

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

立 教 大 学 安 松 幹 展
(共同研究者) 防 衛 大 学 校 宮 城 修
大 東 文 化 大 学 大 橋 二 郎
横 浜 国 立 大 学 田 中 英 登

The Effect of Water Intake on the Performance of Prolonged Intermittent Exercise in the Heat Environment

by

Mikinobu Yasumatsu
Rikkyo (St. Poul's) University
Osamu Miyagi
National Deffence Academy
Jiro Ohashi
Daito Bunka University
Hideto Tanaka
Yokohama National University

ABSTRACT

The aim of this study was to examine the effect of water intake for prolonged intermittent exercise performance in the hot environment. The soccer-simulated exercise protocol consisted of a 90 min activity. This 90 min period was divided into two, 45 min identical blocks, separated by a 15 min intermission, with ten subjects divided into a control group (C group) and a water intake group (W group). W group had a 250ml water intake at 15, 30 min of 1st and 2nd half. Heart rate, concentration of blood lactate, intra-ear temperature, sweat rate, RPE, and thirst level were measured. Exercise performance was evaluated from 1) shoot

skill, 2) pass skill, 3) ball juggling, as technical performance, and 4) height of counter movement jump, 5) time of 30 m sprint, 6) time of shuttle running, as physical performance. Sweat rate was not different between two groups, but body weight loss was greater in the C group compared with W group. There was no difference in technical performance between two groups. Time of 30 m sprint and shuttle running were faster in the W group compared with C group. These results suggest that water intake prevents the decrease of physical performance rather than technical performance.

要 旨

本研究は、暑熱環境下でのサッカーの試合をシミュレートした運動におけるパフォーマンスに対する試合中の水分摂取の影響を検討した。実験は実際のサッカーの試合をシミュレートした前半45分、後半45分を15分のハーフタイムを挟んで行う運動を暑熱環境下の屋外で行った。実験はコントロール群（C群）と水分摂取群（W群）に分かれて行った。W群は、前・後半の15分と30分に250mlずつ水を摂取した。測定項目は、心拍数、血中乳酸濃度、耳内温度、発汗量、RPE、のどの渇きのレベルであった。運動パフォーマンスは、技術系の評価として、1) シュート技術、2) パス技術、3) リフティングの回数、体力系の評価として、4) ジャンプ高、5) 30 m走のタイム、6) シャトルランのタイムから評価した。その結果、試合中の水分摂取は技術系パフォーマンスよりも、体力系パフォーマンスの低下を防ぐことが示唆された。

緒 言

暑熱環境は、有酸素運動のパフォーマンスを低下させ^{11), 20)}、無酸素運動のパフォーマンスに対しては影響しないか¹⁾、むしろ改善することが報告されている^{2), 9)}。また、有酸素運動と無酸素運動が混在するサッカーのような長時間の間欠的運動パフォーマンスに対しても、暑熱環境は影響す

ることをわれわれは報告した²⁵⁾。持久的な運動パフォーマンスの低下を防ぐ方法として、水分摂取が効果的であることが報告されているが^{4), 16), 22)}、サッカーのような運動に対する試合中の水分摂取の効果を報告した研究は非常に少なく¹⁰⁾、フィールドにおける実験でその効果を研究したものはない。われわれは、フィールドで実験を行う際に、被検者間の運動量を一定とするために、サッカーの試合と生理学的特徴と動きの特徴がほぼ同等な運動を開発した¹⁵⁾。しかし、この運動にパフォーマンスを評価するテスト項目を組み込むことが残された課題の一つであった。本研究では、この運動にパフォーマンスを評価するテスト項目を組み込み、水分補給がこれらのパフォーマンスに及ぼす影響について検討することを目的とした。

1. 実験方法

1. 1 被検者

被検者は、成年男子サッカー選手10名であった。実験に先立ち、事前に被検者に対し、口頭と文書で実験の趣旨、内容および手順を十分に説明して、その内容を理解したうえで、測定に参加することの承諾を得た。

1. 2 実験手順および測定項目

被検者は、運動3時間前に食事をとり、運動2時間前から飲食、運動を禁止し、その後1時間安静を保持した。

被検者は運動1時間前に体重、耳内温、血中乳酸濃度を測定した。体重は50g精度のデジタル精密体重計（エムアンドディ社製，UC-300）を用いて裸体で測定した。耳内温は，赤外線式耳内温度計（テルモ社製，M20）を用いて測定した。血中乳酸濃度は，被検者の指先より血液を採取して，直ちにラクテートアナライザー（VSI社製，1500sports）を用いて測定した。運動開始45分前に，被検者はグラウンドに集合し，実際の試合に準じたウォーミングアップを行った。被検者はウォーミングアップ中に500mlの水を摂取した。運動開始10分前にウォーミングアップを終了し，安静を保持した。その間に，被検者は無線式心拍計（Polar社製，アキュレックスプラス）を装着した。スタート直前にのどの渴きのレベル²⁴⁾を記録し，スタートと同時に心拍数の記録を開始した。運動中，のどの渴きのレベルおよびRPEは5分ごとに記録し，心拍数は5秒ごとに記録した。また，15分ごとに，血中乳酸濃度および耳内温を測定した。前半の45分間の運動終了後，15分間の休息を設

け，その後後半の45分間再び運動を行った。休息中，被検者は500mlのスポーツドリンクを摂取した。

10人の被検者は，実験前に無作為に5人ずつの試合中に水分摂取を行うグループ（W群）と水分摂取を行わないグループ（C群）に分けられた。W群は，前・後半の15，30分時にそれぞれ250mlの水を摂取した。したがって，W群の総水分摂取量は2000ml，C群の総水分摂取量は1000mlであった。

運動は，宮城らの報告¹⁵⁾に基づいて行った。簡単に記述すると，サッカーグラウンドに縦30m，横20mの長方形からなる5つのステージを作成した（図1）。各ステージを1分間で回るようにし，5つのステージを終了するとその移動距離が約600mになるように設定した。したがって，1から5ステージまでを1セットとし，前後半の各45分間で合計18セット行うことになる。本研究では，運動強度が大きく変化しないように配慮しながら，運動パフォーマンステストを以下のように組み込

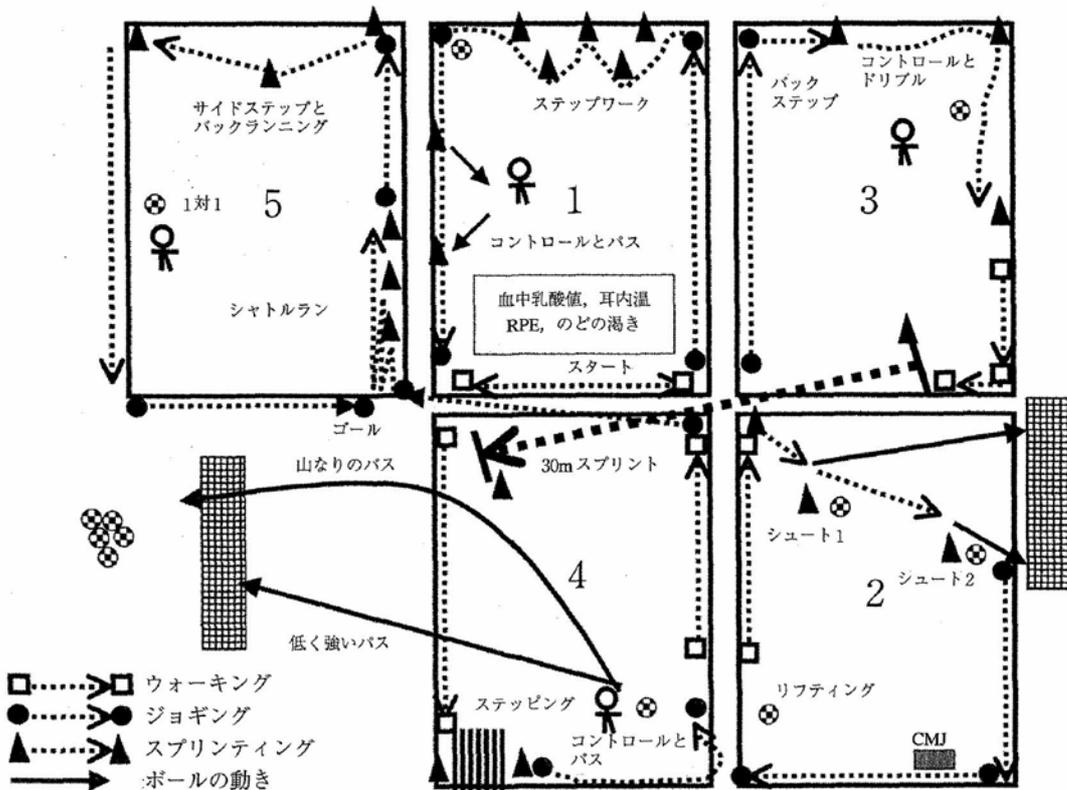


図1 パフォーマンステストを組み込んだ運動の模式図

んだ。1) 2種類のシュートの際に、ゴールの3分の1の大きさになる左右のコースを設け、コースに決まれば1点、コースから外れた場合は0点をそれぞれ記録した、2) ジャンプヘッドをカウンタームーブメントジャンプ (CMJ) に変更し、その高さを記録した、3) 30秒のボールキープをボールリフティングに変更し、リフティングの回数を記録した、4) スプリンティングを30mにし、タイムを光電管 (TAG-HEUER社製) で記録した、5) コントロールパスを1種類から、ゴールを2分割し、指定された左右のどちらかを狙う低くて早いパスとゴールの上を越す山なりのパスの2種類に変更し、成功した場合は1点、不成功の場合は0点をそれぞれ記録した、6) シャトルラン時のタイムを手動式ストップウォッチで測定し記録した。

環境条件は、WBGT計 (京都電子工業社製、WBGT-101) を用いて、WBGT、気温、湿度を実験開始時から30分毎に記録した。その結果、実験中のWBGTは 29.11 ± 0.73 °C、気温 32.46 ± 0.98 °C、湿度 60.71 ± 2.29 %であった。

1. 3 統計処理

データは平均値または平均値±標準誤差で示した。W群とC群の両群間の比較および運動開始時または1セット目の数値との比較には分散分析を行い、有意となった項目に対しては、事後検定としてFisher's protected LSD法を用いて分析した。なお、統計上の有意水準は5%とした。

2. 実験結果

本実験には、10人の被験者が参加したが、W群2名、C群1名が運動の途中に不調を訴え、運動を最後まで遂行することができなかった。したがって、結果のデータは、W群が3名、C群が4名の数値から検討した。

運動中の心拍数は、運動開始後速やかに上昇し、

間欠的に高い心拍数が見られる波形を示し、ハーフタイム中は低い値を示した (図2)。運動中の平均心拍数は、W群が 166.40 ± 0.22 拍/分、C群が 177.5 ± 0.26 拍/分であり、W群はC群よりも有意に低かった。

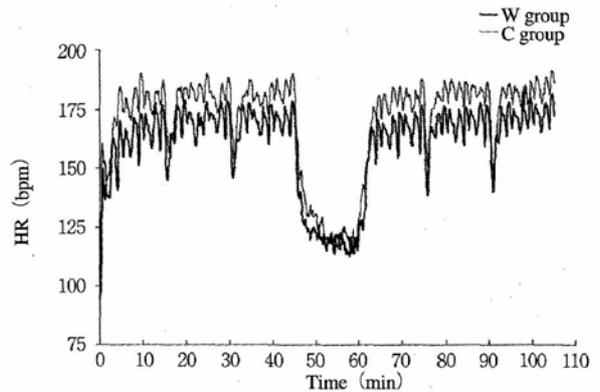


図2 水分摂取群 (W group) とコントロール群 (C group) の心拍数の比較

血中乳酸濃度は、運動開始後上昇し、W群が 6.45 ± 0.35 mM、C群が 6.78 ± 0.32 mMであった。運動開始15分後の値において、C群がW群よりも高い値を示したが、その他の時間では両群間に有意な差はみられなかった (図3)。

運動中の耳内温は、運動開始時の値と比較して、C群はW群よりも早く有意な上昇を示した (図4)。しかし、両群間における有意な差はみられなかった。

本実験で行った運動中の発汗量は、W群が 3.10 ± 0.16 L、C群が 2.98 ± 0.36 Lであり、両群に

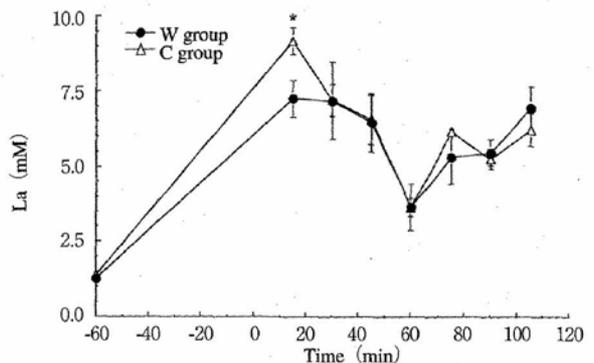


図3 水分摂取群 (W group) とコントロール群 (C group) の血中乳酸値の比較
* $p < 0.05$, W group vs C group

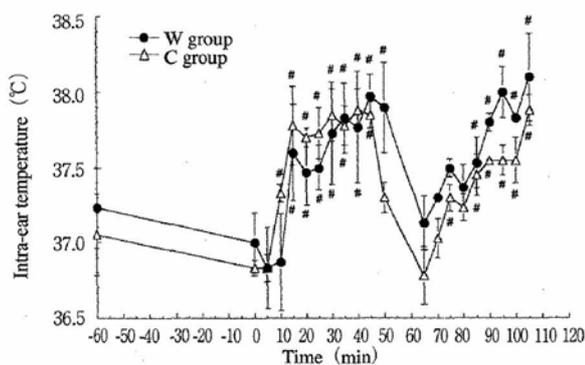


図4 水分摂取群 (W group) とコントロール群 (C group) の耳内温の比較

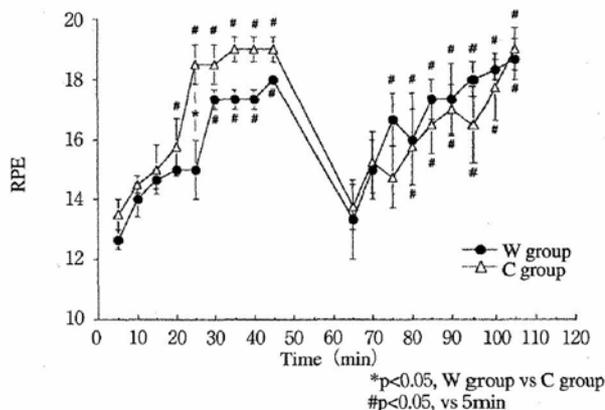


図6 水分摂取群 (W group) とコントロール群 (C group) のRPEの比較

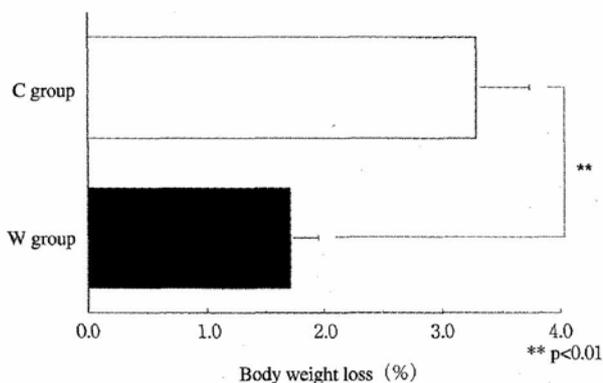


図5 水分摂取群 (W group) とコントロール群 (C group) の体重減少率の比較

差はみられなかった。しかし、体重減少率は、W群が $1.71 \pm 0.24\%$ 、C群が $3.29 \pm 0.45\%$ であり、C群はW群より有意に高い値を示した (図5)。

運動中のRPEは、運動開始後緩やかに上昇し、運動開始時の値と比較して、C群はW群より早く有意な上昇を示した。また、運動開始25分後のC群の値はW群の値よりも有意に高くなり、前半はC群の方がW群よりも高い傾向が見られた (図6)。

運動中ののどの渇きのレベルは運動開始後上昇し、運動開始後35、40、45、95、105分の値において、C群はW群よりも有意に高い値を示した (図7)。

サッカーをシミュレートした運動中にパフォーマンステストを6種類行った。図8に、技術系のパフォーマンスである2種類のシュート技術と、

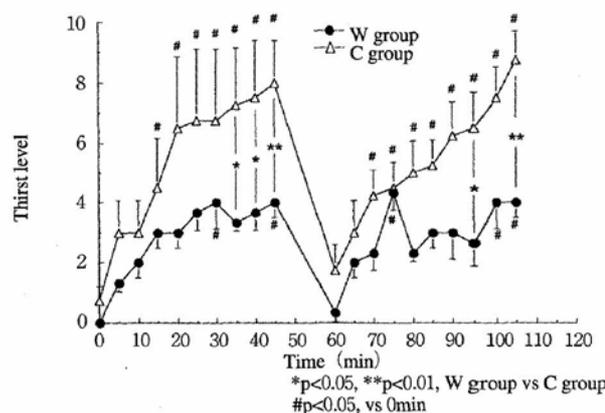
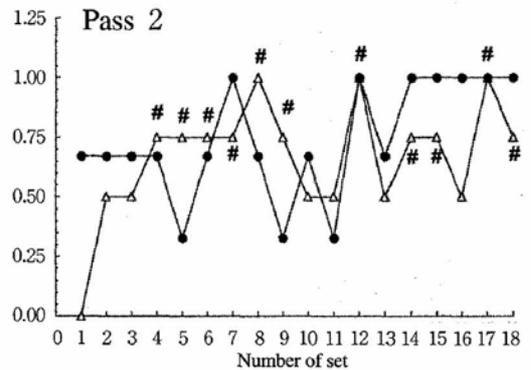
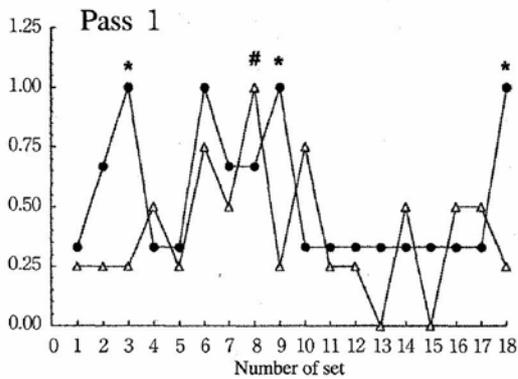
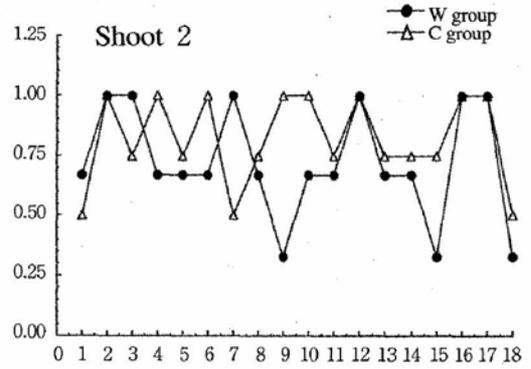
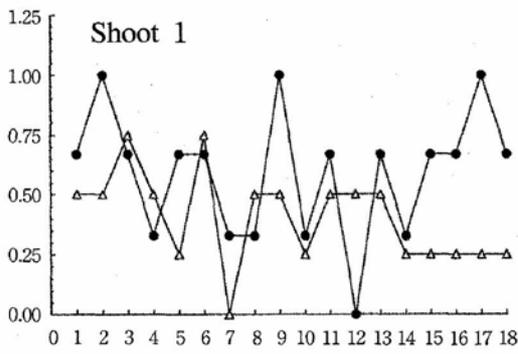


図7 水分摂取群 (W group) とコントロール群 (C group) ののどの渇きのレベルの比較

2種類のパス技術の平均得点の結果を示した。シュート技術においては、両群に差はみられなかった (図8-A, B)。しかし、パス技術においては、低くて早いコントロールパス (パス1) において、両群間で差がみられ、3、9、18セット目においてW群はC群よりも得点が高かった (図8-C)。山なりのパス技術であるパス2においては、C群で1セット目よりも4セット目から有意に高くなったが、両群間での差はみられなかった (図8-D)。ボールリフティングの回数は、C群が、1セット目よりも3、16、17セット目において有意に高い値を示したが、両群間での差は見られなかった (図9)。

体力系のパフォーマンスの結果は図10~12に示した。ジャンプパワーの指標となるCMJの結



*p<0.05, W group vs C group
#p<0.05, vs 1st set

図8 水分摂取群 (W group) とコントロール群 (C group) のシュートおよびパス技術の比較

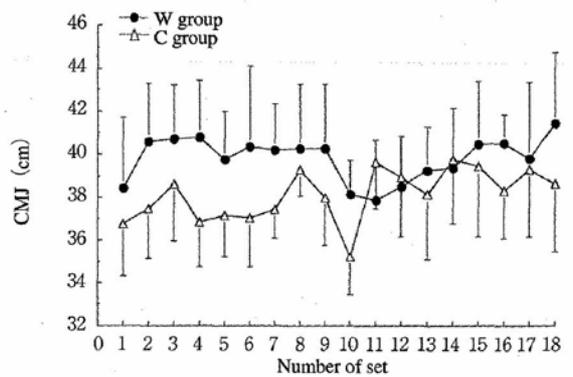
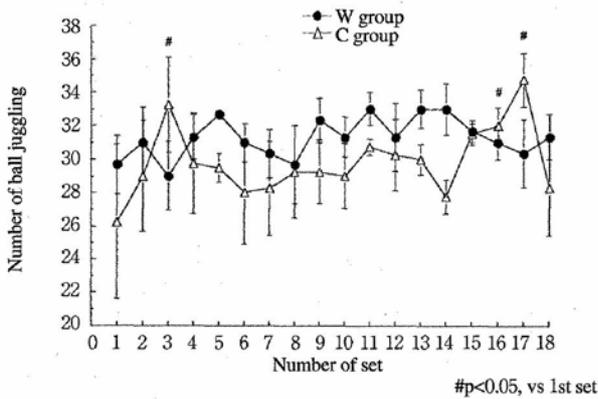


図9 水分摂取群 (W group) とコントロール群 (C group) のボールリフティング回数の比較

図10 水分摂取群 (W group) とコントロール群 (C group) のCMJの比較

果は、両群間に有意な差はみられなかった (図10). 30mスプリントのタイムは、W群では1セット目の値とその後のセット間において有意な差はみられなかったが、C群では6, 7セット目において有意に遅い値を示した (図11). また、シャトルランのタイムは、6, 7, 9, 16, 18セット

目において、W群はC群よりも有意に早い値を示したが、それぞれの群において1セット目の値との有意な差はみられなかった (図12).

3. 考察

本研究では、暑熱環境下でのサッカーをシミュ

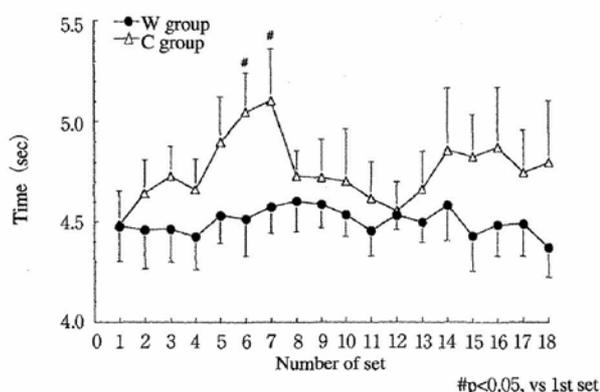


図11 水分摂取群 (W group) とコントロール群 (C group) の30m スプリントタイムの比較

レートした運動のパフォーマンスに及ぼす水分補給の効果を検討した。実験は環境条件に差が出ないことに配慮して、同一日に10人の被験者を無作為に水分摂取群 (W群) とコントロール群 (C群) に分け、生理学的指標および運動パフォーマンスを両群間で比較検討する方法を採用した。しかし、両群合わせて3人の被験者が前半終了時もしくは前半の内にリタイアしてしまった。この原因としては、実験日前日まで気温25℃以下となる比較的涼しい環境条件であったため、実験当日の暑熱環境がこれらリタイアした被験者に対して、大きな生体負担となったと考えられる。

サッカーをシミュレートした運動中の心拍数は、われわれが以前報告した値 (平均値±標準偏差, 167.0±14.0) とほぼ同等の数値であった¹⁵⁾。この値は、サッカーの試合における先行研究の結果^{3), 8), 14)}と比較しても、ほぼ同等の数値であった。また、本研究における運動中の血中乳酸濃度の値も、先行研究の結果^{3), 13)}とほぼ同等の結果であった。したがって、サッカーの試合をシミュレートした運動中にパフォーマンステストを組み込んだ今回の運動は、実際のサッカーの試合とほぼ同等の運動強度であったことが示された。また、心拍数および運動開始15分時の血中乳酸濃度において、C群の方がW群よりも高かった。血中乳酸濃度に関しては、両群間で水分摂取量に差がな

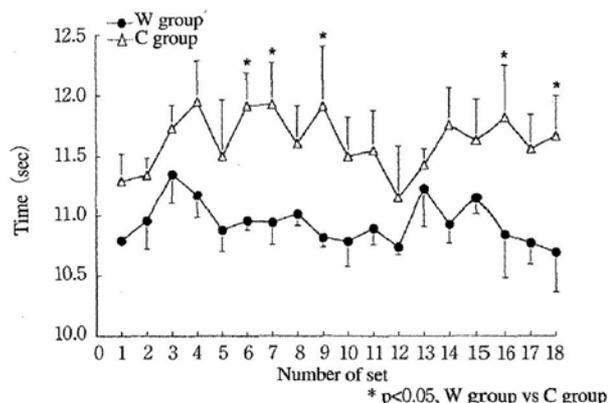


図12 水分摂取群 (W group) とコントロール群 (C group) のシャトルランタイムの比較

い時間帯での差であり、その後の血中乳酸濃度に両群間で差がみられないことから、水分摂取の影響はなかったことが示唆された。

心拍数は、運動中全体を通じてC群の方が高い傾向が見られた。これは、C群の水分摂取量が不十分であり、心拍出量を維持するための代償作用による心拍数の増加であった可能性が示唆された²³⁾。実際に、両群での発汗量に有意差は見られなかったが、体重減少率はC群の方がW群よりも有意に高く、その値は運動パフォーマンスに影響を及ぼすと考えられている2%を大きく超えるものであった²¹⁾。本研究で、C群が示した約3.3%の体重減少率は、先行研究におけるほぼ同等な環境条件下での実際の試合における体重減少率と相違なかった¹⁷⁾。したがって、C群は実際の試合とほぼ同等の条件であったことが示された。一方、W群は、実際の試合に置き換えると、試合が少しでも中断した際に頻繁に水分を摂取した条件であったと想定できる。

運動時の感覚的指標として、RPEとどのどの渴きのレベルを5分ごとに記録した。RPEは、特に前半において、C群はW群よりも高くなる傾向が見られ、25分時には両群間で有意な差がみられた。しかし後半に有意な差はみられず、感覚的な運動強度に対する水分摂取の効果は、サッカーに対しては前半だけに見られることが示唆された。

一方、のどの渇きのレベルの結果は予期していたものであり、前・後半を通じてC群の方が高く、特に、前・後半それぞれの残り15分から差が顕著に見られた。この時間帯は実際の試合では勝敗を左右する重要な時間帯であり、この時間にのどの渇きを訴え、集中力が欠けてしまう可能性が示唆された。

本研究の特徴として、サッカーをシミュレートした運動に組み込んだ6種類のテストからサッカーに関係するパフォーマンスを評価したことがあげられる。その結果、技術系の指標として行ったシュート、パス、ボールリフティングの回数に対しては、水分摂取の効果は顕著に見られなかった。高強度のシャトルランニングを90分間行った先行研究の結果においても、決められたコースをこなすドリブルの時間を指標にした技術系のパフォーマンスに、水分摂取は影響しないことが報告されている¹²⁾。また、技術に加えて集中力を要するボールリフティングの回数に対しても、両群間で差がみられなかった。中枢性の疲労に対して暑熱環境が影響を及ぼすことはこれまでも報告されていることから^{6), 18)}、ボールリフティング技術にも水分摂取が影響を及ぼすことが考えられたが、30秒程度のこの技術には影響しなかった。おそらく、この技術には幼少期から培った経験が大きく作用するため、水分摂取の有無の影響は小さいと考えられる。

一方、体力系のパフォーマンスには水分摂取の効果が顕著に見られた。全身パワーの指標として広く使われている⁵⁾CMJには、有意な結果は見られなかったが、30mスプリントとシャトルランのタイムには顕著な差がみられた。30mスプリントのタイムは、W群が18セットを通じてほぼ変動しなかったのに対して、C群は、2セット以降タイムが遅くなり、6, 7セットでは有意にタイムが遅くなった。その後ハーフタイムに近づいてタイムは早くなったが、後半に行くにしたがって、

再びタイムが遅くなる傾向が見られた。また、シャトルランテストでは、前半には両群間で差がみられなかったが前半終了近くの6, 7, 9セット目と、後半終了近くの16, 18セットでC群はW群より有意にタイムが遅かった。サッカーの試合では、30m以下のスプリントを行う時間帯が全体の5%前後であることがこれまで報告されている^{3), 19)}。しかし、この少ない割合の中に試合を決定づけるプレーが含まれており、サッカーの試合の中では非常に重要なパフォーマンスの指標と考えられている⁷⁾。これまでの先行研究においても、トレッドミルを用いてサッカーの試合をシミュレートした運動中に間欠的に行われる全力スプリント時の速度や¹⁰⁾、間欠的に行われる20mスプリントのタイムに水分摂取の効果があることが報告されている¹²⁾。本研究の結果から、フィールドにおけるサッカーの試合をシミュレートした運動中のスプリント能力に対しても、水分摂取の効果が見られることが示された。したがって、試合中に水分を頻繁に摂取することが困難である競技であるサッカーにおいて、試合中に取って頻繁に水分を摂取することがパフォーマンスの低下を防ぐ有効な方法であることが示唆された。

まとめ

実際のサッカーの試合をシミュレートした運動にパフォーマンステストを組み込み、暑熱環境下でのパフォーマンスに対する水分補給の効果を検討した。試合中の総量1000mlの飲水は、体重減少率を2%以下に保つことができ、感覚的な負担を和らげることが示された。また、パフォーマンスに対しては、技術系のパフォーマンスには効果が見られなかったが、体力系のパフォーマンスである30mスプリントおよびシャトルランのタイムの低下を防ぐ効果があることが示された。

謝 辞

本研究を遂行するにあたっては、平成国際大学スポーツ科学研究所戸荻晴彦教授に多大なご協力をいただきました。また、被検者としてご協力いただいた平成国際大学サッカー部の学生、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心から感謝の意を表します。

文 献

- 1) Backx K., Mc Naughton L., Crickmore L., Palmer G., Carlisle A., Effect of differing heat and humidity on the performance and recovery from multiple high intensity, intermittent exercise bouts, *Int. J. Sports Med.*, 21, 400-405 (2000)
- 2) Ball D., Burrows C., Sargeant A.J., Human power output during repeated sprint cycle exercise: the influence of thermal stress, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 79, 360-366 (1999)
- 3) Bangsbo J., Fitness training in football - a scientific approach, HO+Storm, Bagsvaerd, (1994)
- 4) Barr S.I., Costill D.L., Fink W.J., Fluid replacement during prolonged exercise: effect of water, saline, or no fluid, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 23, 811-817 (1991)
- 5) Bosco C., Luhtanen P., Komi P.V., A simple method for measurement of mechanical power in jumping, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 50, 273-282 (1983)
- 6) Bruck K., Olschewski H., Body temperature related factors diminishing the drive to exercise, *Can. J. Physiol. Pharmacol.*, 65, 1274-1280 (1987)
- 7) Cometti G., Maffiuletti N.A., Pousson M., Chatard J.-C., Maffulli N., Isokinetic Strength and anaerobic power of elite, subelite and amateur french soccer players, *Int. J. Sports Med.*, 22, 45-51 (2001)
- 8) Ekblom B., Applied physiology of soccer, *Sports Medicine*, 3, 50-60 (1986)
- 9) Falk B., Radomisaac S., Hoffman J.R., Wang Y., Yarom Y., Magazanik A., Weinstein Y., The effect of heat exposure on performance of and recovery from high-intensity, intermittent exercise, *Int. J. Sports Med.*, 19, 1-6 (1998)
- 10) Fallowfield J.L., Jackson A.G., Wilkinson D.M., Harrison J.J.H., The influence of water ingestion on repeated sprint performance during a simulated soccer match, in Science and Football III, E. & F.N. Spon, London, 60-65 (1997)
- 11) Galloway, S., Maughan, R., Effects of ambient temperature on the capacity to perform prolonged exercise in man. *J. Physiol.*, 489, 35-36 (1995)
- 12) McGregor S.J., Nicholas C.W., Lakomy H.K.A., Williams C., The influence of intermittent high-intensity shuttle running and fluid ingestion on the performance of a soccer skill, *J. Sports Sci.*, 17, 895-903 (1999)
- 13) 宮城修, 島崎達也, 瀧弘之, 石河利寛, 北川薫, 血中乳酸濃度を指標としたサッカー選手の試合時の運動強度, *Jpn. J. Sports Sci.*, 14, 639-645 (1995)
- 14) 宮城修, 須佐徹太郎, 北川薫, サッカー選手の試合中の生理学的特徴および動きの特徴, デサントスポーツ科学, 18, 231-238 (1997)
- 15) 宮城修, 大橋二郎, 安松幹展, サッカー選手における試合をシミュレートした際の生理学的特徴と動きの特徴, 防衛大学校紀要, 81, 83-92 (2000)
- 16) Montain S.J., Coyle E.F., Fluid ingestion during exercise increase skin blood flow independent of increase in blood volume, *J. Appl. Physiol.*, 73, 903-910 (1992)
- 17) Mustafe K.Y., Mahmoud N.E-D.A., Evaporative water loss in african soccer players, *J. Sports Med.*, 19, 181-183 (1979)
- 18) Nybo, L., Nielsen B., Hyperthermia and central fatigue during prolonged exercise in humans, *J. Appl. Physiol.*, 91, 1055-1060 (2001)
- 19) Ohashi J., Togari H., Isokawa M., Suzuki S., Measuring movement speeds and distances covered during soccer match-play, in Science and Football, E. & F.N. Spon, London, 329-333 (1988)
- 20) Parkin, J. M., Carey, M. F., Zhao, S., Febbraio, M. A., Effect of ambient temperature on human skeletal muscle metabolism during fatiguing submaximal exercise. *J. Appl. Physiol.*, 86, 902-908 (1999)
- 21) Pinchan G., Gauttam R.K., Tomar O.S., Bajaj A.C., Effect of primary hypohydration on physical work capacity, *Int. J. Biometerol.*, 32, 176-180 (1988)
- 22) Pitts G.C., Johnson R.E., Consolazio F.C., Work in the heat as affected by intake of water, salt and glucose, *Am. J. Physiol.*, 142, 253-259 (1944)
- 23) Rowell L.B., Human cardiovascular adjustments to exercise and thermal stress, *Physiological Rev.*, 54,

- 75-159 (1974)
- 24) Thompson, C. J., Bland, J., Burd, J., Baylis, P. H.,
The osmotic thresholds for thirst and vasopressin
release are similar in healthy man. *Clin. Sci.*, 71,
651-656 (1986)
- 25) Yasumatsu M., Togari H., Isokawa M., Tanaka H.,
Saito T., The effect of ambient temperature on
thermoregulation and performance during
prolonged intermittent exercise, *Proceedings of
Australian Physiological and Pharmacological
Society*, Supplement 1, International Thermal
Physiology Symposium, 32 (2) 185p (2001)