

低水温下での水泳運動がその後の
陸上運動におよぼす影響

所属学科目 体力学

著者名 松井 健

論文指導教員 青木 純一郎

合格年月日 昭和63年 2月 18日

論文審査教員

石田 祐子

山口 正弘

小宮 喜久

目 次											頁						
第	1	章	緒	言							1						
第	2	章	関	連	文	献	の	考	証		5						
	第	1	節	低	水	温	下	運	動	中	の	生	体	応	答		
			お	よ	び	作	業	成	績							6	
			(1)	酸	素	摂	取	量	お	よ	び	心	拍	数		6	
			(2)	体	温	調	節									1 1	
			(3)	血	中	乳	酸	お	よ	び	血	中	遊	離	脂	肪	
				酸	濃	度										1 5	
			(4)	低	水	温	お	よ	び	作	業	成	績			1 6	
	第	2	節	体	温	と	作	業	成	績						1 8	
第	3	章	実	験	方	法										2 6	
	第	1	節	被	験	者										2 6	
	第	2	節	測	定	方	法	と	測	定	手	順				2 6	
			(1)	最	大	酸	素	摂	取	量						2 6	
			(2)	心	拍	数										2 8	
			(3)	%	$\dot{V}o_2max$	の	負	荷	決	定						2 8	
			(4)	実	験	手	順									2 9	
			(5)	採	血	と	血	液	保	存						3 1	
			(6)	血	液	分	析									3 1	

第 3 節	実 験 期 間 と そ の 間 の 気 象	3 2
	条 件	
第 4 節	統 計 処 理	3 3
第 4 章	実 験 結 果	3 4
(1)	3 0 分 水 泳 お よ び そ の 後 の 最	
	大 下 自 転 車 運 動 に 対 す る 直	
	腸 温 お よ び 生 理 ・ 生 化 学 的	
	応 答	3 4
(2)	3 0 分 水 泳 お よ び そ の 後 の 最	
	大 自 転 車 運 動 に 対 す る 直 腸	
	温 、 生 理 ・ 生 化 学 的 応 答 な	
	ら び に 作 業 成 績	3 9
第 5 章	考 察	4 3
第 1 節	低 水 温 下 水 泳 が そ の 後 の 最	
	大 下 陸 上 運 動 に 及 ぼ す 影 響	4 3
第 2 節	低 水 温 下 水 泳 が そ の 後 の 最	
	大 陸 上 運 動 に 及 ぼ す 影 響	4 9
第 6 章	結 論	5 4
第 7 章	要 約	5 5
引 用 文 献		5 8

対していわゆるウォーミングアップとは異なる重大な影響をおよぼすものと考えられる。
⁹⁾ Daviesらは水温18℃で30分間の最大下水泳(50% $\dot{V}o_2max$)を行わせただ後、最大下(100W)および最大(負荷値は不明)の2つの強度の運動を課し、最大下運動中の酸素摂取量および換気量がコントロール試行に比べて有意に高くなること、および最大運動時に得られた心拍数および酸素摂取量のそれぞれ最大値(fH peakおよび $\dot{V}o_2peak$)が減少することを観察している。²⁵⁾ また、Nadelらは水温18℃で20分間泳がせ(強度不明)、その後の陸上での自転車エルゴメータによる15分間の最大下運動(150 W or 200 W)⁹⁾への影響を見ているが、Daviesらの最大下運動の結果と同様に、酸素摂取量の増加を認めている。²⁸⁾ さらに、Nielsenは水温16℃で40分間泳がせた後に、陸上で50分間にわたる150Wの最大下自転車運動を行わせた。そして、水泳時の酸素摂取量はコントロールレベルに比べて増加する傾向にあったが、最

大下自転車運動時には皮膚温の増加に伴いコントロールレベルまで減少するということを示した。

Bergh と Ekblom³⁾ は体温の変化が陸上最大運動における酸素摂取量の最大値におよぼす影響を検討するため、水温 13 ~ 15 °C での 15 ~ 25 分間の水泳もしくは 5 および 20 °C の室温での 15 ~ 25 分間の最大下自転車運動 (40 ~ 60 % $\dot{V}O_2max$) を行わせた後に exhaustion test を行った。その結果、作業時間、心拍数の最大値 (fH peak) および酸素摂取量の最大値 ($\dot{V}O_2 peak$) のいずれにおいても、体温の低下が示されなかった陸上最大下自転車運動後に比べて体温の低下した低水温下水泳後に有意に低い値が得られたとしている。

しかし、これらの研究で扱っている陸上最大下運動においてはパラメータの経時的な変化が示されていなかったり、1 つの実験で扱われているパラメータが限局されていて、先行する低水温下水泳がその後の陸上での最大

下運動に対して、特に呼吸循環および代謝面
 からどのように performance に影響を与える
 のかかならずしも明確ではない。さらに、陸
 上運動およびそれに先行する水泳運動の負荷
 がいずれも十分に規定されていない点も今後
 の課題として残されている。
 そこで、本研究では低水温環境（20℃）での
 最大下水泳の強度を最大酸素摂取量の60%、
 さらにその後に行なわれる最大下および最大
 自転車運動の強度をそれぞれ60% および90%
 に規定し、呼吸循環応答の経時的変化をとら
 え、先行する低水温下水泳がその後の陸上運
 動の特に performance におよぼす影響を検討
 した。

第	2	章	関	連	文	献	の	考	証																
低	水	温	暴	露	時	の	生	体	応	答	に	関	す	る	研	究	は	古							
く	は	1	9	4	6	年	に	M	o	l	n	a	r	が	5	9	名	の	捕	虜	を	用	い	て	浸
水	時	の	直	腸	温	を	観	察	し	た	研	究	に	始	ま	り	、	海	洋						
や	湖	な	ど	の	低	水	温	環	境	下	で	の	長	距	離	水	泳	時	の						
応	答	を	見	た	P	u	g	h	と	E	d	h	o	l	m	の	研	究	、	テ	ザ	ー	ド	水	
泳	法	を	用	い	て	3	種	類	の	水	温	下	に	於	け	る	生	体	応						
答	を	見	た	C	o	s	t	i	l	l	ら	の	研	究	な	ど	が	あ	る	。	そ	し			
て	、	そ	の	後	に	は	ス	イ	ム	ミ	ル	や	水	中	自	転	車	エ	ル						
ゴ	メ	-	タ	な	ど	の	水	中	作	業	計	も	用	い	ら	れ	る	よ	う						
に	な	り	、	水	泳	中	の	エ	ネ	ル	ギ	-	代	謝	、	核	心	温	、						
作	業	時	間	に	及	ぼ	す	低	水	温	の	影	響	を	調	べ	た	研	究						
が	多	く	行	わ	れ	て	い	る	。	ま	た	、	体	温	を	下	げ	る	こ						
と	を	目	的	と	し	て	水	泳	を	行	い	、	低	体	温	が	そ	の	後						
の	陸	上	運	動	に	対	し	て	ど	の	よ	う	な	影	響	を	与	え	る						
か	に	つ	い	て	調	べ	た	研	究	も	い	く	つ	か	行	わ	れ	て	い						
る	。	本	章	で	は	こ	れ	ら	の	研	究	成	績	を	も	と	に	低	水						
温	下	運	動	の	生	体	に	及	ぼ	す	影	響	を	水	中	運	動	時	、	な					
ら	び	に	そ	の	後	の	陸	上	運	動	時	の	2	つ	の	局	面	か	ら						
明	ら	か	に	す	る	こ	と	を	目	的	と	し	て	考	証	す	る	。							

第 1 節	低 水 温 下 運 動 中 の 生 体 応 答 お よ び
作 業 成 績	
(1)	酸 素 摂 取 量 お よ び 心 拍 数
低 水 温 の 酸 素 摂 取 量 に お よ ぼ す 影 響 は 運 動	
の 強 度 に よ っ て 異 な る こ と が こ れ ま で に 多 く	
の 研 究 に よ っ て 明 ら か に さ れ て い る 。	^{7) 17) 23) 26)}
C r a i g と D v o r a k ⁷⁾ は 1 0 名 の 健 康 な 被 験 者 を 対	
象 と し 、 2 4 ~ 3 5 ° C の 異 な る 水 温 下 で 軽 度 の 作	
業 と 、 よ り 高 強 度 の 最 大 下 水 中 作 業 を 行 わ せ	
た 。 そ の 結 果 、 軽 度 の 作 業 に お い て は 平 均 値	
で 0 . 7 0 l / m i n 、 よ り 高 強 度 の 作 業 に お い て は	
0 . 9 2 l / m i n の 酸 素 摂 取 量 が 2 8 ° C 以 上 の ど の 水	
温 に お い て も 観 察 さ れ た が 、 2 8 ° C よ り も 下 が	
る と 両 最 大 下 強 度 と も 平 均 値 以 上 の 酸 素 摂 取	
量 が 見 ら れ る 傾 向 に あ る こ と を 示 し て い る 。	
H o l m é r と B e r g ¹⁷⁾ は 最 大 下 と 最 大 の 両 方 の 強 度	
で 各 種 水 温 下 の 酸 素 摂 取 量 を 調 べ て い る 。 彼	
ら は 5 名 の 男 性 被 験 者 を 用 い て 、 5 0 % $\dot{V}o_{2max}$	
に 相 当 す る 2 0 分 間 の 最 大 下 水 泳 と 3 ~ 5 分 間 の	
休 憩 の 後 5 ~ 8 分 で 疲 労 困 憊 に 至 る 最 大 水 泳 を	

スイムミル内で行わせた。その結果、最大下水泳においては 26°C および 34°C に比べ 18°C 水温下で酸素摂取量が約 0.5 l/min 増加し、また、最大水泳においてはその最高値が $6\sim 8\%$ 減少したことを示している。

また、Nadel²⁶⁾らは同様に $18, 26, 33^{\circ}\text{C}$ の3つの異なる水温下での酸素摂取量をスイムミルを用いて観察している。彼らは3名の男性スイマーを対象に、それぞれの水温下で $0.50, 0.75$ および 0.95 m/sec の速度の水泳を順に行わせた。なお、その時の水泳時間は $0.50, 0.75\text{ m/sec}$ でそれぞれ10分間、 0.95 m/sec で疲労困憊に至るまでであり、インターバル時間は10分間置かれた。その結果、あらかじめ 26°C 水温下で得た最大酸素摂取量($\dot{V}o_{2\text{max}}$)の 40% の強度に相当する 0.50 m/sec の水泳を 18°C 下で行うと $61\% \dot{V}o_{2\text{max}}$ に相当する酸素摂取量が得られ(約 826 ml/min の増加)、 70% 強度に相当する 0.75 m/sec の水泳を行うと $80\% \dot{V}o_{2\text{max}}$ に相当する酸素摂取量が得られるという

とを観察している。

一方、最大運動に相当する 0.95 m/sec 強度の水泳中の酸素摂取量に関しては、 18°C 水温下で得られたピーク値が 26°C 水温下であらかじめ得られた最大値の 80% にしかならないことを示している。

²³⁾ McArdle らは 6 名の男性被験者を用いて 18.25 および 33°C の各水温下で air-water 自転車エルゴメータによる $0 \sim 120 \text{ W}$ までの最大下水中作業を行わせた。それによると、 18 および 25°C 水温下での酸素摂取量は有意に 33°C の値を上回り、それぞれ平均 9.0% (150 ml) および 25.3% (400 ml) 高い値が示された。同様な水温を用いた前述の Holmér と Berg¹⁷⁾ および Nadel²⁶⁾ らの結果と比較すると、この McArdle²³⁾ らの最大下水泳中の酸素摂取量における 33°C に対する 18°C の上昇分 (400 ml) は少ない。このことに関して McArdle²³⁾ らは各最大下負荷での運動時間が前の 2 つの研究よりも短かったこと、スイムミル内での自由水泳の方が水槽内での

固 定 運 動 に 比 べ 対 流 熱 損 失 が 大 き い と い う こ
と を 理 由 と し て 挙 げ て い る 。
以 上 の 研 究 か ら 低 水 温 下 で の 水 中 作 業 中 の
酸 素 摂 取 量 は 最 大 下 運 動 に お い て は 増 加 の 傾
向 に あ り 、 最 大 運 動 に お い て は そ の ピ ー ク 値
が 減 少 す る 傾 向 に あ る と 言 え る が 、 そ の 主 な
理 由 と し て は 最 大 下 で は 不 随 意 的 に 引 き 起 こ
17) 26)
さ れ る ふ る え の 影 響 お よ び 四 肢 が 冷 や さ れ た
こ と に よ り 神 経 筋 機 能 の バ ラ ン ス が 崩 れ 、 機
17)
械 的 効 率 が 低 下 し た こ と な ど が 挙 げ ら れ る 。
ま た 最 大 運 動 時 の 酸 素 摂 取 量 に 関 し て は 低 水
温 下 で 引 き 起 こ さ れ た 低 体 温 が 大 き く 影 響 す
る と 思 わ れ る 。 つ ま り 、 そ れ は 細 胞 レ ベ ル で
の 酵 素 活 性 お よ び 拡 散 効 率 な ど の 化 学 的 お よ
び 物 理 学 的 過 程 に 影 響 を 与 え 心 臓 血 管 系 の 酸
29) 34)
素 運 搬 能 力 を 制 限 す る た め と 考 え ら れ て い る 。
低 水 温 下 水 中 作 業 時 の 心 臓 血 管 系 の 働 き を
7) 17) 22) 23) 26)
見 た 研 究 は こ れ ま で に い く つ か 行 わ れ て き て
お り 、 低 水 温 下 で は 徐 脈 の 状 態 に な る こ と が
示 さ れ て い る 。 た と え ば 、 10 名 の 健 康 な 被 験

者を用いて 24 ~ 35 °C 水温下での水中作業応答
⁷⁾
 を検討した Craig と Dvorak の報告によると同
 一の酸素摂取量レベルでは水温が低い時ほど
 心拍数が低くなることが示され、同時にそれ
 は陸上運動との比較から単なる浸水の影響で
 なく、低水温の影響であることが示された。

²³⁾
 また、McArdle らは健康男性被験者 6 名に
 8.25 および 33 °C の各水温下で air-water 自
 転車エルゴメータによる 0 ~ 120 W までの最大
 下水中作業を行わせた。その結果、一定の酸
 素摂取量に対する心拍数は水温の低下と共に
 減少し、18 °C では 25 °C よりも 5 拍 / 分、33 °C
 よりも 15 拍 / 分低くなることを示している。

²³⁾
 McArdle らは同時に、減少した心拍数に対し
 て一回拍出量が増加し補うことによつて、心
 拍出量が一定に保たれているということを経
 験している。

このような一回拍出量の増加に対する説明
²¹⁾
 として、Lange らは低水温下で引き起こされ
 る末梢血管収縮および体表面の静水圧が中心

血液量および venous return を増加させるためであるとしている。同様な研究が Holmér¹⁷⁾ と Bergh²⁶⁾ ならびに Nadel²⁶⁾ らによつてなされ、彼らも同様に、低水温下では一定の酸素摂取量に対する心拍数が減少することを観察している。

以上の研究はいずれも一定酸素摂取量当たりの心拍数は低下するという統一した見解を示している。しかし、低水温下の最大下運動中には一定の作業負荷に対する酸素摂取量が増加することが知られているため、一定の酸素摂取量の時点で比較した場合、作業負荷自体が異なつてしまい、低下した心拍数が低水温の影響によるものか強度の低下によるものか判断できなくなつてしまふという問題が残される。そこで、低水温下の心拍数応答を見る場合には第一に絶対強度に対する応答を見る必要があると思われれる。

(2) 体温調節

水中暴露時に起こる熱損失は対流と伝導に

よるものが大部分を占め、そのうち後者は同
 じ温度の大気中の熱伝導度に比べ水中で²⁶⁾25倍
 大きいことから水中での熱損失は非常に大きな
 ものになる。

²⁶⁾Nadelらはスイムミルを用いて静水および
 流水中の安静時、ならびに水泳の各条件下
 での熱損失を測定するために被験者の皮膚表
 面に熱流板を貼って体表面から水への熱損失
 を表わす対流熱移動係数 (convective heat
 transfer coefficient) を計算した。その結
 果、静水中の安静状態では $230 \text{ W/m}^2/\text{°C}$, 流水
 中の安静状態では $460 \text{ W/m}^2/\text{°C}$, そして水泳中
 には $580 \text{ W/m}^2/\text{°C}$ であったとしている。従って
 水泳中、特に低水温下での水泳中には体温調
 節機構が重要になると思われる。

¹⁸⁾体温調節の方法には主として産熱を増加さ
 せて対処する「代謝型」と、放熱を抑制して
 対処する「遮断型」がある。熱損失における
 熱の移動は体表面から水中へ、体深部から体
 表面へと2段階になっている。そのため、熱

伝導率が筋の約半分である脂肪を皮下に多く貯え低温刺激を遮断すると同時に放熱を抑制する「遮断型」の方が低水温下での体温維持においては有利であると考えられる。実際、体温の変化を観察したいくつかの先行研究は低水温下では皮下脂肪の厚さがもっとも重要な要因になるとしている。

Nadel²⁶⁾らは被験者に18, 26, 33℃のそれぞれの水温下で20分間の水泳を行わせ水泳後の食道温を観察したところ、遅い水泳速度(0.5 m/sec)では18, 26℃の時3名全員に低下が見られ、より速い速度(0.75 m/sec)では18℃の時痩せた2名の被験者は低下したが肥った被験者は逆に0.7℃上昇したとしている。また、Holmérらは18, 26, 34℃の3つの水温下で50% $\dot{V}O_2$ max相当の最大下水泳を行い、その時の食道温を報告している。それによると最も肥っている被験者はどの水温下においても0.7℃の上昇を示し、逆に最も痩せている被験者は18℃水温下において約1.6℃の低下を示して

37)

い る 。 ま た 、 P u g h ら は 男 性 1 5 名 、 女 性 4 名 を
 対 象 に 水 温 1 6 ~ 1 8 ° C の も と で 行 わ れ る 海 峡 横
 断 レ - ス 中 の 直 腸 温 を 観 察 し 、 瘦 せ た 被 験 者
 は 水 温 1 6 ° C で の 3 0 分 泳 に よ り 3 3 . 7 ° C ま で 低 下
 す る こ と 、 な ら び に 肥 っ た 被 験 者 は 6 時 間 泳
 い で も 低 下 し な か っ た こ と を 報 告 し て い る 。
 筋 活 動 時 の 熱 産 生 と 水 中 で の 熱 損 失 の バ ラ
 ン ス が 崩 れ 、 体 温 低 下 が 生 ず る 水 温 に は 個 人
 差 が あ る こ と が ¹⁷⁾ H o l m é r ら に よ っ て 指 摘 さ れ
 て い る 。 そ れ に よ る と 、 肥 っ た 被 験 者 は そ の
 水 温 の 閾 値 が 非 常 に 低 く 、 瘦 せ た 被 験 者 は 1 8
 ~ 2 0 ° C よ り も 高 い と さ れ て い る 。
 「 放 射 型 」 の 体 温 調 節 ¹⁸⁾ は ふ る え に よ る 産 熱
 お よ び 非 ふ る え 産 熱 に よ っ て な さ れ る が 、 特
 に ふ る え は 酸 素 摂 取 量 の 増 加 を 伴 う 筋 緊 張 と
 し て 行 わ れ る た め 結 果 的 に 水 泳 の パ フ ォ - マ
 ン ス を 制 限 す る と 思 わ れ る ¹⁷⁾ 。 し た が っ て 、 こ
 の 点 か ら も 瘦 せ た 人 に は 低 温 は 体 温 調 節 の 面
 で 不 利 に 傾 く と 考 え ら れ る 。

(3)	血	中	乳	酸	濃	度	お	よ	び	血	中	遊	離	脂	肪	酸	濃												
度																													
	H	o	l	m	e	r	と	B	e	r	g	h	は	1	8	,	2	6											
													お	よ	び	3	4	°	C	の	3	つ							
の	水	温	下	で	の	最	大	下	水	泳	な	ら	び	に	最	大	水	泳	時										
の	血	中	乳	酸	に	つ	い	て	調	べ	て	い	る	。	そ	れ	に	よ	る										
と	最	大	下	に	お	い	て	は	1	8	°	C	の	時	に	3	.	6	m	m	o	l	/	l					
2	6	,	3	4	°	C	で	は	そ	れ	ぞ	れ	2	.	3	m	m	o	l	/	l	,	1	.	4	m	m	o	l
/	l	で	あ	っ	た	と	し	、	水	温	の	低	下	と	乳	酸	の	増	加										
と	の	間	に	有	意	な	関	係	を	見	い	出	し	て	い	る	。	し	か										
し	、	最	大	運	動	に	関	し	て	は	水	温	に	よ	る	差	が	見	ら										
れ	な	か	っ	た	と	し	て	い	る	。	G	a	l	b	o	ら	は	6	名	の	健								
常	男	性	を	対	象	と	し	、	2	1	,	2	7	,	3	3	°	C	の	各	水	温	下	で					
6	0	分	間	、	6	8	%	$\dot{V}o_2$	m	a	x	強	度	の	最	大	下	水	泳	を	行	わ							
せ	、	2	1	°	C	で	最	も	乳	酸	濃	度	が	高	く	な	っ	た	こ	と	を								
示	し	て	い	る	。	N	a	d	e	l	ら	も	ま	た	同	様	な	結	果	を	示								
し	、	低	水	温	下	で	乳	酸	が	増	加	す	る	こ	と	に	つ	い	て										
低	水	温	下	で	引	き	起	こ	さ	れ	る	酸	素	摂	取	量	の	増	加										
を	そ	の	理	由	と	し	て	挙	げ	て	い	る	。																
低	水	温	環	境	下	で	は	脂	質	に	よ	る	代	謝	過	程	が	多											
く	動	員	さ	れ	血	中	遊	離	脂	肪	酸	が	増	加	す	る	こ	と	が										

範囲にあったとしている。
 一方、鈴木³⁵⁾は大学水泳部員10名を対象とし
 Costill⁶⁾の用いたものと同様な水中腕脚エル
 ゴメーターを用い、20、25、30および35℃の4
 つの水温間でexhaustion timeを比較してい
 る。その結果、作業成績が最も良かったのは
 25℃で、次いで30、20、35℃の順であることを
 示している。このように鈴木は不感温度より³⁵⁾
 も低い水温下での作業成績は低下することを
 述べており、これはHolmérとBergh¹⁷⁾の結果と
 異なるものである。このことに関して鈴木は
 運動時間の違いを挙げ、自らの研究で得た15
 分以上の運動時間に対してHolmérとBergh¹⁷⁾の
 得た6～7分の運動時間は有意な差を生じさせ
 るのには不十分であったと考察している。
 また、Pugh³²⁾らは水温16～18℃の自然環境下
 での海峡横断レースにおいて、レース中の直
 腸温の低下に比例してレース後半のスピード
 が低下することを示している。したがって、
 浸水時間ならびに体温低下の度合がその後の

低 くな っ た こ と な ど を 述 べ て い る 。

²⁵⁾
N a d e l ら は 3 名 の 健 康 な 男 性 被 験 者 を 用 い
て 18 °C の も と で 20 分 間 泳 が せ 、 そ の 後 の 最 大
下 自 転 車 運 動 へ の 影 響 を 見 て い る 。 彼 ら は 食
道 温 と 酸 素 摂 取 量 を 測 定 し て お り 、 最 も 瘦 せ
て い た 被 験 者 (7 . 4 % b o d y f a t) は そ の 後 の 15
分 間 の 150 W 強 度 の 運 動 後 も 食 道 温 が 通 常 レ ベ
ル 以 下 の 35 . 5 °C で あ っ た こ と を 述 べ 、 同 時 に
そ の 被 験 者 の 運 動 中 の 酸 素 摂 取 量 は コ ン ト ロ
ー ル 値 よ り も 630 ml / min 高 か っ た こ と を 示
し て い る 。 ま た 、 彼 ら は こ の 増 加 し た 代 謝 を
低 体 温 に よ っ て 引 き 起 こ さ れ る ふ る え の た め
で あ る と し て い る 。 さ ら に 酸 素 摂 取 量 を 食 道
温 の 関 数 と し て 見 た 場 合 に 、 体 温 低 下 に 伴 い
酸 素 摂 取 量 が コ ン ト ロ ー ル レ ベ ル よ り も 上 昇
し 始 め る 体 温 閾 値 が 得 ら れ 、 そ れ は お よ そ 37
°C で あ る と 述 べ て い る 。

⁹⁾
D a v i e s ら は 5 名 の 健 康 な 被 験 者 を 対 象 と し
低 体 温 状 態 に す る た め に 、 18 °C で 50 % $\dot{V}O_2 \text{max}$
相 当 の 30 分 泳 を 行 っ て い る 。 そ し て 、 水 泳 に

よって直腸温を約 35°C まで下げた後に陸上で
 の腕脚エルゴメータによる最大下および最大
 の2種類の運動を課し、換気量、酸素摂取量
 呼吸交換比、心拍数などの変化に対して検討
 を加えている。それによると、水泳後の最大
 下自転車運動中の換気量、酸素摂取量はそれ
 ぞれ $64.1 \pm 17.8 \text{ l/min}$ および $1.9 \pm 0.2 \text{ l/min}$
 であったとし、コントロールの $41.1 \pm 7.1 \text{ l/min}$
 min および $1.52 \pm 0.09 \text{ l/min}$ を有意に上回っ
 ていることを示した。
 また、水泳後の最大自転車運動については
 酸素摂取量および心拍数に有意な低下が見ら
 れ、コントロール試行の $3.87 \pm 0.30 \text{ l/min}$
 および $184 \pm 10 \text{ 拍/min}$ が、それぞれ $3.45 \pm$
 0.33 l/min および $158 \pm 10 \text{ 拍/min}$ になったこ
 とを報告している。最大時のこれらの低下に
 対し彼らは低体温が心筋に直接影響をおよぼ
 し、心拍数が減少し、結果的に $\dot{V}_{O2\text{max}}$ が減
 少したためであらうと考察している。なお、
 呼吸交換比は最大下、最大ともに高い傾向に

あるものの体温による有意な差は認められて
いない。

²⁸⁾
Nielsen は 7 名の被験者を用い、皮膚温、
直腸温及び酸素摂取量を測定することによっ
て未稍および中枢の低温刺激が低温下の代謝
応答におよぼす影響を検討している。被験者
は 16 °C 水温下で 0.5 m/sec の速度で 40 分泳ぎ、
その後室温 24 °C 環境下で 140 W 強度の自転車
運動を 50 分行った。その結果、水泳によって
直腸温は 3.8 °C から 3.6.5 °C まで低下し、コント
ロールレベルを 1.25 l/min 上まわる酸素摂取
量が得られた。

また、引き続き自転車運動中の過剰酸素摂取
量は皮膚温の上昇に依存して減少し、自転車
運動の 20 分目には直腸温が初期レベルより
も 1.5 °C 低いにもかかわらず見られなくなっ
た。そしてこのことから、陸上で引き続き行
われる rewarming exercise においては直腸温
よりも皮膚温の方が代謝に対して影響力を持
つことが結論付けられている。

4)

B e r g h と E k b l o m は 骨 格 筋 の 最 大 筋 力 な ら び
に 作 業 出 力 に 対 し て 筋 温 の 低 下 が ど の よ う な
影 響 力 を 持 つ か を 検 討 し て い る 。 彼 ら は 4 名
の 男 性 被 験 者 を 対 象 と し 、 主 運 動 の 前 に 脚 の
ク ー リ ン グ を 行 い 、 そ の 後 サ イ ベ ッ ク ス マ シ
ー ン を 用 い た 筋 力 測 定 、 垂 直 跳 び に よ る ジ ャ
ン プ テ ス ト お よ び 2 0 回 の ペ ダ リ ン グ に よ る ス
プ リ ン ト テ ス ト を 行 っ た 。 そ の 結 果 、 角 速 度
0 , 9 0 お よ び 1 8 0 ° / s e c で 行 っ た 脚 筋 力 テ ス ト
に お い て は 、 特 に ア イ ソ メ ト リ ッ ク 運 動 よ り
も ダ イ ナ ミ ッ ク 運 動 に お い て 低 筋 温 の 悪 影 響
が 見 ら れ 、 ス プ リ ン ト テ ス ト に お い て は ペ ダ
リ ン グ に 要 し た 時 間 の 延 長 も さ る こ と な が ら
ペ ダ リ ン グ の 最 高 ス ピ ー ド に お い て も 低 下 が
示 さ れ た 。
し た が っ て 、 こ の よ う な 短 時 間 の 最 大 努 力
の 運 動 に 対 し て は 低 体 温 は マ イ ナ ス の 要 因 と
な り 、 パ フ オ ー マ ン ス を 低 下 さ せ る と 考 え ら
れ る 。 一 方 、 持 久 的 な 最 大 運 動 に 対 す る 低 体
温 の 影 響 を み た 研 究 に は 先 に 挙 げ た D a v i e s ら

▷

の 研 究 と B e r g h と E k b l o m の 研 究 が 代 表 と し て
 挙 げ ら れ る 。
 し か し 、 前 者 に お い て は そ の パ フ ォ - マ ン
 ス タ イ ム が 示 さ れ て い な い た め 、 実 質 的 に は
 最 大 持 久 運 動 の パ フ ォ - マ ン ス に 対 す る 影 響
 を 検 討 し て い る も の は B e r g h と E k b l o m の 研 究
 の み で あ る 。 彼 ら は 異 な る 体 温 に 於 け る 身 体
 作 業 パ フ ォ - マ ン ス と ピ - ク エ ア ロ ビ ッ ク パ
 ワ - を 検 討 す る た め に 、 8 名 の 男 性 被 験 者 を
 用 い て 13 ~ 15 °C 水 温 下 の 水 泳 に よ っ て 体 温 を
 下 げ る か 、 陸 上 自 転 車 運 動 に よ っ て 上 げ る か
 し た 後 に 自 転 車 に よ る 最 大 運 動 を 実 施 し た 。
 そ の 結 果 、 作 業 パ フ ォ - マ ン ス の 指 標 と な る
 e x h a u s t i o n t i m e は ノ - マ ル レ ベ ル (食 道 温
 37.7 °C) で の 6.80 ± 1.20 m i n に 比 べ 35.8 及 び
 34.9 °C で は そ れ ぞ れ 4.36 ± 1.30 , 3.06 ± 0.65
 m i n と な り 、 有 意 に 体 温 低 下 と と も に 作 業 パ
 フ ォ - マ ン ス が 低 下 し た こ と を 述 べ て い る 。
 ま た 、 エ ア ロ ビ ッ ク パ ワ - の 指 標 と し て 用
 い ら れ る $\dot{V}o_2max$ に 関 し て は ノ - マ ル レ ベ ル の

$4.33 \pm 0.40 \text{ l/min}$ に対して食道温 35.8°C では
 $3.90 \pm 0.40 \text{ l/min}$ に、 34.9°C では 3.75 ± 0.39
 l/min にそれぞれ有意に低下することが示さ
 れた。さらに、心拍数についてもノーマルレ
 ベルの $177 \pm 7 \text{ 拍/min}$ から食道温 35.8°C で 162
 ± 8 に、また、 34.9°C では $155 \pm 10 \text{ 拍/min}$ へと
 それぞれ有意に低下したことを示している。
 彼らは低下を示した作業パフォーマンスに関
 して低水温の他に水泳あるいはふるえによっ
 て生ずる疲労の影響も考えられるとしたが、
 水泳運動の強度、時間とも通常はパフォーマンス
 に対して有利に作用するものを用いたこ
 と、ならびに皮膚温が $27 \sim 31^\circ\text{C}$ であり、ふる
 えを生じさせるものではないことなどから、
 純粹に低水温による影響であることを述べて
 いる。

また、 $\dot{V}O_2 \text{ max}$ の減少に関しては、一回拍出
 量は変わらないが、心拍数が低下するために
 心拍出量の低下が起こり、結果的に $\dot{V}O_2$ が減
 少するためであろうとしている。さらに、心

拍 数 の 低 下 は 心 筋 の 機 械 的 な 機 能 が 低 体 温 に
 よ っ て 低 下 す る た め で あ ろ う と 述 べ て い る 。
 B e r g h と E k b l o m ³⁾ は ま た 、 血 中 乳 酸 に つ い て も
 調 べ て お り 、 血 中 乳 酸 濃 度 は 低 体 温 時 に 低 く
 な る こ と を 報 告 し て い る 。 そ の 理 由 と し て 、
 低 体 温 に よ っ て 減 少 し た パ フ ォ ー マ ン ス 時 間
 が 運 動 中 の 無 気 的 代 謝 過 程 動 員 時 間 を 減 少 さ
 せ た こ と 、 冷 え た 筋 細 胞 か ら の 乳 酸 の 流 出 速
 度 が 遅 く な る こ と 、 酵 素 活 性 の 低 下 に 起 因 し
 て ア ネ ロ ビ ッ ク パ ワ ー が 抑 制 さ れ た こ と な ど
 を 挙 げ て い る 。

一方、最大自転車テストはモナーク社製自転車エルゴメータを用いて25Wからスタートし、疲労困憊に至るまで2分ごとに25Wずつ漸増させた。

最大水泳テストにおける採気は各負荷段階の後半1分ならびに心拍数が160拍/minを越えた時点からは毎分行った。採気はダグラスバッグ法を用いて行い、採取した呼気は直ちに1回転10ℓの湿式実験用ガスメータ(品川製作所製)によって計量し、0.4ℓの呼気を後の分析のためにサンプリングした。

呼気分析はポラログラフイック酸素分析計(OM-11:Beckman社製)および赤外線二酸化炭素分析計(LB-2:Beckman社製)によって行なった。最大自転車テストにおける呼気は連続的に採取し、熱線式流量計(RM-300:ミナト医科学社製)によって計量したのち、酸素および二酸化炭素についてそれぞれジルコニア素子方式および赤外線方式によるガス分析器(MG-360;ミナト医科学社製)を用いて分析した。

なお、ガス分析器については前もってシヨランダ-微量ガス分析器によって分析した較正ガスを用いて較正を行った。

最大酸素摂取量の criteria としては、① 酸素摂取量の levelling off¹¹⁾ がみられること、② 心拍数が 180 拍/min³⁸⁾ 以上であること、③ 呼吸交換比が 1.0³⁷⁾ を越えること、の 3 条件を用い、そのうち 2 つ以上が満たされたときに最大酸素摂取量と見なした。

(2) 心拍数

心拍数は胸部双極導出による心電図の R 棘を数えることによって求めた。なお、実験中の心電図は生体用ポリグラフ(ポリグラフ 360 システム; 日本電気三栄社製)にてモニターリングするとともにデータコーダ(RTP-501A/A L; 共和電業社製)に記録した。

(3) % $\dot{V}O_{2max}$ の負荷決定

最大酸素摂取量測定時に得た各負荷強度における酸素摂取量が最大値($\dot{V}O_{2max}$)の何%にあたるかを計算し負荷 - % $\dot{V}O_{2max}$ 関係を一次

回帰によつて求めた。この回帰式を用いて水泳においては $60\% \dot{V}O_{2max}$ 強度の速度を、また自転車運動については $60\% \dot{V}O_{2max}$ および $90\% \dot{V}O_{2max}$ 強度の相対負荷を求めた。

(4) 実験手順

被験者は実験室到着後約1時間の椅座位安静を保った。安静終了前約10分間の内に心拍数測定のための電極を被験者の胸部に取り付けた。その後被験者は直腸温用サーミスタプローブを直腸に挿入し、採血のためにさらに5分間安静にしていた。採血後2~3分以内に被験者はスイムミル内に入り、首から下を浸水した状態で10分間の安静を行つた。なお、スイムミル内の水温にむらが生じないようにするため、安静中、流速を 0.1 m/sec に保つた。

安静終了1分後にあらかじめ求めておいた $60\% \dot{V}O_{2max}$ 、30分の最大下水泳を行わせた。30分の水泳の後、タオルで体をよく拭き、3分以内に採血を行ひ、自転車運動の準備ができるとすぐに運動をスタートさせた。なお水

泳 終 了 か ら 自 転 車 開 始 ま で の t r a n s i t i o n a l
 t i m e は 7 分 前 後 で あ っ た 。
 自 転 車 運 動 の 種 類 は 最 大 下 運 動 ($60\% \dot{V}O_{2max}$,
 30 分) 及 び 最 大 運 動 ($90\% \dot{V}O_{2max}$, e x h a u s t i o n
 で あ り 、 あ ら か じ め 自 転 車 最 大 運 動 で 得 ら れ
 た 強 度 を も と に 行 わ れ た 。 な お 前 者 に お い て
 は 運 動 の 5 , 10 , 15 分 目 に 1 分 以 内 に 採 血 を 行 っ
 た 。
 最 大 下 運 動 の 時 に は 、 終 了 後 3 分 目 に 、 最
 大 運 動 に お い て は 5 分 目 に 、 そ れ ぞ れ 採 血 を
 行 っ た 。
 実 験 中 の 呼 気 パ ラ メ ー タ は 陸 上 安 静 1 時 間
 付 近 の 5 分 間 、 水 中 安 静 10 分 間 の 後 半 5 分 間
 水 泳 な ら び に そ の 後 の 最 大 下 自 転 車 運 動 に お
 い て は 4 ~ 5 , 9 ~ 10 , 14 ~ 15 , 19 ~ 20 , 24 ~ 25 ,
 29 ~ 30 分 の 各 1 分 間 、 ま た 最 大 自 転 車 運 動 に
 お い て は 1 ~ 2 分 お よ び 3 分 目 か ら 疲 勞 困 憊 ま
 で の 毎 分 に お い て 採 気 し 、 前 述 し た 最 大 水 泳
 テ ス ト で 用 い た も の と 同 様 な 方 法 で 求 め た 。
 心 拍 数 も 最 大 水 泳 テ ス ト 時 と 同 様 な 方 法 を 用

いて得られ、採気と同じ時間帯のものをデータとして採用した。直腸温はサーミスタプロウブ挿入時から実験終了時まで携帯用小型直腸温計（ヴァイン；ヴァイン社製）を用いて1分ごとに記録した。

なお、実験条件以外の因子への影響を少なくするため、実験前の激しい運動や実験前2時間以内の食事はできるだけ避けるように口頭で指示した。

(5) 採血と血液保存

採血はヘパリン処理の施された真空採血管（ベノジエクト採血管；テルモ社製）を用い、肘正中静脈より行った。採血後2～3分以内に遠心分離器にかけ（3000 r.p.m., 10 min）、血漿と血球成分を分離した。血漿は後の血中乳酸および血中遊離脂肪酸分析のために凍結保存した。

(6) 血液分析

血中乳酸，血中遊離脂肪酸

血中乳酸の分析は自動乳酸分析器（Lactate

analyzer 23L; YSI社製) を用いて行い、血中遊離脂肪酸は市販のキット (NEFA-Test; 和光純薬工業) を用い、ヘプタン-クロロホルム混液抽出法により分析した。

血中乳酸および血中遊離脂肪酸の測定に於ける再現性 (C.V.) はそれぞれ 2.04, 4.46% であった。

第3節 実験期間とその間の気象条件

実験期間は昭和62年10月18日から昭和62年12月12日までであった。その間の実験室の気温は 23.1 ± 1.3 °C、相対湿度は $60.3 \pm 9.1\%$ および気圧は 762 ± 6.0 mmHg であった。また、スイムミル内の水温は実験試行で 20.1 ± 0.2 °C、対照試行ならびに最大水泳テストで 27.0 ± 0.2 °C にそれぞれ保たれていた。

なお、水温以外の気象条件を実験試行、対照試行別に見てみると、室温、相対湿度および気圧はそれぞれ 23.7 ± 1.3 , 22.7 ± 0.7 °C、 57.6 ± 3.6 , 61.4 ± 6.0 %、 763.6 ± 7.7 , 762.4 ± 4.6 mmHg であり、両試行間で一定に保たれ



ていた。

第 4 節 統 計 処 理

試 行 間 で 各 測 定 パ ラ メ ー タ の 平 均 値 を 比 較
す る た め に 、 S t u d e n t の t - テ ス ト を 用 い た 。



第 4 章 実 験 結 果

1) 30分水泳およびその後の最大下自転車運動に対する直腸温および生理・生化学的応答

直腸温の変化は図 1 に示した。20℃条件の場合、水泳時の6分目から低下が開始し、水泳終了時には 36.29 ± 0.77 ℃まで低下した。そして、その後の自転車運動開始までの約7分間にタオルで身体を拭いたにもかかわらずさらに 0.26 ℃の低下が見られた。引き続き自転車運動においては6～9分付近で直腸温の最低値が得られ(約 35.9 ℃)、その後には上昇する傾向が見られた。自転車終了時にはほぼ初期安静レベルまで回復した。一方、27℃条件においては水泳の6分から自転車の9分付近までわずかに上昇する傾向($36.80 \rightarrow 37.30$ ℃)を示し、その後、自転車終了時までさらなる上昇を示した($\rightarrow 37.93$ ℃)。27℃と20℃を比較すると水泳18～30分において20℃の方が $0.46 \sim 0.86$ ℃低くなり、その差は有意であっ

た ($27^{\circ}\text{C} : 36.98 \pm 0.29 \sim 37.15 \pm 0.39^{\circ}\text{C}$, $20^{\circ}\text{C} : 36.52 \pm 0.54 \sim 36.29 \pm 0.77^{\circ}\text{C}$) 。 また、水泳後の最大下自転車運動時には全時間帯で水温間の有意な差が観察され、直腸温の最低値 (約 35.9°C) が示された 20°C 試行の 6 ~ 9 分付近では 27°C 試行に比べて約 1.4°C 低かった。さらに、その後には 27°C 条件よりも高い上昇を示したため、自転車運動終了時には 27°C 試行との差が 0.72°C に縮まったが依然としてその差は有意であった ($27^{\circ}\text{C} : 37.93 \pm 0.30$, $20^{\circ}\text{C} : 37.21 \pm 0.36^{\circ}\text{C}$) 。

酸素摂取量、心拍数および呼吸交換比の変化は図 2 に示した。

酸素摂取量においては水中安静および水泳時において 27°C に比べて 20°C で有意に高くなる傾向が示された。また、水泳時においては両水温条件ともほぼ定常状態を保っていた (

$27^{\circ}\text{C} : \text{平均 } 1841 \text{ ml / min}$, $20^{\circ}\text{C} : \text{平均 } 2208 \text{ ml / min}$) 。 水泳に引き続く最大下自転車運動時には 27°C と 20°C でほぼ等しい値が示され、両水

温	条	件	と	も	定	常	状	態	が	示	さ	れ	た	(	27	°	C	:	平	均										
2	1	9	4	m	l	/	m	i	n	,	2	0	°	C	:	平	均	2	1	7	5	m	l	/	m	i	n)	。		
心	拍	数	に	つ	い	て	は	、	水	中	安	静	時	に	お	い	て	は													
2	7	°	C	に	比	べ	て	2	0	°	C	で	高	い	値	が	示	さ	れ	た	(2	7	°	C	:					
6	2	±	8	拍	/	m	i	n	,	2	0	°	C	:	7	6	±	1	1	拍	/	m	i	n)	。	水	泳	時	に	
は	2	7	お	よ	び	2	0	°	C	の	両	条	件	と	も	同	様	な	値	を	示	し									
定	常	状	態	が	示	さ	れ	た	(2	7	°	C	:	平	均	1	1	8	拍	/	m	i	n	,						
2	0	°	C	:	平	均	1	2	1	拍	/	m	i	n)	。	し	か	し	、	そ	の	後	の	自						
転	車	運	動	に	お	い	て	は	2	7	°	C	で	は	1	5	分	目	に	ほ	ぼ	定									
常	状	態	が	達	成	さ	れ	る	の	に	対	し	、	2	0	°	C	で	は	終	了										
時	ま	で	緩	や	か	に	上	昇	し	て	い	く	傾	向	が	示	さ	れ	た	。											
全	時	間	帯	に	お	い	て	2	7	°	C	に	比	べ	て	2	0	°	C	で	低	い	値								
が	示	さ	れ	た	が	特	に	5	、	1	0	、	1	5	、	2	0	分	時	に	は	そ	の								
差	が	約	1	2	拍	で	あ	り	、	有	意	で	あ	っ	た	(2	7	°	C	:	1	3	3							
~	1	4	6	拍	/	m	i	n	,	2	0	°	C	:	1	2	1	~	1	3	4	拍	/	m	i	n)	。	し	か	し
そ	の	差	は	終	了	時	に	は	6	拍	/	m	i	n	に	減	少	し	た	。											
呼	吸	交	換	比	は	水	中	安	静	時	に	は	、	2	7	°	C	お	よ	び											
2	0	°	C	で	そ	れ	ぞ	れ	0	.	9	2	±	0	.	0	8	お	よ	び	0	.	8	4	±	0	.	1	0		
で	あ	っ	た	。	水	泳	時	に	は	両	水	温	条	件	と	も	ほ	ぼ	定												
常	状	態	を	達	成	し	、	2	7	お	よ	び	2	0	°	C	で	そ	れ	ぞ	れ	平									

均 0.87 および 0.81 であつた。自転車 5 分目に
 はいずれの水溫条件においても最高値が示さ
 れ、27℃で 0.94 ± 0.05、20℃で 0.87 ± 0.08 で
 あつた。5 分以降においてははいずれの水溫条
 件とも減少傾向を示し、終了時には 27℃ およ
 び 20℃ でそれぞれ 0.89 ± 0.06 および 0.80 ±
 0.09 であつた。このように呼吸交換比におい
 ては水中安静時、水泳時 および自転車運動時
 において 27℃ に比べて 20℃ で低い値が示され
 た。

表中 血中乳酸 および 血中遊離脂肪酸濃度の変化
 は表 2 に示した。

血中乳酸濃度の安静レベルは 27 および 20℃
 でそれぞれ 1.31 ± 0.18 および 1.46 ± 0.21
 mmol/l であり、ほぼ等しい値であつた。水
 泳後に関しては 27℃ においてはほとんど変化
 が見られず、1.79 ± 0.24 mmol/l であつた。
 一方、20℃ 条件については 3.20 ± 0.87 mmol/l
 に上昇し、27℃ に比べて有意に高い値が示
 された。その後の自転車運動における 5 分目

には水泳後より高い値が27および20℃の両条件で見られた。27℃においては10分目にさらなる上昇を示し、15分目までそのレベルが維持された(4.69 ± 1.55 mmol/l)。しかし20℃においては27℃よりも低い値が同様の時間帯で示された(3.82 ± 0.37 mmol/l)。自転車運動後については27および20℃でほぼ等しい値が示され、15分時の値よりも低かった(27℃: 2.92 ± 0.94 mmol/l, 20℃: 2.76 ± 0.72 mmol/l)。

血中遊離脂肪酸濃度に関しては、安静値は27および20℃条件でそれぞれ0.262 ± 0.132および0.300 ± 0.257 meq/lであった。水泳後には両水温条件とも安静レベルからの上昇がみられ27および20℃でそれぞれ0.487 ± 0.248および0.459 ± 0.174 meq/lであった。引き続き行われる最大下自転車運動時には時間と共に減少していく傾向が両水温条件で見られた。自転車運動後には水泳後の値を上回る高い値が示され、27および20℃でそれぞれ0.680 ±

0.303 および 0.548 ± 0.253 meq/l であった。

2) 30分水泳およびその後の最大自転車運動に対する直腸温、生理・生化学的応答ならびに作業成績

表3
図3

30分水泳時およびその後の最大自転車運動時の直腸温の変化は表3および図3に示した。

水泳時においては最大下試行の水泳時の変化と比較したところ同様な傾向が示された(図1

参照)。その後の最大自転車運動時には運動

時間が異なるため、各個人の値を両水温試行

に対して示した。運動時間が短いことから開

始時と終了時での直腸温の差はほとんど見ら

れず、水泳後に得られた体温がそのまま維持

されている。水温27℃試行においては被験者

H0が約36.5℃であったが他の5名について

は37℃以上の値が示された。水温20℃の場合

には個人間のばらつきが見られ、K0が約

37.3℃、MKとNSが約36.5℃、そして他の

3名がおよそ35.2~35.6℃を示した。

酸素摂取量、心拍数および呼吸交換比の変

表4

図4

化	は	安	静	お	よ	び	水	泳	時	の	も	の	に	つ	い	て	は	表	4	
に	、	最	大	自	転	車	運	動	時	の	も	の	は	図	4	に	そ	れ	ぞ	
れ	示	し	た	。																
安	静	お	よ	び	水	泳	時	の	変	化	に	つ	い	て	は	27	°C	条		
件	お	よ	び	20	°C	条	件	の	そ	れ	ぞ	れ	に	対	し	、	最	大	下	
試	行	時	と	最	大	試	行	時	を	比	較	し	た	。	そ	の	結	果	そ	
れ	ら	の	変	化	は	最	大	下	試	行	の	安	静	お	よ	び	水	泳	時	
の	も	の	と	ほ	ぼ	同	様	な	傾	向	を	示	し	た	(	図	2	参	照)
最	大	自	転	車	運	動	時	の	変	化	に	つ	い	て	は	個	人	の		
値	に	よ	っ	て	表	示	し	た	。	酸	素	摂	取	量	の	最	大	値	(
$V_{O_2 \max}$)	は	全	被	験	者	に	お	い	て	27	°C	に	比	べ	て	20				
°C	で	減	少	す	る	傾	向	に	あ	り	、	平	均	す	る	と	そ	の	差	
は	227	ml	/	min	(7%)	と	な	り	、	有	意	な	差	で	あ	っ	た			
(	27	°C	:	3155	±	117	ml	/	min	,	20	°C	2928	±	148				
ml	/	min)	。																
心	拍	数	に	関	し	て	は	最	大	自	転	車	運	動	に	よ	っ	て		
得	ら	れ	た	最	大	値	に	有	意	な	差	が	観	察	さ	れ	、	27	°C	
に	比	べ	20	°C	の	方	が	11	%	低	か	っ	た	(27	°C	:	169	±	7
拍	/	min	,	20	°C	:	150	±	8	拍	/	min)	。						
呼	吸	交	換	比	に	お	い	て	は	27	°C	お	よ	び	20	°C	の	差		

は見られなく、運動 2 分目に比べ 3 分目に高い値が示されるといふ傾向のほかは一定した傾向が得られなかった。

図5

血中乳酸および血中遊離脂肪酸濃度については図 5 に示した。

血中乳酸濃度の安静値は 27 および 20 °C でそれぞれ 1.29 ± 0.33 および 1.27 ± 0.26 mmol / l であった。水泳後においては 27 および 20 °C でそれぞれ 1.96 ± 0.64 および 3.20 ± 0.87 mmol / l であり、20 °C で高くなる傾向が示された。

最大自転車運動後においては 27 °C にくらべて 20 °C の方が約 1 mmol 低くなる傾向が示された ($27 \text{ }^{\circ}\text{C} : 9.29 \pm 2.23$ mmol / l , $20 \text{ }^{\circ}\text{C} : 8.34 \pm 2.51$ mmol / l)。

血中遊離脂肪酸においても乳酸と同様に安静、水泳後および最大自転車運動後の順で増加していく傾向が見られた。27 °C と 20 °C の比較においては差が見られなかった。

最大自転車運動の作業成績は exhaustion time によって表わし、表 5 に示した。27 °C

に 比 べ 20 °C で 、 被 験 者 6 名 中 、 K O を 除 く 5
 名 に お い て 減 少 す る 傾 向 に あ っ た (27 °C : 5 分
 57 秒 ± 57 秒 , 20 °C : 4 分 4 秒 ± 1 分 57 秒) 。

図6

図 6 に 示 し た 様 に 、 最 大 自 転 車 運 動 の
 exhaustion 付 近 で 得 ら れ た 酸 素 摂 取 量 お よ び
 心 拍 数 の 最 大 値 、 な ら び に 作 業 時 間 を 直 腸 温
 の 関 数 と し て 見 て み る と 酸 素 摂 取 量 の 最 大 値
 に 関 し て は 有 意 な 比 例 関 係 が 見 ら れ な か っ た
 が 、 心 拍 数 の 最 大 値 お よ び 作 業 時 間 は 直 腸 温
 に 比 例 す る こ と が 確 か め ら れ た (心 拍 数 : $Y =$
 $9.35 X - 182 (P < 0.05)$, 作 業 時 間 : $Y = 58.31$
 $X - 1851 (P < 0.05)$) 。 直 腸 温 1 °C の 低 下 に よ
 り 、 心 拍 数 の 最 大 値 は 5 % (9 拍 / min) 、 作 業 時
 間 は 16 % (58 秒) 減 少 し た 。

△
 °C 付 近 の 低 水 温 下 水 泳 に よ っ て 引 き 起 こ さ れ
 る 体 温 の 低 下 が 、 そ の 後 の 陸 上 運 動 の 10 分 前
 後 ま で 続 く こ と に 対 し て は 、 い っ た ん 冷 や さ
 れ た 身 体 が 再 び 暖 ま り 始 め る ま で の 時 間 と 考
 え ら れ る 。

低 水 温 下 水 泳 に 引 き 続 く 最 大 下 陸 上 運 動 時
 の 酸 素 摂 取 量 に つ い て は 、 N a d e l²⁶⁾ ら お よ び
 D a v i e s⁹⁾ ら に よ っ て 報 告 さ れ て い る 。 彼 ら は そ
 れ ぞ れ 18 °C で の 最 大 下 水 泳 後 に 引 き 続 い て 行
 わ れ る 最 大 下 自 転 車 運 動 時 の 酸 素 摂 取 量 を コ
 ン ト ロ ー ル と 比 較 し た 。 そ の 結 果 、 N a d e l²⁶⁾ ら
 の 体 脂 肪 率 7.4% の 被 験 者 に お い て は 最 高 630
 ml / 分 お よ び D a v i e s⁹⁾ ら の 被 験 者 5 名 に お い て
 は 平 均 380 ml / 分 そ れ ぞ れ コ ン ト ロ ー ル よ り も
 高 く な る こ と が 示 さ れ た 。

本 実 験 に お い て は 20 °C 最 大 下 水 泳 後 に 最 大
 下 自 転 車 運 動 を 行 い 、 27 °C の 対 照 条 件 と 比 較
 し た が 、 両 条 件 間 に ほ と ん ど 差 が 認 め ら れ な
 か っ た (図 2 参 照) 。 こ の 相 違 に 対 す る 理 由
 と し て は 最 大 下 自 転 車 運 動 開 始 時 の 体 温 が

温 水 シ ャ ワ - や w a r m - u p 運 動 に 比 べ て 有 意 に
 低 く な っ た こ と が 示 さ れ て い る 。
 経 時 的 に 心 拍 数 を 観 察 し た 本 実 験 に お い て
 は 、 自 転 車 の 20 分 目 ま で 27 °C の 対 照 条 件 と 比
 べ て 20 °C の 方 が 12 拍 / m i n 低 く な る 傾 向 が 見 ら
 れ 、 そ の 差 は 有 意 で あ っ た (図 2 参 照) 。
 自 転 車 運 動 中 の 酸 素 摂 取 量 が 一 定 で あ っ た
 こ と を 合 わ せ て 考 え る と 水 泳 後 の 最 大 下 運 動
 の 20 分 目 ま で 一 回 拍 出 量 あ る い は 動 静 脈 酸 素
 較 差 が 増 大 し て い た こ と が 予 想 さ れ る が 、
 L a n g e²¹⁾ ら に よ れ ば 低 水 温 下 で 引 き 起 こ さ れ る
 末 梢 血 管 収 縮 お よ び 体 表 面 の 静 水 圧 が 中 心 血
 液 量 を 増 加 さ せ た 結 果 と し て 一 回 拍 出 量 の 増
 大 が 起 こ る こ と が 説 明 さ れ て い る 。 さ ら に 、
 動 静 脈 酸 素 較 差 は 極 度 の 低 体 温 に な ら な い 限
 り 変 化 し な い と い う こ と が 伊 藤¹⁸⁾ に よ っ て 述 べ
 ら れ て い る 。 し た が っ て 、 本 実 験 に お い て は
 動 静 脈 酸 素 較 差 で は な く 、 一 回 拍 出 量 が 増 加
 す る こ と に よ っ て 、 心 拍 数 の 減 少 に 伴 う 酸 素
 摂 取 量 の 減 少 が 補 わ れ た こ と が 考 え ら れ る 。

低水温下水泳後の最大下陸上運動における呼吸交換比を見た研究は Davies⁹⁾らの研究のみであるが、それによると水泳後の100Wの最大下自転車運動時の呼吸交換比には水泳時の水温によって差がないことが示されている。しかし、本実験においては図2に示したように27℃に比べて20℃で低下する傾向を示した。したがってエネルギー代謝動態に対して低水温下水泳が影響をおよぼし、脂質代謝が増加¹⁸⁾することが考えられる。伊藤は低温環境下ではかつ色脂肪組織が活動的になり体温を維持するため大量の熱を産生するということを述べており、この点からも本実験で用いた低水温環境下で脂質代謝が亢進することが予想される。

血中乳酸濃度は本実験においては水泳後に27℃条件に比べて20℃条件で高い値が示されたが、その後の自転車運動においては両条件間に有意な差が見られなかった(表2参照)。

低水温下水泳時に見られるこのような、乳酸

の増加は、これまではいくつか報告されてお
 り、ふるえによる酸素摂取量の増加が原因で
 あるとされている。一方、低水温下水泳後の
 最大下陸上運動時に27℃条件と20℃条件で差
 がなかったことに関しては、陸上運動時の気
 温が23℃であったため、20℃水泳後において
 もふるえが消失し、無氣的解糖によるエネル
 ギー代謝の動員率に差がなかったことが理由
 として考えられる。
 血中遊離脂肪酸濃度に関しては個人の日差
 変動が激しく水温条件間で比較できないため
 エネルギー代謝動態を判断し得る指標にはな
 らないと思われた。

第	2	節	低	水	温	下	水	泳	が	そ	の	後	の	最	大	陸	上										
運	動	に	お	よ	ぼ	す	影	響																			
最	大	運	動	に	対	す	る	影	響	を	見	る	に	あ	た	っ	て	は									
ス	ポ	-	ツ	競	技	と	同	様	に	そ	の	作	業	成	績	に	主	眼	が								
置	か	れ	る	。	持	久	的	な	最	大	運	動	に	対	し	て	は	多	く								
の	研	究	が	そ	の	作	業	時	間	を	作	業	成	績	の	指	標	と	し								
て	い	る	。	そ	こ	で	本	研	究	に	お	い	て	も	最	大	酸	素	摂								
取	量	の	90	%	の	強	度	で	e	x	h	a	u	s	t	i	o	n	に	達	す	る	ま	で			
の	時	間	を	用	い	て	作	業	成	績	を	示	し	た	(表	6	参	照)							
そ	の	結	果	、	6	名	中	5	名	に	お	い	て	20	°C	条	件	で	低								
下	す	る	傾	向	が	示	さ	れ	た	。	こ	の	よ	う	な	作	業	能	力								
の	低	下	を	招	く	主	な	因	子	と	し	て	は	最	大	酸	素	摂	取								
量	の	減	少	が	挙	げ	ら	れ	る	。																	
低	水	温	下	水	泳	後	の	最	大	酸	素	摂	取	量	に	関	し	て									
は	こ	れ	ま	で	に	D	a	v	i	e	s	ら	お	よ	び	B	e	r	g	h	と	E	k	b	l	o	m
に	よ	っ	て	報	告	さ	れ	て	い	る	。	彼	ら	は	、	そ	れ	ぞ	れ								
18	お	よ	び	13	~	15	°C	の	最	大	下	水	泳	の	後	、	コ	ン	ト								
ロ	-	ル	条	件	に	比	べ	4	2	0	お	よ	び	4	3	0	~	5	8	0	m	l	/	分			
の	低	下	を	そ	の	最	大	値	に	お	い	て	観	察	し	て	い	る	。								
図	4	に	示	す	よ	う	に	本	実	験	に	お	け	る	水	泳	後	の	最								

大 自 転 車 運 動 で 得 ら れ た 最 大 酸 素 撰 取 量 に つ
 い て も 同 様 な 傾 向 が 示 さ れ 、 被 験 者 全 員 に お
 い て 27 °C 条 件 に 比 べ 20 °C 条 件 で 有 意 に 低 い 値
 が 観 察 さ れ た 。 平 均 値 で 表 す と そ の 差 は 227
 ml / 分 で あ っ た 。

先 行 研 究 お よ び 本 実 験 に 示 さ れ た 最 大 酸 素
 撰 取 量 の 低 下 に 対 す る 理 由 と し て は ミ ト コ ン
 ド リ ア の 膜 を 構 成 し て い る 脂 質 の 流 動 性 が 低
 温 環 境 下 で 低 下 し 、 膜 の 透 過 性 が 失 わ れ 、 酵
 素 活 性 が 低 下 し た こ と が 考 え ら れ る 。 ま た 、
 Davi es⁹⁾ ら に よ れ ば 心 拍 数 の 減 少 が 挙 げ ら れ て
 お り 、 低 温 刺 激 が 直 接 心 筋 に 影 響 を 及 ぼ し 、
 心 拍 数 を 減 少 さ せ 、 そ の 結 果 と し て 、 最 大 酸
 素 撰 取 量 が 減 少 す る と さ れ て い る 。 心 筋 細 胞
 に ミ ト コ ン ド リ ア が 多 く 含 ま れ て い る こ と を
 考 え る と Davi es⁹⁾ ら の 述 べ て い る 心 筋 へ の 影 響
 は 心 筋 の ミ ト コ ン ド リ ア 内 の 酵 素 活 性 の 低 下
 と 考 え る こ と が で き る 。

本 実 験 に お け る 最 大 自 転 車 運 動 時 の 最 大 心
 拍 数 も 先 行 研 究 と 一 致 し て 減 少 す る 傾 向 を 示

した。したがって本実験における最大酸素摂取
 量の低下も Davies⁹⁾らの知見に基づき、最大
 心拍数の減少が起因していると考えられ、そ
 のメカニズムとしては前述した低温下でのミ
 トコンドリアの反応が考えられる。

代謝系の変化も最大運動の作業成績に影響
 をおよぼす一因と考えられる。しかし、本実
 験において示された呼吸交換比の値(図 4 参
 照)血中乳酸(図 5 参照)および血中遊離脂肪
 酸濃度(表 5 参照)の変化には 27℃条件と 20℃
 条件との間で有意な差が認められていないこ
 とから、本実験においては特にエネルギー代
 謝動態が最大自転車運動の作業能力を制限す
 る方向に傾いていたとは思われない。

最大運動における低水温下水泳の影響はす
 べて水泳時の体温の低下がもともとなっ
 て生じていることは先行研究が体温との関係からパ
 ラメータの変化を論じていることから明らか
 である。

³⁾ Bergh と Ekblom は最大自転車運動の作業時

間、最大心拍数および最大酸素摂取量は体温
 が低い時ほど減少するという傾向を示してい
 る。本研究においても体温との関係から作業
 時間、最大心拍数および最大酸素摂取量を検
 討した(図6参照)。その結果、最大心拍数
 および作業時間に関しては Berg h と Ek b l o m の
 研究と同様に体温に比例していることが確か
 められ、直腸温 1°C の低下により、最大心拍
 数は 5% (9拍/拍)、作業時間は 16% (58秒) 減
 少することが観察された。最大酸素摂取量に
 関しては同様な有意な比例関係が観察されな
 かった。このことは低体温に導かれるべき最
 大酸素摂取量の減少が、ふるえによって増加
 した酸素摂取量によってある程度相殺された
 ことを示唆すると思われる。ふるえに関して
 は測定しなかったが、 35°C 付近まで直腸温が
 低下した3名の被験者(Y T, M O, H O)は他の
 3名に比べて体脂肪率が小さく、熱損失の増
 大に対する結果として、ふるえによる産熱機
 構が働いていたことが十分予想され得る。

第 7 章 要 約

- 1) 本研究の目的は低水温下での水泳が、その後の最大下陸上運動の呼吸循環応答および最大陸上運動のパフォーマンスにおよぼす影響を明らかにすることであった。
- 2) 被験者は大学生男子水泳選手 6 名であり日常水泳トレーニングを行っていた。
- 3) 用いた運動は ① 水泳 ($60\% \dot{V}O_{2max}$, 30 分) + 最大下自転車運動 ($60\% \dot{V}O_{2max}$, 30 分), ② 水泳 ($60\% \dot{V}O_{2max}$, 30 分) + 最大自転車運動 ($90\% \dot{V}O_{2max}$, Exhaustion まで) の 2 種類であり、水泳時の水温を 20°C と 27°C の 2 条件で行った。
- 4) 水泳中の酸素摂取量は 27°C に比べ 20°C で高くなる傾向にあり、水泳 + 最大下自転車運動試行の水泳時には平均 $367 \text{ ml} / \text{min}$ 高い値が示された。また、水泳後の直腸温においては 27°C 条件と 20°C 条件の間で平均 0.86°C の差が見られ、 20°C の方が低かった。血中乳酸濃度については水泳後に 27°C に比べて 20°C で $1.41 \text{ mmol} / \text{l}$ 高い値が示された。

5) 水泳後の最大下自転車運動においては心拍数に水温間の有意な差が見られ、20分までの各時間帯で20℃のほうが12拍/分低かった。また、呼吸交換比は6名中4名において低い値が示され、27℃および20℃でそれぞれ0.91 ± 0.02 および0.82 ± 0.03であった。

6) 水泳後の最大自転車運動においては心拍数の最大値および酸素摂取量の最大値に水温条件間の有意な差が認められ、27℃に比べ20℃でそれぞれ19拍/分および227 ml/分低い値を示した。

7) 最大自転車運動における心拍数の最大値および作業時間は直腸温の関数として表わされ、それぞれの間に比例関係が示された(心拍数: $Y = 9.35X - 182$ ($P < 0.05$), 作業時間: $Y = 58.31X - 1851$ ($P < 0.05$))。

8) 以上の結果から、27℃条件に比べ、20℃での30分間の最大下水泳で引き起こされる直腸温の低下、酸素摂取量の増加および血中乳酸の増加はその後の最大下自転車運動時の20分

引用文献

- 1) Asmussen, E. and O. Boje: Body temperature and capacity for work. Acta Physiol. Scand. 10:1-22, 1945.
- 2) Åstrand, P.-O. and S. Englesson: A swimming flume. J. Appl. Physiol. 33:514, 1972.
- 3) Bergh, U. and B. Ekblom: Physical performance and peak aerobic power at different body temperatures. J. Appl. Physiol. 46:885-889, 1979.
- 4) Bergh, U. and B. Ekblom: Influence of muscle temperature on maximal muscle strength and power output in human skeletal muscles. Acta Physiol. Scand. 107:33-37, 1979.
- 5) Costill, D. L., P. J. Cahill and D. Eddy: Metabolic responses to submaximal exercise in three water temperatures. J. Appl. Physiol. 22:628-632, 1967.
- 6) Costill, D. L.: Energy requirements during exercise in the water. J. Sports Med. 11:87-92, 1971.
- 7) Craig, A. B., Jr. and M. Dvorak: Thermal regulation of man exercising during water immersion. J. Appl. Physiol. 25:28-35, 1968.
- 8) Craig, A. B., Jr. and M. Dvorak: Comparison of exercise in air and in water of different temperatures. Med. Sci. Sports 1:124-130, 1969.
- 9) Davies, M., B. Ekblom, U. Bergh and I.-L. Kanstrup: The effect of hypothermia on submaximal and maximal work performance. Acta Physiol. Scand. 95:201-202, 1975.
- 10) Edwards, S.: Triathlon. 1st ed., Contemporary books: Chicago, 1983.
- 11) Ekblom, B.: Effect of physical training on oxygen transport system in man. Acta Physiol. Scand., Suppl. 328:1-45, 1969.
- 12) Falls, H. B. and J. E. Weibers: The effect of pre-exercise conditions on heart rate and oxygen uptake during exercise and recovery. Res. Quart. 36:243-252, 1965.

- 13) Fink, W.J., D.L. Costill and P.J.V. Handel: Leg muscle metabolism during exercise in the heat and cold. Europ.J.Appl.Physiol. 34:183-190, 1975.
- 14) Galbo, H., M.E. Houston, N.J. Christensen, J.J. Holst, B. Nielsen, E. Nygaard, and J. Suzuki: The effect of water temperature on the hormonal response to prolonged swimming. Acta Physiol.Scand. 105:326-337, 1979.
- 15) Hanson, P.G. and R.E. Johnson: Variation of plasma ketones and free fatty acids during acute cold exposure in man. J.Appl.Physiol. 20:56-60, 1965.
- 16) 速水 修, 道上厚子, 大野都美恵, 黒島晨汎: 寒冷馴化と運動時の脂質代謝に及ぼすその影響. 北海道医学雑誌 46:364-365, 1973.
- 17) Holmer, I. and U. Bergh: Metabolic and thermal response to swimming in water at varying temperatures. J.Appl.Physiol. 37:702-705, 1974.
- 18) 伊藤真次: 適応のしくみ. 第一版, pp121-143, 177-206, 北海道大学図書館刊行会: 北海道, 1974.
- 19) 小坂光男: 気候と代謝. 新・生理学読本. 星 猛 編, pp225-230, 日本評論社: 東京, 1984.
- 20) 小松美冬: ウエットスーツは着たほうがトク!? トライアスロン 2 (8月号): 23-28, 1986.
- 21) Lange, L., S. Lange, M. Echt and O.H. Gauer: Heart volume in relation to body posture and immersion in a thermo-neutral bath. Pfluegers Arch. 352:219-226, 1974.
- 22) Masoro, E.J.: Effect of cold on metabolic use of lipids. Physiol.rev. 46:67-101, 1966.
- 23) McArdle, W.D., J.R. Magel, G.R. Lesmes and G.S. Pechar: Metabolic and cardiovascular adjustment to work in air and water at 18, 25, and 33°C. J.Appl.Physiol. 40:85-90, 1976.

- 24) Mornar, G.W.: Survival of hypothermia by man immersed in the ocean. J. Am. Med. Assoc. 131:1046-1050, 1946.
- 25) Nadel, E.R., I. Holmér, U. Bergh, P.-O. Åstrand and J.A.J. Stolwijk: Thermoregulatory shivering during exercise. Life Sci. 13:983-989, 1973.
- 26) Nadel, E.R., I. Holmér, U. Bergh, P.-O. Åstrand and J.A.J. Stolwijk: Energy exchanges of swimming man. J. Appl. Physiol. 36:465-471, 1974.
- 27) 長嶺晋吉: スポーツとエネルギー・栄養. 講座 現代のスポーツ科学 2, pp14, 大修館, 1979.
- 28) Nielsen, B.: Metabolic reactions to changes in core and skin temperature in man. Acta Physiol. Scand. 97:129-138, 1976.
- 29) Ouellet, Y., S.C. Poh, M.R. Beckalde: Circulatory factors limiting maximal aerobic exercise capacity. J. Appl. Physiol. 27:874-880, 1969.
- 30) Pirnay, F., R. Deroanne and J.M. Petit: Influence of water temperature on thermal, circulatory and respiratory responses to muscular work. Europ. J. Appl. Physiol. 37:129-136, 1977.
- 31) Pugh, L.G.C.E. and O.G. Edholm: The physiology of channel swimmers. Lancet 2: 761-768, 1955.
- 32) Pugh, L.G.C.E., O.G. Edholm, R.H. Fox, H.S. Wolff, G.R. Hervey, W.H. Hammond, J.M. Tanner and R.H. Whitehouse: A physiological study of channel swimming. Clin. Sci. 19:257-273, 1960.
- 33) Sloan, R.E.G. and W.R. Keatinge: Cooling rates of young people swimming in cold water. J. Appl. Physiol. 35:371-375, 1973.
- 34) Stenberg, J., P.-O. Åstrand, B. Ekblom, J. Royce, B. Saltin: Hemodynamic response to work with different muscle groups, sitting and supine. J. Appl. Physiol. 22: 61-70, 1967.

- 35) 鈴木蔵治:異なる温度の水中作業における代謝及び体温調節. 順天堂大学体育学部体力学修士論文集. pp.469-481, 石河利寛教授定年退職記念事業実行委員会:千葉,1985.
- 36) Town, G.P.: Science of triathlon training and competition. 1st ed., Human kinetics: Champaign, 1985.
- 37) Wilmore, J.H. and P.O. Sigersteth: Physical work capacity of young girls, 7-13 years of age. J. Appl. Physiol. 22:923-928, 1967.
- 38) Wyndham, C.H., N.B. Strydom, J.S. Maritz, J.F. Morison, J. Peter and Z.U. Potgieter: Maximum oxygen intake and maximum heart rate during work. J. Appl. Physiol. 14:927-936, 1959.
- 39) Zeman, V., V. Holeček and J. Novak: Effect of swimming in ice-cold and warm water on changes in plasma volume and free fatty acids. In Hollander, A.B. et al. ed. Biomechanics and medicine in swimming, 1st ed. pp.275-280, Human kinetics: Champaign, 1983.

The effects of the preceding swimming in cold water
on the maximal and submaximal bicycle-riding.

Takeshi MATSUI

summary

- 1) The purpose of the present study was to investigate the effects of preceding swimming at low water temperature on following bicycle-riding in air.
- 2) Six trained male swimmers were served as subject.
- 3) They swam at 20°C and 27°C for 30 minutes followed by both maximal and submaximal bicycling.
- 4) During the 30min-swimming at 20°C oxygen uptake was significantly higher than at 27°C, and the averaged difference was 367 ml/min.
After the 30min-swimming at 20°C, rectal temperature was lower than at 27°C and blood lactate concentration was higher than that, and the differences of 0.86°C and 1.41 mmol/l were significant respectively.
- 5) During the submaximal bicycling followed after 30min-swimming at 20°C, heart rate was significantly lower than at 27°C until 20min, and the difference was 12 beats/min.
- 6) During the maximal bicycling followed after 30min-swimming at 20°C, fHmax and $\dot{V}O_2\text{max}$ were significantly decreased compared to 30min-swimming at 27°C from 169 ± 7 beats/min, 3155 ± 117 ml/min to 150 ± 8 beats/min, 2928 ± 148 ml/min respectively.
- 7) The fH peak and maximal work time was significantly correlated to rectal temperature.
- 8) From the above observations, it was ascertained that the decrease of rectal temperature and the increase of oxygen uptake observed during 30min-swimming at 20°C water temperature as compared to 27°C significantly affected the heart rate and during submaximal bicycling, and the heart rate and oxygen uptake during maximal bicycling so that the decrease of 12 beats/min, 19 beats/min, 227 ml/min were observed respectively, and that resulted in 16%-decrease of performance per 1°C-decrease of rectal temperature.

Table 1. Physical characteristics, $\dot{V}O_{2max}$ and swimming performance of the subjects.

Subjects	Age (yr)	Stature (cm)	Weight (kg)	Body fat (%)	$\dot{V}O_{2max}$				Best Time 100m free style (min,sec)
					Swimming (ml/min)	Bicycling (ml/min)	Swimming (ml/kg/min)	Bicycling (ml/kg/min)	
K O	18	177.2	72.5	13.0	3231	3468	44.6	47.8	1,05
Y T	21	166.8	66.2	10.4	3269	3377	49.4	51.0	0,59
M K	18	174.8	71.3	15.8	4335	3476	60.8	48.8	1,00
M O	19	177.9	64.8	10.9	3381	3550	52.2	54.8	0,56
H O	19	167.5	61.6	11.1	3643	3485	59.1	56.6	0,57
N S	19	170.8	72.8	12.3	4281	3383	58.8	46.5	0,54
\bar{X}	19	172.5	68.2	12.2	3690	3457	54.2	50.9	0,59
$\pm S D$	1	4.4	4.3	1.8	457	60	5.9	3.7	4

Table 2 . Blood lactate and free fatty acids concentration at rest , after 30 min-swimming at 27°C and 20°C,during following submaximal bicycling and after the bicycling.

	Subjects	Water temp.	rest in air	after swim	bicycling			after bicycling	
					5min	10min	15min		
L A (mmo l / l)	K O	27°C	1.29	1.41	3.36	4.41	4.23	3.01	
		20	1.52	1.77	4.51	3.25	4.33	2.46	
	Y T	27	1.15	1.68	3.05	4.60	----	4.62	
		20	1.74	2.31	3.30	----	3.92	3.29	
	M K	27	1.61	2.00	2.52	3.35	3.50	2.13	
		20	1.47	4.06	3.26	2.77	3.24	1.92	
	M O	27	1.19	2.10	2.66	6.15	6.87	3.46	
		20	1.58	3.38	----	----	----	3.88	
	H O	27	1.50	1.63	4.84	5.57	6.07	2.55	
		20	1.05	4.07	4.70	3.56	3.59	1.95	
	N S	27	1.09	1.89	3.02	2.95	2.77	1.77	
		20	1.39	3.60	4.58	5.10	4.02	3.08	
		X ± S D	27	1.31	1.79	3.24	4.51	4.69	2.92
				±0.18	±0.24	±0.77	±1.13	±1.55	±0.94
	X ± S D	20	1.46	3.20*	4.07	3.67	3.82	2.76	
			±0.21	±0.87	±0.65	±0.87	±0.37	±0.72	
F F A (mEq/ l)	K O	27	0.049	0.902	0.699	0.578	0.513	1.047	
		20	0.718	0.324	0.176	0.236	0.158	0.197	
	Y T	27	0.170	0.681	0.451	0.387	-----	0.739	
		20	0.157	0.431	0.440	-----	0.505	0.728	
	M K	27	0.236	0.236	0.324	0.363	0.321	0.497	
		20	0.736	0.731	0.665	0.404	0.368	0.659	
	M O	27	0.459	0.519	0.525	0.464	0.352	0.495	
		20	0.165	0.547	-----	-----	-----	0.942	
	H O	27	0.217	0.396	0.346	0.387	0.352	1.066	
		20	0.151	0.184	0.187	0.264	0.264	0.431	
	N S	27	0.082	0.190	0.170	0.170	0.206	0.236	
		20	0.288	0.536	0.470	0.470	0.335	0.332	
		X ± S D	27	0.262	0.487	0.419	0.392	0.369	0.680
				±0.132	±0.248	±0.167	±0.122	±0.074	±0.303
	X ± S D	20	0.300	0.459	0.383	0.344	0.326	0.548	
			±0.257	±0.174	±0.183	±0.097	±0.155	±0.253	

* Significant difference between 27°C and 20°C trials(P<0.05).



Table 3. Comparison of rectal temperature at rest and during swimming at 27°C and 20°C
between submaximal and maximal trials.

Water Exercise		Rectal temp. (°C)												
temp. (°C)	intensity	rest in air	rest in water	-0	-3	-6	-9	-12	-15	-18	-21	-24	-27	-30
27	submax	36.85	36.87	36.86	36.82	36.80	36.82	36.87	36.91	36.98	37.03	37.06	37.12	37.15
		±0.24	±0.25	±0.24	±0.25	±0.23	±0.25	±0.27	±0.29	±0.29	±0.32	±0.35	±0.37	±0.39
	max	37.01	36.97	36.93	36.96	36.95	36.99	37.30	37.12	37.18	37.25	37.30	37.36	37.40
		±0.41	±0.44	±0.23	±0.28	±0.21	±0.16	±0.62	±0.18	±0.22	±0.26	±0.31	±0.34	±0.37
20	submax	36.79	36.82	36.83	36.80	35.91	36.63	36.62	36.55	36.52	36.45	36.40	36.37	36.29
		±0.22	±0.24	±0.27	±0.33	±0.91	±0.42	±0.45	±0.47	±0.54	±0.64	±0.69	±0.74	±0.77
	max	36.93	36.92	36.89	36.85	36.71	36.66	36.56	36.51	36.50	36.46	36.43	36.40	36.35
		±0.11	±0.11	±0.16	±0.20	±0.29	±0.35	±0.41	±0.47	±0.53	±0.61	±0.66	±0.71	±0.75

Table 4. Comparison of oxygen up take ,heart rate and respiratory exchange ratio at rest and during swimming at 27°C and 20°C between submaximal and maximal trials.

		rest	rest	swimming (min)							
		in air	in water	-5	-10	-15	-20	-25	-30		
$\dot{V}O_2$ (ml/min)	27°C	submax	295	339	1904	1882	1862	1832	1781	1787	
			± 15	± 44	± 248	± 224	± 225	± 177	± 293	± 187	
	20°C	submax	348	588	2307	2313	2228	2207	2012	2182	
			± 67	± 104	± 409	± 289	± 344	± 276	± 397	± 325	
	f H (beats/min)	27°C	submax	65	62	115	118	119	118	118	119
				± 10	± 8	± 2	± 4	± 6	± 6	± 7	± 8
20°C		submax	62	76	121	122	120	120	122	122	
			± 7	± 11	± 10	± 8	± 8	± 8	± 8	± 8	
R		27°C	submax	0.85	0.92	0.83	0.87	0.89	0.86	0.88	0.86
				± 0.10	± 0.08	± 0.04	± 0.03	± 0.04	± 0.05	± 0.03	± 0.03
	20°C	submax	0.83	0.84	0.80	0.80	0.82	0.81	0.83	0.82	
			± 0.07	± 0.08	± 0.05	± 0.06	± 0.06	± 0.07	± 0.08	± 0.07	
	max	0.81	0.85	0.83	0.85	0.87	0.86	0.84	0.87		
		± 0.03	± 0.03	± 0.03	± 0.04	± 0.04	± 0.04	± 0.05	± 0.05		
max	0.78	0.77	0.81	0.83	0.82	0.82	0.83	0.83			
	± 0.04	± 0.05	± 0.05	± 0.04	± 0.03	± 0.04	± 0.04	± 0.04			

Table 5. Blood free fatty acids concentration at rest, after 30 min-swimming at 27°C and 20°C, and after the bicycling.

Subjects		Water temp. °C	rest in air	after swimming	after bicycling
F F A (mEq/ℓ)	K O	27	0.562	0.404	1.301
		20	0.381	0.233	0.360
	Y T	27	0.228	0.431	0.321
		20	0.184	-----	0.495
	M K	27	0.266	0.516	0.569
		20	0.335	0.527	0.505
	M O	27	0.313	0.335	0.266
		20	0.165	0.547	0.942
	H O	27	0.203	0.272	0.275
		20	0.151	0.266	0.313
	N S	27	0.135	0.269	0.275
		20	0.225	0.440	0.231
X ± S D		27	0.285	0.371	0.501
			±0.136	±0.089	±0.373
X ± S D		20	0.240	0.403	0.474
			±0.087	±0.130	±0.230

Table 6. Exhaustive time in maximal bicycling
after 30 min swimming at 27°C and 20°C.

Subject	Exhaustive time (min,sec)	
	27°C	20°C
K O	6' 00" <	7' 08"
Y T	5' 23" >	4' 48"
M K	7' 04" >	3' 34"
M O	4' 33" >	3' 07"
H O	6' 09" >	3' 22"
N S	4' 17" >	2' 16"
\bar{X}	5' 57"	4' 04"
$\pm S D$	$\pm 57"$	$\pm 1' 57"$

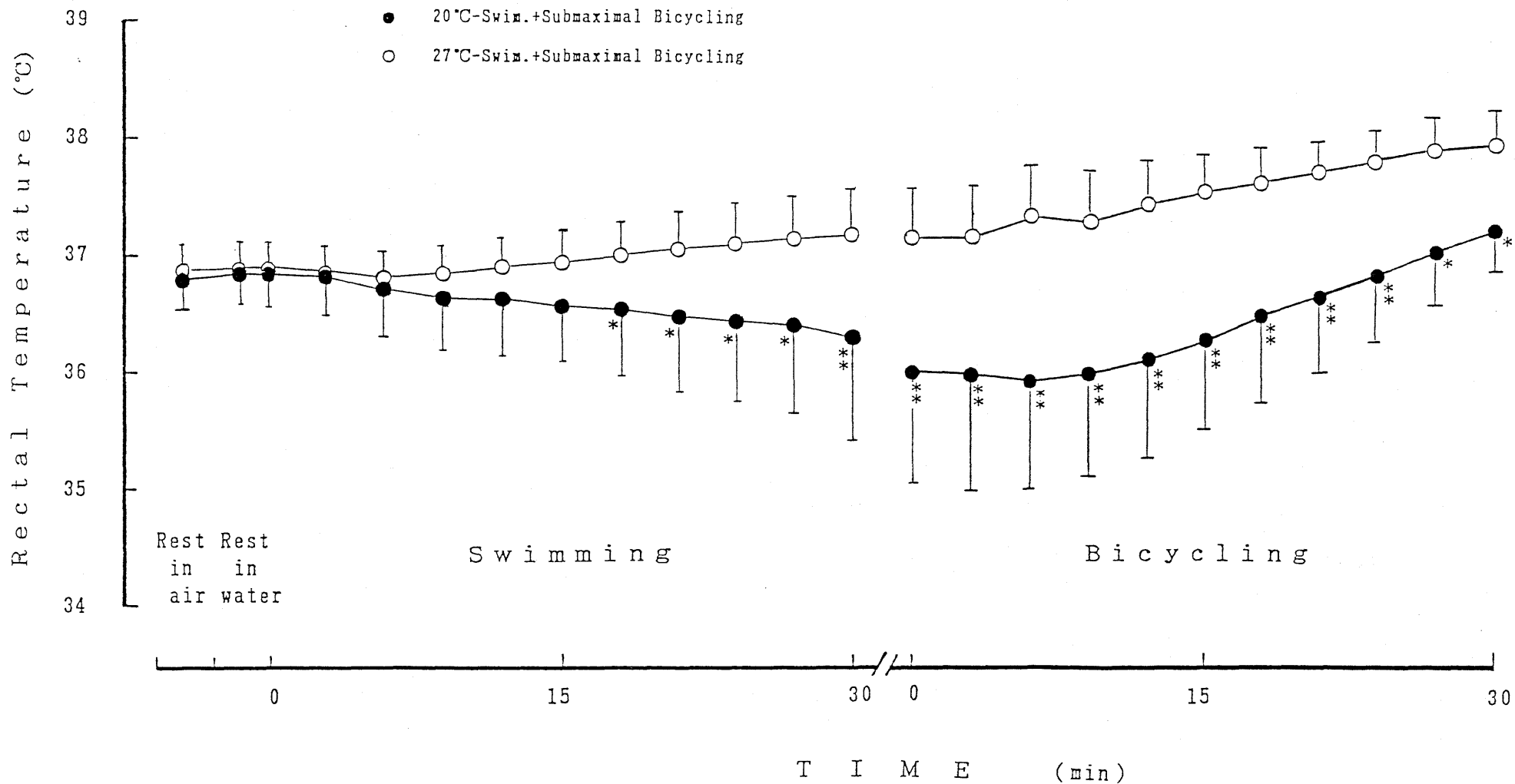


Fig.1. Changes of rectal temperature at rest,during swimming at 20°C and 27°C, and submaximal bicycling in air.

* (P<0.05) and ** (P<0.01) show significanly different ○ from ● .

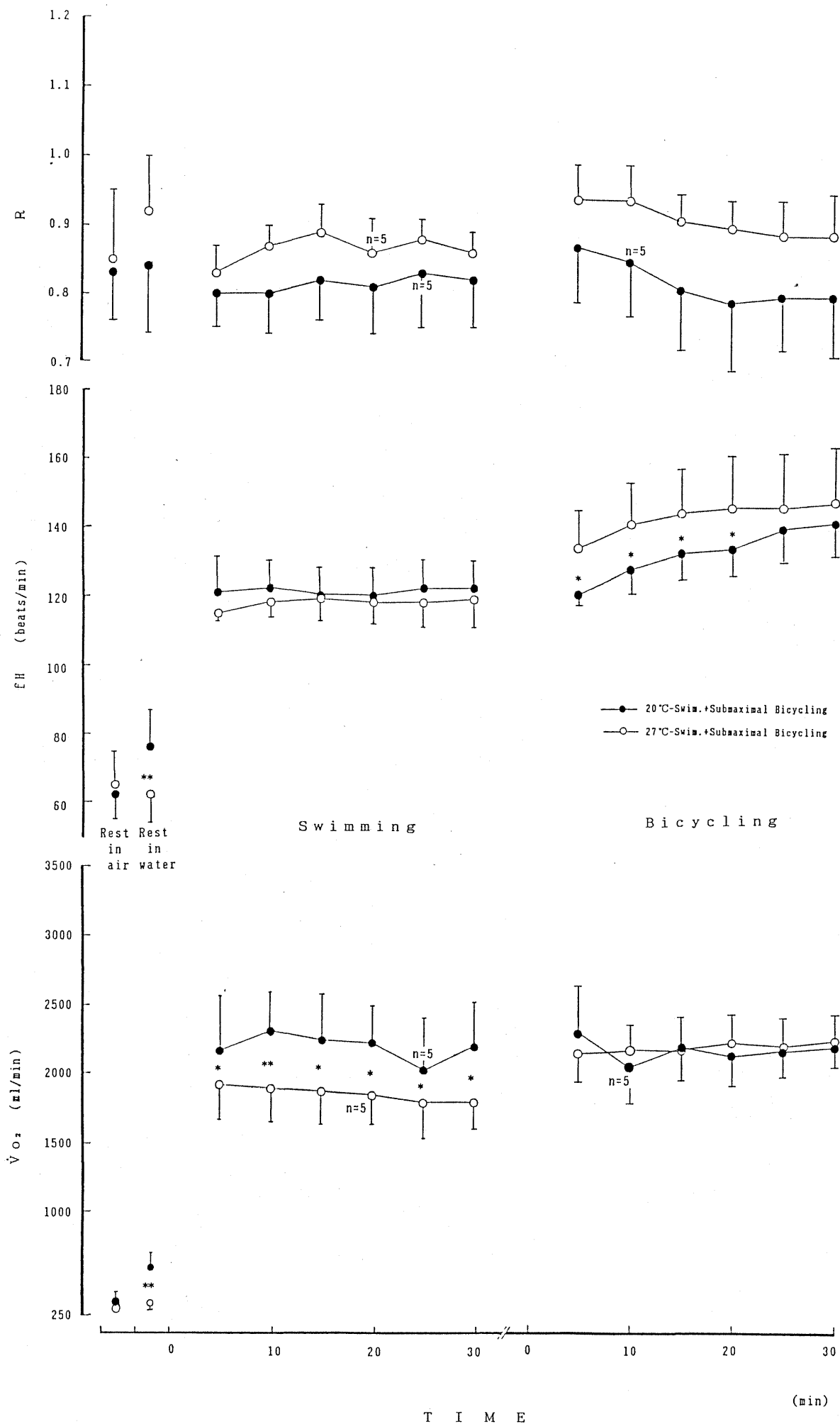


Fig.2. Changes of oxygen uptake , heart rate and respiratory exchange ratio at rest,during swimming at 20°C and 27°C , and submaximal bicycling in air.

* (P<0.05) and ** (P<0.01) show significantly different ○ from ● .

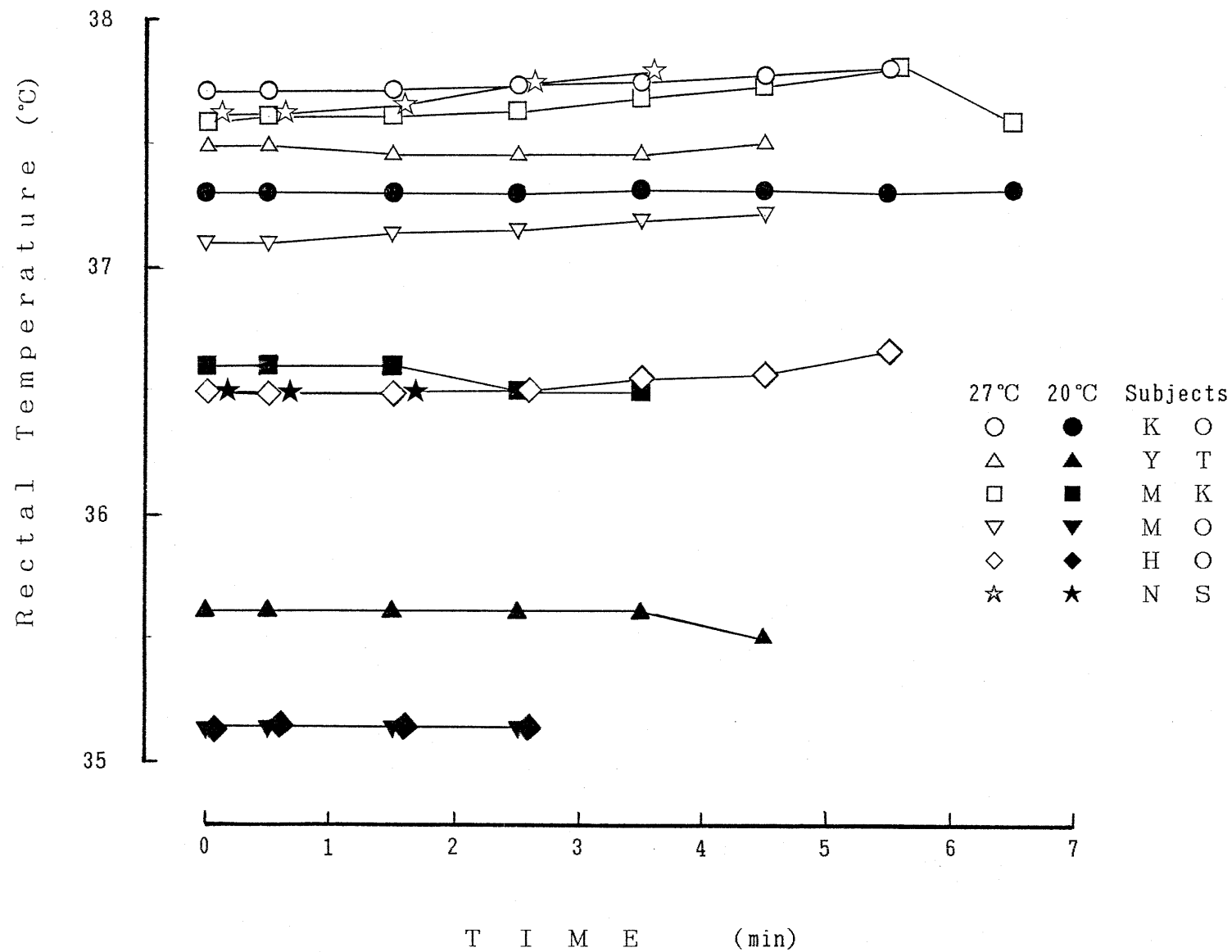


Fig. 3. Changes of rectal temperature during maximal bicycling after swimming at 20°C and 27°C.

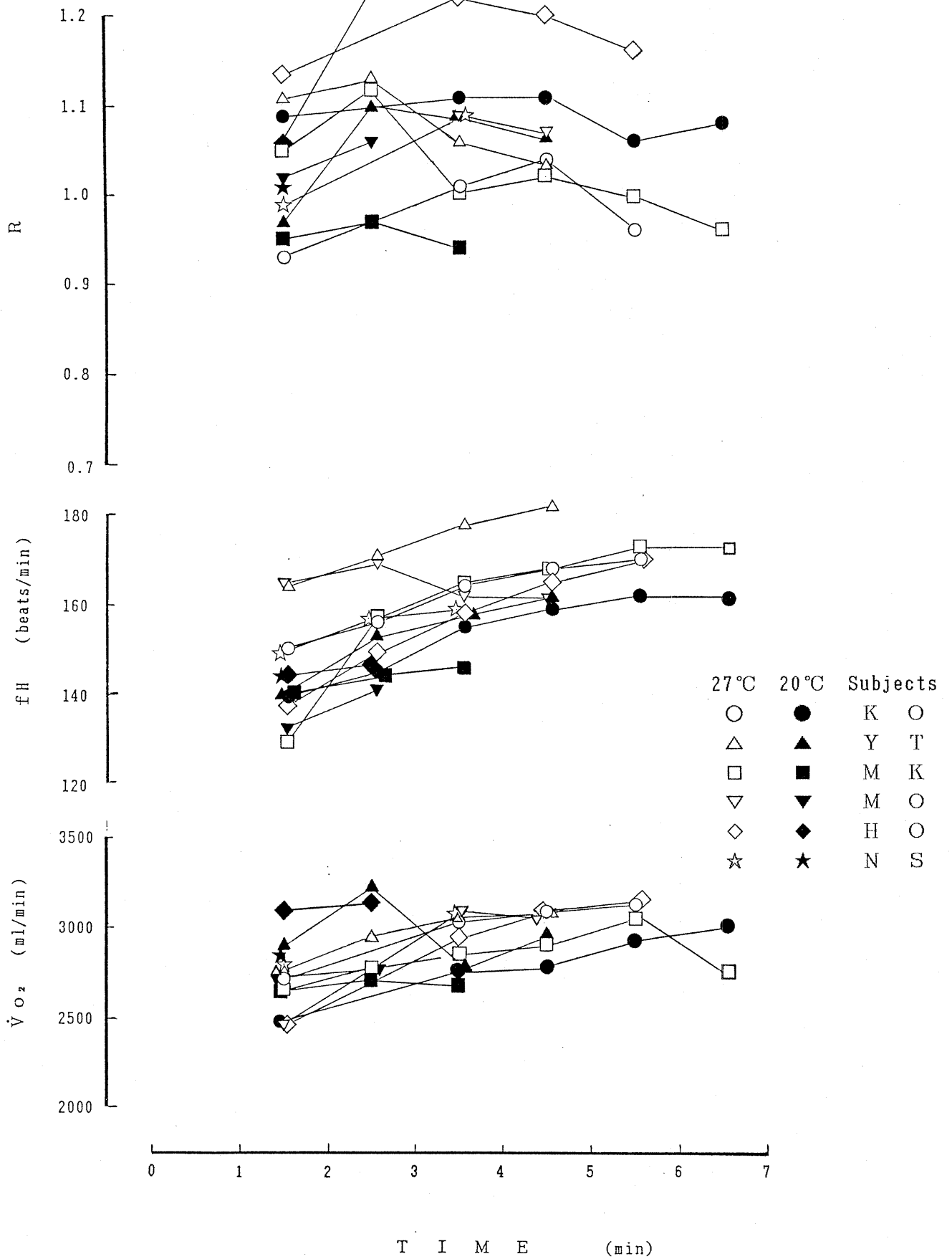


Fig. 4. Changes of oxygen uptake , heart rate and respiratory exchange ratio during maximal bicycling after swimming at 20°C and 27°C.

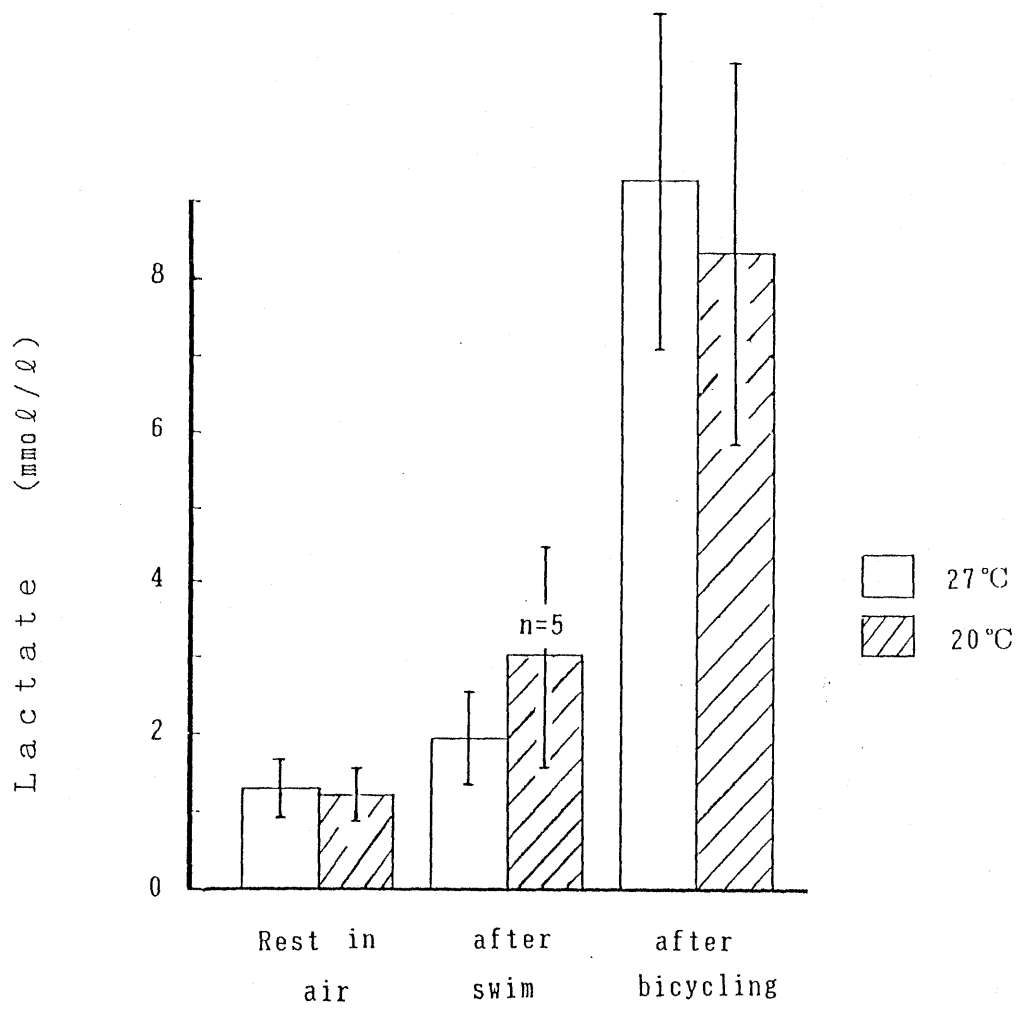


Fig.5. Changes of blood lactate concentration.

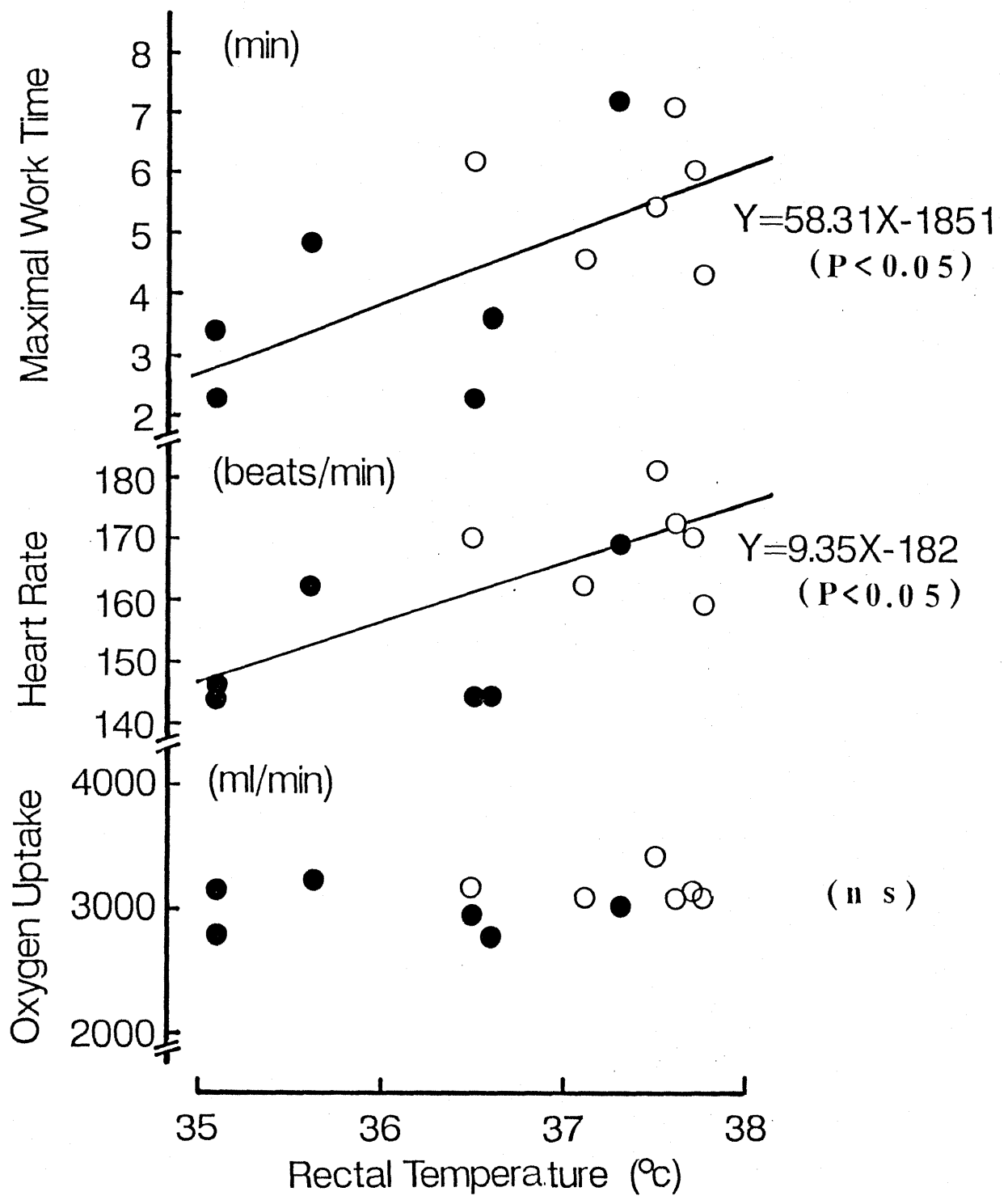


Fig.6. Maximal work time, heart rate and oxygen uptake during maximal bicycling as a function of rectal temperature at a beginning of this exercise. Solid circles: ● after 20°C swimming and open: ○ after 27°C swimming.