

動静脈吻合の体力医学的意義

金沢大学 永坂鉄夫
(共同研究者) 神戸女子大学 平田耕造
金沢学院大学 平井敦夫
金沢経済大学 平下政美

Significance for Physical Fitness and Sports Medicine of Cutaneous Arteriovenous Anastomoses

by

Tetsuo Nagasaka

Department of Physiology, School of Medicine, Kanazawa University

Kozo Hirata

Faculty of Home Economics, Kobe Women's University

Atsuo Hirai

Kanazawa-gakuin University

Masami Hirashita

Kanazawa College of Economics

ABSTRACT

This study was to see the significance for physical fitness and sports medicine of cutaneous arteriovenous anastomoses (AVA) in human extremities from a viewpoint of thermal physiology. To investigate the effects of stopping blood flow to the hand by wrist occlusion on forearm skin temperature and sweat rate during exercise, the experiment has been performed. The results from this experiment showed that the hand vasodilation (mainly AVA) induced not only increased hand blood flow, but also increases in forearm skin temperature and forearm sweat rate through the rising venous blood flow returning from the hand. The similar

responses were observed in the lower extremities. An additional experiment was carried out to observe the effects of both wrist occlusion on esophageal temperature (Tes) and mean blood pressure (MBP) during thermal load. Suppressed hand blood flow in wrist occlusion (OCCL), induced compensatory increases of skin blood flow and sweat rate in the chest when compared with control (CONT) without wrist occlusion. Tes was higher in OCCL and MAP was lower in OCCL than those in CONT. These results suggest that increased hand blood flow (mainly AVA) contributes to the efficacious heat loss without any fall of MAP during thermal load.

Effects of local cold and heat stimulations on finger blood flow were tested. When finger was exposed to the cold water at 5°C, finger blood flow measured by laser-Doppler flowmeter showed increase in AVA (CIVD : Cold-induced vasodilation). When finger was exposed to the warm water at above 39°C, finger blood flow showed decrease in AVA (HIVC : Heat-induced vasoconstriction).

These results suggested that AVA vessels played an important role of defense responses against various thermal stresses, and showed the significance for physical fitness and sports medicine of cutaneous AVA vessel in human extremities.

要 旨

本研究は、人の皮膚血管のうち、四肢末梢部や顔面等にも存在する動静脈吻合血管（AVA : Arteriovenous anastomoses）に着目し、温熱生理学的観点からその体力医学的意義について検討することを目的とした。下肢運動中に一側の手首を機械的に圧迫して、前腕の皮膚温、発汗量への影響を観察する実験を行った。この結果、上肢末端のAVA血管拡張は手指への血流量を増加させるばかりでなく、手から還流する腕部の表在性皮静脈血流量を増加させ、さらに前腕発汗量をも促進するという結果が得られた。手に存在するAVA血管の拡張は、上肢全体からの熱放散増加に貢献することが判明した。下肢でも同様な反応が観察された。さらに、両手首の加圧による

AVA血流遮断実験では、運動中、代償性に皮膚血流量と発汗量の促進が生ずるにもかかわらず、食道温はAVA血流遮断時の方が非遮断時（対照）より高かった。さらに、この代償性の皮膚血管拡張により総末梢抵抗が減少したため、平均血圧の低下が観察された。これらの結果から、四肢末端のAVA血流の増加は上肢および下肢全体から、血圧を低下させることなく、温熱生理学的に少ない負荷で効率よく熱を放散できる機序であることが判明した。

AVA血管の存在する皮膚への局所的な寒冷、または暑熱負荷では、AVA血管は毛細血管と異なる反応を示した。極端な寒冷刺激に対して、手指では寒冷血管拡張反応（CIVD : Cold-induced vasodilation）が起こり、レーザードップラー血流計による計測でもAVA血管の拡張であるこ

とが示され、摂食量に比例して亢進し、摂食時刻によっても影響されることが観察された。また、体温より高い温度の暑熱刺激に対して、手指のAVA血管では暑熱血管収縮反応(HIVC: Heat-induced vasoconstriction)が生じ、外部から体内への熱流入を阻止する生理的な反応であることが示唆された。

以上の結果から、AVA血管は種々の寒暑刺激から生体を防衛するという、体力医学的に重要な血管であると結論される。

緒 言

運動時には筋収縮にともなって熱産生が著しく増加する。この莫大な熱をからだの核心部から環境へ放散するために、体温調節反応として皮膚血管の拡張反応がある。人の皮膚血管は熱放散あるいは微小循環単位の面からみて大きく2つに分けられる。第一は毛細血管であり、これは全身すべての皮膚に存在する。第二は四肢末梢部の無毛部皮膚や唇、鼻、耳介など顔面の一部の皮膚にのみ存在する動静脈吻合(AVA: Arteriovenous anastomoses)である。

人の皮膚でAVAの有無は部位により異なる。また、その調節機序も異なることが知られている。AVAは、たとえば上肢では手指などの無毛部皮膚には多数存在するが、前腕などの有毛部皮膚には存在しない。AVAは交感神経血管収縮神経(α -アドレナリン作動性)により調節されており、体温上昇による手指の血流量増加は、この神経の緊張が低下することにより生じる。血流量の増加はAVAのない前腕のような皮膚では、AVAのある皮膚とは調節機序が異なり、発汗開始に一致して起こることが知られている(図1)。汗腺のない(あるいは作動しない)皮膚ではこの血流量増加が観察されないことから、AVAのない皮膚における血流量増加は、汗腺機能と強く結び付いた形で調節されているようである。

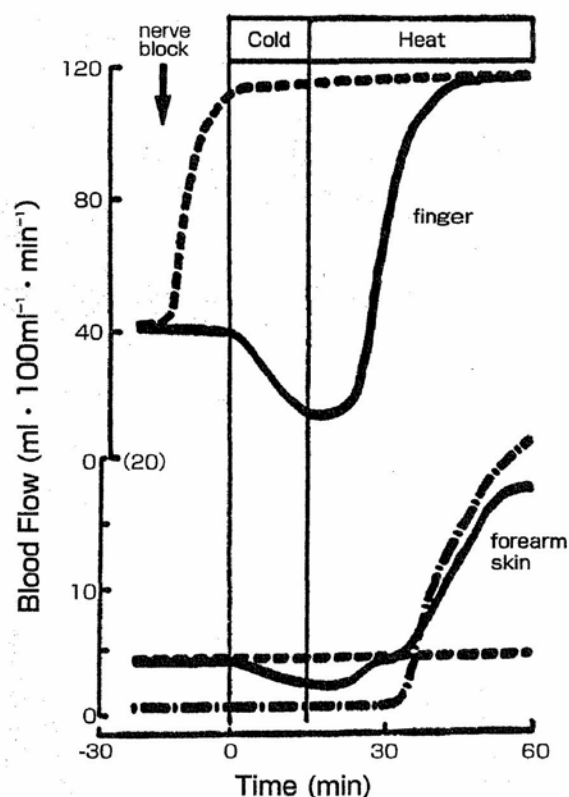


図1 寒冷、暑熱暴露(全身)後の皮膚血流変化の模式図。

----- 神経ブロック側血流量 ———— 対照側血流量
- · - · - 相対的発汗量

本稿では、人の皮膚血管のうちAVAに着目し、われわれが行った実験結果を中心に、寒冷や温熱の環境刺激の影響を受けながら生活する人の健康を見据えて、その体力医学的意義について検討した。

1. AVAと皮静脈還流による熱放散促進

四肢末端部にあるAVAを通過した血液は、大半が前腕や下腿の皮静脈を流れて、近接部の皮膚温を上昇させる。したがって、四肢部からの熱放散にはAVAから帰還する静脈血の動態が、著しい影響を及ぼすに違いない(図2)。われわれは、この点を解明するため、四肢部のサーモグラフィによる観察や発汗量の測定実験を行った。室温20℃、湿度30%の環境で下肢運動をさせ体温を上昇させた。手指、手掌の血流が増加し、その部の皮膚温が上昇した。やや遅れて前腕皮膚温が上昇し

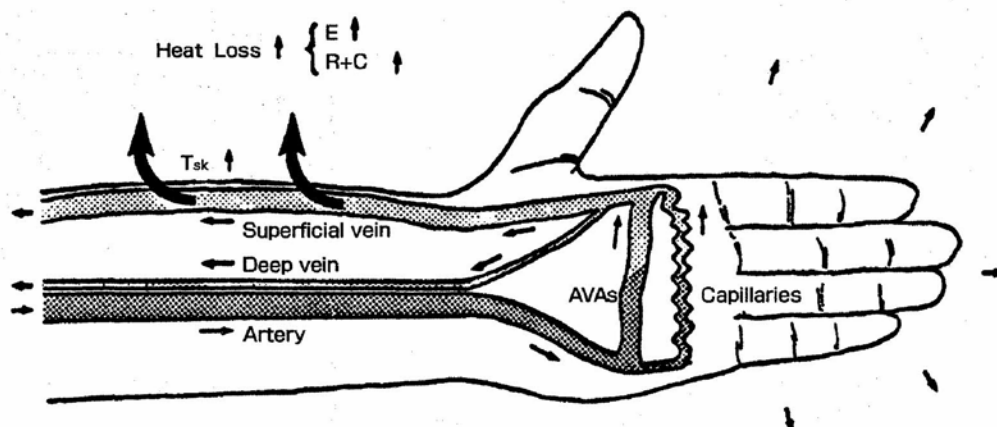


図2 手のAVA血流量が増加すると、前腕皮膚静脈還流により前腕からの蒸散性(E)および非蒸散性熱放散量(R+C)が亢進する機序の模式図

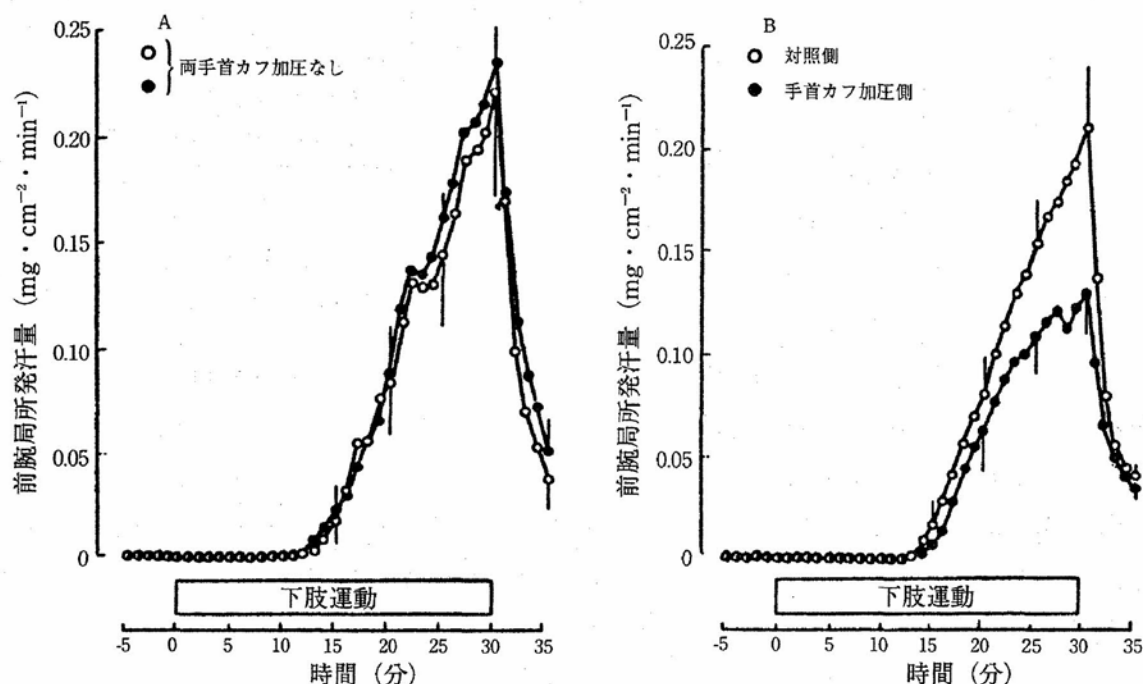


図3 自転車エルゴメータ運動による熱負荷中の前腕発汗量の変化
A: 両手首ともにカフ加圧なし B: 運動開始後から一侧の手首にカフ加圧(250mmHg)あり。

た。このとき片方の手首を機械的に圧迫して血流を遮断しておくと、前腕の皮膚温は上昇せず血流遮断のない対照側とのあいだに著明な差異が生じた。前腕の皮膚温変化から算出した非蒸散性熱放散量は、対照側は遮断側に比べ96%も多かった。

また、前腕皮膚に取り付けた発汗カプセルにより発汗量を測定した。血流遮断側では前腕の皮膚温はまったく上昇を示さなかったのに対し、対照側の前腕では皮膚温の上昇に伴って発汗量の増加

が生じた(図3)。この汗の蒸発を蒸散性熱放散量として計算すると、対照側では遮断側に比べ64%の増加であった。非蒸散性と蒸散性の両者をあわせた、前腕からの全熱放散量は手のAVAを通過した皮静脈血流に起因して75%も亢進したことになり、AVAから帰還する静脈血が上肢全体からの熱放散に及ぼす重要性が明瞭に示された。下肢について一侧の足首の血流遮断を行った実験でも同様な結果が得られ、AVA血流量と帰還する

静脈血の下肢全体からの熱放散に対する貢献度が確認された。

2. AVA と核心温変化

四肢におけるAVA血流量の増加が、熱放散の亢進に重要な役割を果たすならば、核心温にも影響するはずである。これを実証するために、7名の健康な男性を被験者とし、室温20℃、湿度30%の人工気象室で、30分間の安静ののち心拍数120～130拍/分の強度の自転車エルゴメータ運動を25分間行わせた。その後20分の回復期をとった。カフ加圧実験では、運動開始15分目より実験終了までの30分間、両手首に250 mmHgでカフ加圧を行った。対照実験では、一切の加圧なしの条件で行った。この間、全身7点の皮膚温、平均皮膚温、食道温、心拍数、平均血圧、胸部の局所発汗量（換気カプセル法）とレーザードップラー血流計（ALF2100, Advance, Tokyo）による皮膚血流量を測定した。その結果、対照実験では指皮膚温は20.5℃から34.0℃まで上昇し、これに伴って前腕の皮膚温は25.4℃から27.7℃に上昇した。

一方、カフ加圧実験では指と前腕の皮膚温はまったく変化しなかったが、前額、胸、大腿と足の皮膚温は対照実験より有意に高く上昇した（図4）。これは皮膚血管の拡張によるものであると解される。事実、胸部で測定した皮膚血流量はカフ加圧実験で有意に高い値を示した（図5）。これはカフ加圧による上肢からの熱放散の抑制を補償する代償性の反応であろうと推察される。また、この代償反応は胸部の発汗量をも亢進した（図5）。おそらく皮膚温の高かった大腿、足でも同様の代償反応がみられるものと推察された。しかし、カフ加圧によってこのような熱バランスの変化が起きても、食道温はなお対照より0.2℃高い値であった（図6）。さらに、カフ加圧を開始したあと平均血圧が有意に低下した（図7）。

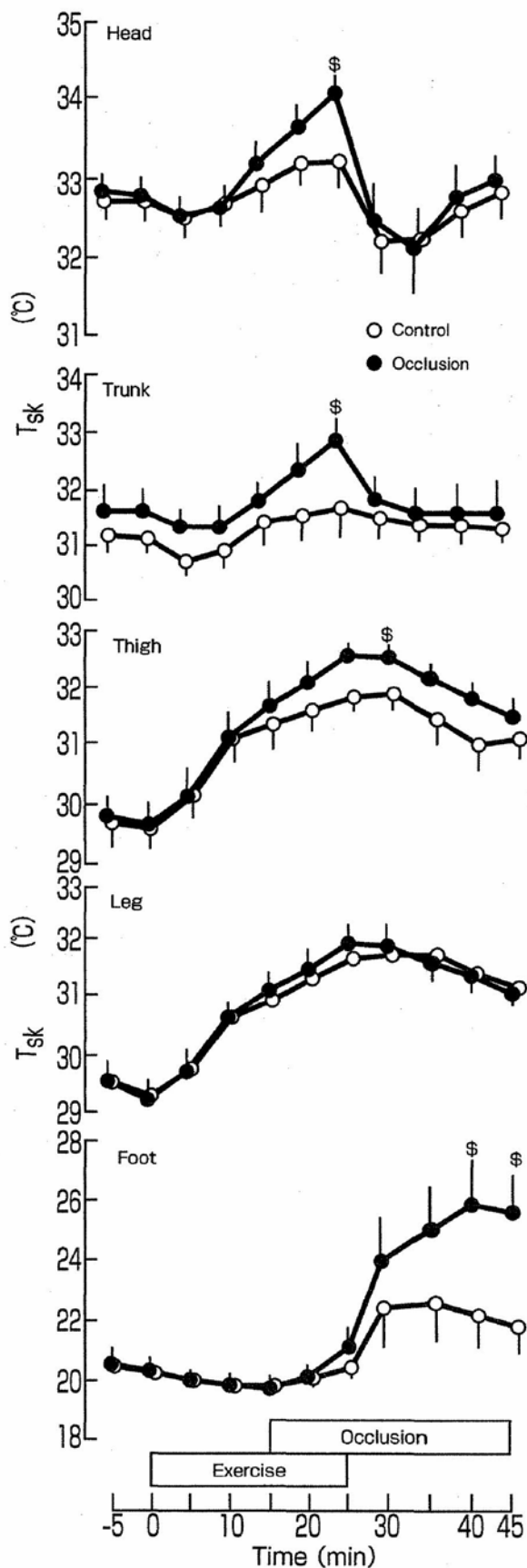


図4 自転車エルゴメータ運動による熱負荷中の全身皮膚温の変化に及ぼす両手首阻血の影響
対照実験 (○) 両手首阻血実験 (●) \$; $p < 0.05$

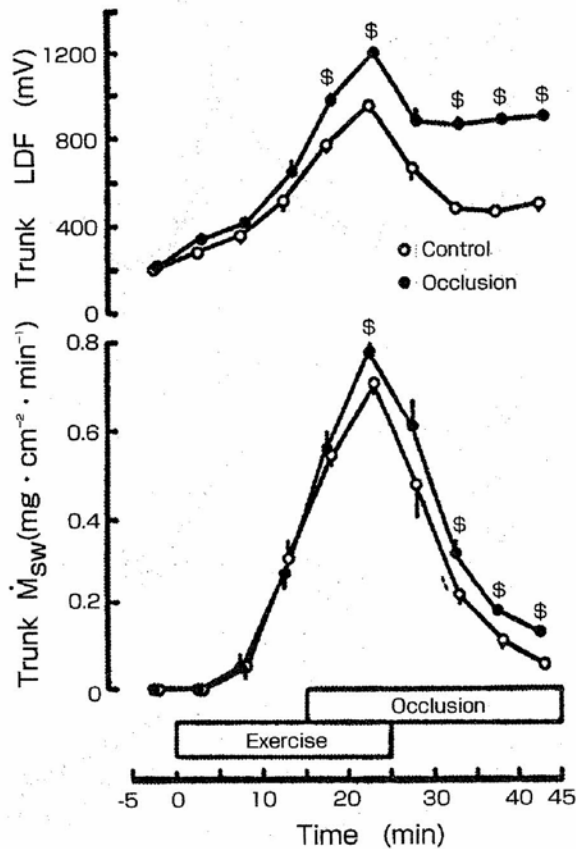


図5 自転車エルゴメータ運動による熱負荷中の両手首阻血が、胸部皮膚血流量 (LDF) と胸部発汗量 ($\dot{M}_{sw}$) に及ぼす効果

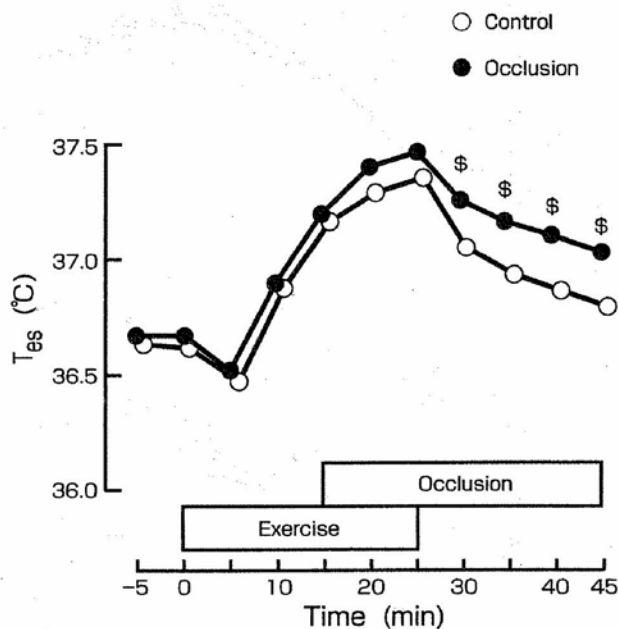


図6 自転車エルゴメータ運動による熱負荷中の両手首阻血が、食道温 (T_{es}) に及ぼす効果

以上の結果をまとめると以下ようになる。実験的にAVA血流を遮断すると、前述の機序によ

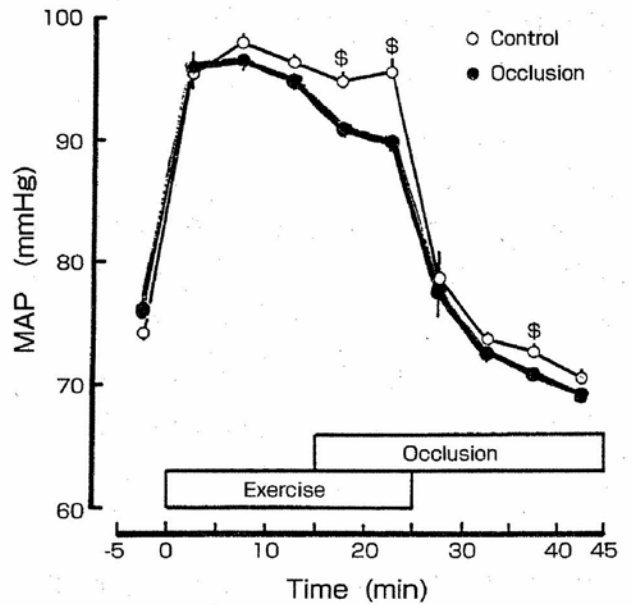


図7 自転車エルゴメータ運動による熱負荷中の両手首阻血が、平均血圧 (MAP) に及ぼす効果

り上肢からの熱放散は著しく減少する。生体はこの熱放散量の減少を補償するために、一般皮膚における血管拡張を引き起こす。両上肢から抑制された熱放散量を代償するためには、かなりの皮膚部位で発汗量を増加させる必要があり、この変化には血管拡張が伴うが、しかし、熱バランスの面からは十分な補償ができなかったため、食道温はまだ0.2°C高温となった。さらに、代償的に拡張した血管床が大きすぎ、血圧維持の観点からは末梢抵抗が低下し、平均血圧の低下を来したものと推察された。換言すると、AVA血流量が対照実験のように維持されれば、四肢末梢部からの熱放散が高く維持され、胸部をはじめとする皮膚からの発汗量、皮膚血流量も抑制できたとえ、体温を低く保つことができたのであろう。すなわち、AVA血流量は体温調節と血圧調節の両方を満足する、生体の恒常性維持に貢献することが確認された。

3. AVA と局所寒冷刺激

甲田⁷⁾は、AVAの機能が人の健康にとって重要であることの例を紹介している。たとえば、

「冬の寒い季節に手足や耳などに霜やけができる人は、AVAに障害があるということはすでによく知られて来ている。東大医学部内科の吉利和教授が、氷水の中へ手を入れた時の皮膚の温度と酸素圧の実験から（日本医師会雑誌 昭和41年2月1日号参照）グローミューの健全な人の手足に、冷え症はない、したがって、霜やけなどにかからないということを明らかにしておられる。」「つまり、冷やした時には毛細血管が収縮して、グローミューが替わって拡張し、血液はここを流れ、逆に温めた時は毛細血管が拡張し、血液はここを流れグローミューは閉じるということを繰り返すために、血液循環の調節が円滑に行われるようになり、その結果、霜やけや冷え症の治療と予防に役立つのである。」と記して、いわゆる寒冷血管拡張反応（CIVD: Cold-induced vasodilation）を例にあげ、心筋梗塞や脳血管障害をも含めて、AVAがもっているバイパス機能の重要性を強調している。

CIVDは局所の冷却で起こる最も有名な皮膚血管の拡張反応であり、Lewis⁸⁾によって報告された。これはAVAの存在する皮膚では常に起こるが、AVAが存在しない皮膚では起こりにくい¹⁾。このことから考えて、CIVDを引き起こす血管はAVAであると考えてよいと思われる。われわれのレーザードップラー血流計を用いた指血流量の測定結果でも、CIVD発現時には最大血流量が示されており、毛細血管のみの血流増加とは考えられずAVA血管の拡張が示唆された³⁾。

CIVDの大きさと霜やけ罹患率の関係を、4歳から82歳の男女被験者を用いて年齢差と性差の観点から検討した報告がある¹⁴⁾。アンケートによる霜やけ罹患率は、4～5歳では男女とも約30%あったが、6～7歳になると一気に倍増し60%を越える。男子では16～17歳の30%弱まで10年間は漸次減少するが、女子ではほぼ60%前後を維持する。これらの傾向は、寒冷血管拡張

反応でも同様であったことから、AVA機能の重要性が示唆される結果である。

CIVDは体温調節的観点からみると不思議な現象である。寒冷下で皮膚血管を拡張させることは、大量の熱損失を伴うのであるが、全身の熱バランスを犠牲にしても局所の凍傷を防ぐ生体防御反応と考えられる。寒冷馴化ならびに身体運動トレーニングによりCIVDが強化され、末梢の耐寒性が改善することが報告されている^{9, 19, 21, 22)}。さらに、食物摂取によってCIVDの反応は亢進することが²⁰⁾報告され、CIVDの亢進の程度は摂取カロリーにほぼ比例し、午前のほうが午後より反応が顕著であった⁴⁾。

一方、CIVDが発現するほど厳しくない程度の寒さにおいても、AVAの機能は血圧上昇に関与する重要な健康因子である。生活中的住宅熱環境が、高齢者の血圧と手部皮膚温の関係に及ぼす影響を調査した興味深い研究がある。佐藤と吉田¹⁶⁾によれば、冬季に今の暖房で満足している室内でさえも、手部の皮膚温が1度低下するにしたがって、収縮期血圧が4.4～8.6mmHg上昇するという負の有意な相関があることを報告している（図8）。十分な着衣量で、こたつやストーブによって暖房も十分だと申告する場合でも、廊下、トイレ、台所へ行くとき手部からの寒冷刺激により、皮膚血管が収縮し血圧が上昇したものと推察された。この場合、手部は温度入力の有効な部位でもあり、血管収縮を起こしている皮膚部位（AVA）でもある。

手における皮膚温度受容器の分布密度には著しい個人差がある。北村と平田⁶⁾によれば、冷点密度の高い人は局所冷却を行ったとき、皮膚AVA血流変化の感受性と温冷感申告の感受性が高いことを報告している。すなわち、手を冷却したとき冷点密度の高い人ほど、皮膚AVA血流の減少量が著しく、しかも「より冷たい」と申告することを表わしている。これらの結果から、皮膚の冷点

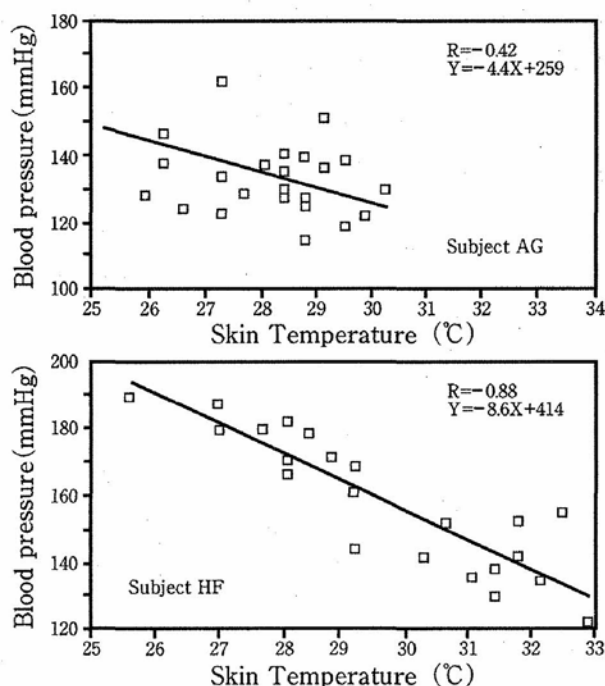


図8 起床後4時間の手皮膚温と収縮期血圧の関係
(佐藤, 吉田; 1996)

密度が高く、寒さに敏感な人ほど、寒冷によるAVA血流変化と血圧の関係に大きな影響を与える可能性が示唆された。

4. AVAと局所温熱刺激

人の皮膚を体温より高い温度にさらすと、AVAの存在する部位に限って皮膚血流量が減少する。たとえば、温熱環境(35℃-40%)下で被験者を椅座させ、高体温で体熱平衡を得た後、手指、足蹠等AVAの存在する皮膚を、温水に浸漬することによって35℃から体温を越す高い温度まで2℃ずつ段階的に39~41℃まで上昇させる(温度上昇率0.45℃/分、各温度で10分間保持)と、すでに高かった皮膚血流量が反対に減少する(図9)。この血流量減少時の血圧は不変であり、この変化は血管の収縮であると考えられるので、われわれはこの現象を温熱皮膚血管収縮反応(HIVC: Heat-induced vasoconstriction)と呼ぶ。環境温度が低い時(20℃-40%)にはHIVCは認められない。しかし、AVAの存在しない前腕のような皮膚では、高体温時でも局所温の上昇に比例して皮

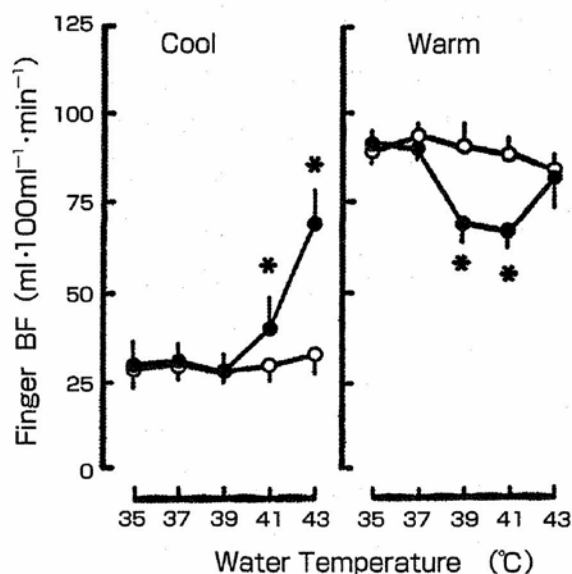


図9 局所温度を上昇させたときに起こる指血流量(●)の変化。対照側(o)
値は平均±SE (n=6) COOL: 25℃-40%環境
WARM: 35℃-40%環境 *は対照側と比較して有意の変化(p<0.05)

膚血流量は増加し続ける。

著者らは、毛細血管とAVAの血流変化を別々に測定するために、表層毛細血管の血流を計測するレーザードップラー血流計と、深部のAVAと毛細血管血流量を総合して計測する静脈閉塞プレチスモグラフ(VOP)法の二通りの測定法を併用して、同様の実験を行った。高体温の被験者の指を水槽に浸漬させて局所加温した結果、図10のように指の毛細血管血流量は、前腕皮膚と同様に局所温上昇に比例して増加し、39~41℃でも減少することはなかった。しかし、VOP法で測定したAVA血流を含む指の全血流量は、局所温39~41℃では有意な減少を示した。すなわち、皮膚温が体温を越える温度に加温されるとAVA血管が収縮し、血流量の減少を引き起こすことが判明した。浸漬時の加温に伴う温度感覚がダイナミック反応を示すときに血流量の減少が著しい。加温中に暗算などを負荷し、温度感覚のダイナミックな反応が起こらないようにすると、HIVCは認められなかった。また、温度上昇の速さにも関連しており、この反応には中枢の関与していることが

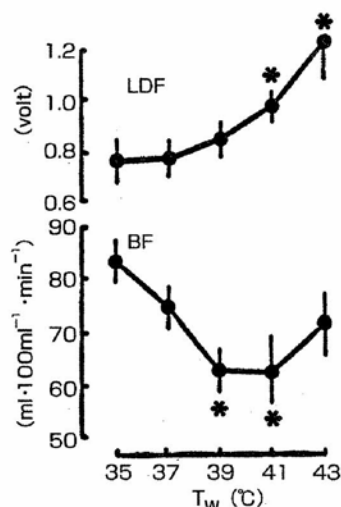


図10 局所温度を上昇させたときに起こる指血流量の変化の分画測定
LDF: レーザードップラー血流計で測定した皮膚血流量(毛細血管) BF: 静脈閉塞プレチスモグラフィ法で測定した指血流量(全血流量) 値は平均±SE (n=6) *は対照値(35°C)と比較して有意の変化(p<0.05)

示唆された。実際、正中神経から記録した皮膚交感神経活動の変化も、局所温39~41°Cで手指の血流量が減少するとき、皮膚交感神経活動は明らかに増加した¹⁰⁾。

菅原たち¹⁸⁾は、このHIVC反応が日本人ばかりでなく、ドイツ人でも同様に発現することを確認している。さらに、最近われわれは手指を加温した状態で、手から離れた皮膚部位の足部と前腕部を局所加温したときにも、同様の指のAVA血流量減少が認められた(未発表データ, 1997)。以上を総括すると、人のHIVCは中枢で統合され、指のAVA血管を支配する皮膚交感神経により調節された、体温調節性の反応であることが判明した。中枢の統合に影響するような刺激が入力されると、HIVC反応は抑制される場合もある。

動物でも局所温の上昇による皮膚血流量の減少が観察されている。砂漠動物(たとえば jack rabbit)の耳介血管は、同じ高気温下でも直射日光にさらされて、耳介皮膚温が上昇するとき収縮

し、日陰では逆に拡張する¹⁹⁾。その他、ラットの尾¹³⁾やヒッジの後肢²⁾、カンガルーの尾や後肢¹⁰⁾でも局所加温によりAVA血管が収縮するのである。しかし、ラットでは外科的、あるいは薬物的に中枢からの交感神経活動を遮断しても、局所加温によるAVA血管収縮は残存するので、中枢作用はなく局所の温度作用のみで生じる反応であると考えられており¹⁰⁾、人と動物の種の違いによるメカニズムの差異が認められた。

もしも、局所温の上昇に比例して皮膚血流量が増加するのみでは、体温より高温の物体から熱が生体内に流入して、高体温を促進することになる。機序は異なっても、このHIVC反応は体温より高い温度の外界から、熱を生体内に入れないための防御反応として、AVA血管を収縮させているものと考えられる。生体の恒常性を維持するためには、重要な反応の一つである。

5. AVA血流量に影響する因子

一般の皮膚では、温熱以外の刺激でも血流量に影響する因子はいろいろとある。代表的なものに体液量の変化がある。体液量は立位姿勢や脱水、下半身陰圧暴露(LBNP)などによって減少し、中心静脈圧が低下するため、容積受容器が刺激され心肺圧受容器反射(低圧系)が作動する。このため、同一の温熱刺激のときの皮膚血流量の増加は抑制され、少なくなる。この変化は水中浸漬や下肢加圧のように、重力作用に逆らう刺激によってある程度防ぐことが可能である。

AVA血流量はこの心肺圧受容器反射の影響を受けるのであろうか。この疑問を解決するために、仰臥位の被験者4名につき室温35°C、湿度50%条件でLBNPを負荷した。一側の手は35°Cに調節された水槽内に浸漬させ、指皮膚温を一定に維持させた。この状態で-15, -30, -45cmH₂Oの3段階のLBNP負荷を、おのおの3分間、計9分間実施したあと解除した。この間の皮膚血流量

を2種類の方法で測定した。レーザードップラー血流計 (LDF) プロブを指, 前腕, 前額, 胸の4カ所に貼付し, 毛細血管血流量を測定した。

また, 静脈閉塞プレチスモグラフ (VOP) 法にて指のAVAと毛細血管血流量を含む指血流量を測定した。さらに, 平均血圧と心拍数をも記録した。LBNPをいずれの強度で負荷した場合でも, 平均血圧は変化なく, 心拍数は-30と-45 cmH₂O 負荷時で, それぞれ4または5 bpm有意に増加し, 正常に心肺圧受容器反射が作動した。VOP法で求めた指血流量は約120ml/(min×100 ml)と最大値を示し, LBNPによる変動は認められなかった。LDF法で求めた皮膚血流量は4カ所で異なった。指と前腕の血流量減少は, -15 cmH₂Oではそれぞれ7%と10%であった。-30 cmH₂Oでは9%と17%, -45 cmH₂Oでは16%と23%と, LBNPの強度に比例した減少を示した。前額では-15 cmH₂O以上では20%以上減少し, すでに最大変化量に達しているものと推察された。また, 胸部は-45 cmH₂OまでのLBNPでは有意な血流量の減少は観察されなかった。

以上の結果から, 指のAVA血流量はLBNP負荷による心肺圧受容器反射の影響を受けないことが判明した。一方, 指, 前腕, 前額部の皮膚ではLBNP負荷によって有意な血管収縮を起こし毛細血管血流量の減少を生じたが, その程度は部位によって異なった。また胸部では応答せず, LBNP応答性には皮膚部位による差異のあることが示された。すなわち, AVA血流量は一般の皮膚と異なり, 心肺圧受容器反射の影響を受けず, 血圧調節の標的器官とはならないことを表わしており, 主に体温調節のために変動しているものと考えられ, 前述の両手首の遮断実験の結果とも一致する。一方, 一般の皮膚でLBNP応答性が部位によって異なるのは, それぞれの皮膚血管を支配する交感神経の感度の差異を表わしているものと考えられる。

6. まとめ

われわれの実験結果を中心にして, 皮膚のAVA血流の体力医学的意義について述べた。極端な寒さや体温より高い温度などから防御するために, 特別な働きをする皮膚AVAの重要性や, その調節因子等にも若干触れることができた。人の体温や血圧の恒常性維持に重要な働きをするAVAの動態について, 今後とも調節系全体の中で観察する必要がある。

文 献

- 1) Fox, R.H., Wyatt, H.T.; Cold-induced vasodilatation in various areas of the body surface of man, *J. Physiol. (London)*, **142**, 219-232 (1962)
- 2) Hales, J.R.S., Jessen, C., Fawcett, A.A., King, R.B.; Skin AVA and capillary dilatation and constriction induced by local skin heating, *Pflügers Arch.*, **404**, 203-207 (1985)
- 3) 平田耕造; 皮膚の毛細血管・AVA血流量増加と食物摂取時の体温, 平成5年度文部省科学研究費一般研究C研究成果報告書 (1994)
- 4) 平田耕造, 東淵とも子; 寒冷血管拡張反応におよぼす摂食量および摂食時刻の影響, *日生氣誌*, **30**, 121 (1993)
- 5) Hirata, K., Yutani, M., Nagasaka, T.; Increased hand blood flow limits other skin vasodilation, *J. Therm. Biol.*, **18**, 325-327 (1993)
- 6) 北村和子, 平田耕造; 手における皮膚温度入力と皮膚血流反応の関係におよぼす冷点分布密度, *日本家政学会関西支部研究発表会要旨集*, **21** (1996)
- 7) 甲田光雄; 白砂糖の害は恐ろしい…これを防ぐために…, *人間医学社*, p.57-64 (1979)
- 8) Lewis, T.; Observations upon the reactions of the vessels of the human skin to cold, *Heart*, **15**, 177-208 (1930)
- 9) 森谷 繁; 寒冷血管反応と寒冷昇圧反応からみた運動鍛練者の耐寒性, *日生氣誌*, **19**, 10-15 (1982)
- 10) 永坂鉄夫; 動静脈吻合による皮膚での熱移動の調

- 節, 日本生理誌, 52, 197-205 (1990)
- 11) Nagasaka, T., Hirata, K., Mano, T., Iwase, S., Rossetti, Y. ; Heat-induced finger vasoconstriction controlled by skin sympathetic nerve activity, *J. Appl. Physiol.*, 68, 71-75 (1990)
- 12) Needham, A.D., Dawson, T.J. ; Influence of environmental temperature on the blood flow distribution in the red kangaroo *Macropus rufus*. In : Thermal Physiology (ed. by Hales, J.R.S.), Raven Press, New York, p.275-278 (1984)
- 13) Raman, E. C., Roberts, M.F., Vanhuyse, V.J. ; Body temperature control of rat tail blood flow, *Am. J. Physiol.*, 245, R426-R432 (1983)
- 14) 阪本知子, 安田好文 ; 寒冷血管反応およびしもやけ罹患率からみた局所耐寒性の年齢差および性差について, 日生気誌, 25, 89-95 (1988)
- 15) Sakurada, S., Shido, O., Nagasaka, T. ; Mechanism of vasoconstriction in the rat's tail when warmed locally, *J. Appl. Physiol.*, 71, 1758-1763 (1991)
- 16) 佐藤篤史, 吉田 燦 ; 住宅熱環境が高齢者の血圧に及ぼす影響についての調査研究, 日生気誌, 33, 95-105 (1996)
- 17) Schmidt-Nielsen, K., Dawson, T.J., Hammel, H.T., Hinds, D., Jackson, D.C. ; The Jack Rabbit- a study in its desert survival, *Hyalradets Skrifter*, 48, 125-142 (1965)
- 18) 菅原正志 ; ドイツ人とドイツ滞在日本人の手指における寒冷血管拡張反応と温熱血管収縮反応, 体力科学, 46 (2), 221-228 (1997)
- 19) 鈴木路子, 木村康一 ; 温度環境を異にする各種小児集団の温度適応能力の発達に関する比較研究 (第1報), 寒冷血管反応の年齢差, 性差, 地域差, 学校の建築様式差について, 日生気誌, 19, 88-95 (1982)
- 20) Takano, N., Kotani, M. ; Influence of food intake on cold-induced vasodilatation of finger, *Jpn. J. Physiol.*, 39, 755-765 (1989)
- 21) 田中信雄, 千賀康利, 山田 薫, 堀 清記 ; 寒気暴露による寒冷血管反応に及ぼす運動鍛練者の影響に関する研究, 日生気誌, 24, 9-16 (1987)
- 22) Yoshimura, H., Iida, T. ; Studies on the reactivity of skin vessels to extreme cold, Part II. Factors governing the individual difference of the reactivity, or the resistance against frost-bite, *Jpn. J. Physiol.*, 2, 177-185 (1952)