

論文審査の結果の要旨

博士の専攻分野の名称	博士（医学）	氏名	福原 幸樹
学位授与の条件	学位規則第 4 条第①・2 項該当		
論文題目 Thermoregulatory responses in persons with lower-limb amputation during upper-limb endurance exercise in a hot and humid environment (下肢切断者における高温多湿環境での上肢持久性運動中の体温調節反応)			
論文審査担当者			
主査	教授	吉栖 正生	印
審査委員	教授	志馬 伸朗	
審査委員	准教授	吉田 隆行	
〔論文審査の結果の要旨〕			
<p>ヒトの体温は熱産生と熱放散のバランスにより通常約 37℃に保たれる。運動や身体活動により熱産生が高まると、皮膚温の上昇や汗の蒸発による熱放散反応によって、体温が調節される。しかし、熱産生が熱放散を上回ると体温が上昇し始める。熱産生の指標には酸素摂取量が用いられ、体温変化を対照群と比較検討する場合は酸素摂取量を一定にすることが推奨される。</p> <p>近年、身体機能や健康状態、QOL の向上のために、障がい者がスポーツに参加する機会が増えている。一方で、スポーツ参加に伴うリスクとして、外傷や熱中症が挙げられる。健常者では、スポーツ活動中の熱中症予防運動指針が示されているが、障がい者全般の暑さ対策や体温調節反応については一定の見解が得られていない。脊髄損傷者は運動により麻痺領域の過度な皮膚温上昇（うつ熱）や発汗量の減少を示すため、体温が上昇しやすい。これは熱産生よりも熱放散能の低下によるものとされる。</p> <p>下肢切断者は熱放散に必要な体表面積が小さいため、脊髄損傷者と同様に熱放散能の低下により下肢切断者も体温が上昇しやすい可能性がある。先行研究では、下肢切断者の 10km マラソン時の体温変化や暑熱環境下安静時の体温変化の報告はあるが、熱産生や環境温が一定でなく、体温上昇するか否かは明らかではない。</p> <p>副論文では、気温 32℃・相対湿度 50%の環境で運動したが、下肢切断者の体温上昇は健常者と差がなく、非切断側下肢で熱放散を補う代償性発汗を示唆した。残された課題として、下肢切断者の代償性発汗は下肢だけでなく、上半身にも生じる可能性がある。また、熱放散にのみ焦点を当てており、熱産生の検討はない。さらに、国際的なパラスポーツ大会が開催されることがある高温多湿環境での体温調節反応を理解することは重要と考えられるが、検討は不十分である。</p> <p>本研究の目的は、高温多湿環境での上肢持久性運動中の下肢切断者の体温、酸素摂取量、皮膚温、発汗量を測定し、健常者の体温調節反応と比較検討することである。副論文を参考に、下肢以外での発汗量が増加するという代償機構が存在すれば、高温多湿環境でも下肢切断者の体温は健常者と差がないと仮説を立てた。</p>			

健常男性 9 名 (AB 群) と下肢切断者 9 名 (LLA 群) を対象とした。下肢切断者の内訳は大腿切断者 4 名、下腿切断者 5 名であり、切断原因は交通事故、骨肉腫、バーシャー病であり、切断後平均期間は約 18 年であった。下肢切断者の体表面積は健常者よりも小さかった (AB 群 $1.7 \pm 0.1 \text{m}^2$ 、LLA 群 $1.5 \pm 0.2 \text{m}^2$ 、 $p=0.01$)。予備実験として、心肺運動負荷試験を行い、最高運動負荷量を決定した。本実験では、人工気象室内を気温 33°C ・相対湿度 70%に設定し、最高運動負荷量の 60%の運動強度で 60 分間の上半身持久性運動を行った。運動中の酸素摂取量は両群で差がなかった。また、運動に伴い両群とも体温が上昇したが、群間差はなかった。一方で、下肢切断者の胸部の発汗量は健常者よりも多かった (繰り返しのある二元配置分散分析 [群 \times 時間]、群効果、 $p<0.01$ 、効果量は中等度、 $\eta^2=0.10$)。また、下肢切断者の全身発汗量は健常者よりも多く (AB 群 $1.0 \pm 0.3 \text{kg}$ 、LLA 群 $1.4 \pm 0.4 \text{kg}$ 、 $p=0.01$)、脱水率も高かった (AB 群 $1.5 \pm 0.5\%$ 、LLA 群 $2.1 \pm 0.5\%$ 、 $p=0.03$)。

以上の結果は研究目的で設定した仮説を裏付けるものであり、下肢切断者の体温は運動中に上昇するものの、高温多湿環境でも健常者の体温と差がなかった。

代償性発汗の一般的な事例として、多汗症の交感神経節遮断術後に生じる代償性発汗がある。神経遮断された支配領域の発汗量は減少するが、他部位の発汗量が増える。また、健常者が暑さに慣れるメカニズムとして、暑熱順化がある。これは熱ストレスを繰り返し受け、汗腺を活性化させることで発汗反応が高まることを意味する。下肢切断者は義足歩行など日常的な身体活動やスポーツ参加による熱ストレスにさらされる。このように、下肢切断者は日ごろから繰り返し熱ストレスを受けることで、熱ストレスに対処するために、代償性発汗を獲得すると考えた。脊髄損傷者は感覚情報が体温中枢にフィードバックされないため、体温上昇に伴う熱放散の代償機構が働かないとされる。しかしながら、副論文と本研究の結果から、下肢切断者は体表面積の減少によって熱放散能が低下するのではなく、むしろ残された皮膚で熱放散反応を高めていることが明らかになった。一方で、過剰な発汗は脱水症の進展が懸念される。代償性発汗はからだを冷やす効果が高い反面、脱水症の進行には注意が必要である。

以上、審査委員会委員全員は、本論文が福原幸樹に博士 (医学) の学位を授与するに十分な価値あるものと認めた。