

博士学位論文審査報告書

大学名 早稲田大学
研究科名 スポーツ科学研究科
申請者氏名 橋本 秀紀
学位の種類 博士（スポーツ科学）
論文題目 Effects of menstrual cycle phase on thermoregulation and inflammatory response during prolonged exercise under hot conditions

異なる月経周期における暑熱環境下長時間運動中の体温調節および炎症反応に飲料摂取が及ぼす影響

論文審査員 主査 早稲田大学教授 樋口 満 教育学博士（東京大学）
副査 早稲田大学教授 村岡 功 博士（医学）（東京医科大学）
副査 早稲田大学教授 鈴木克彦 博士（医学）（弘前大学）

近年、スポーツに参加する女性が増加しており、その目的はレクリエーション、健康増進や体重管理と様々あるが、マラソン大会に参加する女性も多い。マラソン等の長時間運動時には体内に多量の熱が発生するため、深部体温をある一定の範囲内に維持するために体温調節の働きが重要となる。体温調節は主に神経系によって行われているが、ホルモンを介した内分泌系による体温調節も重要な役割を果たしている。思春期後の女性は女性ホルモンが変動する月経周期を有するようになり、月経周期も体温調節を修飾することが示されている。安静時の深部体温はプロゲステロンとエストラジオール濃度が増加する黄体期において卵胞期と比較して $0.3\sim 0.5^{\circ}\text{C}$ 高くなり、さらに運動時の発汗および皮膚血管拡張閾値も黄体期において卵胞期と比較して上昇することが報告されている。また黄体期は卵胞期と比較して血漿量が少なく、黄体期は卵胞期と比較して運動時の熱放散反応感受性が低下する場合があることも報告されている。

以上に示した研究報告から、女性の運動時の体温調節には女性ホルモンの濃度および血漿量が体温調節の重要な因子であると考えられる。月経周期が体温調節に及ぼす影響を調査した研究はこれまで数多く報告されているが、月経周期および運動中の水分摂取が体温調節に及ぼす影響を同時に調査した研究はない。

近年、夏季における熱中症患者の増加が報告されているが、特に若年層では男女共に運動時の熱中症発生率が高い。運動時の熱中症予防対策として、適切な水分摂取が重要で、運動が長時間に及ぶ場合には糖質およびミネラル含有飲料の摂取が熱中症予防に有効であることは周知の事実である。そこで本博士論文においては、研究課題1として、異なる月経周期における暑熱環境下長時間運動中の体温調節に水分摂取が及ぼす影響について検討された。更に女性ホルモンは体温調節のみならず、基質代謝や内分泌応答などの生理的応答にも影響を及ぼすことが知られてい

ることから、研究課題2として、異なる月経周期における暑熱環境下長時間運動中の生理的応答に糖質飲料摂取が及ぼす影響について検討された。

以下に本博士学位論文で行われた2つの研究について、具体的に記し、評価する。

研究課題1では、異なる月経周期における暑熱環境下長時間運動中の体温調節に水分摂取が及ぼす影響が検討された。正常な月経周期を有する一般的な女子大学生8人を被験者とし、安静時体温および安静時血中プロゲステロン濃度に基づいて月経周期を高体温期と低体温期に分け、それぞれの期にて運動中に水分摂取をしない脱水試行と水分摂取をする飲水試行の合計4試行が行われた。実験は先に脱水試行を行い、運動中の体重減少量(発汗量)を測定し、飲水試行では脱水試行での発汗量と同重量の水を運動中に摂取させた。順序による影響が無いように被験者の半数は低体温期から行い、半数は高体温期から行った。実験は室温 $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度 $50\pm 5\%$ の環境下にて $50\% \dot{V}O_{2\text{peak}}$ 運動強度の自転車運動を90分間行い、運動前後と運動中の直腸温、呼吸循環応答および主観的運動強度が測定された。

実験の結果、運動中の水分摂取の有無に関わらず高体温期の直腸温は低体温期の直腸温に比べて高値を維持した。また低体温期では水分摂取による運動中の直腸温への影響はみられなかったが、高体温期では水分摂取によって運動後半の直腸温の上昇が抑制されていた。更に高体温期では水分摂取によって心拍数の上昇も抑制されていた。高体温期も低体温期も脱水試行と飲水試行との間で発汗量に差が見られないことから、高体温期における水分摂取による体温上昇抑制効果は発汗による熱放散反応の亢進ではなく、非蒸散性熱放散が亢進したのではないかと考えられた。

本実験の結果から、健康な若年女性が暑熱環境下にて中等度の持久性運動を行なう場合、低体温期では水分摂取による体温上昇抑制効果が小さく、水分摂取をしなくても非蒸散性熱放散が優れている可能性が示唆されたが、高体温期では、水分摂取が運動中の体温上昇を抑制することが確認された。

本研究については原著論文として国際学術誌への投稿準備が整っており、速やかな投稿、採択が期待される。

研究課題2では、異なる月経周期における暑熱環境下長時間運動中の生理的応答(炎症反応)に糖質飲料摂取が及ぼす影響が検討された。正常な月経周期を有する健康な女子大学生6人を被験者とし、各被験者の卵胞期と黄体期において運動中に糖質飲料を摂取する糖質試行と糖質非含有飲料を摂取するプラセボ試行の合計4試行が行われた。実験に用いた糖質飲料は糖質3.8%(ブドウ糖2.1%、果糖1.7%)を配合し浸透圧が 195mOsm/kg となるように調製された。一方の糖質非含有飲料は人工甘味料を使用し糖質飲料と同程度の甘味となるように調製された。実験は室温 $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度 $50\pm 5\%$ の環境下にて $50\% \dot{V}O_{2\text{peak}}$ 運動強度の自転車運動を90分間行った後、同環境下にて約10分間のタイムトライアルパフォーマンステスト(POST)を行った。被験者は運動開始前および90分間の運動中15分毎に合計1050mlの飲料を摂取した。90分間の運動前後および運動中15分毎に直腸温、呼吸循環応答、主観的運動強度を測定し、運動開始前、運動中30分毎およびPOST後に採血を行った。

実験の結果、飲料の種類は直腸温および呼吸循環応答に影響を及ぼさなかった。しかしプラセボ試行では黄体期および卵胞期共にPOST後の白血球数の増加が観察され、特に黄体期では著しい白血球数の増加が観察された。糖質飲料摂取によってPOST後の白血球数の増加が抑制され黄体期と卵胞期の差もなくなった。サイトカインの血中濃度に月経周期や糖質飲料摂取の影響がないこと、血糖値や遊離脂肪酸の値は月経周期や糖質飲料摂取の影響がみられたことから、白血球

数の増加は女性ホルモンが基質利用におよぼした影響によって引き起こされた可能性があることが示唆された。月経周期や糖質飲料摂取は POST の結果には影響を及ぼさなかったが、過剰な白血球数の増加は炎症性組織障害や運動後の免疫力低下にもつながる可能性があることから、暑熱環境下で女性が長時間運動をする場合には糖質飲料の摂取が推奨されることが示されたことは評価される。

本研究はすでに以下に示す国際学術誌に原著論文として掲載されている。

Hashimoto H, Ishijima T, Hayashida H, Suzuki K, Higuchi M. :Menstrual cycle phase and carbohydrate ingestion alter immune response following endurance exercise and high intensity time trial performance test under hot conditions.

Journal of International Society of Sports Nutrition. 2014 Aug 12;11:39. doi:

10.1186/1550-2783-11-39. eCollection 2014.

本博士学位論文において行われた研究から、若年女性においては、水分摂取によって高体温期（黄体期）における持久性長時間運動中の体温上昇を抑制できること、また、糖質飲料摂取によって白血球数の増加（特に黄体期）を抑制できることが明らかになった。したがって健康な女性が暑熱環境下にて長時間運動を行う際には糖質含有飲料の摂取が推奨されることが明らかになり、スポーツ現場における適切な飲料摂取の有用性が示されたことは高く評価される。

よって、橋本秀紀が申請した博士学位論文は、博士（スポーツ科学）の学位を授与するに十分値するものと認める。

以 上