

## 重炭酸塩投与における間欠的最大運動時の乳酸蓄積およびパフォーマンスへの影響 —バスケットボール競技のスキルテストを用いて—

### Influence of Bicarbonate Ingestion on Blood Lactate Accumulation of Intermittent Exercise : Using the Skill Test of Basketball

山本 忠志\* 中島 友樹\*\* 秋原 悠\*\*\*  
YAMAMOTO Tadashi NAKASHIMA Tomoki AKIHARA Yu

The purpose of this study was to clearly the effect of ingested sodium bicarbonate and sodium citrate, which contains bicarbonate, on maximizing performance duration by promoting the removal of lactic acid.

Sodium bicarbonate or sodium citrate was orally ingested at 0.3g/kg body mass at 30minutes prior to the start of the exercise. The exercise consisted of five sets of shuttle runs on a basketball court whose distance between endlines was 26m. Blood lactate concentrations were measured before the exercise, at the end of the 3rd set, at the end of the 5th set and 3minutes after exercise ended. The shuttle run time and 26m time were measured which were one set total time and the last aspect of the set.

The blood lactate concentration was lower than in the control at the end of 3rd set after ingestion of sodium bicarbonate and at the end of 5th set after ingestion of sodium citrate. The shuttle run time and 26m time were faster after sodium bicarbonate or sodium citrate ingestion compared with the control after the 3rd set. The results suggested bicarbonate ingestion can improve maximizing performance duration. We concluded bicarbonate ingestion can be an effective ergogenic aid for intermittent exercise.

キーワード：重炭酸塩，血中乳酸，間欠運動，バスケットボール

Key words : bicarbonate, blood lactate concentration, Intermittent exercise, basketball

#### I. 目的

バスケットボールやハンドボール等の球技スポーツは、前後半を通じてコート内を間欠的に全力で走り続ける能力、すなわち間欠的最大運動の持続能力というものが要求される。間欠的最大運動とはダッシュのような短時間の無酸素的な運動をわずかな休息をはさんで繰り返していくことである。このような運動を繰り返すことによって血中に乳酸が蓄積され、また運動強度にともなって乳酸値が上昇することを報告している（山本ほか 1991, Hatta 1993）。血中への乳酸の蓄積がパフォーマンスの低下を引き起こす原因であると考えられている（Hermansen 1981）。血中乳酸の除去に関しては、酸素が十分に供給される状態においては  $\text{CO}_2$  と  $\text{H}_2\text{O}$  に分解され、呼気や汗または尿として体外へ排出されるが、酸素が十分に供給されない状態では血液中存在する緩衝系の働きとして、主に重炭酸系として存在する重炭酸イオン ( $\text{HCO}_3^-$ ) により分解されるといわれている（山口 1993）。そこで、乳酸の除去に大きく関与している  $\text{HCO}_3^-$  の緩衝力の増強を行なうことができれば、血中乳酸の蓄積をおさえることになり、それによって間欠的な最大運動の持続できる時間が長くなり、パフォーマンスの向上が期待

できると考えられる。

これまでの  $\text{HCO}_3^-$  を含む物質である重炭酸ナトリウム ( $\text{NaHCO}_3$ ) 投与に関する報告は、適切な量の投与を行っても、30秒以内の高強度運動や、主に酸化的代謝に依存しているような持久性運動において効果がみられなかった報告（Jones ほか 1977, Costill ほか 1983）や、陸上選手に  $\text{NaHCO}_3$  の投与を行い、800m 走の記録を測定したところタイムの向上がみられた（Wilkes ほか 1983）との報告がある。このように、重炭酸塩投与による効果は一致した見解が得られていない。

そこで本研究では、間欠的な最大運動として、バスケットボールのスキルテストを用い、 $\text{HCO}_3^-$  を含む物質である重炭酸ナトリウム ( $\text{NaHCO}_3$ ) およびクエン酸ナトリウム ( $\text{Na}_2\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ ) の投与によって、血中乳酸の蓄積および運動パフォーマンスとしての走タイムへの影響を明らかにすることを目的とした。

#### II. 方法

##### 1. 被験者

被験者は H 大学バスケットボール部男子学生10名である。尚、被験者は実験期間中も週に4～5日の練習を

\* 兵庫教育大学大学院教科教育実践開発専攻生活・健康・情報系教育コース 教授

平成30年4月23日受理

\*\* 鹿児島大学 \*\*\* 関西大学

行っている。Tab. 1は被験者のプロフィールを示すものである。なお、被験者全員には事前に研究の趣旨等を説明し、参加協力の許可を書面にて得て行った。尚、本研究は、本学大学院学校教育研究科倫理委員会の承諾を得て実施した。

Table 1 Subjects' Profile

Subj.	Age(yr.)	Ht(cm)	Wt(kg)	B.H.(yr.)	26mtime(sec.)
YF	22	175	62	9	4.13
MK	21	184	55	8	4.30
HA	19	177	85	5	4.16
SU	20	177	69	5	4.43
SK	19	175	64	7	4.43
MF	19	177	62	4	4.56
NT	21	170	65	4	4.02
YO	20	176	62	3	4.06
HT	19	169	67	2	4.66
NF	19	175	71	2	4.19
mean	19.9	175.5	66.2	4.9	4.29
SD	1.10	4.12	7.96	2.42	0.22

B.H.: Years of Basketball History

## 2. 実験方法

対照実験として水を与えた場合（以後C）、 $\text{NaHCO}_3$ を与えた場合（以後E1）、さらに $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ を与えた場合（以後E2）の3種類の実験をランダムに行った。いずれの場合も実験前夜は午後9時までに食事をとり、それ以降は茶湯以外の飲食は控えるという制限を行った。

実験前にはコンディショニングについてのアンケート調査、ならびに運動開始前の精神的コンディショニングテストを行った。この質問紙はスポーツ心理学テストとして使用されているPOMS (Profile of Mood States) テスト (D.M.McNairほか 1971) の一部を改良したものである。そして、Type A~Dに分類した。これに加えて、3因子によるコンディショニング総得点 (T.M.D.: Total Mood Disturbance) (Morganほか 1987) を算出した。これをType A~Dの分類とともに、被験者の運動開始前の精神的コンディショニングをみる指標とした。尚、アンケート調査、コンディショニングテストは運動開始

30分前に実施した。これらの結果から、コンディショニングが良くないと判断される被験者に対しては実験を行わなかった。

また、運動終了後には主観的な運動強度について調査した。尚、各実験は1週間以上の間隔をあけて実施した。

## 3. 運動方法

バスケットボール競技のスキルテストであるシングルラインタッチ (原田 1986) を行った。これはバスケットボール競技の中で頻繁に行われるダッシュとターンを組み合わせた運動であり、走るコースはFig. 1に示す通りである。尚、ターンの方法についてはフロントサイドターン、バックサイドターンの指定はせず、被験者のやりやすい方法で行わせた。この運動を30秒のインターバルをはさんで5セット行わせた。ただし3セット目と4セット目の間のインターバルだけは血中乳酸濃度の測定のため90秒とした。1セットのトータルならびに最後のエンドライン間 (26m) のタイムを手動式ストップウォッチによって計測し、前者をS-run タイム、後者を26m タイムとして測定した。

## 4. 血中乳酸濃度および心拍数の測定

生体の負担度を示す指標として血中乳酸濃度 (以後LA) と心拍数 (以後HR) を測定した。LAの測定は、簡易血中乳酸測定器ラクテート・プロ (アークレイ社製) を用い、運動開始前と運動中 (3セット目と4セット目の間)、運動終了時、運動終了3分後の4回指尖から採血し、測定した。HRの測定は、心拍メモリー装置 (Polar Electro 社製ハートレートモニター H-2 バンテージ XL, Finland) を用い胸部双極誘導法によって走行中の心拍数を測定した。

## 5. 重炭酸塩の投与について

重炭酸塩投与は $\text{NaHCO}_3$ および $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ ともに5%濃度の水溶液を作成し、体重1kg当り0.30gの投与量を経口投与した。投与時間は、糖負荷試験により投与後30分に血中グルコース濃度が最も高い値を示した結果より、

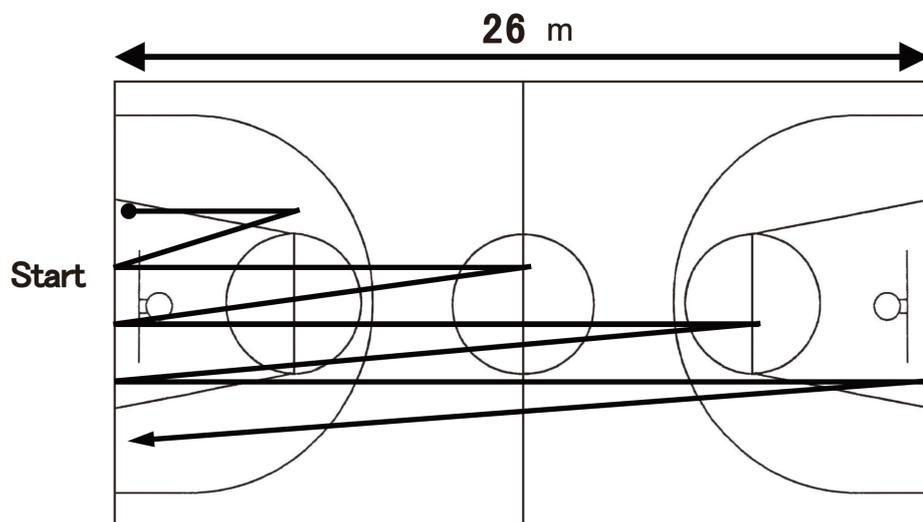


Fig. 1 シャトルランの模式図

運動開始30分前とした。

### 6. 統計処理

各実験間の測定値の有意差の検定は、多重比較法を用いて行った。統計処理の有意差はいずれも危険率5%で判定した。

## III. 結果と考察

### 1. 精神的コンディショニングがタイムに及ぼす影響について

質問紙によるアンケート調査の結果から得られたTypeの分類, T.M.D.をもとに精神的コンディショニングが結果に影響を及ぼしていないかを検討したところ, Typeの分類およびT.M.D.の値とS-runタイムや26mタイムの関係性はなく, パフォーマンスに影響を与えるものではなかった。すなわち, 本実験においては精神的コンディショニングがパフォーマンスに影響を及ぼさなかったものと考えられる。今回特別にコンディションが悪い被験者は認められなかった。

シャトルラン時のHRはほとんどの被験者で最高180 beats/min.近くまで上昇し, セット間および被験者間での差は認められなかった。また, 運動終了後の主観的運

動強度では「非常にきつい」と評価していた。

### 2. シャトルランタイムについて

Fig. 2は被験者10名の1セット目のS-runタイムを100とした場合の各セットの数値の平均値と標準偏差を示したものである。C, E1, E2ともにセットを重ねるごとに数値の低下がみられ, 4セット目で上昇するものの, 5セット目では再び低下を示し, その数値は最も低かった。実験ごとの差をみてみると, 1, 2セット目はすべて同程度の数値であったが, 3セット目以降では3セット目にCとE1間に, 4セット目ではCとE1, E2間に, 5セット目ではCとE2間に有意な差が認められ, Cに比べて明らかに速くなったことが認められた。また, E1とE2間での差は認められなかった。

### 3. 26mタイムについて

Fig. 3は被験者10名の1セット目の26mタイムを100とした場合の各セットの数値の平均値と標準偏差を示したものである。C, E1, E2ともにセットを重ねるごとに数値の低下がみられ, 4セット目でわずかに上昇するものの, 5セット目では再び低下を示し, その数値は最も低かった。実験ごとの差をみてみると, 1セット目はすべて同程度の数値であった。2セット目でのE2の低下

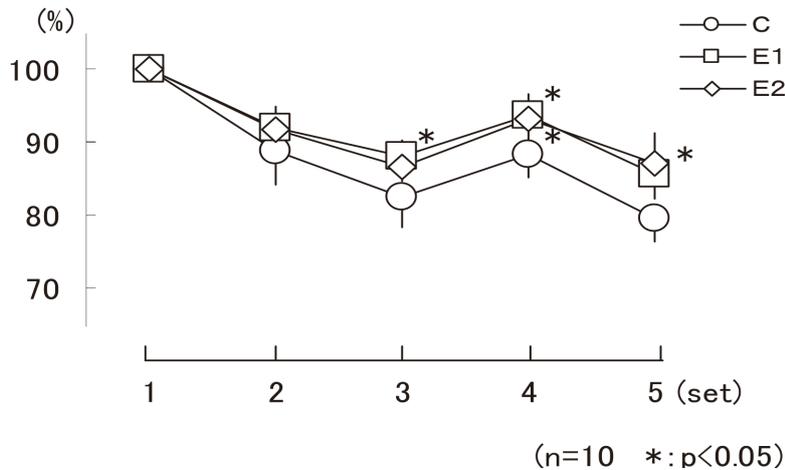


Fig.2. シャトルランタイムの推移について

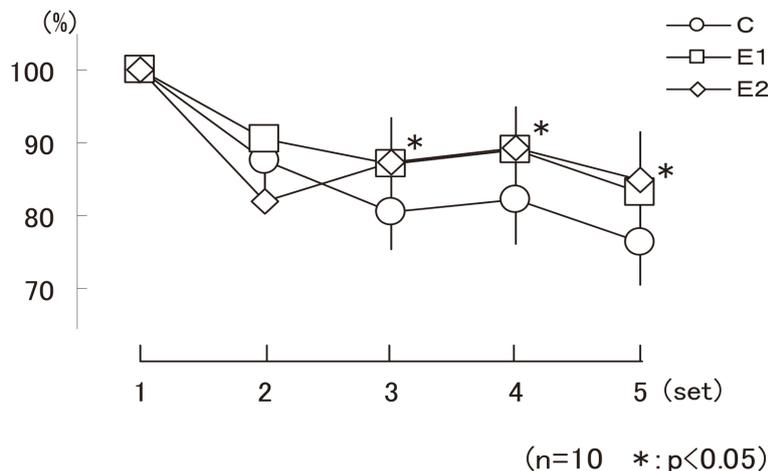


Fig.3. 26mタイムの推移について

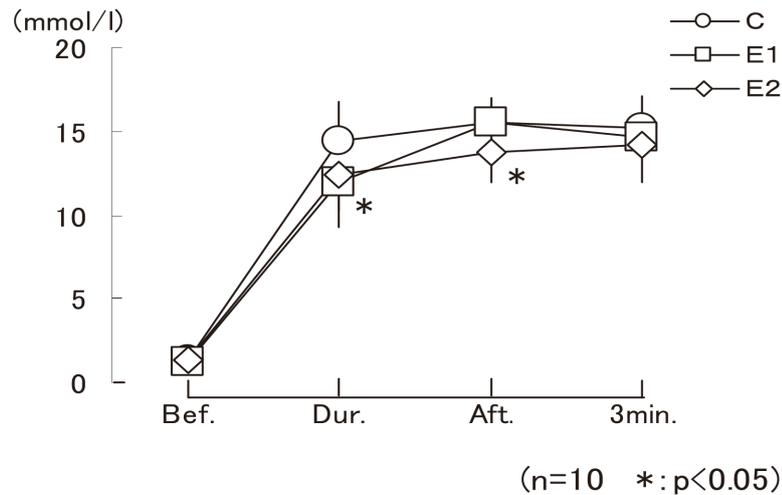


Fig.4 血中乳酸濃度の推移

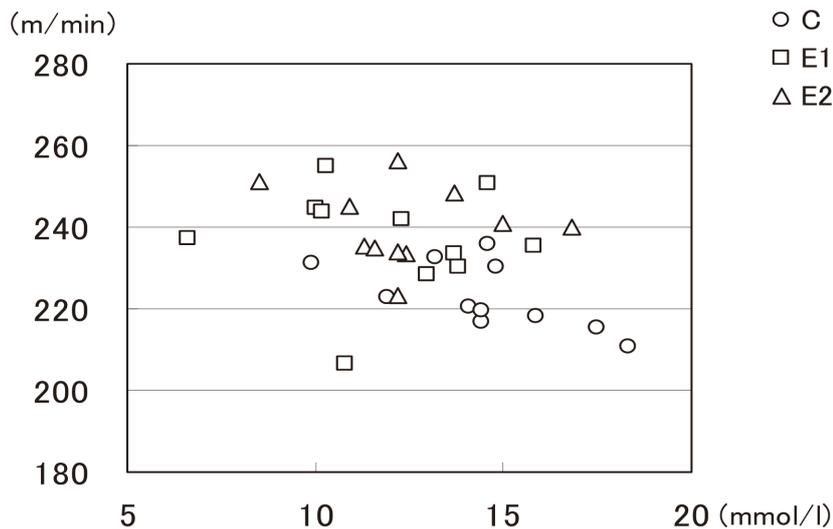


Fig.5 血中乳酸濃度と4, 5セット平均シャトルランスピードの関係

傾向が強く認められたが、各実験間に差は認められなかった。3セット、4セット目ではCとE1間に、5セット目ではCとE2間に有意に差が認められ、Cに比べて明らかに速くなったことが認められた。E1とE2間での差はすべてのセットで認められなかった。

#### 4. LAについて

Fig. 4は被験者10名のLAの平均値と標準偏差を示したものである。運動前から運動中においてC, E1, E2ともに急激な上昇がみられた。運動中から運動終了後においてはCとE2では軽度の上昇であったが、E1での上昇は高度であった。運動終了時から運動終了後3分においてはCとE1では軽度の下降を示し、E2ではわずかな上昇を示した。実験ごとの差をみると、運動前ではほぼ同程度の数値を示し、差は認められなかった。運動中ではCとE1間に有意な差が認められ、E1はCに比べて明らかに低い数値であることが認められた。運動終了時ではCとE2間に有意に差が認められ、E2はC

に比べて明らかに低い数値であることが認められた。運動終了後3分ではすべての間に有意な差は認められなかった。

NaHCO<sub>3</sub>投与時(E1)の運動終了時のLAはCと比べて低い値を示さなかった。これについてはNaHCO<sub>3</sub>という物質の吸収は、比較的短時間におけるものであろうということが考えられることから、NaHCO<sub>3</sub>投与によって除去できる乳酸の量が多くはないということ、また、NaHCO<sub>3</sub>が体内に取り込まれる時期に重炭酸系の働きを必要とするような運動が行なわれなければ、NaHCO<sub>3</sub>は尿や便として体外に放出されてしまい、その役割を果たさないのではないかと考えられる。それに比べてNa<sub>3</sub>C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>O<sub>7</sub>投与時(E2)では運動終了時においても乳酸蓄積が抑えられていたことから、長時間にわたり吸収され血液中の緩衝作用が発揮されていたことが伺える結果であった。

## 5. シャトルランスピードと LA の関係

Fig. 5 はコントロール時 (C),  $\text{NaHCO}_3$  (E1) および  $\text{Na}_2\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$  (E2) 投与時の運動中の LA と 4, 5 セットの平均シャトルランスピードの関係を示したものである。C における運動中の LA と 4, 5 セットの平均スピードとの間には相関関係 ( $r = -0.636$ ,  $p < 0.05$ ) が認められた。このことから血中乳酸濃度が低ければシャトルランスピードも速くなることを示す結果であった。すなわち、運動中の乳酸の蓄積が抑えられればその後の運動パフォーマンスを維持できることを示唆するものであった。C 時に比べて重炭酸イオンを含む物質を事前に投与した場合 (E1, E2) は LA の低下傾向とともにスピードの上昇傾向が認められるものであった。すなわち、重炭酸塩投与によって、運動中の乳酸蓄積の抑制がなされ、それに伴って、運動パフォーマンスが持続される可能性が示唆される結果であった。

運動強度にともなって血中乳酸値の上昇を多数の研究者により報告されており、高強度の運動においては乳酸の蓄積等の影響によって運動を中止せざるをえない状態が引き起こされる。すなわち、乳酸の蓄積による血液 pH の低下によって体内の酸-塩基平衡が崩れ酸性化に傾くことで、ついには筋収縮ができなくなるためであるといわれている (Margaria ほか 1969)。このような疲労物質である乳酸の除去に関しては、血液にある緩衝系 (主に重炭酸系として存在する  $\text{HCO}_3^-$ ) の働きによる (山口 1994, Hatta 1993)。

今回の実験結果から、乳酸の除去に大きく関与している重炭酸塩投与によって緩衝力の増強を行なうことができ、乳酸の蓄積を抑え、それによって間欠的な最大運動が持続できる時間が長くなり、パフォーマンスの向上が期待できることが認められた。Wilkes (1983) は、陸上選手に  $\text{NaHCO}_3$  の投与を行い、800m 走の記録の測定を行なったところタイムの向上がみられたと報告しており、今回のような間欠運動であっても、総運動時間が 2 分程度の運動において効果を示すことが明らかにされた。運動中の LA は重炭酸塩を含む両物質の投与によって蓄積が抑制されることが明らかにされ、それに伴って運動パフォーマンスの維持が示される結果を得た。特に、その持続的な効果は  $\text{Na}_2\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$  投与時に顕著であった。

## IV. まとめ

バスケットボール競技で用いられているシャトルランテストを繰り返し行う間欠的最大運動の実施において、重炭酸塩を含む重炭酸ナトリウムおよびクエン酸ナトリウム投与を行った時の乳酸蓄積および運動パフォーマンスへの影響をみたところ、次のような結果が得られた。

1. シャトルランタイム, 26m タイムともに投与時の 3 セット以降にコントロールに比べて、速くなることが

認められた。

2. 血中乳酸濃度はコントロールに比べて投与時に低くなることが認められた。特に、クエン酸ナトリウム投与時に持続的効果が強く認められた。

以上のことから、重炭酸塩投与が間欠的最大運動において運動パフォーマンスを向上させる可能性が示された。

## 引用文献

- ・ Costill. D. L., Sherman, W. M., Fink, W. J., Maresh, M. and Miller, J. M.: Acid-base balance during repeated bouts of exercise: Influence of  $\text{HCO}_3^-$ . *Med. and Sci. in Sports and Exercise* 15: 115, 1983.
- ・ Hatta, H: Lactate metabolism in during and after exercise. *J. J. Sports Sci.* 12; 12, 767-772, 1993.
- ・ 原田 茂: HARADA'S basketball technique. Nihon Bunka Shuppan Japanese culture publication 1986.
- ・ Hermansen, L: Muscular fatigue during maximal exercise of short duration. In: *Physiological Chemistry of Exercise and Training*. P. E. Di-Prampetro and J. Poormans (Eds.), S. Karger, 45-52, 1981.
- ・ Jacobs, I: Blood lactate; implications for training and sports performance. *Sports Med.*, 3: 10-25, 1986.
- ・ Jones. N. L., J. R. Sutton, R. Taylor and C. J. Toews: Effects of pH on cardiorespiratory and metabolic response to exercise. *J. Appl. Physiol.*, 43: 959-964, 1977.
- ・ Margaria, R., Oliva, P. E., DI Prampetro and P. Cerretelli: Energy utilization in intermittent exercise of supramaximal intensity. *J. Appl. Physiol.*, 26: 752-756, 1969.
- ・ McNair, D. M., M. Lorr and L. F. Droplemann: Profile of Mood States Manual. Educational and Industrial Testing Service, 1971.
- ・ McNaughton, L. R: Sodium citrate and anaerobic performance: implications of dosage. *Eur. J. Appl. Physiol.* 61, 392-597, 1990.
- ・ Morgan, W. P., Clarke, D. H. and Eckert, H. M.: Psychological monitoring of overtraining and ataleness. *Br. J. Sports Med.*, 21, 107-114, 1987.
- ・ 山口明彦: 無酸素性作業閾値, 運動生理学20講 勝田茂編著, 90-91, 朝倉書店, 東京 1994.
- ・ 山本正嘉, 金久博昭: 間欠的運動における血中乳酸の蓄積; 運動強度, 休息時間, および運動時間との関連から. *J. J. Sports Sci.* 10-11, 764-770, 1991.
- ・ Wilkes. D., Gledhill. N. and Smyth. R.: Effect of acute induced metabolic alkalosis on 800m racing time. *Med. and Sci. in Sports and Exercise* 15: 277-280, 1983.