

部位別の皮膚血流量に及ぼす運動強度の影響

身体運動科学研究領域

5017A701-9 秋山 大志

研究指導教員：村岡 功 教授

【緒言】

生命活動は、体内に摂取した栄養素をエネルギーへと変換することで営まれている。エネルギーの産生反応は酵素によって触媒されるが、酵素には至適温度が存在することから、体温を一定の範囲以内に保つことは重要と言える。体内で合成されたエネルギーのうち、約 20%は物理的工作に利用されるが、残り約 80%のエネルギーは熱へと変換される。安静時には、体内で産生される産熱量と放熱量とのバランスが維持され、ヒトの体温は一定に保たれている。

長時間に亘る運動時には、産熱量が増大する為に、運動強度の増加と共に深部体温は上昇する。その為、このような条件下では、主に発汗および皮膚血流反応を促進させて、放熱効果を高めることで、体温を維持しようとする。放熱効果を高める為に、心拍出量を増大させ、また、各臓器への血流配分を調節することで皮膚血流量を増加させる。皮膚血流量の増加は、皮膚から体外へと熱を放散（非蒸散性熱放散）すると共に、汗腺に水分を供給して発汗による放散（蒸散性熱放散）の増加にも貢献する。

皮膚血流量は、運動強度の増加と共に増大するが、最大酸素摂取量（ $\dot{V}O_{2max}$ ）の 60~80%強度でプラトーとなり、最大値は安静時の約 3~5 倍に達するとされている。しかし、運動時の皮膚血流量を検討したほとんどの研究は、前腕部に焦点を当てており、その為、部位別の皮膚血流量が運動強度によって、どのように影響されるのかは不明である。

先行研究では、60W での片脚自転車運動を行わせ、皮膚血流量を前腕部と腓腹部で比較した。その結果、運動後の皮膚血流量は前腕部で多く、部位によって異なる応答が生じる可能性を示唆している。しかし、この研究では、皮膚血流量を推定していること、運動中の測定は行われていないこと、また、単一強度での運動を用いている為、より高い強度での部位別の皮膚血流量の応答については不明であることが問題点として挙げられる。

皮膚血管の拡張が開始される皮膚血管拡張閾値お

よび全身の局所発汗量は、運動強度に影響されるが、その応答には部位差が存在することが知られている。このことから、運動強度に関連して皮膚血流量にも部位差が生じることは十分に考えられる。そこで、本研究では、胸部、前腕部および大腿部の皮膚血流量に及ぼす運動強度の影響について検討することを目的とした。本研究では、部位別の皮膚血流量は異なる応答を示すと仮説を立てこれを検証した。

【方法】

被験者は、健康な成人男性 8 名であった。本研究は、事前測定（スクリーニング、 $\dot{V}O_{2max}$ ）および本実験を 2 日間で実施した。

被験者は、絶食条件で温度 25℃、湿度 50%に設定された人工気候室に来室した。皮膚血流量は、レーザードップラー血流計（ALF-21, ADVANCE）を用いて、胸部、前腕部および大腿部の 3 箇所からそれぞれ測定した。座位安静を 10 分間保った後に運動を行った。運動は、自転車エルゴメーターを用いて、30%、50%および 70% $\dot{V}O_{2max}$ 強度での各 20 分間の一定運動とした。体温を安静値に戻す為に、各ステージの間に 30 分間の休息を挟んだ。この間、80 cm 離れた場所から体幹に向けて送風冷却を行った。また、脱水を防止する為に水分を補給させた。

【結果】

30%、50%および 70% $\dot{V}O_{2max}$ 強度での各 20 分間の一定運動時における胸部、前腕部および大腿部の皮膚血流量は、いずれの部位においても運動によって有意に増加したが、その応答には部位差が認められた（図 1）。皮膚血流量は、大腿部および前腕部では 30%および 50% $\dot{V}O_{2max}$ 強度でそれぞれプラトーとなった。一方、胸部では、30%および 50% $\dot{V}O_{2max}$ 強度との間に変化は認められなかったが、70% $\dot{V}O_{2max}$ 強度で増加し、プラトーは観察されなかった。また、部位間で皮膚血流量を比較すると、大腿部では胸部および前腕部に比べて、いずれの強度でも運動開始

直後に高い値を示した(図2)。

【考察】

本研究では、先行研究と一致して前腕部の皮膚血流量は50% $\dot{V}O_{2max}$ 強度でプラトーとなった。このプラトーが生じる原因については、心肺圧受容器反射の関与が示唆されている。Rowell (1986) は、「皮膚と骨格筋における血流の‘奪い合い’は、心臓のポンプ機能をいとも簡単に上回る」と述べている。すなわち、長時間に亘る運動時には、活動筋では運動に必要な酸素および栄養素の供給を受ける必要があり、一方、皮膚では運動で生じた熱を放熱する為に、血流量を増加させる必要がある。骨格筋および皮膚からのこれらの重複した生理的要求に応える為に、心拍出量を増加させて両臓器への血流量を増加させるが、運動強度が高まると皮膚血流量による体温調節を一部抑制することで、骨格筋への血液供給を優先するように循環調節されていると考えられる。そして、その際には、より放熱効率の優れる発汗反応を選択的に促進させていると考えられる。

興味深いことに、胸部では、皮膚血流量のプラトーが認められなかった。この原因は明らかではないが、発汗量との関わりが推測される。また、休息時に、送風冷却を行っていることから、これが影響した可能性も完全に排除することは出来ない。先行研究では、75% $\dot{V}O_{2max}$ 強度での運動時における全身の局所発汗量には部位差が存在し、前額部および体幹部で多く、四肢部で少ないことが報告されている。したがって、これら局所発汗量の部位差が皮膚血流量の応答に関係した可能性が考えられる。

皮膚血流量を部位間で比較すると、大腿部では、胸部および前腕部とは異なる応答が観察され、運動開始直後に皮膚血流量が著しく上昇していた。この応答には、皮膚血管周辺の温度の変化に伴って生じる局所性調節が関与していた可能性が考えられる。つまり、活動肢では多くの熱が産生され、活動肢の皮膚温が上昇したことである。皮膚血流量は局所温度依存性に増加することが知られていることから、本研究では、皮膚温の測定は行っていないものの、活動肢では非活動肢に比べて多くの熱が産生され、血管拡張物質（一酸化窒素など）の影響によって大腿部で皮膚血流量が増大した可能性がある。しかし、この点については今後さらなる検討が必要であろう。

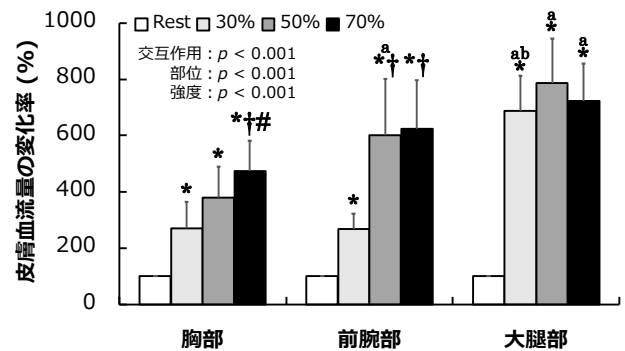


図 1. 30%, 50%および 70% $\dot{V}O_{2max}$ 強度での運動時における運動 15~20 分間の胸部, 前腕部および大腿部の平均皮膚血流量(安静値からの変化率). * vs 安静値. † vs 30% $\dot{V}O_{2max}$. # vs 50% $\dot{V}O_{2max}$. a vs 胸部. b vs 前腕部.

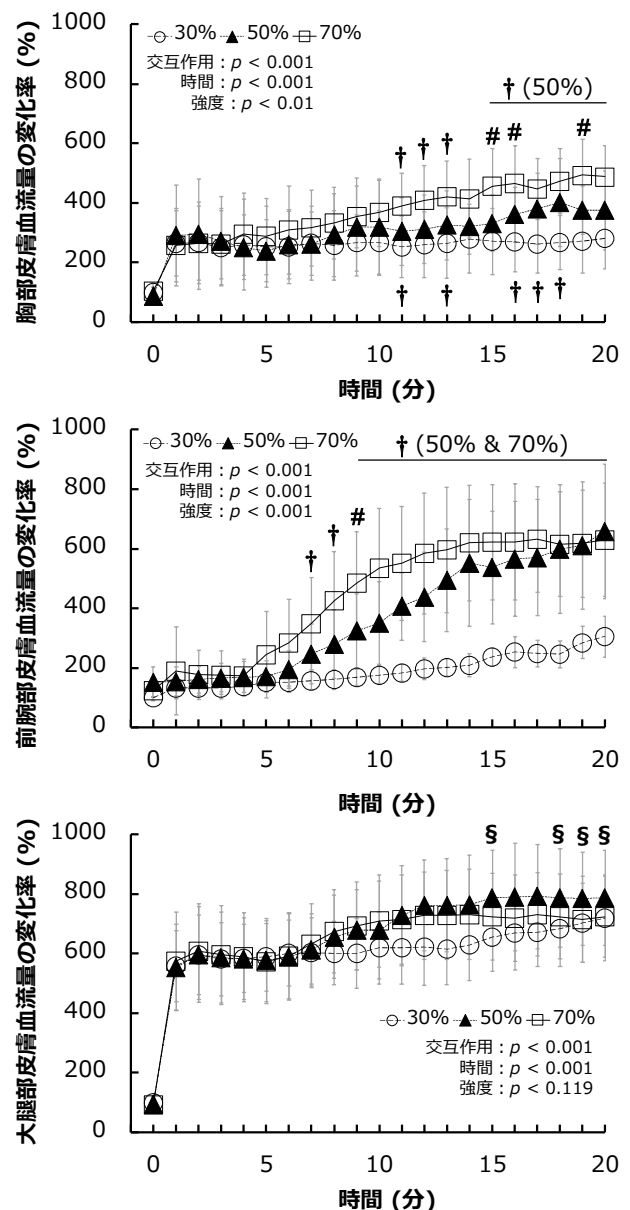


図 2. 30%, 50%および 70% $\dot{V}O_{2max}$ 強度での運動時における胸部(A), 前腕部(B)および大腿部(C)の皮膚血流量(安静値からの変化率). † vs 30% $\dot{V}O_{2max}$. # vs 50% $\dot{V}O_{2max}$. § vs 70% $\dot{V}O_{2max}$.