

機関番号：34429

研究種目：基盤研究 (A)

研究期間：2008～2010

課題番号：20247035

研究課題名 (和文) 温熱的環境適応能の老化過程の解明と老化遅延策の構築

研究課題名 (英文) Elucidation of the aging process of human heat adaptability and strategies for delaying it

研究代表者

井上 芳光 (INOUE YOSHIMITSU)

大阪国際大学・人間科学部・教授

研究者番号：70144566

**研究成果の概要 (和文)：**ヒトの環境適応能の老化機序を解明するため、全身協関的視点から検討した結果、以下のことが示された。体温調節機序は男女とも、入力系→効果器系→出力系→中枢系の順序で老化し、下肢の汗腺機能は下腿が大腿より、下肢の後面が前面より早期に老化する。老化に伴い非温熱性要因の複合的入力に対する反応が小さくなる。若年者でみられた熱放散反応の性差は老化によって小さくなる。高齢者の汗腺機能の夏へ向けての亢進が若年者より遅延し、また、暑熱下の起立耐性に影響する皮膚血流量調節の関与は高齢者では小さく、夏季における高齢者の血栓形成は若年者より促進される。体温調節機序の入力系や出力系に対して老化遅延策は見出せなかったが、効果器系では運動習慣の確立が有効である。

**研究成果の概要 (英文)：**This research project addressed the ways in which human heat adaptability changes with aging from the viewpoint of whole body coordination. Our findings suggest that in men and women, age-related decrement in thermoregulatory function may involve the input system, effector system, output system, and central system in that order, and the decrement in sweat gland function in the lower limbs may proceed from the lower legs to thigh and from posterior to anterior areas. Our results suggest that non-thermal heat loss response to combined input and sex differences in heat loss responses in young adults tended to decrease with aging. They also suggest that the enhancement of peripheral sweat function toward summer was delayed with aging, the contribution of the skin blood flow adjustment to orthostatic tolerance during the summer heat is smaller in older people, and older people are more prone to thrombogenesis in the summer. Although we failed to find a strategy to delay aging of input and output systems of the thermoregulatory function, the establishment of an exercise habit is effective for the effector system.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	13,900,000	4,170,000	18,070,000
2009年度	13,000,000	3,900,000	16,900,000
2010年度	8,600,000	2,580,000	11,180,000
総計	35,500,000	10,650,000	46,150,000

研究分野：生理人類学

科研費の分科・細目：人類学・応用人類学

キーワード：環境適応能、全身的協関、高齢者、体温調節、発汗、循環調節

### 1. 研究開始当初の背景

(1) これまでに我々は男性を対象として、熱放散反応は老化に伴い皮膚血流量→単一汗腺あたりの汗出力→活動汗腺数と順次低下し、その一連の低下が下肢→躯幹後面→躯幹

前面→上肢→頭部と進行することを明らかにしている。また、熱放散反応は思春期を境として性周期・性差が出現し、その性差は卵胞中期よりも黄体中期で顕著になることも報告している。これらの性周期・性差は、女

性ホルモンが熱放散反応に抑制的に、男性ホルモンが促進的に作用するために生じたものと推察されている。女性は閉経に伴い女性ホルモン分泌が急激に減少することから、女性ホルモンによる熱放散反応の抑制は軽減され、男性と比較して老化による熱放散反応の低下の程度は小さい可能性が考えられる。しかし、老化が女性の熱放散反応に及ぼす影響は明らかではない。

(2) 末梢機構を直接刺激性発汗（汗腺それ自体の要素を反映，効果器の指標）と軸索反射性発汗（交感神経節後線維の要素を反映，出力系の指標）に区分した場合には，前者が後者より早期に老化することが男性を対象として報告されている。しかし，女性においても同様の老化特性がみられるのか明確ではない。

(3) 求心性（入力系）の指標として測定した皮膚の温・冷覚閾値は高齢者が若年者より鈍化することが男性を対象として報告されているが，その性差は明確ではない。

(4) 全身協関的視点からみて，入力系，中枢系，出力系，効果器系がどのような順序で老化するのか，その老化順序に性差は存在するのか不明である。

(5) 汗腺機能の老化は上記(1)で述べたように下肢から始まるが，下肢のどの部位から始まるのか，未だ明確ではない。

(6) 発汗機能は季節馴化することが知られているが，軸索反射性発汗や直接刺激性発汗の季節馴化が老化でどのように修飾されるかは明確ではない。

(7) 運動に関わる独自の要因（非温熱性要因：セントラルコマンド，筋代謝受容器および筋機械受容器など）が，運動時の熱放散反応に影響し，この影響の程度は老化に伴い減弱することが明らかにされている。しかし，これまでの研究は運動時に関わる単一の非温熱性要因の影響に関するものが多く，運動時における複合的非温熱性要因が温熱的環境適応能に及ぼす影響を老化の観点からアプローチした研究はみられない。また，単一汗腺の構造・機能が年齢とともにどのように変化するのかも不明である。

(8) 老化に伴う皮膚血管拡張および収縮機能の低下が報告されている。皮膚血管拡張の低下機序として，末梢機構が中枢機構より早期に低下する可能性が示唆され，末梢の変化として組織解剖学的変性，皮膚血管収縮神経のトーンス低下の減弱，能動的血管拡張システムにおける感受性の低下が報告されている。しかし，夏季の起立耐性の低下の一因である皮膚血管収縮反応性が老化でどのように影響されるのか，明確ではない。

(9) これまで我々は，血栓形成指標と運動時の脱水状態との関連性を検討し，脱水が進行した者ほど「分子糊」として作用するフォン

ビルブランド因子（VWF）の凝集能が亢進し，「向」血栓に傾くことを見出している。高齢者の口渇感が鈍化し，身体活動時の水分補給が十分でないことを考え合わせると，少なくとも老化に伴い「向」血栓傾向になることが十分予想されるが，このことは明確ではない。

(10) 膝伸展運動時の大腿動脈血流量を高齢者と若年者で比較検討した結果，大腿動脈血流量の増加が老化に伴い抑制されていないことが判明し，大腿動脈血流量の低下が皮膚血流量の低下より先行しないこと，すなわち，末梢循環の老化が中心循環の老化より先行することが推察されている。しかし，大腿筋内部での酸素利用能，すなわち筋脱酸素化量（筋微小循環における動静脈酸素量の差を反映）の空間不均一性に老化の影響があるのか否か不明である。

(11) 運動習慣の確立で体温調節反応の老化を遅延できることが明らかにされている。しかし，体温調節を入力系，出力系，効果器系からみた老化遅延策は明確ではない。

## 2. 研究の目的

ヒトの環境適応能は相互補完的協力作用（全身的協関：細胞から全身に至る統合システム）によってもたらされているため，その老化過程を明らかにするには，単一の機能や機序からだけではなく，全身協関的視点からヒトの生理反応を検討することが重要である。そこで，本研究では下記の 11 課題を全身協関的視点から検討した。

(1) この実験では，女性における熱放散反応の加齢的变化を検討した。さらに，男性のデータと比較し，老化過程における性差を考察した。

(2) 女性の高齢者と若年者にアセチルコリン（ACh）誘発性発汗テストを実施し，末梢の汗腺機能を軸索反射性発汗（出力系の指標）と直接刺激性発汗（効果器の指標）からみた女性の汗腺機能の老化機序を検討した。さらに，老化機序の性差も考察した。

(3) 女性の高齢者と若年者に皮膚の温覚・冷覚閾値テストを実施し，求心性（入力系）の指標として温冷覚閾値を身体 8 部位で比較するとともに，その性差を検討した。女性において入力系，中枢系，出力系，効果器系の老化がどのような順序で生じるのか，この結果に上記(1)(2)の結果を加えて考察した。

(4) ①20 歳前後，40 歳前後，50 歳前後，60 歳以上の女性に上記(2)と(3)のテストを実施し，入力系・出力系・効果器系の老化過程をさらに詳細に比較した。②男性の 20 歳前後，40 歳前後，50 歳前後，60 歳以上にも同様の実験を実施し，これらの老化過程の性差を検討した。

(5) 20 歳前後，40 歳前後，50 歳前後，60 歳以上の男性における下肢の 5 部位と前腕で

ACh 誘発性発汗を測定し、各部位の年齢的変化から、汗腺機能の老化は下肢のどの部位から生じるのか検討した。

(6) 女性の高齢者と若年者で ACh 誘発性発汗反応を 5 月から 1 月まで年 5 回比較検討した。

(7) 複合的非温熱性要因が高齢者の発汗に及ぼす影響と単一汗腺の構造・機能の老化を検討した。

(8) ヒトの皮膚血管拡張および収縮反応は老化に伴い低下することが寒冷・暑熱刺激条件で明らかにされている。夏季などの暑熱暴露時（高温温時）に起立耐性は低下する。その一因である皮膚血管収縮反応性が老化で影響されるのか否か検討した。

(9) 運動習慣を有する高齢者と若年者において夏季スポーツ活動前後のフォンビルブランド因子（VWF）抗原量を比較し、老化が脱水と血栓形成指標との関連性に影響するか検討した。

(10) 大腿での運動時における大腿筋脱酸素化量の空間不均一性を時間分解・近赤外分光装置で計測し、それに及ぼす老化の影響を検討した。

(11) 老化遅延策を構築するため、温覚・冷覚閾値、軸索反射性発汗（AXR<sub>onset</sub>, AXR<sub>max</sub>, AXR<sub>sv</sub>）、直接刺激性発汗（DIR<sub>SR</sub>, DIR<sub>SGO</sub>）をそれぞれ観察変数とした入力系、出力系、効果器系の反応と身体的特性、最大酸素摂取量、日常歩行量との関連を探索的解析により検討した。

### 3. 研究の方法

(1) 短パン・ショーツ・スポーツブラ・ビブスを着用した女性の高齢者（9 名、65 歳前後）と若年者（13 名、20 歳前後）に 30°C・45%RH 環境下で下肢温浴（下腿中央部から下を 42°C のお湯に浸す）を 40 分間負荷し、両群の発汗と皮膚血流量反応を前額・胸・前腕・大腿で比較した。なお、若年者には性周期の卵胞早・中期に実験に参加することを要求した。

(2) 26°C 環境下で女性の高齢者（65 歳前後）10 名と若年者（20 歳前後）25 名に対し、2 mA のイオントフォレーシスで ACh を前腕と大腿に 5 分間投与し、ACh 誘発性の軸索反射性発汗および直接刺激性発汗を両群間で比較検討した。さらに、女性データと男性データ（高齢者 15 名と若年者 13 名）も比較し、老化の性差も検討した。

(3) 快適環境下において健康な女性の高齢者 12 名（65 歳前後）と若年者 29 名（20 歳前後）に対し、熱流束温冷覚閾値計を用い、身体 8 部位（前額・胸・背・前腕・手背・大腿・下腿・足背）の冷覚閾値と温覚閾値をそれぞれ測定し、温覚および冷覚それぞれの測定開始時から閾値までの熱流束変化度（以下、熱流束差）の加齢的变化を検討した。さらに、男性の高齢者 17 名と若年者 13 名のデータと

比較し、老化の性差も検討した。

(4) 上記(2)と(3)のテストを 12 名の 40 歳代と 10 名の 50 歳代の女性に実施させ、それらのデータに 20 歳代と 60 歳代女性のデータを加えて、入力系・出力系・効果器系の年齢変化を検討した。同様の実験を 13 名の 20 歳代、13 名の 40 歳代、12 名の 50 歳代、17 名の 60 歳代男性にも実施させ、これらの老化過程の性差を検討した。

(5) 20 歳代 19 名、40 歳代 10 名、50 歳代 12 名、60 歳代 11 名の健康な男性に対し、2 mA のイオントフォレーシスで ACh を下肢の 5 部位（大腿前面、大腿後面、下腿前面、下腿後面、足背）と前腕に 5 分間投与し、各部位で ACh 誘発性の直接刺激性の発汗量（SR）、活動汗腺数（ASG）、単一汗腺あたりの汗出力（SGO : SR/ASG）を求め、それぞれの年齢変化を検討した。

(6) 女性の高齢者（60 歳代 7 名）と若年者（20 歳代 8 名）に対し、5 月初旬（以下 5 月とする）、7 月初旬（7 月）、8 月下旬（8 月）、10 月下旬（10 月）、1 月初旬（1 月）の期間に ACh 誘発性発汗テストを上記(2)と同様の手順・測定方法・測定部位で実施した。

(7) 環境温 35°C、相対湿度 50%の環境下で最大随意筋収縮の 50%の静的掌握運動を 1 分間実施し、終了直前に上腕を 250 mmHg の圧で 1 分間阻血した。この阻血中は筋代謝受容器を選択的に賦活することが可能であるため、阻血中に最大酸素摂取量の 30%の自転車運動を 1 分間実施した。この方法によりセントラルコマンドと筋代謝受容器の複合的非温熱性要因の影響を検討した。また、単一汗腺の構造・機能を検討のため、指腹部の表皮単一汗腺の導管を光コヒーレンストモグラフィで視覚化し、その大きさと長さを高齢者と若年者で比較した。

(8) 水循環服を着用した高齢者および若年者各 7 名に対し、暑熱負荷として温水（50°C）を 60 分間循環させ、舌下温を約 0.8°C 上昇させた。その暑熱負荷前後に、動静脈反射および 4 濃度のノルエピネフリン（NE : 10<sup>-8</sup>, 10<sup>-6</sup>, 10<sup>-4</sup>, 10<sup>-2</sup>M）投与実験で皮膚血管収縮反応性を評価した。なお、NE 投与は皮内マイクロダイアリシス法を用いて実施した。

(9) 寿野球に参加する高齢者（65 歳前後）22 名、大学野球部に所属する若年者（20 歳前後）16 名を対象とし、夏季におけるスポーツ活動時（3 時間）の体重あたりの脱水率、練習直前、練習終了直後及び終了 1 時間後の VWF 抗原量を測定した。

(10) 大腿での自転車運動〔乳酸閾値以下の低強度（有酸素運動強度）〕開始時における大腿筋脱酸素化量の空間不均一性を外側広筋と大腿直筋の遠位と近位部において時間分解・近赤外分光装置（TRS-NIRS, 浜松ホトニクス）で計測し、それに及ぼす老化の影響

を検討した。

(11) 実験(4)に参加した各被験者の皮膚の温冷覚閾値・軸索反射性発汗・直接刺激性発汗を用い、それらに及ぼす暦年齢、体格指標 (AD/mass)、最大酸素摂取量 (VO<sub>2</sub>max)、7日間の日常生活下の平均歩行量、舌下温、皮膚温の影響をパス解析で検討した。なお、温覚・冷覚閾値の熱流束差はそれぞれ身体8部位の平均値を個人の代表値とした。

#### 4. 研究成果

(1) 下肢温浴時における舌下温・平均皮膚温・平均体温 (T<sub>b</sub>) には有意な年齢差はみられなかったが、 $\Delta T_b$  では高齢者が若年成人より有意な高値を示した。局所発汗量 (SR) は胸・大腿で、皮膚血流量 (%LDF) は前腕・大腿で、皮膚血管コンダクタンスは胸・前腕・大腿で、いずれも高齢者が若年成人より有意な低値を示した。発汗および皮膚血管拡張開始の T<sub>b</sub> 閾値は、いずれの身体部位においても有意な年齢群差はみられなかったが、回帰直線の勾配から求めた感受性は、SR では胸・大腿で、%LDF では前腕・大腿で高齢者が若年成人より有意な低値を示した。下肢温浴時終了直前5分間平均SRを、同一条件における男性の結果と比較すると、女性・男性ともに胸・大腿で高齢者が若年者より有意に低いSRを示したものの、その老化の程度は男性より女性で小さかったため、若年者でみられた有意な性差は高齢者でみられなくなった。これらの結果から、熱放散反応は女性においても老化に伴い末梢機構の減弱に起因して低下し、その老化は下肢部から躯幹部、上肢へと進行する可能性が示された。また、熱放散反応の老化の程度は女性が男性より小さいことから、若年者でみられた性差は老化によって小さくなることが示唆された。

(2) 直接刺激性 (DIR) の発汗量 (DIR<sub>SR</sub>) は女性において前腕・大腿で老化に伴い低下し、その低下は活動汗腺数 (DIR<sub>ASG</sub>) ではなく単一汗腺あたりの汗出力 (DIR<sub>SGO</sub>) の低下 (汗腺萎縮 and/or コリン感受性の低下) に起因した。DIR<sub>SGO</sub> の低下は大腿で女性が男性より小さく、若年者で観察された性差 (女<男) は老化に伴い小さくなった。軸索反射性発汗 (AXR) も女性が男性より低かったが、DIRとは逆に男性・女性とも老化に伴い亢進し、その傾向は前腕で顕著だった。老化に伴い男女ともDIR (汗腺自体の要素をより反映する) は減弱し、逆にAXR (交感神経節後線維の要素をより反映する) は亢進することが示唆された。DIRとAXRとも年齢に関わらず女性が男性より低かったが、DIRの性差は老化に伴い小さくなる傾向だった。

(3) 女性は冷覚閾値の熱流束差では身体8部位の全ての部位で、温覚閾値の熱流束差では前額・胸・背を除く前腕・手背・大腿・下腿・

足背で、高齢者が若年者より有意に大きかった (冷・温感受性の鈍化を意味する)。温・冷覚閾値の熱流束差は、年齢に関わらず女性が男性より有意に小さく、その傾向は若年者で顕著だった。これらの結果、皮膚の温・冷覚感受性は、1) 男女とも老化に伴い鈍化すること、2) 年齢に関わらず女性が男性より鋭敏であるものの、その性差が老化に伴い減少すること、が示唆された。3) 女性において、(1)(2)(3)の結果を考え合わせると、効果器系・出力系→入力系→中枢系の順序で老化することが示唆された。

(4) 20歳、40歳、50歳、60歳代の女性の比較において、20歳代に比し、皮膚の温覚・冷覚閾値テスト (入力系) は40歳代から、イオントフォレーシステストの直接刺激性発汗 (効果器系) は50歳代から、軸索反射性発汗 (出力系) は60歳代から、それぞれ有意な低下がみられた。このことと上記(1)の中枢系に関する結果を考え合わせると、体温調節機序は入力系→効果器系→出力系→中枢系の順序で老化することが示唆された。20、40、50、60歳代の男性を対象とした同様の検討において、20歳代に比し、出力系の指標とした軸索反射性発汗には60歳代まで低下がみられなかったが、皮膚の温覚・冷覚閾値では50歳代から、直接刺激性発汗では60歳代から、それぞれ低下が観察された。これらの結果は、体温調節機序を4つに区分した老化の順序には性差がみられないことが示唆された。

(5) SRは下腿前面・下腿後面で20歳代から40歳代に有意に低下し、その後に変化はみられず、50・60歳代も20歳代より有意に低い値を保った。大腿前面では20歳代と40歳代で変化がみられず、50・60歳代と順次低下し、60歳代が20・40歳代より有意に低かった。大腿後面では20歳代と40歳代で変化がみられず、50歳代で20・40歳代より有意に低下し、60歳代もその低い値を保った。前腕・足背のSRには有意な年齢変化はみられなかった。SGOの加齢的变化はSRに類似したが、足背では20歳代から60歳代で有意に低下した。ASGには各部位とも加齢的变化はみられなかった。以上の結果、下肢の汗腺機能の低下には身体部位差が存在し、下腿が大腿より、下肢の後面が前面より、いずれも早期に老化することが推察された。

(6) 高齢者・若年者ともAXR (交感神経節後線維の要素を反映する) およびDIR (汗腺自体の要素を反映する) に季節変化が観察されたが、夏季に向けてのその亢進は高齢者が若年者より遅延しがちだった。その遅延はAXRよりDIRで、大腿より前腕で顕著だった。高齢者は若年者よりいずれの季節も劣ったDIRおよびAXRを示した。

(7) 非温熱性要因の複合的入力が発汗反応を

より大きく引き起こす可能性はあるが、この反応は老化により小さくなっていった。これは複合的入力が高齢者で低下したのではなく、入力に対する反応が小さい、すなわち、汗腺機能の減弱が関係している可能性が考えられた。導管の大きさについては、年齢による違いが、いくらかではあるが判別でき、高齢者のそれは若年者より小さい傾向だった。しかし、大きさや長さを判定する方法には表皮構造などの違いも影響するため、この方法での評価法にはかなり改善が必要である。

(8) 暑熱負荷前の舌下温に群差はなく、暑熱負荷による舌下温の上昇度も同程度であった(高齢者:  $0.8 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ , 若年者:  $0.8 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ )。暑熱負荷前の短時間の寒冷刺激による皮膚血管収縮反応、動静脈反射(VAR)およびNEによる皮膚血管収縮反応性に年齢差はみられなかった。暑熱負荷によって、若年者の皮膚血管コンダクタンス(CVC)は前腕で  $4.1 \pm 1.6$  倍、下肢で  $3.9 \pm 1.6$  倍増加したが、高齢者のCVCの増加は  $2.2 \pm 1.0$  倍(前腕)と  $2.7 \pm 1.7$  倍(下肢)であった。一方、高齢者の暑熱負荷後のVARおよびNEによる皮膚血管収縮反応性は若年者のそれらよりも低値を示した。以上の結果より、老化に伴う皮膚血管の拡張と収縮反応性の低下によるカウンターバランスにより、暑熱下の起立耐性に影響する皮膚血流量調節の関与は高齢者では小さいことが示唆された。すなわち、高齢者で高体温時の皮膚血管収縮性の減弱が起立耐性に影響する可能性は小さい。

(9) VWF 抗原量の安静値レベルは若年成人の  $72.8 \pm 15.6\%$  に対して、高齢者では  $127.6 \pm 35.5\%$  と有意に高値を示すことが認められた。また、スポーツ活動の影響については、運動終了直後に高齢者で  $173.1 \pm 44.6\%$ 、若年成人では  $127.6 \pm 22.5\%$  と有意な増加を示した。なお、スポーツ活動中の体重あたりの脱水率には有意な年齢差はみられなかった。以上の結果、夏季における血栓形成は高齢者の方が促進している可能性が示唆された。

(10) 若年者では負荷強度の増加に伴って脱酸素化量の空間不均一性は減少し、最大強度では筋肉間の酸素利用が均一になることが明らかにされた。高齢者においても、年齢に関わらず負荷強度の増加に伴って脱酸素化量の空間不均一性は減少した。その減少の程度に関しては年齢の影響は小さい傾向だった。しかし、高齢者の中には、大腿筋の特定部位において脱酸素化ヘモグロビン濃度応答の振幅が過渡的に増加する例が見られた。したがって、運動開始時における活動筋の酸素要求に対する酸素供給が不足し、無酸素的な速筋線維がより多く動員される部位の存在が推察された。

(11) 男・女性ともに温覚閾値の熱流束差(男

性:  $r=0.49$ , 女性:  $r=0.50$ )、冷覚閾値の熱流束差(男性:  $r=0.43$ , 女性:  $r=0.52$ )、AXR onset, AXR max, AXR sv の3つの観測変数から構成される潜在変数「軸索反射性発汗」のいずれも、暦年齢だけに影響された( $p < 0.01$ )。DIR<sub>SR</sub> は男・女性ともにいずれの部位も暦年齢に影響され( $p < 0.10$ )、加えて男性の前腕で VO<sub>2</sub>max ( $p=0.06$ )、女性の大腿で VO<sub>2</sub>max ( $p < 0.05$ ) と平均歩行量( $p=0.07$ )に影響された。DIR<sub>SGO</sub> は、男性でいずれの部位も暦年齢と AD/mass に、前腕は加えて VO<sub>2</sub>max に ( $p < 0.05$ )、女性ではいずれの部位も暦年齢に ( $p < 0.05$ )、大腿は加えて VO<sub>2</sub>max ( $p < 0.10$ ) に影響された。以上の結果、温覚・冷覚(入力系)や軸索反射性発汗(出力系)では老化遅延策は見出せなかったが、直接刺激性発汗(効果器系)では運動習慣の確立により老化を遅延できる可能性が示唆された。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 14 件)

- ① Ichinose-Kuwahara T, Inoue Y: Reply to C. Schwiening's commentary. *Exp Physiol* 96: 559-560, 2011
- ② Ichinose-Kuwahara T, Inoue Y, Iseki Y et al.: Sex differences in the effects of physical training on sweat gland responses during a graded exercise. *Exp Physiol* 95: 1026-1032, 2010
- ③ Kondo N, Nishiyasu T, Inoue Y, Koga S: Non-thermal modification of heat-loss responses during exercise in human. *Eur J Appl Physiol* 110:447-458, 2010
- ④ Inoue Y, Ichinose-Kuwahara T, Nakamura S et al.: Cutaneous vasodilation response to a linear increase in air temperature from 28°C to 40°C in prepubertal boys and young men. *J Physiol Anthropol* 28: 137-144, 2009
- ⑤ Inoue Y, Ueda H, Kubota T et al.: Sweat gland function in Thai and Japanese Males in relation to physical training. *Environmental Ergonomics* 13, 276-279, 2009
- ⑥ Ichinose-Kuwahara T, Inoue Y, Hirata M et al.: Enhanced heat loss responses induced by short-term endurance training in exercising women. *Exp Physiol* 94: 90-102, 2009
- ⑦ Jones A, Koga S et al.: Evaluation of the dynamics of muscle oxygenation by near-infrared-based tissue oximeters. (Reply to the Letter of Quaresima and Ferrari) . *J Appl Physiol* 107, 372-373,

2009

- ⑧ Saitoh T, Koga S et al.: Effects of prior heavy exercise on heterogeneity of muscle deoxygenation kinetics during subsequent heavy exercise. Am J Physiol 297: R615-621, 2009
- ⑨ Shibasaki M et al.: Neural and non-neural control of skin blood flow during isometric handgrip exercise in the heat stressed human. J Physiol (London) 587: 2101-2107, 2009
- ⑩ Shibasaki M et al.: Botulinum toxin abolishes sweating via impaired sweat gland responsiveness to exogenous acetylcholine. Br J Dermatol 161: 757-761, 2009
- ⑪ Kobayashi T, Ishizashi H et al: Decreased ADAMTS13 levels in patients after living donor liver transplantation. Thrombosis Research 124: 541-545, 2009
- ⑫ Ooue A, Ichinose TK, Inoue Y et al.: Changes in blood flow in conduit artery and veins of the upper arm during leg exercise in humans. Eur J Appl Physiol 103: 367-373, 2008
- ⑬ Fujii N, Honda Y, Hayashi K, Kondo N, Koga S, Nishiyasu T: Effects of chemoreflexes on hyperthermic hyperventilation and cerebral blood velocity in resting heated humans. Exp Physiol 93: 994-1001, 2008
- ⑭ Shibasaki M et al.: Nitric oxide inhibits cutaneous vasoconstriction to exogenous norepinephrine. J Appl Physiol 105:1504-1508, 2008

〔学会シンポジウム発表〕 (計 6 件)

- ① 井上芳光: 発汗機能の老化. 人類学関連学会協議会合同シンポジウム「加齢—老いの生態をめぐって—」, 仙台, 2010, 10 月
- ② 井上芳光: 暑熱適応能の老化とその遅延策. 第 18 回運動生理学会シンポジウム, 鹿児島, 2010, 7 月
- ③ 井上芳光: 高齢者の発汗機能. 第 10 回日本抗加齢医学会総会シンポジウム, 京都, 2010, 6 月
- ④ 井上芳光: よい汗. 日本生理人類学会第 59 回大会シンポジウム, 東京, 2008, 10 月
- ⑤ 井上芳光: 老若男女の暑熱適応能. 建築学会環境工学委員会 (第 38 回熱シンポジウム), 東京, 2008 年 7 月
- ⑥ 井上芳光: 熱放散反応の老化過程: 全身協同的視点からのアプローチ. 日本生理人類学会第 58 回大会シンポジウム, 大阪, 2008, 6 月

〔図書〕 (計 6 件)

- ① 井上芳光, 近藤徳彦, 他, ナップ (井上芳光, 近藤徳彦編著), 体温 II, 2010
- ② 井上芳光, からだと温度の事典, 朝倉書店 (彼末一之監修), pp535-540, 2010
- ③ 井上芳光, スポーツサイエンス入門, 丸善出版 (田口貞善ら編), pp134-145, 2010
- ④ 近藤徳彦, 井上芳光, 健康運動指導士養成講習会テキスト, 社会保険研究所, pp241-254, 2010
- ⑤ 井上芳光, 他, カラダの百科事典, 丸善出版 (生理人類学会編), pp343-346, pp420-424, 2009
- ⑥ 井上芳光, 他, 身体トレーニング, 真興交易医書出版 (宮村実晴編), pp355-361, pp362-366, 2009

〔その他〕

- ① 井上芳光: NHK総合テレビ「クローズアップ現代 (2010 年 9 月 2 日放映)」をはじめ, テレビ・ラジオに 2008-2010 年度で 16 回出演し, 高齢者はなぜ暑さに弱いのか, さらにその老化遅延策を解説した.
- ② 井上芳光: 朝日新聞「夏のお出かけ恐怖の熱中症 (2010 年 8 月 3 日朝刊)」をはじめ, 新聞・雑誌に 2008-2010 年度で 12 回, 高齢者の熱中症予防策などのコメントが掲載された.
- ③ 井上芳光: 上記の雑誌論文②が Press release され, その内容が BBC, New York Times をはじめ世界の新聞・雑誌に掲載された.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

井上 芳光 (INOUE YOSHIMITSU)  
大阪国際大学・人間科学部・教授  
研究者番号: 70144566

(2) 研究分担者

古賀 俊策 (KOGA SYUNSAKU)  
神戸芸術工科大学・デザイン学部・教授  
研究者番号: 50125712  
近藤 徳彦 (KONDO NARIHIKO)  
神戸大学・人間発達環境学研究所・教授  
研究者番号: 70215458  
上田 博之 (UEDA HIROYUKI)  
大阪信愛女学院短期大学・看護学科・教授  
研究者番号: 00203448  
石指 宏通 (ISHIZASHI HIROMICHI)  
奈良県立医科大学・医学部・准教授  
研究者番号: 50260807  
芝崎 学 (SHIBASAKI MANABU)  
奈良女子大学・生活環境学部・准教授  
研究者番号: 00314526  
近江雅人 (OUMI MASATO)  
大阪大学大学院・医学系研究科・助教  
研究者番号: 60273645