

2回の激運動間におけるクーリングダウンとウォーミングアップが血中乳酸の動態とパフォーマンスに及ぼす影響について

石川雄一・山神眞一・岡田泰士・藤原章司・藤元恭子

1. 緒 言

競技スポーツにおいては、より高いパフォーマンスを発揮する目的で事前に何らかの運動をウォーミングアップとして、また、運動後の疲労回復を主な目的としてクーリングダウンを実施することが一般的に行われている。ウォーミングアップやクーリングダウンは競技種目によって実施様式や方法、時間等がさまざまであるが、引き続き行われる激しい運動に対して身体が速やかに同調し最高の能力を発揮しようとするという目的で行われていることにかわりない。

ウォーミングアップがその後の運動パフォーマンスに及ぼす影響については、これまで多くの報告がなされている⁴⁾。近年、後藤ら⁹⁾はウォーミングアップ効果を運動のパフォーマンスにとって好ましくないと考えられている血中乳酸の動態から、無酸素性作業閾値(AT)レベルでのウォーミングアップはその後の課題作業における血中乳酸の蓄積を抑制する働きがあることを報告している。また、その血中乳酸抑制効果はウォーミングアップ後の休息時間が短時間であるほうがその効果が大きく、1時間の休息後には効果が消失してしまうことも報告している¹⁰⁾。

クーリングダウンについては1930年代に、激運動後の乳酸消失については安静を保つより中程度の運動を行う方が速やかであることが明らかにされている¹²⁾。以来、その強度、時間、方法等について数多くの研究が行われてきた。池上ら⁵⁾は、激運動後の回復期におけるクーリングダウンとして高・中・低強度の運動を漸減的に行うことが、乳酸消失効果の高い一定強度で行う運動と同程度の効果がみられたと報告している。また、稲沢ら⁶⁾は、実際のスポーツ場面で行われているクーリングダウンに近いと思われる中程度の運動を激運動後に間欠的に行った場合の乳酸消去に及ぼす効果について、同強度の持続的運動と同程度の乳酸消失効果がみられたことを報告している。また、後藤ら¹¹⁾は全力ペダリング運動後のクーリングダウンに水泳とペダリング運動を比較し、乳酸消去という回復側面からは水泳の効果はみられたが、引き続き行う全力ペダリング運動のパフォーマンスには好ましくない影響を与えたと報告している。

これまでウォーミングアップとクーリングダウンの研究では、個々にその生理的効果について調べたものが多い。しかしながら、実際のスポーツ場面では、陸上競技や水泳競技のように一日に予選、準決勝、決勝のように数回のレースを行うのが普通であり、球技や格技においても同じことがいえる。そういう条件下で最高のパフォーマンスを発揮していくためにも、レースや試合間に行う、ウォーミングアップとクーリングダウンの相互関係は非常に重要であることは明らかであるが、それらの組み合わせによる運動パフォーマンスに与える影響についての報告は少ない。そこで本研究では、2回の激運動間におけるクーリングダウンとウォーミングアップの組み合わせが血中乳酸の動態とパフォーマンスにどのような影響を及ぼすかについて検討することを目的とした。

2. 方 法

被験者は、年齢19～22歳の健康な男子大学生5名で、表1には彼らの年齢、身長、体重を示した。実験に先立ち、コンビ社製エアロバイク800を用いペダル回転数毎分60回転で50ワットの負荷より4分ごとに25ワットずつ負荷を漸増し、疲労困憊に至るまでペダリング運動を行った。その際、各負荷段階における最後の1分間に指先より採血し、血中乳酸濃度を求めた。そして運動強度と血中乳酸値の関係を作図し、血中乳酸濃度3 mmol/lに相当する強度をウォーミングアップとして、血中乳酸濃度2 mmol/lに相当する強度をクーリングダウンの運動強度とした。激運動である課題作業（以下CTと略す）の強度は、コンビ社製パワーマックスVを用い、無酸素パワーテストから得られたミドルパワートレーニング負荷値とした。CTは陸上競技の400m走や水泳競技の100m種目を想定し、1分間の運動とし、最初の30秒間は毎分60回転を保持し、後半の30秒は合図とともにできるだけ速く回転、持続するように指示した。なお、ウォーミングアップとクーリングダウンには上記エアロバイク800を、CTには上記パワーマックスVを用いた。

実験は1回目のCT（以下CT1と略す）を行い、2回目のCT（以下CT2と略す）との間の60分間にクーリングダウンとウォーミングアップを実施するかしないかの組み合わせで、以下4種類の条件を設定して実施した。

実験Ⅰ CT1終了5分後より20分間のクーリングダウンを行い、その後20分間の座位安静を保ち、10分間のウォーミングアップをし、その5分後にCT2を実施した。

実験Ⅱ CT1終了5分後より20分間のクーリングダウンを行い、その後35分間の座位安静を保ち、ウォーミングアップを行わずにCT2を実施した。

表1 Physical characteristics and intensity of the subjects

subject	age (years)	height (cm)	weight (kg)	w-up (watt)	c-down (watt)	CT (kp)
J. M	22	171.4	64.0	107	83	5.0
Y. O	21	174.0	58.0	125	68	4.1
R. O	22	169.0	57.7	120	90	4.1
Y. E	20	168.0	59.0	109	80	3.8
O. N	19	172.0	60.4	102	75	4.5
Mean	20.8	170.9	59.8	112.6	79.2	4.3
S. D	1.3	2.4	2.6	9.6	8.3	0.5

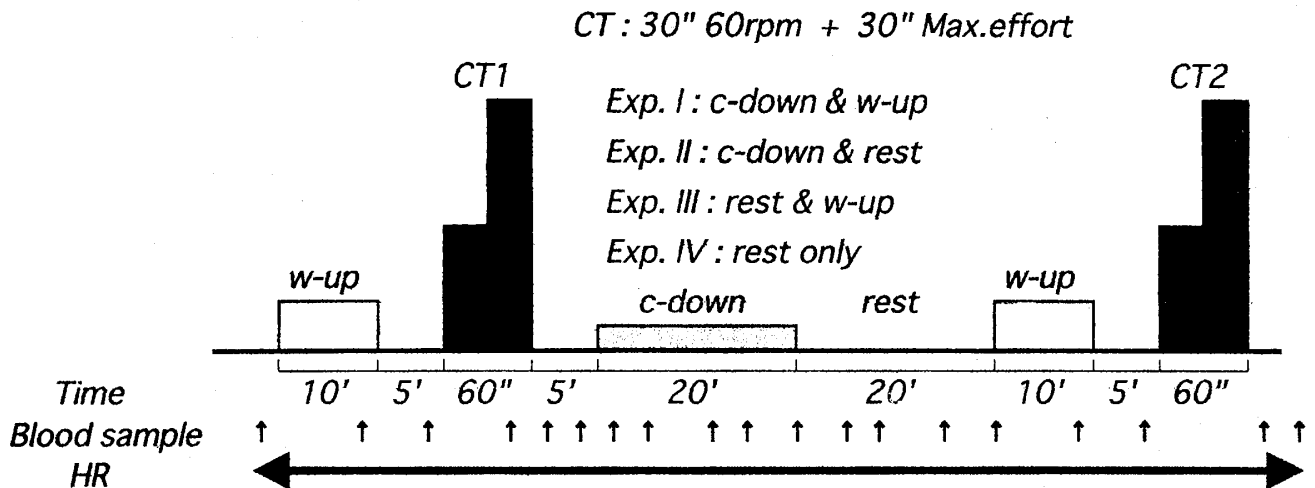


図1 Protocols of experiments

2回の激運動間におけるクーリングダウンとウォーミングアップが血中乳酸の動態とパフォーマンスに及ぼす影響について

実験Ⅲ CT1終了後にクーリングダウンを行わず、45分間座位安静を保ち、10分間のウォーミングアップをし、その5分後にCT2を実施した。

実験Ⅳ コントロール実験として、CT1終了後にクーリングダウンを行わず、60分間座位安静を保ち、ウォーミングアップも行わずにCT2を実施した。

図1に示すとおり、実験中には指先より採血し、YSI社製ラクテートアナライザー1500SPORTを用いて血中乳酸濃度を測定するとともに、心拍数をポラル社製ハートレートモニターによって連続的に測定した。また、CTのパフォーマンス評価として、ペダル回転数をデジタルVTR撮影によりモニターするとともに、パワーマックスVに表示される1分間のパワー値を測定した。各条件での実験は、それぞれ別の日に少なくとも48時間以上の間隔をとって被験者ごとにランダムに実施した。

3. 結果

血中乳酸濃度の変化は表2および図2に示した。安静時の血中乳酸濃度は、実験Ⅰで 1.47 ± 0.48 mmol/l、実験Ⅱで 1.63 ± 0.31 mmol/l、実験Ⅲで 1.61 ± 0.61 mmol/l、実験Ⅳで 1.39 ± 0.27 mmol/l でほぼ同様の値であった。最初の激運動であるCT1に先立ちウォーミングアップを10分間行ったが、終了2分前の血中乳酸濃度は、実験Ⅰで 3.48 ± 0.34 mmol/l、実験Ⅱで 3.85 ± 1.02 mmol/l、実験Ⅲで 3.73 ± 0.81 mmol/l、実験Ⅳで 3.81 ± 0.81 mmol/l となり、予定していた3.0 mmol/lの運動強度より若干高い値ではあったが、ウォーミングアップ終了後5分間に若干下降した。1分間の激運動であるCT1後の血中乳酸値のピークは終了後3分から5分にあらわれ、その値は実験Ⅰで 17.80 ± 3.36 mmol/l、実験Ⅱで 16.80 ± 3.05 mmol/l、実験Ⅲで 17.25 ± 2.28 mmol/l、実験Ⅳで 18.42 ± 2.76 mmol/l であった。CT1終了ピークまでの血中乳酸値の変化には、どの条件間でも有意差がみられなかった。

回復期の血中乳酸値の変化は、どの条件においても時間経過とともに低下傾向を示したが、その傾向は条件によって異なっていた。実験Ⅰと実験Ⅱでは、回復期初期に20分間のクーリングダウンを行っているが、行っていない実験Ⅲや実験Ⅳと比較すると、クーリングダウン開始10分目から顕著な低下傾向を示した。クーリングダウン開始から10分目では、実験Ⅰが 19.29 ± 0.95 mmol/l、実験Ⅱで 10.86 ± 1.66 mmol/l、15分目では、実験Ⅰが 7.00 ± 2.32 mmol/l、実験Ⅱで 7.25 ± 2.07 mmol/l、そしてクーリングダウン終了時には、実験Ⅰが 14.98 ± 1.77 mmol/l、実験Ⅱで 4.50 ± 1.29 mmol/l、と有意に低い値を示した。さらには安静回復開始後10分目まで有意な低下傾向はみられたが、それ以後の回復期においては、CT2に先立つウォーミングアップを行うまで、実験ⅠとⅡは実験ⅢとⅣよりは低い値を示したが、有意差はみられなかった。

表2 Changes of blood lactate during experiments

	pre CT1		CT1		c-down or rest					rest		pre CT2		CT2	
	rest	w-up	pre CT1	peak	5'	10'	15'	20'	5'	10'	rest	15'	20'	w-up or rest	pre CT2
Exp. I	1.47	3.48	3.07	17.80	15.37	9.29*	7.00	4.98**	4.93	4.81*	3.64	4.13	5.09	3.38	18.56
	0.48	0.34	0.61	3.36	3.05	0.95	2.32	1.77	2.72	2.27	1.63	2.00	2.27	0.64	1.74
Exp. II	1.63	3.85	3.06	16.80	15.19	10.86	7.25*	4.50**	3.83**	3.71**	3.66	3.10	2.90	2.82	17.01
	0.31	1.02	1.05	3.05	2.28	1.66	2.07	1.29	0.95	0.63	0.82	0.64	1.29	1.23	2.08
Exp. III	1.61	3.73	2.81	17.25	15.96	14.77	10.90	9.37	7.52	6.25	5.20	5.16	4.55	3.88	16.63
	0.61	0.81	0.78	2.28	2.79	4.97	3.97	3.06	2.43	2.25	2.07	3.09	1.36	1.16	3.20
Exp. IV	1.39	3.81	3.12	18.42	16.69	13.68	11.53	8.81	7.52	6.67	5.40	4.40	3.84	3.73	17.39
(Control)	0.27	0.81	0.50	2.76	3.27	2.22	2.06	1.55	1.15	1.43	1.39	0.81	0.96	1.01	3.00

** : $p < 0.01$ * : $p < 0.05$ (Exp. IVとの有意差を示す) ** : $p < 0.01$ * : $p < 0.05$ (Exp. IIIとの有意差を示す)

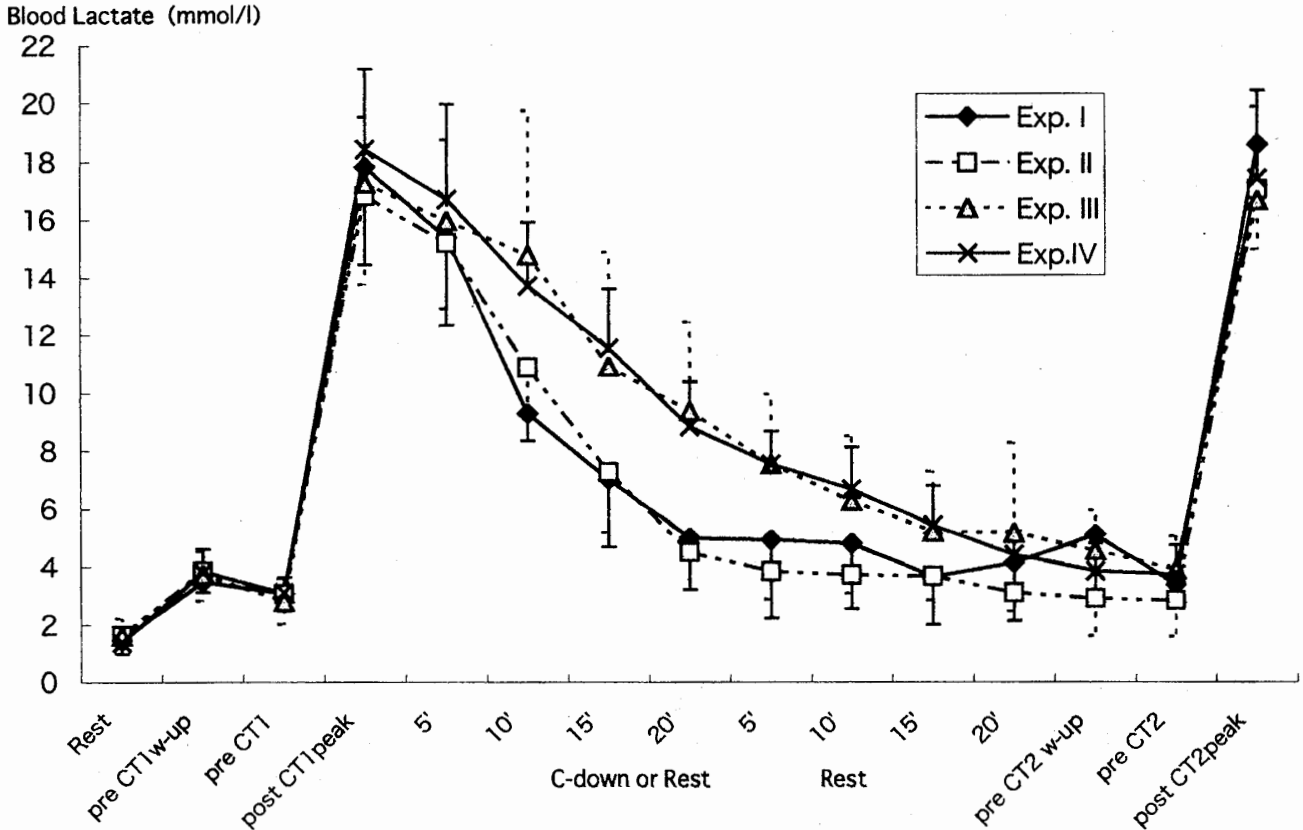


図2 Changes of blood lactate during experiments

その後、実験Ⅰと実験ⅢではCT2に先立ちウォーミングアップを10分間行ったが、その終了2分前の血中乳酸濃度は、実験Ⅰにおいては $5.09 \pm 2.27 \text{ mmol/l}$ と再び上昇し、CT2直前にはCT1の時と同じくらいの値になった。実験Ⅲにおいては $4.55 \pm 1.36 \text{ mmol/l}$ と安静回復期終了時点の値からさらに下降した。CT2直前の値はCT1直前の値より若干高めではあったが、有意な差ではなかった。実験Ⅱと実験Ⅳでは、CT2に先立つウォーミングアップを行わず、そのまま安静を保ったままであったが、血中乳酸濃度は低下し続けたが、実験開始前の安静時値と比べると若干高い値を示している。しかし、CT1直前の値と比較するとほぼ同様の値となっている。

2回目の激運動であるCT2後の血中乳酸値のピークは終了後3分から5分にあらわれ、その値は実験Ⅰで $18.56 \pm 1.74 \text{ mmol/l}$ 、実験Ⅱで $17.01 \pm 2.08 \text{ mmol/l}$ 、実験Ⅲで $16.63 \pm 3.20 \text{ mmol/l}$ 、実験Ⅳで $17.39 \pm 23.00 \text{ mmol/l}$ であった。CT1終了後の血中乳酸値のピークと比較すると、実験Ⅰと実験Ⅱではやや高めであり、実験Ⅲと実験Ⅳではやや低めであったが有意差はみられなかった。

心拍数は実験中連続的に測定し、5秒ごとにメモリーされたものを各時間経過の段階で安定しているところを平均して求めた。実験中の心拍数の変化は図3に示した。CT1、CT2に先立つウォーミングアップ時、激運動であるCT1、CT2実施時、そして回復期のクーリングダウン実施時は運動をしているため、心拍数はその強度に応じて上昇し、運動を停止すると下降した。回復期においては、条件によってその変化は違いがみられた。実験Ⅰと実験Ⅱでは前半、クーリングダウン実施中の20分間の心拍数が122~124拍/分であり、安静回復をしている実験Ⅲ、実験Ⅳの86~99拍/分に比べ心拍数は有意に高い値を示した。また、実験Ⅰと実験ⅢではCT2に先立つ10分間のウォーミングアップを行っている時の心拍数が129~136拍/分であり、安静を保持している実験Ⅱ、実験Ⅳの68~76拍/分に比べると有意に上昇した。

激運動であるCTのペダリング運動(60秒間)のパフォーマンスを評価するために、CT後パワー

2回の激運動間におけるクーリングダウンとウォーミングアップが血中乳酸の動態とパフォーマンスに及ぼす影響について

マックスVに表示されるパワー値と、後半の30秒間に発揮された最大のペダリング回転数を表3および図4に示した。1回目の激運動であるCT1のパワー値は、実験Iで 367.2 ± 37.1 Watt、実験IIで 364.4 ± 27.6 Watt、実験IIIで 366.2 ± 30.0 Watt、実験IVで 365.2 ± 30.5 Wattであり、その時の最大回転数は実験Iで 141.6 ± 16.1 回/分、実験IIで 139.0 ± 17.4 回/分、実験IIIで 142.0 ± 17.4 回/分、実験IVで 138.6 ± 13.0 回/分であった。

回復期を経過して実施したCT2のパフォーマンスは、条件により違いがみられた。クーリングダウンの有無にかかわらず、CT2に先だってウォーミングアップを行った実験Iと実験IIIでは、パワー値においては 368.2 ± 35.7 Watt、 364.6 ± 35.8 Watt、最大回転数では 141.4 ± 18.2 回/分、 141.8 ± 19.3 回/分とCT1ほぼ同等のパフォーマンスを示している。これに対して、クーリングダウンの有無にかかわらず、CT2に先だってウォーミングアップを行わず、安静を保持したままからCT2を実施した実験IIと実験IVでは、パワー値においては 352.0 ± 27.4 Watt、 351.2 ± 28.2 Wattと有意にその値が低下した。また、最大回転数においては、実験IVにおいては 133.0 ± 15.6 回/分と有意に低下し、実験IIにおいても有意ではないが、 134.6 ± 13.3 回/分と低下傾向を示した。また、CT2のパフォーマンスに関して、実験Iと実験IVの間のみ有意差があった。

HR (beats/min.)

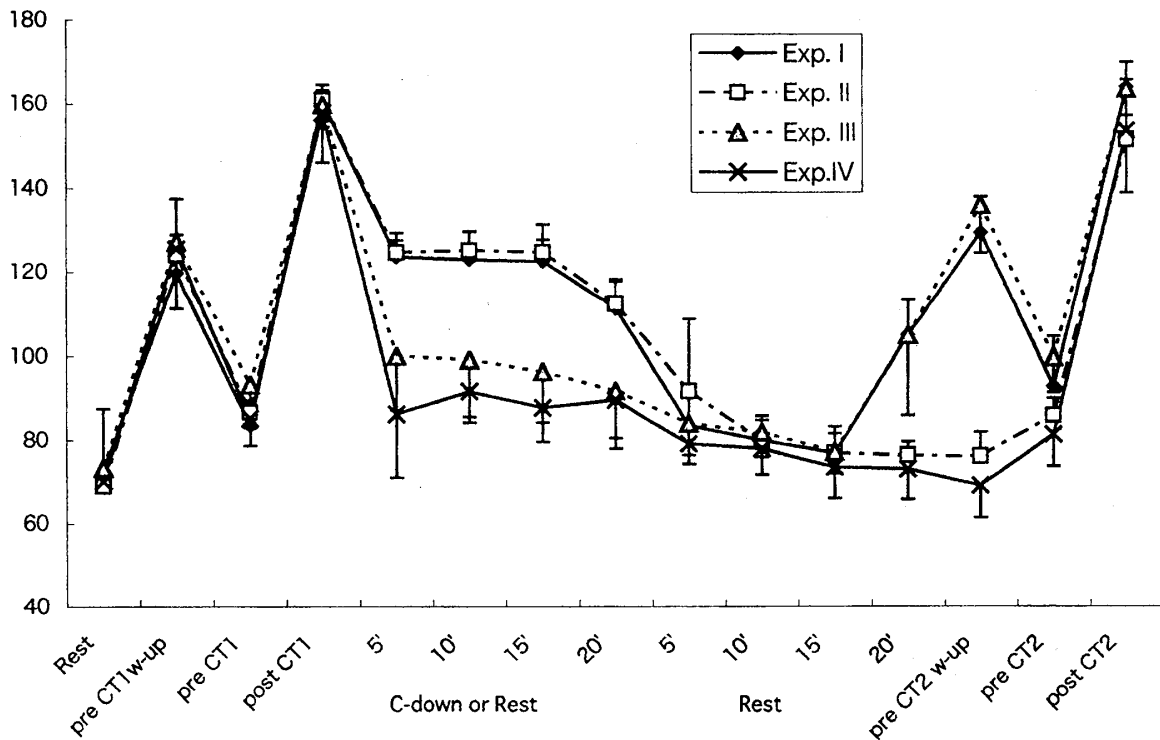


図3 Changes of Heart rate during experiments

表3 Changes of power and max.peddaling rate in CT1 and CT2

	CT1		CT2	
	Power	Max. pedaling rate	Power	Max. pedaling rate
Exp. I	367.2 ± 37.1	141.6 ± 16.1	368.2 ± 35.7	141.4 ± 18.2
Exp. II	364.4 ± 27.6	139.0 ± 17.4	352.0* ± 27.4	134.6 ± 13.3
Exp. III	366.2 ± 30.0	142.0 ± 17.4	364.6 ± 35.8	141.8 ± 19.3
Exp. IV (Control)	365.2 ± 30.5	138.6 ± 13.0	351.2* ± 28.2	133.0* ± 15.6

* : $p < 0.05$ (CT1との有意差を示す)

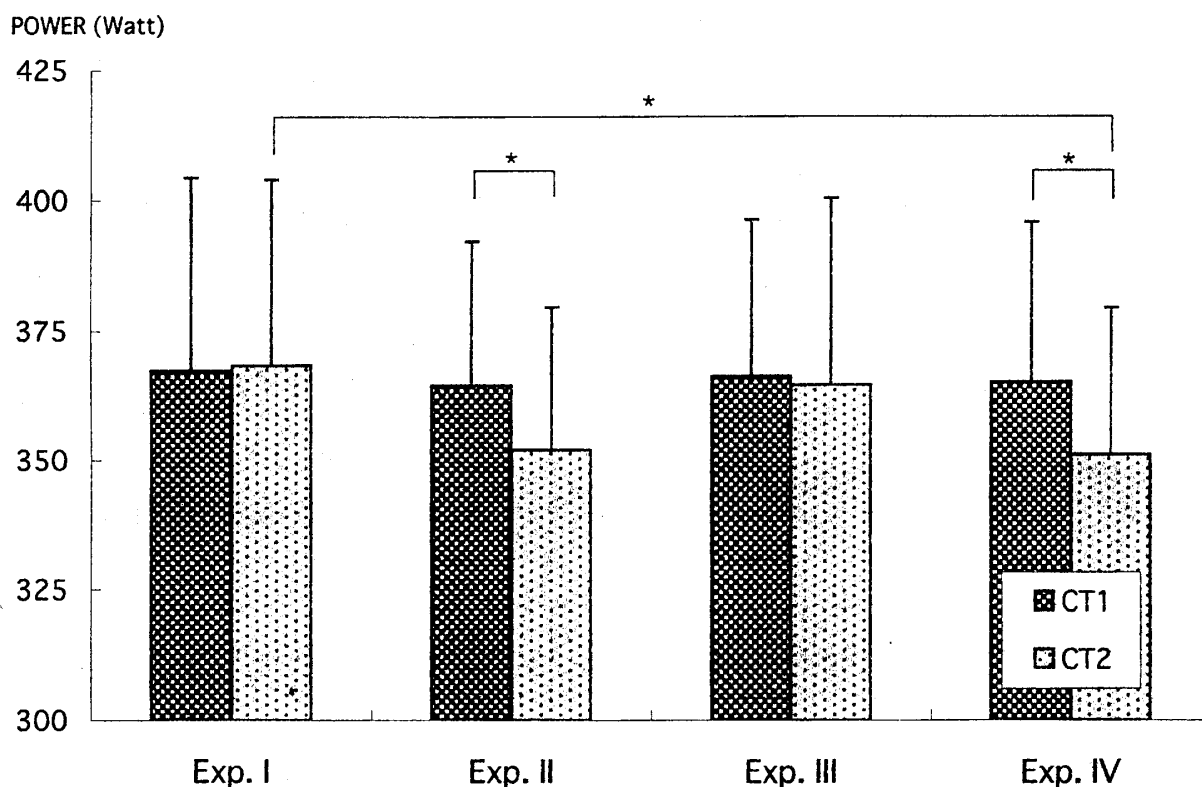


図4 Changes of Power in CT1 and CT2

4. 考 察

本研究で行った課題作業である1分間のCTは、ペダリング負荷は変えずに前半の30秒間を一定の速度（ペダル回転数60回転）で行い、後半の30秒間を最初から最大回転数を維持するように行った無酸素系運動である。無酸素系運動には、筋中に蓄積されているクレアチンリン酸やアデノシン三リン酸の分解に伴うエネルギーを利用する生理機構（ATP-PC系）と、エネルギー源である筋中グリコーゲンを無酸素的に分解してピルビン酸となる過程で発生するエネルギーを利用する生理機構（乳酸系）が大きくはたらいっている。今回のCTはまさにその2つの生理機構を使い尽くす強度と持続時間であることに間違いはないものがある。今回、各実験で行われたCT1、CT2のすべてで測定された血中乳酸濃度のピーク値が16.63~18.56mmol/lであったことから容易に推定できるであろう。根本ら⁸⁾はエネルギー獲得機構が乳酸系に依存する種目（運動時間30秒~5分間）において、競技直後の血中乳酸濃度が高いほど競技成績がよくなることを示唆している。測定方法や機器の違いはあるが、今回の実験で測定された血中乳酸濃度はいくつかの研究論文^{5) 6) 7) 8) 9)}と比較しても高い値となっている。

このような無酸素系運動では、運動を持続するとともに乳酸が筋中や血中に蓄積されると、筋細胞でのpH低下に伴い筋収縮が阻害され、いわゆる「疲労」の状態になる。したがって、この乳酸を抑制・除去することは、無酸素系運動のパフォーマンスを高める上で重要となる。激運動後の血中乳酸濃度の低下、すなわち乳酸の除去については、有酸素運動を行った方が安静を保持するよりも速いことはこれまでも報告されている^{2) 5) 6) 11) 12)}。

本研究においても、実験Iと実験IIにおいて、CT1後の血中乳酸濃度の低下にクーリングダウンが有意にはたらいっていることが実証されている。その乳酸消失平均速度を算出してみると実験Iが毎分0.63 mmol/l、実験IIが毎分0.60 mmol/lであり、実験IIIの毎分0.36mmol/l、実験IVの毎分0.36 mmol/lと約2倍の速度の差がみられた。にもかかわらず、実験IのようなCT2のパフォーマンス発揮が、実験IIではみられなかったところか、有意に低下した。また、クーリングダウンを行わな

2回の激運動間におけるクーリングダウンとウォーミングアップが血中乳酸の動態とパフォーマンスに及ぼす影響について

かった実験Ⅲにおいては、CT2のパフォーマンスの低下がみられず、パフォーマンスを維持できていた。コントロール実験でもある実験Ⅳにおいては、CT2の顕著なパフォーマンス低下がみられた。石井は³⁾本実験と同じような手順で、CT1とCT2の間の回復時間を1時間40分に設定して実験を行っている。そのなかで、2つの激運動間が一定時間あいてしまうとクーリングダウンの有無によらず、ウォーミングアップを実施した方が高いパワーを発揮できたと報告している。今回、CT間の時間を1時間に設定してみたが、石井の報告と同様な結果となった。また、実験Ⅲにおいて、CT2に先立つウォーミングアップ直前の安静回復の血中乳酸濃度が十分に低下していない状態 ($5.16 \pm 3.09 \text{ mmol/l}$) であったため、その後のウォーミングアップがクーリングダウンの役割まで果たしているのではないかと推測された。

以上のことから2回の激運動間における間隔が1時間程度である場合、2回目の激運動のパフォーマンスに及ぼす影響は、直前に行われるウォーミングアップが大きく関与しているものと考えられる。しかしながら1回目の激運動の疲労物質である乳酸を速やかに消失させたいうで、ウォーミングアップを行う場合のほうがより高いパフォーマンスを得る可能性があると言えよう。

5. 終わりに

実際のスポーツ競技において、例えば水泳競技では100m種目は50秒から1分程度で終了する無酸素運動であるが、競技会の規模によれば予選を泳いだ数時間後、決勝を泳ぐといったことが頻繁に行われている。そして、その間のインターバルでは、予選後にはクーリングダウンを決勝前にはウォーミングアップを行うのが普通である。そういった競技場面を想定し実験を計画してみた。今回の研究は従来の研究方法の融合したものであり、結果を簡単に考察できるものではないと思われる。日頃からどちらも重要と思われてきたが、試合やレースの開始時間、クーリングダウンやウォーミングアップの方法、時間的制約、施設等いろいろな制限があるのが実際のスポーツ競技である。さらに細かい条件設定を行うことで、より有効な情報が得られることを期待するところである。

参考文献

- 1) 青木純一郎 (1988) ウォーミングアップとクーリングダウン、*Japanese Journal of Sports Science*、7、10、618-619
- 2) 青木純一郎 (1988) クーリングダウンの生理学、*Japanese Journal of Sports Science*、7、10、628-632
- 3) 石井栄二郎 (1997) ウォーミングアップとクーリングダウンがその後の血中乳酸動態およびパフォーマンスに及ぼす影響、平成8年度香川大学教育学部卒業論文
- 4) 石河利寛 (1973) ウォーミング・アップの生理学、*体育学研究*、18、1-8
- 5) 池上晴夫、稲沢美矢子、近藤徳彦 (1986) 乳酸消失からみたクーリングダウンに関する研究 —特に漸減強度の回復期運動の効果について—、*筑波大学体育科学系紀要*、9:151-158
- 6) 稲沢美矢子、西保岳、近藤徳彦、勝田茂、池上晴夫 (1987) 乳酸消失からみたクーリングダウンの効果に関する研究 —間欠的回復期運動の場合—、*体育学研究*、33(2):145-153
- 7) 後藤真二、池上晴夫 (1986) ウォーミング・アップがパフォーマンス及びエネルギー生産能力に及ぼす効果・1分間及び5分間運動の場合、*いばらき体育・スポーツ科学*、224-32
- 8) 後藤真二、池上晴夫 (1986) 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
- 9) 後藤真二、池上晴夫 (1987) 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(2):78-84

- 10) 後藤真二、(1993) ウォーミング・アップの運動時血中乳酸蓄積抑制効果に対する休息時間の影響、群馬栃木保健体育学研究、12：19-26
- 11) 後藤真二、樫崎龍一 (1995) 水泳による積極的回復がその後の血中乳酸動態およびパフォーマンスに及ぼす影響、デサントスポーツ科学、16：209-216
- 12) Newman, E. V., Dill, D. B., Edwards, H. T. and Webster, F. A., (1937) The rate of lactic acid removal in exercise, J. Appl. Physiol., 118：457-462
- 13) 根本勇、土谷一見、岩岡研典、田畑泉、田中邦雄 (1990) ペース配分が血中の乳酸・電解質濃度およびパフォーマンスに及ぼす影響 スピードスケートを1000mをシミュレートした最大自転車駆動について、トレーニング科学、2：62-67