

論文要旨

研究の背景

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）。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、生死にかかわる重篤な病型であり、スポーツ活動中のアスリートの突然死の主な要因の一つとされている（Casa et al. 2012）。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。

試合中に防具（チェストガード、グローブ、エルボーガード、ヘルメット）を装着する男子ラクロス選手は、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高く、熱中症の発症リスクが高い（Kerr et al. 2013）。また、男子ラクロスの競技特性である高強度間欠的運動、夏季に主要な競技会が開催されることを考慮すると、男子ラクロスは EHS の発症リスクが高いスポーツであると考えられる。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検討する必要がある。

男子ラクロスは、先述の通り、試合中に防具を装着するスポーツである。ハーフタイム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。

FAN_{wet}、アイススラリー摂取は、男子ラクロス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、日本ラクロス協会が導入しているウォーターブレイクタイムアウト（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。

研究Ⅰでは、暑熱環境下における模擬男子ラクロス試合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た。研究Ⅱでは、ハーフタイム中の 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について検討した。研究Ⅲでは、各クォーターでのウォーターブレイクタイムアウト実施が体温調節反応に及ぼす影響について検討した。

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。

方法

研究対象者は、運動習慣のある男性 8 名（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 [VO_{2max} : 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]）であった。

対象者は、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。すべての試行は室温 35℃、相対湿度 50% に設定した人工気象室内で実施した。男子ラクロスの試合を模擬した運動は、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。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% VO_{2max} 強度）、50 秒間の中強度ペダリング（60% VO_{2max} 強度）から構成され、毎分 80 回転を維持した。

測定項目は、直腸温、皮膚温（前腕部、胸部、大腿部、下腿部）、心拍数、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、温熱感覚、熱快適性であった。結果

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（ $p < 0.05$ ）を示した。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（ $p < 0.05$ ）を示した（WEAR 条件: 39.0 ± 0.4 ℃、CON 条件: 38.3 ± 0.5 ℃）。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（ $p < 0.05$ ）を示した。WEAR 条件では、72 分の時点から PSI の値が 7.5 を超えた（ 7.7 ± 1.6 ）。皮膚温（平均、胸部、前腕部、大腿部、下腿部）、心拍数、発汗量、脱水率、主観的運動強度、温熱感覚、熱快適性は、WEAR 条件において、CON 条件と比較して有意に高かった（全て $p < 0.05$ ）。

小括

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。

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

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。

方法

対象者は、運動習慣のある健康な成人男性 10 名（年齢: 22.5 ± 1.8 歳、身長: 172.4 ± 4.1 cm、体重: 66.6 ± 7.9 kg、 VO_{2max} : 49.2 ± 7.5 mL \cdot kg $^{-1}\cdot$ min $^{-1}$ ）であった。

対象者は、10 分間のハーフタイム中（HT）に、4℃の冷飲料を摂取する条件（CON 条件）、-1℃のアイス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。研究Ⅰと同じ環境、方法で男子ラクロスの試合を模擬した運動を実施した。

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。

測定項目は、直腸温、皮膚温（平均、前腕部、胸部、大腿部）、心拍数、PSI、全身発汗量、主観的運動強度、温熱感覚、熱快適性であった。

結果

47分から89分までの直腸温上昇は、FAN_{wet}条件（0.26 ± 0.17℃）およびMIX条件（0.21 ± 0.20℃）においてCON条件（0.54 ± 0.13℃）と比較して有意に低い値を示した（p < 0.05）。MIX条件とFAN_{wet}条件の間に有意差はなかった。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）。

小括

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。

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

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。

方法

対象者は、運動習慣のある男性10名（年齢 = 23.0 ± 1.9歳、身長 = 173.2 ± 4.6 cm、体重 = 68.1 ± 9.0 kg、VO_{2max} = 48.9 ± 7.8 mL・kg⁻¹・min⁻¹、HR_{max} = 191 ± 6 bpm）であった。対象者は、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。CON条件は、研究Ⅰ、Ⅱと同じ運動プロトコルであった。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（合計97分）。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。

測定項目は、直腸温、皮膚温（前腕部、胸部、大腿部、下腿部）、心拍数、PSI、発汗率、脱水率（体重減少率）、主観的運動強度、温熱感覚、熱快適性であった。

結果

第4クォーター終了時の直腸温は、WBTO条件が（38.23 ± 0.23℃）CON条件（38.23 ± 0.23℃）より有意に低い値を示した（p < 0.05）。心拍数は、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）。主観的運動強度、温熱感覚は、WBTO条件がCON条件より有意に低い値を示した（p < 0.05）。

小括

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。

まとめ

暑熱環境下で開催される男子ラグ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、HT 中に FAN_{wet} を実施することや、日本ラグ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。