

クレアチン摂取が暑熱環境下における 長時間間欠的運動のパフォーマンスに及ぼす影響

小山工業高等専門学校 石 崎 聡 之
(共同研究者) 順天堂大学 内 藤 久 士
同 形 本 静 夫
同 青 木 純 一 郎
立 教 大 学 安 松 幹 展

Effects of Creatine Supplementation on Prolonged Intermittent Exercise Performance in the Heat

by

Satoshi Ishizaki
Oyama National College of Technology
Hisashi Naito, Shizuo Katamoto, Junichiro Aoki
Juntendo University
Mikinobu Yasumatsu
Rikkyo University

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the effects of creatine (Cr) supplementation on performance during prolonged intermittent exercise in a hot environment. Twelve collegiate football players performed prolonged intermittent exercise in the heat environment (room temperature : 32.0 ± 0.2 °C, relative humidity : $58.5 \pm 1.4\%$) before and after 5 days of Cr (Cr 20g/day, Cr group : n=6) or placebo supplementation (Lactose 20g/day, Pla group : n=6). As a results, both supplementation didn't change body weight. And there were no differences in heart rate, weight loss, and blood lactate concentration during exercise between both groups. However, in the Cr

group, rectal temperature during intermittent were decreased at the set of 5, 10, 15, 20, 25, and mean power output was significantly increased (pre; 741.5 ± 77.2 vs post; 763.6 ± 78.8 watt, $p < 0.01$). In conclusion, Cr supplementation improves power output and thermoregulatory response during prolonged intermittent exercise in the heat environment.

要 旨

クレアチン (Cr) 摂取が、男子大学サッカー選手を対象とした長時間間欠的運動時のパフォーマンスに及ぼす影響を検討した。被験者は二重盲検法により Cr 群またはプラセボ (Pla) 群に振り分けられ、Cr 群は Cr を、Pla 群はラクトースを 1 日 20g、5 日間摂取した。サプリメント摂取期間の前後に、環境温度 $32.0 \pm 0.2^\circ\text{C}$ 、相対湿度 $58.5 \pm 1.4\%$ の実験室において、自転車エルゴメータを用いた長時間の高強度間欠的運動を行った。運動は体重の 7.5% の負荷 (kp) で 5 秒間の全力ペダリング、25 秒の無負荷ペダリング (80rpm)、30 秒の完全休息を 1 セットして 45 セット行うものであった。運動の前後に、採血および体重測定を行った。また、運動中は 1 セットごとのパワー、直腸温、心拍数、および血中乳酸濃度を測定した。その結果、サプリメントの摂取前後で、体重および長時間間欠的運動時の心拍数、体重減少率、および血中乳酸濃度には両群とも変化がみられなかったが、直腸温は Cr 群のみ 5~25 セット時に有意に低い値を示した。また、パワーは Cr 群においてのみ、摂取前 (741.5 ± 77.2 watt) に対して摂取後 (763.6 ± 78.8 watt) で有意な増加が観察された ($p < 0.01$)。結論として、Cr 摂取は暑熱環境下における長時間間欠的運動時の体温上昇を抑制するとともに、そのパフォーマンスの発揮に効果的に作用することが明らかになった。

緒 言

クレアチン (Cr) は競技パフォーマンスを高め

る栄養サプリメントとして、年齢、競技レベルを問わず幅広く用いられている^{4, 6, 14, 15})。1 日 20g 程度の Cr を 5-6 日間にわたり経口摂取することで、骨格筋内の Cr^{2, 5, 8, 9, 11}) およびクレアチンリン酸 (PCr) 量^{5, 11, 16}) が増加することが報告されている。PCr 貯蔵量の増加は、ATP-CP 系のエネルギー供給系に依存するような運動において、ATP の再合成を促進する上で非常に重要な役割を果たすものと考えられている。これまで Cr 摂取が運動パフォーマンスに及ぼす影響を検討した報告では、短時間・高強度運動と休息を繰り返す間欠的運動を対象とした研究が数多く行われ、パワーの向上²³)、疲労の遅延^{1, 7})、ランニングタイムの向上¹⁹) など様々な効果が明らかにされてきた。われわれも Cr 摂取がユースサッカー選手を対象として、自転車エルゴメータを用いた間欠的運動に及ぼす影響を検討した結果、パワーの向上に有効であることを報告した¹³)。

また、Cr 摂取による形態的特徴として、体水分量の増大が引き起こされることが報告されている³)。このことは、脱水等によるパフォーマンスの低下が問題となる暑熱環境下における長時間高強度運動時に、Cr 摂取が何らかのプラスの効果をもたらすことが予想される。しかしながら、Cr 摂取に関するこれまでの先行研究は 20~25 $^\circ\text{C}$ 程度の実験環境で行われているのみであり、30 $^\circ\text{C}$ 以上である暑熱環境下における報告はほとんどみられていない。競技者の多くは暑熱環境あるいは多湿の条件下においてもトレーニングや試合を行なわなければならない状況にしばしば遭遇するが、このような状況を想定して高温環境下で Cr 摂取

が生体に及ぼす影響を検討することは、スポーツ現場においては競技力の向上のみならず、安全性の確保の観点からも非常に重要であると考えられる。

そこで、本研究はCr摂取が暑熱環境下における長時間間欠的運動時の体温調節機能とパフォーマンスに及ぼす影響を検討することを目的とした。

1. 実験方法

1. 1 被験者

被験者は関東大学サッカーリーグ1部に所属する男子サッカー選手12名であった。被験者には、本研究の内容を口頭および文書で十分に説明し、口頭および書面による同意を得た。本研究は順天堂大学スポーツ健康科学部の倫理委員会によって承認された。なお、被験者の身体特性は表1に示した。

表1 Physical characteristics of the subjects

	Cr (n=6)	Pla (n=6)
Age (yr)	19.7 ± 0.8	19.5 ± 1.0
Height (cm)	177.8 ± 3.9	177.2 ± 7.9
Weight (kg)	70.6 ± 4.5	71.5 ± 9.9
$\dot{V}O_{2max}$ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	65.1 ± 2.5	60.7 ± 6.0
MAnP (W)	920.5 ± 87.0	886.8 ± 150.0
MAnP (W/kg)	13.2 ± 1.0	12.5 ± 1.3

Values are mean ± SD. MAnP: Maximal Anaerobic Power

1. 2 実験手順

被験者はクレアチン摂取期間の前後、実験室に入室し、採血、体重・身体組成の測定、および長時間間欠的運動を行った。前日には激しい運動、アルコール摂取、夜9時以降は入室まで飲食物の摂取を控えさせた。採取された血液は、直ちに遠心分離(3000回転, 5分間)し、上清のみを冷凍保存(-85℃)した。それから、軽食(ウイダーインゼリー×2: Weider社製, オレンジジュース100ml)を取り、十分な休憩時間をおいた。運動開始の1時間前、被験者は直腸温プローブと無線式スポーツ心拍計を装着した後に、ウォームア

ップを開始した。ウォームアップはストレッチング15分および体重の7.5%の負荷で5秒間の全力ペダリング, 25秒間の無負荷ペダリング(80rpm), 30秒間の完全休息を1セットとして3セット行った。被験者はウォームアップ中(300ml)および後(200ml)に合わせて500mlのミネラルウォーター(4℃)を摂取した。5分間の休憩後、長時間間欠的運動を行った。運動中は水分の補給を行わなかった。運動後、測定機器類を外し再び裸体で体重を測定した。長時間間欠的運動の翌日から、被験者は5日間のCrまたはプラセボ摂取を開始した。サプリメント摂取期間終了の翌日、後値測定として同様の長時間間欠的運動を行い、Cr摂取の効果について比較検討した。

本研究の実験期間は平成17年7月~9月中旬であり、被験者は日常のトレーニングとして、1日2時間を週6日間行っていた。実験時間については体温の日内変動の影響を考慮して、各被験者とも同一の時間に行うこととした。また、被験者は本実験の開始前に少なくとも2回、トレーニングおよび測定機器に慣れるための練習を行っていた。実験期間中は通常食を取り、規則的な生活をするよう指示した。なお、実験には高温高湿室を利用し、環境条件は気温32.0 ± 0.2℃, 相対湿度58.5 ± 1.4%であった。

1. 3 Cr摂取

実験開始前、被験者は身体特性(表1)を参考に、二重盲検法を用いてクレアチン群(Cr群: 6名)あるいはプラセボ群(Pla群: 6名)に振り分けられた。Cr群はCreatine Monohydrate(Kenko社製)を、1回5g1日4回、5日間摂取した。一方、Pla群はプラセボとしてLactose Monohydrate(Kenko社製)を同様の方法で摂取した。なお、各サプリメントには味付けとして、ラクトース0.75g, クエン酸0.20g, スクラロース0.02g, ヨーグルト香料0.03gが添加されていた。

Crおよびプラセボはいずれもヨーグルト味のついた白色の粉末であり、銀色のパッケージに封入されていたため、区別がつかない状態であった。Crおよびプラセボは専用のドリンクボトルにサプリメントを入れ、150mlの熱湯で完全に溶かした後に、素早く摂取させた。なお、サプリメントの摂取時間は朝、昼、午後（15時前後）、夕（夜19時前後）とし、摂取間隔は2時間以上空けて摂取することとした。

1. 4 長時間間欠的運動

長時間の間欠的運動は電磁式の自転車エルゴメータ（POWERMAX-V, COMBI社製）を用いて行われた。運動は体重の7.5%（kp）の負荷で5秒間の全力ペダリング、25秒間の無負荷ペダリング（80rpm）、30秒間の完全休息を1セットとして45セットから構成されていた。負荷については、両群共にサプリメント摂取前後で一定にした。

1. 5 測定項目

1. 5. 1 パワー

長時間の間欠的運動中、各全力ペダリング後に算出される5秒間の平均パワーを記録した。

1. 5. 2 身体組成

サプリメント摂取前後の各安静時に、高精度体成分分析装置（InBody 3.2, 最小単位0.1kg, Biospace社製）を用いてインピーダンス法により、体重、体脂肪量、体脂肪率、除脂肪体重（Fat free mass : FFM）、体水分量（Total body water : TBW）、細胞内水量（Intracellular water : ICW）、および細胞外水量（Extracellular water : ECW）について測定した。測定時、被験者は下着のみの着用とした。

1. 5. 3 心拍数

長時間間欠的運動中、無線式スポーツ心拍計（S610i, POLAR社製）を用いて5秒ごとに記録した。

1. 5. 4 体重減少率

体重減少率は、間欠的運動の前後にデジタル精密体重計（UC-321, 最小単位50g, A&D社製）を用いて全裸体重を測定し、運動前から運動後の体重を減じることによって得られた値を運動前体重で除し、100を乗じることで算出した。

1. 5. 5 直腸温

直腸温の測定はサーミスタの先端を直腸内に12cm挿入し、データ収録型ハンディタイプ温度計（LT-8, 最小単位0.01℃, Gram Corporation社製）を用いて5分ごとに記録した。

1. 5. 6 血中乳酸濃度

運動前の安静時、長時間間欠的運動の15, 30, 45セット目、および運動終了5分後に耳朶部より採血（20μl）を行い、乳酸分析器（BIOSEN5040L, EKF社製）を用いて血中乳酸濃度を測定した。

1. 5. 7 血液分析

サプリメント摂取期間前後の安静時に、ヘマトクリット（HCT）値、アスパラギンサンアミノトランスフェラーゼ（AST）、アラニンアミノトランスフェラーゼ（ALT）、クレアチン（Cr）、およびクレアチニン（Crn）の分析のため採血を行った。また、運動終了5分後には、HCT値を分析するため、再度採血を行った。採取された血液は、直ちに遠心分離（3000回転、5分間）し、上清のみを冷凍保存（-85℃）した。その後、市販の測定キットを用いて分析した。

1. 6 統計処理

本文および図表の値は全て平均±標準偏差（mean±SD）で示した。Crまたはプラセボ摂取前後の差の検定はpaired t-testを用いた。グループ間の差の検定についてはunpaired t-testを用いた。有意水準はp<0.05とした。

表2 Body composition in Cr and Pla groups

	Cr		Pla	
	pre	post	pre	post
Weight (kg)	69.1 ± 4.8	69.3 ± 4.3	70.7 ± 9.6	70.9 ± 10.0
fat (%)	11.6 ± 1.9	11.2 ± 1.5	13.8 ± 1.9	13.6 ± 1.8
fat (kg)	7.9 ± 1.2	8.2 ± 1.2	9.8 ± 2.1	9.7 ± 1.9
FFM (kg)	61.1 ± 4.7	61.6 ± 4.8	60.9 ± 8.1	61.3 ± 8.8
TBW (L)	42.5 ± 3.4	42.8 ± 3.3	42.3 ± 5.7	42.6 ± 6.1
ICW (L)	29.3 ± 2.2	29.6 ± 2.3	28.8 ± 3.5	28.9 ± 3.8
ECW (L)	13.1 ± 1.2	13.2 ± 1.1	13.5 ± 2.1	13.7 ± 2.3

Values are mean ± SD

2. 実験結果

2.1 身体組成

Crまたはプラセボ摂取前後の身体組成を表2に示した。いずれの項目においても、両群ともに有意な変化が観察されなかった。

2.2 心拍数

長時間間欠的運動中の心拍数の変化を図1に示した。両群における運動時の平均心拍数はCr群が摂取前150.0 ± 15.9拍/分、摂取後が149.9 ± 12.7拍/分、また、Pla群は摂取前151.2 ± 9.7拍/分、摂取後が148.2 ± 8.8拍/分であった。各サプリメントの摂取前後あるいはグループ間で有意な差はなかった。

2.3 体重減少率

体重減少率は図2に示した。両群ともサプリメ

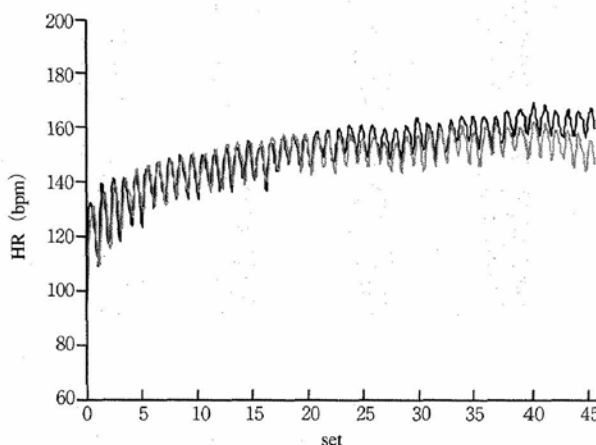
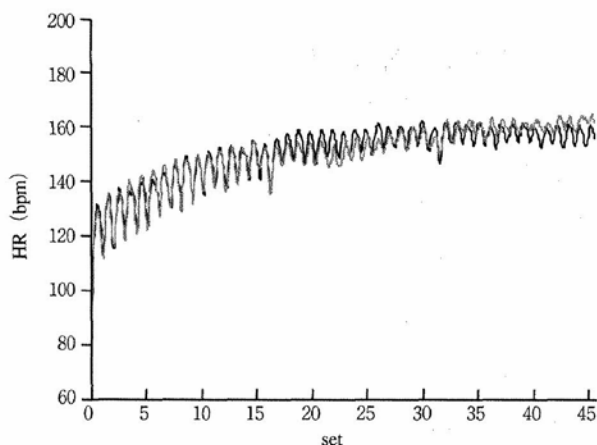


図1 Changes in heart rate during prolonged intermittent exercise in Cr group (left side) and Pla group (right side). Black line indicates pre-supplementation, gray line indicates post-supplementation.

ントの摂取前後で統計的に有意な差はなかったが、Cr群で少ない傾向がみられた。(Cr群：2.2 ± 0.7%から2.4 ± 0.6%，Pla群：2.4 ± 0.3%から2.7 ± 0.2%)。

2.4 血液性状

サプリメント摂取前後の血液性状については表

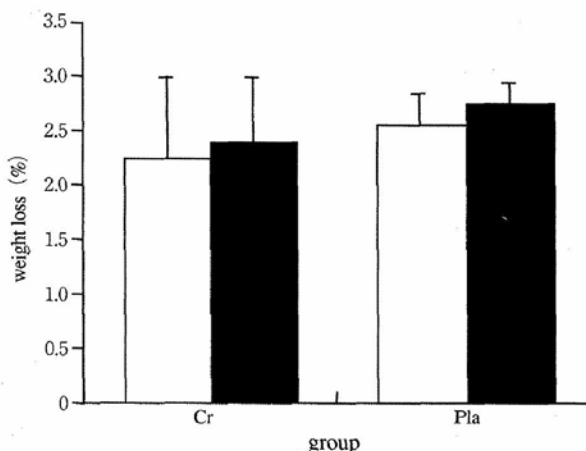


図2 Weight loss for pre-(□) post-(■) supplementation in Cr and Pla groups. Values are mean ± SD.

表3 Blood analyses in Cr and Pla groups

	Cr		Pla	
	pre	post	pre	post
AST (IU/L)	19.7 ± 3.5	21.5 ± 6.3	21.7 ± 2.8	19.3 ± 1.4
ALT (IU/L)	22.0 ± 4.5	20.5 ± 4.4	21.5 ± 6.8	18.3 ± 5.3
Cr (mg/dl)	0.3 ± 0.1	2.9 ± 1.0**†††	0.2 ± 0.1	0.3 ± 0.3
Crn (mg/dl)	0.85 ± 0.13	1.03 ± 0.14*†	0.88 ± 0.09	0.87 ± 0.09

Values are mean ± SD *p<0.05, **p<0.01 indicates a significant difference between pre- and post- supplementation. †p<0.05, †††p<0.001 indicates a significant difference between Cr and Pla group.

3に示した。ASTおよびALTは両グループにおいて変化がなかった。一方、CrはCr摂取後のみ有意な増加が観察された(0.3 ± 0.1から2.9 ± 1.0mg/dl, p<0.01)。CrnはPla群には変化がみられなかったが、Cr群で有意な増加を示していた(0.85 ± 0.13から1.03 ± 0.14mg/dl, p<0.05)。安静時のHCT値は、Pla群においてのみ摂取前(46.1 ± 1.3%)に対して摂取後(44.9 ± 1.2%)で有意に低い値が観察された(p<0.05)(図3)。また、運動後のHCT値についてもPla群において摂取後で有意に低い値が示された(48.9 ± 2.2%から47.4 ± 1.1%, p<0.05)。安静時に対する運動後のHCT値は、両群とも摂取前は有意に高くなる結果が得られた(Cr群: 45.8 ± 2.2%から49.5 ± 3.1%, p<0.01, Pla群: 46.1 ± 1.3%から48.9 ± 2.2%, p<0.01)。一方、摂取後ではPla群のみが有意に高くなる値を示した(44.9 ± 1.2%

から47.4 ± 1.1%, p<0.001)。

2.5 直腸温の変化

安静時および運動時の直腸温の変化を図4に示した。直腸温は、Pla群では摂取前後で有意な変化はなかったが、Cr群においては5, 10, 15, 20, 25セット目で摂取前に対して摂取後で有意に低い値を示した(p<0.05)。

2.6 パワー

長時間間欠的運動時に記録した45回のパワーの平均を図5に示した。Pla群は摂取前後で有意な変化がなかったものの(前732.3 ± 135.0watt, 後727.3 ± 135.5 watt), Cr群では摂取前の741.5 ± 77.2 wattに対して摂取後の763.6 ± 78.8 wattで有意に増加した(p<0.01)。また、サプリメント摂取前後におけるパワーの増加率はPla群(-0.7 ± 3.0%)と比較して、Cr群(3.0 ± 1.1%)で有意に高い値を示した(p<0.05)(図6)。

2.7 血中乳酸濃度

血中乳酸濃度は運動開始後に上昇したが、サプリメントの摂取前後で有意な差はなかった(図7)。

3. 考察

本研究では、大学サッカー選手を対象とした5日間のCr摂取が暑熱環境下における長時間間欠的運動時のパフォーマンスに及ぼす影響を検討した。その結果、発揮したパワーの平均は、Pla群ではサプリメントの摂取前後で変化がみられなか

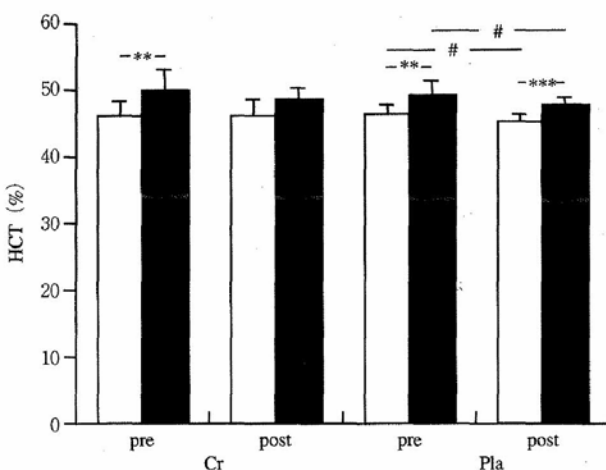


図3 Change in HCT before (□) and after (■) exercise in Cr and Pla groups. Values are mean ± SD. #p<0.05 indicates a significant difference pre- and post-supplementation. **p<0.01, ***p<0.001 indicates a significant difference before and after exercise.

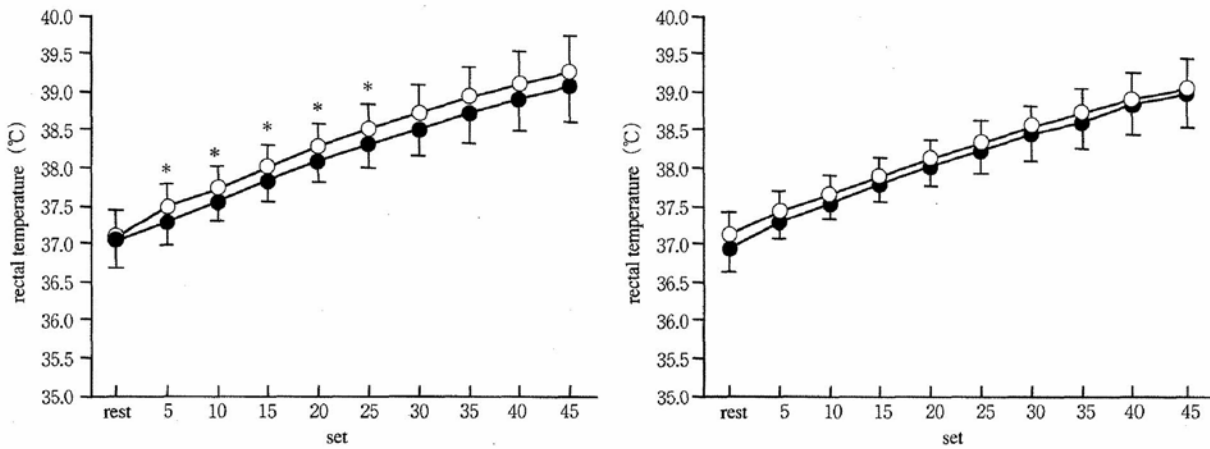


図4 Change in rectal temperature for pre-(○) and post-(●) supplementation in Cr (left side) and Pla (right side) groups. Values are mean ± SD. *p<0.05 indicates a significant difference between pre- and post-supplementation.

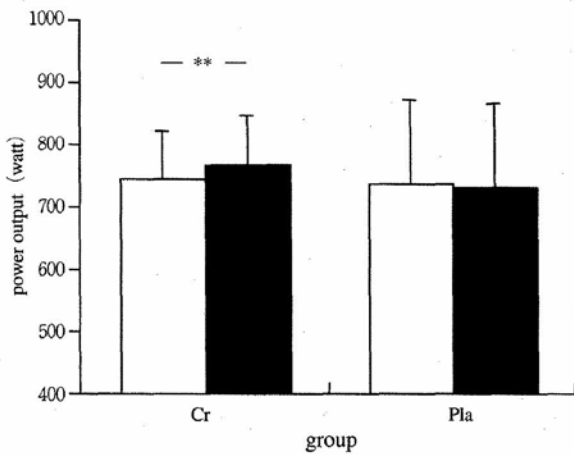


図5 Power output for pre- and post-supplementation in Cr and Pla groups. Values are mean ± SD. **p<0.01 indicates a significant difference between pre-(□) and post-(■) supplementation.

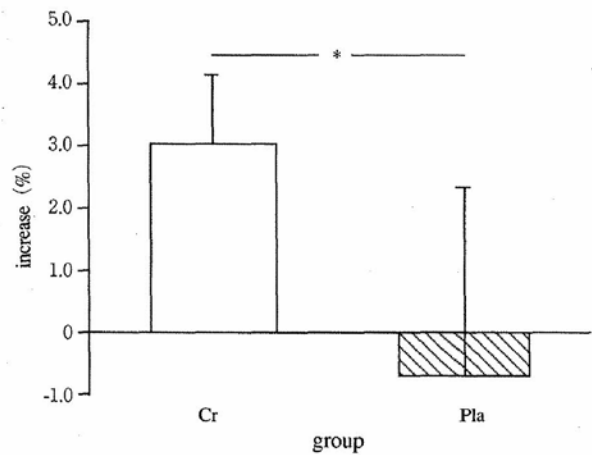


図6 Percent increase in power output for post-supplementation in Cr and Pla groups. Values are mean ± SD. *p<0.05 indicates a significant difference between Cr and Pla group.

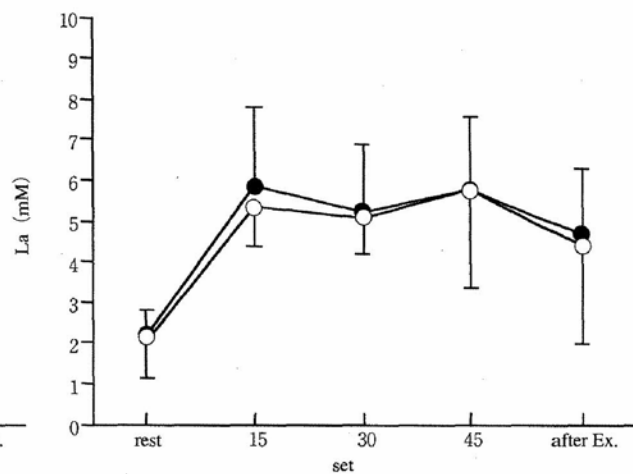
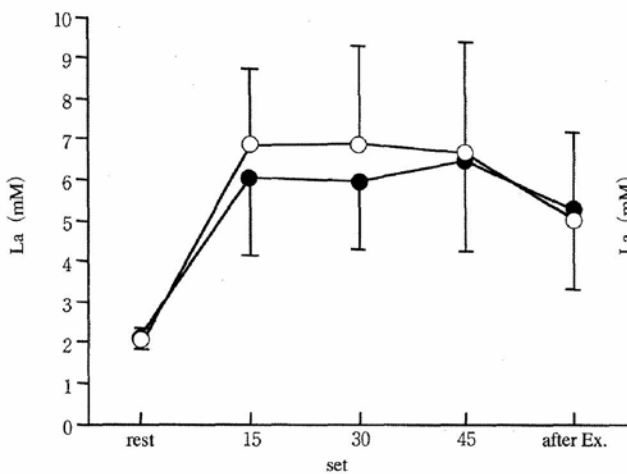


図7 Change of La during prolonged intermittent exercise for pre-(○) and post-(●) supplementation in Cr (left side) and Pla (right side) groups. Values are mean ± SD.

ったものの、Cr群では有意な増加が観察された。また、長時間間欠的運動中の体温上昇は、Cr群では摂取前と比較して摂取後において有意に抑制されていた。

1日20g、5～6日間のCr摂取は、骨格筋内のPCrを増加させ、ATPの再合成率を促進することで短時間・高強度運動のパフォーマンスに効果をもたらすとされている^{5, 11, 16)}。本研究では5日間のCr摂取により長時間間欠的運動時のパワーが22.1watt増加していた。今回は筋バイオプシー^{8, 9)}やMRS¹⁶⁾などの方法を用いて筋レベルのPCr量を直接測定してはいないが、先行研究と同様の摂取プロトコル^{2, 5, 8, 9, 11, 12, 16)}を用いているため、本研究においても筋への十分なCrローディングがなされ、ATP-CP系のエネルギー供給を高めることができたと考えられる。

一方、血中乳酸濃度については安静、運動時、および運動直後に測定されたが、摂取前後で有意な変化は観察されなかった。Cr摂取が血中乳酸濃度に及ぼす影響については、摂取後に増加⁸⁾、低下¹⁾、あるいは不変^{5, 7, 13)}というように一貫性が示されていない。一般的に血中乳酸濃度は解糖系のエネルギー供給を示す指標とされている。本研究ではCr摂取前後で血中乳酸濃度の変化がなかったことから、運動中の解糖系からのATP供給については変化がなかったことが示唆される¹⁷⁾。

先行研究で示されているCr摂取を行ったほとんどの研究において体重の増加が引き起こされることが報告されている^{1, 15)}。その主たる要因としては水分保持による体水分量¹²⁾、特に細胞内水量の増加³⁾とされている。しかしながら、本研究においては、Cr摂取後に有意な体重の増加は示されず、体水分量および細胞内水量の増加もなかった。このような矛盾が生じた原因としては、本実験が梅雨の明けた7月から9月中旬の非常に暑い時期に行われたため、通常生活時の発汗や、

実験前日を除いた所属クラブでの激しいトレーニングによる発汗が影響していたのかもしれない。また、実験期間中は通常食のみの食事制限しか設けておらず、水分摂取量については制限をしていなかった。したがって、これらの要因も影響していた可能性がある。今後、これらの因子を取り除いて検討を行う必要があると考えられる。

本研究では気温 $32.0 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度 $58.5 \pm 1.4\%$ の暑熱環境下において、運動時の平均心拍数が両群とも約150拍/分程度の間欠的運動を約45分間行った。これまで運動時の体重減少率が2%を超えると、パフォーマンスの低下が生じることが示されているが¹⁸⁾、本研究では、運動後の体重減少率が両群ともに2.0%を超えており、非常に生体負担度が高かったことが推察される。実際、長時間間欠的運動時のパフォーマンスをみると、Pla群ではサプリメント摂取によるパフォーマンス増加は観察されず、むしろ低下傾向を示していた。一方、Cr群では摂取後で3.0%のパフォーマンスの増加が観察された。通常、暑熱環境下においては、運動を行うことにより体温の上昇、脱水による循環血液量の低下、血中カテコールアミンの濃度の上昇、中枢疲労などが生じ、運動パフォーマンスが低下すると考えられている¹⁰⁾。暑熱環境下におけるパフォーマンス低下を抑制する手段として水分摂取の効果が報告されているが²¹⁾、本研究では運動中に水分補給を行っていないにも関わらず、Cr摂取によりパフォーマンスの向上が示されたことは非常に興味深い。

運動時の直腸温変化については、Pla群ではサプリメント摂取前後で変化がなかったものの、Cr群においてCr摂取後の5～25セット目において有意に低い値を示していた。安松らは、熱放散量が少ないことが運動後の体温上昇度を低くした原因であり、体温上昇度を低く保つには蒸発熱量の増加が重要であることを報告している²²⁾。本研究では体熱平衡に関連する項目については測定を

行うことができなかつたが、Cr摂取によって体温上昇が有意に抑制されたことは、熱放散量を高め、蒸発熱量の増加が効果的に作用した可能性も考えられる。また、脱水の指標として用いられているHCT値²⁰⁾はPla群では摂取前後とも運動による上昇が観察されたが、Cr群では摂取前においては運動による増加がみられたものの、Cr摂取後では運動前後で変化が示されなかつた。さらに、統計的に有意な差はなかつたが、Cr群において体重減少率が低い傾向にあった。このことから、少なくとも脱水レベルはCr群の方で低く抑えられていたと考えられる。したがって、Cr摂取によって運動時の体温上昇抑制や運動時の脱水レベルの変化がみられなかつたことから、本研究で示されたパフォーマンスの向上はPCrの増加等によるエネルギー供給の改善のみならず、体温調節機能が関与している可能性が示唆された。しかし、体温調節機能へCrが関与するメカニズムについては今後の残された課題である。

最後ではあるが、本研究では肝機能の指標であるASTおよびALT⁶⁾は、Cr摂取前後で変化が認められなかつた。一方、腎機能の指標である血中Crn⁶⁾はCr摂取後に標準範囲内であるものの僅かながらの有意な増加が観察された。これらの結果は本研究に参加したような健常被験者においては、Cr摂取による腎機能への影響が問題とはならないことを示唆しているが、腎疾患罹患患者などの腎機能不良者ではCr摂取が腎機能の悪化を招く可能性を否定できない。したがって、腎機能不良者は本実験条件のようなCr摂取を行うべきではないと思われるが、この点は今後医学的な見地よりさらに明らかにしなければならない問題であると思われる。

4. 結 論

クレアチン摂取は暑熱環境下における長時間の高強度間欠的運動時の体温調節機能を高め、パワ
デサントスポーツ科学 Vol. 27

ーの向上に有効作用することが明らかになった。

謝 辞

本研究課題に対して助成頂きました(財)石本記念デサントスポーツ科学振興財団に心より感謝の意を表します。また、本研究を行うにあたり、被験者としてご協力頂いた順天堂大学蹴球部の皆様、測定のご協力を頂いた順天堂大学サッカー研究室の吉村雅文先生に深くお礼申し上げます。

文 献

- 1) Balsom, P. D., Ekblom, B., Söderlund, K., Sjodin, B., and Hultman, E. Creatine, Supplementation and dynamic high-intensity intermittent exercise. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 3, 143-149 (1993)
- 2) Balsom, P. D., Söderlund, K., Sjodin, B., and Ekblom, B. Skeletal muscle metabolism during short duration high-intensity exercise : influence of creatine supplementation. *Acta Physiol. Scand.*, 154, 303-310 (1995)
- 3) Bembien, M. G., Bembien, D. A., Loftiss, D. D., and Knehans, A.W. Creatine supplementation during resistance training in college football athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 33, 1667-1673 (2001)
- 4) Becque, M. D., Lochmann, J. D., and Melrose, D. R. Effects of oral creatine supplementation on muscular strength and body composition. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 32, 654-658 (2000)
- 5) Casey, A., Constantin-Teodosiu, D., Howell, S., Hultman, E., and Greenhaff, P., L. Creatine ingestion favorably affects performance and muscle metabolism during maximal exercise in humans. *Am. J. Physiol.*, 271, E31-E37 (1996)
- 6) Gotshalk, L. A., Volek, J. S., Staron, R. S., Denegar, C. R., Hagerman, F. C., and Kraemer, W. J. Creatine supplementation improves muscular performance in older men. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 34, 537-543 (2002)
- 7) Greenhaff, P.L., Casey, A., Short, A., H., Harris, R., Söderlund, K., and Hultman, E. Influence of oral creatine supplementation of muscle torque repeated bouts of maximal voluntary exercise in man. *Clin.*

- Sci.*, 84, 565-571 (1993)
- 8) Greenhaff, P. L., Bodin, K., Söderlund, K., and Hultman, E. Effect of oral creatine supplementation on skeletal muscle phosphocreatine resynthesis. *Am. J. Appl. Physiol.*, 266, E725-E730 (1994)
 - 9) Greenhaff, P. L., Constantin-Teodosiu, D. Casey, A. and Hultman, E. The effect of oral creatine supplementation on skeletal muscle ATP degradation during repeated bouts of maximal voluntary exercise in man. *J. Physiol.*, 476, 84P (1994)
 - 10) Hargreaves, M., and Febbraio, M. Limits to exercise performance in the heat. *Int. J. Sports Med.*, 19, S115-116 (1998)
 - 11) Harris, R. C., Söderlund, K., and Hultman, E. Elevation of creatine in resting and exercised muscle of normal subjects by creatine supplementation. *Clin. Sci.*, 83, 367-374 (1992)
 - 12) Hultman, E., Söderlund, K., Timmons, J. A., Cederblad, G., and Greenhaff, P. L. Muscle creatine loading in men. *J. Appl. Physiol.*, 81, 232-237 (1996)
 - 13) 石崎聡之, 鎌田俊司, 石原啓次, 稲垣 雅, 鈴木宏哉, クレアチンサプリメントが間欠的スプリント運動のパワーに及ぼす影響, 小山工業高等専門学校紀要, 35, 21-26 (2003)
 - 14) Jones, A. M., Atter, T., and Georg, K. P. Oral creatine supplementation improves multiple sprint performance in elite ice-hockey players. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 39, 189-196 (1999)
 - 15) Kilduff, L. P., Vidakovic, P., Cooney, G., Twycross-lewis, R., Amuna, P., Parker, M., Paul, L., and Pitsiladis, Y., P. Effects of creatine on isometric bench-press performance in resistance-trained humans. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 34, 1176-1183 (2002)
 - 16) Kreis, R., Kamber, M., Koster, M., Felblinger, J., Slotboom, J., Hoppeler, H., and Boech, C. Creatine supplementation-Part II : in vivo magnetic resonance spectroscopy, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 31, 1770-1777 (1999)
 - 17) Mujika, I. Padilla, S. Creatine supplementation as an ergogenic aid for sports performance in highly trained athletes: a critical review. *Int. J. Sports Med.*, 18, 491-496 (1997)
 - 18) Pichan, G., Gauttam, R. K., Tomar, O. S., and Bajaj, A. C. Effect of primary hypohydration on physical work capacity. *Int. J. Biometeorol.*, 32, 176-180 (1988)
 - 19) Skare, O. C., Skadberg, O., and Wisnes, A. R. Creatine supplementation improves sprint performance in male sprinters. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 11, 96-102 (2001)
 - 20) 豊嶋建広, 井下佳織, 田中幸夫, 大野 誠, 中野昭一, 伊藤 孝, 空手道選手の急速減量期における体水分, 身体組成, および運動機能の変化, 日本運動生理学雑誌, 10, 29-42 (2003)
 - 21) 安松幹展, 宮城 修, 大橋二郎, 田中英登, 暑熱環境下での長時間の間欠的運動パフォーマンスに対する水分補給の効果, デサントスポーツ科学, 23, 115-124 (2002)
 - 22) 安松幹展, 戸町晴彦, 磯川正教, 田中英登, 丸山剛生, 沼澤秀雄, 金子保敏, 長時間の間欠的運動時の体温上昇度の個人差とパフォーマンスの関係, 小野スポーツ科学, 7, 89-101 (1999)
 - 23) Volek, J. S., Kraemer, W. J., Bush, J. A., Boetes, M., Incledon, T., Clark, K. L., and Lynch J. M. Creatine supplementation enhances muscular performance during high-intensity resistance exercise. *J. Am. Diet Assoc.*, 97, 765-770 (1997)