

博士審査学位論文

中京大学大学院スポーツ科学研究科

暑熱環境下の試合における男子ラクロス選手の

実践的身体冷却方略の検討

**The investigation of a feasible body cooling strategy for the men's lacrosse players
during the competition in the heat.**

2022 年 7 月 31 日 学位授与

刑部 純平

本論文は以下の 3 編の論文に基づいて構成されている。

1. Jumpei Osakabe, Masanobu Kajiki, Ryosuke Inada, Takaaki Matsumoto, Yoshihisa Umemura.
Wearing the men's lacrosse uniform during an exercise simulated match in the heat increases the physiological strain index especially during the latter halves. The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine. (2022). 11(1): p9-19. (第 2 章, 研究I)
2. 刑部純平, 松本孝朗, 梅村義久, 近藤妃畝. 暑熱環境下で防具を装着して運動をするアスリートに対する実践的な身体冷却方略の検証ーラクロスに着目してー. デサントスポーツ科学. デサントスポーツ科学. (2022). 43: p128-138. (第 3 章, 研究 II)
3. Jumpei Osakabe, Miyuna Yamamoto, Takaaki Matsumoto, Yoshihisa Umemura. Addition of in-play cooling breaks during intermittent exercise while wearing lacrosse uniforms in the heat attenuates increases in rectal temperature. Journal of Human Kinetics. (2022). 82(1): p111-121.
(第 4 章, 研究III)

目次

第1章 序.....	3
第1節 ラクロスの競技特性.....	4
第2節 暑熱環境下でのスポーツ活動と暑さ対策.....	5
第3節 暑熱環境下でのラクロス.....	7
第4節 研究小史.....	8
第5節 研究の目的、仮説および構成.....	12
図表	16
第2章（研究Ⅰ）	
暑熱環境下における男子ラクロスの試合を模擬した運動中の防具着用が 体温調節反応に及ぼす影響	18
1. 目的	19
2. 仮説	19
3. 方法	19
4. 結果	25
5. 考察	27
6. 小括	30
7. 図表	32
第3章（研究Ⅱ）	
暑熱環境下における男子ラクロスの試合を模擬した運動中のハーフタイムでの 実践的身体冷却方略がその後の体温調節反応に及ぼす影響	41
1. 目的	42
2. 仮説	42
3. 方法	42

4. 結果	46
5. 考察	48
6. 小括	51
7. 図表	53
第4章（研究Ⅲ）	
暑熱環境下における男子ラクロスの試合を模擬した運動中の各クォーターでの	
ウォーターブレイクタイムアウトが体温調節反応に及ぼす影響	61
1. 目的	62
2. 仮説	62
3. 方法	62
4. 結果	65
5. 考察	67
6. 小括	69
7. 図表	70
第5章 総括	79
第1節 本研究の限界と今後の課題	80
第2節 ラクロス競技現場における実践的身体冷却方略	83
第3節 結論	86
謝辞	87
参考文献	88

第1章

序

第1節 ラクロスの競技特性

第2節 暑熱環境下でのスポーツ活動と暑さ対策

第3節 熱環境下でのラクロス

第4節 研究小史

第5節 研究の目的，仮説および構成

図表

第1節 ラクロスの競技特性

ラクロスは、クロス（先端に網が付いたアルミニウム製のスティック）を用いて、相手ゴールにゴム製のボールを運ぶ、ゴール型球技のチームスポーツであり、男子競技と女子競技に区分される。競技ルールは、男女ともに同じ試合時間、人数、フィールドサイズである一方で、ボディチェック（接触）は男子競技でのみ認められている。そのため、男子競技ではヘルメットとグローブ、女子競技ではアイガードの着用がそれぞれ義務付けられており、着用するユニフォーム（防具を含む）が異なる。そこで、本節では男子ラクロスに着目し、競技特性を以下に簡潔にまとめる。

男子ラクロスの試合は、15分間×4クォーターの合計60分間であり、10分間のハーフタイムブレイクと2分間のクォーターブレイクが2回設けられている（日本ラクロス協会、ルールブック）。ポジションは、ゴリー（ゴールキーパー）、ディフェンダー、ミッドフィールダー、アタッカーに分類され、両チーム各10人で競技を行う（日本ラクロス協会、ルールブック）。なお、試合展開に応じて随時、選手の交代が回数無制限に認められている。男子ラクロスは競技中にジョギング、ランニング、スプリント、方向転換、ジャンプなど、様々な運動を繰り返す競技であり、サッカーや陸上ホッケーと同様の高強度間欠的運動に分類される（Akiyama et al. 2019, Polley et al. 2015）。また、ボディチェックが認められているため、男子ラクロス選手はヘルメット、チェストガード、エルボーガード、グローブといった防具を装着する（図1）。このように、防具を装着して競技をする点が、サッカーや陸上ホッケーなどのチームスポーツとは異なる男子ラクロスの特徴である。以上のように、男子ラクロスはスピード感がある身体接触が激しい競技であるため、「地上最速の格闘球技」と呼ばれている（日本ラクロス協会、HP）。

第2節 暑熱環境下でのスポーツ活動と暑さ対策

運動に伴う骨格筋の収縮によって、大量の熱産生が生じ、体温が上昇する。また、運動強度が高くなると、熱産生量が増加し、より一層体温が上昇する (Morris et al. 1998) (Nybo. 2008)。酸素摂取量は熱産生量を表すことができ、酸素 1 L あたりの熱量は約 5 kcal である。例えば、体重 70 kg のヒトが $40 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ の運動を 30 分間継続した場合の酸素摂取量は 84 L であり、420 kcal のエネルギーが消費される。ヒトのエネルギー効率を 20% とした場合、336 kcal ($420 \text{ kcal} \times 80\%$) が熱に変換される。体重 70 kg のヒトの体温を 1°C 上昇させるための熱量は、約 58.1 kcal である。したがって、体重 70 kg のヒトが $40 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ の運動を 30 分間継続した際に生じる熱産生量は、全く熱放散がされない場合、体温が約 5.8°C 上昇する熱産生量に相当する。しかし、実際には熱放散によって体温は一定の範囲内に維持される。身体からの熱放散は、放射、伝導、対流、蒸発によって起こりうる。放射、伝導、対流は、環境温度が皮膚温よりも低い場合に起こり、反対に環境温度が皮膚温よりも高い場合には、体外から体内へ熱が移動する。環境温度が皮膚温よりも高い場合には、蒸発が唯一の熱放散の手段となる (冨樫. 2013)。蒸発による熱放散では、汗が体表面で蒸発する際に身体から気化熱を奪う。汗 1 g あたりの気化熱は、0.578 kcal である。したがって、運動に伴い毎分 10 g の発汗が生じ、全て蒸発した場合、毎分 5.78 kcal の放熱が起こる。先述の体重 70 kg のヒトが $40 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ の運動を 30 分間継続した場合の例において、体温の上昇を防ぐために必要な蒸発量は、約 580 g ($336 \text{ kcal} \div 0.578 \text{ kcal} \cdot \text{g}^{-1}$) である。以上に示される熱産生と熱放散のバランスによって体温が変動し、熱産生量と熱放散量が等しい場合、体温は一定に保たれるが、熱産生量が熱放散量を上回る場合、体温が上昇する。

スポーツ活動は、夏季の高温・多湿環境（暑熱環境）下においても活発に行われている。しかし、暑熱環境では、皮膚温と外気温の差が小さくなるため、放射、伝導、対流、

蒸発による熱放散量が低下する。また、湿度の上昇に伴い蒸発速度と蒸発量が低下する

(Casa et al. 2015)。蒸発量は、皮膚表面と外気との間の水蒸気圧勾配が関連しており、皮膚表面の水蒸気圧が大気中の水蒸気圧より高い場合に蒸発による気化が生じ得る (Scott et al. 2018)。つまり、多湿環境では、大気中の水蒸気圧と皮膚表面の水蒸気圧の差異が小さくなるため、蒸発が妨げられる。したがって、暑熱環境下での運動は、冷涼環境での運動と比較して、熱放散量が低下し深部体温がより大きく上昇する。また、防具の装着など運動時の着衣量が増加することも熱放散を妨げるため、より大きな体温上昇を引き起こす要因となる (Casa et al. 2015)。

深部体温が過度に上昇 ($>40^{\circ}\text{C}$) すると、労作性熱射病 (EHS: exertional heat stroke) などの熱中症を引き起こす可能性がある (Casa et al. 2015)。EHS は、生命にかかわる重篤な病態であり、スポーツ活動中のアスリートの突然死の要因の一つとされている (Casa et al. 2012)。日本におけるスポーツ活動中に発生した熱中症死亡事故は、屋外種目では野球、ラグビー、サッカー、屋内種目では剣道、柔道で多い (日本スポーツ協会. 2019)。このように、屋外では運動強度が高いチームスポーツ、屋内では着衣量が多いスポーツにおいて EHS の発症リスクが高いと考えられる。スポーツ活動時の熱中症による死亡事故は、たとえ一例であっても大きな問題となる。したがって、夏季のスポーツ活動時における暑さ対策は、アスリートの健康を守るために重要である。

以上のような背景から、夏季のスポーツ競技現場では、身体冷却、暑熱順化、水分補給など、様々な暑さ対策が実施されている (Periard et al. 2017)。特に、身体冷却は、冷水浴、アイスベスト、アイススラリー摂取、手掌冷却、 FAN_{wet} など様々な方法があり、単独、もしくは組み合わせて実施されている。これまでの研究によって、運動前、運動中の身体冷却は、深部体温の低下に有効な暑さ対策であることが実証されている (Bongers et al. 2015) (Bongers et al. 2017)。

第3節 暑熱環境下でのラクロス

本章第2節で述べたように、暑熱環境下における運動時の防具の装着は、熱放散を妨げ、より大きな体温上昇を引き起こし、EHSを発症する要因の一つとなり得る (Casa et al. 2015)。また、チームスポーツの競技特性である高強度間欠的運動も EHS を発症する要因の一つとなり得る (Casa et al. 2015)。競技中に防具を装着するチームスポーツとして、アメリカンフットボール、男子ラクロス、陸上ホッケー（ゴールキーパー）などがあげられる。これまでの研究で、暑熱環境下での運動時にアメリカンフットボールのユニフォーム（防具を装着）を着用すると、ユニフォームを着用しない場合と比較して、蒸発、対流、放射といった熱放散が妨げられ、熱ストレスが増大し、深部体温、皮膚温、心拍数、発汗量の上昇や運動継続時間の短縮、主観的指標の悪化が報告されている (Armstrong et al. 2010, Kulka et al. 2002)。実際に、夏季のスポーツ活動時における防具を装着するアメリカンフットボール選手の熱中症発症率は、他のスポーツと比較して約 11 倍高く、男子ラクロス選手においても、男子サッカー選手と比較して約 2 倍高いことが報告されている (Kerr et al. 2013)。このように、試合中に防具を装着する男子ラクロス選手は、アメリカンフットボール選手と同様に、他の防具を装着しないチームスポーツ選手と比較して、試合中の熱ストレスが大きく、熱中症の発症リスクが高いと考えられる。また、日本では夏季から秋季にかけて主要な競技会（全国地区公式戦、全日本選手権など）が開催される。また、ラクロスが盛んなアメリカにおいても夏季にリーグ戦 (Major League Lacrosse) が開催される。以上のことから、男子ラクロスは競技特性、競技会の開催時期を考慮すると EHS の発症リスクが高いスポーツであると考えられる。近年、ラクロスの競技人口は、日本だけでなく世界各国で増加傾向にある (日本ラクロス協会, HP)。したがって、暑熱環境下において開催される男子ラクロス試合中の身体冷却方略についてより一層、検討する必要がある。

第4節 研究小史

本章の第2節で述べたように、夏季のスポーツ競技現場では、様々な身体冷却方略が実施されている。身体冷却効果を高めるためには、スポーツ活動の競技特性やルールなどを考慮し、身体冷却方法や実施タイミング（運動前、中、間、後）、冷却時間などを工夫することが重要である。サッカー、ラグビー、陸上ホッケー、ラクロスなどのチームスポーツでは、試合前や試合間（ハーフタイム）、試合中（飲水タイム）において身体冷却を実施することが可能である。そこで、本節では、暑熱環境下におけるチームスポーツの試合中の身体冷却方略に着目した先行研究について、ハーフタイム中（運動間）の身体冷却、飲水タイムやクーリングブレイクによる身体冷却に分けて、以下に簡潔にまとめる。

1) ハーフタイムブレイク中の身体冷却

サッカー、ラグビー、陸上ホッケー、ラクロスなどのチームスポーツの試合時間は、60分から90分間であり、10分から15分間程度のハーフタイムブレイク（HT）が設けられている。暑熱環境下（気温 36°C、相対湿度 61%）で開催されたサッカーの試合中に、経口カプセル型の体温計を用いて深部体温を測定した先行研究では、試合の前半において深部体温が 39°C に到達し、試合終盤まで高体温（>39°C）が持続することが報告されている（Özgünen et al. 2010）。したがって、試合後半における熱ストレスを軽減するために、HT 中に身体冷却を実施することは重要である。

冷飲料摂取は、発汗による脱水を防ぐことを主な目的として、スポーツ競技現場で最も実施されている暑さ対策の1つである。また、摂取する飲料の温度が体温より低いため、身体内部から深部体温を低下させる効果も期待できる。例えば、体重が 70 kg の人が体重 1 kg あたり 7.5 g の冷飲料（4°C）を摂取した場合、理論的には体温が約 0.29°C 低下する

(刑部, 2020). しかし, 冷飲料摂取による冷却効果は, 摂取量や水温によっては, 後述する身体冷却方法と比べて小さい場合がある. このように, 冷飲料摂取は脱水予防の観点から必要不可欠な身体冷却方法であり, 実用性が高い一方で, 水温による物理的身体冷却効果が必ずしも大きくないことが特徴である.

冷水浴は, 浴槽やビニールプールの中に身体を浸漬させる方法であり, 身体冷却効果(深部体温の低下)が最も大きい身体冷却方略の1つとされている(Choo et al. 2018). 水の熱伝導率($0.561 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)は, 空気($0.0241 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)の約20倍高く, 身体から水への熱伝導によって効率的に体温を下げる. 暑熱環境下での HT 中に冷水浴を実践することで深部体温の低下や後半の運動パフォーマンスの向上が報告されている(Egana et al. 2019, Vaile et al. 2011, Peiffer et al. 2010). これらの先行研究の具体的な方法と結果をまとめると, 2.5 分から 15 分間, 8°C から 15°C の冷水に全身(座位もしくは立位姿勢にて胸骨までの深さ)浸かることで, 深部体温が約 0.4°C から 0.5°C 低下する(Egana et al. 2019, Vaile et al. 2011, Peiffer et al. 2010). しかし, 身体冷却効果が大きい一方で, 浴槽や大量の氷水が必要であることや, 一度に多くの選手が同じ浴槽に入浴した場合には, 血液などを介した感染症などの危険性が指摘されることなどから, スポーツ競技現場での実用性に課題がある.

クーリングベストは, 着用した際にベストのポケットに挿入された保冷剤が触れている体表面を冷却する身体冷却方略である. HT 中に実施可能な実用性の高い身体外部冷却方法の1つである. しかし, これまでの研究によって, 15 分間の HT 中に着用しても, 保冷剤が触れている正味の体表面積が小さいため, 深部体温の低下が大きくないことが報告されており, 運動パフォーマンスへの影響についても一致した見解が得られていない(Chaen et al. 2019, Maroni et al. 2018). また, チームスポーツでは, 選手の数と同じ数のクーリングベストを用意し, スポーツ競技現場でクーリングベストの保冷剤が解けないように保冷する必要がある. そのため, アマチュアレベルの競技会では, コストや設備の観点か

ら実施困難な場合がある。さらに、保冷材の素材や量、保冷剤と触れている体表面などによって、身体冷却効果が変化することも考慮する必要がある。

アイススラリーは、液体に微細な氷の粒が混ざったドリンクであり、氷の粒が体内で溶けて液体に変わる相変化の際に体内の熱を吸収する (Siegel et al. 2010)。氷の融解熱は $334 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ である。体重が約 70 kg の人が体重 1 kg あたり 7.5 g のアイススラリーを摂取した場合、理論的には体温が約 1.07°C 低下する (刑部, 2020)。一方、同量の 4°C の冷飲料を摂取した場合は、理論的には体温が約 0.29°C 低下する (刑部, 2020)。このように、アイススラリー摂取は冷飲料摂取と比較して、深部体温を大きく低下させることが可能であり、かつ実用性が高い身体内部冷却方法である。これまでの研究によって、15 分間の HT 中に体重 1 kg あたり 7.5 g のアイススラリーを摂取することで、冷飲料を摂取した場合と比較して、後半の直腸温が低い値を示したことが報告されている (Onitsuka et al. 2015)。しかし、短時間で大量のアイススラリーを摂取することで、頭痛や胃腸の不調を引き起こす可能性があるため、注意が必要である (刑部, 2020)。また、スポーツ競技現場では、作成したアイススラリーが溶けないように、保冷瓶やクーラーボックスを活用して保冷する必要がある。

FAN_{wet} は、水を含んだスポンジで皮膚を濡らし、扇風機で送風をすることで蒸発性熱放散を促進する身体外部冷却方略である (Schraner et al. 2017, Lynch et al. 2018)。水が皮膚表面で蒸発する際に生じる気化熱 ($2427 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$) は、融解熱の ($334 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$) 約 7 倍大きい。これまでの研究によって、15 分間の HT 中に FAN_{wet} を実施することで、後半の直腸温が低い値を示したことが報告されている (Osakabe et al. 2021)。スポーツ競技現場で FAN_{wet} を実施する際は、バッテリー内蔵型の扇風機を用意する、もしくは電源を確保する必要がある。一方で、大量の水や氷を必要としないため、冷水浴と比較してスポーツ競技現場での実用性が高いと考えられる。

本節で述べたチームスポーツの試合における HT 中の身体冷却方法の特徴を表 1 にまと

めた。身体冷却を実施する時間や摂取量、温度などによって身体冷却効果は大きく変わるため単純に比較することは困難であるが、期待される身体冷却効果は、冷水浴が最も大きく、 FAN_{wet} 、アイススラリー摂取、アイスベスト、冷飲料摂取の順と大略、整理可能であると考えられる。その一方で、HTでの実用性については、競技ルールや試合会場の設備、コスト等を考慮する必要がある。このように、スポーツ競技現場では、競技特性を考慮したうえで、期待される身体冷却効果と実用性について十分に検討する必要がある。

2) 飲水タイムやクーリングブレイクによる身体冷却

冷飲料による適切な水分補給は、暑熱環境下における運動時の最も重要な暑さ対策として、長年実施されている (Chalmers et al. 2020, Racinais et al. 2015)。2008 年に開催された北京オリンピックや 2014 年にブラジルで開催された FIFA World Cup は酷暑の中開催され、アスリートの健康問題が指摘された。このような背景から、暑熱環境下での競技会において、水分補給や身体冷却の機会を増やすことを目的として、飲水タイムやクーリングブレイク（プレーを一時中断し、飲水や身体冷却をする）を設けることが推奨されている (Racinais et al. 2015)。近年、いくつかのスポーツ協会 (FIFA, 日本サッカー協会, A-league, 日本ラグロス協会など) は、競技会場における湿球黒球温度 (WBGT: Wet-Bulb Globe Temperature) の数値に応じて、飲水タイムやクーリングブレイクを導入している。具体的な例として、日本サッカー協会は年齢によって分類されるカテゴリーの対象によって異なるものの、WBGT が 28°C を超える場合は、30 秒から 1 分程度の飲水タイムや 3 分間のクーリングブレイクを設けている。飲水タイムは、飲水のみを目的としている一方で、クーリングブレイクでは、日影にあるベンチに入り、休むこと、氷・アイスパック等でカラダ(頸部・脇下・鼠径部)を冷やし、必要に応じて着替えをすること、水だけでなくスポーツドリンク等を飲むことを目的としている (日本サッカー協会, 2016)。また、

日本ラグロソ協会は、7月から9月にかけて開催される試合において、試合中の各クォーター7分経過時に2分間の休息を設けるウォーターブレイクタイムアウト（WBTO）を実施している（日本ラグロソ協会，2020）。これまでの研究によって、暑熱環境下（室温：35℃，相対湿度 55%）でのサッカー試合を模擬した運動中に、前後半各1回ずつ3分間のクーリングブレイクを導入し、冷飲料を摂取することで、直腸温の上昇を抑制することが報告されている（Chalmers et al. 2019）。以上のように、短時間の飲水タイムやクーリングブレイクを設けることは、多くのチームスポーツにおいて実施可能な身体冷却であり、様々なレベル（アマチュアからプロ）において容易に実施可能である（Chalmers, 2017）。

第5節 研究の目的、仮説および構成

本章第1，2節で述べた通り、男子ラグロソは、試合中に防具を装着するスポーツである。ハーフタイムブレイクやクォーターブレイクの時間の長さを考慮すると、防具のうちヘルメットとグローブのみが着脱可能であり、ウェアの内側に装着しているチェストガードやエルボーガードは着脱困難である。したがって、試合中にすべての防具の着脱を必要とせず、に実施できる身体冷却方略について検討する必要がある。本章第4節で述べた、FAN_{wet}、アイススラリー摂取は、男子ラグロソ試合中のハーフタイムにおいて、全ての防具を外さなくとも実施可能な身体冷却方略となり得る。同様に、日本ラグロソ協会が導入している WBTO は、冷飲料摂取による脱水予防および身体冷却効果が期待できる。また、WBTO 中にグローブやヘルメットなどの防具の一部を取り外すことで、蒸発や対流による熱放散を促進し、体温の上昇を緩和することが期待できる。

これらの条件を踏まえて、暑熱環境下で開催される男子ラグロソ試合中の体温調節反応や身体冷却方略の有効性を明らかにすることを目的に、以下の3点について検討した。

1. 暑熱環境下における男子ラクロスの試合を模擬した運動中の防具着用が体温調節反応に及ぼす影響（研究Ⅰ）.

2. 暑熱環境下における男子ラクロスの試合を模擬した運動中のハーフタイムでの実践的身体冷却方略がその後の体温調節反応に及ぼす影響（研究Ⅱ）.

3. 暑熱環境下における男子ラクロスの試合を模擬した運動中の各クォーターでのウォーターブレイクタイムアウトが体温調節反応に及ぼす影響（研究Ⅲ）.

本研究を構成する3つの実験内容の概略および仮説は下記の通りである.

研究Ⅰ：暑熱環境下における男子ラクロスの試合を模擬した運動中の防具着用が体温調節反応に及ぼす影響

暑熱環境下における男子ラクロスの試合を模擬した自転車漕ぎ運動時の防具着用の有無が体温調節反応に及ぼす影響を検討した. 防具を含めたラクロスのユニフォームを着用する条件と一般的なスポーツウェアを着用する条件の体温調節反応を比較検討した.

研究Ⅰでは, 防具を含めたラクロスのユニフォームを着用する条件において, 一般的なスポーツウェアを着用する条件より大きく直腸温や皮膚温が上昇し, その差は時間経過とともに大きくなると仮説を立てた.

研究Ⅱ：暑熱環境下における男子ラクロスの試合を模擬した運動中のハーフタイムでの実践的身体冷却方略がその後の体温調節反応に及ぼす影響

暑熱環境下における男子ラクロスの試合を模擬した自転車漕ぎ運動時のハーフタイムで

の実践的身体冷却方略がその後の体温調節反応に及ぼす影響を検討した。研究 I と同様の運動プロトコルにおける 10 分間のハーフタイムブレイク中に異なる 4 条件 (①: FAN_{wet}, ②: アイススラリー摂取, ③: FAN_{wet} + アイススラリー摂取, ④冷飲料摂取) の身体冷却を実施し, その後の体温調節反応を比較検討した。研究 II では, ハーフタイムブレイク中の FAN_{wet}, アイススラリー摂取は, 冷飲料摂取と比較して, その後の直腸温の上昇を緩和すると仮説を立てた。また, FAN_{wet} とアイススラリー摂取を組み合わせること

で, 付加的な身体冷却効果が得られると考えた。

研究Ⅲ：暑熱環境下における男子ラクロスの試合を模擬した運動中の各クォーターでのウォーターブレイクタイムアウトが体温調節反応に及ぼす影響

暑熱環境下における男子ラクロスの試合を模擬した自転車漕ぎ運動中の各クォーターでのウォーターブレイクタイムアウトが体温調節反応に及ぼす影響を検討した。研究 I, II と同様の運動プロトコルにて, 各クォーターにおいてウォーターブレイクタイムアウトを設ける条件と設けない条件の体温調節反応を比較検討した。研究Ⅲでは, 各クォーターにおいてウォーターブレイクタイムアウトを設けることで, 運動終盤において直腸温の上昇が緩和すると仮説を立てた。

本研究では, 環境を制御した実験室において自転車エルゴメータを用いて男子ラクロスの試合を模擬した運動を実施した。運動負荷として自転車エルゴメータを用いた理由は, トレッドミルの加速と減速に要する時間が運動負荷および生理的指標へ及ぼす影響を最小限にするためである。トレッドミルを用いて走運動を実施する場合, 設定された走速度に到達するまでに時間を要す。例えば, 1 セット 90 秒間の間欠的運動プログラム (30 秒間安静, 30 秒間高強度走運動, 30 秒間低強度走運動) を実施する場合, トレッドミルの加速と減速に要す時間を考慮すると, 設定した速度で高強度走運動を実施できる正味の時間

は 30 秒よりも短くなる。一方で、上記の例で 30 秒間の高強度走運動を確実に実施するために、トレッドミルの加速時間を考慮し、安静時間を 30 秒間から 20 秒間へ短縮した場合、加速に伴う 10 秒間の走運動を実施する必要がある。このように、トレッドミルを運動負荷として用いた場合に得られる生理的指標を過少評価または過大評価してしまう可能性がある。本研究で用いた自転車エルゴメータ（Fujin-Raijin, O.C.Labo, Japan）は、設定した負荷強度に即座に切り替わる。したがって、設定した運動負荷に対する生理的指標を適切に評価することが可能だと考えられる。しかし、男子ラクロスの実際の試合では、ジョギング、ランニング、スプリント、方向転換、ジャンプなど、様々な運動が繰り返し行われる（Akiyama et al. 2019, Polley et al. 2015）。そのため、走運動を中心とした全身運動のラクロスは、自転車漕ぎ運動と比較して、より多くの活動筋を動員するため運動負荷が高くなると考えられる。そこで、本研究では男子ラクロス試合中の身体活動を自転車エルゴメータを用いて模倣するために、サッカーの試合を自転車エルゴメータを用いて模倣した先行研究（Yanaoka et al. 2018）を参考にした。また、男子ラクロス試合中の身体活動データ（Akiyama et al. 2019）を参考にして、運動負荷と時間を調節し、男子ラクロスの試合を模倣した自転車漕ぎ運動プロトコルを構成した。

図表



図1. 男子ラクロス選手が装着する防具. (a) ヘルメット, (b) チェストガード, (c) エルボーガード, (d) グローブ.

表 1. チームスポーツの試合におけるハーフタイム中の身体冷却方法の特徴.

身体冷却方法	身体冷却効果 (深部体温の低下)	実用性	備考
冷飲料摂取	△	◎	脱水予防の観点から必要不可欠.
冷水浴	◎	△	感染症に注意.
クーリングベスト	△	○	
アイススラリー摂取	○	○	頭痛や胃腸の不調に注意.
FAN _{wet}	○	○	

◎：最も効果（実用性）が大きい（高い），○：効果（実用性）が大きい（高い），△：効果（実用性）が大きい（低い）.

第2章（研究Ⅰ）

暑熱環境下における男子ラクロスの試合を模擬した運動中の防具着用が
体温調節反応に及ぼす影響

1. 目的
2. 仮説
3. 方法
4. 結果
5. 考察
6. 小括
7. 図表

1. 目的

本研究の目的は、暑熱環境下における男子ラグロスの試合を模擬した運動中の防具着用が体温調節反応に及ぼす影響について検討することである。

2. 仮説

本研究では、防具を含めたラグロスのユニフォームを着用する条件において、一般的なスポーツウェアを着用する条件より大きく直腸温や皮膚温が上昇し、その差は時間経過とともに大きくなると仮説を立てた。

3. 方法

3. 1. 対象者

本研究では、暑熱順化していない、運動習慣のある男性8名（平均 ± 標準偏差；年齢 = 22.0 ± 1.4 歳，身長 = 173.4 ± 4.9 cm，体重 = 67.8 ± 11.7 kg，最大酸素摂取量 [$\dot{V}O_{2\max}$: maximal oxygen uptake] = 50.3 ± 9.9 mL \cdot kg $^{-1}\cdot$ min $^{-1}$ ，最大心拍数 [HR_{\max}] = 188 ± 9 拍/分 [bpm : beats per min]) を対象とした。実験参加時、対象者は1回あたり30分以上の運動を週に2回以上行っていた。すべての対象者は、非喫煙者であり、心疾患や熱中症の既往歴はなく健康であった。対象者に対して、実験の目的や方法等の説明を十分に実施し、対象者から書面にて同意を得た。本研究は、中京大学倫理審査委員会の承認（2020-22）を得て実施した。

3. 2. 研究デザイン

本実験は、防具を含めたラクロスのユニフォームを着用する（WEAR）条件と一般的なスポーツウェアを着用する（CON）条件の合計 2 試行をランダムな順番で実施した。なお、本実験は対象者の疲労を考慮し、最低 4 日間の間隔を空けて実施した。また、日内変動を考慮し、2 試行は同一の時間帯に実施した。日本の夏の環境条件を想定し、2 試行は室温 35℃、相対湿度 50% に設定した人工気象室内（TBR12A4PX; ESPEC, Osaka, Japan）で実施した。湿球黒球温度（WBGT：Wet-Bulb Globe Temperature）は約 28℃であり、日本スポーツ協会の熱中症予防指針において、「嚴重警戒」に分類されている（日本スポーツ協会、2019）。すべての試行は、15 分間の間欠的自転車漕ぎ運動を 4 セット行い、セット間には 10 分間のハーフタイムブレイク（HT）を 1 回と 2 分間のクォーターブレイク（QB）を 2 回設けた。また、安静開始後 15 分間と HT を除いて、実験を通じて対象者の正面から送風（ $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ）した。

対象者に対して、実験期間中、身体活動や食事習慣を含む通常の生活習慣を維持し、すべての試行の 24 時間前から激しい身体活動やアルコール、カフェイン、薬物の摂取を控えるよう指示した。実験開始前の脱水を防ぐため、対象者は実験開始 2 時間前に 500 mL の水分摂取をした。すべての実験は、11 月から 12 月にかけて実施した。

3. 3. 実験の手順

3. 3. 1. 事前測定

対象者は実験室へ到着後、身長、体重、体脂肪率を測定した。その後、実験室内（室温：25℃、相対湿度：50%）にて自転車エルゴメータ（Fujin-Raijin, O.C.Labo, Japan）を用いて漸増運動負荷試験を実施し、 $\dot{V}O_{2\text{max}}$ と HR_{max} を測定した。漸増運動負荷試験は、100W から開始（5 分間）し、負荷を 2 分毎に 25W ずつ増加させ、疲労困憊に至るまで行った。なお、

ペダルの回転数は毎分 80 回転を維持した。以下の 3 つの基準のうち 2 つが達成された場合、 $\dot{V}O_{2max}$ が出現したと評価した：(1) 酸素摂取量がプラトーになる、(2) 心拍数 (HR) が最大心拍数 ($220 - \text{年齢}$) の 10% 以内に到達、(3) 呼吸交換比が 1.05 以上 (Stanley et al. 2010)。 $\dot{V}O_2$ は、呼気ガス分析器 (AE-310s; Minato Medical Science, Tokyo, Japan) を用いて測定した。また、心拍数 (HR: Heart rate) はハートレートモニター (POLAR A300; Polar, Kempele, Finland) を用いて、測定した。 $\dot{V}O_{2max}$ 出現時の HR の値を HR_{max} とした。

3. 3. 2. 本試行

実験プロトコルの概要を図 2 に示した。対象者は実験室へ到着後、尿比重と全裸体重を測定した。その後、直腸温および皮膚温センサー、ハートレートモニターを装着し、人工気象室へ入室し、15 分間の座位安静を保った。WEAR 条件では、座位安静開始後 5 分の時点でチェストガード、エルボーガード、グローブ、ウェア、ヘルメットを着用した (図 2 B)。その後、15 分間の間欠的自転車漕ぎ運動を開始した (図 2 ; 第 1 クォーター)。15 分間の間欠的自転車漕ぎ運動は、90 秒間の運動を 10 回繰り返した。90 秒間の運動は、30 秒間の無負荷ペダリング、10 秒間の高強度ペダリング ($130\% \dot{V}O_{2max}$ 強度)、50 秒間の中強度ペダリング ($60\% \dot{V}O_{2max}$ 強度) から構成され、毎分 80 回転を維持した。本実験の運動プロトコルは、男子ラクロス試合中の身体活動を模擬するために、サッカーの試合を自転車エルゴメータにて模倣した先行研究 (Yanaoka et al. 2018) を基に、男子ラクロス試合中の身体活動データ (Akiyama et al. 2019) を参考にして構成した。第 2 クォーター終了後、対象者は椅子へ移動し、8 分間座位安静を保った。実際の試合でのフィールドからの退場、入場を想定し、セルフペースの無負荷ペダリングを HT 開始直後と終了直前に 1 分間実施した。HT 終了後、第 3 クォーターを開始した。第 4 クォーター終了後、すべてのユニフォームを脱ぎ、直腸温および皮膚温センサー、ハートレートモニターを取り外し、タオルで汗を拭きたとった後、

全裸体重および尿比重を測定した。本研究では男子ラクロスの実際の試合を想定して、第2クォーターと第3クォーターの間は、10分間（HT）、第1クォーターと第2クォーターおよび、第3クォーターと第4クォーターの間は、2分間の休息（QB）を設けた（日本ラクロス協会、ルールブック）。対象者は、HT（300 mL）および各QB中（200 mL）に飲料（35℃；Pocari Sweat, Otsuka Pharmaceutical, Japan）を摂取した。WEAR条件において、対象者は各QBおよびHT中にヘルメットとグローブを外した。なお、時間経過は安静開始時点を0分として表した。

3. 4. ユニフォーム

一般的なスポーツウェア着用(CON)条件では、対象者はTシャツ（ポリエステル100%）、短パン（ポリエステル100%）、アンクルソックス、運動靴を着用した（図3A）。ラクロスのユニフォーム着用(WEAR)条件では、対象者はノースリーブコンプレッションシャツ（ポリエステル100%）、ウェア（ラクロス用：ポリエステル100%）、短パン（ラクロス用：ポリエステル100%）、アンクルソックス、運動靴を着用した。また、ラクロス用の防具である、チェストガード、グローブ、エルボーガード、ヘルメットを着用した（図3B, C）。本研究で使用した男子ラクロスのユニフォームは、全国地区公式戦で一般的に使用されているものと同等とした。なお、本研究では、男子ラクロスのユニフォームは、防具を含む身体に身に着けているすべての衣類と定義した。各条件におけるユニフォームの総重量（運動靴を除く）は、WEAR条件では2460 g、CON条件では275 gであった。

3. 5. 測定項目および測定方法

測定項目は、直腸温、皮膚温（前腕部、胸部、大腿部、下腿部）、HR、生理的負荷指標（PSI：

Physiological strain index), 発汗率, 脱水率 (体重減少率), 主観的運動強度 (RPE : Rating of perceived exertion), 温熱感覚 (TS : Thermal sensation), 熱快適性 (TC : Thermal comfort) であった.

尿比重は, 実験前に尿比重屈折計 (PAL-09S, アタゴ) を用いて測定した. 実験開始前の脱水を防ぐため, 尿比重のカットオフ値を 1.020 とした (Sawka et al. 2007). 実験開始前に, 尿比重のカットオフ値を超えた対象者はいなかった. 全裸体重は, 実験前後に身体組成計 (MC-180, タニタ) を用いて 50 g 単位で測定した. 直腸温は, 専用のゴムカバーを装着したサーミスタープローブ (LT-08-11, グラム) にワセリンを塗り, 肛門から約 15cm 挿入して測定した. 前腕部, 胸部, 大腿部, 下腿部の 4 か所にサーミスタープローブ (LT-08-12, グラム) を装着し, 各部位の皮膚温を測定した. 直腸温および皮膚温 (前腕部, 胸部, 大腿部, 下腿部) は, データ収集型温度計 (LT-8A, グラム) に 30 秒毎に記録した. 平均皮膚温は, Ramanathan ら (1964) による 4 点法の式を用いて算出した :

$$\begin{aligned} \text{平均皮膚温} = & 0.3 \times (\text{胸部皮膚温} + \text{前腕部皮膚温}) + \\ & 0.2 \times (\text{大腿部皮膚温} + \text{下腿部皮膚温}). \end{aligned}$$

HR は, ハートレートモニター (A300, POLAR) を用いて 30 秒毎に記録した. PSI を算出し, 暑熱環境下における運動時の身体負担度を評価した. PSI は Moran ら (1998) による式を用いて算出した :

$$PSI_{(t)} = 5 \times (T_{re(t)} - T_{re(0)}) / (39.5 - T_{re(0)}) + 5 \times (HR_{(t)} - HR_{(0)}) / (180 - HR_{(0)}).$$

$T_{re}(t)$ と $HR(t)$ は実験中のある時点の直腸温と心拍数の値である. $T_{re}(0)$ と $HR(0)$ は実験開始時の直腸温と心拍数である. 39.5 と 180 は, それぞれ直腸温と心拍数の到達しうる最大値を意味する (Moran et al. 1998). 発汗量は以下の式で推定した :

$$\begin{aligned} \text{発汗量 (kg} \cdot \text{h}^{-1}) = & (\text{実験前の体重 [kg]} - \text{実験後の体重 [kg]} + \text{摂取した飲料の量} \\ & \text{[kg]}) / (\text{運動時間 [h]}). \end{aligned}$$

脱水率は, 以下の式で推定した :

脱水率 (%) = (実験前の体重 [kg] - 実験後の体重 [kg]) / 実験前の体重 [kg] × 100.

RPE は, Borg の 15 段階スケール (6~20) を使用して記録した (Borg, 1982). TS は, 9 段階スケール (0 : とてもさむい~ 8 : とてもあつい) を使用して, TC は 7 段階スケール (-3 : とても不快~ +3 : とても快適) を使用して記録した (Kajiki et al. 2020). RPE, TS, TC は, 第 1 クォーター開始前 (5, 14 分), 第 1 クォーター終了時 (30 分), 第 2 クォーター終了時 (47 分), HT 終了時 (57 分), 第 3 クォーター終了後 (72 分), 第 4 クォーター終了後 (89 分) に記録した. 実験中に直腸温が 39.5°C を超えた, もしくは疲労困憊に至った時点で実験を終了し, 運動終了時間を記録した.

3. 6. 統計処理

全ての結果は, 平均値±標準偏差で示した. 測定データは, Shapiro-Wilk 検定にて正規性の検定を行った. 直腸温, 皮膚温 (前腕部, 胸部, 大腿部, 下腿部), HR, PSI は, 統計処理ソフト (SPSS v26.0; IBM Corp., Chicago, IL, USA) を用いて, パラメトリック検定にて, 繰り返しのある二元配置分散分析 (条件×時間) で比較した. 有意な交互作用が認められた場合は, Bonferroni の多重比較検定を行った. RPE, TS, TC は, 統計処理ソフト (R package nparLD, v2.1) を用いて (Noguchi et al. 2012), ノンパラメトリック検定にて, 繰り返しのある二元配置分散分析 (条件×時間) で比較した. なお, これらのデータは, 本試行において対象者が最初に離脱した (直腸温が 39.5°C に到達) 74 分の時点までの測定値を統計処理に用いた. 直腸温上昇率 ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$; 第 1 クォーターから運動終了時まで), 運動終了時の生理的指標 (直腸温, 皮膚温, HR, PSI), HT 中の各測定値 (直腸温, 皮膚温 [前腕部, 胸部, 大腿部, 下腿部], HR, PSI, TS, TC, RPE) の変化, 発汗量, 脱水率は, 対応のある t 検定を用いて比較した. 統計学的有意水準は 5 % とした. 本研究では, 運動開始前 (0~5 分) の平均値をベースラインと定義した. 各測定項目における試行間の効果量 (Cohen's d) を算

出した。効果量の大きさは、小 (0.21~0.50), 中 (0.51~0.80), 大 (>0.81) と定義した (Cohen., 1998)。

4. 結果

WEAR 条件では、8 名の対象者のうち 2 名が、直腸温が 39.5°C に到達した時点で実験を離脱した (74 分, 84 分)。また、CON 条件では、1 名の対象者が疲労困憊に至った時点で実験を離脱した (82 分)。なお、CON 条件において 82 分時点で離脱した対象者は、WEAR 条件において 74 分時点で離脱した対象者と同じであった。

実験中の直腸温の経時的変化を図 4 に示す。直腸温は分散分析の結果、有意な交互作用 (条件×時間) があった ($p < 0.05$)。直腸温は WEAR 条件において、CON 条件と比較してベースラインから 74 分時点まで有意に高い値 ($p < 0.05$; 効果量 = 0.74~1.29: 中~大) を示した (図 4)。運動終了時の直腸温は、WEAR 条件において、CON 条件と比較して有意に高い値 ($p < 0.05$; 効果量 = 1.57: 大) を示した (WEAR 条件: $39.0 \pm 0.4^{\circ}\text{C}$, CON 条件: $38.3 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$)。直腸温上昇率 (第 1 クォーターから運動終了時まで) は、WEAR 条件 ($0.023 \pm 0.006^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$) が CON 条件 ($0.016 \pm 0.005^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$) より有意に高い値 ($p < 0.05$; 効果量 = 1.12: 大) を示した。HT 中の直腸温は、WEAR 条件が CON 条件より有意に上昇した (表 2)。

実験中の平均皮膚温の経時的変化を図 5 に示す。平均皮膚温は分散分析の結果、有意な交互作用 (条件×時間) があった ($p < 0.05$)。平均皮膚温は、WEAR 条件が CON 条件より 25 分から 74 分時点まで有意に高い値 ($p < 0.05$; 効果量 = 0.99~1.87: 大) を示した (図 5 A)。運動終了時の平均皮膚温は、WEAR 条件が CON 条件より有意に高い値 ($p < 0.05$; 効果量 = 2.23: 大) を示した (WEAR 条件: $37.2 \pm 0.9^{\circ}\text{C}$, CON 条件: $34.9 \pm 1.1^{\circ}\text{C}$)。また、胸部皮膚温 (図 5 B)、前腕部皮膚温 (図 5 C)、大腿部皮膚温 (図 5 D)、下腿部皮膚温 (図 5 E) は、

WEAR 条件が CON 条件よりも運動後半のほとんどの時点で有意に高い値を示した（各 $p < 0.05$ ）。HT 中の皮膚温（平均，前腕部，胸部，大腿部，下腿部）の変化は，2 条件間で有意な差が認められなかった（表 2）。

実験中の HR の経時的変化を図 6 に示す。HR は分散分析の結果，有意な交互作用（条件 \times 時間）があった（ $p < 0.05$ ）。HR は WEAR 条件が CON 条件より 10 分から 74 分時点（30 分時点を除く）まで有意に高い値（ $p < 0.05$ ；効果量 = 0.39～1.88：小～大）を示した（図 6）。運動終了時の HR は，WEAR 条件が CON 条件より有意に高い値（ $p < 0.05$ ；効果量 = 0.92：大）を示した（WEAR 条件：179 \pm 13 bpm，CON 条件：163 \pm 17 bpm）。HT 中の HR は，CON 条件が WEAR 条件より有意に低下した（表 2）。

実験中の PSI の経時的変化を図 7 に示す。PSI は分散分析の結果，有意な交互作用（条件 \times 時間）があった（ $p < 0.05$ ）。PSI は WEAR 条件が CON 条件より 10 分，25 分，32 分から 74 分時点まで有意に高い値（ $p < 0.05$ ；効果量 = 0.40～2.17：小～大）を示した（図 7）。WEAR 条件では，72 分の時点から PSI の値が 7.5 を超えた（7.7 \pm 1.6）。運動終了時の PSI は，WEAR 条件が CON 条件より有意に高い値（ $p < 0.05$ ；効果量 = 1.31：大）を示した（WEAR 条件：8.9 \pm 1.4，CON 条件：6.8 \pm 1.6）。HT 中の PSI は，CON 条件が WEAR 条件より有意に低下した（表 2）。

実験中の TS，TC，RPE の値を表 3 に示す。TS と TC は分散分析の結果，有意な交互作用（条件 \times 時間）があった（ $p < 0.05$ ）。RPE は分散分析の結果，有意な条件の主効果が認められた（ $p < 0.05$ ）。RPE は，WEAR 条件が CON 条件より有意に高い値を示した（ $p < 0.05$ ）。TS は WEAR 条件が CON 条件より 64 分から第 3 クォーター終了時（72 分）まで有意に高い値（ $p < 0.05$ ；効果量 = 2.12～2.29：大）を示した（表 3）。TC は WEAR 条件が CON 条件より 39 分から第 3 クォーター終了時（72 分）まで有意に低い値（ $p < 0.05$ ；効果量 = 1.07～1.43：大）を示した（表 3）。HT 中の TS，TC は，2 条件間で有意な差が認められなかった（表 2）。各条件における実験前後の体重，発汗量，脱水率，尿比重の値を表 4 に示した。

発汗量は、WEAR 条件が CON 条件より有意に高い値を示した ($p < 0.05$; 効果量 = 1.54 : 大)。脱水率は、WEAR 条件が CON 条件より有意に高い値を示した ($p < 0.05$; 効果量 = 1.33 : 大)

5. 考察

本研究の目的は、暑熱環境下における男子ラクロスの試合を模擬した運動中の防具着用が体温調節反応に及ぼす影響について検討することであった。その結果、(1) 第 3 クォーター終盤において、WEAR 条件では PSI が 7.5 を超えたが、CON 条件では超えないこと、(2) 運動終了時の直腸温は、WEAR 条件が CON 条件より約 0.7°C 高い値を示すこと、(3) HT 中の直腸温は、WEAR 条件では上昇し続けたが、CON 条件では上昇しないこと、(4) 発汗量、皮膚温 (平均、前腕部、胸部、大腿部、下腿部)、HR、TS、TC は、WEAR 条件が CON 条件より有意に高い値を示すこと、が明らかとなった。したがって、本研究の結果は、WEAR 条件において、CON 条件より大きく直腸温や皮膚温が上昇し、その差は時間経過とともに大きくなるという仮説を支持している。

暑熱環境下における男子ラクロスの試合を模擬した運動中のユニフォーム着用は、PSI の上昇を促すことが明らかとなった (図 7)。本研究では、WEAR 条件において 72 分 (7.7 ± 1.6) から運動終了時 (8.9 ± 1.4) まで PSI の値が 7.5 を超えていたが、CON 条件では超えなかった (運動終了時: 6.8 ± 1.4)。PSI は、個人レベルでの熱ストレスを 0 「no strain」から 10 「very strenuous」のユニバーサルスケールで評価し (Moran et al., 1998)、7.5 を超えると熱中症の発症レベルが「at risk」と分類される (Buller et al., 2008)。このように、男子ラクロス選手は試合中において、特に第 3 クォーター以降に熱中症の発症リスクが高くなる可能性が示唆された。また、HT 中の PSI 値の低下は、WEAR 条件 (-1.4 ± 0.5) において、CON 条件 (-2.3 ± 0.4) よりも小さいことが明らかとなった (表 2)。以上の結果から、ラクロスの

ユニフォームを着用することで熱放散が制限され、補正不可能な熱ストレス (uncompensable heat stress) が生じるため (細川, 2017), 男子ラクロス選手はサッカーなどの防具を着用しない他のスポーツ選手と比較して、熱ストレスによる試合中の負担が大きいと考えられる。したがって、熱中症の発症リスクを軽減させるために、暑熱環境下で開催される男子ラクロス試合中の実践的な身体冷却方略の実施が重要である。

暑熱環境下における男子ラクロスの試合を模擬した運動時のユニフォーム着用によって、一般的なスポーツウェアを着用した場合と比較して、直腸温が有意に上昇した (図4)。運動終了時の直腸温の差は約 0.7°C であった。ベースラインにおける直腸温は、2条件間では有意差が認められた。このベースラインにおける差は、人工気象室に入室後の休息時間が短かったことが影響していると考えられる。しかし、このベースラインにおける差は約 0.17°C と非常に小さいため、結果の解釈に影響を及ぼす可能性は低いと考えられる。本研究では、WEAR 条件において2名の対象者の直腸温が 39.5°C に達した一方で、CON 条件では直腸温が 39.5°C に達した対象者はいなかった。これまでの研究によって、運動時にアメリカンフットボールのユニフォームを着用することで、一般的なスポーツウェアを着用した場合と比較して直腸温上昇率が高いことが報告されている (Armstrong et al. 2010, Johnson et al. 2010)。Armstrong et al. (2010) は、暑熱環境下での運動時にすべての ($0.042^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$)、もしくは、一部の ($0.034^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$) アメリカンフットボールのユニフォームを着用することで、一般的なスポーツウェアを着用した場合 ($0.026^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$) と比較して直腸温上昇率が高かったと報告している。本研究と Armstrong et al. (2010) の研究では、着用したユニフォームの種類 (防具を含む)、実験プロトコル (強度、持続時間、環境条件など)、対象者の体重が異なる。したがって、本研究の WEAR 条件における直腸温上昇率 ($0.023^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$) と Armstrong et al. (2010) の直腸温上昇率 ($0.042^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$) を単純に比較することはできない。しかし、ラクロスのユニフォームを着用すると、一般的なスポーツウェアを着用した場合と比較して直腸温上昇率が高くなる点において、Armstrong et al. (2010) によって報告された結果と

同等であった。したがって、アメリカンフットボールのユニフォーム着用と同様に、ラクロスのユニフォームを着用することで、蒸発や対流による熱放散が妨げられ、直腸温がより速く上昇することが示唆された。

また、HT 中の直腸温は、CON 条件では変化がなかった (0.03°C) が、WEAR 条件では上昇した (0.21°C) (表 2)。この結果は、10 分間の HT 中にヘルメットとグローブを外したとしても、直腸温が上昇し続けることを示している。しかし、WEAR 条件において HT 中に直腸温が上昇し続けたにもかかわらず、第 2 クォーター終了時から HT にかけて、TS と TC は低下した (涼しく、快適だと感じた) (表 3)。同様の結果が暑熱環境下でアメリカンフットボールのユニフォームを着用して運動した先行研究においても報告されている (Johnson et al., 2010)。直腸温が上昇する中、温熱感覚が低下するという深部体温と暑さ感覚の不一致は、労作性熱射病発症の重要な危険因子となり得ることが指摘されている (Johnson et al., 2010)。

本研究では、平均皮膚温が WEAR 条件において CON 条件と比較して有意に高かった (図 5 A)。皮膚温 (胸部、前腕部、大腿部、下腿部) は、2 条件のどちらにおいても同様に上昇したが、皮膚温の差は、大腿部皮膚温と下腿部皮膚温よりも胸部皮膚温と前腕部皮膚温において大きかった (図 5 B-E)。これらの結果から、チェストガード、エルボーガードなど防具の内側の皮膚温は、防具で覆われていない箇所の皮膚温よりも高くなることが示された。CON 条件における平均皮膚温は、第 2 クォーター開始以降低下し、運動終了時では、2 条件間の平均皮膚温の差が約 2.3°C と大きく広がった。深部体温が上昇すると皮膚温が上昇して熱放散が促進されるため、WEAR 条件が CON 条件よりも高い皮膚温の値を示したのは、直腸温の影響を受けている可能性がある。また、本研究では実験中の対象者に送風 ($3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) をした。そのため、CON 条件では、第 2 クォーター開始ごろに皮膚表面の汗が蒸発し、平均皮膚温が低下した一方で、WEAR 条件では、ラクロスのユニフォームによって皮膚表面の多くが覆われていることで、送風 (対流) による皮膚温への影響が CON 条件よりも小

さかったと考えられる。また、本研究では、WEAR 条件において CON 条件と比較して TS と TC が上昇した。WEAR 条件における平均皮膚温の上昇によって、皮膚表面付近に存在する温度受容器が刺激され、TS と TC が悪化したと考えられる。

暑熱環境下における男子ラグロスの試合を模擬した運動時のユニフォーム着用は、HR の上昇を促すことが明らかとなった（図 6）。運動終了時の HR は、WEAR 条件において CON 条件と比較して約 16 bpm 高かった。WEAR 条件において HR が高い値を示したのは、直腸温と平均皮膚温の上昇が関連していると考えられる。体温の上昇は直接的に洞結節の興奮を高め、体温が 1℃上昇するごとに HR が約 18 bpm 上昇する（Hall, 2010）。したがって、WEAR 条件における HR の上昇は、CON 条件と比較して直腸温と平均皮膚温がより高く上昇したことが影響していると考えられる。また、HR の値は、RPE と強く関係しており、WEAR 条件における高い RPE の値は、HR の影響であると考えられる。さらに、発汗量と脱水率においても、CON 条件と比較して WEAR 条件で有意に高かった（表 4）。体重が 1 % 減少（脱水）するごとに、深部体温と HR はそれぞれ 0.15～0.25℃（Pryor et al. 2013）、3～7 bpm 上昇する（Pryor et al. 2013, Adams et al, 2014）。脱水は EHS の主な危険因子の一つであるため、競技中の適切な水分補給は最も重要な暑さ対策の一つとされている（Casa et al. 2015）。このように、男子ラグロス試合中の水分補給の機会は限られているものの、脱水によるネガティブな影響を最小限に抑えるために、水分補給を積極的に実施する必要がある。

6. 小括

本研究では、暑熱環境下における男子ラグロスの試合を模擬した運動中の防具着用が体温調節反応に及ぼす影響について検討し、以下のことが明らかになった。

1) WEAR 条件において、第 3 クォーターの終盤以降、PSI の値が 7.5（熱中症の発症レベ

ル [at risk] と分類) を超えた.

2) 運動終了時の直腸温は, WEAR 条件において, CON 条件と比較して約 0.7°C有意に高かった.

3) HT 中の直腸温は, WEAR 条件では上昇し続けたが, CON 条件では上昇しない.

4) 皮膚温 (平均, 胸部, 前腕部, 大腿部, 下腿部), 発汗量, 脱水率, RPE, TS, TC は, WEAR 条件において, CON 条件と比較して有意に高かった.

以上の結果から, 男子ラクロスのユニフォームを着用して運動をすることで, 熱ストレスが増大し, 生理的指標や主観的指標に悪影響を及ぼし, 時間経過とともに熱中症の発症リスクが高くなることが明らかとなった.

7. 図表

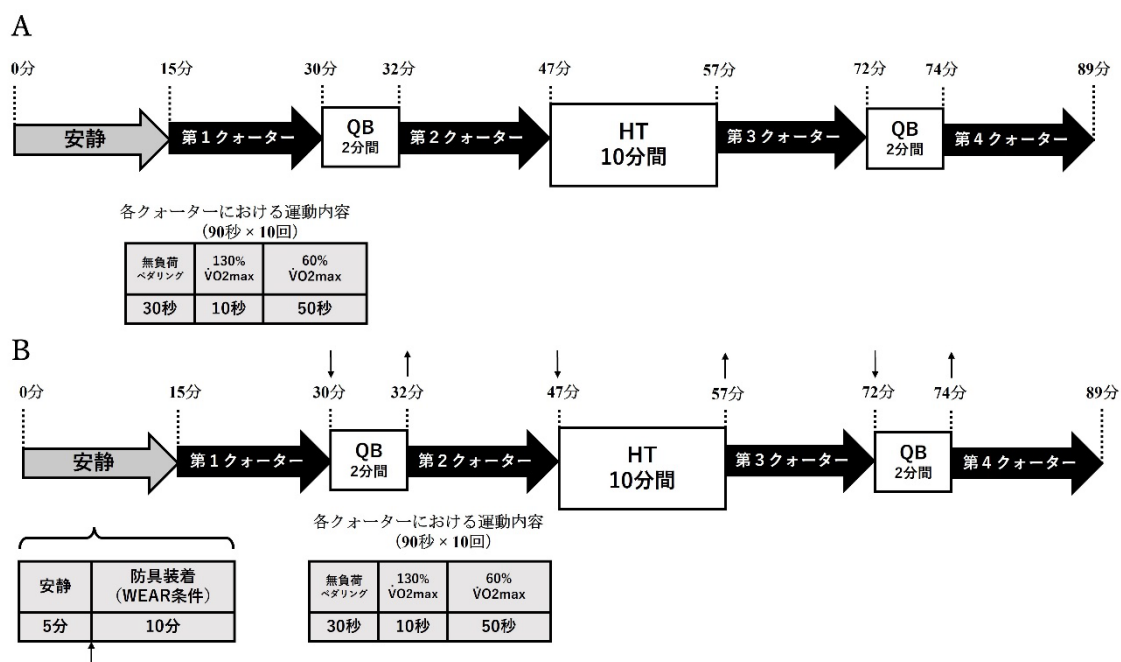


図2. CON 条件 (A), WEAR 条件 (B) における実験プロトコル. QB; クォーターブレイク, HT; ハーフタイムブレイク. ↑; ウェア (ラクロス用), グローブ, エルボーガード, ヘルメット, チェストガードを着用 (WEAR 条件). ↓; グローブ, ヘルメットを外す (WEAR 条件). CON 条件では, 防具の着脱をしない.

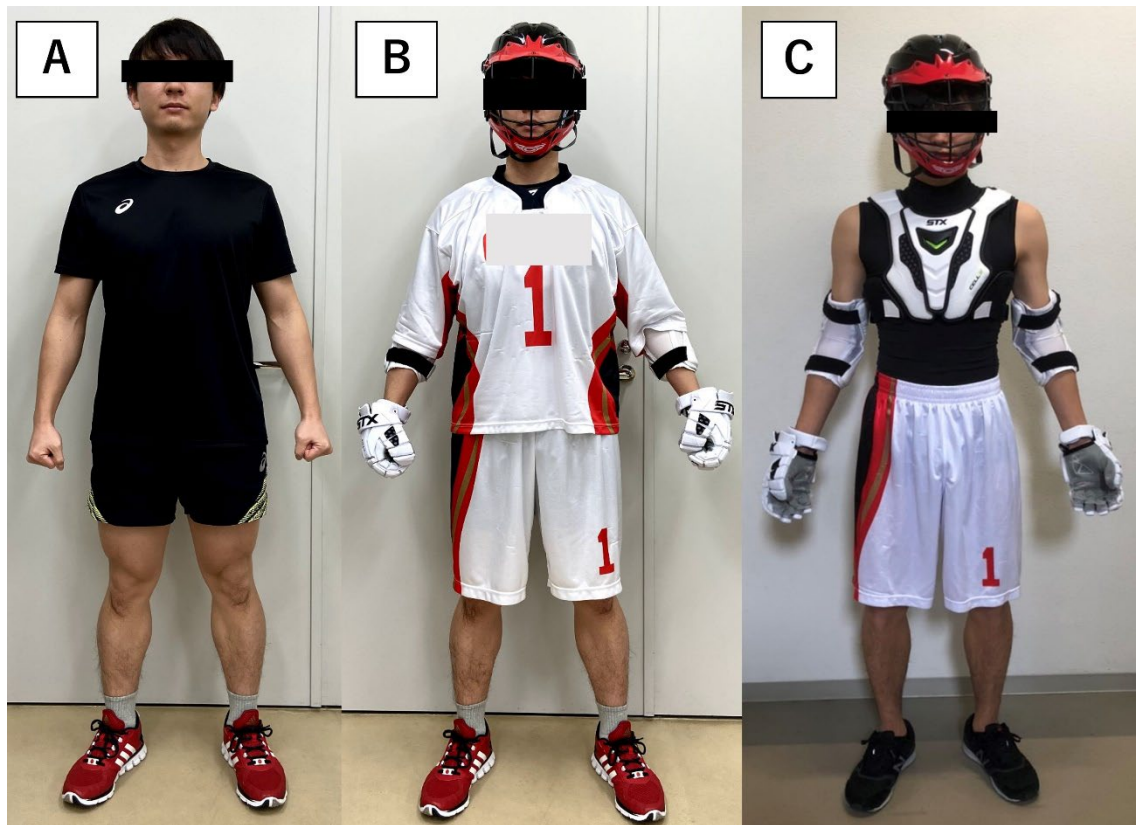


図3. (A) CON 条件における実験中の服装, (B) WEAR 条件における実験中の服装, (C) WEAR 条件におけるウェアを脱いだ状態の服装.

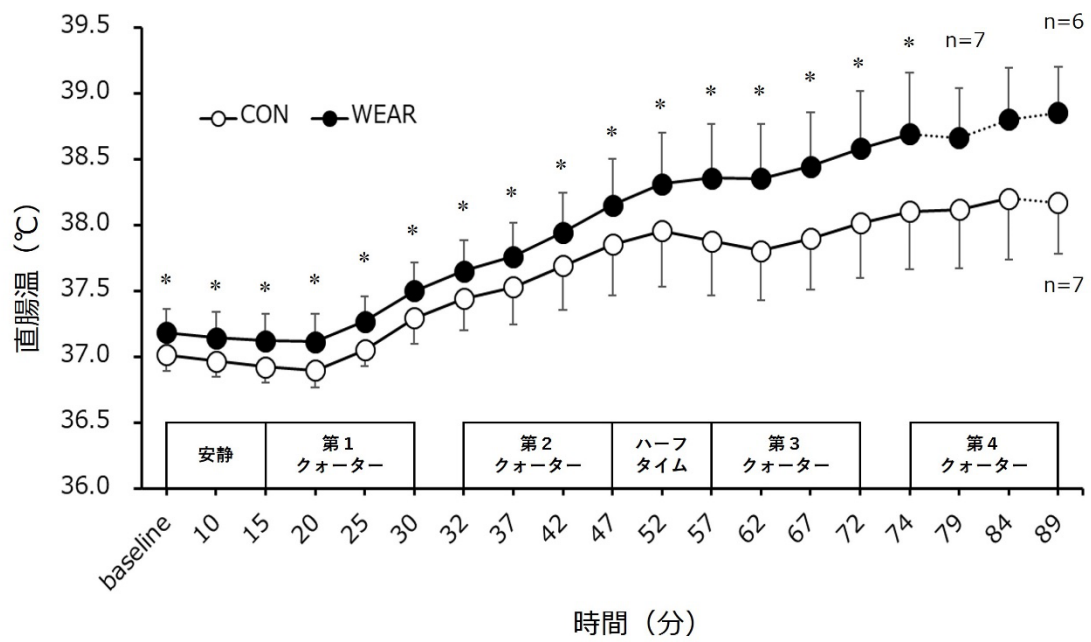


図4. 直腸温の経時的変化. *; WEAR 条件 vs. CON 条件 ($p < 0.05$). n; 対象者数. なお, 表記がない場合の対象者数は8名である.

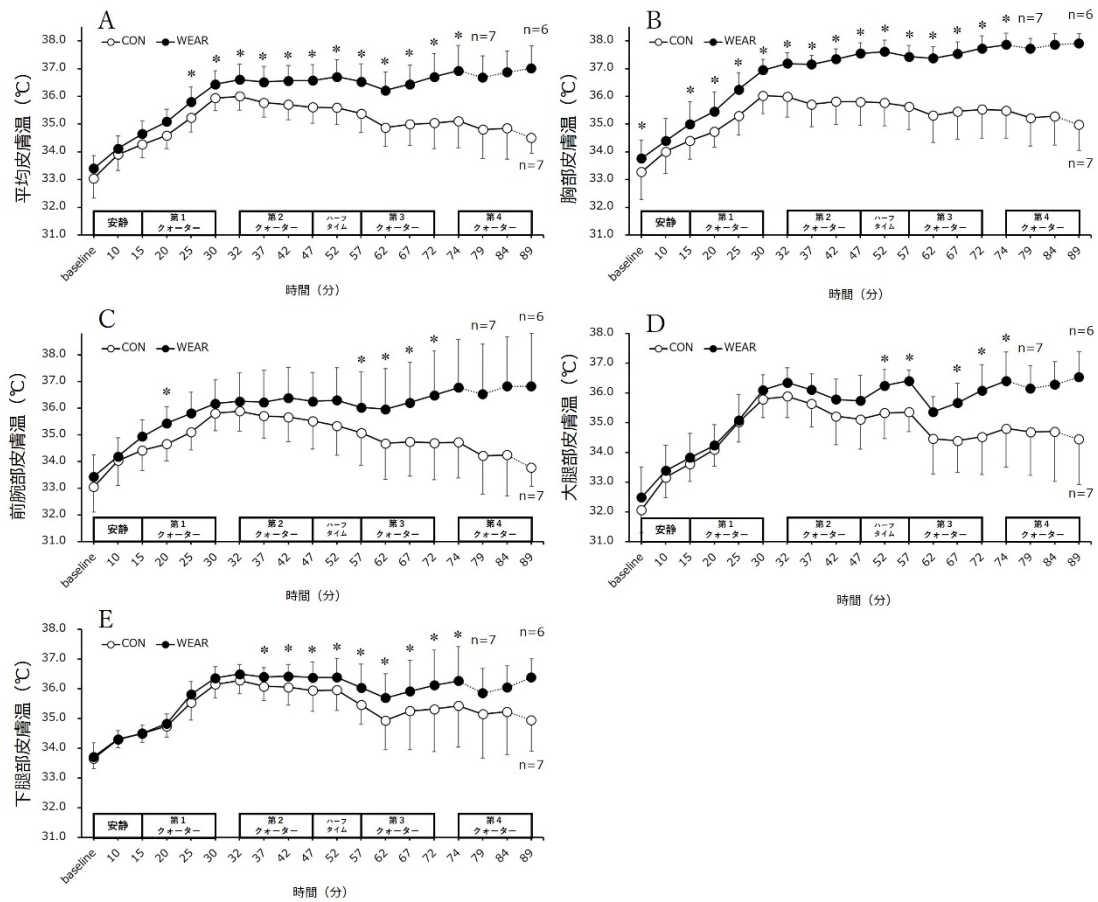


図5. 平均皮膚温 (A), 胸部皮膚温 (B), 前腕部皮膚温 (C), 大腿部皮膚温 (D), 下腿部皮膚温 (E) の経時的変化. *; WEAR 条件 vs. CON 条件 ($p < 0.05$). n; 対象者数. なお, 表記がない場合の対象者数は8名である.

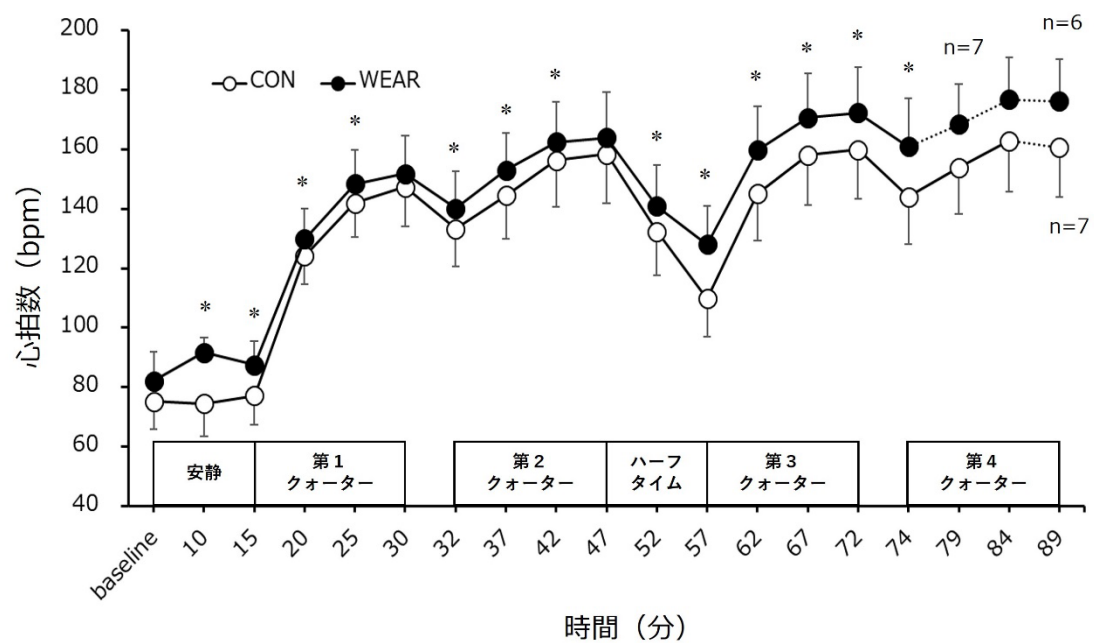


図 6. 心拍数の経時的変化. * ; WEAR 条件 vs. CON 条件 ($p < 0.05$). n ; 対象者数. なお, 表記がない場合の対象者数は 8 名である.

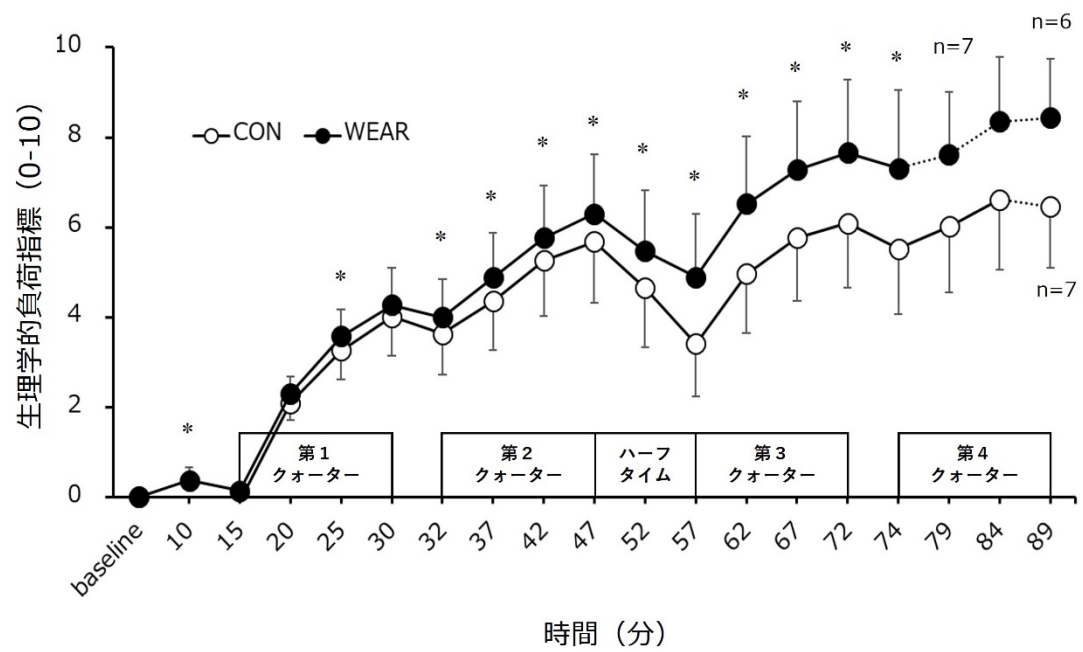


図7. 生理的負荷指標 (Physiological strain index) の経時的変化. * ; WEAR 条件 vs. CON 条件 ($p < 0.05$). n ; 対象者数. なお, 表記がない場合の対象者数は8名である.

表 2. ハーフタイムブレイク中の各測定値の変化.

	WEAR 条件	CON 条件	<i>t</i> 検定	効果量
直腸温	0.21 ± 0.08 (°C)	0.03 ± 0.07 (°C)	< 0.05	2.24
平均皮膚温	-0.04 ± 0.21 (°C)	-0.23 ± 0.36 (°C)	n.s.	0.62
胸部皮膚温	-0.12 ± 0.26 (°C)	-0.17 ± 0.30 (°C)	n.s.	0.15
前腕部皮膚温	-0.23 ± 0.42 (°C)	-0.45 ± 0.65 (°C)	n.s.	0.38
大腿部皮膚温	0.67 ± 0.71 (°C)	0.25 ± 0.66 (°C)	n.s.	0.58
下腿部皮膚温	-0.34 ± 0.31 (°C)	-0.48 ± 0.32 (°C)	n.s.	0.43
心拍数	-36 ± 8 (bpm)	-48 ± 7 (bpm)	< 0.05	1.58
生理学的生体負担度	-1.4 ± 0.5	-2.3 ± 0.4	< 0.05	1.74
TS	-0.9 ± 0.9	-1.1 ± 0.9	n.s.	0.25
TC	0.5 ± 0.5	0.4 ± 0.5	n.s.	0.24

平均値 ± 標準偏差.

表 3. 各条件における実験中の主観的運動強度, 温熱感覚, 熱快適性.

				第 1 クォーター		第 2 クォーター		HT	第 3 クォーター		第 4 クォーター	
		5 分	15 分	22.5 分	30 分	39 分	47 分	54 分	64 分	72 分	81 分	89 分
TS	CON 条件	5.4 ± 0.9	5.6 ± 0.7	6.6 ± 0.5	6.8 ± 0.4	6.9 ± 0.3	7.3 ± 0.4	6.1 ± 1.1	7.1 ± 0.3	7.3 ± 0.4	7.0 ± 0.5	7.0 ± 0.5
	WEAR 条件	5.4 ± 0.7	5.8 ± 1.1	6.8 ± 1.0	7.3 ± 0.4	7.5 ± 0.5	7.9 ± 0.3	7.0 ± 1.2	7.9 ± 0.3*	8.0 ± 0.0*	8.0 ± 0.0	8.0 ± 0.0
TC	CON 条件	0.1 ± 0.9	-0.1 ± 0.6	-0.6 ± 0.7	-1.0 ± 0.7	-1.1 ± 0.8	-1.1 ± 0.8	-0.8 ± 0.8	-1.3 ± 1.1	-1.4 ± 1.0	-1.4 ± 1.1	-1.3 ± 0.7
	WEAR 条件	-0.1 ± 0.6	-0.8 ± 1.0	-1.4 ± 1.0	-1.8 ± 0.8	-2.3 ± 0.8*	-2.4 ± 0.9*	-1.9 ± 0.8*	-2.4 ± 0.9*	-2.5 ± 0.7*	-2.7 ± 0.7	-2.7 ± 0.7
RPE	CON 条件			12.4 ± 1.5	13.9 ± 2.0	14.3 ± 2.2	14.6 ± 2.1		14.5 ± 2.1	15.0 ± 2.3	14.9 ± 2.2	14.7 ± 1.4
	WEAR 条件 [#]			12.8 ± 1.1	14.0 ± 1.5	15.1 ± 1.7	16.0 ± 1.7		16.0 ± 1.4	16.9 ± 1.5	17.3 ± 1.5	18.0 ± 1.0

* ; WEAR 条件 vs. CON 条件 ($p < 0.05$). # ; 条件間の有意な主効果 ($p < 0.05$) . HT ; ハーフタイムブレイク, TS ; 温熱感覚, TC ; 熱快適性, RPE ; 主観的運動強度. CON 条件における対象者数 (n) : 81 分 (n = 7) , 89 分 (n = 6) , WEAR 条件における対象者数 (n) : 89 分 (n = 7) .

表 4. 各条件における実験前後の体重, 発汗量, 脱水率, 尿比重

	CON 条件		WEAR 条件	
	実験前	実験後	実験前	実験後
体重 (kg)	68.7 ± 11.7	68.1 ± 11.7	69.2 ± 12.3	68.2 ± 12.3
発汗量 (kg・h ⁻¹)	0.9 ± 0.2		1.2 ± 0.2*	
脱水率 (%)	0.9 ± 0.5		1.5 ± 0.4*	
尿比重	1.009 ± 0.005	1.015 ± 0.010	1.012 ± 0.007	1.015 ± 0.009

* ; WEAR 条件 vs. CON 条件 ($p < 0.05$).

第3章（研究Ⅱ）

暑熱環境下における男子ラクロスの試合を模擬した運動中のハーフタイム中の
実践的身体冷却方略がその後の体温調節反応に及ぼす影響

1. 目的
2. 仮説
3. 方法
4. 結果
5. 考察
6. 小括
7. 図表

1. 目的

本研究の目的は、暑熱環境下における男子ラグロスの試合を模擬した運動中のハーフタイムでの FAN_{wet} 、アイススラリー摂取、 FAN_{wet} ＋アイススラリー摂取、および冷飲料摂取の4種類の身体冷却方略がその後の体温調節反応に及ぼす影響を検証することである。

2. 仮説

本研究では、ハーフタイムブレイク中の FAN_{wet} 、アイススラリー摂取は、冷飲料摂取と比較して、その後の直腸温の上昇を緩和すると仮説を立てた。また、 FAN_{wet} とアイススラリー摂取を組み合わせることで、付加的な身体冷却効果が得られると考えた。

3. 方法

3. 1. 対象者

対象者は、暑熱順化していない、運動習慣のある健康な成人男性 10 名（平均±標準偏差；年齢：22.5±1.8 歳，身長：172.4±4.1 cm，体重：66.6±7.9 kg，体脂肪率：13.5±4.0%， $\dot{V}O_{2max}$ ：49.2±7.5 mL・kg⁻¹・min⁻¹）であった。すべての対象者は、非喫煙者であり、心疾患や熱中症の既往歴はなかった。研究に参加するにあたり、対象者に実験の目的や方法等の説明を十分に実施し、対象者から書面にて同意を得た。本研究は、中京大学倫理審査委員会の承認（2020-50）を得て実施した。

3. 2. 研究デザイン

本実験は、10 分間のハーフタイムブレイク (HT) 中に、4℃の冷飲料を摂取する条件 (CON 条件)、-1℃のアイスラリーを摂取する条件 (ICE 条件)、スポンジで濡らした皮膚に送風する条件 (FAN_{wet} 条件)、アイスラリー摂取およびスポンジで濡らした皮膚に送風を組み合わせた条件 (MIX 条件) の合計 4 試行をランダムな順番で実施した (図 8)。4 試行の本実験は、室温 35℃、相対湿度 50%に設定した人工気象室内 (TBR12A4PX; ESPEC, Osaka, Japan) で実施した。なお、時間経過は安静開始時点を 0 分として表した。

本実験は、疲労を考慮し、最低 5 日間の間隔をあけて実施した。また、対象者の日内変動を考慮し、4 試行は同一の時間帯に実施した。さらに、実験当日の体調を考慮し、対象者に対して実験に参加する 24 時間以内の激しい運動、アルコールやカフェイン、薬物の摂取を控えるよう指示した。実験開始前の脱水を防ぐため、対象者は実験開始 2 時間前に 500 mL の水分摂取をした。本実験は、研究 I の WEAR 条件で着用した男子ラクロスユニフォームと同じ服装で実施した。すべての実験は、3 月から 6 月にかけて実施した。

3. 3. 実験の手順

3. 3. 1. 事前測定

実験に先立ち、研究 I と同様の方法で身長、体重、体脂肪率、 $\dot{V}O_{2max}$ と HR_{max} を測定した。

3. 3. 2. 本試行

対象者は実験室へ到着後、尿比重と全裸体重を測定した。その後、直腸温および皮膚温セ

ンサー、ハートレートモニターを装着し、ラクロスのユニフォーム（ヘルメット、チェストパッド、エルボーパッド、グローブ、ノースリーブインナーシャツ、ウェア[ラクロス用]、短パン[ラクロス用]）を着用した。対象者は人工気象室に入室後、自転車エルゴメータ上で5分間の座位安静をとった。その後、5分間のウォーミングアップ（100W）を行い、再び5分間の安静をとった。その後、15分間の間欠的自転車漕ぎ運動を開始した（図8）。15分間の間欠的自転車漕ぎ運動は、90秒間の運動を10回繰り返した。なお、90秒間の運動プロトコルは、研究Iと同じであった。第2クォーター終了後、10分間のHT中に、各条件の身体冷却介入のいずれかを実施した。その後、第3クォーターを開始した。第4クォーター終了後、すべてのユニフォームを脱ぎ、直腸温および皮膚温センサー、ハートレートモニターを取り外し、タオルで汗を拭きたとった後、全裸体重を測定した。

研究Iと同様に、男子ラクロスの実際の試合を想定して、第2クォーターと第3クォーターの間は、10分間（HT）、第1クォーターと第2クォーターおよび第3クォーターと第4クォーターの間は、2分間の休息（QB；クォーターブレイク）をとった（日本ラクロス協会）。ウォーミングアップ後（体重1kgあたり1.5g）、および各QB中（体重1kgあたり2.5g）に冷飲料（4°C；Pocari Sweat, Otsuka Pharmaceutical, Japan）を摂取した。すべての試行において、対象者はウォーミングアップの前後、QBおよびHT中にヘルメットとグローブを取り外した。また、安静開始後15分間とHTを除いて、実験を通じて対象者の向かいから送風（3 m・s⁻¹）した。

3. 4. 身体冷却介入

第2クォーター終了後、10分間のHT中に、各条件の身体冷却介入のいずれかを実施した。HT10分間のうち3～8分（実験開始から50分～55分）の5分間で身体冷却介入を行った。

CON 条件では、体重 1 kg あたり 4.5 g の冷飲料を 1 分毎に 5 回に分けて（体重 1 kg あたり 0.9 g × 5 回）摂取した。

ICE 条件では、体重 1 kg あたり 4.5 g のアイススラリーを 1 分毎に 5 回に分けて（体重 1 kg あたり 0.9 g × 5 回）摂取した。

FAN_{wet} 条件では、1 分毎に合計 5 回、水を張ったバケツにスポンジを入れて水を含ませ、バケツ上で軽く絞った後に顔、首、前腕、大腿の順に皮膚を濡らした。また、業務用扇風機（SF-45VS-1VPP；Suiden, Japan）を用いて、対象者の正面から 5 分間連続で送風した（風速：6.5 m・s⁻¹）。なお、1 分毎に皮膚を濡らした後、CON 条件と同じ方法および摂取量の冷飲料を摂取した。

MIX 条件では、ICE 条件および FAN_{wet} 条件の身体冷却介入を組み合わせた。

なお、すべての身体冷却介入における飲料はスポーツドリンク（4℃；Pocari Sweat, Otsuka Pharmaceutical, Japan）を用いた。また、アイススラリーは専用のマシン（Big Biz 1, FMI, Japan）を用いて、スポーツドリンク（Pocari Sweat, Otsuka Pharmaceutical, Japan）で作成した。

3. 5. 測定項目および測定方法

測定項目は、直腸温、皮膚温（平均、前腕部、胸部、大腿部）、HR、PSI、全身発汗量、RPE、TS、TC であった。これらの測定項目は、研究 I と同様の方法で測定した。なお、TS は、檜村（1986）の 9 段階スケール（1：とてもさむい～9：とてもあつい）を使用して評価した。さらに、平均皮膚温は、Roberts et al.（1977）による 3 点法の式を用いて算出した：

$$\text{平均皮膚温} = (\text{胸部皮膚温} \times 0.43) + (\text{前腕部皮膚温} \times 0.25) + (\text{大腿部皮膚温} \times 0.32).$$

3. 6. 統計処理

全ての結果は、平均値±標準偏差で示した。また、すべての統計処理には、統計処理ソフト（SPSS v26.0; IBM Corp., Chicago, IL, USA）を用いた。測定データは、Shapiro-Wilk 検定にて正規性の検定を行った。直腸温、皮膚温（平均、胸部、大腿部、前腕部）、HR、PSI、PRE、TS および TC は、パラメトリック検定にて、繰り返しのある二元配置分散分析（条件×時間）で比較した。HT 中の直腸温、皮膚温（平均、胸部、大腿部、前腕部）、心拍数、PSI、の変化、47 分から 89 分までの直腸温上昇、全身発汗量は、繰り返しのある一元配置分散分析法を用いて比較した。有意な交互作用が認められた場合は、Bonferroni の多重比較検定を行った。統計学的有意水準は 5 %とした。47 分から 89 分までの直腸温上昇の試行間の効果量（Cohen's d）を算出した。効果量の大きさは、小（0.21～0.50）、中（0.51～0.80）、大（> 0.81）と定義した（Cohen., 1998）。本研究では、第 2 クォーター終了時（47 分）の値をベースラインと定義した。

4. 結果

人工気象室内の平均室温、相対湿度は、それぞれ $35.3 \pm 0.3^{\circ}\text{C}$ 、 $48.7 \pm 1.3\%$ であった。各条件における実験前後の体重、全身発汗量、尿比重の値を表 5 に示した。全身発汗量は、MIX 条件において CON 条件と比較して有意に低い値を示した（ $p < 0.05$ ）。実験開始前の尿比重は、条件間で有意差はなかった。

直腸温の経時的変化を図 9 に示した。直腸温は分散分析の結果、交互作用（条件×時間）があったため（ $p < 0.05$ ）、多重比較検定を行った。その結果、どの時点においても条件間に有意差はなかった。一方、47 分から 89 分までの直腸温上昇は、FAN_{wet} 条件（ $0.26 \pm 0.17^{\circ}\text{C}$ ）および MIX 条件（ $0.21 \pm 0.20^{\circ}\text{C}$ ）において CON 条件（ $0.54 \pm 0.13^{\circ}\text{C}$ ）と比較して有意に低い

値を示した（図 9； $p < 0.05$ ；効果量 = 1.85 [FAN_{wet} 条件 vs. CON 条件]：大，；効果量 = 1.96：大 [MIX 条件 vs. CON 条件]）。MIX 条件と FAN_{wet} 条件の間に有意差はなかった。HT 中の直腸温の変化は、条件間に有意差はなかった（表 6）。

皮膚温（平均，胸部，大腿部，前腕部）の経時的変化を図 10（A，B，C，D）に示した。皮膚温（平均，胸部，大腿部，前腕部）は分散分析の結果，交互作用（条件×時間）があったため（ $p < 0.05$ ），多重比較検定を行った。平均皮膚温は，FAN_{wet} 条件および MIX 条件において CON 条件および ICE 条件と比較して 52 分から 89 分まで有意に低い値を示した（ $p < 0.05$ ）。胸部皮膚温は，FAN_{wet} 条件は CON 条件と比較して 52 分から 62 分まで，また ICE 条件と比較して 52 分から 67 分まで有意に低い値を示した（ $p < 0.05$ ）。MIX 条件は CON 条件と比較して 52 分から 67 分まで，また ICE 条件と比較して 52 分から 72 分，および 79 分で有意に低い値を示した（ $p < 0.05$ ）。大腿部皮膚温は，FAN_{wet} 条件および MIX 条件において CON 条件と比較して 52 分から 89 分まで有意に低い値を示した（ $p < 0.05$ ）。FAN_{wet} 条件は ICE 条件と比較して 52 分から 84 分まで有意に低い値を示した（ $p < 0.05$ ）。MIX 条件は ICE 条件と比較して 57 分から 89 分まで有意に低い値を示した（ $p < 0.05$ ）。前腕部皮膚温は，MIX 条件は CON 条件と比較して 52 分から 67 分，および 74 分において有意に低い値を示した（ $p < 0.05$ ）。MIX 条件は ICE 条件と比較して 52 分から 79 分において有意に低い値を示した（ $p < 0.05$ ）。HT 中の平均皮膚温，胸部皮膚温，大腿部皮膚温，前腕部皮膚温は，FAN_{wet} 条件および MIX 条件において CON 条件および ICE 条件と比較して有意に低下した（表 6， $p < 0.05$ ）。

HR の経時的変化を図 11 に示した。HR は分散分析の結果，交互作用（条件×時間）があったため（ $p < 0.05$ ），多重比較検定を行った。HR は，FAN_{wet} 条件において ICE 条件と比較して 62 分で有意に低い値を示した（ $p < 0.05$ ）。MIX 条件は CON 条件と比較して 62 分，および 74 分で有意に低い値を示した（ $p < 0.05$ ）。PSI の経時的変化を図 12 に示した。PSI は分散分析の結果，交互作用（条件×時間）があったため（ $p < 0.05$ ），多重比較検定を行っ

た。PSI は、MIX 条件において ICE 条件と比較して 57 分で有意に低い値を示した ($p < 0.05$)。

HT 中の心拍数、PSI は、FAN_{wet} 条件および MIX 条件において CON 条件および ICE 条件と比較して有意に低下した (表 6, $p < 0.05$)。

TS, TC, RPE は分散分析の結果、交互作用 (条件×時間) があったため ($p < 0.05$)、多重比較検定を行った。TS は、FAN_{wet} 条件および MIX 条件において CON 条件および ICE 条件と比較して 57 分で有意に低い値を示した ($p < 0.05$) (表 7)。TC は、FAN_{wet} 条件において CON 条件および ICE 条件と比較して 57 分で有意に低い値を示した ($p < 0.05$) (表 7)。MIX 条件は CON 条件と比較して 56 分から 81 分まで、および ICE 条件と比較して 56 分、64 分で有意に低い値を示した ($p < 0.05$)。RPE は、FAN_{wet} 条件および MIX 条件において CON 条件と比較し 89 分で有意に低い値を示した ($p < 0.05$) (表 7)。

5. 考察

本研究の目的は、暑熱環境下における男子ラクロスの試合を模擬した運動中の HT 中の FAN_{wet}、アイススラリー摂取、FAN_{wet} + アイススラリー摂取、および冷飲料摂取の 4 種類の身体冷却方略がその後の体温調節反応に及ぼす影響を検証することであった。その結果、CON 条件と比較して、FAN_{wet} 条件において直腸温の上昇を緩和したが、ICE 条件では直腸温の上昇を緩和しなかった。また、FAN_{wet} およびアイススラリー摂取を組み合わせることによる (MIX 条件) 付加的な効果はなかった。したがって、本研究の結果は、HT 中の FAN_{wet} は、冷飲料摂取と比較して、その後の直腸温の上昇を緩和するという点で仮説を一部支持している。しかし、HT 中のアイススラリー摂取、および FAN_{wet} とアイススラリー摂取を組み合わせることで、付加的な身体冷却効果が得られるという仮説は棄却された。

HT 開始時 (47 分) から第 4 クォーター終了時 (89 分) までの直腸温上昇は、FAN_{wet} 条件および MIX 条件において CON 条件と比較して有意に低い値を示した。これまでの研究

で、暑熱環境下での運動時に FAN_{wet} を実施することで、深部体温の上昇が緩和することが報告されている (Osakabe et al. 2021; Lynch et al. 2018; Schraner et al. 2017)。Osakabe et al. (2021) は、暑熱環境下におけるゴール型球技の試合を想定した間欠的自転車漕ぎ運動時の HT 中に 10 分間の FAN_{wet} を実施することで (T シャツ, 短パン着用), 後半の直腸温の上昇が約 0.25°C 緩和することを明らかにした。本研究では、5 分間の FAN_{wet} 実施中に防具の一部 (チェストガード, エルボーガード) を含むユニフォーム (ノースリーブインナーシャツ, ジャージ, 短パン) を着用していたにもかかわらず, HT 以降の直腸温の上昇が約 0.3°C 緩和した。先行研究 (Osakabe et al. 2021) と比較して, FAN_{wet} 実施中に露出している体表面積は小さいものの, 皮膚表面の汗や水が蒸発したことで直腸温の上昇が抑制されたと考えられる。また, FAN_{wet} 条件および MIX 条件において HT 中に平均皮膚温が大きく低下し, 第 4 クォーター終了時まで低く保たれた。扇風機の送風によって, 皮膚と防具を含むユニフォームとの間に形成された衣内微気候が換気された可能性がある。つまり, 対流による熱放散が促進されたことも直腸温の上昇率が緩和された要因の一つであると考えられる。このように, FAN_{wet} 身体冷却方略は, 暑熱環境下での試合において防具を着用して競技をする男子ラクロス選手に対して, 有効な暑さ対策の一つとなる可能性が示唆された。

しかし, HT 以降の直腸温上昇は ICE 条件と CON 条件, および MIX 条件と FAN_{wet} 条件の間に有意差はなかった。したがって, アイススラリー摂取単独の実施による直腸温の上昇抑制効果, および FAN_{wet} とアイススラリー摂取を組み合わせることによる付加的な効果はなかったと考えられる。アイススラリーは, 液体に微細な氷の粒が混合したスムージー状の飲料であり, 冷飲料よりも効果的に深部体温を低下させる (Siegel et al. 2010)。本研究の対象者が体重 1 kg あたり 4.5 g のアイススラリーもしくは冷飲料 (4 °C) を摂取した場合, 理論的には深部体温がそれぞれ約 0.64°C, 約 0.17°C 低下する計算となる。Onitsuka et al. (2015) は, 暑熱環境下でのゴール型球技の試合を想定した間欠的自転車漕ぎ運動時における 15 分間の HT 中に体重 1 kg あたり 7.5 g のアイススラリー摂取をすることで, その後の直腸温が

低下したことを報告した。一方で、本研究では、HT の時間が 10 分間と限定されており、摂取料が体重 1 kg あたり 4.5 g であった。本研究の対象者が体重 1 kg あたり 7.5 g のアイススラリーを摂取した場合、約 0.93°C 低下する計算となる。つまり、3 g の摂取量の違いによって 0.29°C の理論的な身体冷却効果の差が生じる。そのため、摂取量が少なかったために直腸温が低下しなかった可能性がある。また、アイススラリー摂取後の直腸温は、15～25 分後に最も低下することが報告されている（刑部ら、2020）。しかし、本研究ではアイススラリー摂取 2 分後から運動（第 3 クォーター）を開始した。したがって、アイススラリー摂取後から運動開始まで短時間であったことも、直腸温上昇を抑制する効果が得られなかった要因の 1 つであると考えられる。なお、短時間で大量の水飲料を摂取することで頭痛や胃腸の不調を生じるリスクがあるため、競技現場で大量のアイススラリーを短時間で摂取するには注意が必要である。以上のように、HT 中のアイススラリー摂取は、男子ラクロス選手に対して有効な暑さ対策となり得ない可能性が示唆された。

本研究では、FAN_{wet} 条件および MIX 条件において CON 条件および ICE 条件と比較して有意に低い皮膚温（平均、胸部、大腿部、前腕部）の値を示した。先行研究によって、暑熱環境下での運動時に FAN_{wet} を実施することで、皮膚温が大きく低下することが報告されており（Osakabe et al. 2021; Lynch et al. 2018; Schraner et al. 2017）、本研究においても同様の結果であった。また、本研究では、FAN_{wet} 条件および MIX 条件において CON 条件と比較して有意に低い HR の値を示した。本研究では、FAN_{wet} 条件および MIX 条件において皮膚温が低下したことで、深部体温と皮膚温の温度差が大きくなり、皮膚血流量が減少したため、心臓血管系への負荷が減少したと考えられる（Sawka et al. 2012）。

本研究では、FAN_{wet} 条件および MIX 条件において CON 条件および ICE 条件と比較して有意に低い TS、TC の値を示した。これまでの研究で、暑熱環境下におけるゴール型球技の試合を想定した間欠的自転車漕ぎ運動時の HT 中に FAN_{wet} やアイスベストを用いた身体外部冷却を実施することで、その後の TS や TC が低下することが報告されている（Osakabe et

al. 2021; Chaen et al. 2019)). FAN_{wet}によって皮膚表面を冷却することで、皮膚に存在する温度受容器から体温調節中枢への求心性入力が改善し、低い TS, TC の値を示したと考えられる。しかし、第 3 クォーター以降 (64.5 分以降) の FAN_{wet} 条件および MIX 条件における TS は急激に上昇し、ICE 条件および CON 条件と比較して有意差はなかった。このように、再び防具を装着して運動をすることで、身体外部冷却による温熱感覚へのポジティブな効果が軽減されてしまう可能性が示唆された。

6. 小括

本研究では、暑熱環境下における男子ラクロスの試合を模擬した運動中の HT 中の FAN_{wet}, アイスラリー摂取, FAN_{wet}+アイスラリー摂取, および冷飲料摂取の 4 種類の身体冷却方略がその後の体温調節反応に及ぼす影響を検証し、以下のことが明らかとなった。

- 1) HT 開始時 (47 分) から第 4 クォーター終了時 (89 分) までの直腸温上昇は、FAN_{wet} 条件および MIX 条件において CON 条件と比較して有意に低かった。
- 2) 平均皮膚温は、HT 開始時 (47 分) から第 4 クォーター終了時 (89 分) にかけて、FAN_{wet} 条件および MIX 条件において CON 条件および ICE 条件と比較して有意に低かった。
- 3) ICE 条件と CON 条件の 2 条件間で、全ての測定項目において、有意差は認められなかった。
- 4) FAN_{wet} 条件と MIX 条件の 2 条件間で、全ての測定項目において、有意差は認められなかった。

以上の結果から、HT 中に FAN_{wet} を実施することで、その後の熱ストレスが軽減することが明らかとなった。しかしながら、アイスラリー摂取のみによる身体冷却効果は認め

られなかった。また、FAN_{wet}とアイススラリー摂取を組み合わせることによる付加的な効果は認められなかった。

7. 図表

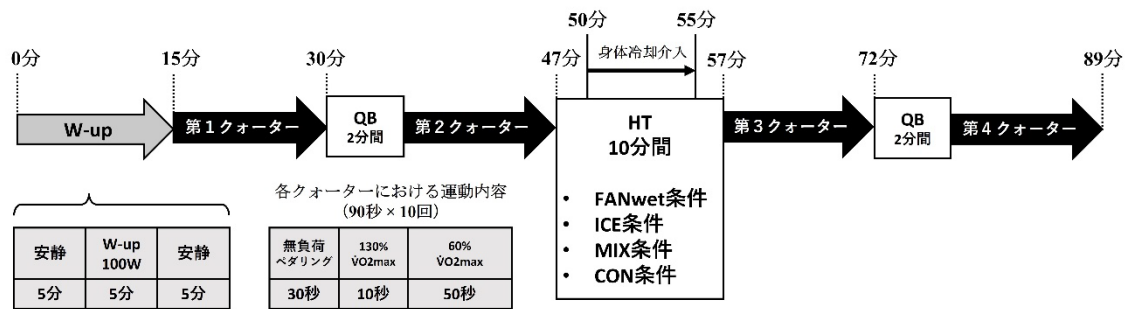


図8. 実験プロトコル. QB；クォーターブレイク，HT；ハーフタームブレイク，W-up；ウォーミングアップ，130% $\dot{V}O_{2max}$ ；最大酸素摂取量の130%強度，60% $\dot{V}O_{2max}$ ；最大酸素摂取量の60%強度.

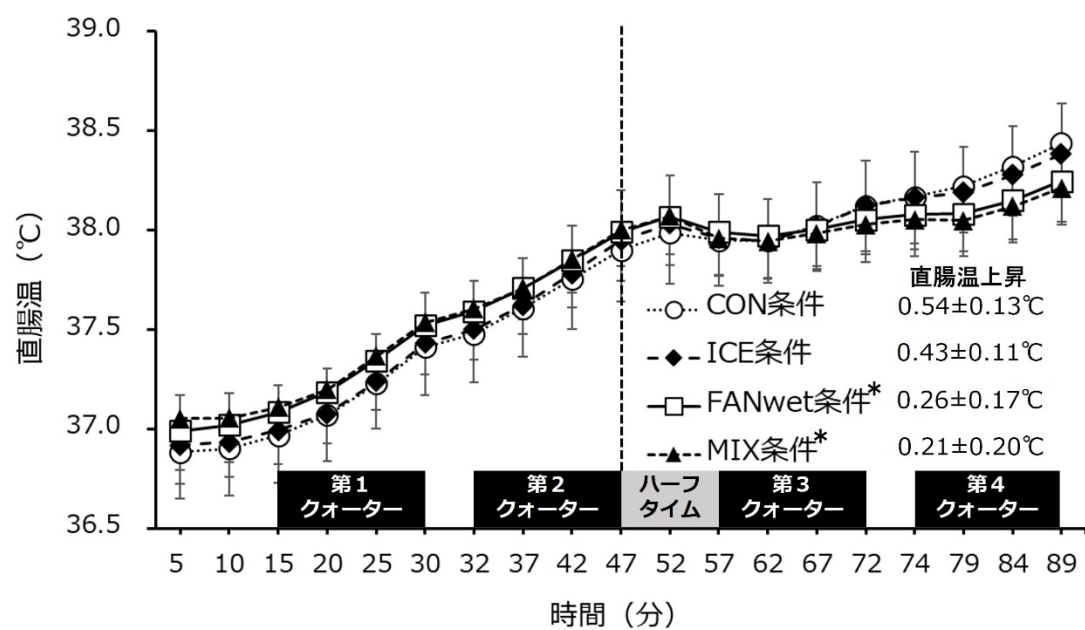


図9. 直腸温の経時的変化と47分から89分までの直腸温上昇. 平均値±標準偏差. 直腸温上昇; 47分から89分までの直腸温上昇. * ; vs. CON 条件 ($p < 0.05$).

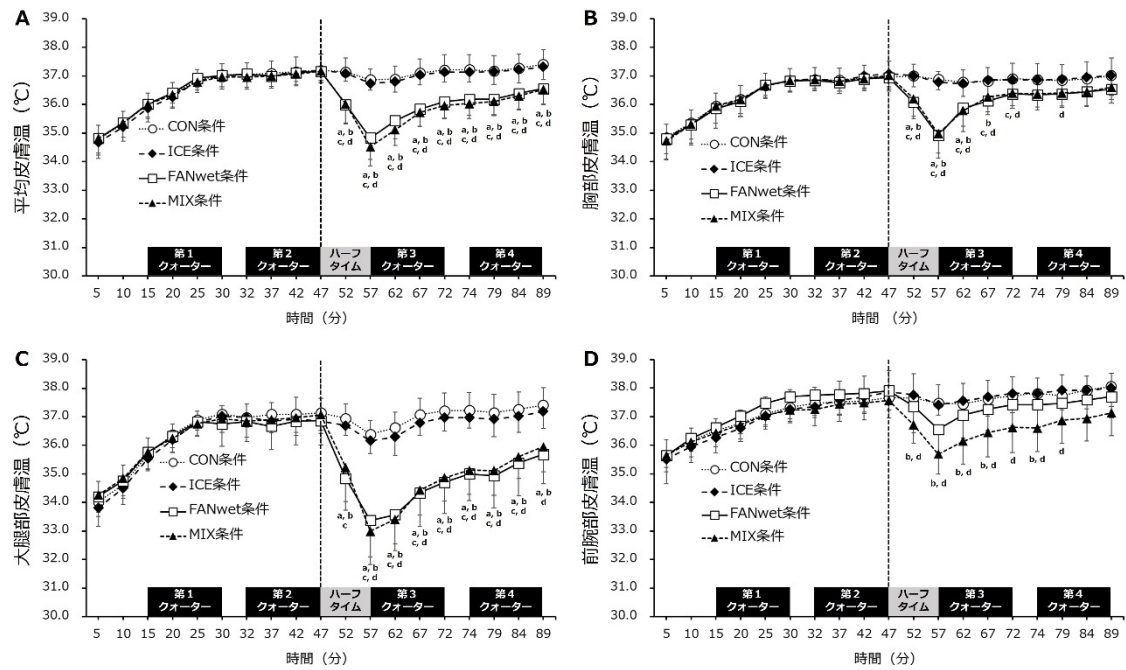


図 10. 平均皮膚温 (A), 胸部皮膚温 (B), 大腿部皮膚温 (C), 前腕部皮膚温 (D) の経時の変化. 平均値±標準偏差. ^a ; CON 条件 vs. FAN_{wet} 条件 ($p < 0.05$), ^b ; CON 条件 vs. MIX 条件 ($p < 0.05$), ^c ; ICE 条件 vs. FAN_{wet} 条件 ($p < 0.05$), ^d ; ICE 条件 vs. MIX 条件 ($p < 0.05$) .

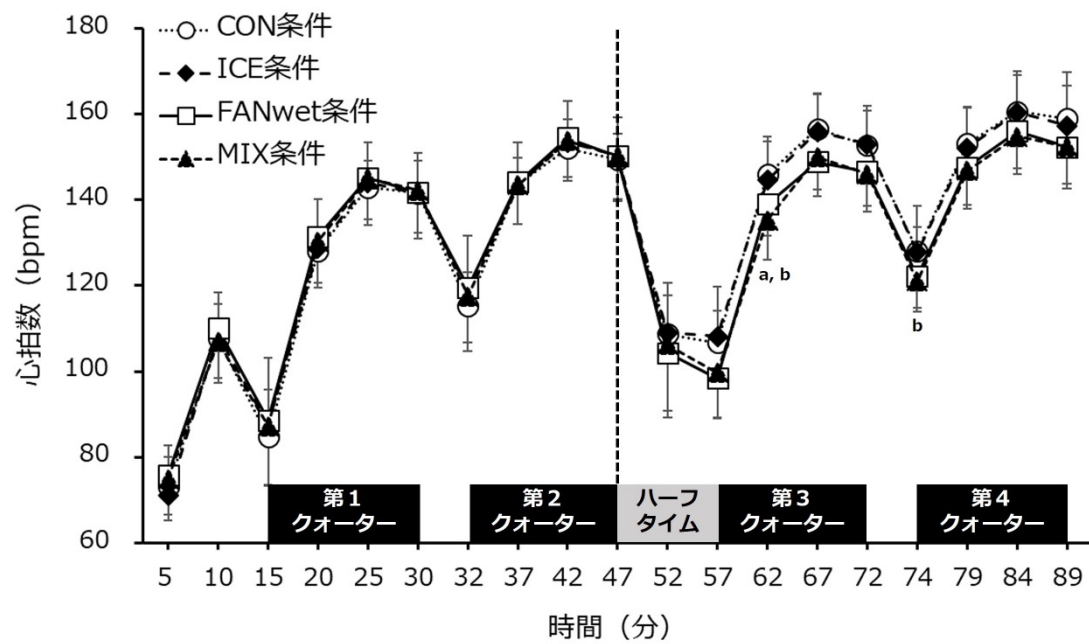


図 11. 心拍数の経時的変化. 平均値±標準偏差. a ; CON 条件 vs. FANwet 条件 ($p < 0.05$), b ; CON 条件 vs. MIX 条件 ($p < 0.05$), d ; ICE 条件 vs. MIX 条件 ($p < 0.05$).

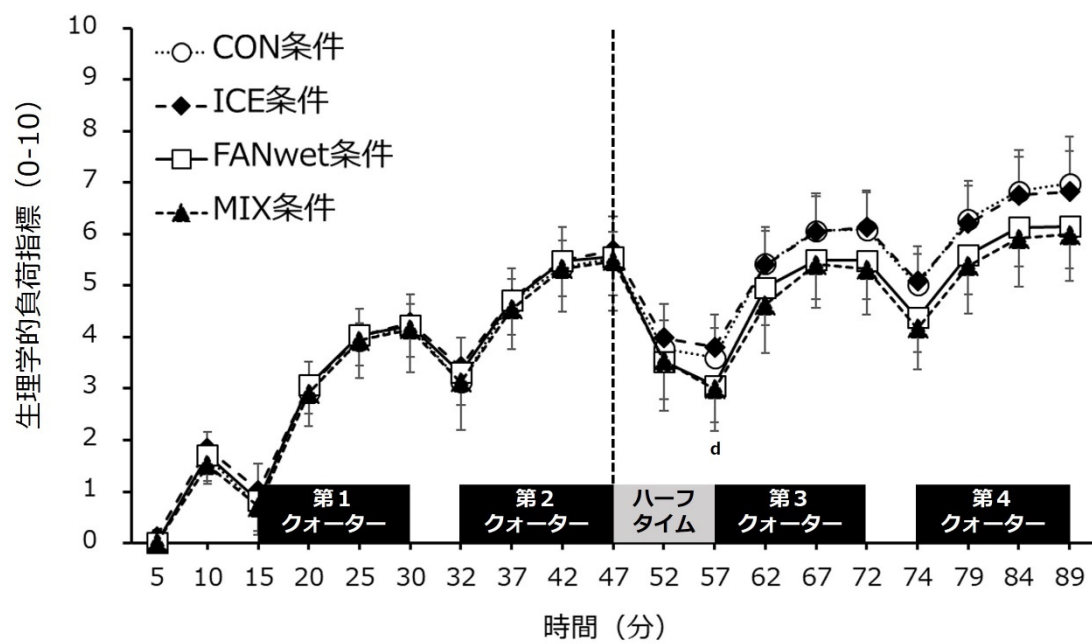


図 12. 生理的負荷指数 (Physiological strain index) の経時的変化. 平均値±標準偏差. d ; ICE 条件 vs. MIX 条件 ($p < 0.05$) .

表 5. 各条件における実験前後の体重, 全身発汗量, 尿比重.

	CON 条件		ICE 条件		FAN _{wet} 条件		MIX 条件	
	実験前	実験後	実験前	実験後	実験前	実験後	実験前	実験後
体重 (kg)	67.2 ± 8.2	66.2 ± 8.0	67.2 ± 7.8	66.4 ± 7.9	67.1 ± 7.8	66.3 ± 7.8	67.1 ± 8.2	66.4 ± 8.2
全身発汗量 (L)	1.7 ± 0.4		1.5 ± 0.3		1.5 ± 0.3		1.4 ± 0.3 ^a	
尿比重	1.0111 ± 0.0071		1.0121 ± 0.0086		1.0099 ± 0.0073		1.0106 ± 0.0068	

平均値 ± 標準偏差. ^a ; CON 条件 vs. MIX 条件 ($p < 0.05$) .

表 6. 各条件におけるハーフタイムブレイク中の各指標の変化.

	CON 条件	ICE 条件	FAN _{wet} 条件	MIX 条件
直腸温 (°C)	0.05 ± 0.06	0.01 ± 0.10	0.00 ± 0.11	-0.04 ± 0.16
平均皮膚温 (°C)	-0.33 ± 0.20	-0.46 ± 0.21	-2.33 ± 0.63 ^{a,c}	-2.65 ± 0.41 ^{b,d}
胸部部皮膚温 (°C)	-0.08 ± 0.25	-0.29 ± 0.29	-2.03 ± 0.45 ^{a,c}	-2.03 ± 0.57 ^{b,d}
前腕部皮膚温 (°C)	-0.20 ± 0.24	-0.46 ± 0.27	-1.36 ± 0.59 ^{a,c}	-1.88 ± 0.56 ^{b,d}
大腿部皮膚温 (°C)	-0.76 ± 0.42	-0.69 ± 0.34	-3.49 ± 1.44 ^{a,c}	-4.08 ± 1.08 ^{b,d}
HR (bpm)	-43 ± 4	-42 ± 7	-52 ± 7 ^{a,c}	-51 ± 7 ^{b,d}
PSI	-1.9 ± 0.3	-1.9 ± 0.3	-2.5 ± 0.4 ^{a,c}	-2.5 ± 0.4 ^{b,d}
TS	-1.2 ± 1.0	-2.1 ± 1.1	-3.2 ± 1.5 ^{a,c}	-3.6 ± 1.4 ^{b,d}
TC	1.0 ± 0.9	1.6 ± 1.0	3.0 ± 1.7 ^{a,c}	3.2 ± 1.7 ^{b,d}

平均値±標準偏差. HR ; 心拍数, PSI ; Physiological strain index, TS ; 温熱感覚, TC ; 熱快適性. ^a ; CON 条件 vs. FAN_{wet} 条件 ($p < 0.05$), ^b ; CON 条件 vs. MIX 条件 ($p < 0.05$), ^c ; ICE 条件 vs. FAN_{wet} 条件 ($p < 0.05$), ^d ; ICE 条件 vs. MIX 条件 ($p < 0.05$).

表 7. 各条件における主観的運動強度 (RPE), 温熱感覚 (TS), 熱快適性 (TC).

					第 1 クォーター		第 2 クォーター		HT	第 3 クォーター		第 4 クォーター	
		5 分	10 分	15 分	22.5 分	30 分	39.5 分	47 分	57 分	64.5 分	72 分	81.5 分	89 分
(1 to 9)	CON 条件	6.2 ± 1.0	7.4 ± 0.7	6.7 ± 0.9	7.2 ± 1.0	7.4 ± 1.0	7.5 ± 1.0	7.8 ± 1.1	6.6 ± 0.9	7.7 ± 1.0	8.0 ± 0.9	7.9 ± 1.1	8.3 ± 0.6
	TS ICE 条件	6.2 ± 0.9	7.2 ± 0.6	6.5 ± 0.9	7.4 ± 0.8	7.4 ± 1.0	7.8 ± 1.1	7.9 ± 1.1	5.8 ± 1.0	7.4 ± 0.9	7.6 ± 1.0	7.9 ± 1.0	8.0 ± 1.1
	FAN _{wet} 条件	6.1 ± 0.5	6.9 ± 0.9	6.6 ± 0.9	7.6 ± 0.7	7.5 ± 0.8	7.7 ± 1.0	7.8 ± 1.1	4.6 ± 1.3 ^{a,c}	7.1 ± 1.1	7.6 ± 0.9	7.5 ± 1.1	7.6 ± 1.0
	MIX 条件	6.1 ± 0.8	7.0 ± 0.9	6.3 ± 1.1	7.4 ± 0.7	7.5 ± 0.8	7.8 ± 0.7	7.8 ± 0.9	4.2 ± 1.4 ^{b,d}	6.8 ± 1.0	7.2 ± 0.9	7.5 ± 1.0	7.6 ± 1.1
(-3 to 3)	CON 条件	-0.5 ± 0.5	-1.0 ± 0.6	-0.8 ± 0.6	-1.5 ± 0.7	-1.7 ± 0.6	-1.7 ± 0.6	-1.8 ± 0.7	-0.8 ± 0.7	-1.6 ± 0.8	-2.1 ± 0.9	-2.3 ± 0.9	-2.3 ± 0.9
	TC ICE 条件	-0.4 ± 0.5	-0.9 ± 0.7	-0.5 ± 0.5	-1.4 ± 0.8	-1.7 ± 0.6	-1.9 ± 0.8	-2.1 ± 0.9	-0.5 ± 0.5	-1.5 ± 0.7	-1.8 ± 0.7	-2.0 ± 0.9	-2.1 ± 0.8
	FAN _{wet} 条件	-0.2 ± 0.4	-0.7 ± 0.5	-0.5 ± 0.5	-1.4 ± 0.5	-1.7 ± 0.9	-1.9 ± 0.8	-2.1 ± 0.9	0.9 ± 1.1 ^{a,c}	-1.2 ± 0.7	-1.7 ± 0.9	-2.0 ± 1.1	-2.1 ± 0.9
	MIX 条件	-0.2 ± 0.4	-0.8 ± 0.6	-0.5 ± 0.5	-1.1 ± 0.5	-1.4 ± 0.7	-1.9 ± 0.9	-2.1 ± 0.9	1.1 ± 1.4 ^{b,d}	-0.6 ± 0.5 ^{b,d}	-1.3 ± 0.8 ^b	-1.7 ± 0.8 ^b	-1.8 ± 0.9
(6 to 20)	CON 条件				12.6 ± 0.5	12.7 ± 1.1	13.3 ± 1.0	13.6 ± 1.4		14.0 ± 1.2	14.5 ± 1.4	15.1 ± 1.6	15.9 ± 1.3
	RPE ICE 条件				12.8 ± 1.2	13.3 ± 1.7	13.7 ± 1.6	14.2 ± 1.5		13.8 ± 1.0	14.4 ± 0.7	14.7 ± 0.8	15.3 ± 0.8
	FAN _{wet} 条件				12.5 ± 0.7	12.9 ± 0.8	13.8 ± 1.2	13.9 ± 1.3		13.4 ± 0.7	14.0 ± 1.1	14.0 ± 1.1	14.6 ± 1.1 ^a
	MIX 条件				12.5 ± 0.7	13.2 ± 1.0	14.0 ± 1.0	14.2 ± 1.1		13.2 ± 0.9	13.9 ± 0.9	14.0 ± 1.1	14.7 ± 1.1 ^b

平均値±標準偏差. HT; ハーフタイムブレイク. ^a ; CON 条件 vs. FAN_{wet} 条件 ($p < 0.05$), ^b ; CON 条件 vs. MIX 条件 ($p <$

0.05), ^c ; ICE 条件 vs. FAN_{wet} 条件 ($p < 0.05$), ^d ; ICE 条件 vs. MIX 条件 ($p < 0.05$).

第4章（研究Ⅲ）

暑熱環境下における男子ラクロスの試合を模擬した運動中の各クォーターでの

ウォーターブレイクタイムアウトが体温調節反応に及ぼす影響

1. 目的
2. 仮説
3. 方法
4. 結果
5. 考察
6. 小括
7. 図表

1. 目的

本研究の目的は、暑熱環境下における男子ラクロスの試合を模擬した運動中の各クォーターでの WBTO 実施が、体温調節反応に及ぼす影響を検証することである。

2. 仮説

本研究では、各クォーターにおいて WBTO を設けることで、運動終盤において直腸温の上昇が緩和すると仮説を立てた。

3. 方法

3. 1. 対象者

本研究では、暑熱順化していない、運動習慣のある男性 10 名（平均 ± 標準偏差；年齢 = 23.0 ± 1.9 歳，身長 = 173.2 ± 4.6 cm，体重 = 68.1 ± 9.0 kg， $\dot{V}O_{2\max} = 48.9 \pm 7.8$ mL \cdot kg $^{-1}\cdot$ min $^{-1}$ ，HR $_{\max} = 191 \pm 6$ bpm）を対象とした。実験参加時，対象者は 1 回あたり 30 分以上の運動を週に 2 回以上行っていた。すべての対象者は、非喫煙者であり、心疾患や熱中症の既往歴はなく健康であった。対象者に対して、実験の目的や方法等の説明を十分に実施し、対象者から書面にて同意を得た。本研究は、中京大学倫理審査委員会の承認（2020-37）を得て実施した。

3. 2. 研究デザイン

本実験は、WBTO 条件と CON 条件の合計 2 試行をランダムな順番で実施した。なお、本実験は対象者の疲労とキャリーオーバー効果を考慮し、最低 7 日間の間隔を空けて実施し

た。また、対象者の日内変動を考慮し、2 試行は同一の時間帯に実施した。通常の試合を模倣した CON 条件では、15 分間のウォーミングアップを行った後、15 分間の間欠的自転車漕ぎ運動を 4 セット行い、セット間には 10 分間のハーフタイムブレイク (HT) を 1 回と 2 分間のクォーターブレイク (QB) を 2 回設けた (図 13A, 合計 89 分)。WBTO 条件では、CON 条件と同じ運動プロトコルを実施したが、各クォーターの 7.5 分経過時に 2 分間のブレイクタイムを設けた (図 13B, 合計 97 分)。日本の夏季の環境条件を想定し、すべての試行は室温 35°C、相対湿度 50%、WBGT28°C に設定した人工気象室内 (TBR12A4PX; ESPEC, Osaka, Japan) で実施した (研究 I, II と同じ)。

対象者に対して、実験期間中、身体活動や食事習慣を含む通常の生活習慣を維持し、すべての試行の 24 時間前に激しい身体活動やアルコール、カフェイン、薬物の摂取を控えるよう指示した。実験開始前の脱水を防ぐため、対象者は実験開始 2 時間前に 500 mL の水分摂取をした。本実験は、研究 I の WEAR 条件で着用した男子ラクロスユニフォームと同じ服装で実施した。本実験は、1 月から 3 月にかけて実施された。

3. 3. 実験の手順

3. 3. 1. 事前測定

実験に先立ち、研究 I, II と同様の方法で身長、体重、 $\dot{V}O_{2max}$ と HR_{max} を測定した。

3. 3. 2. 本試行

対象者は実験室へ到着後、尿比重と全裸体重を測定した。その後、直腸温および皮膚温センサー、ハートレートモニターを装着し、ラクロスのユニフォーム (ヘルメット、チェストパッド、エルボーパッド、グローブ、ノースリーブインナーシャツ、ウェア [ラクロス用]、

短パン [ラクロス用]) を着用した。対象者は人工気象室に入室後、自転車エルゴメータ上で 5 分間の座位安静をとった。その後、5 分間のウォーミングアップ (100W, 80 回転/分) を行い、再び 5 分間の安静をとった。その後、15 分間の間欠的自転車漕ぎ運動を開始した。15 分間の間欠的自転車漕ぎ運動は、CON 条件では 90 秒間の運動を 10 回繰り返す (図 13A)、WBTO 条件では 2 分間の休息 (WBTO) を挟んで 5 回の 90 秒間の運動を 2 セット行った (図 13B)。なお、90 秒間の運動プロトコルは、研究 I, II と同じであった。第 2 クォーター終了後、対象者は椅子へ移動し、8 分間座位安静を保った。実際の試合を想定し、セルフペースの無負荷ペダリングを HT の前後 1 分間で実施した。HT 終了後、第 3 クォーターを開始した。第 4 クォーター終了後、すべてのユニフォームを脱ぎ、直腸温および皮膚温センサー、ハートレートモニターを取り外し、タオルで汗を拭きたとった後、全裸体重および尿比重を測定した。対象者は、ウォーミングアップ後 (100 mL)、HT (300 mL) および各 QB 中 (200 mL) に冷飲料 (4 °C ; Pocari Sweat, Otsuka Pharmaceutical, Japan) を摂取した。WBTO 条件では、各クォーターにおける WBTO 中に、100 mL (合計 400 mL) の冷飲料を摂取した。なお、WBTO 条件における冷飲料の摂取量は、過剰な水分摂取による胃腸の不快感を避けるため、予備実験で得られたデータを参考にして決定した。すべての試行において、対象者はウォーミングアップの前後、各 OB および HT 中にヘルメットとグローブを外した。WBTO 条件では、WBTO 中もヘルメットとグローブを外した。また、ウォーミングアップ (0~15 分) と HT を除いて、実験を通じて対象者の向かいから送風 ($3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) した。

3. 4. 測定項目および測定方法

測定項目は、直腸温、皮膚温 (前腕部、胸部、大腿部、下腿部)、HR、PSI、発汗率、脱水率 (体重減少率)、RPE、TC であった。これらの測定項目は、研究 I, II と同様の方法で測定した。なお、TS は、研究 II と同様の方法で測定した。

3. 5. 統計処理

全ての結果は、平均値±標準偏差で示した。統計処理には、統計処理ソフト（SPSS v26.0; IBM Corp., Chicago, IL, USA）を用いた。測定データは、Shapiro-Wilk 検定にて正規性の検定を行った。直腸温、ベースラインから各クォーター、および HT 終了時までの直腸温上昇、平均皮膚温、HR、PSI、USG、RPE、TS、TC は、パラメトリック検定にて、繰り返しのあつる二元配置分散分析（条件×時間）で比較した。有意な交互作用が認められた場合は、Bonferroni の多重比較検定を行った。統計学的有意水準は 5 %未満とした。なお、2 試行間で経過時間が異なるため、直腸温、皮膚温、PSI の測定値は、各クォーターおよび HT 終了時の値を統計処理に用いた。また、HR の測定値は、各クォーター（WBTO も含む）、および HT の平均値を統計処理に用いた。実験後体重、発汗率、脱水率は、対応のある *t* 検定を用いて比較した。各測定項目における試行間の効果量（Cohen's *d*）を算出した。効果量の大きさは、小（0.21～0.50）、中（0.51～0.80）、大（> 0.81）と定義した（Cohen., 1998）。本研究では、ウォーミングアップ中（0～15 分）の平均値をベースラインと定義した。

4. 結果

人工気象室内の平均室温、相対湿度は、それぞれ $35.0 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 、 $49.5 \pm 1.0\%$ であった。両条件における実験前後の体重、発汗量、脱水率、尿比重の値を表 8 に示した。実験後の体重は、WBTO 条件において CON 条件と比較して有意に高い値を示した（ $p < 0.05$ ；効果量 = 0.45：小）。発汗量、脱水率、尿比重は、条件間で有意差はなかった。

直腸温は分散分析の結果、交互作用（条件×時間）があつたため（ $p < 0.05$ ）、多重比較検定を行った。その結果、第 4 クォーター終了時の直腸温は、WBTO 条件が（ $38.23 \pm 0.23^{\circ}\text{C}$ ）CON 条件（ $38.23 \pm 0.23^{\circ}\text{C}$ ）より有意に低い値を示した（ $p < 0.05$ ；効果量 = 0.69：中）（図 14）。ベースラインから各クォーター、および HT 終了時までの直腸温上昇を表 9 に示す。

ベースラインから各クォーター、および HT までの直腸温上昇は、分散分析の結果、交互作用（条件×時間）があったため（ $p < 0.05$ ），多重比較検定を行ったが、どの時点においても条件間の有意差はなかった。ベースラインから第 4 クォーター終了時の直腸温上昇は、CON 条件、および WBTO 条件において、それぞれ $1.61 \pm 0.43^{\circ}\text{C}$ 、 $1.37 \pm 0.37^{\circ}\text{C}$ であった（ $p > 0.05$ ）

（表 9）。平均皮膚温は、条件間で有意差はなかった（図 15）。ベースラインにおける平均皮膚温の値は、CON 条件、および WBTO 条件において、それぞれ $34.10 \pm 0.48^{\circ}\text{C}$ 、 $34.07 \pm 0.49^{\circ}\text{C}$ であった。また、第 4 クォーター終了時では、CON 条件、および WBTO 条件において、それぞれ $36.63 \pm 0.73^{\circ}\text{C}$ 、 $36.22 \pm 0.80^{\circ}\text{C}$ であった。

HR は、分散分析の結果、有意な条件の主効果が認められ、WBTO 条件は CON 条件より有意に低い値を示した（ $p < 0.05$ ）（図 16）。ベースラインにおける HR の値は、CON 条件、および WBTO 条件において、それぞれ $79 \pm 14 \text{ bpm}$ 、 $74 \pm 11 \text{ bpm}$ であった。また、第 4 クォーター終了時では、CON 条件、および WBTO 条件において、それぞれ $159 \pm 11 \text{ bpm}$ 、 $150 \pm 10 \text{ bpm}$ であった。CON 条件における実験中の $\%HR_{\text{max}}$ は、 $75 \pm 6 \%$ であった。

PSI は分散分析の結果、交互作用（条件×時間）があったため（ $p < 0.05$ ），多重比較検定を行った。その結果、第 4 クォーター終了時の PSI は、WBTO 条件（ 6.5 ± 0.9 ）が CON 条件（ 7.2 ± 1.4 ）より有意に低い値を示した（ $p < 0.05$ ；効果量 = 0.59：中）（図 17）。

RPE は分散分析の結果、交互作用（条件×時間）があったため（ $p < 0.05$ ），多重比較検定を行った。その結果、第 3 クォーター終了時および第 4 クォーター終了時 RPE は、WBTO 条件が CON 条件より有意に低い値を示した（ $p < 0.05$ ；効果量 = 1.53～2.12：大）（図 18）。第 4 クォーター終了時の RPE の値は、CON 条件、および WBTO 条件において、それぞれ 16.6 ± 1.2 、 14.3 ± 1.6 であった。TS は分散分析の結果、交互作用（条件×時間）があったため（ $p < 0.05$ ），多重比較検定を行った。その結果、第 2 クォーター終了時および第 4 クォーター終了時 TS は、WBTO 条件が CON 条件より有意に低い値を示した（ $p < 0.05$ ；効果量 = 0.72～0.80：中）（表 10）。TC は、条件間で有意差はなかった（表 10）。

5. 考察

本研究の目的は、暑熱環境下における男子ラグロスの試合を模擬した運動中の各クォーターでの WBTO 実施が、体温調節反応に及ぼす影響を検証することであった。その結果、第4クォーター終了時の直腸温は、WBTO 条件において、CON 条件と比較して有意に低かった。また、WBTO 条件では、CON 条件と比較して、HR, PSI, RPE, TS が有意に低下した。したがって、本研究の結果は、各クォーターにおいて WBTO を設けることで、運動終盤において直腸温の上昇が緩和するという仮説を支持している。

暑熱環境下における男子ラグロスの試合を模擬した運動中に各クォーター2分間の WBTO 実施を実施することで、第4クォーター終了時でのみ、直腸温が低下することが明らかとなった。両条件の第4クォーター終了時の直腸温の差は、 0.27°C であった (WBTO 条件： $38.23 \pm 0.23^{\circ}\text{C}$, CON： $38.50 \pm 0.46^{\circ}\text{C}$)。この直腸温の絶対値の差は、短期間の暑熱順化トレーニング (Tyler et al., 2016) やプレクーリング (Bongers et al., 2015) によって得られる効果 (深部体温の低下) の大きさと同等であり、生理学的に意味があると考えられる。先行研究では、暑熱環境下 (室温： 35°C , 相対湿度 55%) での模擬サッカー試合中に、前後半各1回ずつ3分間のクーリングブレイクを設けて冷飲料 (10°C ; $3.2 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1}$) を摂取することで、クーリングブレイクを設けなかった場合と比較して、直腸温の上昇が緩和し、運動終了時の直腸温の差が 0.25°C であったと報告されている (Chalmers et al., 2019)。したがって、本研究は、先述の先行研究 (Chalmers et al., 2019) と同様の結果であった。本研究では、ベースラインから各クォーター、および HT までの直腸温上昇に条件間の有意差は認められなかったが、ベースラインから第4クォーター終了時までの直腸温上昇は、WBTO 条件 ($1.37 \pm 0.37^{\circ}\text{C}$) が CON 条件 ($1.61 \pm 0.43^{\circ}\text{C}$) より低かった ($p=0.077$; 効果量 = 0.57 : 中) (表9)。これらの結果から、WBTO を1回実施することによる直腸温上昇の抑制効果は小さいものの、試合を通じて WBTO を実施することで、身体冷却効果が累積的に大きくなることが示唆された。ラグロス選手は試合中に防具を装着しているため、試合中に防具を着用したまま

でも実施可能な身体冷却方略の選択肢は限られている。しかし、本研究では、日本ラグロスコ協会が夏季の試合において導入している WBTO の実施によって、防具を装着しているラグロス選手においても、直腸温の上昇が緩和された。このように、WBTO は暑熱環境下で開催される様々なレベル（アマチュアからプロ）のラグロスの競技会や練習試合において、実用的かつ効果的な暑さ対策となり得る。

第4クォーター終了時の PSI の値は、WBTO 条件において、CON 条件と比較して、低い値を示した（WBTO 条件： 6.5 ± 0.9 ，CON 条件： 7.2 ± 1.4 ）。研究 I で述べたように、PSI は、7.5 を超えると熱中症の発症レベルが「at risk」と分類される（Buller et al., 2008）。研究 I では、WEAR 条件（ラグロスのユニフォームを着用）において、第3クォーター以降、PSI の平均値が 7.5 を超えた。本研究では、CON 条件における第4クォーター終了時の PSI の値（ 7.2 ± 1.4 ）が、7.5 に迫った一方で、WBTO 条件では、大幅に下回った（ 6.5 ± 0.9 ）。したがって、暑熱環境下における男子ラグロスの実際の試合中に WBTO を実施することで、熱中症のリスクが高くなると予想される試合終盤において、熱ストレスによる生体への負担を軽減する可能性が示唆された。

本研究によって、暑熱環境下における男子ラグロスの試合を模擬した運動中に WBTO を実施することで、RPE と TS が改善することが明らかとなった。先行研究においても、暑熱環境下（室温： 35°C ，相対湿度 55%）での模擬サッカー試合中に、前後半各 1 回ずつ 3 分間の飲水タイムを設けて冷飲料（ 10°C ； $3.2\text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}$ ）を摂取することで、RPE と TS が改善したことが報告されている（Chalmers et al., 2019）。本研究における TS の改善は、WBTO の実施によって、各クォーターの途中で運動を休息し、追加の冷飲料を摂取したことが要因の 1 つとして考えられる。また、第4クォーター終了時の平均皮膚温は、外気温（ 35°C ）よりも 1°C 以上高かった。WBTO の実施によって、グローブとヘルメットを外す機会が増えたことで、皮膚温と外気温の温度差による「涼しく」感じる機会が増えたことも TS が改善した要因の 1 つだと考えられる。さらに、WBTO 条件では運動を休息したことで、HR が低下したと考えられる。HR と RPE は強く関連しているため、WBTO 条件における RPE の改善は、

HR の低下によって引き起こされたと考えられる。以上のように、暑熱環境下における男子ラクロスの実際の試合中に WBTO を実施することで、主観的なストレス（RPE, TS）が緩和する可能性が示唆された。

6. 小括

本研究では、暑熱環境下における男子ラクロスの試合を模擬した運動中の各クォーターでの WBTO 実施が、体温調節反応に及ぼす影響を検証し、以下のことが明らかとなった。

1) 第4クォーター終了時の直腸温は、WBTO 条件において、CON 条件と比較して有意に低かった。

2) PSI, HR, RPE, TS は、WBTO 条件において、CON 条件と比較して有意に低かった。

以上の結果から、各クォーターにおいて2分間の WBTO を設けることで、試合中の熱ストレスを軽減し、生理的指標や主観的指標を改善することが明らかとなった。

7. 図表

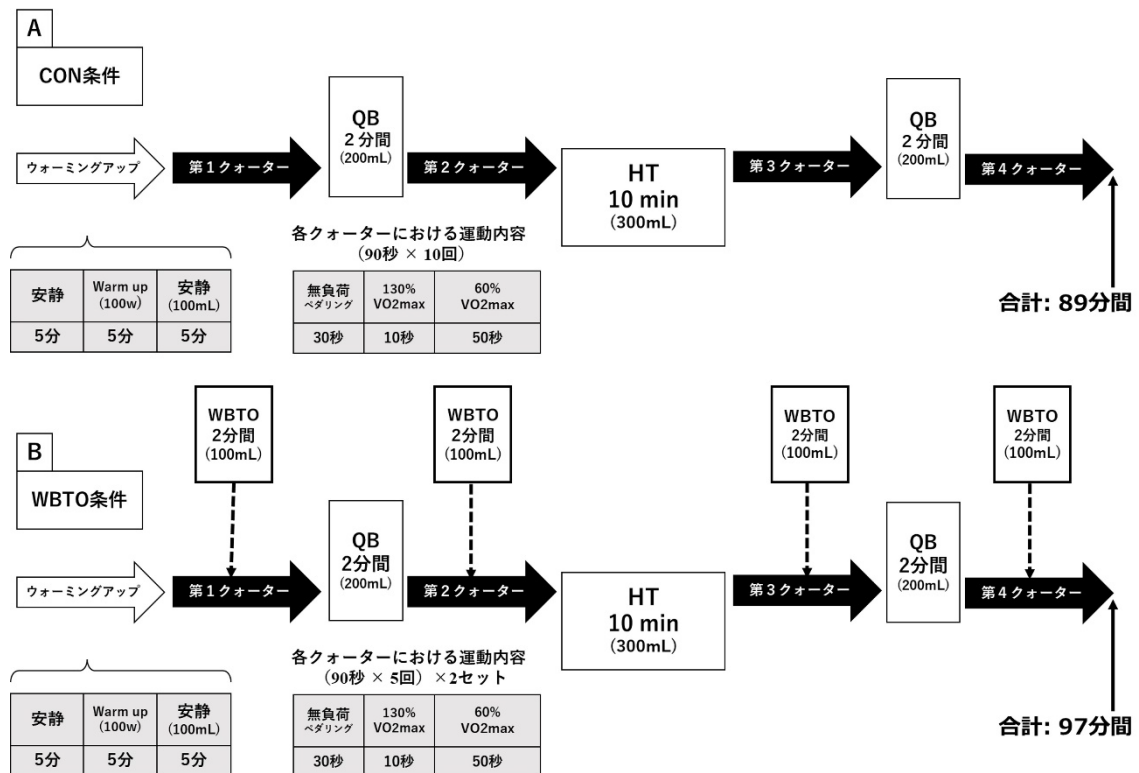


図 13. CON 条件 (A), WBTO 条件 (B) における実験プロトコル. HT; ハーフタイムブレイク, QB; クォーターブレイク, VO 2 max; 最大酸素摂取量. 100 mL, 200 mL, 300 mL; 水分摂取量.

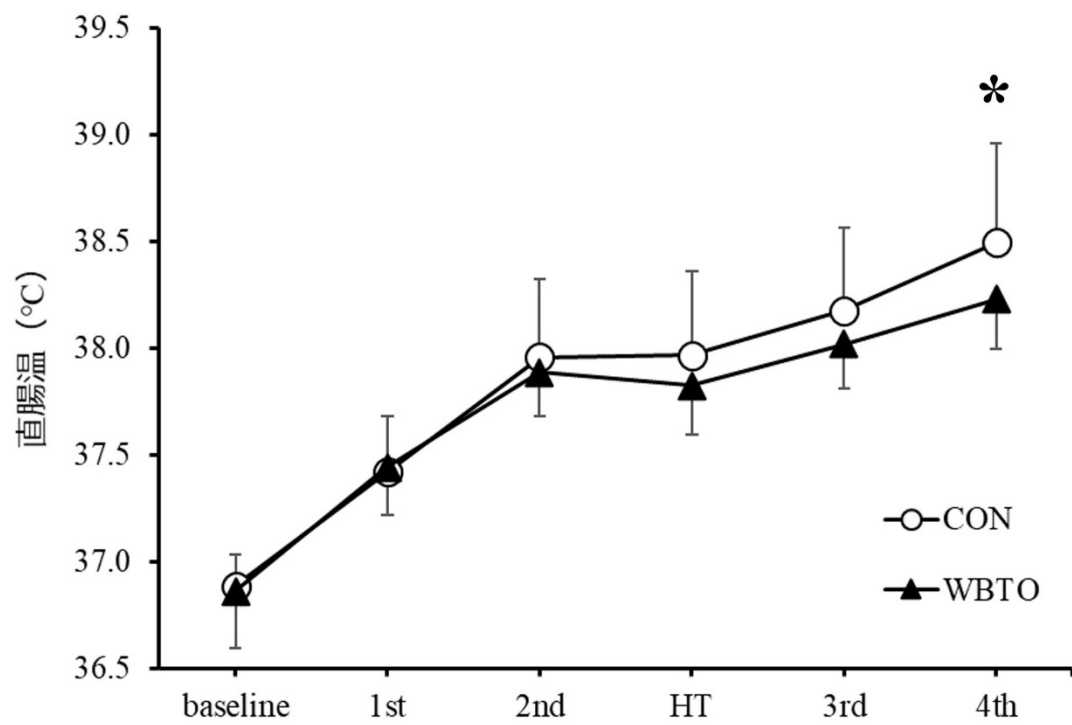


図 14. 直腸温の経時的変化. * ; CON 条件 vs. WBTO 条件 ($p < 0.05$). 1st; 第 1 クォーター終了時, 2nd; 第 2 クォーター終了時, 3rd; 第 3 クォーター終了時, 4th; 第 4 クォーター終了時, HT ; ハーフタイムブレイク.

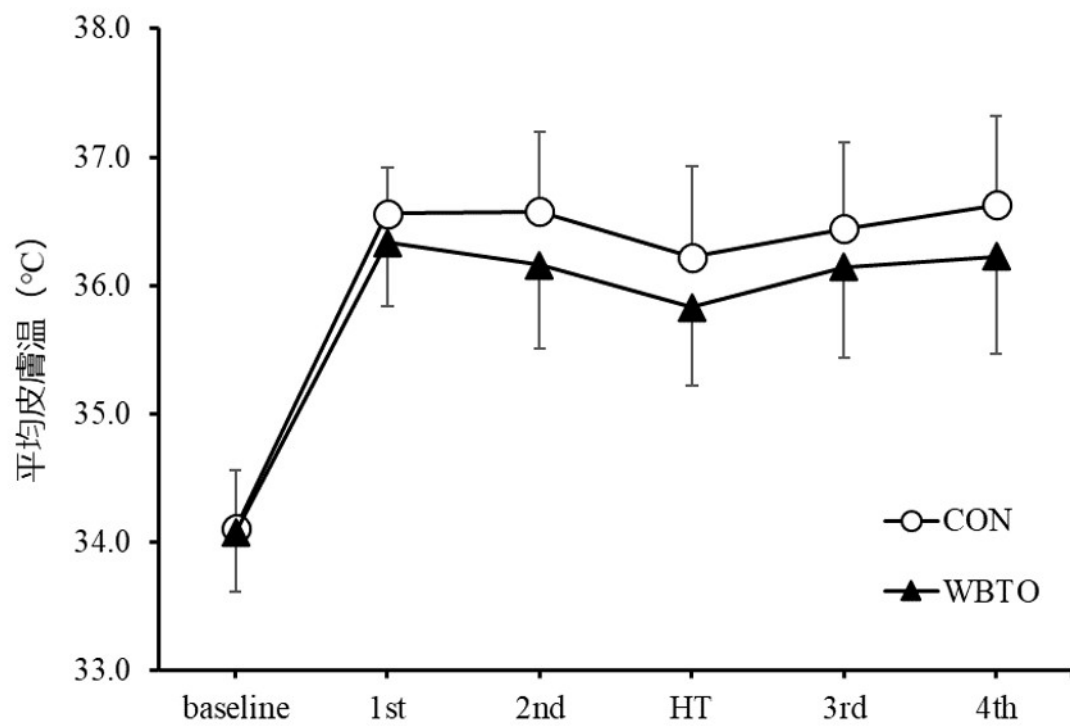


図 15. 平均皮膚温の経時的変化. 1st; 第 1 クォーター終了時, 2nd; 第 2 クォーター終了時, 3rd; 第 3 クォーター終了時, 4th; 第 4 クォーター終了時, HT; ハーフタイムブレイク.

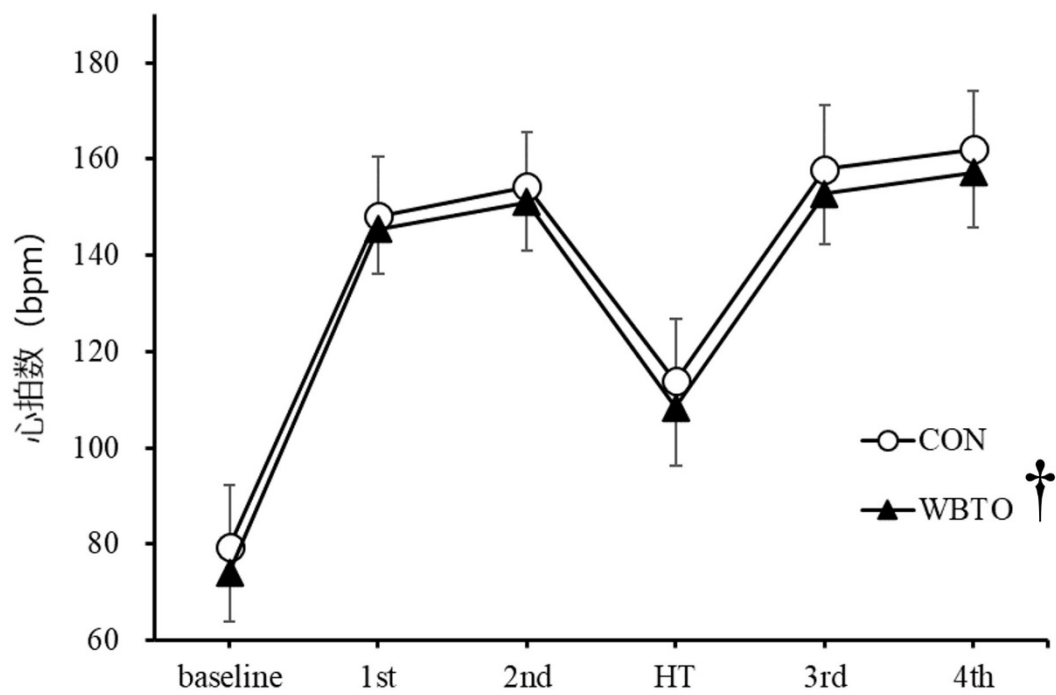


図 16. 心拍数の経時的変化. † ; 条件間の主効果 ($p < 0.05$). 1st; 第 1 クォーター終了時, 2nd; 第 2 クォーター終了時, 3rd; 第 3 クォーター終了時, 4th; 第 4 クォーター終了時, HT; ハーフタイムブレイク.

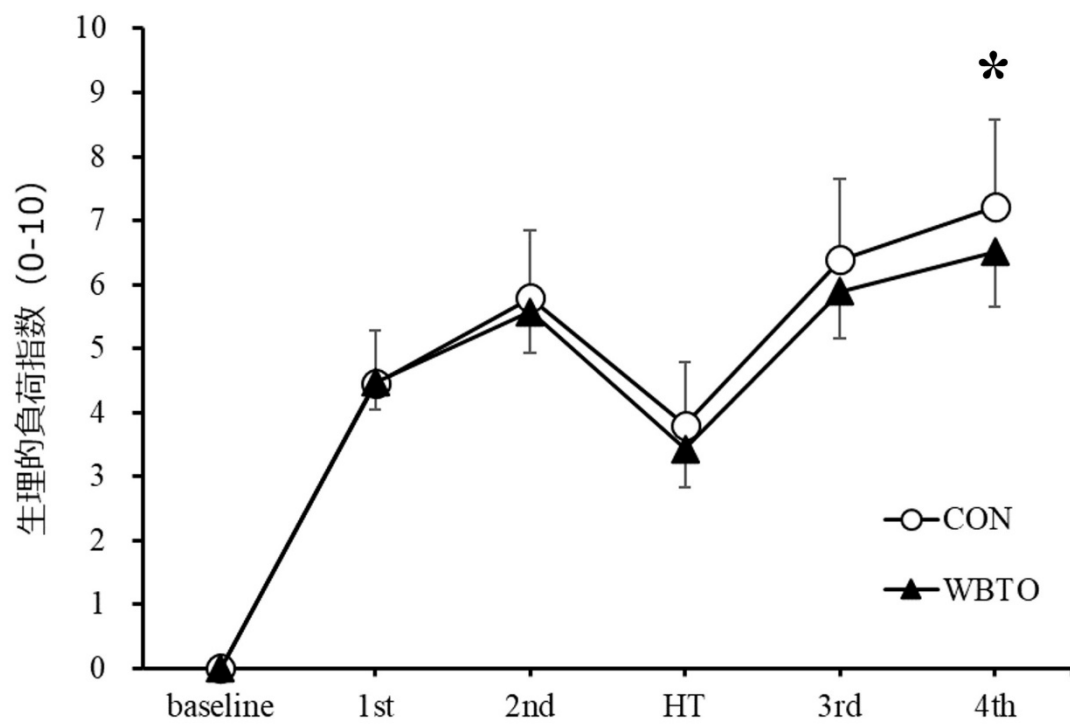


図 17. 生理的負荷指標（PSI：Physiological strain index）の経時的変化. *；CON 条件 vs. WBTO 条件 ($p < 0.05$). 1st；第 1 クォーター終了時, 2nd；第 2 クォーター終了時, 3rd；第 3 クォーター終了時, 4th；第 4 クォーター終了時, HT；ハーフタイムブレイク.

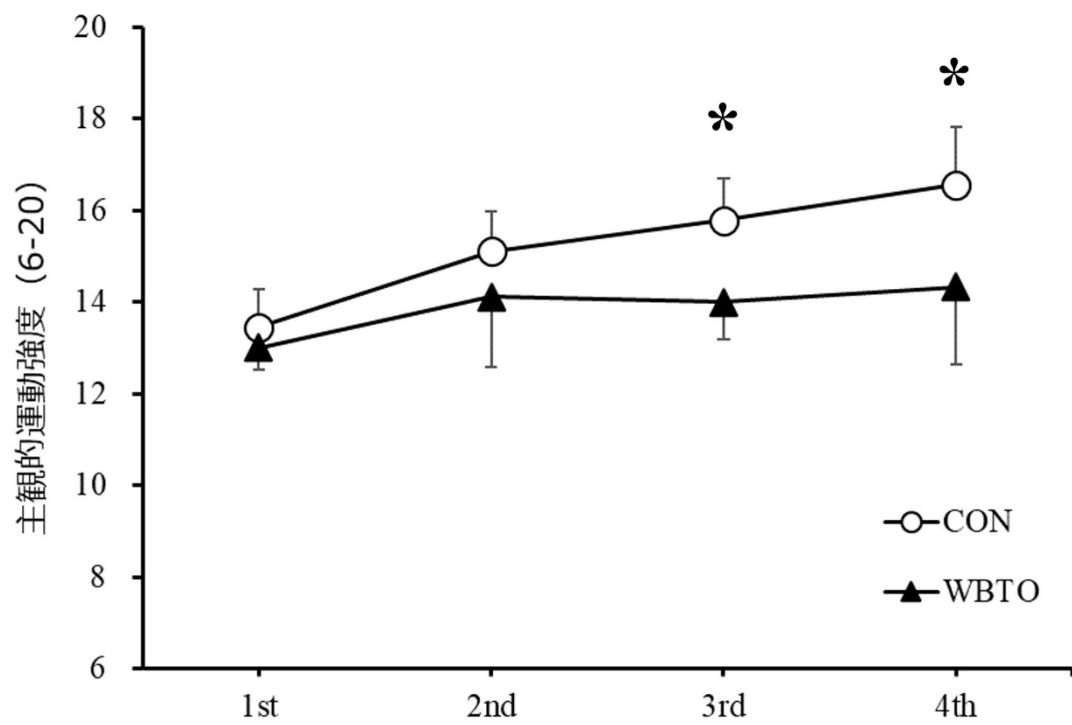


図 18. 主観的運動強度（RPE：Rating of perceived exertion）の経時的変化. *；CON 条件 vs. WBTO 条件 ($p < 0.05$). 1st；第 1 クォーター終了時, 2nd；第 2 クォーター終了時, 3rd；第 3 クォーター終了時, 4th；第 4 クォーター終了時.

表 8. 各条件における実験前後の体重, 発汗率, 脱水率, 尿比重.

	CON 条件		WBTO 条件	
	実験前	実験後	実験前	実験後
体重 (kg)	69.4 ± 11.5	68.8 ± 11.5	69.7 ± 11.7	69.4 ± 11.7*
発汗量 (kg·h ⁻¹)	0.9 ± 0.1		0.9 ± 0.2	
脱水率 (%)	2.1 ± 0.4		2.2 ± 0.6	
尿比重	1.006 ± 0.004	1.016 ± 0.010	1.010 ± 0.005	1.017 ± 0.008

* ; CON 条件 vs. WBTO 条件 ($p < 0.05$).

表 9. 各条件におけるベースラインから各クォーター, およびハーフタイムブレイク終了時までの直腸温上昇.

		第 1	第 2	HT	第 3	第 4
		クォーター	クォーター		クォーター	クォーター
直腸温上昇 (°C)	CON 条件	0.53 ± 0.21	1.07 ± 0.32	1.08 ± 0.35	1.29 ± 0.35	1.61 ± 0.43
	WBTO 条件	0.58 ± 0.15	1.03 ± 0.28	0.96 ± 0.31	1.16 ± 0.33	1.37 ± 0.37

HT ; ハーフタイムブレイク.

表 10. 各条件における温熱感覚 (TS), 熱快適性 (TC).

		W-up 前	W-up 後	第 1 クォーター 前	第 1 クォーター 終了時	第 2 クォーター 終了時	HT	第 3 クォーター 終了時	第 4 クォーター 終了時
TS (1 to 9)	CON 条件	6.2 ± 0.6	7.0 ± 0.9	6.6 ± 0.9	7.9 ± 0.3	8.2 ± 0.6	7.1 ± 0.9	7.9 ± 1.0	8.3 ± 1.2
	WBTO 条件	6.1 ± 0.5	6.9 ± 0.8	6.8 ± 1.0	7.6 ± 0.7	7.4 ± 1.2*	6.5 ± 1.6	7.2 ± 1.4	7.2 ± 1.7*
TC (-3 to 3)	CON 条件	-0.1 ± 0.3	-0.3 ± 0.5	-0.4 ± 0.5	-1.5 ± 0.5	-1.8 ± 0.4	-0.8 ± 0.6	-1.9 ± 0.9	-2.1 ± 0.8
	WBTO 条件	-0.1 ± 0.3	-0.3 ± 0.6	-0.5 ± 0.7	-1.2 ± 0.6	1.8 ± 0.7	-0.7 ± 0.9	-1.7 ± 0.8	-1.7 ± 0.8

* ; CON 条件 vs. WBTO 条件 ($p < 0.05$). HT ; ハーフタイムブレイク.

第5章

総括

第1節 本研究の限界と今後の課題

第2節 ラクロス競技現場における実践的身体冷却方略

第3節 結論

謝辞

参考文献

第1節 本研究の限界と今後の課題

第1章第5節で述べたように、研究Ⅰ、Ⅱ、Ⅲでは、自転車エルゴメータを用いて男子ラクロス試合中の模擬運動プロトコルを実施した。しかし、研究Ⅲの CON 条件における %HR_{max} は、75%（すべての QB, HT を含む）であり、男子ラクロスの実際の試合における %HR_{max}（78%）よりも僅かに低い（Akiyama et al. 2019）。なお、研究Ⅰ、Ⅱ、Ⅲは同じ運動プロトコルであった。走運動を中心とした全身運動のラクロスは、自転車漕ぎ運動と比較して、より多くの活動筋を動員するため運動負荷が高く、より大きな熱産生が生じると考えられる。また、本研究（Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ）では自転車エルゴメータを用いたため、防具の重量による運動負荷への影響は最小限であった。しかし、男子ラクロスの実際の試合では、ユニフォーム（本研究では 2460 g）やクロスの重量も運動負荷を増加させる可能性がある。暑熱環境下（気温 36°C、相対湿度 61%）で開催されたサッカーの試合中に、経口カプセル型の体温計を用いて深部体温を測定した先行研究において、試合の前半において深部体温が 39°C に到達し、試合終盤まで高温（>39°C）が持続することが報告されている（Özgünen et al. 2010）。一方、本研究（研究Ⅱ、Ⅲ）で得られた運動終了時の直腸温の平均値は約 38.5°C であり、ラクロスの実際の試合で想定される深部体温の値より低い可能性がある。したがって、ラクロスの実際の試合で想定される深部体温の状態（>39.0°C）においても、本研究（Ⅱ、Ⅲ）と同様の身体冷却効果が得られるかは不明である。しかし、本研究において直腸温が 39°C を超えた対象者もいるため、身体冷却は必要であり、本研究は実践的に有用な知見を提示している。

また、本研究（Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ）では、日本の夏季の気象環境を想定し、室温 35°C、相対湿度 50%（WBGT28°C）に設定した人工気象室内で実施した。しかし、屋外のスポーツ競技現場では、日射（輻射熱）による身体への熱ストレスが増大する（Otani et al. 2019）。そのため、屋外で開催されるラクロスの試合では、本研究とは異なる体温調節反応を示す可能性がある。また、本研究（Ⅱ、Ⅲ）で採用した気温や湿度とは異なる場合、同様の身体冷却効果が

得られるかは不明である。

熱中症予防と運動パフォーマンスの低下を防ぐために、運動時の脱水が体重の2%以内にとどまることが推奨されている (McDermott et al., 2017)。そのため、本研究 (I, II, III) では、実験後の脱水が体重の2%以内にとどまるように水分補給のタイミングや飲水量を計画的に実施した。しかし、実際の競技中では、選手各個人が水分補給を自由に実施することが多い。自由飲水では環境温度の違いに関わらず、発汗量の半分程度の飲水量にとどまることが指摘されている (Kenefic. 2018)。計画的に飲水した本研究 (I, II, III) では、運動後の脱水率は約2%であったが、ラクロスの実際の試合では飲水量が少なくなり、より大きな脱水が生じている可能性がある。

本研究の対象者は、ラクロス選手ではなかった。しかし、大学ラクロス選手の $\dot{V}O_{2max}$ の平均値は約 $50 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ であり (Steinhagen et al. 1998)、本研究の対象者と同程度の $\dot{V}O_{2max}$ であった。したがって、本研究の対象者は、大学ラクロス選手の体力レベル相当の負荷強度 ($\% \dot{V}O_{2max}$ 強度) で実験を実施したと考えられる。

暑熱順化によって、安静時および運動時の深部体温の低下、発汗量の増加などの体温調節反応の変化が生じる (Taylor. 2014)。なお、暑熱順化による体温調節反応の変化には個人差が生じる (Taylor. 2014)。そこで、本研究では気候による暑熱順化 (季節順化) の影響を避けるため、全ての実験を11月から翌年6月にかけて実施した。一方で、日本やアメリカでは、ラクロスの主要な競技会が夏季から秋季にかけて開催される。したがって、先述の競技会に出場する男子ラクロス選手は、暑熱順化をしている可能性がある。このように、本研究における体温調節反応の結果は、夏季の試合に出場する男子ラクロス選手とは異なる反応であった可能性がある。

研究IIIでは、WBTOを実施することで直腸温が低下した。しかし、WBTOの実施によって直腸温が低下した具体的な要因 (冷飲料摂取、休息、防具を外す) は不明である。

このような本研究の限界より、本研究によって得られた体温調節反応の結果は、実際のラクロスの試合における体温調節反応を過小評価している可能性がある。そのため、今後の検

討課題として、暑熱環境下で開催される男子ラクロスの実際の試合中の体温調節反応を検証すること、および研究Ⅱ、Ⅲで用いた身体冷却方略が体温調節反応に及ぼす影響について検証することが必要である。

第2節 ラクロス競技現場における実践的身体冷却方略

ラクロスの競技現場で実施できる身体冷却方略として、冷飲料摂取、アイススラリー摂取、FAN_{wet}の実施、冷水浴、アイスベストの着用が選択肢となり得る。本節では、ラクロス競技現場における身体冷却方略の応用について、以下にまとめる。

研究Ⅱでは、ハーフタイムブレイク中の冷飲料摂取は、FAN_{wet}と比較して身体冷却効果が小さかった。しかし、研究Ⅰでは、ラクロスのユニフォームを着用することで発汗量や脱水率が増加した。そのため、ラクロスの試合を通して、冷飲料摂取による積極的な水分補給が必要である。脱水率が1%上昇するに伴い、深部体温とHRがそれぞれ0.15～0.25°C (Pryor et al. 2013), 3～7 bpm 上昇する (Pryor et al. 2013, Adams et al. 2014) など、熱中症の発症リスクが高くなる。したがって、練習試合や公式戦では、試合前、試合中、クォーターブレイク、ハーフタイムブレイクに加えて飲水タイムやクーリングブレイク (WBTO) を設けることで、休息と水分補給、防具を外す機会を増やし、脱水や体温上昇を防ぐことが重要である。

研究Ⅱでは、ハーフタイムブレイク中のアイススラリー摂取は、冷飲料摂取と比較して、大きな身体冷却効果が得られない可能性が示唆された。一方で、試合開始時の深部体温をあらかじめ下げておくことを目的として、試合開始前のアイススラリー摂取が有効である可能性がある。実際に、暑熱環境下での安静時にアイススラリーを摂取すると、冷飲料を摂取した場合よりも大きく直腸温が低下し、アイススラリー摂取時の環境温度が低い場合、直腸温がより一層大きく低下することが報告されている (刑部ら, 2020)。また、直腸温はアイススラリーを摂取した15～25分後に最も低下する (刑部ら, 2020)。このように、試合開始前にアイススラリーを摂取する場合、試合開始30分前までにテントや控室など涼しい場所で摂取することが推奨される。しかし、アイススラリー摂取は、頭痛や胃腸の不調を引き起こす可能性があるため、選手各個人に応じた摂取量や摂取タイミングについて、事前に確認しておく必要がある。

研究Ⅱによって、FAN_{wet}をハーフタイムブレイク中に5分間実施することで、冷飲料摂取よりも大きな身体冷却効果が得られる可能性が示唆された。チェストパッドとエルボーガードを着用したままでも実施可能であり、短時間で身体冷却効果が得られたことから、ハーフタイムにおいて有効な身体冷却方略の一つになり得る。一方で、競技現場において扇風機を駆動させるための電源の確保が必要である。また、選手の人数分の扇風機を用意できない場合は、首振りを活用するなど工夫が必要である。

冷水浴は期待される身体冷却効果が大きい一方で、浴槽やビニールプール、大量の冷水が必要である。また、短時間の間に防具を含むユニフォームの着脱が必要である。そのため、出場する全ての選手がハーフタイムブレイク中に冷水浴を実施することは必ずしも容易ではない。一方で、冷水浴はEHSが発症した際の救命処置方法のゴールドスタンダードである (Casa et al. 2015)。したがって、競技会場に冷水浴が実施可能な環境を整えることは極めて重要である。

アイスベストの着用は、サッカーなどの防具を装着しないアスリートにとって、試合時における実用性の高い身体冷却方略となり得る。しかし、防具を着用するラクロス選手にとって、必ずしも実用性が高くないと考えられる。ラクロス選手が試合時にアイスベストを着用するタイミングは、試合中に上昇した体温を素早く低下させる目的として、試合後に着用することに限定されると考えられる。

なお、本研究では夏季の気象環境を想定し、室温 35°C、相対湿度 50% (WBGT28°C) に設定した人工気象室内で実施した。本研究 (Ⅱ, Ⅲ) では、WBGT が 28°C の場合に FAN_{wet}, および WBTO によって身体冷却効果が確認された。一方で、ラクロスの試合は WBGT が 28°C 以下の場合においても開催される。しかし、スポーツ活動時 (テニス) の WBGT が 20°C 以下の冷涼環境においても、直腸温が約 39°C に達することが報告されている (Périard et al. 2014)。そこで、本章本節でまとめた身体冷却方法だけでなく、日射を避けることを目的として休息時のテントや控室などの日陰の確保すること、熱放散の促進を目的として休息時は可能な限り防具を外すこと、練習試合においてはハーフタイムブレイ

クの時間を延長することなどによって、夏季だけでなく、1年を通して熱ストレスの軽減に取り組む必要がある。

以上のように、ラクロスの競技現場において、身体冷却によって期待される効果と実用性を考慮して、包括的な身体冷却方略を検討することが重要である。

第3節 結論

本研究では、暑熱環境下で開催される男子ラクロス試合中の体温調節反応や身体冷却方略の有効性を明らかにすることを目的として、暑熱環境下における男子ラクロスの試合を模擬した運動中の防具着用が体温調節反応に及ぼす影響（研究Ⅰ）、およびハーフタイムブレイク（研究Ⅱ）、および各クォーター（研究Ⅲ）での実践的身体冷却方略が体温調節反応に及ぼす影響について検討した。

本研究の結果、以下の結論が得られた。

1. 男子ラクロスのユニフォームを着用して運動をすることで、熱ストレスが増大し、時間経過とともに熱中症の発症リスクが高くなる（研究Ⅰ）。
2. ハーフタイムブレイク中において FAN_{wet} を実施することで、冷飲料摂取、アイススラリー摂取と比較して、その後の熱ストレスが軽減する（研究Ⅱ）。
3. 各クォーターにおいて2分間の WBTO を設けることで、試合中の熱ストレスが軽減する（研究Ⅲ）。

以上の知見から、暑熱環境下で開催される男子ラクロスの試合中において、熱ストレスを軽減するための実践的身体冷却方略として、ハーフタイムブレイク中に FAN_{wet} を実施することや、日本ラクロス協会が導入している WBTO を実施することが有効であると考えられる。

謝辞

本論文をまとめるにあたり，終始暖かい激励とともに，的確なご指導を頂いた，中京大学スポーツ科学部 梅村義久教授に心より感謝申し上げます。博士学位論文を提出できたのは，私が梅村ゼミナールを履修して以来，長きに渡り熱心にご指導頂いたからに他なりません。

また，中京大学スポーツ科学部 松本孝朗教授には，学術論文を執筆する際に，温熱生理学に関する知見について多くの助言をいただきました。心より感謝申し上げます。中京大学スポーツ科学部 倉持梨恵子准教授には，本論文をまとめるにあたり，有意義なご指摘やアドバイスをいただきました。心より感謝申し上げます。中京大学スポーツ科学部 大家利之准教授には，研究について多くのご助言をいただくと同時に，スポーツ科学をスポーツ競技現場で活用する意義と面白さについて学ばせていただきました。心より感謝申し上げます。中京大学スポーツ科学部 荒牧勇教授には，研究の面白さについて学ばせていただきました。心より感謝申し上げます。

さらに，中京大学の職員の皆様には，研究活動だけでなく，実験実習助手としての仕事しやすい環境を整えていただき，いつも多大なるご支援をいただきました。心より感謝申し上げます。

実験を遂行するにあたり，ご協力を頂いた中京大学大学院運動生理学研究室，中京大学学部生，中京大学大学院生の皆様に心より感謝しております。

最後になりますが，どんな時でもいつも温かく笑顔で応援してくれた家族に深く感謝いたします。本当にありがとうございました。

本研究の一部（第三章，研究Ⅱ）は，公益財団法人 石本記念デサントスポーツ科学振興財団より助成を受けて実施されました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- Adams WM, Ferraro EM, Huggins RA & Casa DJ. (2014). Influence of body mass loss on changes in heart rate during exercise in the heat: A systematic review. *J Strength Cond Res.* 28(8): 2380-2389.
- Ainsworth BE, Haskell WL, Herrmann SD, Meckes N, Bassett DR Jr, Tudor-Locke C, Greer JL, Vezina J, Whitt-Glover MC & Leon AS. (2011). Compendium of Physical Activities: a second update of codes and MET values. *Med Sci Sports Exerc.* 43(8): 1575-1581.
- Akiyama K, Sasaki T & Mashiko M. (2019). Elite male lacrosse players' match activity profile. *J Sports Sci Med.* 18(2): 290-294.
- Armstrong LE, Johnson EC, Casa DJ, Ganio MS, McDermott BP, Yamamoto LM, Lopez RM & Emmanuel H. (2010). The American football uniform: uncompensable heat stress and hyperthermic exhaustion. *J Athl Train.* 45(2): 117-127.
- Bongers CC, Hopman MT & Eijssvogels TM. (2017). Cooling interventions for athletes: An overview of effectiveness, physiological mechanisms, and practical considerations. *Temperature.* 4(1): 60-78.
- Bongers CC, Thijssen DH, Veltmeijer MT, Hopman MT & Eijssvogels TM. (2015). Precooling and percooling (cooling during exercise) both improve performance in the heat: a meta-analytical review. *Br J Sports Med.* 49(6): 377-384.
- Borg GA. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc.* 14(5): 377-381.
- Buller MJ, Latzka WA, Yokota M, Tharion WJ & Moran DS. (2008). A real-time heat strain risk classifier using heart rate and skin temperature. *Physiol Meas.* 29(12): 79-85.
- Casa DJ, DeMartini JK, Bergeron MF, Csillan D, Eichner ER, Lopez RM, Ferrara MS, Miller KC, O'Connor F, Sawka MN & Yeargin SW. (2015). National Athletic Trainers' Association Position

- Statement: Exertional Heat Illnesses. *J Athl Train.* 50(9): 986-1000.
- Casa DJ, Guskiewicz KM, Anderson SA, Courson RW, Heck JF, Jimenez CC, McDermott BP, Miller MG, Stearns RL, Swartz EE & Walsh KM. (2012). National athletic trainers' association position statement: preventing sudden death in sports. *J Athl Train.* 47(1): 96-118.
- Chaen Y, Onitsuka S & Hasegawa H. (2019). Wearing a cooling vest during half-time improves intermittent exercise in the heat. *Front Physiol.* 10: 711.
- Chalmers S, Anderson G & Jay O. (2020). Considerations for the development of extreme heat policies in sport and exercise. *BMJ Open Sport Exerc Med.* 6(1): e000774.
- Chalmers S, Siegler J, Lovell R, Lynch G, Gregson W, Marshall P & Jay O. (2019). Brief in-play cooling breaks reduce thermal strain during football in hot conditions. *J Sci Med Sport.* 22(8): 912-917.
- Chalmers SM. (2017). In-play cooling strategies for sport in hot and humid conditions*. *Temperature.* 4(4): 353-355.
- Choo HC, Nosaka K, Peiffer JJ, Ihsan M & Abbiss CR. (2018). Ergogenic effects of precooling with cold water immersion and ice ingestion: A meta-analysis. *Eur J Sport Sci.* 18(2): 170-181.
- Cohen J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences.* Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ.
- Egana M, Jordan L & Moriarty T. (2019). A 2.5min cold water immersion improves prolonged intermittent sprint performance. *J Sci Med Sport.* 22: 1878-1861.
- Hall JE. (2010). Guyton and Hall textbook of medical physiology. In: Cardiac arrhythmias and their electrocardiographic interpretation. 11: 147-157.
- 富樫 健二 (編). 2013. はじめて学ぶ健康・スポーツ科学シリーズ 3 スポーツ生理学. 化学同人. 154-155.
- 細川由梨. (2017). 暑熱環境下の運動パフォーマンスと安全. *日本アスレティックトレーニング学会誌.* 3(1): 33-38.

- 一般社団法人 日本ラクロス協会. ホームページ. <https://www.lacrosse.gr.jp/>
- 一般社団法人 日本ラクロス協会. 日本ラクロス協会公認男子競技用ルール. 2019 年度版
(初版) (2019 年 3 月 31 日掲載). <https://www.lacrosse.gr.jp/lacrosse/men/>
- 一般社団法人 日本ラクロス協会. 夏季における試合開催に向けた協会方針 (2019 年度以降版). <https://www.lacrosse.gr.jp/news/5820/>
- Johnson EC, Ganio MS, Lee EC, Lopez RM, McDermott BP, Casa DJ, Maresh CM & Armstrong LE. (2010). Perceptual responses while wearing an American football uniform in the heat. *J Athl Train.* 45(2): 107-116.
- Kajiki M, Yamashita N, Ito R & Matsumoto T. (2020). Effects of air-perfused rucksack on physiological and perceptual strain during low-intensity exercise in a hot environment. *Temperature.* 7(2): 157-164.
- 檜村修生. (1986). 持久的運動時における温冷感の変動. *体力科学.* 35(5):264-269.
- Kerr ZY, Casa DJ, Marshall SW & Comstock RD. (2013). Epidemiology of exertional heat illness among U.S. high school athletes. *Am J Prev Med.* 44(1): 8-14.
- Kenefick RW. (2018). Drinking Strategies: Planned Drinking Versus Drinking to Thirst. *Sports Med.* 48(1): 31-37.
- 公益財団法人 日本サッカー協会. 熱中症対策ガイドライン. (2016 年 3 月 10 日掲載).
https://www.jfa.jp/medical/heat_measures_hydration.html
- 公益財団法人 日本スポーツ協会. スポーツ活動中の熱中症予防ガイドブック 第 5 版.
<https://www.japan-sports.or.jp/medicine/heatstroke/tabid523.html>
- Kulka TJ & Kenney WL. (2002). Heat balance limits in football uniforms how different uniform ensembles alter the equation. *Phys Sportsmed.* 30(7): 29-39.
- Lynch GP, Périard JD, Pluim BM, Brotherhood JR & Jay O. (2018). Optimal cooling strategies for players in Australian Tennis Open conditions. *J Sci Med Sport.* 21(3): 232-237.
- Maroni T, Dawson B, Dennis M, Naylor L, Brade C & Wallman K. (2018). Effects of half-time

- cooling using a cooling glove and jacket on manual dexterity and repeated-sprint performance in heat. *J Sports Sci Med*. 17(3): 485-491.
- McDermott BP, Anderson SA, Armstrong LE, Casa DJ, Cheuvront SN, Cooper L, Kenney WL, O'Connor FG & Roberts WO. (2017). National Athletic Trainers' Association Position Statement: Fluid Replacement for the Physically Active. *J Athl Train*. 52(9): 877-895.
- Moran DS, Shitzer A & Pandolf KB. (1998). A physiological strain index to evaluate heat stress. *Am J Physiol*. 275(1): 129-134.
- Morris J, Nevill ME, Lakomy HKA, Nicholas C & Williams C. (1998). Effect of a hot environment on performance of prolonged, intermittent, high-intensity shuttle running. *J Sports Sci*. 16(7): 677-686.
- Noguchi K, Gel YG, Brunner E & Konietzschke F. (2012). nparLD: an R software package for the nonparametric analysis of longitudinal data in factorial experiments. *J Stat Softw*. 50: 1-23.
- Nybo L. (2008). Hyperthermia and fatigue. *J Appl Physiol*. 104(3): 871-878.
- Onitsuka S, Ueno T, Zheng X & Hasegawa H. (2015). Effect of ice slurry ingestion during half-time breaks on intermittent exercise capacity and thermoregulation in the warm environment. *Gazz Med Ital – Arch Sci Med*. 174(3): 113-121.
- 刑部純平. (2020). 新たな冷却戦略の実践 深部体温の上昇を抑える. *NSCA ジャパン機関誌*. 25(5): 12-18.
- Osakabe J, Kajiki M, Kondo K, Matsumoto T & Umemura Y. (2021). Effects of half-time cooling using a fan with skin wetting on thermal response during intermittent cycling exercise in the heat. *Sports Med Int Open*. 5(3): 91-98.
- 刑部純平, 松本孝朗, 梅村義久. (2020). アイススラリー摂取時の環境温度の違いが体温と主観的温度感覚に及ぼす影響. *日本生気象学会雑誌*. 57(1): 25-31.
- Otani H, Goto T, Goto H, Hosokawa Y & Shirato M. (2019). Solar Radiation Exposure Has Diurnal Effects on Thermoregulatory Responses During High-Intensity Exercise in the Heat Outdoors. *J*

- Strength Cond Res. 33(10): 2608-2615.
- Ozgülener KT, Kurdak SS, Maughan RJ, Zeren C, Korkmaz S, Yazici Z, Ersöz G, Shirreffs SM, Binnet MS & Dvorak J. (2010). Effect of hot environmental conditions on physical activity patterns and temperature response of football players. *Scand J Med Sci Sports*. 20(3): 140-147.
- Peiffer JJ, Abbiss CR, Watson G, Nosaka K & Laursen PB. (2010). Effect of a 5-min cold-water immersion recovery on exercise performance in the heat. *Br J Sports Med*. 44(6): 461-465.
- Périard JD, Racinais S, Knez WL, Herrera CP, Christian RJ & Girard O. (2014). Thermal, physiological and perceptual strain mediate alterations in match-play tennis under heat stress. *Br J Sports Med*. 48(1): 32-38.
- Periard JD, Racinais S, Timpka T, Dahlstrom O, Spreco A, Jacobsson J, Bargaría V, Halje K & Alonso JM. (2017). Strategies and factors associated with preparing for competing in the heat: a cohort study at the 2015 IAAF World Athletics Championships. *Br J Sports Med*. 51(4): 264-270.
- Polley CS, Cormack SJ, Gabbett TJ & Polglaze T. (2015). Activity profile of high-level Australian lacrosse players. *J Strength Cond Res*. 29(1): 126-136.
- Pryor RR, Casa DJ, Adams WM, Belval LN, DeMartini JK, Huggins RA, Stearns RL & Vandermark LW. (2013). Maximizing athletic performance in the heat. *Strength Cond J*. 35(6): 24-33.
- Racinais S, Alonso JM, Coutts AJ, Flouris AD, Girard O, González-Alonso J, Hausswirth C, Jay O, Lee JKW, Mitchell N, Nassis GP, Nybo L, Pluim BM, Roelands B, Sawka MN, Wingo JE & Périard JD. (2015). Consensus recommendations on training and competing in the heat. *Scand J Med Sci Sports*. 25(1): 6-19.
- Ramanathan NL. (1964). A new weighting system for mean surface temperature of the human body. *J Appl Physiol*. 19(3): 531-533.
- Roberts MF, Wenger CB, Stolwijk JA & Nadel ER. (1977). Skin blood flow and sweating changes following exercise training and heat acclimation. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*. 43(1): 133-137.

- Sawka MN, Burke LM, Eichner ER, Maughan RJ, Montain SJ & Stachenfeld NS. (2007). American college of sports medicine position stand. exercise and fluid replacement. *Med Sci Sports Exerc.* 39(2): 377-390.
- Sawka MN, Cheuvront SN & Kenefick RW. (2012). High skin temperature and hypohydration impair aerobic performance. *Exp Physiol.* 97(3): 327-332.
- Schranner D, Scherer L, Lynch GP, Korder S, Brotherhood JR, Pluim BM, Periard JD & Jay O. (2017). In-play cooling interventions for simulated match-play tennis in hot/humid conditions. *Med Sci Sports Exerc.* 49(5): 991-998.
- Scott KP, Edward TH. (2018). *Exercise Physiology: Theory and Application to Fitness and Performance*, Tenth Edition. McGraw-Hill Education, Inc. (内藤久士, 柳谷登志雄, 小林裕幸, 高澤祐治 (翻訳), 2020. パワーズ運動生理学 体力と競技力向上のための理論と応用, メディカルサイエンスインターナショナル)
- Siegel R, Mate J, Brearley MB, Watson G, Nosaka K & Laursen PB. (2010). Ice slurry ingestion increases core temperature capacity and running time in the heat. *Med Sci Sports Exerc.* 42(4): 717-725.
- Stanley J, Leveritt M & Peake JM. (2010). Thermoregulatory responses to ice-slush beverage ingestion and exercise in the heat. *Eur J Appl Physiol.* 110(6): 1163-1173.
- Steinhagen MR, Meyers MC, Erickson HH, Noble L, Richardson MT. (1998). Physiological Profile of College Club-Sport Lacrosse Athletes. *J Strength Cond Res.* 12(4): 226-231.
- Tyler CJ, Reeve T, Hodges GJ & Cheung SS. (2016). The effects of heat adaptation on physiology, perception and exercise performance in the heat: A meta-analysis. *Sports Med.* 46(11): 1699-1724.
- Taylor NA. (2014). Human heat adaptation. *Compr Physiol.* 4(1): 325-365.
- Vaile J, O'Hagan C, Stefanovic B, Walker M, Gill N & Askew CD. (2011). Effect of cold water immersion on repeated cycling performance and limb blood flow. *Br J Sports Med.* 45(10): 825-829.

Yanaoka T, Hamada Y, Kashiwabara K, Kurata K, Yamamoto R, Miyashita M & Hirose N. (2018).

Very-short-duration, low-intensity half-time re-warm up increases subsequent intermittent sprint performance. *J Strength Cond Res.* 32(11): 3258-3266.