の程度にはきわめて大きな個人差 (-1.6~23.4%) のあることが認められた。このようにレースにおける「タイムの低下」は各選手に一樣に生じるのではなく個人によって大きく異なることから、「タイムの低下」の大小がレース時のランの成績に影響している可能性が考えられる。本研究ではこの可能性を明らかにするために、「タイムの低下」とレース時のタイムおよびトライアル時のタイムとの関係について検討した。その結果、「タイムの低下」とレース時のタイムとの間に有意な正の相関関係が認められたが、トライアル時のタイムとの間には有意な相関関係は認められなかった (図1)。これらのことは、レース時のランのタイムを向上させるためには「タイムの低下」を小さくする必要があるが、その「タイムの低下」は、ランニングそのものの能力に優れていても必ずしも小さく抑えられるとは限らないことを示している。そのために、トライアスロンのランのトレーニングでは、上述したようなトライアル時のタイムに代表されるランニングそのものの能力を高めることに加えて、「タイムの低下」を小さくすることもトレーニング課題の一つとなり、特に相対的に「タイムの低下」が大きい選手にお

いては、「タイムの低下」を小さくすることが重要になると考えられる。

レースにおける「タイムの低下」は、本研究において新たに定義した指標であり、それに影響する要因についてはこれまでに検討されていない。そこで本研究では、持久的競技の成績と強い相関関係にある $\dot{V}O_2\max$ および VT と「タイムの低下」との関係について検討したが、いずれの指標も「タイムの低下」との間に有意な相関関係を示さなかった (図 2, 3)。このことは、「タイムの低下」には疲労していない状態で測定した $\dot{V}O_2\max$ や VT とは異なる何らかの要因が影響していることを示すものである。 $\dot{V}O_2\max$ および VT は、長時間持久運動において重要となる有気的作業能力の指標として広く用いられているものであるが (山地, 1992; 中村・山本, 1993), これらは運動時間が 10~15 分程度の漸増負荷運動中に一過性に出現するものである (Beaver *et al.*, 1986)。さらに $\dot{V}O_2\max$ においては、競技時間が長くなればなるほど、その競技成績との関係が弱くなることが報告されている (山地, 1992)。一方、レースにおける「タイムの低下」は、スイムおよびバイクによって約 1 時間 30 分もの運動を行ったあとのランにおいてみられるものである。そのために「タイムの低下」には、疲労していない状態での短時間の運動により測定された $\dot{V}O_2\max$ や VT の優劣よりもむしろ、バイク終了時における $\dot{V}O_2\max$ や VT が大きく影響している可能性がある。この点に関して、本研究ではスイムおよびバイク後の $\dot{V}O_2\max$ および VT を直接測定していないために、明らかにすることはできない。しかし、本研究においてトライアスロンレース終了後に聞いた被検者の感想によると、「バイク後のランニングでは、呼吸器系や脚筋が疲労したために、疲労していない状態と同じようには走れなかった」という意見が多く聞かれた。また先行研究においても、トライアスロンレースにおける「タイムの低下」との関係については検討されていないが、自転車ペダリング後に呼吸循環能力や脚筋力が低下することが報告されている (De Vito *et al.*, 1995; Lepers *et al.*, 2001)。これらのことは、トライアスロンレースにおいてバイクによって引き起こされる $\dot{V}O_2\max$ や VT, 脚筋力の低下などが、その後のランにおける「タイムの低下」に影響していることを間接的に示していると考えられる。

本研究の結果を基にしてトライアスロン選手におけるランのトレーニングについて考えると、①ランニング単独の能力を高めること、②「タイムの低下」を小さくすることの二つの課題が考えられる。しかし、現在のトレーニング現場においては、陸上長距離走のトレーニングを参考にして行われることが多い。このことは言い換えれば、スイムおよびバイクによって疲労していない状態における $\dot{V}O_2\max$ や VT を高めるトレーニングを行っているに過ぎないといえる。本研究の結果から考えると、疲労していない状態でのランニングにおける $\dot{V}O_2\max$ や VT を高めるトレーニングは、効率的に「タイムの低下」を小さくするためのトレーニングとしては必ずしも有効ではない可能性がある。「タイムの低下」を小さくするためには、事前に行うスイムおよびバイクによる疲労を小さくすること (Hauswirth *et al.*, 1999) に加えて、疲労した状態での走能力を高めること (Garside and Doran, 2000) もきわめて重要となろう。特に後者に関しては、スイムおよびバイクの直後にランを行うなど、複数種目の連続トレーニングを普段のトレーニングに積極的に取り入れることも有効であると考えられる (三浦ほか, 1994b)。

本研究のトライアスロンレースおよびトライアルにおいては、タイムを測定したのみであり、レース中の生理的応答などについては検討していない。そのために、レースにおいてバイク終了後に、上述したような呼吸循環系の疲労や脚筋力の低下が実際に起きているかどうかについては明示することができない。さらにこの疲労には、トライアスロンレースのスイムおよびバイクにおける各選手のペース配分も関わってくると考えられる。したがって、これらのことを考慮に入れた、より総合的な視点から、レースにおける「タイムの低下」が生じる原因および「タイムの低下」の防止に有効なトレーニング法について、今後さらに詳細に検討していく必要があると考えられる。

V. 要 約

本研究では、単独トライアルにおけるランタイムに対するトライアスロンレースにおけるランタイムの変化率を、レースにおける「タイムの低下」と定義し、その「タイムの低下」とレースにおけるランタイムおよびトライアルにおけるランタイムの相互関係について検討した。また、「タイムの低下」に影響する要因を明らかにするために、「タイムの低下」と最大酸素摂取量および換気性閾値との関係についても検討した。被検者は大学トライアスロン選手 13 名であった。

主な結果は以下のとおりである。

- ① レース時のランタイムとトライアル時のランタイムの間には有意な差が認められ、タイム低下率は $9.0 \pm 6.6\%$ であった。
- ② レース時のランタイムとトライアル時のランタイムおよびタイム低下率の間にはいずれも有意な正の相関関係が認められたが、トライアル時のランタイムとタイム低下率の間には有意な相関関係は認められなかった。
- ③ $\dot{V}O_2\max$ および $\dot{V}O_2@VT$ とレース時のランタイムおよびトライアル時のランタイムの間にはいずれも有意な相関関係が認められたが、タイム低下率の間には有意な相関関係は認められなかった。

これらの結果は、レースにおけるランの能力を高めるためには、ランニングそのものの能力を高めるだけでなく、レースにおいてタイムが低下しないようにすることも重要であることを示唆するものである。また、「タイムの低下」には、最大酸素摂取量や換気性閾値以外の要因が影響している可能性があり、そのために、特別なトレーニングを取り入れる必要があると考えられる。

〔文 献〕

- Beaver, W. L., Wasserman, K. and Whipp, B. J. (1986) A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *Journal of Applied Physiology*, 60: 2020-2027.
- Butts, N. K., Henry, B. A. and Mclean, D. (1991) Correlations between $\dot{V}O_2\max$ and performance times of recre-

- ational triathletes. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 31: 339–344.
- Caiozzo, V. J., Davis, J. A., Ellis, J. F., Azus, J. L. and Vandagriff, R. (1982) Comparison of gas exchange indices used to detect the anaerobic threshold. *Journal of Applied Physiology*, 53: 1184–1189.
- De Vito, G., Bernardi, M., Sproviero, E. and Figura, F. (1995) Decrease of endurance performance during olympic triathlon. *International Journal of Sports Medicine*, 16: 24–28.
- Garside, I. and Doran, D. A. (2000) Effects of bicycle frame ergonomics on triathlon 10-km running performance. *Journal of Sports Sciences*, 18: 825–833.
- Hauswirth, C., Lehenaff, D., Dreano, P. and Savonen, K. (1999) Effects of cycling alone or in a sheltered position on subsequent running performance during triathlon. *Medicine and Science in Sports Exercise*, 31: 599–604.
- Kumagai, S., Tanaka, K., Matsuura, Y., Matsuzaka, A., Hirakoba, K. and Asano, K. (1982) Relationships of the anaerobic threshold with the 5 km, 10 km, and 10 mile races. *European Journal of Applied Physiology*, 49: 13–23.
- Lepers, R., Millet, G. Y. and Maffiuletti, N. A. (2001) Effect of cycling cadence on contractile and neural properties of knee extensors. *Medicine and Science in Sports Exercise*, 30: 1882–1888.
- Millet, G. P. and Vleck, V. E. (2000) Physiological and biomechanical adaptations to the cycle to run transition in Olympic triathlon: review and practical recommendations for training. *British Journal of Sports Medicine*, 34: 384–390.
- 三浦哉・北川薫・石河利寛・松井信夫 (1994a) トライアスロートの最大酸素摂取量および Ventilatory Threshold の特性。日本運動生理学雑誌, 1: 99–106。
- 三浦哉・北川薫・石河利寛 (1994b) トライアスロン競技をシミュレーションした際の運動後半にみられる呼吸循環応答の特性。体力科学, 43: 381–388。
- 中村好男・山本義春 (1993) AT—その変遷と新しい理解—。ブックハウス HD: 東京, pp.66–91。
- Peronnet, F., Thibault, G., Rhodes, E. C. and McKenzie, D. C. (1987) Correlation between ventilatory threshold and endurance capability in marathon runners. *Medicine and Science in Sports Exercise*, 19: 610–615.
- 山地啓司 (1992) 最大酸素摂取量の科学。杏林書院: 東京, pp.55–61。
- Zhou, S., Robson, S. J., King, M. J. and Davie, A. J. (1997) Correlations between short-course triathlon performance and physiological valuables determined in laboratory cycle and treadmill tests. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 37: 122–130.