温熱環境が運動中のヒトの血液循環に及ぼす影響

伊勢 典弘, 勝浦 哲夫, 菊池 安行
千葉大学工学部 人間工学教室

Skin Blood Flow in Different Ambient Temperatures at Rest and during Exercise

Norihiro ISE, Tetsuo KATSUURA, and Yoshiyuki KIKUCHI

Department of Ergonomics, Faculty of Engineering, Chiba University, Yayoi-cho, chiba, 260 Japan

Four relatively fit young men performed duplicate 50-min bouts of experiment including rest and cycle ergometer exercise of 100W and 150W in ambient temperatures of 25°C and 40°C. To study responses of skin blood flow in different ambient temperatures during exercise as compared with those at rest, forearm blood flow (FBF) and rectal temperature (Tr) were measured. In each case, rising Tr throughout the period of experiments was observed. The linear relationship between FBF and Tr shown in all subjects was unaltered by the ambient temperature, and was altered by the intensity of work. We concluded that the higher body temperature results in more skin blood flow at a level of work load and that the higher intensity of work the less skin blood flow at a given body temperature.

Key words: Skin Blood Flow, Rectal Temperature, Ambient Temperature, Exercise

人間——熱環境系を評価する上での重要な指標の1つに前腕皮膚血流量がある。しかしながら、その測定が困難であることから、これを扱った研究は数少なく、さらに研究する必要を感じる。

今回、常温及び高温環境で3段階の強度の運動を行ない、直腸温等と共に前腕皮膚血流量を測定し、温熱環境が運動中のヒトの血液循環に及ぼす影響について検討した。

方 法

健康な成人男子4名を被験者として用いた。被験者の身体的特徴を表1に示す。被験者は短パンのみを着

用し、人工気象室内において自転車エルゴメータ上で各測定を行なった。上体は、運動中も安静時も直立とし、右手は軽くハンドルを握り、左腕は前腕皮膚血流量を測定するために、できるだけ力を抜いた状態で下垂とした。

測定項目は、前腕皮膚血流量、直腸温、心拍数であった。前腕皮膚血流量と心拍数については3分毎に、直腸温は1分毎に測定した。環境温度25°C及び40°C（相対湿度はいずれも35%）の下で、20分間の安静の後、100W（60r.p.m.）の運動を10分間さらに続けて150W（60r.p.m.）の運動を10分間行ない、最後に10分間安静にした（図1）。

直腸温の測定にはサーミスタ温度計を用い、心拍数は、胸部誘導心電図の1分間のRスパイクの数を計数して測定した。

前腕皮膚血流量の測定は、mercury-in-rubber strain gauge plethysmography (Whitney, 1953)によった。これは、venous occlusion plethysmography の一種で、静脈閉塞された部位の体積変化を、mercury-in-

Table 1. physical characteristics of the subjects

subject	stature(cm)	weight(kg)	age(ysr)
M.M.	177	74.7	22
Y.H.	167	60.6	23
M.H.	165	59.7	22
T.K.	170	59.3	33

Fig. 1 experiment protocol in this study

Fig. 2 procedure of forearm blood flow (FBF) measurement

rubber strain gauge を用いてその部の周囲長の変化として取り出すものである。ゲージの他にカフを2つ、1つはcollecting-cuffとして、もう1つはarresting-cuffとして用いる。それぞれのカフの加圧のタイミングを図2に示す。

結果と考察

図3と図4は、それぞれ前腕皮膚血流量及び直腸温の経時的变化の典型的な例を表わしている。

前腕皮膚血流量は、環境温25°Cの場合よりも、環境温40°Cの時に高い値を示し、実験終了の直前に最高値が記録された。この傾向はいずれの被験者においても認められた。

直腸温は時間とともに上昇する傾向が認められた。直腸温は、環境温25°Cの時よりも、環境温40°Cの時の方が上昇開始が早く、また、50分間でより大きな温度上昇が認められた。環境温25°C、40°Cいずれの場合も、直腸温の上昇が顕著になるのは運動開始0～5分後であった。直腸温が38°Cを越えた場合は、運動停止後0～5分で上昇速度が減少し、ほぼ定常状態になるものも認められた。

図5(a), (b)は、実験中に特に高体温を示し、最終的には直腸温が39°C付近にまで上昇した被験者M.H.の、前腕皮膚血流量と直腸温の経時的变化を示して

Fig. 3 a typical example of FBF during experiment

Fig. 4 a typical example of rectal temperature (Tr) during experiment

いる。

図6は、被験者M.H.の前腕皮膚血流量と直腸温との関係を示したものである。高体温時に直腸温に対する前腕皮膚血流量の増加率の減少が認められ、これは、Bregelmann *et al.* (1977)による知見と一致している。彼らは、この高体温時の皮膚血流の体温に対する増加率の減少は、皮膚付近の血管の血流における物理的な限界によるものではなく、動脈血脈維持制御機構による血管収縮の影響によるものであるとしている。

図7は、前腕皮膚血流量と直腸温との関係の典型的な例を示したものである。この図から、前腕皮膚血流量と直腸温との関係は、安静時と運動中で、また、同じ運動中でも運動強度により、異なることがわかる。各回帰直線間の有意差の検定を被験者ごとに共分散分析により行なった結果、いずれの場合も、各直線間には、傾き、あるいはy切片に有意な差が認められた。各直線それぞれの相関係数傾き、y切片を表2に示す。安静→100W→150Wと、運動強度が増すにつれて、直腸温上昇に対する前腕皮膚血流量の増加の割合が減少

Fig. 5 FBF (a) and Tr (b) in subject M.H. whose Tr approached to the level of 39°C at the termination of experiment

Fig. 6 relationships between FBF and Tr in subject M.H.: An attenuation in the slope of the FBF-Tr relationship in a high level Tr was observed

していることが示された。また、安静と100Wとの直線間では傾きに有意な差が認められない例もあったが（この場合もy切片については有意な差が認められ

Fig. 7 relationships between FBF and Tr: Note that the FBF-Tr relationships were remained unaltered in spite of the different ambient temperatures

Table 2. slopes and intersections ($y=ax+b$) of the regression equations of subjects shown in Fig. 6 and 7.

	r	a	b	
Rest	0.955	3.93	-146	Fig. 6
	0.944	1.35	-48.8	
100 W	0.948	3.41	-188	
150 w	0.847	1.42	-52.2	Fig. 7
Rest	0.863	3.10	-114	
100 w	0.932	3.41	-127	
150 w	0.973	1.89	-69.9	

た), いずれの場合も運動強度の低い方の直線が, 運動強度のより高い方の直線の上方にあった。すなわち, 直腸温が同じならば, 運動強度が低い程, 前腕皮膚血流量は高い値を示した。

Johnson *et al.* (1974) は, 皮膚温を38°Cに保ち, 直立と仰臥位のそれぞれについて, 安静時と, 心拍数が120~130拍/分になるように調節された運動強度における運動中の直腸温に対する前腕皮膚血流量の比較を行ない, 今回の結果と同様に, 運動中の前腕皮膚血流量は安静時のものより低いことを認めている。彼らは, これを運動に伴う交感神経の興奮によるものであるとしている。

Nadel *et al.* (1979) は, 今回の研究とはほぼ同様の環境温, 姿勢, 着衣の条件で, 100Wと180Wの2段階の強度の運動を行ない, 運動強同が低い方が同一体温

における前腕皮膚血流量が高いことを見い出しており、今回の結果と一致している。彼らは運動による皮膚血流について、次のような分析を行なっている。高温環境下で運動をすると、皮膚血管と作業筋の両方へ血液を送らなければならない、安静時と同じ割合で、体温の上昇に合わせて皮膚血流を増加させることは心臓にとって大きな負担となる。そこで運動中は、皮膚付近の血管は収縮し、体表面付くに多量の血液が流れるのを防ぐ。これは、当然、体熱放散についてはある程度の犠牲を強いることになるが、この場合、動脈血圧維持が体温調節に優先するとしている。

しかしながら、Johnson *et al.* (1974) の実験では、運動強度は被験者ごとに一定で、異なった運動強度における直腸温と前腕皮膚血流量の関係については比較

を行なっていない。一方、Nadel *et al.* (1979) は安静時についての実験を行なっておらず、安静時と運動中の直腸温と前腕皮膚血流量の関係の差異については言及していない。今回、安静時と2段階の運動強度について実験を行ない、上記の結果を得た。これにより、Johnson *et al.* (1974) 及び Nadel *et al.* (1979) の考え方が、安静時と運動中、さらに、運動強度の強弱についても適用できることが明らかになった。

謝 辞

最後に、本研究について適切なる御助言を賜わりました日本女子体育大学の加賀谷淳子先生に深く感謝するとともに、実験に協力していただいた被験者のみなさんに御礼申し上げます。

(1984年11月10日受付)