

平成 21 年 5 月 15 日現在

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2007～2008

課題番号：19500556

研究課題名 (和文) 熱放散反応の性周期・性差とそれに及ぼす運動トレーニングの影響

研究課題名 (英文) Sex- and menstrual cycle-related differences in heat loss responses, and the effects of physical training on the sex-related differences

研究代表者

小倉 幸雄 (OGURA YUKIO)

大阪国際大学短期大学部・幼児保育学科・准教授

研究者番号：00300301

**研究成果の概要：**これまで我々は、熱放散反応に性周期・性差が存在することを報告してきた。本研究ではそのメカニズムを、1) 皮膚の温度感受性 (求心性入力 of 指標)、2) 軸索反射性発汗 (遠心性の出力の指標)、3) 直接刺激性発汗 (末梢効果器の指標) から検討した。1) 2) 3) は性周期で修飾されず、女性は男性より 2) 3) が抑制されるものの、1) が鋭敏であった。男女とも 1) は運動トレーニングで修飾されないが、2) 3) の機序は改善され、その改善度は 2) が女性で、3) が男性で顕著だった。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2008 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：健康・スポーツ科学

科研費の分科・細目：スポーツ科学

キーワード：卵胞中期、黄体中期、男性、女性、皮膚温冷覚閾値、イオントフォレーシス、直接刺激性発汗、軸索反射性発汗、運動トレーニング

### 1. 研究開始当初の背景

これまで我々は、若年女性の体温調節反応に関する研究を実施し、性周期・性差の影響を検討してきた。その結果、暑熱刺激に対し、女性は男性に比し発汗よりも皮膚血管拡張に依存した熱放散特性を有し、その傾向は特に大腿で顕著であること、女性は性周期に伴い体温調節中枢機構とともに、末梢機構として背における皮膚血管拡張感受性が修飾される (黄体期に亢進) ことを見出している (Inoue et al. 2005)。さらに、女性は長期間の運動トレーニング (少なくとも6年以上) に伴い男性より劣っていた身体部位の発汗反応をより改善し、この改善は中枢機構とともに末梢機構の改善に起因することを明らかにしている (小倉ら2003, Kuwahara et al. 2005a)。なお、長期間の運動トレーニングに伴う中枢

機構の改善は、黄体期に顕著であった。これは、運動トレーニングが黄体期の女性ホルモン分泌を顕著に抑制することと関連した。次に、常温下中等度運動時における長期運動トレーニング女性と一般女性の熱放散反応の比較から、一般女性の熱放散反応は女性ホルモンによって卵胞中期より黄体中期で抑制されるものの、長期運動トレーニング者では性周期に伴う女性ホルモン分泌変動および熱放散反応の修飾はみられないことを見出している (Kuwahara et al. 2005b)。短期間 (3 性周期) の運動トレーニングにおいて、1 性周期間で熱放散反応の中枢機構の改善を意味する発汗開始および皮膚血管拡張開始深部体温閾値の低下がみられたが、3 性周期間でも発汗および皮膚血管拡張の感受性 (末梢機構を意味する) は改善されなかったことが報告され

ている (Ichinose et al. 2009) . しかし、女性の熱放散反応には不明な点も多く、以下の点が課題として残されている。

ヒトの体温調節機能は、これまで図1に示すように、1) 求心性入力、2) 体温調節中枢、3) 遠心性の出力、4) 末梢効果器レベルでの応答、に区分して検討されている。性周期・性差の観点からも単一の機構や機序を対象とした検討が数多くなされている (井上ら 2004) . しかし、ヒトの生体反応は体内における諸機構あるいは調節系の相互補完的協力作用 (全身的協働: 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、単一の機構や機序からだけで、熱放散反応の性周期・性差を根本的に理解することは難しい。この点を解決するためには、上記 1)~4) の統合システムの視点から性周期・性差を検討する必要がある。しかし、そのような研究は国内外で実施されていない。

我々は、性差と運動トレーニングの検討において、女性の少ない発汗量は小さな汗腺に起因し、この性差が運動トレーニングでさらに増大することを報告している (Inoue et al. 2007) . しかし、この運動トレーニングに伴う性差の増大が全て汗腺肥大やコリン感受性の亢進における性差に起因したのか、明確ではなく、この点も検討する必要がある。

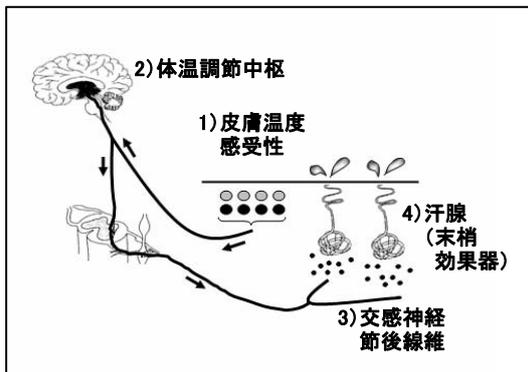


図1 体温調節機序の模式図。

## 2. 研究の目的

本研究では、(1) 性周期がアセチルコリン誘発性発汗に及ぼす影響、(2) 性周期が皮膚温度感受性に及ぼす影響、さらに、(3) アセチルコリン誘発性発汗の性差、(4) 皮膚温度感受性の性差、を検討した。さらに、(5) 運動トレーニングに伴うアセチルコリン誘発性発汗の改善とその性差、についても検討することにより、女性の熱放散特性を精査した。これらの研究は、女性の生理学的な知見を広めるにとどまらず、女性がより安全で快適な生活を送るための有益な情報を提供できると考えられる。さらに、女性の熱放散反応特性に及ぼす運動トレーニングの影響を検討し、その改善の仕組みを明らかにできれば、前述の熱放散反応の低下や熱中症に

対する女性の熱放散反応特性に即した対処策の考案に寄与すると考えられる。

## 3. 研究の方法

本研究では、以下の5実験を実施した。なお、これらの実験内容は、大阪国際大学研究倫理委員会で倫理面の審査を受け承認されている。

### (1) 性周期がアセチルコリン誘発性発汗に及ぼす影響

本実験では、短パン・ショーツ・スポーツブラ・ビブスを着用した10名の健康な若年女性 ( $21.4 \pm 0.2$  (SEM) 歳) に対し、発汗テストを実施した。各被験者は実験直前の3性周期から予測した卵胞中期と黄体中期に、 $25.5^\circ\text{C} \cdot 50\%RH$  に設定された人工気象室内で30分間の椅座安静を保持し、その後テストに参加した。発汗テストでは、イオントフォーシスの直流通電 (2 mA) で10%アセチルコリン (Ach) 溶液を前腕屈曲面・大腿前面の皮膚面 ( $2.613 \text{ cm}^2$ ) にそれぞれ5分間投与した。本実験におけるAchの投与および軸索反射性・直接刺激性発汗量の測定には、3層 (最外層:  $2.613 \text{ cm}^2$ , 最内層:  $0.785 \text{ cm}^2$ ) に区分された特殊なカプセルを用いた。カプセル最外層にAch溶液を含ませたスポンジを入れ、5分間の通電時に軸索反射性発汗をカプセル最内層で測定した。通電終了後、直ちにAch溶液で湿潤した皮膚面をティッシュペーパーで拭き取り、その後Achを含まないカプセルに交換し、Ach投与皮膚面 ( $2.613 \text{ cm}^2$ ) の直接刺激性発汗を7分間測定した。軸索反射性および直接刺激性発汗量はカプセルの一端より窒素ガスを一定流量 ( $300 \text{ ml/min}$ ) 流入させ、カプセルから流出するガスの温度と湿度の変化を温湿度計で連続的に記録し、発汗曲線をそれぞれ求めた (カプセル換気法)。軸索反射性発汗曲線に基づき、発汗開始時間 ( $AXR_{\text{onset}}$ )、最大発汗量 ( $AXR_{\text{max}}$ ) および総発汗量 ( $AXR_{\text{sv}}$ ) を求めた。直接刺激性発汗曲線から、終了直前5分間の平均発汗量 ( $DIR_{\text{SR}}$ )、活動汗腺数 ( $DIR_{\text{ASG}}$ )、単一汗腺あたりの汗出力 ( $DIR_{\text{SGO}}$ ) を求めた。 $DIR_{\text{ASG}}$  はAch溶液を通電した皮膚面における直接刺激性発汗測定終了直後に、発汗カプセルを取り除き、その部分にヨードチンキを塗って澱粉紙を20~30秒間測定皮膚面に押し当てて汗腺プリントをとり、実験終了後に同一観察者がカウントした。直接刺激性  $DIR_{\text{SR}}$  を  $DIR_{\text{ASG}}$  で除して  $DIR_{\text{SGO}}$  を求めた。実験直前に舌下温、前腕・大腿の皮膚温を測定した。

また、最大酸素摂取量 ( $VO_{2\text{max}}$ ) を自転車エルゴメータによる最大下負荷漸増法で、日常生活下の歩行量を万歩計でそれぞれ推定した。実験当日の血中女性ホルモン濃度から、各人の性周期を再確認した。

## (2) 性周期が皮膚温度感受性に及ぼす影響

本実験では、9名の健康な若年女性(21.3±0.2(SEM)歳)に対し、実験直前の3性周期から予測した卵胞中期と黄体中期にそれぞれ同一の皮膚温度感受性テストを実施した。性周期は実験前に採血を行い、その血中女性ホルモン濃度を測定して確認した。各被験者は、短パン・ショーツ・スポーツブラ・ビブスを着用し、気温27.5℃、相対湿度50%に設定した人工気象室内で約30分間安静にした後、熱流束温冷覚閾値計のプロープを用い、身体8部位(前額・胸・背・前腕・手背・大腿・下腿・足背)における温・冷覚閾値の熱流束変化(以下、熱流束差)を測定した。この閾値計のプロープ(6.25cm<sup>2</sup>)と皮膚表面との熱流束が±30W/m<sup>2</sup>の範囲で5秒間安定した後、計測を開始するように設定した。プロープの表面温度は、温覚閾値測定時に上昇、冷覚閾値測定時に下降し、その上昇・下降は±0.3℃/秒に設定した。被験者にはあらかじめスイッチを持たせ、皮膚に接触したプロープの表面が、暖かい・冷たいと感じた時点でスイッチを押してもらうように要求した。コンピュータ上には、各被験者がスイッチを押した時点の熱流束が記録され、温度刺激開始から閾値までの熱流束差を算出した。実験は冷覚を前額から足背へ順次8部位で、次に温覚を同様の順で測定した。これらの測定を1セットとし、5分間程度の休息を挟み計3セット測定し、その平均値を代表値として用いた。また舌下温・胸・前腕・大腿・下腿の皮膚温および全身温冷感・快適感を各冷覚測定直前に測定した。各被験者の最大酸素摂取量(VO<sub>2</sub>max)を自転車エルゴメータによる最大下負荷漸増法で、日常歩行量を万歩計で7日間それぞれ測定した。

## (3) アセチルコリン誘発性発汗の性差

本実験では、健康な若年成人女性25名と若年成人男性13名を被験者とした。全ての被験者は、身体計測、イオントフォレーシス発汗テスト、最大酸素摂取量(VO<sub>2</sub>max)測定および日常歩行量調査にそれぞれ参加した。なお、性周期は軸索反射性・直接刺激性発汗に影響しないことが明らかにされているが(実験1)、女性被験者は過去3か月の月経周期に基づいて予測した卵胞早期・中期(月経開始4日目~10日目)にイオントフォレーシス発汗テストに参加した。全ての発汗テストとVO<sub>2</sub>maxの測定は、環境温度25.5℃・相対湿度50%に設定した人工気象室で9月上旬から10月下旬にかけて実施した。この発汗テストでは、実験1と同様にイオントフォレーシスの直流通電(2mA)で10%アセチルコリン(Ach)溶液を前腕屈曲面・大腿前面の皮膚面(2.613cm<sup>2</sup>)にそれぞれ5分間投与し、軸索反射性発汗と直接刺激性発汗を測定した。なお、実験プロトコールおよび測定項目は実験1と同一であった。

び測定項目は実験1と同一であった。

## (4) 皮膚温度感受性の性差

本実験では、健康な20歳前後の若年成人女性29名と男性13名に対し、温覚・冷覚閾値テスト、最大酸素摂取量(VO<sub>2</sub>max)測定テスト・日常歩行量調査を実施した。なお、女性被験者は、過去3か月間の月経周期に基づいて予測した卵胞早期・中期(月経開始4日目~10日目)に温覚・冷覚閾値テストに参加した。全ての実験は、8月中旬から10月下旬に実施した。女性被験者は、短パン・ショーツ・スポーツブラ、男性被験者は短パンのみを着用し、気温27.5℃、相対湿度50%に設定した人工気象室内で約30分間安静にした後、熱流束温冷覚閾値計のプロープを用い、身体8部位(前額・胸・背・前腕・手背・大腿・下腿・足背)における温・冷覚閾値の熱流束差を測定した。なお、実験プロトコールおよび測定項目は実験2と同一であった。

## (5) 運動トレーニングに伴うアセチルコリン誘発性発汗の改善とその性差

本実験では、運動鍛錬者(T群)31名(女性17名、男性14名)、同非鍛錬者(U群)38名(女性25名、男性13名)を被験者とした。いずれの被験者も20歳前後の若年成人を対象とした。T群は男女とも少なくとも6年以上運動クラブに所属する者で、U群は男女とも少なくとも3年以上体育の授業以外で特別な運動を実施していない一般人であった。全ての被験者は、身体計測、イオントフォレーシス発汗テスト、最大酸素摂取量(VO<sub>2</sub>max)測定および日常歩行量調査にそれぞれ参加した。なお、女性被験者は過去3か月の月経周期に基づいて予測した卵胞早期・中期(月経開始4日目~10日目)にイオントフォレーシス発汗テストに参加した。全ての発汗テストとVO<sub>2</sub>maxの測定は、環境温度25.5℃・相対湿度50%に設定した人工気象室で9月上旬から10月下旬にかけて実施した。この発汗テストでは、実験1・3と同様にイオントフォレーシスの直流通電(2mA)で10%アセチルコリン(Ach)溶液を前腕屈曲面・大腿前面の皮膚面(2.613cm<sup>2</sup>)にそれぞれ5分間投与し、軸索反射性発汗と直接刺激性発汗を測定した。なお、実験プロトコールおよび測定項目も実験1・3と同一であった。

## 4. 研究成果

### (1) 性周期がアセチルコリン誘発性発汗に及ぼす影響

発汗テスト当日の血中女性ホルモンであるエストロン・エストラジオール・プロゲステロンは、卵胞中期から黄体中期に有意に増加した。発汗テスト開始直前の舌下温および大腿の皮膚温には、有意な性周期差は認められなかった。前腕の皮膚温は卵胞中期が黄体

中期より有意な高値を示したが、その差は小さく  $0.5^{\circ}\text{C}$  程度だった。

卵胞中期と黄体中期におけるアセチルコリン誘発性発汗の軸索反射性発汗の指標である、発汗開始時間 ( $\text{AXR}_{\text{onset}}$ )、最大発汗量 ( $\text{AXR}_{\text{max}}$ )、総発汗量 ( $\text{AXR}_{\text{sv}}$ ) には、前腕・大腿ともに有意な性周期差は認められなかった。

図2に示すように、卵胞中期と黄体中期におけるアセチルコリン誘発性発汗の直接刺激性発汗の指標である、平均発汗量 ( $\text{DIR}_{\text{SR}}$ )、活動汗腺数 ( $\text{DIR}_{\text{ASG}}$ )、単一汗腺あたりの汗出力 ( $\text{DIR}_{\text{SGO}}$ ) には、前腕・大腿ともに有意な性周期差は認められなかった。

各女性ホルモンの卵胞中期から黄体中期への変化率 vs. 軸索反射性・直接刺激性発汗の各指標の卵胞中期から黄体中期への変化率の対応関係においても有意な相関関係は認められなかった。

以上の結果、性周期に伴う女性ホルモン濃度の変動では、交感神経節後線維の要素を反映する軸索反射性発汗および汗腺自体の要素を反映する直接刺激性発汗を修飾しないことが示唆された。

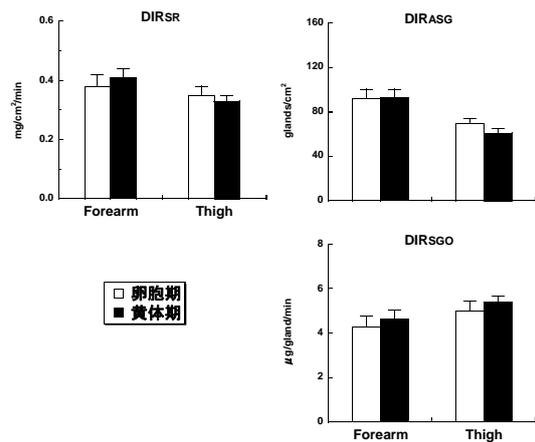


図2 卵胞中期と黄体中期における前腕と大腿の発汗量 ( $\text{DIR}_{\text{SR}}$ )、活動汗腺数 ( $\text{DIR}_{\text{ASG}}$ )、単一汗腺あたりの汗出力 ( $\text{DIR}_{\text{SGO}}$ )。

## (2) 性周期が皮膚温度感受性に及ぼす影響

皮膚の温覚・冷覚閾値テスト当日の血中女性ホルモン濃度はエストラジオール・エストロン・プロゲステロンのいずれにおいても黄体中期が卵胞中期より有意な高値を示した。温冷覚閾値テスト開始直前の舌下温・平均皮膚温・平均体温には有意な性周期差はみられなかった。

温覚・冷覚閾値の熱流束差は、いずれの測定部位 (前額・胸・背・前腕・手背・大腿・下腿・足背) でも卵胞中期と黄体中期の間に有意な性周期差は認められなかった (図3)。

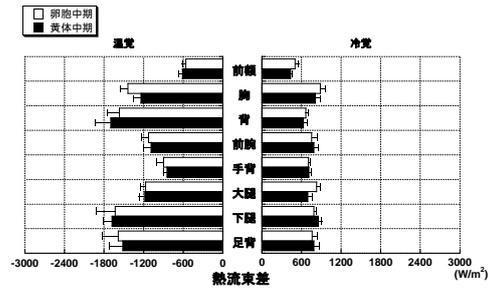


図3 卵胞中期と黄体中期における皮膚の温覚・冷覚閾値の熱流束差

卵胞中期と黄体中期の変化率でみた女性ホルモン濃度と熱流束差の対応関係には、一定傾向の有意な相関関係がみられなかった。

以上の結果、性周期に伴う女性ホルモン濃度の変動では、皮膚の温・冷覚閾値における熱流束差 (皮膚の温冷覚感受性) は修飾されないことが示唆された。

## (3) アセチルコリン誘発性発汗の性差

$\text{VO}_{2\text{max}}$  には有意な性差はみられなかった (女性 vs. 男性:  $40.5 \pm 1.4$  (SEM) vs.  $38.5 \pm 1.9$  ml/kg/min). イオントフォーシス実施直前の前腕・大腿の皮膚温は女性が男性より低値を示したが、舌下温 (女性 vs. 男性:  $36.72 \pm 0.06$  vs.  $36.73 \pm 0.08^{\circ}\text{C}$ ) には有意な性差はみられなかった。

軸索反射性発汗反応では、 $\text{AXR}_{\text{onset}}$  には前腕・大腿とも有意な性差は認められなかったが、 $\text{AXR}_{\text{max}}$  と  $\text{AXR}_{\text{sv}}$  は前腕・大腿とも女性が男性より有意に低かった。図4に示すように、直接刺激性発汗反応においては、大腿の  $\text{DIR}_{\text{SR}}$  では女性が男性より有意な低値を示した。しかし、前腕の  $\text{DIR}_{\text{SR}}$  には有意な性差はみられなかった。  $\text{DIR}_{\text{ASG}}$  は前腕・大腿とも有意な性差は認められなかった。  $\text{DIR}_{\text{SGO}}$  は前腕・大腿とも女性が男性より有意な低値を示した。

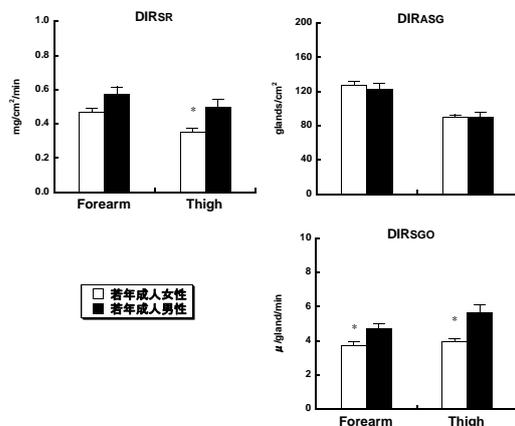


図4 若年成人の男性・女性における前腕・大腿の発汗量 ( $\text{DIR}_{\text{SR}}$ )、活動汗腺数 ( $\text{DIR}_{\text{ASG}}$ )、単一汗腺あたりの汗出力 ( $\text{DIR}_{\text{SGO}}$ )。\*は有意な性差

以上の結果、男性と同等の  $VO_2\max$  を有する女性において、直接性発汗および軸索反射性発汗とも男性より抑制されたことから、汗腺それ自体要素とともに交感神経節後線維の要素も女性が男性より抑制されていることが示唆された。

#### (4) 皮膚温度感受性の性差

温覚・冷覚閾値テスト開始直前の舌下温・平均皮膚温・平均体温には有意な性差はみられなかった。しかし、女性は男性に比し、胸の皮膚温で有意な高値を、大腿・下腿の皮膚温で有意な低値を示した。温覚・冷覚閾値テスト開始直前の全身温冷感・快適感には有意な性差はみられなかった。

温覚閾値熱流束差は、胸・背・大腿・下腿で有意な性差はみられなかったが、前額・前腕・手背・足背で女性が男性より有意な低値を示した(図5)。冷覚閾値熱流束差は、全部位(前額・胸・背・前腕・手背・大腿・下腿・足背)で女性が男性より有意な低値を示した。

皮膚の温度感受性(温覚・冷覚閾値熱流束差) vs.  $VO_2\max$  との対応関係には、有意な相関関係は男女ともいずれの身体部位でもみられなかった。皮膚の温度感受性 vs. 日常歩行数との対応関係を検討した結果、有意な相関関係が、男性ではいずれの部位でも温覚・冷覚閾値とも観察されなかったが、女性では前額・大腿・足背の冷覚閾値熱流束差 vs. 日常歩行数で認められた。

以上の結果、女性は温覚・冷覚感受性ともに男性より鋭敏で、その程度には身体部位差が存在することが示唆された。これらのことは、寒冷・暑熱刺激に対して女性は男性より鋭敏で、行動性の体温調節を早期に作動させ、その作動は暑熱刺激と比較して寒冷刺激でより早くなることを示唆している。女性の鋭敏な冷覚は有酸素能力には影響されないが、日常歩数の増大、すなわち、頻繁な外気への接触で改善される可能性が示唆された。

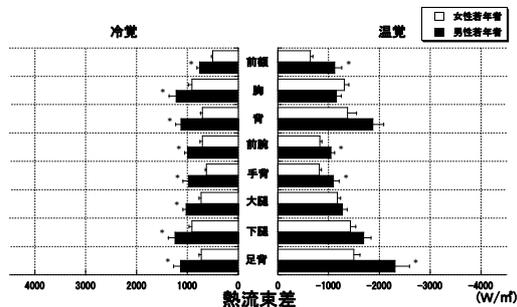


図5 男性・女性における皮膚の温覚・冷覚閾値の熱流束差。\*は有意な性差

#### (5) 運動トレーニングに伴うアセチルコリン誘発性発汗の改善とその性差

イオントフォレーシス発汗テスト実施直前に測定した舌下温では、女性のT群が女性のU群と男性のT群より有意な低値を示した。同様に測定した前腕と大腿の皮膚温には男女ともT群とU群間に有意な群差はみられなかったが、T・U群ともに女性が男性より有意な低値を示した。

軸索反射性発汗では、女性で  $AXR_{\max}$ ・ $AXR_{sv}$  において前腕・大腿ともT群がU群より有意に高く、 $AXR_{\text{onset}}$  も前腕でT群がU群より早い傾向だった。しかし、男性では大腿の  $AXR_{\max}$  でのみT群がU群より高い傾向だった。 $AXR_{\max}$  は大腿で、 $AXR_{sv}$  は前腕・大腿ともU群で女性が男性より有意な低値を示した。しかし、T群の軸索反射性発汗の各指標には有意な性差は観察されなかった。

直接刺激性発汗では、 $DIR_{SR}$ ・ $DIR_{SGO}$  において前腕・大腿で男女ともT群がU群より有意に高く、T・U群とも女性が男性より有意に低かった(図6)。しかし、活動汗腺数は前腕・大腿とも4群間で同等だった。運動トレーニングに伴う  $DIR_{SR}$  と  $DIR_{SGO}$  の増加の程度は男性より女性で小さかったため、 $DIR_{SR}$  と  $DIR_{SGO}$  の性差はT群がU群より大きくなった。

軸索反射性発汗の各指標と  $VO_2\max$ ・日常歩行数との対応関係を男女別に比較すると、女性において日常歩行数と  $AXR_{\max}$ ・ $AXR_{sv}$  との間には有意な正の相関関係がみられたが、男性には有意な相関関係はみられなかった。

直接刺激性発汗の各指標と  $VO_2\max$ ・日常歩行数との対応関係を男女別に比較すると、男女の  $DIR_{ASG}$ 、女性における前腕  $DIR_{SR}$ 、

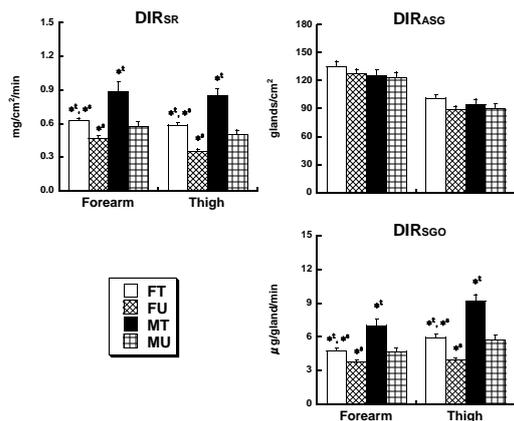


図6 女性(運動鍛錬者: FT; 非鍛錬者: FU), 男性(運動鍛錬者: MT; 非鍛錬者: MU)における前腕・大腿の発汗量( $DIR_{SR}$ ), 活動汗腺数( $DIR_{ASG}$ ), 単一汗腺あたりの汗出力( $DIR_{SGO}$ )。\*tは同一性内の運動トレーニング差, \*sは同一運動鍛錬度における有意な性差。

前腕 DIR<sub>SGO</sub>を除き、男女とも有意な正の相関関係がみられた。また、それらの回帰直線は女性が男性より下方に位置し、その傾きも小さい傾向を示した(図7)。

以上の結果、軸索反射性発汗(交感神経節後線維の要素を反映する)および直接刺激性発汗(汗腺自体の要素を反映する)は、男女とも運動トレーニングで改善されるが、その改善の程度には性差が存在することが示唆された。すなわち、軸索反射性発汗の改善は女性で、直接刺激性発汗の改善は男性で顕著だったため、運動トレーニングに伴い軸索反射性発汗の性差はより小さく、逆に直接刺激性発汗の性差はより大きくなることが示唆された。また、その改善の程度には身体部位差が存在し、前腕に比し大腿で顕著であった。

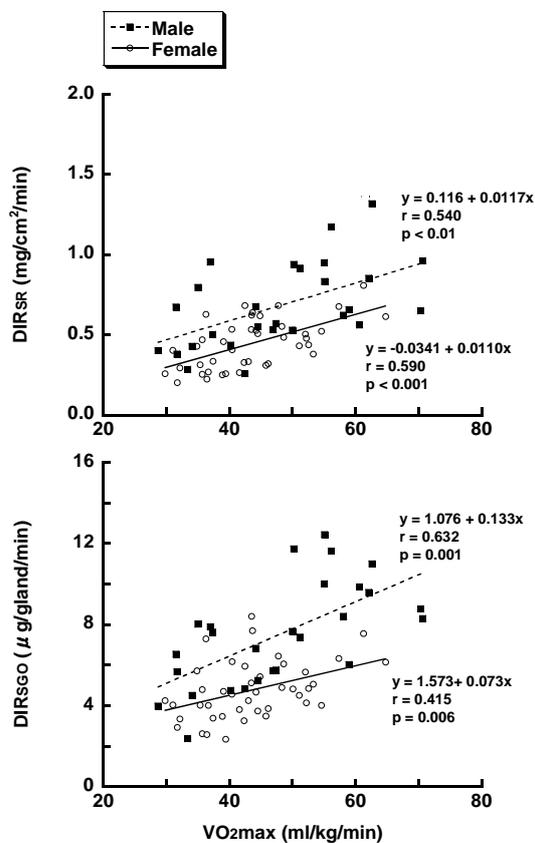


図7 VO<sub>2</sub>maxと大腿の発汗量(DIR<sub>sr</sub>),単一汗腺あたりの汗出力(DIR<sub>sgo</sub>)の対応関係。

## (6) 総括

熱放散反応の性周期・性差とそれに及ぼす運動トレーニングの影響を、1)皮膚の温度感受性(求心性入力の指標)、2)軸索反射性発汗(遠心性の出力の指標)、3)直接刺激性発汗(末梢効果器の指標)から検討した。その結果、1)2)3)は性周期で修飾されず、女性は男性より2)3)が抑制されるものの、1)が鋭敏であった。女性に観察された汗腺機能の抑制は、皮膚血管拡張機能の促進

(Inoue et al. 2005)とともに鋭敏な皮膚の温度感受性で代償されているようである。

男女とも1)は運動トレーニングで修飾されないが、2)3)は改善され、その改善度は2)が女性で、3)が男性で顕著だった。そのため、運動トレーニングに伴い軸索反射性発汗(交感神経節後線維の要素)の性差はより小さく、逆に直接刺激性発汗(汗腺自体の要素)の性差はより大きくなることが示唆された。

## 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3件)

- (1) Ichinose TK, Inoue Y, Hirata M, Shamsuddin AKM, Kondo N: Enhanced heat loss responses induced by short-term endurance training in exercising women. *Exp Physiol* 94: 90-102, 2009
- (2) 石指宏通, 小倉幸雄, 井上芳光: スポーツ活動時における脱水の程度が血栓形成に及ぼす影響. *デサントスポーツ科学* 28: 107-115, 2007
- (3) Inoue Y, Ichinose TK, Ogura Y, Kubota T, Ueda H, Ooue A, Kondo N: Sex differences in the effects of physical training on sweat gland function. *Environmental Ergonomics* 12, 276-279, 2007

[学会発表](計2件)

- (1) 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熱環境運営委員会(第38回熱シンポジウム), 東京, 2008年7月
- (2) 小倉幸雄, 久保田豊司, 井上芳光: 運動トレーニングに伴う汗腺機能の改善とその性差. 日本体育学会, 神戸, 2007年9月

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

小倉 幸雄 (OGURA YUKIO)

大阪国際大学短期大学部・幼児保育学科・准教授

研究者番号: 00300301

(2)研究分担者

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

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