

平成22年5月28日現在

研究種目：基盤研究（B）  
研究期間：2007～2009  
課題番号：19300221  
研究課題名（和文）運動に関わる要因の相互作用が体温調節機構に及ぼす影響と運動トレーニング効果  
研究課題名（英文）The interaction of work factors associated with exercise on thermoregulatory function and exercise training effect  
研究代表者  
近藤 徳彦 (KONDO NARIHIKO)  
神戸大学大学院・人間発達環境学研究所・教授  
研究者番号：70215458

研究成果の概要（和文）：運動時の体温調節機構に関わる様々な入力との相互作用を、また、その時の機構が運動トレーニングによりどのように影響されるかを検討した。入力との相互作用は単独作用より体温調節反応に大きく影響する場合があります。また、その作用は運動トレーニングにより改善される可能性があった。これらのことは、運動によるトレーニングは暑さに対する適応をより大きく引き起こす理由の1つを説明している。

研究成果の概要（英文）：This study has investigated the interaction of work factors associated with exercise on thermoregulatory function and exercise training effect. The interaction effect modifies dominantly the function compared with single effect. In addition, exercise training may affect the interaction effect. These results indicate that exercise is a key for heat adaptation relative to passive heating.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	6,800,000	2,040,000	8,840,000
2008年度	3,400,000	1,020,000	4,420,000
2009年度	2,900,000	870,000	3,770,000
年度			
年度			
総計	13,100,000	3,930,000	17,030,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学・スポーツ科学

キーワード：生理学、体温調節能、運動トレーニング、環境適応能

## 1. 研究開始当初の背景

運動時における過度の体温上昇は運動パフォーマンスの低下を引き起こし、最悪の場合には生命の危険にさらされる。社会的問題として取り上げられている熱中症は運動時に限らず、室内でも多く報告されている。したがって、高温下での運動パフォーマンスの

維持や熱中症予防に関する課題は、スポーツの研究に携わる研究者が取り組まなければならない重要なものである。しかし、基礎的な研究・応用的な研究も含めこの分野の研究には多くの課題が残されている。例えば、運動時において高体温に陥らないための熱放散機能（皮膚血流と発汗機能）はこれまでの

研究で十分に理解されているとは言いがたい。また、高温下での運動パフォーマンスの維持や熱中症予防に関する課題はこの機能の改善により解決することが可能であるが、不明な点が残されている。

1) 運動時の熱放散機能（反応）の不明な点

運動時には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、Kondo et al. 1999, Shibasaki et al. 2001, Shibasaki et al. 2003）があり、これが運動時の熱放散反応に影響することは明らかになりつつあるが、この要因が発汗や血流調節に同様な影響を及ぼすのか、また、各要因の相互作用の影響はどうか不明である。

2) 運動時の熱放散機能（反応）に及ぼす運動トレーニング効果に関する不明な点

夏の熱放散反応は冬のそれより改善されるが、この熱放散反応の改善が運動を行うとより大きくなるかどうかに関しては不明な点が多い。熱放散反応に及ぼす運動トレーニングの影響を明らかにするためには、運動に関わる独自の要因との関係から熱放散反応に対する運動トレーニング効果を評価する必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、運動に関わる要因の相互作用が体温調節機構に及ぼす影響と運動トレーニング効果を明らかにするために、次の課題を設定した。

1) 運動に関わる要因の相互作用が体温調節（および循環調節）反応に及ぼす影響の検討

- ① 非温熱性要因の単独と相互作用が体温（呼吸・循環も含む）調節反応に及ぼす影響
- ② 温熱性要因と非温熱性要因との相互作用が体温（循環も含む）調節反応に及ぼす影響

2) 1) に対する運動トレーニング効果（体力レベルの違いを含む）

3. 研究の方法

自転車運動時や安静時に温熱を負荷する条件（お湯をスーツ内に循環させる方法など）での体温・循環（呼吸も含む）調節反応を比較することで、運動に関わる要因の単独と相互作用を検討した。また、高温下（環境温 35℃、相対湿度 50%）で最大随意筋収縮の 50% の静的な握運動を非利き腕で 1 分間実施した後、運動終了直前に上腕をカフで 1 分間

阻血し、筋代謝受容器を選択的に賦活させた。このときに被験者は最大酸素摂取量の 30% の自転車運動を 1 分間実施した。阻血中に自転車運動を行うときの熱放散反応（筋代謝受容器が賦活しているときにセントラルコマンド・筋機械受容器の入力が作用した場合の反応）と自転車運動時のみの熱放散反応（セントラルコマンドと筋機械受容器が主として作用しているときの反応）を比較することにより、熱放散反応に及ぼすセントラルコマンド・筋機械受容器と筋代謝受容器との相互作用の影響を検討した。さらに、筋代謝受容器反射時に同一部位を 2 秒に 1 回、50mmHg の圧で加圧することにより、筋機械受容器と筋代謝受容器の相互作用も検討した。加えて、最大酸素摂取量の 60% の自転車運動時に大腿をカフで加圧した場合の体温・循環調節反応から体温などの温熱性要因とそれ以外の要因（非温熱性要因）の相互作用を検討した。被験者は健常な学生とし、体力（最大酸素摂取量など）の異なる学生も用い、さらに、持久的やレジスタンス運動トレーニングによる体温・循環調節への影響も検討した。加えて、本研究とこれまでの研究との比較から、それぞれの結果を比較検討した。

4. 研究成果

1) 運動に関わる要因の単独作用

① 運動時の発汗・皮膚血流調節は安静時温熱負荷時のそれと異なり、特に、後者に関係する上腕の表在性静脈と導管動脈の体温上昇時の変化は安静時では直線的であるが、運動時には体温上昇初期に低下し、その後、上昇に転じた。これらは、運動に関わる要因の相互作用が熱放散に関わる表在性静脈と導管動脈に影響を及ぼしていること示している。

② 運動時に関わる要因の単独作用として、本研究とこれまでの研究により、図 1 に示す影響が明らかとなった。これらの結果から、例えば、運動時に関わる要因のセントラルコマンド・筋代謝受容器・筋機械受容器は発汗反応に関しては促進的に作用するが、皮膚血管

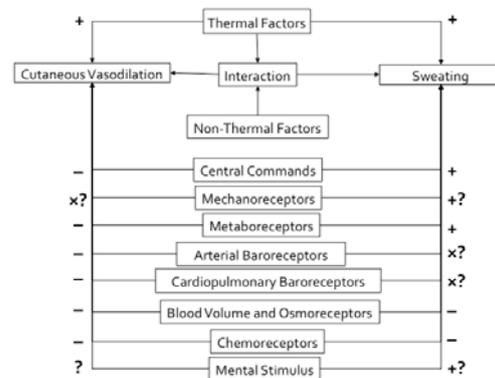


図 1 運動に関わる要因と熱放散への影響

拡張に関しては拡張程度を抑制することが考えられる。運動時においては、これらの入力体温を維持するための熱放散調節と、血圧を維持するための皮膚血流調節とに相互に影響を及ぼしていることを示している。また、運動に関わる要因として、本研究以外のものも多くあり、本研究においてそれらの入力をコントロールできておらず、課題として今後検討する必要がある。

## 2) 運動に関わる要因の相互作用

①運動に関わる要因として、セントラルコマンド・筋機械受容器・筋代謝受容器の相互作用を検討した(図2)。セントラルコマンド+筋機械受容器(図の△)の作用と筋代謝受容器のみ(○)作用したときの発汗反応に対する影響は同じであるが、この要因が全て作用したときの影響(●)はさらに大きくなった。このことから、運動に関わる要因が相互に作用することで、要因の体温調節機構への影響は大きくなることが示唆される。これに関連して、筋機械受容器+筋代謝受容器の影響もそれぞれの単独作用より大きくなる可能性がみられた。

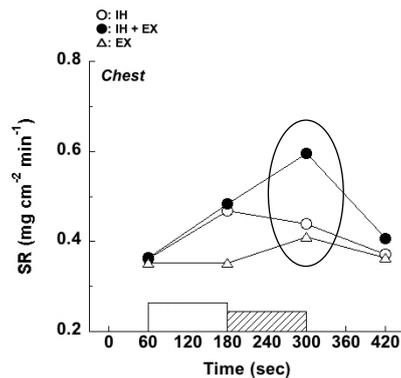


図2 非温熱性要因の相互作用

②大腿を圧迫して自転車運動を行うと生体への負担が大きくなるが、この時の熱放散への影響は発汗に対して促進的に(●)、皮膚血管拡張に関しては運動後半に抑制的に影響することが分かった(図3)。発汗に対しては発汗開始閾値の低下がみられた。この結果は、体温が上昇した場合においても運動に関わる要因が熱放散反応に影響し、特に、皮膚血管拡張への影響は体温がより大きく上昇した場合に顕著となった。これらの結果は温熱性要因と非温熱性要因の相互が、運動時の熱放散反応を調節し、運動継続を可能にしていることを示している。

## 3) 運動トレーニング効果

持久的、短距離的、レジスタンス運動トレーニングを行っているものの非温熱性要因

による熱放散反応(循環反応の含む)や相互作用の影響は、運動トレーニングにより改善され、その中でも筋代謝受容器反射による熱放散反応は運動トレーニングの仕方によって異なっていた。ただ、今回みられた違いが、最大酸素摂取量でみた体力の違いによるものかは不明であった。

## 4) まとめ

運動に関わる要因の相互作用が体温調節機構にどのように影響するか検討し、単独要因より大きく影響する可能性が指摘された。また、温熱性要因と非温熱性要因による体温調節反応は運動トレーニングにより両者とも影響されることから、運動を利用した温度変化に対する適応が熱中症予防に貢献することも再確認した。さらに、本研究とこれまでの研究との比較から、非温熱性要因の影響が発汗と皮膚血管拡張では異なり、このことは長時間の運動を継続するために欠かせない作用である可能性も見出せた(図1)。今後は、非温熱性要因が熱放散反応の体温閾値等にどのような影響を及ぼしているのか、今回主に検討した要因以外の要因の相互作用は、また、どのような運動トレーニングを行えばより体温調節機構を改善できるのか等、の課題が考えられる。

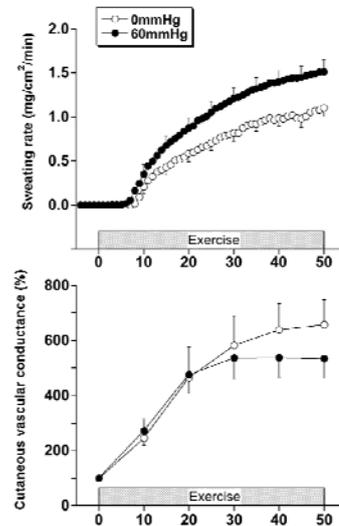


図3 温熱性要因と非温熱性要因の相互作用

## 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 13 件)

- ① Kondo N, Nishiyasu T, Inoue Y, Koga S.  
Non-thermal modification of heat-loss

- responses during exercise in humans. *Eur J Appl Physiol* (review), in press  
査読有
- ② Kondo N, Taylor NAS, Shibasaki M, Aoki K, Muhamed AMC. Thermoregulatory adaptation in humans and its modifying factors (review). *Global Environmental Research* 13: 35-41, 2009. 査読有
- ③ Ichinose KT, 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. 査読有
- ④ Saito M, Iwase S, Hachiya T. Resistance exercise training enhances sympathetic nerve activity during fatigue-inducing isometric handgrip trials. *Eur J Appl Physiol* 105: 225-234, 2009. 査読有
- ⑤ Ichinose M, Saito M, Kondo N, Nishiyasu T. Baroreflex and muscle metaboreflex: control of muscle sympathetic nerve activity. *Med Sci Sports Exerc* 40: 2037-2045, 2008. 査読有
- ⑥ Ooue A, Ichinose-Kuwahara T, Inoue Y, Nishiyasu T, Koga S, Kondo N. Changes in blood flow in the conduit artery and veins of the upper arm during leg exercise in humans. *Eur J Appl Physiol* 103: 367-373, 2008. 査読有
- ⑦ Ichinose M, Saito M, Fujii N, Ogawa T, Hayashi K, Kondo N, Nishiyasu T. Modulation of the control of muscle sympathetic nerve activity during incremental leg cycling. *J Physiol* 586(Pt 11): 2753-2766, 2008. 査読有
- ⑧ Fujii N, Honda Y, Hayashi K, Soya H, Kondo N, Nishiyasu T. Comparison of hyperthermic hyperpnea elicited during rest and submaximal, moderate intensity exercise. *J Appl Physiol* 104: 998-1005, 2008. 査読有
- ⑨ Ooue A, Ichinose-Kuwahara T, Shamsuddin AK, Inoue Y, Nishiyasu T, Koga S, Kondo N. Changes in blood flow in a conduit artery and superficial vein of the upper arm during passive heating in humans. *Eur J Appl Physiol* 101: 97-103, 2007. 査読有
- ⑩ Ooue A, Ichinose KT, Saito T, Inoue Y, Nishiyasu T, Koga S, Kondo N. Changes in blood flow in the superficial and deep veins of the upper arm during leg exercise in humans. *Environmental Ergonomics* 12: 255-258, 2007. 査読有
- ⑪ 近藤徳彦. 運動時の発汗と体温調節. *MB Derm* 124: 20-26, 2007
- ⑫ Kondo N, Inoue Y, Koga S, Nishiyasu T. The effect of non-thermal factors on heat loss responses during exercise in humans. *Environmental Ergonomics* 12: 241-244, 2007. 査読有
- ⑬ Inoue Y, Ichinose KT, 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. 査読有
- [学会発表] (計 5 件)
- ① Kondo N. Thermoregulation during exercise in humans. 2009 International Conference of Exercise Physiology by Korean Society of Exercise Physiology, 2009. 11. 6, Seoul (invited presentation).
- ② 天野達郎, 大上安奈, 古賀俊策, 近藤徳彦. 短距離選手と長距離選手における静的運動時の非温熱性熱放散反応. 第64回日本体力医学会大会, 2009. 9. 20, 新潟.
- ③ 斎藤 満: ヒトの運動時の自律神経調節, 近藤徳彦: 運動時におけるヒトの熱放散調節, 日本生理人類学会第58回大会, 2008. 6. 8, 大阪市立大学.
- ④ Ooue A, Minson CT, Ichinose TK, Inoue Y, Nishiyasu T, Koga S, Kondo N. Blood flow responses in conduit vessels of the inactive limb during passive heating and exercise. 55th Annual Meeting American College of Sports Medicine, 2008. 5. 29, Indianapolis.
- ⑤ Kondo N, Inoue Y, Koga S, Nishiyasu T. The effect of non-thermal factors on heat loss responses during exercise in humans. The 12th International Conference of Environmental Ergonomics, 2007. 8. 21, スロベニア (invited presentation).

〔図書〕（計3件）

- ① 宮村実晴編, 真興交易出版, 身体トレーニング, section 12-1. 山崎文夫, 近藤徳彦 熱放散特性 pp. 346-350, section 12-4. 近藤徳彦, 一之瀬 (桑原) 智子, 井上芳光, 女性の運動トレーニング効果 pp. 362-366, 2009.
- ② Taylor NAS, Groeller H, Eds, Springer, Physiological bases of human performance during work and exercise. Chap. 19. Taylor NAS, Kondo N, Kenney WL. The physiology of acute heat exposure, with implications for human performance in the heat. pp.341-358, 2008.
- ③ 斉藤 満 (編集), NAP出版, 循環II 運動時の調節と適応, 2007, 234

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

近藤 徳彦 (KONDO NARIHIKO)  
神戸大学・大学院人間発達環境学研究科・教授

研究者番号：70215458

### (2) 研究分担者

西保 岳 (NISHIYASU TAKESHI)  
筑波大学・大学院人間総合科学研究科・准教授

研究者番号：90237751

斉藤 満 (SAITO MITSURU)  
豊田工業大学・工学部・教授  
研究者番号：80126862

古賀 俊策 (KOGA SHUNSAKU)  
神戸芸術工科大学・デザイン学部・教授  
研究者番号：50125712

井上 芳光 (INOUE YOSHIMITSU)  
大阪国際大学・人間科学部・教授  
研究者番号：70122566