

# 最大皮膚血管コンダクタンスの発育・老化特性

大阪国際女子大学 井上芳光

## Maximal Cutaneous Vascular Conductance in Prepubertal Boys, Young and Older Men and its Regional Differences

by

Yoshimitsu Inoue

*Laboratory for Human Performance Research,  
Osaka International University for Women*

### ABSTRACT

To approach the mechanisms in the maturation- and age-related changes of skin blood flow to heat stress and its regional differences, 8 prepubertal boys (8-12 yr), 9 young (20-25 yr) and 9 older (65-77 yr) men were uniformly clamped at 42 °C on 5 skin sites (20 cm<sup>2</sup> of forehead, chest, back, forearm and thigh) for 40 min, respectively. Skin blood flow by laser Doppler flowmetry (LDF), blood pressure and skin and oral ( $T_{or}$ ) temperatures were measured during the heating.  $T_{or}$  did not change for the 40-min local heating regardless of group, although the boys had significantly higher  $T_{or}$  compared to the other groups. LDF responses reached plateau after increasing for 20-25 min from the beginning of heating, regardless of group and site. Therefore the mean LDF for 35-40 min on each site was defined as maximal LDF. The maximal LDF was then divided by the mean arterial pressure to yield maximal cutaneous vascular conductance ( $CVC_{max}$ ).  $CVC_{max}$  was significantly greater in the boys on the forehead ( $P<0.10$ ), back ( $P<0.05$ ) and thigh ( $P<0.05$ ) and lower in the older men on the forearm ( $P<0.05$ ) and thigh ( $P<0.10$ ), compared to the young men. However no age-related differences were observed for  $CVC_{max}$  on the chest. These results

suggest that modification of cutaneous vasculature as indicated with the maturation- and age-related differences in  $CVC_{max}$  may be a factor responsible for greater LDF of the boys and lower LDF of the older men (relative to the young men) observed in our previous studies. Furthermore, regional differences may exist in the modification of vasculature in relation to maturation and aging. The estimated maximal oxygen uptake tended to correlate with  $CVC_{max}$  on the forehead in the boys ( $r=0.69, P=0.06$ ) and on the chest in the older men ( $r=0.58, P=0.10$ ), suggesting that exercise habits may promote or slow the maturation- or age-related alternations in cutaneous vasculature.

## 要 旨

本研究は、皮膚血管それ自体の変性が先行研究で報告した発育・老化に伴う皮膚血管拡張反応の身体部位特性に関与するの否か明らかにするために、計画された。すなわち、8名の思春期前男児(8-12歳)、9名の若年成人男性(20-25歳)、9名の高齢者男性(65-77歳)に対し、局所加温器で身体5部位(前額・胸・背・前腕・大腿)の皮膚面(各20cm<sup>2</sup>)を41-42℃に40分間保持させ、その間の皮膚温、舌下温、血圧、皮膚血流量(LDF)を測定した。舌下温は、子どもが他の群より有意に高かったものの、40分間の加温時においていずれの群でも経時的に変化しなかった。LDFは、部位・群に関わらず、加温開始後20-25分間漸増し、その後ほぼ定常状態を保った。そのため、35-40分目のLDFを最大値と定義し、この値を平均血圧で除して最大皮膚血管コンダクタンス( $CVC_{max}$ )を求めた。その結果、 $CVC_{max}$ は、若年成人に比し、子どもでは前額・背・大腿が有意に大きく、高齢者では前腕・大腿が有意に低かった。しかし、胸では有意な年齢群差は認められなかった。これらの結果は、発育・老化に伴う皮膚血管それ自体の変化には、部位差が存在する可能性を示唆するとともに、皮膚血管それ自体の変化が、先行研究で報告した高齢者の低い皮膚血流量(大腿・躯幹部)や思春期前児童における高い躯幹部皮膚血流量に部分的に関与することを示唆

する。また、推定最大酸素摂取量と $CVC_{max}$ の関連性において、児童が前額で、高齢者が胸でそれぞれ有意な正の相関傾向を示したことから、運動習慣の確立が皮膚血管それ自体の発育促進および老化遅延に有効な手段になり得る可能性が示唆された。

## 緒 言

これまで我々は、暑熱刺激に対する熱放散反応には発育・老化に伴う身体部位特性がみられる可能性を明らかにしつつある。すなわち、熱放散反応からみた老化特性は、皮膚血流量→汗腺出力→活動汗腺数と順次低下し、この一連の加齢的低下は下肢→躯幹後面→躯幹前面→頭部と進行することを横断的・縦断的検討から想定している<sup>4-7)</sup>。さらに、思春期前児童は若年成人に比し、発汗より皮膚血管拡張(とくに躯幹部)に依存した熱放散特性を示すことを運動や暑熱暴露実験で明らかにしている<sup>13,14)</sup>。

皮膚血管反応の発育・老化特性を導く機序は、皮膚血管収縮神経のtoneの低下、発汗神経由来の血管拡張物質に対する皮膚血管の感受性の変化、に起因する可能性を明らかにしている<sup>9,14)</sup>。さらに、発汗反応の発育・老化は、皮膚血管反応に密接に関連するとともに、中枢性より末梢性の未発達や老化に起因することも見出している<sup>8,12)</sup>。

近年、暑熱暴露および運動実験において、高齢者の前腕血流量は若年成人より低下することが報

告され<sup>3, 10)</sup>, 皮膚面を一定時間42℃に保たせた際の最大皮膚血管コンダクタンス (CVC<sub>max</sub>, 最大皮膚血流量を平均血圧で除して求める) に基づき, 皮膚血管の組織解剖学的変化が皮膚血流量の低下機序の一つとして挙げられている<sup>2, 11, 16, 18)</sup>. Martin et al.<sup>11)</sup> は, 局所加温時の前腕CVC<sub>max</sub>が5歳から18歳まで指数関数的に低下し, その後緩やかに直線的に低下することも報告している. しかし, CVC<sub>max</sub>の発育・老化に伴う変化を身体部位差の観点から検討した例は見当たらない.

そこで本研究では, すでに我々が皮膚血管反応の発育・老化機序として示した皮膚血管収縮神経のtoneの低下, 発汗神経由来の血管拡張物質に対する皮膚血管の感受性の変化, とともに皮膚血管の組織解剖学的変化も発育・老化に伴う身体部位特性に関与しているか否か検討した. すなわち, 児童および高齢者における局所加温時のCVC<sub>max</sub>を身体多部位で若年成人と比較検討した. さらに, 高齢者と思春期前児童において, 最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_{2max}$ ) とCVC<sub>max</sub>との関連性も併せて検討した.

## 1. 方法

### 1.1 被験者

表1に示す身体的特性を有する健康な8名の思春期前男児 (B群: 8-12歳), 9名の男性若年成人 (Y群: 20-25歳), 9名の男性高齢者 (O群: 65-77歳) が, 本実験に参加した. B群とY群は, いずれも比較的活発な小学生と大学生であり, O群はかなり活発な退職者であった. いずれの被験者もこれまで大病を患った経験はなく, 現在いかなる投薬も行っていない者であった. 被験者の選

択にあたっては, 熱放散反応に影響することが知られている皮下脂肪厚を各年齢群間で, 体表面積/質量をYとO群間で, いずれもほぼ同等になるように配慮した<sup>3)</sup>. なお, 児童の場合には本人と保護者に, 他の者の場合には本人に, 事前に実験内容を説明し, 実験参加への了承を得た. さらに, 実験当日においても各被験者に身体状況を尋ねるとともに実験内容を口頭で説明し, 実験への参加を再度確認した.

### 1.2 環境条件および実験手順

ショートパンツのみ着用した被験者を, 環境温度28.0±0.5℃, 相対湿度40.0±5.0%に設定した人工気象室に入室させ, ベッド上での仰臥位姿勢を少なくとも30分間保持させた. その後, 各被験者に対し, 同様の環境下で40分間の局所皮膚加温を前額部と胸部, 前腕部と大腿部, 背部の順で10分間の休息を挟み計3回実施した. 1回目 (前額・胸) と2回目 (前腕・大腿) の局所加温実験では, 各被験者にベッド上の仰臥位姿勢, 3回目の背部加温実験では伏臥位姿勢の保持を要求した. なお, すべての局所加温実験は, 夏季の10~16時に実施した.

### 1.3 測定項目

標準的方法で測定した身長および体重 (5g感度) から体表面積を算出した. 胸, 背, 腹, 脇, 上腕後面, 前腕前面, 大腿前面の7部位の皮下脂肪厚を栄研式キャリパーで測定し, それらの平均値を求めた.  $\dot{V}O_{2max}$  は, 自転車エルゴメーターを用いた最大下負荷漸増法で推定した.

40分間局所加温実験 (3回実施) において, 加温部位の皮膚血流量 (LDF) および皮膚温を測

表1 Subjects characteristics

Group	n	Age (yr)	Height (cm)	Mass (kg)	A <sub>D</sub> /mass (cm <sup>2</sup> /kg)	MSF (mm)	$\dot{V}O_{2max}$ (ml/kg/min)
Boys	8	9.8 ± 0.5	136 ± 2	31.2 ± 1.1	342 ± 6	9 ± 1	58 ± 3
Young	9	23.0 ± 0.6 <sup>B</sup>	172 ± 1 <sup>B</sup>	65.9 ± 1.9 <sup>B</sup>	263 ± 4 <sup>B</sup>	10 ± 1	48 ± 2 <sup>B</sup>
Older	9	68.7 ± 1.7 <sup>B,Y</sup>	163 ± 2 <sup>B,Y</sup>	56.1 ± 2.4 <sup>B,Y</sup>	278 ± 4 <sup>B</sup>	11 ± 1	42 ± 2 <sup>B</sup>

Values are means ± SEM. <sup>B,Y</sup>P < 0.05 from boys or young men. A<sub>D</sub>/mass, surface area-to-mass ratio; MSF, mean values of skinfolds thickness at 7 sites (chest, abdomen, back, flank, triceps, forearm and thigh);  $\dot{V}O_{2max}$ , estimated maximal oxygen uptake.

定した。すなわち、1回目では前額と胸、2回目では前腕と大腿、3回目では背にそれぞれ3個の皮膚血流量測定用プローブを約1 cm離して貼付した。さらに、そのプローブの近位部に皮膚温測定用サーミスターセンサーも貼付し、それらの上に局所加温器を装着した。各皮膚血流量測定用プローブは、レーザードップラー血流計 (Advance社製 ALF 21) にそれぞれ接続し、1秒毎のLDFをデータロガーを介してコンピュータに集録した。このデータに基づき、血流計毎に1分値を算出し、同一部位内3箇所測定したLDF 1分値から平均値を求め、その平均値を部位毎のLDFとした。皮膚温もデータロガーを介して1分毎にコンピュータに集録した。

局所皮膚加温器は直径3 mmのビニールチューブを渦巻き状にしたもの (直径5cmの円盤型) で、その先端を恒温水槽に固定し、一定温度の水が還流するように作製したものである。局所加温時にはいずれの部位のチューブ内にも52℃の湯が還流した。なお、還流水の温度および加温時間は、予備実験の結果に基づき、52℃、40分間とした。

加温開始直前およびその後5分毎に血圧を測定し、拡張期血圧に1/3脈圧を加算して平均動脈圧 (MAP) を求めた。さらに、LDFをMAPで除し、皮膚血管コンダクタンスも算出した。また、心拍数 (HR) を連続的に、舌下温 ( $T_{or}$ ) をサーミスターセンサーで各加温実験開始直前および終了直前10分間1分毎に測定した。

### 1. 4 統計処理

被験者の身体的特性および局所加温時の皮膚温、 $T_{or}$ 、MAP、HR、 $CVC_{max}$  は、一要因 (群または部位) の分散分析およびSheffe's post hocで統計処理された。

### 2. 結果

表2は、局所加温終了時 (40分目) の皮膚温、 $T_{or}$ 、MAP、HRを年齢群別に示す。なお、3回実施した40分間局所加温実験時の $T_{or}$ 、MAP、HRには、有意な実験間差が認められなかった。そのため、3実験の平均値を表2に示した。皮膚温はいずれの場合もほぼ10分以内に41 - 42℃に達し、その後ほぼ定常状態を保持した。いずれの部位の皮膚温にも有意な年齢群差はみられなかった。 $T_{or}$ は、B群がY群とO群より有意に高かったものの、いずれの群も実験開始前と終了直前の値に有意な差がみられなかった。MAPは、有意な年齢群差がみられ、B群<Y群<O群の関係が認められた。HRは、Y群とO群がほぼ同等だったが、B群がY群とO群より有意に高かった。

図1は、局所加温時における背LDF反応の経時的变化を年齢群別に示す。背LDFは、局所加温直後から漸増し、その後定常状態に達したため、いずれの群も25分目以降のLDFに有意な経時的变化が認められなかった。他のLDF測定部位でも背と同様の経時的变化パターンがみられた。そのため、LDFの35-40分目の平均値を各部位の最

表2 Valuables of boys, young and older men at the end of 40-min local heating

Variables	Boys	Young men	Older men
Skin temperature, °C			
Forehead	41.65 ± 0.17	41.41 ± 0.30	41.37 ± 0.09
Chest	41.67 ± 0.18	41.13 ± 0.22	41.21 ± 0.17
Back	41.15 ± 0.24	41.29 ± 0.26	41.23 ± 0.24
Forearm	41.44 ± 0.27	41.12 ± 0.26	41.07 ± 0.67
Thigh	41.04 ± 0.30	40.84 ± 0.27	40.79 ± 0.31
$T_{or}$ , °C	37.30 ± 0.05	36.67 ± 0.09 <sup>B</sup>	36.64 ± 0.08 <sup>B</sup>
MAP, mmHg	73 ± 1	87 ± 1 <sup>B</sup>	96 ± 1 <sup>B,Y</sup>
HR, beats/min	70 ± 2	61 ± 2 <sup>B</sup>	59 ± 2 <sup>B</sup>

Values are means ± SEM. <sup>B,Y</sup>  $P < 0.01$  from boys or young men.  $T_{or}$ , oral temperature ; MAP, mean arterial pressure ; HR, heart rate.

大LDFとみなし、この値をMAPで除してCVC<sub>max</sub>を求めた。

図2は、身体5部位におけるCVC<sub>max</sub>を年齢群別に示す。B群のCVC<sub>max</sub>は、Y群に比し、前額 ( $P<0.10$ )、背 ( $P<0.05$ )、大腿 ( $P<0.05$ ) で有意に高かった。しかし、両群のCVC<sub>max</sub>は、胸と前腕ではほぼ同等だった。O群のCVC<sub>max</sub>は、Y群に比し、前腕 ( $P<0.05$ ) と大腿 ( $P<0.10$ ) で有意に低かった。しかし、前額、胸、背では両群間に有意な差はみられなかった。5部位の平均CVC<sub>max</sub>は、B群がY群やO群より有意に高かった。平均CVC<sub>max</sub>のY群に対する比率は、B群で126%、O群で87%だった。

CVC<sub>max</sub> vs  $\dot{V}O_{2max}$  (ml/kg/min) において、B群では前額に ( $r=0.69, P=0.06$ )、O群では胸に ( $r=0.58, P=0.10$ ) 有意な相関傾向が認められ、B群では次式が導かれた。しかし、いずれの群も、他の部位では有意な関連性がみられなかった。

$$CVC_{max} \text{ (mV/mmHg)} = -0.38 + 0.102 \dot{V}O_{2max}$$

### 3. 考 察

皮膚血管は、その周囲に存在する平滑筋の収縮・弛緩により調節されている。この平滑筋は、皮膚血管収縮神経に支配されていることが知られているが、拡張神経にも支配されているのか明確ではなく、発汗神経由来の血管拡張物質が皮膚血管を積極的に拡張すると報告もある<sup>15)</sup>。本実験において、1) 舌下温は局所加温時に上昇しなかったこと、2) 加温部位 (20cm<sup>2</sup>) の皮膚温は41-42℃に達したが、他の部位の皮膚温は経時的に変化しなかったこと (予備実験において確認)、3) 自覚・他覚的に発汗はみられなかったこと、4) 加温部位の皮膚温が定常状態に達した後もLDFは漸増したことが確認されている。そのため、本実験の局所加温時にみられたCVCの漸増は、皮膚血管収縮神経のtoneの低下や拡張系を介した平滑筋の遅延とは考えられず、皮膚上からの加温

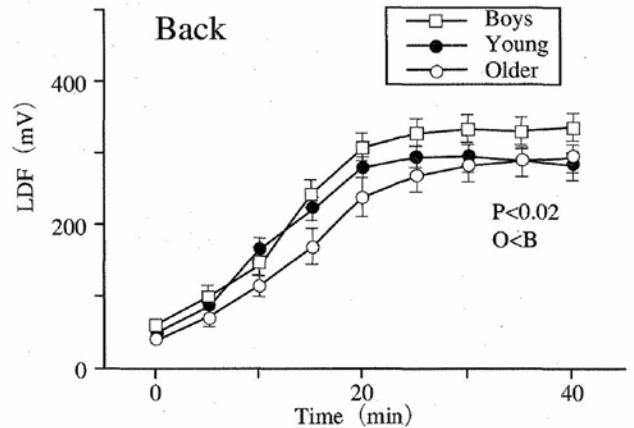


図1 Skin blood flow by laser Doppler flowmetry (LDF) on the back vs time for the prepubertal boys, young and older men during 40-min local heating. Values are means and SEM. P values shown are for overall group effect during the heating

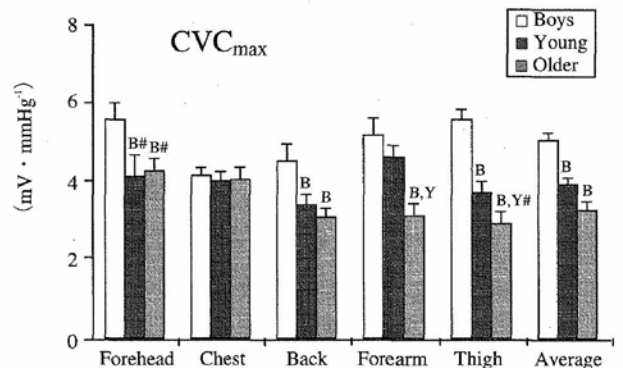


図2 Maximal cutaneous vascular conductance (CVC<sub>max</sub>) on the forehead, chest, back, forearm and thigh during local heating. Values are means and SEM. <sup>B, Y</sup>  $P<0.05$  from boys or young men. <sup>B#, Y#</sup>  $P<0.10$  from boys or young men. Average, mean value of CVC<sub>max</sub> on the five sites

がその直下の平滑筋を徐々に温め弛緩させ、結果的に皮膚血管を拡張したものと推察される。そのため、本実験で導かれたCVC<sub>max</sub>の年齢群間の比較は、生体内における皮膚血管の組織解剖学的相違を反映しているものと考えられる。

本実験においてレーザー血流計で測定した最大LDFは300-400mVであり (出力範囲: 0-2000 mV)、この値はプレチスモグラフィを用いた前腕血流量測定での15-20ml/100ml/minに相当し、従来運動時の高体温下でプレチスモグラフィで測定した前腕血流量の結果とほぼ一致した<sup>10)</sup>。そのため、本実験条件下で、各部位の最大皮膚血流量が測定

できたものと推察される。

Martin et al.<sup>10)</sup> は、5歳から85歳の74名の最大前腕皮膚血管コンダクタンス（プレチスモグラフィで測定した前腕血流量をMAPで除して求めた）をほぼ同様の局所加温法で検討し、5歳から18歳まで指数関数的に低下し、その後緩やかに直線的に低下することを報告している。同様の年齢変化パターンが、本実験で対象とした子ども、若年成人、高齢者の3群間においても、大腿、背、前腕で認められた。しかし、胸のCVC<sub>max</sub>には有意な年齢群差は認められなかったことから、発育・老化に伴う皮膚血管の組織解剖学的変化にも身体部位特性が存在することが示唆された。子どもでみられた高いCVC<sub>max</sub>は、皮膚血管の優れた弾性あるいは高い皮膚血管密度に起因したのかもしれない。

高齢者と若年成人の比較では、前腕と大腿で高齢者が有意に低いCVC<sub>max</sub>を示した。この結果は、前腕で求めた最大皮膚血流量および最大皮膚血管コンダクタンスが老化に伴い低下することを報告した結果<sup>11, 16, 18)</sup>と一致した。この低下は、たぶん老化に伴う皮膚血管の数・サイズの低下や蛇行に起因するものと考えられる。

しかし、前額、胸、背のCVC<sub>max</sub>では、高齢者と若年成人間に有意な群差がみられなかった。ほぼ同一の高齢者が参加した我々の暑熱実験（未発表）では、前額を除く背、胸、大腿でも高齢者が若年成人より有意に低いCVCを示している。また、我々は発汗量と皮膚血流量の対応関係を高齢者と若年成人の胸、背、前腕、大腿で比較し、

1) 皮膚血管収縮神経のtoneの低下、2) 発汗活動に由来する皮膚血管拡張性ペプチドに対する皮膚血管の感受性、が高齢者の大腿と背（とくに大腿）で鈍化している可能性を報告している<sup>9)</sup>。これらの結果に基づけば、局所加温実験でのCVC<sub>max</sub>と暑熱暴露実験でのCVCの結果にみられた相違は、皮膚血管を調節する皮膚血管収縮神経・拡張系の

老化に伴う鈍化が皮膚血管の組織解剖学的変化に先行する可能性を示唆しているのかもしれない。

子どもでは前額、高齢者では胸のCVC<sub>max</sub>が、 $\dot{V}O_{2max}$ と有意な正の相関傾向を示した。本研究に参加した各被験者の推定 $\dot{V}O_{2max}$ の範囲は、子どもが43~65ml/kg/min、高齢者が32~53ml/kg/minであった。 $\dot{V}O_{2max}$ の高い者は、子どもでは週末にサッカーや野球教室などに参加し、高齢者ではジョギングや早朝登山に参加し、比較的運動習慣を確立している者であった。そのため、 $\dot{V}O_{2max}$ の高い者は、それらの運動時により皮膚血管の拡張を伴うことが十分推定できる。若年成人に関してではあるが、運動トレーニングで同一深部温に対する皮膚血流量が増加することが明らかにされている<sup>17)</sup>。これらの結果に基づけば、子ども、高齢者ともに、運動習慣の確立→ $\dot{V}O_{2max}$ の亢進→皮膚血管それ自体の発育亢進または老化遅延、なる関連性があったものと推定される。

これまで、子どもにおける運動トレーニングと体温調節反応の関連性に関しては、発汗反応を指標とした場合には、運動トレーニングの影響が認め難いことが報告されている<sup>1)</sup>。我々の子どもを対象とした運動・暑熱実験でも発汗量と $\dot{V}O_{2max}$ には有意な関連性がみられなかった<sup>12, 13)</sup>。これらの結果を考えあわせると、子どもが運動習慣を確立した場合、発汗能の改善は期待しがたいものの、皮膚血管拡張能を亢進させる可能性が考えられる。この点をさらに明確にするためには、今後さらに多数の被験者を対象とした実験や運動トレーニングの縦断的検討が必要である。

#### 4. まとめ

CVC<sub>max</sub>の年齢差として推定された皮膚血管それ自体の変化が、先行研究において若年成人との比較で報告した高齢者における低い皮膚血流量（大腿・躯幹部）や思春期前児童における高い躯幹部皮膚血流量を導く、一つの要因であることが

明らかにされた。さらに、加齢との関連からみた皮膚血管それ自体の変化には、部位差が存在する可能性も示唆された。また、 $\dot{V}O_{2max}$  と  $CVC_{max}$  の関連性において、子どもでは前額、高齢者では胸でそれぞれ有意な正の相関傾向がみられたことから、運動習慣の確立が皮膚血管それ自体の発育促進および老化遅延に有効な手段になり得る可能性が示唆された。

### 謝 辞

実験に参加いただいた被験者のみなさん、データの収集・解析に協力いただいた中村俊一・米広紀一君（兵庫教育大）、有効な論議に参加いただいた荒木勉先生（兵庫教育大）に深謝いたします。

### 文 献

- 1) Araki T., Toda Y., Matsushita K., Tsujino A. ; Age differences in sweating during muscular exercise, *J. Physical Fitness Jpn.*, 28, 239-248 (1979)
- 2) Evans E., Rendell M., Bartek J., Connor S., Bamisedun O., Dovgan D., Gitter M. ; Thermally-induced cutaneous vasodilatation in aging, *J. Gerontol* 48, M53-57 (1993)
- 3) Havenith G., Inoue Y., Luttkholt V., Kenney W. L. ; Age predicts cardiovascular, but not thermoregulatory, responses to humid heat stress, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 70, 88-96 (1995)
- 4) Inoue Y. ; Longitudinal effects of age on heat-activated sweat gland density and output in healthy active older men, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 74, 72-77 (1996)
- 5) Inoue Y., Nakao M., Araki T., Murakami H. ; Regional differences in the sweating responses of older and younger men, *J. Appl. Physiol.*, 71, 2453-2459 (1991)
- 6) Inoue Y., Nakao M., Okudaira S., Ueda H., Araki T. ; Seasonal variation in sweating responses of older and younger men, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 70, 6-12 (1995)
- 7) Inoue Y., Shibasaki M. ; Regional differences in age-related decrements of the cutaneous vascular and sweating responses to passive heating, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 74, 78-84 (1996)
- 8) Inoue Y., Shibasaki M. ; Mechanisms of age-related decrement in sweating responses, (submitted) (1998)
- 9) Inoue Y., Shibasaki M., Hirata K., Araki T. ; Relationships of skin blood flow vs. sweating rate in older and younger men and its regional differences, *Eur. J. Appl. Physiol.*, (in press) (1998)
- 10) Kenney W. L. ; Control of heat-induced cutaneous vasodilatation in relation to age, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 57, 120-125 (1988)
- 11) Martin H. L., Loomis J. L., Kenney W. L. ; Maximal skin vascular conductance in subjects aged 5-85 yr, *J. Appl. Physiol.*, 79, 297-301 (1995)
- 12) Shibasaki M., Inoue Y., Kondo N. ; Mechanisms of underdeveloped sweating in prepubertal boys, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 76, 340-345 (1997)
- 13) Shibasaki M., Inoue Y., Kondo N., Iwata A. ; Thermoregulatory responses of prepubertal boys and young men during exercise, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 75, 212-218 (1997)
- 14) Shibasaki M., Inoue Y., Kondo N., Hirata K. ; Relationships between skin blood flow and sweating rate in prepubertal boys and young men, (submitted) (1998)
- 15) Sugeno Y., Ogawa T., Imai K., Ohnishi N., Natsume K. ; Cutaneous vasodilatation responses synchronize with sweat expulsions, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 71, 33-40 (1995)
- 16) Richardson D. ; Effects of age on cutaneous circulatory response to direct heat on the forearm, *J. Gerontol.*, 44, M189-194 (1989)
- 17) Roberts M. F., Wenger C. B., Stolwijk J. A. J., Nadel E. R. ; Skin blood flow and sweating changes following exercise training and heat acclimation, *J. Appl. Physiol.*, 43, 133-137 (1977)
- 18) Rooke G. A., Savage M., Brengelmann G. L. ; Maximal skin blood flow is decreased in elderly men, *J. Appl. Physiol.*, 77, 11-14 (1994)