

高強度運動後の体温調節反応に及ぼす異なる強度のクールダウンの影響

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-03 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/36041

【緒言】

運動後のクールダウンの目的には、血中乳酸除去の促進や、筋ポンプ作用の維持による急激な血圧低下の防止などが挙げられる。また、血圧低下を防止することで、めまい、吐き気および失神を防止し、さらに交感神経活動の亢進が抑制されて突然死が防止されると考えられている。

また、熱中症などの熱障害が発症するタイミングは、運動中ではなく筋ポンプ作用が停止する運動終了直後に集中しているとの報告もある（平下ら, 1999）。体温調節として重要な働きをする発汗や皮膚血管活動は、圧受容器への負荷やセントラルコマンドのような運動と関連した非温熱性要因によっても調節される（Johnson, 1992; Pawelczyk, 1993）。運動直後は運動中の発汗により体液量が減少していることに加えて、筋ポンプ作用の停止によって静脈還流量が減少し、皮膚血流量が減少するため熱放散量も減少する（平下ら, 1999）。さらに、運動を停止すると非温熱性要因の影響がなくなり、運動回復中に発汗活動が維持されない。Carter et al. (2002) は、運動からの回復期に軽運動を行うことで皮膚血管拡張や発汗量が維持されることを確認した。しかしながら、運動後のクールダウンの体温調節への効果についての研究は数少なく、これまでの報告では運動直後やクールダウン後の発汗や皮膚血管活動の急激な変化についての知見が欠如している。また、熱放散における効果的な強度や時間についての検討がなされていない（Carter et al., 2002）。

そこで本研究では、強度の異なるクールダウンを行い、連続的に発汗量、皮膚温を測定することによって、運動後およびクールダウン後の発汗や皮膚血管活動の変化を観察し、熱放散に対するクールダウンならびにその強度の影響を検討することを目的とした。

【方法】

被験者は、日頃持久的トレーニングを行っていない健康的な男子学生9名とした。表1に被験者の身体特性を示した。実験は室温 $25.15 \pm 0.49^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $58.28 \pm 5.12\%$ に環境設定された実験室で、自転車エルゴメータを用いて運動負荷試験を行った。被験者は自転車エルゴメータ上で3分間の安静の後、無負荷で2分間のウォーミングアップを行い、引き続き被験者の $75\% \dot{V}O_{2\text{peak}}$ の負荷で5分間の主運動を行い、①被験者の VT 強度にあたる負荷で、3分間のクールダウンを行い、その後12分間の安静を保つ条件（以下 VT）、②被験者の $50\% \text{VT}$ 強度にあたる負荷で、3分間のクールダウンを行い、その後12分間の安静を保つ条件（以下 $50\% \text{VT}$ ）、③クールダウンを行わず、15分間の安静を保つ条件（以下 NR）の3つの条件で回復運動を行った。実験中、連続蒸散・発汗測定装置を用いて、連続的に右胸部と右前腕部の発汗量および皮膚温を測定した。

表1. 被験者の身体特性.

年齢 (years)	身長 (cm)	体重 (kg)	体脂肪率 (%)
20.56 ± 1.42	171.89 ± 6.41	69.58 ± 4.81	22.22 ± 4.63
$\dot{V}O_{2\text{peak}}$ ($\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$)	$75\% \dot{V}O_{2\text{peak}}$ ($\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$)	$\dot{V}O_{2@VT}$ ($\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$)	$\dot{V}O_{2@50\%VT}$ ($\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$)
50.10 ± 9.45	38.12 ± 6.59	25.19 ± 8.80	12.59 ± 4.40
WR@ $\dot{V}O_{2\text{peak}}$ (Watts)	WR@ $75\% \dot{V}O_{2\text{peak}}$ (Watts)	WR@VT (Watts)	WR@ $50\% \text{VT}$ (Watts)
295.61 ± 50.08	216.44 ± 37.20	135.11 ± 49.81	57.11 ± 25.10

平均値±標準偏差 (n=9) .

【結果】

各パラメータの全体の傾向について

- 胸部の発汗量と皮膚温および前腕部の発汗量と皮膚温について、それぞれ1分毎に平均した値を用いて比較した結果、いずれの時間帯においてもVT、50%VT、NRの3つの条件間に有意差は認められなかった(図1-A, B, C, D)。
- 胸部の発汗量と皮膚温および前腕部の発汗量と皮膚温について、それぞれ前値からの1分変化量を算出した値を用いて比較した結果、胸部発汗量では20-21分の変化量においてVTがNRに比べて有意に低値を示し($p < 0.05$)、胸部皮膚温では15-16分および16-17分の変化量においてVTが50%VTに比べ有意に高値を示し($p < 0.05$)、前腕部発汗量では15-16分の変化量においてVTがNRに比べ有意に高値を示した($p < 0.05$)。
- 胸部の発汗量と皮膚温および前腕部の発汗量と皮膚温について、1分平均値から主運動5分目の平均値を基準とした1分毎の変化率を用いて比較した結果、胸部皮膚温では18分と19分および20分目の変化率についてVTがNRに比べ有意に高値を示した($p < 0.05$)。

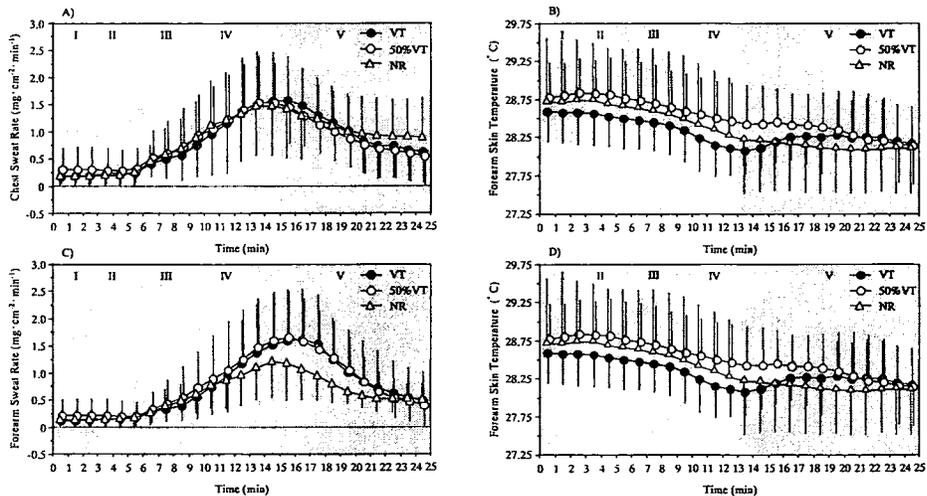


図1. 運動による発汗量と皮膚温の経時的変化(1分毎の平均値)。

主運動後3分間における各パラメータの関係

主運動後3分間における各パラメータの関係について、50%VTにおいては前腕部発汗量と前腕部皮膚温との間に有意な負の相関が認められた(図2-A)。また、前腕部皮膚温と胸部皮膚温との間にVT(図2-B)とNR(図2-D)では有意な正の相関が認められ、50%VTでは有意な負の相関が認められた(図2-C)。

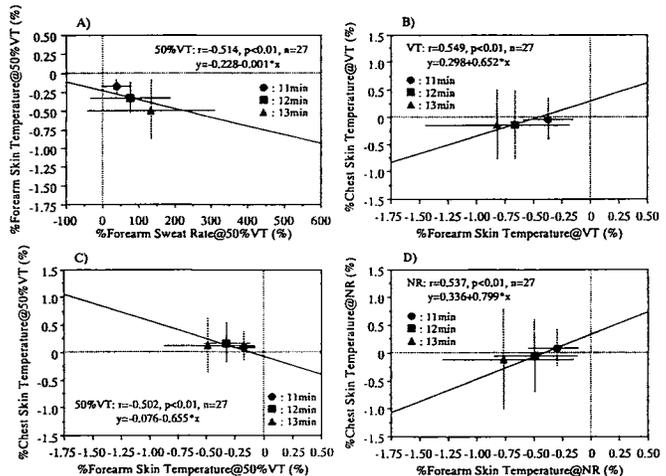


図2. 主運動後3分間における各パラメータの関係。

クールダウン後3分間における各パラメータの関係

クールダウン後3分間における各パラメータの関係について、VTでは胸部発汗量と胸部皮膚温との間に負の相関関係の傾向が示され(図3-A)、前腕部皮膚温と胸部皮膚温との間に有意な正の相関が認められた(図3-B)。

【考察】

VT

主運動終了後1分目から3分目にかけて前腕部皮膚温が低下するにつれて胸部皮膚温も低下した。運動後にクールダウンを行うと、筋ポンプ作用が働き、静脈還流が維持されて中心血流量も維持される(Carter et al., 1999)。しかしながら、運動を開始すると皮膚温および皮膚血流量が一過性に低下するが、運動強度の増大に伴い四肢部だけでなく躯幹部の皮膚血管も収縮する(Nakayama et al., 1977; 大貫ら, 1979)。これは、運動遂行のために活動筋へ血流を確保するための反応であるものの、非蒸散性熱放散の効率を抑制する可能性も考えられる(近藤, 2001)。VTにおいては、運動後のクールダウンは主運動に比べて強度が低くなるとはいえ、比較的高強度であるため、さらに活動筋への血流の確保が必要とされていたと考えられる。したがって、VT強度でのクールダウンは、末梢血流だけでなく躯幹部の血流の動員も必要とした結果、前腕部および胸部の血流量や皮膚温が低下したと推察される。

クールダウン後3分間において、前腕部皮膚温が上昇するにつれて胸部皮膚温も上昇し、胸部皮膚温については、50%VTとNRで低下傾向にあるのに対して、VTでは上昇傾向にあった。さらに、回復期中において、前腕部皮膚温の変化率が50%VTとNRの変化率に比べてVTで高値傾向を示した。クールダウン後は運動を停止することによって、それまで活動筋に配分されていた血流が戻って中心血流量を増加させ、それに伴って前腕への血流も増加し、前腕部皮膚温が上昇したと考えられる。しかしながら、胸部皮膚温はさらに上昇しており、VTではクールダウン中に十分な熱放散を行うことができなかった結果、深部体温が上昇したと考えられる。前腕部皮膚からの熱放散の増大にも関わらず、深部体温は上昇しているため、熱放散が不十分であることが推察される。また、胸部では発汗量が増加するにつれて皮膚温は低下する傾向がみられた。これは、胸部において発汗量が多いほど、皮膚温やそれに影響を与える深部体温を低下させるという関係を示唆しており、VTでは胸部発汗による効率のよい熱放散が行われたと推察される。したがって、VT強度でのクールダウン中に熱放散が抑制されることで深部体温が上昇し、クールダウン後は、前腕部からの非蒸散性熱放散は不十分であるが、胸部からは発汗により効率よく熱放散を行っていると考えられる。つまり、クールダウン中の体熱貯留を補うようにクールダウン後に熱放散が促進されたと推察される。

50%VT

主運動後3分間において、前腕部皮膚温が低下するにつれて胸部皮膚温が上昇した。また、前腕部では発汗量が増加するにつれて皮膚温は低下した。50%VTはVTと比較して低強度な

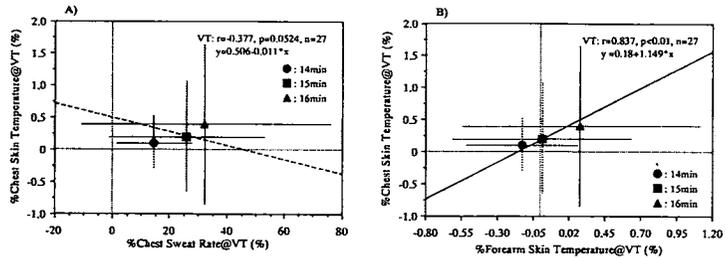


図3. クールダウン後3分間における各パラメータの関係。

クールダウンであるが、低強度のクールダウンでも中心循環は維持されることが確認されているため (Carter et al., 1999)、50%VT においても中心血流量は維持されていると予想される。50%VT は比較的低強度であるため、四肢部の皮膚血流量は低下するが、躯幹部の皮膚血流量の低下は小さく、中心血流量はほぼ維持されていると考えられる。それに関わらずクールダウン中に胸部皮膚温が上昇していた理由として、前腕部の皮膚血流量の低下に伴い前腕部皮膚温も低下し、熱放散が抑制されたことによる、深部体温の上昇が推察される。運動中は皮膚血流を増加させることができないために、前腕部皮膚温も低下し、非蒸散性熱放散が抑制されていたと考えられるが、その熱放散不足を補うために、50%VT では前腕部発汗量を増加させて熱放散を促していたと推察される。しかしながら、前腕部発汗量と胸部皮膚温との間に有意な相関関係は認められなかったため、前腕部の発汗は深部体温に影響を与えなかったと考えられる。これらの結果から、50%VT でのクールダウンは、発汗によって深部体温を低下させることはできなかったが、深部体温の過度な上昇を抑制したと推察される。

クールダウン後 3 分間の 50%VT において、部位別の発汗量と皮膚温、ならびに前腕部皮膚温と胸部皮膚温との間に有意な相関関係は認められなかった。この結果から、各熱放散反応は深部体温に影響を与えなかったと考えられる。したがって、50%VT において熱放散反応による深部体温の過度な上昇や低下はなく、深部体温が維持されたと推察される。

NR

主運動後 3 分間において、前腕部皮膚温が低下するにつれて胸部皮膚温も低下した。NR では、クールダウンを行わなかったために静脈還流が減少して、それに伴って中心血流量が低下した影響を受けて、胸部皮膚温が低下したと考えられる。また、静脈還流の減少に伴い中心静脈圧が低下し、心肺圧受容器反射により末梢血管である前腕部の皮膚血管が収縮したことによって、前腕部皮膚温が低下したと考えられる。したがって、NR では静脈還流の減少によって中心血流量や前腕血流量が低下したため、非蒸散性熱放散の抑制が生じていたと推察される。

回復期前半において、VT では発汗量が依然増加しているのに対して NR では減少し始めていた。NR における前腕部発汗量の抑制は、運動の停止によって発汗量を調節する非温熱性要因の影響が消失したためと考えられる。また、回復期後半において、1 分当たりの胸部発汗量が VT では大きく減少しているのに対して、NR ではその減少量が少なかった。NR ではクールダウンを行わないため、回復期中に運動中の熱産生に対して十分な熱放散が行われなかったために、回復期後半においても発汗による熱放散を行っていたと考えられる。

<参考文献>

- Carter, R. III., Watenpaugh, D. E., Wasmund, W. L., Wasmund, S. L. and Smith, M. L. (1999) Muscle pump and central command during recovery from exercise in humans. *J. Appl. Physiol.* 87: 1463-1469.
- Carter, R. III., Wilson, T. E., Watenpaugh, D. E., Smith, M. L. and Crandall, C. G. (2002) Effects of mode of exercise recovery on thermoregulatory and cardiovascular responses. *J. Appl. Physiol.* 93: 1918-1924.
- 平下政美, 桜田惣太郎, 紫藤治, 大森重宜. (1999) 軽度下肢陰圧暴露時の末梢血流変化が核心温に及ぼす影響. *金沢経済大学論集* 33: 37-43.
- Johnson, J. M. (1992) Exercise and the cutaneous circulation. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 20: 59-97.
- 近藤徳彦. (2001) 運動と熱放散反応. In *新運動生理学 (下巻)* (edited by 宮村実晴), pp. 240-257, 東京: 真興交易.
- Nakayama, T., Ohnuki, Y. and Niwa, K. (1977) Fall in skin temperature during exercise. *Jpn. J. Physiol.* 27: 423-437.
- 大貫義人, 丹羽健市, 中山昭雄, 平原豊弘. (1979) 発汗を伴わない運動時の皮膚温について. *日本生気象学会誌* 16: 36-41.
- Pawelczyk, J. A. (1993) Neural control of skin and muscle blood flow during exercise and thermal stress. In *Exercise, Heat, and Thermoregulation* (edited by C. V. Gisolfi, D. R. Lamb and E. R. Nadel), pp. 119-177, Carmel: Cooper.