

〔事例報告〕

女性若手ゴルフ選手を対象とした暑熱順化トレーニングによる 体温調節反応及び発汗機能の変化

小 島 史 子*
鬼 塚 純 玲*
長谷川 博*

Changes in thermoregulatory response and sweating function
by heat acclimation training in young golf female player.

KOJIMA FUMIKO

(Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University)

ONITSUKA SUMIRE

(Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University)

HASEGAWA HIROSHI

(Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University)

Abstract

The aim of this study was to improve the thermoregulatory response and sweating function by 10-days heat acclimation training for young female golf player (age: 21yr, height: 157 cm, weight: 63 kg, BMI: 25.6). The subject performed the maximum load test (Test) by the bicycle ergometer before the heat acclimatization training (Test 1), after 5 days of the heat acclimatization training (Test 2) and after the 10-days heat acclimatization training (Test 3). Heat acclimatization (HA) was cycling for 60 minutes at 55% of the maximum workload (Wattmax) in the heat (room temperature 32°C, 60% relative humidity). The maximum oxygen uptake in Test 3 (39.4 ml/min/kg) increased compared with Test 1 (33.9 ml/min/kg) and Test 2 (33.1 ml/min/kg). In Day 1 and Day 10 of HA (HA1 and HA10, respectively), T_{re} at rest increased from 37.49°C (HA 1) to 37.79°C (HA 10), but the rate of increase in T_{re} was lower in HA 10 (0.84°C) than in HA 1 (1°C). The sweat rate at HA10 (605 g) was larger than HA 1 (505 g). The female amateur golf player used in this study showed that the thermoregulatory and cardiovascular responses, and the sweating function were improved by the 10-days heat acclimatization training.

* 広島大学総合科学研究科

1. はじめに

暑熱環境下での運動は、過度な体温の上昇により、発汗量や心臓循環系ストレスの増大、脱水などの生体負担を増加させ、その結果パフォーマンスの低下や、ひいては熱中症の発生につながる。しかしながら、近年の競技会は、厳しい暑熱環境下で行われているため、このような環境下でも十分なパフォーマンスを発揮させるために、いかに良いコンディションで試合に望めるかが重要となる。

近年の競技現場での暑さ対策の一つとして、暑熱順化が注目されている。暑熱順化とは、暑熱環境における繰り返しの曝露や持久性トレーニングを継続することにより、暑熱ストレスに対する抵抗力（暑熱耐性）が高くなり、暑さに身体が適応することをいう。暑熱順化による身体の変化として様々な効果が報告されている。暑熱順化は、安静時体温や運動時の体温上昇度の抑制をもたらし、体温調節機能を改善させる。また、皮膚血流や発汗反応の改善による熱放散機能の向上、血漿量や体水分量増加による体液バランスの改善、さらに心臓循環系の改善などの身体の様々な機能が向上するため、持久性運動能力は向上し、熱中症の危険性も少なくなると考えられている（長谷川及び小島, 2017; 安松, 2015; Lorenzo et al, 2010; Periard et al, 2015)。Nilsenら(1993)は、暑熱環境下で疲労困憊に至るまでの自転車運動を10日間連続して行くと、日数の増加とともに運動前の深部体温が低下し、運動継続時間が延長することを報告した。Lorenzoら(2010)は、10日間の暑熱順化後において、暑熱順化前と比較してタイムトライアルパフォーマンスが向上したと報告した。また、Castleら(2011)は同じような暑熱環境下における中程度の持久性運動による10日間の暑熱順化により、間欠的運動パフォーマンスが向上したと報告した。さらにMeeら(2015)は、女性においても10日間の90分間の自転車運動により、運動前の深部体温の低下や発汗量の増加を報告した。このように暑熱順化は、

様々な運動パフォーマンスを向上させ、女性においても効果的である可能性がある。

暑熱順化を開始すると、3日前後から発汗量の増加、心拍数の低下、体温上昇度の抑制といった生理学的反応がみられる。しかしながら、競技アスリートが暑熱環境下で最適な運動パフォーマンスを発揮するには、7から10日必要とされており(Maughan, 2010)。また、暑熱順化により獲得した機能は、暑熱順化終了後、約1週間から1ヶ月間保持される(安松, 2015)。実際の競技現場において、2014年のFIFAワールドカップブラジル大会に向けたサッカー日本代表は、暑熱順化トレーニングを兼ねて、ブラジルに入る10日前から気温30℃以上の米国マイアミで事前合宿を行っている。このようなスポーツにおける暑さ対策は、他のスポーツにとっても重要である。ゴルフは、他のスポーツと比較して運動強度は高くないが(井奈波ら, 2011)、屋外の暑熱環境下で長時間プレーをするため、ゴルフ事故は夏季に最も多く、ゴルフ選手のみならずゴルフ場で働くキャディーの脱水や熱中症も多数報告されている(吉原ら, 2008)。アマチュア選手が受験する最終プロテストは、毎年7月末の環境条件が厳しい中で行われている。また対象者は過去の最終プロテストにおいて熱中症を発症しており、運動強度が高くないゴルフ競技においても実践的な暑さ対策を積極的に行う必要があった。

そこで本研究は、女性若手ゴルフ選手を対象に、2017年7月25日から28日に富山県で実施される最終プロテストに向けて、体温調節反応及び発汗機能の向上を目的とした暑熱順化トレーニングを行った。

2. 方法

2-1. 対象者

女子アマチュアゴルフ選手1名(年齢:21歳, 身長:157cm, 体重:63kg, BMI:25.6)を対象とした。

2-2. 実験期間

2017年7月3日から18日の15日間実施した。

2-3. 実験手順

最大負荷テスト (Test)

最大負荷テストはトレーニング初回の前日 (Test1), トレーニング5日後 (Test2) 及びトレーニング10日後 (Test3) の計3回行われた。被験者が研究室に到着後, 看護師が前腕の静脈から採血を行った。最大負荷テストでは, 被験者が室温23℃及び相対湿度50%に設定された人工気象室に入室後, 漸増負荷法による自転車エルゴメーター (コンビ社製, AEROBIKE710) 運動によって, 走行時間 (Time), 最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_2\max$) 及び最大運動強度 (Wattmax) を測定した。3分間の安静後, 20Wで5分間のウォーミングアップを行い, その後60Wに負荷を上げ, 1分ごとに10Wずつ負荷を上げた。被験者には疲労困憊に至るまでペダル回転数60回転を維持するように伝え, 60回転を10秒以上維持できないとき, もしくは推定最大心拍数 (220-年齢) に達したときに運動を終了させた。

暑熱順化トレーニング (HA)

トレーニングは計10回行った。トレーニング時の体調を整えるために, 被験者には毎日の日誌や基礎体温を記入してもらい, また, 研究室に同じ時間帯に訪問するように伝えた。被験者は研究室に到着後, 10cmのVisual Analog Scale (VAS) により当日の体調を記入し, その後, 尿比重及び全裸体重を測定し, 直腸温, 心拍数計及び局所発汗量プローブを装着した。被験者は室温32℃, 相対湿度60%に設定された人工気象室に入室し, 自転車エルゴメーター (コンビ社製, AEROBIKE710) 上で, 5分間座位安静を保ち, その後60分間の自転車エルゴメーター運動を55% Wattmaxの強度で行った。強度は, 1から5回目のトレーニング時 (HA1からHA5) においては, Test1の最大運動強度を採用し, 6から10回目のトレーニング時 (HA6からHA10)

においては, Test2の最大運動強度を採用した。運動中, 冷蔵庫で冷やされたミネラルウォーター (コカコーラ社製, いろはす) 555mlを自由摂取し, 60分間ですべて摂取するよう指示した。また, 運動中の音楽を許可し, すべてのトレーニングで同じ音楽を再生するよう指示した。運動終了後, 汗を拭いた後に, 全裸体重及び尿比重を測定した。

2-4. 測定項目

生理的指標として, 直腸温 (T_{re}), 局所発汗量 (LSR), 心拍数, 尿比重, 全裸体重を測定した。直腸温は, 直腸温測定用潤滑剤スルゼリー (Teimoku Medix社製) をサーミスタープローブ用ゴムカバー (日機装サーモ株式会社製) を装着したサーミスタープローブ (日機装サーモ株式会社製) の先に塗り, 肛門括約筋から10~12cm挿入して測定した。

局所発汗量は, 局所発汗計2チャンネルタイプ (有限会社スキノス技研社製) を用いて, 換気カプセル法により, 胸部と前腕部において測定した。心拍数はハートレートモニター (POLAR社製, V800) を用いて測定した。直腸温, 局所発汗量, 心拍数は, 実験中5分毎に測定した。

また3回のテスト時においてのみ採血し, 以下の式を用いて各項目について算出した。血漿量は, ヘマトクリット (Hct%) とヘモグロビン (Hb mg/dL) から評価した (Dill, 1974)。

$$BVA = BVB \left(\frac{HbB}{HbA} \right)$$

$$CVA = BVA \left(\frac{HctA}{HctB} \right)$$

$$PVA = BVA - CVA$$

$$PVB = BVB - CVB$$

$$PVA = BVA - CVA$$

BVBは100に設定し, BはTest1, AはTest2, 3としてそれぞれTest1と比較して計算した。BV, CVとPVはそれぞれ血液量, 赤血球量と血漿量を示した。

3. 結果

3-1. 最大負荷テスト

3回のテストの最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_2\max$) は,

Test 2において、Test 1と比較し低値を示したが、Test 3において、Test 1及びTest 2と比較し、高値を示した（Test 1, Test 2及びTest 3それぞれ33.9, 33.1及び39.4 ml/kg/min）。また、最大運動強度（Wattmax）は、Test 3において、Test 1及びTest 2と比較し、高値を示した（Test

1, Test 2及びTest 3それぞれ160, 180及び190W）。

3-2. 暑熱順化トレーニング

暑熱順化トレーニング10日間の直腸温及び心拍数の経時的变化をFig. 1とFig. 2に示した。

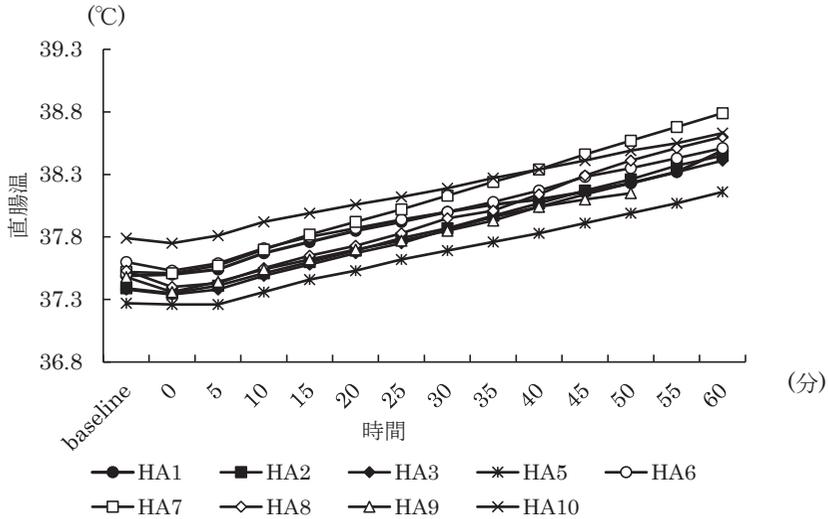


Fig. 1 10日間の暑熱順化トレーニング中の直腸温の経時的变化

HA：暑熱順化トレーニング

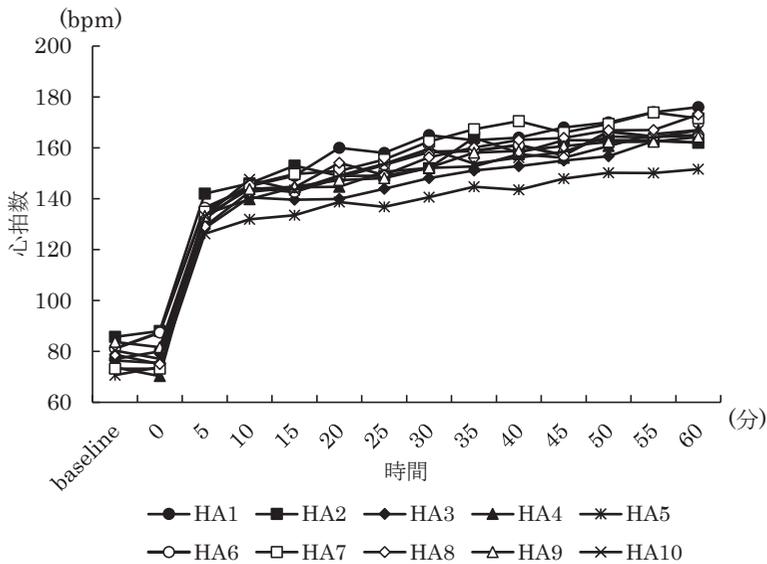


Fig. 2 10日間の暑熱順化トレーニング中の心拍数の経時的变化

HA：暑熱順化トレーニング

Table. 1 3回の暑熱順化トレーニング中の生理的反応

	HA 1	HA 5	HA10
T _{re} rest (°C)	37.49	37.27	37.79
T _{re} peak (°C)	38.49	38.16	38.63
T _{re} change (°C)	1.00	0.89	0.84
HR rest (bpm)	77.0	70.7	80.4
HR peak (bpm)	176.0	151.6	166.9
Sweat rate (g)	505	555	605
Local sweat rate (chest) (mg)	96.9	100.5	133.3
Local sweat rate (forearm) (mg)	69.5	91.8	106.6

HA 1：暑熱順化トレーニング1日目, HA 5：暑熱順化トレーニング5日目,
HA10：暑熱順化トレーニング10日目, T_{re}: rectal temperature, HR: heart rate

なお、4日目のトレーニング(HA4)の直腸温は測定不備により除外した。さらに、1回目のトレーニング(HA1)、5回目のトレーニング(HA5)及び10回目のトレーニング(HA10)の直腸温、心拍数、発汗量及び局所発汗量の結果をTable.1に示した。HA1と比較し、HA5において、安静時及び運動終了時の直腸温、直腸温上昇度は低値を示し、安静時及び運動終了時の心拍数もまた低値を示した。さらに、総発汗量、胸部及び前腕部の発汗量は高値を示した。HA1と比較し、HA10において、安静時及び運動終了時の直腸温が高値を示し、さらに、総発汗量、胸部

及び前腕部の発汗量は増加した。

直腸温と各部位の局所発汗量の相関関係をそれぞれFig.3-1とFig.3-2に示した。回帰直線の傾きをa、切片をbとし、発汗開始深部体温閾値(-b/a)を求めると、胸部において、HA1は36.59°C、HA5は36.90°C、HA10は36.65°Cとなり、前腕部において、HA1は36.36°C、HA5は36.73°C、HA10は37.20°Cとなった。回帰直線の勾配は、胸部と前腕部ともに、HA5及びHA10においてHA1と比較して増大した。

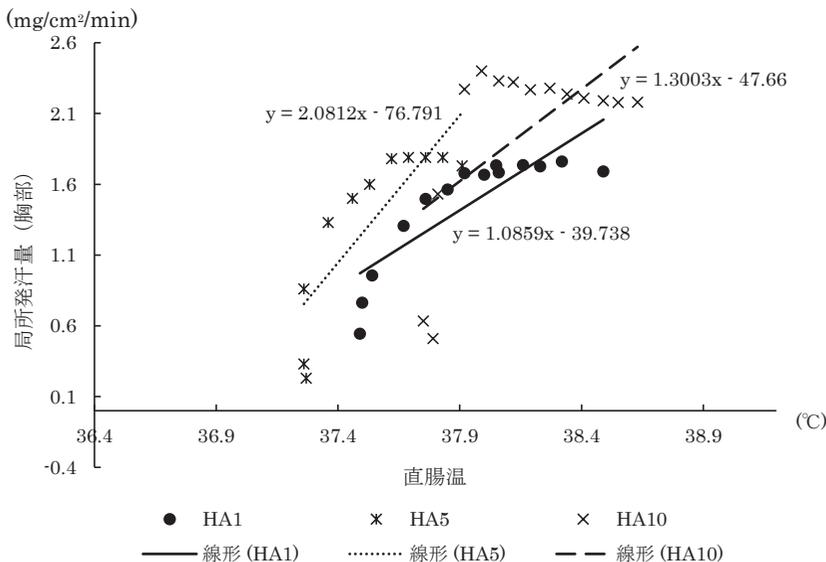


Fig. 3-1 3回の暑熱順化トレーニング中の直腸温と局所発汗量(胸部)の関係

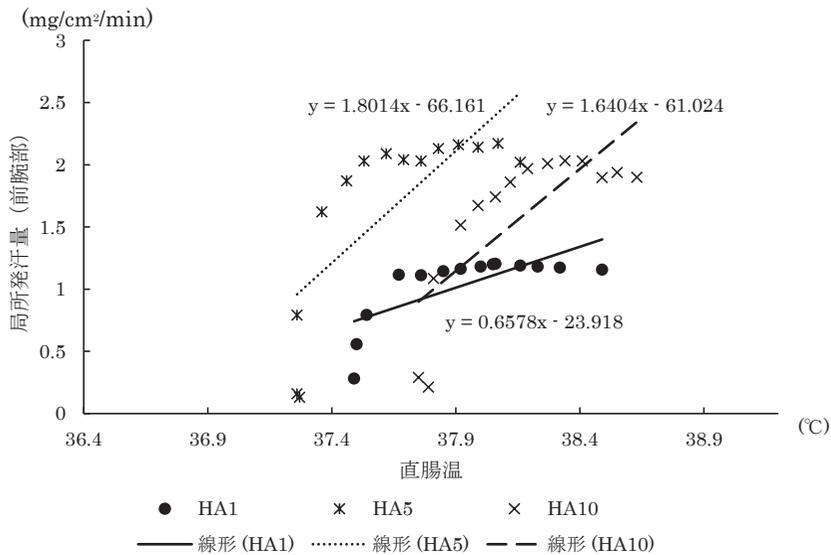


Fig. 3-2 3回の暑熱順化トレーニング中の直腸温と局所発汗量（前腕部）の関係

3-3. 血液分析

血液量は、Test 1 と比較し、Test 2 において 6.1%、Test 3 において 13.9% 増加した (Test 1、Test 2 及び Test 3 それぞれ 100、106.1 及び 113.9mL)。同様に、血漿量は、Test 1 と比較し、Test 2 において 12.6%、Test 3 において 20.7% 増加した (Test 1、Test 2 及び Test 3 それぞれ 59、66.4 及び 71.2mL)。

4. 考察

本研究は、女性若手ゴルフ選手を対象に体温調節反応及び発汗機能の向上を目的とし暑熱順化トレーニングを行った。暑熱順化トレーニングの最終日の安静時の直腸温及び心拍数は低下しなかったが、発汗量や循環血液量の増加、心循環系ストレスの低下といった暑熱順化による生理的反応の改善が観察された。

本研究における暑熱順化トレーニングにおいて、運動開始前の直腸温は HA 1 では 37.49℃、HA 5 では 37.27℃、HA10 では 37.79℃であり、HA10 において暑熱順化トレーニング後の安静時の体温は上昇した。したがって、これらの結果は

暑熱順化後に安静時の体温が低下するという Nielsen ら (1993) の研究と一致しなかった。この原因として、性周期が影響している可能性がある。本研究は 15 日間にかけて行われたため、2 つの性周期段階が存在したと考えられる。性周期の黄体期中のプロゲステロンの上昇は、安静時深部体温を ~0.34℃、発汗開始閾値を 0.29℃ として、皮膚血管拡張体温閾値を 0.23 - 0.30℃ それぞれ上昇させる (Inoue et al., 2005)。対象者の自己報告や基礎体温の結果から、HA 1 及び HA 5 は卵胞期、一方で HA10 は一般的に基礎体温が高い黄体期であった可能性が高い。そのため、HA10 において安静時深部体温が高値を示した可能性がある。しかしながら、運動終了後の直腸温は、HA 1 では 38.49℃、HA10 では 38.63℃ であり、安静時から運動終了時までの直腸温の上昇温度は、HA 1 では 1℃、HA10 では 0.84℃ であった。よって、HA10 の直腸温の上昇度は、HA 1 よりも低いことが観察され、暑熱順化による運動時の体温の上昇度が低下するという意見を支持する (Périard et al., 2015)。安静時直腸温は低下しなかったが、運動時の体温上昇度の低下により体温調節機能が改善した可能性がある。

HA5及びHA10において、暑熱順化の指標となる発汗量の増加がみられ、さらに胸部及び前腕部の局所発汗量の増加が観察された。暑熱順化により、発汗量の増大や深部体温の上昇に対する発汗量の増加度も大きくなることが明らかにされている(山崎, 2002)。さらに山崎ら(2007)は、胸部と前腕部の発汗量を測定し、発汗量の増加とともに発汗が開始される体温閾値の低下を報告した。しかしながら、本研究の結果において、HA5及びHA10はHA1と比較し、発汗開始閾値の上昇が観察された。発汗の深部体温閾値の低下は、安静時体温の低下が主な原因であると考えられているが、本研究のHA10において、運動開始前の直腸温の低下は観察されず、発汗開始閾値も低下しなかった。Meeら(2015)は、女性を対象とした5日間の暑熱順化トレーニングを行い、安静時の深部体温は低下しなかったにもかかわらず発汗機能が向上したと報告した。このメカニズムとして、エクリン汗腺のコリン作動性感受性の増加及び腺肥大の増加(Buono et al., 2009)によるエクリン汗腺の温度応答に対する末梢性の変化が考えられている。本研究において、回帰直線の勾配が増大したことから、発汗の感受性が改善した可能性がある。暑熱順化により発汗の感受性も改善することが報告されているため(Périard et al., 2015)、本研究の発汗量の増加は、発汗の感受性の改善に伴う末梢性の変化が影響した可能性が考えられる。

また、Meeら(2015)の研究では血液量を測定していなかった。本研究のTest時の血液分析において、暑熱順化トレーニングによる血液量及び血漿量の増加がみられた。循環血液量は運動トレーニングによって約10%、血漿量においては最大で約20%増加することが報告されている(Sawka et al., 2000)。暑熱負荷による血液量増加のメカニズムは明らかにされていないが、アルブミンの増加が関与していると考えられている(Senay et al., 1976)。さらにTylor(2014)は、暑熱順化に関連する発汗量の増加や心臓循環ストレスの低下の維持には、血漿量の変化が貢献する

と報告した。循環血液量の増加は、心臓血管系の安定を助ける一回拍出量や動脈血圧の増加などの血管充満圧を増加させるため、皮膚血流量や発汗量を増加させる可能性がある。また、本研究では、最大負荷テスト時の最大酸素摂取量の増加や、トレーニングにおける運動終了時の心拍数の低下により心臓循環系機能が改善した。循環血液量は最大酸素摂取量と正の相関を示すため(Yoshida et al., 1997)、最大負荷テスト時の最大酸素摂取量の増加は、循環血液量の増加と関連すると考えられる。以上のことから、本研究における循環血液量の増加が、発汗量や心臓循環系ストレスの改善に貢献した可能性が考えられる。

女性の暑熱順化に関する研究は少なく、暑熱順化に性周期が関与するかどうかはまだ明らかにされていない。本研究において安静時直腸温の上昇は、性周期が関与する可能性があるが、一方で、発汗量や循環血液量の増加には性周期が関与しない可能性がある。高温環境下での運動時は、性周期が発汗の感受性に関与せず、血漿量は黄体期に低下することが明らかにされている(Stachenfeld et al., 2001)。したがって、女性の性周期に関連するプロゲステロンの変動が暑熱適応に及ぼす影響は小さい可能性がある(Inoue et al., 2005; Mee et al., 2015)。しかしながら、本研究の被験者は、月経不順に陥りやすい長距離ランナーや表現系競技種目選手より体脂肪率が高いため、性ホルモンの影響が大きい可能性がある。したがって、今後さらに女性の性周期や体組成を考慮し、暑熱順化の影響を検討する必要がある。

結論として、本研究により、普段から持久性運動を行っていない女性アマチュアゴルフ選手においても、10日間の暑熱順化トレーニングにより、暑熱順化の指標である運動時の体温上昇度の低下、発汗量の増加及び心臓循環系の改善が観察された。しかしながら、本研究の被験者は1名であり、さらに皮膚温や皮膚血流量を測定していないため、暑熱順化による生理的反応の改善に関して議論の余地がある。女性の暑熱順化に関して、実験の統制や被験者の人数を増やすなどさらなる研

究が必要である。

5. 文献

- Buono MJ, Martha SL, Heaney JH (2009) Peripheral sweat gland function is improved with humid heat acclimation. *J Therm Biol.* 34 (3): 127-130.
- Castle P, Mackenzie RW, Maxwell N, Webborn AD, Watt PW (2011) Heat acclimation improves intermittent sprinting in the heat but additional pre-cooling offers no further ergogenic effect. *J Sport Sci.* 29 (11): 1125-1134.
- Dill DB, Costill DL (1974) Calculation of percentage changes in volumes of blood, plasma, and red cells in dehydration. *J Appl Physiol.* 37(2): 247-248.
- 長谷川 博, 小島 史子 (2017) 暑熱環境におけるコンディショニング. *トレーニング科学.* 28 (4): 161-166.
- 井奈波 良一, 広瀬 万宝子 (2011) ゴルフ場コース管理従事者の夏期の自覚症状と暑熱対策. *日本職業・災害医学会誌 JJOMT.* 59 (2): 63-68.
- 井上 芳光, 近藤 徳彦 (2010) 体温Ⅱ—体温調節システムとその適応—ナップ: 東京, 186-192.
- Inoue Y, Tanaka Y, Omori K, Kuwahara T, Ogura Y, Ueda H (2005) Sex- and menstrual cycle-related differences in sweating and cutaneous blood flow in response to passive heat exposure. *Eur J Appl Physiol.* 94 (3): 323-332.
- Lorenzo S, Halliwill J, Sawka MN, Minson CT (2010) Heat acclimation improves exercise performance. *J Appl Physiol.* 109 (4): 1140-1147.
- Maughan RJ, Shirreffs SM, Ozguen KT, Kurdak SS, Ersoz G, Binnet MS, Dvorak J (2010) Living, training and playing in the heat: challenges to the football player and strategies for coping with environmental extremes. *Scand J Med Sci Sports.* 20 (3): 117-124.
- Mee JA, Gibson OR, Doust J, Maxwell NS (2015) A comparison of males and females' temporal patterning to short- and long-term heat acclimation. *Scand J Med Sci Sports.* 25 (1): 250-258.
- Nielsen B, Hales JR, Strange S, Christensen NJ, Warberg J, Saltin B (1993) Human circulatory and thermoregulatory adaptations with heat acclimation and exercise in a hot, dry environment. *J Physiol.* 460: 467-485.
- Périard JD, Racinais S, Sawka MN (2015) Adaptations and mechanisms of human heat acclimation: applications for competitive athletes and sports. *Scand J Med Sci Sports.* 25: 20-38.
- Sawka MN, Convertino VA, Eichner ER, Schnieder SM, Young AJ (2000) Blood volume: importance and adaptations to exercise training, environmental stresses and trauma sickness. *Med Sci Sports Exerc.* 32: 332-348.
- Senay LC, Mitchell D, Wyndham CH (1976) Acclimatization in a hot, humid environment: body fluid adjustments. *J Appl Physiol.* 40: 786-796.
- 瀬尾 京子, 梅田 孝, 高橋 一平, 檀上 和真, 松坂 方士, 中路 重之 (2011) 女性アスリートにおける栄養摂取と体脂肪の蓄積状況が性ホルモン及び好中球機能に及ぼす影響について. *弘前医学.* 62: 44-55.
- Stachenfeld NS, Keefe DL, Palter SF (2001) Estrogen and progesterone effects on transcapillary fluid dynamics. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 281: R1319-R1329.
- Taylor NAS (2014) Human heat adaptation. *Compr Physiol.* 4 (1): 325-365.
- 安松 幹展 (2015) 競技アスリートに対する暑熱順化の重要性と応用. *トレーニング科学.* 26 (3): 133-138.

- 山崎 文夫 (2002) 運動トレーニングと暑熱順化による修飾作用. ナップ. 東京. 146-155.
- 山崎 文夫, (2007) 汗の拍出頻度よりみた短期暑熱順化による発汗機能の変化. 産業医大誌. 29: 431-438.
- Yoshida T, Nagasima K, Nose H, Kawabata T, Nakai S, Yorimoto A, Morimoto T (1997) Relationship between aerobic power, blood volume, and thermoregulatory responses to exercise-heat stress. Med Sci Sports Exerc. 29: 867-873.
- 吉原 紳, 山本 唯博, 加藤 象二郎, 北 徹朗 (2008) ゴルフの安全対策: ゴルフ場へのアンケート調査による事故 (外傷・障害) の実態と予防対策についての検討. 臨床スポーツ医学. 25 (4): 383-391.