

ウォームアップ終了後の待ち時間が ウォームアップ効果の持続性に及ぼす影響

中央大学 森谷 暢
(共同研究者) 同 吉村 豊
同 榎本 至
東京学芸大学 柴田 義晴

The Influence of Rest Intervals following Warm-up on the Duration of Effects of Warm-up

by

Toru Moriya, Yutaka Yoshimura, Itaru Enomoto
Chuo University
Yoshiharu Shibata
Tokyo Gakugei University

ABSTRACT

The present study was designed to examine influences of rest intervals between warm-up and subsequent criterion exercise on the duration of effects of the mild-and the high-intensity warm-up. 7 male collegiate competitive swimmers were tested for blood lactate concentration (La), heart rate (HR), and ratings of perceived exertion (RPE) during and after an intense, paced (95% maximal velocity of each swimmer's best records) 200m front crawl (CS) following three formal warm-up and an informal warm-up (stretching only, NW) conditions. Total meters of formal warm-up which consisted of various intermittent sets including kicking, pulling, and swimming was identical (1800m) among three trials. The formal warm-up protocols were ; 1) a mild-intensity warm-up

including 10×50 m front crawl raised La by 2-3 mM followed by 20 min rest (WM20), 2) a mild-intensity warm-up corresponding to WM20 followed by 60 min rest (WM60) and 3) a high-intensity warm-up including 10×50 m front crawl raised La by 6-8 mM followed by 60 min rest (WH60).

The mild-intensity warm-up resulted in significantly ($p < 0.05$) lower La after CS ($7.73 \pm 0.85 \text{ mM}$ for WM20 and $7.93 \pm 0.79 \text{ mM}$ for WM60) as compared to NW trials ($9.53 \pm 0.97 \text{ mM}$), although no significant trial differences apparent for HR at any stage of CS and RPE after CS. These results indicate that the mild-intensity warm-up may contribute to relieve the acidosis during the races of 100 – 200 m, if a rest intervals of 20-60 min is introduced between warm-up and the race. On the other hand, there was no significant differences for La after CS between NW and WH60 ($8.73 \pm 1.00 \text{ mM}$). In WH60, continuous decreases of the rectal temperature (Tr) during rest intervals between warm-up and CS was found, although there was no significantly decrease of Tr from 30 min after the end of warm-up onward in WM60. Furthermore, a decrease in Tr during rest intervals was significantly ($p < 0.01$) different between WH60 ($-0.87 \pm 0.13^\circ\text{C}$) and WM60 ($-0.53 \pm 0.11^\circ\text{C}$). Therefore, it appeared that a striking decrease in Tr during a rest intervals effaced some beneficial effects of warm-up.

要 旨

本研究では、競技会において実施されているウォームアップ (WU) および WU 終了後の待ち時間を反映した実験状況を設定し、WU 終了後の待ち時間が WU により得られる効果の持続性に及ぼす影響について検討することを目的とした。そのため、競技力の高い男子大学競泳選手 7 名を対象として、競泳選手が競技会で実施している WU を模倣して構成した中等度の WU を実施後 20 分および 60 分の待ち時間を設定する条件 (WM20 および WM60)、高強度の WU を実施後 60 分の待ち時間を設定する条件 (WH60) および関連 WU を行わない条件 (NW) において、規定泳速で実施される高強度の 200m クロール泳 (CS) 実施時の

生理学的変数に及ぼす影響について検討を加えた。

その結果、血中乳酸濃度 (La ; 3 mM 程度)、心拍数 (HR ; $160 \text{ beats} \cdot \text{min}^{-1}$ 程度)、RPE (14 程度) および直腸温の相対的増加量 ($\Delta \text{Tr}_{\text{preWU}}$; 0.7°C 程度) を適度な水準に上昇させる中等度の WU (WM20 および WM60) 実施後では、CS 実施後の La ($7.73 \pm 0.85 \text{ mM}$ および $7.93 \pm 0.79 \text{ mM}$) が NW ($9.53 \pm 0.97 \text{ mM}$) に比べて有意 ($p < 0.05$) に低く抑えられており、中等度の WU の効果が 60 分程度持続される可能性が示された。一方、La (7 mM 程度)、HR ($170 \text{ beats} \cdot \text{min}^{-1}$ 程度)、RPE (17 程度) および $\Delta \text{Tr}_{\text{preWU}}$ (1.1°C 程度) を顕著に上昇させる高強度の WU (WH60) 実施後では、CS 実施後の La が NW とほぼ同水準 ($8.73 \pm 1.00 \text{ mM}$) となり、高強度の WU の危険性が示

唆された。WH60では、WU終了後の待ち時間におけるTrの低下がCS開始5分前まで継続的に示され、その結果、待ち時間におけるTrの相対的低下量(-0.87°C)がWM60(-0.53°C)に比して有意($p < 0.01$)に大きくなっていた。これらことから、WU終了後に60分程度の長い待ち時間を設定する場合、そのときに起こり得る体温の急激な低下がWUにより得られる効果を相殺するような負の影響を誘発する可能性が示唆された。特に、WU終了後の体温の低下は、WU時の運動強度に比例して大きくなる可能性が高いため、高強度の内容でWUを構成する場合には注意が必要となろう。

緒 言

ウォームアップ(以下WUとする)の実施がその後行われる主運動時の身体諸機能に肯定的な影響を及ぼすことは良く知られている現象であり、その論拠となる研究はこれまでに数多くなされている^{1, 2, 4~10, 13, 15~17, 19~26, 28, 29, 35}。適正な効果を得るためのWUの実施法に関しては、その効果がWUの内容のみならず主運動の形態や運動時間、さらには対象者の体力水準等に応じて異なるため、一致した見解は得られていない^{6, 17}。この点につき、WUによる正の影響が認められたことを報告する研究^{4, 5, 7~10, 13, 15, 16, 20, 21, 28, 29}を総攬すると、運動時間では10~20分程度、運動強度では最大酸素摂取量の50~70%程度、あるいは血中乳酸濃度4mM以下の軽度から中等度のWUを設定した場合に適正な諸効果を獲得できる可能性が示唆される。このような知見は、競技の場における有益なWUの処方に寄与するものと考えられる。

ところで、適正なWUの実施により得られる効果の持続時間は5~30分程度と限られている^{4, 5, 8, 10, 20}にも関わらず、実際の競技時にはWUから競技までの待ち時間を15~25分^{2, 35}、あるいは45~60分²³程度設定する傾向にあることが

報告されている。特に、競技がプールという特殊環境で行われる競泳を考えると、競技会場におけるWU専用プールの欠如や競技の20分程度前に行われる召集等の影響を受け、WUと競技間の待ち時間が長くなるケースが少なくないことに気づく。このことは、このような競技ではWUの恩恵を受ける可能性が低いことを示唆するものである。

また、WUに関する多くの先行研究で対象とされた者が一般健常者あるいは非鍛錬者^{1, 4, 5, 7~10, 15, 20, 22, 29}であることを考えると、それらの研究から導出された実験結果を鍛錬者である競技選手にあてはめて考えることに問題性が見いだせる。さらに、先行研究で実施されているWUの構成法についてみると、継続的かつ同一強度の運動が実施されていることが多く^{4, 5, 7, 9, 10, 16, 19, 20}、間欠的かつ種々の運動強度でWUが実施されている現状^{2, 23, 35}とは異なる。これらのことは、競技力向上に貢献し得るWUの実施法について検討する場合、それぞれの競技特性や競技会時の状況を想定する必要性を示唆するものである。しかしながら、WUの内容やWU終了から主運動開始までの待ち時間を実際の競技時に類似させたうえで検討を行った報告は、筆者らが先行研究を渉猟した範囲ではみあたらなかった。

そこで、本研究では、実際の競技会において競技者が実施しているWUおよびWU終了後の待ち時間を反映した実験状況を設定し、WU終了後の待ち時間の多少がWUの実施により獲得される効果の持続性に及ぼす影響について検討することを目的とした。

1. 研究方法

1.1 対象者および実験環境

対象者は、同一の水泳部に所属し、週に50,000m程度の競泳トレーニングを継続的に実施している7名の男子大学競泳選手とした。対象者の実

験直前の年齢, 身長, 体重, 体脂肪率および競技成績 (200m クロールの最高記録) については, それぞれ 20.29 ± 0.52 歳, 172.30 ± 2.09 cm, 65.07 ± 2.18 kg, $12.23 \pm 0.52\%$ および 1 分 57.04 秒 ± 1.05 秒 (平均値 \pm 標準誤差) であった. また, 対象者は, おのおのの専門種目において, 日本ランキング上位30位以内に相当する極めて競技力の高い競泳選手であった. なお, すべての測定は, 対象者の11ヵ月間にわたるトレーニング期の9ヵ月目以降に, 対象者が普段のトレーニング時に利用している25mの室内プールで行われた.

1. 2 主運動

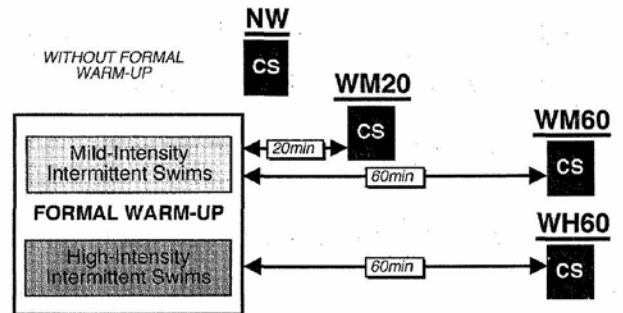
主運動 (以下CSとする) は, 最大下の規定速度で行う200m クロール泳とし, 条件間で同一とした. CSの泳速度は, 実験開始の3週間前に実施した200m クロールの最大努力泳の平均泳速の95%相当とした.

CSは, 競技会と同様, 飛び込みから行わせ, スタート局面 (0~15m) およびターン局面 (各ターン動作終了後から5m) を除き, 同一速度で泳がせるものであった. このときの速度は, 水泳用ペースメカを用いることで視覚的に対象者に認識させ, 一定ペースでの運動遂行に努めた. ペースメカは, 1m 間隔で水底に設置された発光ダイオードをコンピュータ制御により, 0.1秒単位で統制できるものである.

1. 3 WUおよびCS実施条件

各対象者は, 4種類の条件下でCSを実施した.

すなわち, 中等度のWUを実施後20分の待ち時間を設定する条件 (以下WM20とする), WM20と同内容のWUを実施後60分の待ち時間を設定する条件 (以下WM60とする), 高強度のWUを実施後60分の待ち時間を設定する条件 (以下WH



CSは, 対象者の最大努力泳の95%に相当する規定速度で実施される主運動 (200m クロール) を示す

図1 実験の概要

60とする), および関連WUを一切行わずにCSを実施させる条件 (以下NWとする) を設定した (図1).

関連WUの運動様式および運動量 (総泳距離=1800m) は, 関連WU条件間で同一とした (表1).

これらは, 競技力の高い競泳選手が実際的に実施しているWUについて調査した先行報告^{2, 3)}に基づき決定した. 関連WU時の運動強度は, 泳速度を調整することで規定した. S1, K, PおよびS3では, その実施後の血中乳酸濃度が2mM程度となるような速度設定とし, 関連WU条件間で同一とした (表1). 一方S2では, その実施後の

表1 関連ウォームアップ (WU) の内容

記号	運動形態*	反復回数×泳距離	設定泳速度**	運動: 休息比
S 1	スイム	6×50m	最大泳速の60%	2: 1
K	キック	6×50m	最大泳速の70%	2: 1
P	プル	10×50m	最大泳速の80%	2: 1
S 2	スイム	10×50m	WM20, WM60では最大泳速の90% WH60では最大泳速の100%	WM20, WM60では2: 1 WH60では1: 1
S 3	スイム	4×50m	最大泳速の50%	2: 1

* 泳種目はすべてクロール泳とした

** 最大泳速度は予備実験 (200m クロール泳の最大努力泳) から求めた

血中乳酸濃度が、WM20およびWM60では3~4 mM程度、WH 60では6~8mM程度になるような泳速とした(表1)。以上の泳速ならびに各セット時の運動:休息比は(表1)、実験前3ヵ月間のトレーニング時に得られた基礎データを基に決定した。なお、WU時には、先述した水泳用ペースメーカを利用し、設定した泳速での運動の遂行を図った。

1. 4 測定項目

本研究では、関連WUおよびCS時の生理学的応答について検討するため、血中乳酸濃度(以下Laとする)、心拍数(以下HRとする)、主観的運動強度(以下RPEとする)および直腸温(以下Trとする)の測定を行った。

Laについては、WU開始前、WU時P終了直後、S2終了直後および終了後3分目、S3終了直後、CS開始3分前、CS終了後3、6、9、12、15および20分目に指尖部から湧出させた血液を、ヘパリン処理のなされたヘマトクリット毛細管(テルモ社製)に25 μ l採取し、そのサンプルを直ちにTriton X-100 (0.22%) および沸化ナトリウム(0.08%)を含む希釈液50 μ lと混合させ、その溶液中に含まれる乳酸濃度をYSI社製モデル23Lを用いて分析した³⁾。

HRは、テレメータ方式によりWU開始10分前からCS終了後20分目まで継続的に測定した。すなわち、胸部双極誘導により得られる心電図波形をフクダ電子社製ST-19およびDS-882を用いて導出し、運動局面では10秒ごと、休息局面では30秒ごとのR波を数えることでHRの導出を行った。

RPEについては、Borgの20スケールを日本語訳したもの²⁰⁾を用いて、WU時の各セット終了直後およびCS終了直後に、口頭によって対象者から導き出した。Trは、携帯可能な温度記録装置(ヴァイン社製:VM2-001)を利用して記録を行い、後に専用インターフェース(VMS3-232)

およびパーソナルコンピュータ(日本電気社製、PC9801NS/E)を用いて導出した。

また、CSが条件間で同一速度および同一ペースで行われたかの確認のため、ビデオカメラ(松下電気社製:AG-43C)を利用して記録したVTR画像からCS時の泳タイムおよびストローク頻度の測定を行った。前者については、セイコー社製S120-4000により、後者についてはNielsen/Kellerman社製Chronostrokeにより測定を行った。

1. 5 プロトコール

対象者には、実験前日の正午からの激運動を避けるよう指示した。実験当日には、主運動を開始する3.5時間前に起床させ、3時間前までに対象者間および条件間で同一の朝食を採らせた。その後、サーミスタプローブを肛門から10~15cm程度挿入し、直腸温の記録を開始した。また、実験開始30分前にはプールへの移動を完了させ、実験開始の10分前までに電極の装着を済ませた。

関連WU条件では、対象者が普段実施してるストレッチングを5分程度実施させた後、それぞれの条件におけるWUを実施させた。WU終了からCS開始までの待ち時間においては、基本的には座位安静としたが、CSに対しベストコンディションで臨むことを前提としたストレッチングと衣服の着脱については許可した。CSの5分前にサーミスタプローブをはずし、先述した体操およびストレッチングを再度実施させた後、CSを開始した。なお、NW条件においても、CS開始5分前からの行動については他条件と同一とした。CS終了後は、いずれの条件においても座位安静を保持させた。

各条件下での測定は1日1条件とし、条件間の休息は最低でも24時間以上とした。また、すべての条件を最長でも14日以内に終了させるような測定計画を設定した。さらに、条件の実施順序はランダムとし、対象者間で実施順序が同一とならない

よう配慮するとともに、CSの実施時間が条件間で同一となるよう調整した。

1. 6 統計処理

得られたすべてのデータにつき、各条件ごとに平均および標準誤差を算出した。ただし、WU時の泳タイムおよびHRについては、各インターバルセットにおける泳局面の平均値を統計処理に用いた。また、各変数のWU条件間の差および経時変化について検討するため、二元配置分散分析およびScheffe'の対比較を用いた関連多群の差の検定を行った($p < 0.05$)。なお、パートレット検定により、以上の統計処理の適用が妥当ではないことが明らかとなった場合には、Friedman検定およびノンパラメトリックの対比較法を用いて有意差検定を行った($p < 0.05$)。

2. 研究結果

測定期間中の室温 (NW: $30.6 \pm 0.5^\circ\text{C}$, WM20: $29.9 \pm 0.8^\circ\text{C}$, WM60: $29.8 \pm 0.8^\circ\text{C}$, WH60: $30.1 \pm 0.9^\circ\text{C}$)、湿度 (NW: $57.3 \pm 2.9\%$, WM20: $60.7 \pm 3.0\%$, WM60: $60.6 \pm 2.9\%$, WH60: $58.0 \pm 3.8\%$) および水温 (NW: $28.8 \pm 0.2^\circ\text{C}$, WM20: $28.5 \pm 0.3^\circ\text{C}$, WM60: $28.1 \pm 0.5^\circ\text{C}$, WH60: $28.7 \pm 0.4^\circ\text{C}$) については、条件間で有意($p < 0.05$)な差は認められず、ほぼ同様の環境下で実験が行われたことが確認された。

2. 1 WUの身体負担度

WU時の身体負担度の変化についてみると、いずれの変数においてもS1からS2にかけて徐々に値が高まる傾向がみられ、S3時には低下する現象が認められた(図2)。Laについては、いずれの条件においてもP終了時に安静時とほぼ同様の値が示されたが、S2終了時にはWM20およびWH60においてP終了時よりも有意($p < 0.01$)に高い値が示されていた(図2)。また、S3終了時には有意($p < 0.01$)なLaの低下が示された(WM20およびWM60, 図2)。HRについては、いずれ

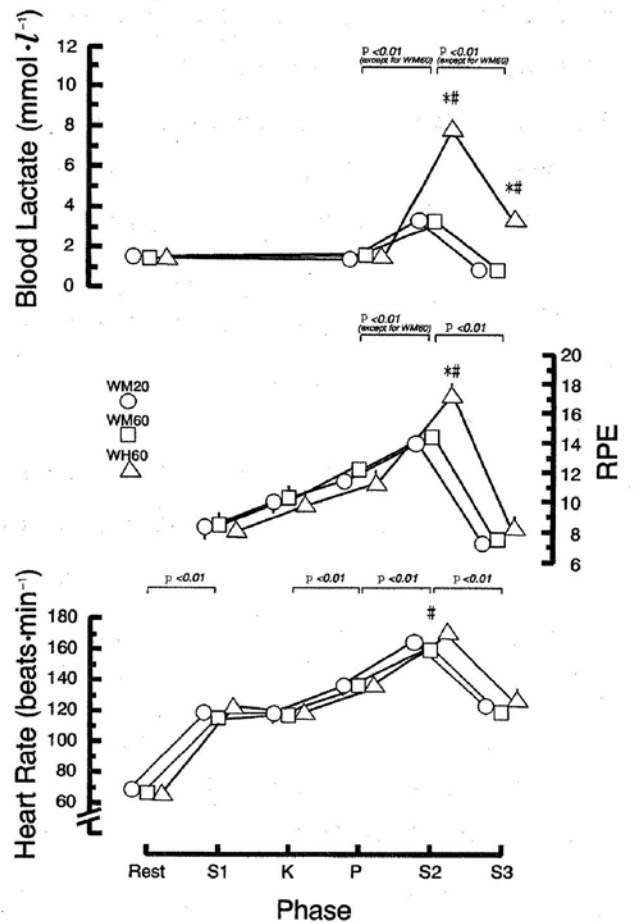


図2 関連ウォームアップ(WU)時の血中乳酸濃度(La)、心拍数(HR)、主観的運動強度(RPE)

S1, K, P, S2およびS3の内容については、表1に示したとおりである

* $p < 0.05$ WM20 vs. WH60

$p < 0.05$ WM60 vs. WH60

の条件においてもS1からKを除くすべての局面移行時に有意($p < 0.001$)な値の変化が認められた(図2)。RPEについては、PからS2移行時にWM20およびWH60条件において有意($p < 0.01$)な値の増加が認められた(図2)。また、いずれの条件においてもS2からS3移行時に有意($p < 0.05$)なRPEの低下が示された(図2)。

WU時の各セットにおける各変数の条件間の差については、LaではS2およびS3、HRおよびRPEではS2においてのみWH60で示された値が他の2条件に比べて有意($p < 0.05$)に高いことが明らかとなった(図2)。この結果は、S1(WM20: 4.7 ± 0.6 秒, WM60: 42.7 ± 0.3 秒, WH60: $41.5 \pm 0.$

9秒), K (WM20:51.2±0.5秒, WM60:51.3±0.5秒, WH60:50.9±0.4秒), P (WM20:35.7±0.5秒, WM60:35.7±0.7秒, WH60:35.9±0.6秒) およびS3 (WM20:45.1±1.5秒, WM60:45.5±0.9秒, WH60:45.4±1.3秒) の平均泳タイムが条件間でほぼ同様であったのに対し, S2のそれがWM20 (32.8±0.5秒) およびWM60 (33.3±0.8秒) に比してWH60 (30.8±0.6秒) で有意(p<0.001)に速かったことの影響を受けて示されたものと考えられる。

2. 2 Trの変動

WU開始前のTrよりも有意(p<0.05)に高い値

が示された局面は, WM20およびWM60ではP終了時からWU終了後15分目まで, WH60ではP終了時からWU終了30分目までであった(表2)。

一方, WU終了時に上昇したTrは時間経過とともに低下する傾向にあり, 中等度のWUを実施した後は30分経過時, 高強度のWUを実施した後は15分経過時に有意(p<0.05)に低下することが明らかとなった(表2)。また, 前者では, WU終了30分目以降のTrの有意な変動は示されなかったが, 後者ではWU終了30~45分目にかけても有意(p<0.05)な低下現象が示された(表2)。

Trの条件間の差については, CS開始前の値が

表2 ウォームアップ(WU)開始前, WU時プル(P)終了後, WU時メインスイム(S2)終了後, WU終了時およびWU終了から主運動(CS)開始前までの待ち時間における直腸温(°C)の変動

	WU開始前	P終了時	S2終了時	WU終了時	WU終了後 15分経過時	WU終了後 30分経過時	WU終了後 45分経過時	CS開始5分前
NW	37.07±0.12	—	—	—	—	—	—	37.29±0.11
WM20	37.16±0.20	37.64±0.15*	37.93±0.14*	37.96±0.20*	37.81±0.18*	—	—	37.81±0.18
WM60	37.00±0.11	37.43±0.11*	37.71±0.12*	37.66±0.14*	37.45±0.10*	37.13±0.08*	37.08±0.08*	37.13±0.07*
WH60	37.07±0.16	37.61±0.12*	38.11±0.10*	38.13±0.09*	37.87±0.11**	37.43±0.13**	37.17±0.10*	37.14±0.10*

平均値±標準誤差

WU開始前の値に比較して有意に高い(p<0.05)

* WU終了時の値に比較して有意に低い(p<0.05)

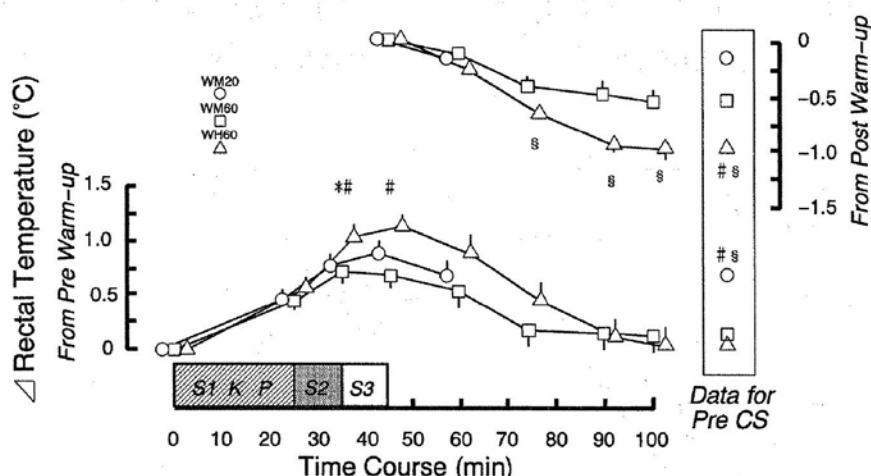


図3 ウォームアップ(WU)実施時およびWU終了から主運動(CS)開始までの待ち時間における直腸温の変化量(ΔTr)

S1, K, P, S2およびS3の内容については, 表1に示したとおりである

* p<0.05 WM20 vs. WM60 # p<0.05 WM20 vs. WH60

§ p<0.05 WM60 vs. WH60

表3 主運動 (CS) の泳記録 (sec) およびストローク頻度 (stk・min⁻¹)

	0-50m	50-100m	100-150m	150-200m	200m
泳記録					
NW	29.14±0.32	32.09±0.22	31.60±0.25	31.37±0.34	124.21±0.97
WM20	29.36±0.38	32.17±0.26	31.74±0.21	31.10±0.20	124.41±0.92
WM60	29.33±0.41	32.10±0.17	31.80±0.21	31.13±0.21	124.35±0.93
WH60	29.31±0.35	32.07±0.12	31.86±0.27	31.00±0.45	124.40±0.90
ストローク頻度					
NW	40.71±1.36	42.14±1.39	43.36±1.36	44.71±1.44	—
WM20	42.21±1.27	42.00±0.99	43.64±1.09	45.14±1.18	—
WM60	41.29±1.30	41.93±1.31	44.00±1.53	44.71±1.02	—
WH60	42.86±1.01	42.57±0.97	44.50±1.26	45.64±1.45	—

平均値±標準誤差

WM20において他条件よりも有意($p < 0.05$)に高かった他は、いずれの地点においても条件間の顕著な差は認められなかった(表2)。しかし、WU開始前のTrを基準として算出したWU時のTrの変化量(ΔTr_{preWU})についてみると、S2終了時ではWH60の値が他の2条件よりも、S3終了時ではWH60の値がWM60よりも有意($p < 0.05$)に大きいという結果が示された(図3)。さらに、WU終了時のTrを基準として算出したWU終了後の待ち時間におけるTrの変化量(ΔTr_{postWU})についてみると、WU終了30分目以降、WH60の値がWM60のそれよりも有意($p < 0.05$)に大きくなっていった(図3)。なお、CS実施直前の ΔTr_{preWU} およ

び ΔTr_{postWU} の条件間の差については、WM20の値が他の2条件と有意($p < 0.05$)に異なることが明らかとなった(図3)。

2. 3 CS実施時および実施後の生理学的変化

CS実施時の50mごとの泳タイムおよびストローク頻度については、条件間の有意差($p < 0.05$)は認められなかった(表3)。

CS実施前後のLaについては、CS開始直前ではWM20の値がNWの、またWM60の値がNWおよびWH60の値に比して有意($p < 0.05$)に低く、CS終了後ではいずれの採血局面においてもWM20およびWM60の値がNWの値に比して有意(p

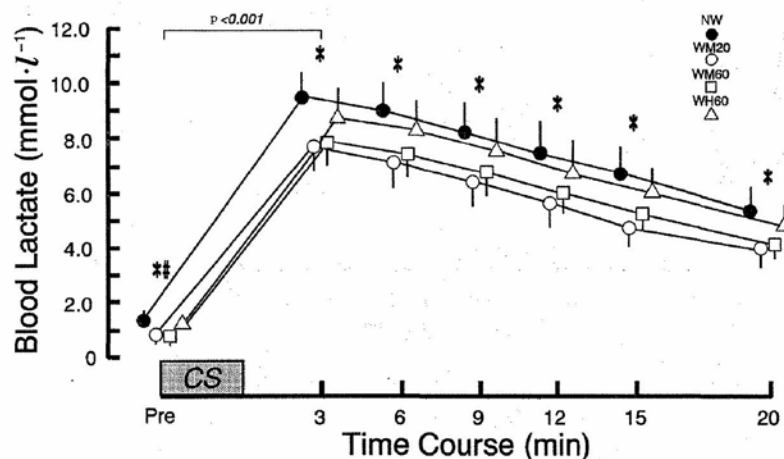


図4 主運動 (CS) 実施前後の血中乳酸濃度 (La)

* $p < 0.05$ NW vs. WM20, NW vs. WM60

$p < 0.05$ WM60 vs. WH60

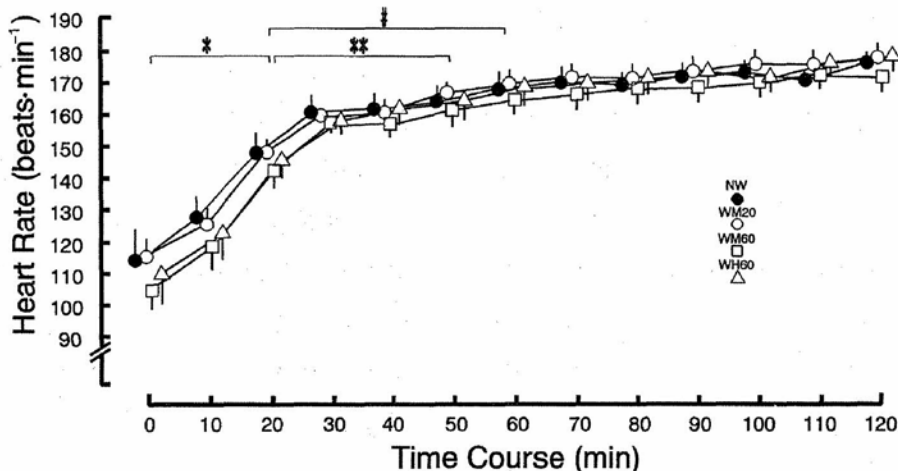


図5 主運動 (CS) 実施時の心拍数 (HR) の変動
 * $p < 0.01$ (All Trials)
 ** $p < 0.05$ (WM20, WM60 and WH60)
 # $p < 0.05$ (NW)

< 0.05)に低く示された (図4). また, CS実施後のLaのピーク値についても, WM20 ($7.73 \pm 0.85 \text{mM}$) および WM60 ($7.93 \pm 0.79 \text{mM}$) でNW ($9.53 \pm 0.97 \text{mM}$) より有意 ($p < 0.01$)に低い値が示され, WH60 ($8.73 \pm 1.00 \text{mM}$) においてNWに近似した値が示された.

CS開始直前およびCS実施時のHRについては, いずれの測定局面においても条件間の有意差 ($p < 0.05$)は認められなかった (図5). また, CS実施時のHRの変動の様子についても条件間で同様で, いずれの条件においてもCS開始後20秒目にCS開始直前値からの有意 ($p < 0.05$)な値の増加がみられた (図5). さらに, CS開始直前値を基準として算出したHRの変化量についても, 絶対値とほぼ同様の傾向が示され, 条件間の有意差は何れの局面においても認められなかった. なお, CS終了後の回復期 (20分間) についても, HRの条件間の有意差は認められなかった.

CS終了後のRPEについては, WM20 (16.3 ± 0.5) において他の条件よりも低い値が示される傾向にあったものの, 他の条件 (NW: 17.0 ± 0.7 , WM60: 17.0 ± 0.4 , WH60: 17.4 ± 0.4) との有意差 ($p < 0.05$)は認められなかった.

3. 考 察

本研究では, 実際の競技会において競技者が実施しているウォームアップ (WU) およびその終了後から競技までの待ち時間を反映した実験状況を再現し, そのようなWUにより得られる効果の持続性について検討した. そのため, WUの内容は, 競技力の高い競泳選手のWUの実態を調査した上で決定した.

WUの運動形態は, いずれにおいても主運動であるCSに関連したものに限定し, そのときの総運動量 (1800m) については競技力の高い競泳選手が実施している平均的なWUの実施量²³⁾に近似させた. また, WUの構成についても, 実際の競技時に行われているWU^{23, 24)}を参考に, 運動強度が徐々に高まるような設定とした (図2).

中等度のWU (WM20, WM60) において, 最も運動強度が高くなるスイム (S2) 時の血中乳酸濃度 (La), 心拍数 (HR), (図2), および直腸温の相対的变化量 $\Delta \text{Tr}_{\text{preWU}}$, 図4) についてみると, 競泳選手が競技会で実際に実施しているWU時の値²⁴⁾に極めて近似していた. このことから, WM20およびWM60では, 競泳選手が一般的に

実施している中等度の WU をほぼ再現できたと考える。

WU 終了から競技までの待ち時間については、競泳競技において考え得る最短待ち時間が20分程度であることから WM20を、また、競技力の高い競泳選手の平均的な待ち時間が60分程度であることから WM60を設定した²⁹⁾。さらに、待ち時間60分設定時のみ、比較的高強度の WU を実施する条件を設定した (WH60)。その理由は、WU 時にレースペース相当の高強度の内容を実施する競泳選手が少なくないと考えたことにある。ただし、WH60において設定した S2は、過度の乳酸蓄積を抑制する間欠的運動¹⁵⁾で構成され、かつその総運動時間が5分程度であったこと、さらにそのときの平均タイム (30.8 ± 0.6 秒), La のピーク値 (7.93 ± 1.21 mM), HR のピーク値 (170.83 ± 3.78 beats \cdot min⁻¹) および RPE (17.3 ± 0.7) がそれぞれ CS 時の50m 以降のスプリットタイム (31.64 ± 0.13 秒), CS 実施後の La のピーク値 (8.73 ± 1.00 mM), HR のピーク値 (177.90 ± 3.70 beats \cdot min⁻¹) および RPE (17.4 ± 0.4) に類似していたことを考えれば、WH60は比較的高強度ではあるものの、CS に特異的な内容であり、非現実的な WU ではなかったと考えられる。

WU の効果の有無を判断するために設定した200m クロール泳 (CS) は、各対象者の最大努力泳の95%に相当する高強度の規定運動であり、その運動時間は2分程度であった。最大努力での200m クロール泳時には、有酸素性代謝過程と無酸素性代謝過程からのエネルギー供給がほぼ同率になり³⁰⁾、かつその実施後の La が17~18mM 程度まで上昇する^{18, 30)} ことを考えれば、その主なパフォーマンスの抑制因子が乳酸¹²⁾あるいは乳酸から等モル解離される H⁺^{14, 30)} である可能性が高い。CS は、条件間で同一の泳速度およびストローク頻度で実施されたことから (表3), WU により身体諸機能や swimming economy が改善されれば、CS 実

施後の La は低く抑えられることが推測できる。なお、本研究では、CS 実施前の La がいずれの条件においても1.5mM を下回る安静レベルの値であったことから、絶対値での評価を行った。

CS 実施後の La について、コントロール条件である NW よりも有意 ($p < 0.01$) に低い値が示された条件は、WM20 および WM60 であった (図4)。また、WM20 と WM60 間の統計的な差異はほとんど認められなかった ($S = -0.52$)。このことは、本研究で設定したような中等度の WU の実施により得られる恩恵がその終了から60分経過時まで維持される可能性を示唆するものである。

本研究同様、中等度の WU を実施した場合にのみ、同一仕事量で行われる主運動実施後の La が低く抑えられるとした報告は比較的多い^{7-9, 13, 15, 16, 21, 28, 29)}。この点につき、WU により主運動時、特にその開始時の酸素摂取量や心拍数の増加が誘発され、結果、主運動時に利用できる有気的エネルギーが増大したことをその主因とする報告がみられる^{7, 8, 15, 16, 28, 29)}。本研究では、主運動開始前、主運動時、主運動終了後の回復期における HR および HR の変化量の有意な条件差は認められず (図5)、主運動時の有気的エネルギー増大の可能性が否定された。これらのことは、WU の主運動時の酸素摂取量に及ぼす影響が、その終了後に待ち時間を設定することにより減少するとした報告^{1, 4, 5)} や、WU により得られる主運動終了後の HR の回復促進効果が30分程度で消失するとした報告¹⁰⁾ を考慮したうえで考えれば、本研究で設定したような WU 実施状況では、WU の心臓循環系機能に及ぼす影響は主運動開始までの待ち時間に消失する可能性を示唆するものといえよう。

WU の無酸素性代謝過程に及ぼす影響について検討した後藤⁹⁾ および後藤ら⁹⁾ は、60% $\dot{V}_{O_{2max}}$ 相当の中等度の WU は乳酸の筋内でのエネルギー源としての利用を促進し、同一仕事量 (73% $\dot{V}_{O_{2max}}$) で実施される主運動後の La 増加量を抑制

する効果を有するとしている。一方, Robergsら²⁰⁾は, WU時に生じた乳酸等の代謝産物の影響を受けて誘発される hyperamia が, 主運動時の La の過度の上昇を抑制すると推察している。すなわち, そのような代謝産物が毛細血管拡張を促し, 作業筋内の貯留血液量を増大させ, さらには主運動時の作業筋の血流量を増加させる結果, 乳酸やH⁺の作業筋からの除去が促進されることによるものとしている^{28, 29)}。これらの報告は, WUによりLaの除去能力が亢進する結果, 主運動時のLaの過度の蓄積が抑制される可能性を示唆するものである。

乳酸は, 運動時においてもSOおよびFOGタイプ線維に多く存在するH型LDHの働きにより, 酸化基質に変換されることが知られている¹¹⁾。本研究の対象者では, 長期にわたりトレーニングの2/3以上を有酸素性代謝過程中心となる運動で行っていたことから, FOGタイプ線維の相対量や筋の酸化能力が向上していた可能性が高い。もしそうであるならば, WUによる適度な直腸温の上昇(0.6°C)⁶⁾は筋内の諸酵素の活性を上げる^{6, 17)}ことから, WUにより亢進したH型LDHが主運動時の乳酸の酸化に寄与した可能性が考えられる。

しかしながら, WM60ではWUにより上昇した直腸温(Tr)がCS開始前には安静水準まで低下していたこと(表2)や, WUの無酸素性代謝に及ぼす効果がWU終了から30分程度で半減し, 60分程度で消失するとした報告⁸⁾を考えれば, WM60においてWUにより得られた効果がCSまで維持されていた(図4)ことに対して疑問が生じる。この点につき, WUにより上昇した作業筋の温度が安静水準に低下するまでに60~80分程度の時間を要するとした報告²⁰⁾を鑑みれば, WU終了後の待ち時間時のTrの低下と中等度のWUにより得られる効果の持続性が一致しない可能性が考えられる。また, 本研究と先行研究⁸⁾間の結果の相違に関しては, 以下のような原因が考えられる。

すなわち, 1)対象者(先行研究⁸⁾では一般健常者)の筋組成や筋の酸化能力に大きな差があった可能性が高いこと, 2)主運動の運動強度が異なっていたこと(先行研究⁸⁾ではLaが4mM程度となる強度), 3)WU終了から主運動開始までの待機法(先行研究⁸⁾では完全な安静)が異なっていたことの影響を複合的に受けた結果, WU効果のあらわれ方や持続性が異なったものと考えられる。

WUによる hyperamia 効果の有無については, 対象者の作業筋周辺の毛細血管密度が長期間の持久的トレーニングにより高まっていたとすれば, 本研究においても起こり得る現象と考える。また, その持続性については, WU終了後に作業筋温の低下が認められる間はその部位の血流量が高い水準で保持される可能性が高い²⁰⁾こと, さらにはWUにより上昇した筋温が安静水準に回復するまでに60~80分程度かかる²⁰⁾ことを鑑みれば, hyperamia 効果はWU終了60分経過時まで維持されていた可能性が考えられる。

本研究では, 以上のような仮説を証明するデータを獲得することはできなかったが, CS実施直前のLa, が中等度のWUを実施した場合にのみ1.0mMを下回る極めて低い値が示されていた(図4)ことを考えれば, 上記のような機序あるいは別の機序によりCS開始前に乳酸が除去されやすい状況が作り出された可能性がある。この点については, 今後詳細な検討を重ねていく必要がある。

一方, 競技に特異的な高強度のS2を含むWUを実施した場合(WH60)には, CS実施後のLaがNWとほぼ同水準まで上昇していた(図4)。WH60では, WU時に他の条件ではみられないような高いLa, HR, RPEおよび ΔTr_{preWU} が認められたことから(図2, 図3下部), その結果生じた疲労がCS時の身体諸機能に悪影響を及ぼした可能性^{5, 6, 8, 20, 22)}が考えられる。しかし, これらの変数は, CS実施前にはWM60と同水準まで低

下していたこと(図3, 図4, 図5)を考えれば, 他の要因を考えておく必要があろう。

WH60では, WU終了後の待ち時間においてWM60ではみられないような極めて顕著かつ継続的なTrの低下が認められた(表2, 図3上部)。待ち時間における深部温の急激な低下は, WUの実施による反動であり, 人体の恒常性機能により誘発されるものと解釈できる。このような状態では, 交感神経の緊張低下により身体の諸機能が運動に対して不都合な状態になる可能性が高い。特に, 体温が低下すると疲労感を感じやすくなる³⁰⁾ため, 中枢神経系の興奮水準に悪影響が及ぶ可能性が考えられる。この点については, 中枢の興奮水準を示すフリッカー値が体温の下降に伴い低下する³⁰⁾ことや, WUによるフリッカー値の改善効果の持続性が30分程度である²⁹⁾ことを鑑みれば, 待ち時間15分以降にみられた急激な体温低下時に, 大脳の興奮水準が低下した可能性が考えられる。実際, WH60においてCS後のLaがNWなみの高値を示した4名のうち2名は, WU後の待ち時間時に強烈な「眠け」に襲われたことを訴えていた。また, WM60においても, WU効果が認められなかった者が1名存在し, その対象者において若干の「眠け」があったことを考えれば, 適正なWUを実施した場合でも, その終了後の待機法如何では, 体温の急激な低下により誘発される悪影響がWUにより得られる恩恵を相殺する可能性がある。WU終了後の待ち時間における体温の急激な低下は, WU時の運動強度に比例する可能性があるため, 高強度のWUがパフォーマンスに負の影響を及ぼすことが多いのであろう。

ただし, WU時に生じた疲労の影響を排除できれば, WU時の運動強度は主運動に特異的である方が, 主運動のパフォーマンスが優れるとした報告²⁹⁾を鑑みれば, 高強度のWUの必要性を否定することは困難である。事実, 本研究において, WH60におけるCS実施後のLaがWM20とほぼ

同水準で示された者が3名認められた。残りの4名については, 本研究で設定した実験状況では実際の競技時のような「緊張感」を得ることができず, 待ち時間の間に交感神経の緊張が低下し, WU効果を相殺する負の影響が誘発されたのであろう。したがって, 競技前のWUについて考える場合, WUの内容のみならず, 競技運営の実状を熟慮したうえでWU実施のタイミングを決定するとともに, WU終了から競技までの待ち時間の過ごし方についても十分な注意を払い, 体温の顕著な低下の防止に努めることが重要となろう。

4. まとめ

本研究で得られた知見より, WUの効果を競技時まで保持するための留意点についてまとめてみた。1) WUの内容については, 中等度以下の運動強度で基本的な構成を行い, レースペース等の運動強度の高い内容を実施する場合には, 体温が過度な水準に達することがないように, その実施回数, 運動時間および休息時間を調整することが重要であろう。2) WU実施のタイミングについては, WU終了から競技までの待ち時間が20~60分程度となるように配慮する必要がある。3) WU終了後の待機法については, 特に待ち時間が30分を越える場合, ストレッチング等の軽度のエクササイズや衣服の着脱等の実施により, 体温の急激な低下の防止に努めることが大切であろう。

これらの条件が満たされれば, WU終了から60分程度経過時まで, WUにより得られる効果は高い水準で維持されよう。

謝 辞

本稿を終えるに当たり, 研究助成をいただいた石本記念デサントスポーツ科学振興財団に深謝いたします。また, 本研究で使用した実験機器の借用に当たり, 多大なご協力をいただきました東海大学 村川俊彦先生ならびに國學院大学 原 英喜

先生に感謝の意を表します。

文 献

- 1) Andzel, W. D., C. Busuttill ; Metabolic and physiological responses of college fe-males to prior exercise, varied rest intervals and a strenuous endurance task, *J. Sport. Med.*, 22, 113-119 (1982)
- 2) 浅見俊雄, 万木良平, 山崎省一 ; ウォームアップとクーリングダウンに関するアンケート調査, 昭和58年度日本体育協会スポーツ科学研究報告, 4, 51-73 (1984)
- 3) Bishop, P. A., J. F. Smith, J.C.Kime, M.Mayo, Y.H.Tin ; Comparison of a manual and an automated enzymatic technique for determining blood lactate concentration, *Int. J. Sport. Med.*, 13, 36-39 (1992)
- 4) De Bruyn-Prevest, P. ; The effects of various warming up intensities and durations upon some physiological variables during an exercise corresponding to WC170, *Eur.J. Appl.Physiol.*, 43, 93-100 (1980)
- 5) De Bruyn-Prevest, P., F.Lefebvre, The effects of various warming up intensities and durations during a short maximal anaerobic exercise, *Eur.J. Appl. Physiol.*, 43, 101-107 (1980)
- 6) DeVries, H.A. ; Physiology of exercise for physical education and athletics, 4th edit., W.C.Brown,Iowa, pp. 490-501 (1986)
- 7) 後藤真二, 池上晴夫 ; 運動中の血中乳酸動態に対するウォーミング・アップの影響, 体力科学, 36, 78-84 (1987)
- 8) 後藤真二 ; ウォーミング・アップが運動パフォーマンスおよびエネルギー代謝に及ぼす影響, 筑波大学体育科学研究科博士論文 (1988)
- 9) 後藤真二, 池上晴夫 ; ウォーミングアップがパフォーマンスと有酸素および無酸素性エネルギー代謝に及ぼす影響, デサントスポーツ科学, 12, 285-294 (1991)
- 10) 権五晟, 鍋倉賢治, 池上晴夫 ; 急に始まる激運動時の循環反応に及ぼすウォーミング・アップの影響, 体力科学, 40, 174-186 (1991)
- 11) 八田秀雄 ; 乳酸の産生と除去のLTとの関係, 臨床スポーツ医学, 9, 745-756 (1992)
- 12) Hogan, M.M., L.B.Gladden, S.S.Kuradak, D.C.Poole ; Increased [lactate] in work-ing dog muscle reduces tension development independent of pH, *Med.Sci.Sport.Exer.*, 27, 371-377 (1995)
- 13) Houmard, J.A., R.A.Johns, L.L. Smith, J.M. Wells, R.W.Kobe, S.A.McGoogan ; The effect of warm-up on responses to intense exercise, *Int.J.Sport.Med.*, 12, 480-483 (1991)
- 14) 稲木光晴, 久野譜也, 勝田 茂 ; 骨格筋および血液の緩衝能と運動パフォーマンスとの関係, 疲労と休養の科学, 6, 87-97 (1991)
- 15) Inbar, O., O. Bar-Or ; The effect of intermittent warm-up on 7-9 years-old boys, *Eur. J.Appl.Physiol.*, 34, 81-89 (1975)
- 16) Ingjer, F., S.B. Stromme ; Effects of active, passive or no warm-up on the physiological response to heavy exercise, *Eur.J.Appl. Physiol.*, 40, 273-282 (1979)
- 17) Karvonen, J. ; Importance of warm-up and cool down on exercise performance, In : J. Karvonen, P.W.R.Lemon, I.Iliev (ed.), Medicine in sports training and coaching, *Med. Sport. Sci.*, 35, Basel, Karger pp.189-214 (1992)
- 18) 加藤健志, 森谷 暢, 菊地真也, 寺尾 保, 中野昭一 ; 競泳レース後における血中乳酸濃度. 東海大学紀要体育学部, 24, 27-33 (1994)
- 19) Martin, B.J., S.Robinson, D.Wiegman, L. H.Aulick ; Effect of warm-up on metabolic responses to strenuous exercise, *Med. Sci. Sport. Exer.*, 7, 146-149 (1975)
- 20) Miller, R. ; Physiology: How much rest between warmup and race, *Swim.Tec.*, 12, 79 (1975)
- 21) Mitchell, J. b., J.S.Huston ; The effect of high- and low-intensity warm- up on the physiological responses to a standardized swim and tethered swimming performance, *J.Sport.Sci.*, 11, 159-165 (1993)
- 22) 宮下充正, 岩岡研典 ; ウォーミングアップの運動強度が強度の異なる2つの主運動の生理学的変数及びパフォーマンスに及ぼす影響について, 昭和58年度日本体育協会スポーツ科学研究報告, 4, 17-26 (1984)
- 23) 森谷 暢, 柴田義晴, 吉村 豊, 高橋雄介 ; 競泳におけるウォームアップについての実態調査-全国レベルの競技者を対象として, 東京学芸大学紀

- 要第5部門芸術・体育, 45, 199-205 (1993)
- 24) 森谷 暢, 柴田義晴, 高橋雄介, 榎本 至, 遠山美貴, 高橋宗良, 吉村 豊; 競泳選手のウォームアップに関する実態調査, *トレーニング科学*, 6, 17-23 (1994)
- 25) Mudio, L.; The influence of body temperature on performances in swimming, *Acta. Physiol. Scand.*, 12, 102-109 (1957)
- 26) 中原圭相; Warming-up の生理学的研究(その1), Warming-up による中枢神経系の興奮水準の変動について, *体力科学*, 13, 189-197 (1964)
- 27) 小野寺孝一, 宮下充正; 全身持久性運動における主観的強度と客観的強度との対応性, *体育学研究*, 21, 191-204 (1976)
- 28) Robergs, R.A., D.L. Costill, W.J. Fink, C. Williams, D.D. Pascoe, J. Chawalbinska-Moneta, J.A. Davis; Effect of warm-up on blood gases, lactate and acid-base status during sprint swimming, *Int. J. Sport. Med.*, 11, 273-278 (1990)
- 29) Robergs, R.A., D.D. Pascoe, D.L. Costill, W.J. Fink, J. Chawalbinska-Moneta, J.A. Davis, R. Hicker; Effect of warm-up on muscle glycogenolysis during intense exercise, *Med. Sci. Sport. Exer.*, 23, 37-43 (1991)
- 30) Sahalin, K.; Muscle fatigue and lactic acid accumulation. *Acta. Physiol. Scand.*, 128 (suppl. 556), 83-91 (1986)
- 31) Sawaka, M.N., R.G. Knowlton, D.S. Miles, J.B. Critz; Post competition blood lactate concentrations in collegiate swimmers, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 41, 93-99 (1979)
- 32) 鳥居鎮夫(編); 新生理学体系第13巻, 生体リズムの生理学. 医学書院, 東京, pp.153-190 (1987)
- 33) Troop, J.P.; Energy contributions of competitive freestyle events, In: International center for aquatic research annual, Studies by the international center for aquatic research 1989-90, United States Swimming Press, Colorado Springs, pp.13-19 (1990)
- 34) 塚原 進; ワープロと疲労対策, 疲労と休養の科学, 5, 15-24 (1990)
- 35) 安田好文, 油座信男, 伊藤 宏; ウォーミングアップが運動時の生体機能に及ぼす影響について, *デサントスポーツ科学*, 4, 251-265 (1983)