

氏名(本籍)	はやし 林	けいじ 恵嗣	(徳島県)
学位の種類	博士(学術)		
学位記番号	博甲第4122号		
学位授与年月日	平成18年3月24日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	人間総合科学研究科		
学位論文題目	暑熱下運動時における換気調節に関する研究 -体温変化に注目して-		
主査	筑波大学教授	学術博士	西平賀昭
副査	筑波大学助教授	教育学博士	西保岳
副査	筑波大学助教授	医学博士	征矢英昭
副査	筑波大学助教授	博士(医学)	本田靖

論文の内容の要旨

運動を行うと筋では代謝が亢進するが、筋で生成されたエネルギーのうち運動エネルギーとして用いられなかったものは熱に変換される。この熱は、主に血流により筋から奪われ、最終的には皮膚表面から体外へ放散される。このとき、産熱量が放熱量を上回らなければ、体温の過度な上昇は抑えられ、暑熱下でも運動を継続することができるが、産熱量が放熱量を上回ると、熱が体内に蓄積され、結果的に過度に体温が上昇することになる。このような体温上昇によって、運動パフォーマンス低下や、熱中症が引き起こされると考えられる。そのメカニズムとしては、さまざまな経路が想定されるが、その中でも体温上昇に伴う換気の亢進については未だ不明な点も多く、より詳細なメカニズムの解明が必要である。また、高体温による運動パフォーマンス低下や熱中症の防止方法について検討することも体育科学的に重要である。そこで本研究では、体温上昇に伴う換気反応について新たな知見を得るとともに、暑熱下での運動パフォーマンス向上のための方法論開発を目標とし、実験を行った。

実験1では、暑熱下での短時間の運動間に活動部位に対して行う冷却が、冷却後運動時における呼吸循環反応に及ぼす影響について検討した。被検者は40分間の自転車運動を行った後、10分間の休憩を挟み、再び10分間運動を行った。運動間の休憩時に両脚を20℃もしくは35℃の水に5分間浸漬し、その後の運動時における呼吸循環反応を比較した。その結果、脚部冷却により、冷却後運動時において食道温、平均皮膚温、心拍数、および換気量($\dot{V}E$)が低下することが示された。

実験2では、運動時における体温上昇に伴う換気亢進反応が皮膚温(T_{sk})や深部体温(T_c)の上昇割合の違いに影響を受けるのか、また換気亢進の深部体温閾値が見られるのかを検討した。被検者は水循環スーツを着用して、最大下の一定負荷運動を行った。運動中に水循環スーツに循環する水の温度を変化させて、 T_{sk} を変化させた。実験の結果、1) 運動時に T_c が一定であれば、心拍数や $\dot{V}E$ も一定である、2) 運動中に見られた $\dot{V}E$ 増加は T_c の上昇と直線関係があり、これは主に呼吸回数の増加による、3) 運動中の T_{sk} の違いや T_c の上昇割合の違いは、 T_c と $\dot{V}E$ の直線関係に影響しない、4) 運動時には換気亢進の深部体温閾値は見られない、ことなどが示された。

実験3では、実験2で見られた換気亢進反応が、有酸素能力や、皮膚血管拡張反応とどのような関係にあるのかを検討した。運動時での T_c 上昇に対する $\dot{V}E$ の増加割合を T_c 上昇に伴う換気亢進反応の指標とし、運動時での T_c 上昇に対する前腕血流量の増加割合（皮膚血管拡張反応の感受性）を皮膚血管拡張反応の指標とし、 $\dot{V}O_{2peak}$ を有酸素能力の指標とした。実験の結果、これらの関係について、 T_c 上昇に伴う換気亢進割合は皮膚血管拡張反応の感受性や $\dot{V}O_{2peak}$ と負の相関関係があること、また、皮膚血管拡張反応の感受性は $\dot{V}O_{2peak}$ と正の相関関係があることが示された。

実験4では、 T_c や T_{sk} の変化がそれぞれどの程度、筋交感神経活動（MSNA）の変化に関係しているのかを検討した。被検者は水循環スーツを着用し、安静仰臥位姿勢で測定を行った。水循環スーツに循環する水の温度を変化させることで T_c や T_{sk} を変化させた。得られたデータを用いて重回帰分析を行い、 T_c と T_{sk} がMSNAに対してそれぞれどの程度影響しているのかを推定した。その結果、 T_c が T_{sk} の約20倍MSNA変化に影響することが示された。

実験1では、暑熱下運動後に下肢を短時間冷却することによって、その後の運動時に心拍数や $\dot{V}E$ の有意な減少が見られた。このことは、サッカーなどの球技スポーツにおけるハーフタイムでの簡単な下肢冷却の有効性を示唆する結果であると考えられる。実験2では、暑熱下運動時の $\dot{V}E$ 増加が T_c 上昇と密接な関係にあることが示された。代謝性でないこのような換気亢進は、体内から二酸化炭素を過剰に排出し、血液中の二酸化炭素分圧の低下、さらに脳血管収縮による脳血流低下を引き起こす可能性が知られている。したがって、このような換気亢進が、脳血流低下を介して脳貧血や熱中症の一因となる可能性を示唆する知見であると考えられる。実験3では、 T_c 上昇に伴う $\dot{V}E$ 増加と、有酸素能力や体温調節機能との関連がみられた。このことは、熱中症予防を含めた暑熱耐性を向上させるためには、有酸素運動トレーニングや暑熱順化が重要であることを示す知見となると考えられる。そして実験4では、MSNAの亢進が T_c 上昇と密接な関係にあったが、交感神経活動が循環調節に関与するとともに、ストレス反応とも深く関係することを考慮すると、暑熱下運動時における冷却では、 T_c を下げる必要があることが示唆される。これらの結果は、暑熱下での運動パフォーマンス向上や熱中症の予防方法にも関連する重要な知見であると考えられる。

審査の結果の要旨

本論文は、暑熱下運動時における換気調節に関する研究として、主に4つの実験から構成されていた。実験1では、短時間の運動間に活動部位（脚部）に対して行う冷却が呼吸循環反応に及ぼす影響について検討し、体温上昇後には短時間であっても活動部位（脚部）に対して冷却を行うことで、深部体温が低下すること、また冷却後運動時において換気量や心拍数の上昇が抑えられることが示唆された。実験2では、一定負荷運動時に皮膚温や深部体温の上昇割合を変化させたときの換気量と深部体温の関係について検討し、一定負荷運動時には深部体温が一定に保たれば換気量も一定に保たれ、深部体温の上昇に対して換気量は直線的に増加すること、またその直線関係は皮膚温の違いや深部体温の上昇割合の違いに影響されないことが示唆された。実験3では、実験2において見られた換気量と深部体温の関係と、有酸素能力や皮膚血管拡張反応の関係について検討し、有酸素能力や皮膚血管拡張反応が大きいものほど、深部体温の上昇に対して換気亢進が小さい傾向にあることが示唆された。実験4では、筋交感神経活動と深部体温・皮膚温の関係について検討し、筋交感神経活動の変化に対しては、深部体温が皮膚温の約20倍も影響することが示唆された。これらの一連の知見は、体温上昇に伴う換気や交感神経活動の亢進のような呼吸循環反応に深部体温の上昇が大きく関与することを示唆し、さらに暑熱下での運動パフォーマンス向上や熱中症の予防方法についても示唆を与えられる重要な論文として専門委員会が高く評価された。

よって、著者は博士（学術）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。