

# 暑熱環境下の運動時身体機能および快適感に 及ぼす局部冷却の効果

横浜国立大学 田中英登  
(共同研究者) 東京都立大学 相原康二

## Effects of Local Cooling on Physical Functions and Sensations during Exercise Under the Hot Environment

by

Hideto Tanaka

*Faculty of Education, Yokohama National University*

Yasutsugu Aihara

*Faculty of Science, Tokyo Metropolitan University*

### ABSTRACT

To investigate the practical and effective local cooling method for preventions of heat disorder or lowering of exercise performance with exercise under the hot environment, a laboratory experiment and an investigation during the out-door sport (tennis game) were made.

In the laboratory experiment, effects of 3 local coolings [back cooling (9°C), neck & forehead cooling 1 (19°C) and neck & forehead cooling 2 (9°C)] were compared during an intermittent bicycle ergometry exercise (HRmax 60%) at ambient temperatures of 35 and 30 °C.

The coolings were performed by cooling band. In the both environmental conditions, both temperature and comfort sensations were reduced by all local coolings in comparison with control condition (no-cooling), but physiological functions of heart rate and body temperature (rectum and tympanum) were only effective in the neck & forehead cooling 2.

In a measurement during tennis game in out-door (ambient temperature of 34°C, WBGT of 30.7°C), body temperature (oral) and temperature & comfort sensations were compared between no-cooling group (control) and neck & forehead cooling (9°C) group. The both sensations were reduced by the cooling, but the oral temperature made a no different because the cooling temperature was not able to be kept 9 °C in the outside.

These results indicate that effective local cooling method for physiological function is the cooling of neck and forehead less than 10 °C. In the future, it is expected to be produced more practical and effective cooling gear, easily maintainable lower temperature for longer time.

## 要 旨

本研究は、夏期、暑熱環境下における運動に伴う熱障害発生予防および運動パフォーマンス低下の防止に有効な実用的局部冷却法を探ることを目的として、実験室内実験および屋外実験を行った。

室内実験では、環境温度35°Cおよび30°Cに設定した人工気候室において、60%HRmaxの間欠的自転車エルゴメータ運動を行わせ、背部9°C冷却、頸・前額部9°C冷却および頸・前額部19°C冷却の3条件を比較した。両環境条件において、心理的側面（温度感覚、快適感覚）は非冷却時よりも負担度は軽減される効果を示した。しかし、心拍数、体温（直腸温、鼓膜温）などの生理機能は頸・前額部9°C冷却時のみ効果があることが示された。

屋外実験では、初夏（気温34°C、WBGT30.7°C）のテニスダブルスゲーム（1時間）時に、屋内実験において効果の示された頸・前額部9°C冷却を行った冷却群と非冷却群の比較を行った。体温（舌下温）には差は見られなかったが、温度感覚および快適感覚は冷却効果が示された。

以上の結果より、暑熱環境下における運動時の冷却には頸・頭部が有効であり、冷却温度は少なくとも10°C以下の低温が必要であることが示唆

された。今回冷却に用いた市販されているような冷却バンドを9°Cにするには、冷水やアイスパックなどを用いないとできないため、非実用的である。今後、より簡易に低温を維持でき、かつ容易に装着できるような冷却装置の開発が期待される。

## 緒 言

毎年、夏期の熱障害による事故の報告は絶えず、近年の夏期の気温上昇は事故の発生予防の重要性をさらに感じさせるものである。熱障害の主な原因は、過度の体温上昇、体水分・体液電解質損失によるものであり、数年来この予防対策の研究は盛んに行われ、夏期の運動時の水分補給法や環境指標などの指摘がなされている。

近年、体温の過度の上昇を防ぐ一手段としての「身体冷却法」が考えられ、藤原ら<sup>3)</sup>の前額部および背部冷却やCabanacら<sup>1)</sup>や平田ら<sup>5)</sup>の頭部冷却、さらには菅原ら<sup>9)</sup>の前腕部冷却の効果などが報告されている。しかし、これらのほとんどの研究は実験室内で行える冷却法を用いており、実際の運動場面において使用できる冷却法についての検討がなされていない。

そこで本研究では、一般のスポーツ時に用いるために市販されている「冷却バンド」の効果につ

いて、身体機能および心理的感覚への影響を実験室内の測定および屋外テニスプレイ時の測定によって検討を行った。

## 1. 研究方法

### 1. 1 被験者

実験は実験室内および屋外で行った2実験からなる。人工気象室内における屋内実験では、健康な男子大学生(18~20歳)4名を用いた。一方、屋外実験では、男子大学生8名(20~23歳)、女子大学生3名(19~21歳)を用いた。

### 1. 2 実験方法

#### 1. 2. 1 実験室内実験

環境温度35または30℃、相対湿度50%に設定した人工気象室内で実験を行った。実験は少なくとも食後2時間経過した後、開始した。実験時の服装は短パンのみとした。

運動負荷は、モナーク社制自転車エルゴメータ運動とし、運動強度は環境温度20℃における運動において最大心拍数の60%に相当する強度を用いた。

実験プロトコルを図1に示した。被験者が人工気象室に入室後、測定用の電極を装着した(約10分)。その後、安静時の各データを5分間記録後、局部冷却を行わない対照実験以外冷却を開始し、測定開始10分目から運動を開始した。20分間運動、5分間休憩を1セットとし、計3セット行った。

冷却は35℃の気温条件では、背部冷却(温度9℃、接地面積5×8cm)、頸部・前額部冷却1(19℃、各2.5×8cm)および頸部・前額部冷却2(9℃、各2.5×8cm)の3条件とし、30℃の気温条件では、頸部・前額部の冷却1、2の2条件を行った。なお、冷却バンドは温度を維持するため各セット間に新しいものに取り替えた。

測定項目は心拍数(日本光電・ライフスコープ

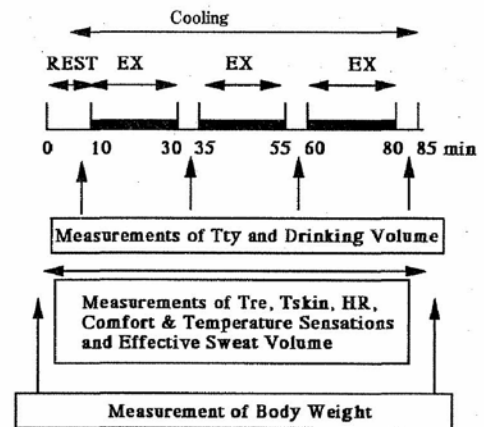


図1 Experimental protocol.

6), 直腸温, 胸部・上腕部・大腿部各皮膚温, 冷却部位温度(テクノ7・多点式サーミスター)および有効発汗量(ザルトリウス・F150S)を実験中連続測定した。快適感覚と温度感覚(Gageら<sup>4)</sup>のカテゴリースケール)は5分ごとに測定, 記録した。運動前安静時および各運動後の休憩時には自由飲水(水道水・15℃)させ飲水量を測定し, またこの期間鼓膜温(Thermoscan・Instant Thermometer)も測定した。さらに, 実験前後の体重変動と飲水総量より, 総発汗量を算出した。

#### 1. 2. 2 屋外実験

屋外実験は7月初旬に行い, 環境条件は乾球温度34℃, 相対湿度57%, WBGT30.7℃の条件であった。運動はテニスのダブルスゲーム60分間を行った。なお, 被験者のテニス技能水準は初級~中級であった。また, コートはオムニコートを使用した。

被験者を頸部・前額部に冷却バンド(冷却温度9℃)を装着した群(男子4名, 女子1名), 装着しなかった群(男子4名, 女子2名)に分け, 比較を行った。なお, 冷却効果を維持するため, アイスボックス内で低温を維持させておいた冷却バンドを約20分ごとに取り替えた。

カロリーメータによるエネルギー消費量, 測定前後の舌下温度および快適感覚・温度感覚を測定した。

### 1. 2. 3 データ処理

実験結果は、コンピュータ統計処理を行い、 $p < 0.05$ を有意な差とみなした。結果はMean ± S.D.で示した。

## 2. 実験結果

### 2. 1 実験室内実験結果

図2に環境温35℃における心拍数、直腸温上昇度、鼓膜温上昇度および3点法から求めた平均皮膚温の各条件ごとの経時的変化を示した。この運動強度における心拍数は、温熱負荷の小さい環境温20℃では約115拍/分であるが、35℃の対照実験では約140拍/分まで上昇した。背部および頸部・前額部冷却1の冷却ではこの暑熱環境による心拍数の増加を抑えることはできなかったが、頸部・前額部冷却2では有意に抑えられた。直腸温上昇度は冷却による効果は見られなかったが、鼓膜温上昇度は頸部・頭部冷却2において軽減された。平均皮膚温は各条件間に差は見られなかった。

図3に35℃における温度感覚および快適感覚の結果を示した。温度感覚において、各冷却条件における冷却バンド装着後は明らかに対照群に比べ温度感覚は軽減（温度感覚中立に向かうこと）されたが、運動中この冷却効果は小さくなった。とくに、背部冷却では運動中対照実験と差はなくなったが、他の頸部・前額部冷却1, 2では、運動を通して統計的に有意な効果が示された。快適感覚においては、すべての冷却において有意に不快感を軽減する効果が見られた。

図4に35℃における総発汗量（体重変化量と飲水量より求めた）、有効発汗量および飲水量を示した。いずれの冷却条件においても対照群と比較して差は見られなかった。

図5に環境温30℃における心拍数、直腸温上昇度、鼓膜温上昇度および平均皮膚温の経時的変化を示した。心拍数は運動中および休憩中とも各

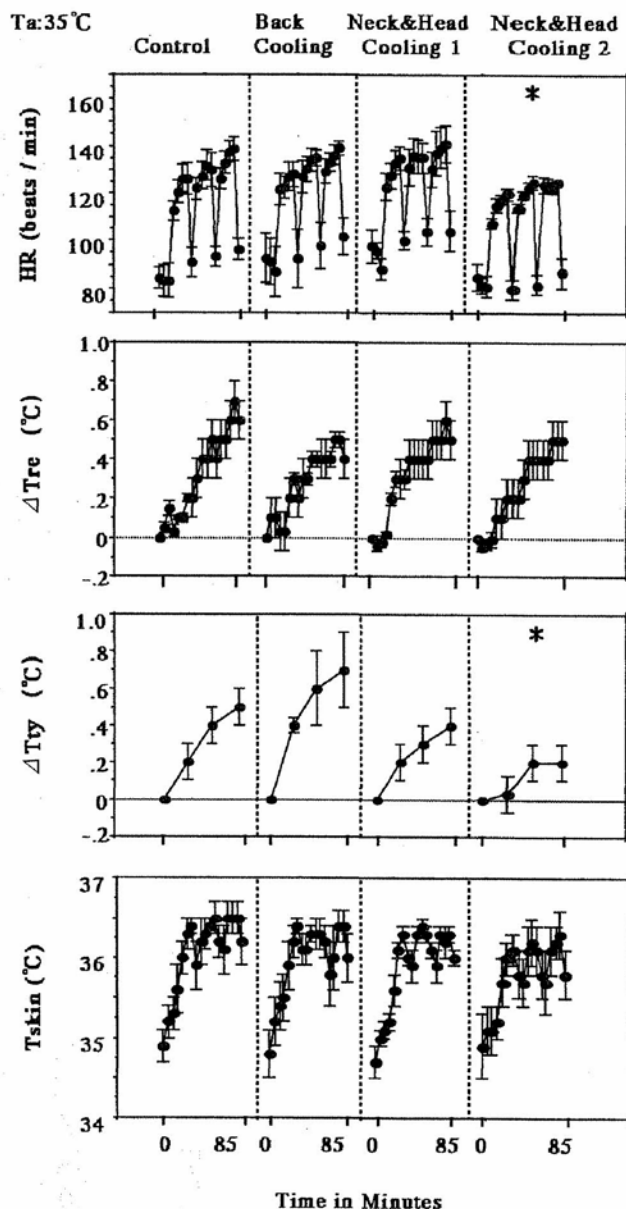


図2 Heart rate (HR), change of rectal temperature ( $\Delta T_{re}$ ), change of tympanic temperature ( $\Delta T_{ty}$ ) and mean skin temperature ( $T_{skin}$ ) in control and 3 local cooling conditions at ambient temperature of 35°C

条件間に差は見られず、運動中の平均心拍数は約125拍/分であった。直腸温上昇度において頸部・頭部冷却1は対照群と差はなく、80分目（運動3セット目終了時）平均約0.7℃の上昇が示された。一方、頸部・頭部冷却2は直腸温の上昇を有意に抑え、80分目約0.4℃であった。鼓膜温上昇度においても直腸温変動と同様の傾向が見られた。平均皮膚温は頸部・前額部冷却2に

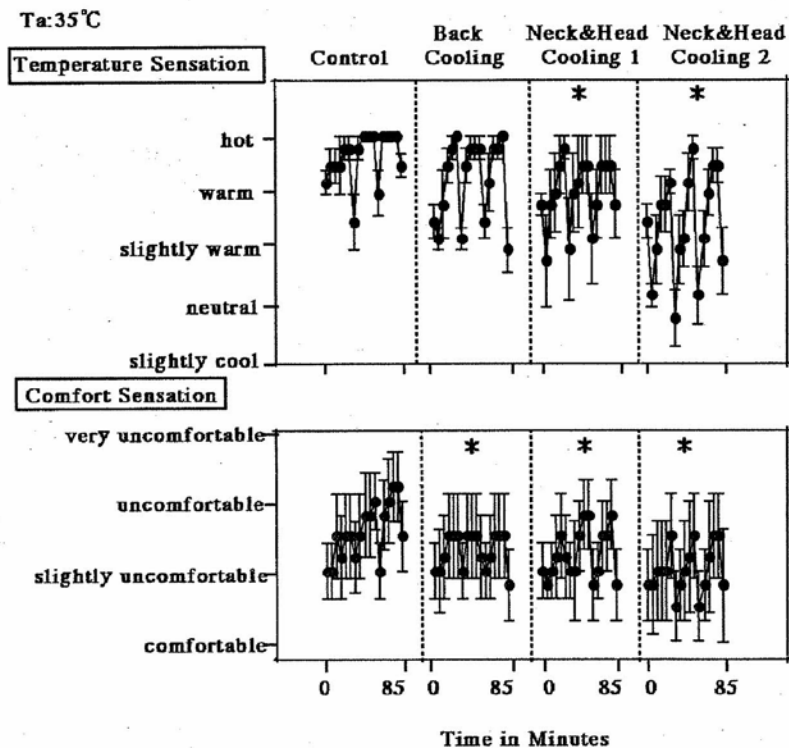


図3 Temperature and comfort sensations in control and 3 local cooling conditions at ambient temperature of 35 °C

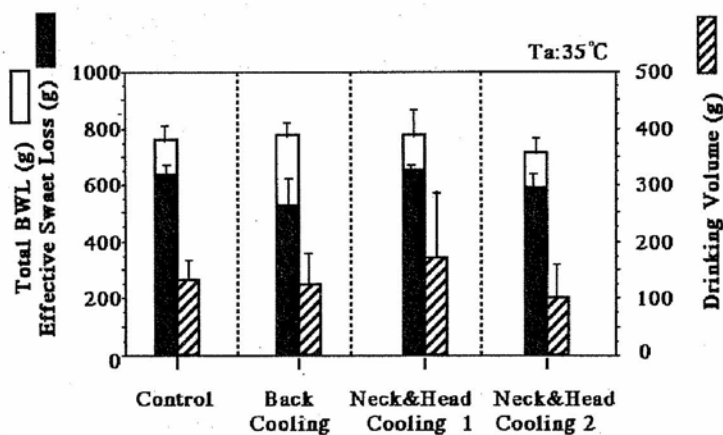


図4 Total body water loss, effective sweat loss and drinking volume in control and 3 local cooling conditions at ambient temperature of 35°C

において有意な低下が見られた。

図6に30°Cにおける温度感覚、快適感覚の変化を示した。温度感覚、快適感覚とも環境温35°Cの結果と同様に両冷却において有意に温熱負荷感が小さくなる結果を示した。図7に30°Cにおける総発汗量、有効発汗量および飲水量を示した。いずれも各条件間に差は見られなかった。

## 2. 2 屋外実験結果

表1は暑熱環境下における60分間のテニスダブルゲーム時の頸部・前額部冷却効果についてまとめたものである。冷却を行わなかった対照群と冷却群間にエネルギー消費量に差はなかった。また、運動前後の舌下温度上昇度にも差は見られなかった。快適感覚と温度感覚は、運動開始前には差はなかったが、運動終了時には有意な差が見られ、冷却効果を示された。対照群の運動終了時

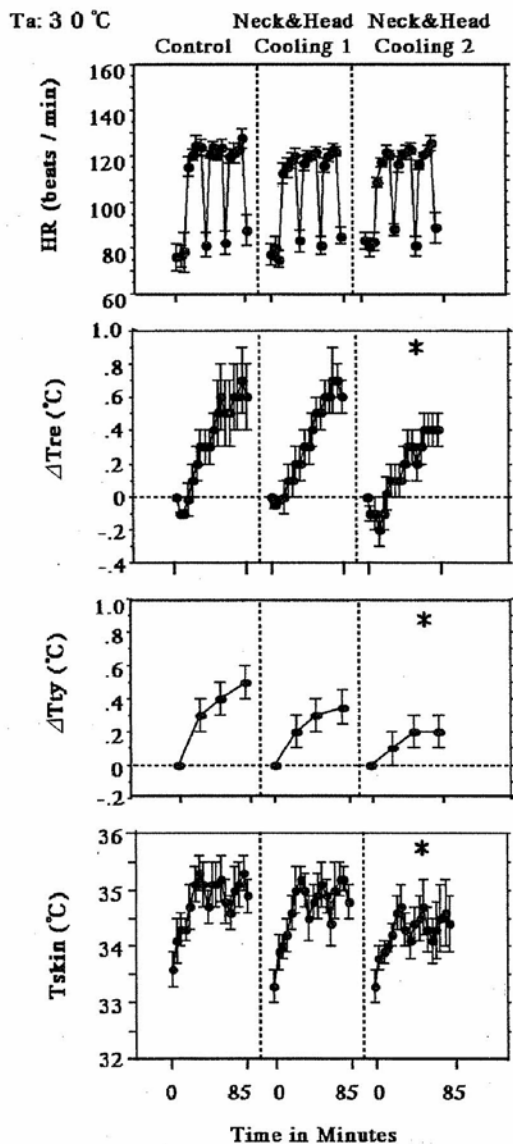


図5 Heart rate (HR),  $T_{re}$ ,  $T_{ty}$  and  $T_{skin}$  in control and 2 local cooling conditions at ambient temperature of 30°C

平均快適感覚は「不快」(ポイント3)であったが、冷却群のそれは「少し不快」(ポイント2)を下回った。また、温度感覚では対照群において「暑い」と「暖かい」の中間値(ポイント6.5)を示したが、冷却群においては「少し暖かい」(ポイント4.8)であった。

### 3. 考察

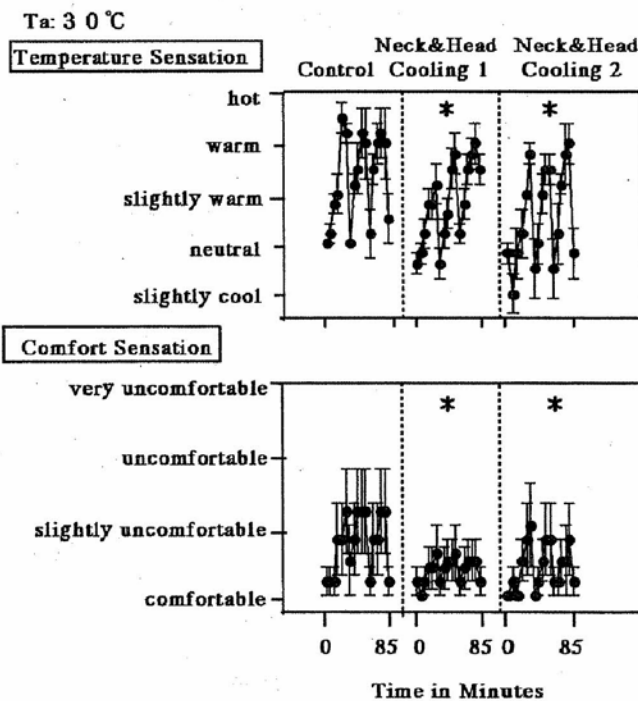


図6 Temperature and comfort sensations in control and 2 local cooling conditions at ambient temperature of 30°C

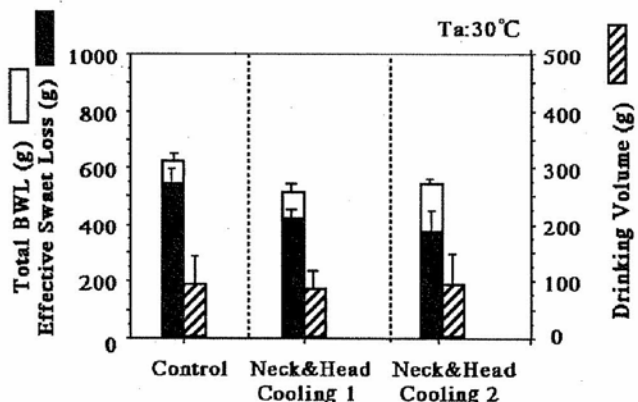


図7 Total body water loss, effective sweat loss and drinking volume in control and 2 local cooling conditions at ambient temperature of 30°C

本実験の目的は、暑熱環境下における運動時の熱障害予防および運動パフォーマンス低下の抑制の観点から、より実用的な局所冷却法(有効部位および有効冷却温度など)を探ることにあつた。熱障害の発生は初夏に起きることも多く、これは主に暑熱適応状態に深く関わりを持つことが指摘されている<sup>6)</sup>。そこで本研究は、これらのこともふまえて被験者がまだ適応状態に至っていない5

表1 Effects of Neck & Head Cooling on Body Temperature and Comfort & Temperature Sensations during Tennis Play in Outside

Ta:34°C Rh:57% WBGT:30.5°C

	control	cooling
subjects number	6	5
total calory (kcal/h)	210.4±24.2	196.6±11.4
ΔTsub (°C)	0.36±0.06	0.30±0.07
comfort sensation	3.0±0.44	1.8±0.37*
temperature sensation	6.5±0.33	4.8±0.37*

\*:p<0.05

月から7月にかけて実験を行った。

本実験において、冷却部位を背部および頸部・前額部の2部位を選んだ。この理由として、実際のスポーツ時に簡単に冷却が行える部位であることと、これまでに冷却の効果がすでに報告されていること<sup>3,7)</sup>などから選定した。また、冷却温度はまず始めに、環境温35°Cにおいて9°Cの冷却で効果が見られるか否かを検討し、その後効果の見られた部位に関して19°Cの冷却についての検討を行った。なお、19°Cの冷却は水道水に冷却バンドを数分間浸けるだけで行えるが、9°Cの冷却は冷蔵庫やアイスパック、氷などを使用しないとできない温度であった。よって、より実用的な冷却を考えた場合、19°Cの冷却によって効果が見られるような部位を探ることが必要であると考えた。

熱障害の予防という観点から、(1)脱水にならないこと。(2)過度の体温上昇(とくに脳温上昇)に至らないこと、が挙げられる。この観点から本実験結果を考察すると、脱水状態に関してはいずれの冷却においても非冷却時と差は見られなかった。これは、これらの冷却が発汗反応および飲水反応に影響しなかったことによるものである。ヒトの体温調節反応は、深部および末梢皮膚からの温度情報を基に生じるが、たとえば「震え」

を発現させる脊髄を冷却することは、発汗反応や飲水反応にも影響することが考えられる。しかしながら、今回このような結果を招かなかったことは、この9°Cの背部冷却は、暑熱環境下での運動時体温調節反応に少なくともマイナスの効果はないことを示唆するものである。

脳温の一指標と考えられる鼓膜温<sup>10)</sup>は、環境温度35°Cにおいて頸部・前額部の9°C冷却によって有意に上昇は抑制された。これは頭部送風冷却<sup>2,5,10)</sup>やアイスパックによる頸部冷却効果<sup>7)</sup>と同様に、内頸、外頸動脈が直接的に冷却されたことによるものと考えられる。しかし、同部位の19°C冷却ではこの効果は見られなかった。これは絶対的な冷却温度効果が小さいことと、19°C冷却の場合装着後20分目には約3.2°Cまで温度が上昇してしまうことが挙げられる。一方、9°Cの冷却では、20分目の温度は約2.4°Cであった。

心拍数においても、頸部・前額部19°C冷却により上昇が抑制された。この結果は、平均皮膚温に統計的有意差は見られなかったものの、この冷却時には若干の低下が見られており、末梢皮膚血液循環量が低下した結果ではないかと考える。このことは、本来温熱ストレスの少ない環境下(20°C)での、この運動強度の心拍数は平均115拍/分であるため、暑熱環境ストレスによって心臓の負担度が増加した分を軽減したことになる。すなわち、運動パフォーマンスの低下を抑制する効果があることを示唆するものである。

一方、温度感覚、快適感覚の心理的指標はいずれの冷却においても効果が示された。不快感<sup>4)</sup>は平均皮膚温36.5°C以上で急激に増加する。本研究における対照実験において、平均体温は20分目以降36.5°C以上を示した。各冷却により実際の平均皮膚温は下降したため(図2,5に示した平均皮膚温値はこの冷却部位の皮膚温度を含んでいない)、快適感覚への冷却効果を示したものであろう。この結果は、実際の運動を暑熱環境

下で行う際、パフォーマンスの低下抑制と意味では有効であると考え、9℃の頸部・前額部冷却以外、直腸温や鼓膜温さらには心拍数なども非冷却時と同様に上昇しているため、むしろ熱障害を招きやすい条件になっているのではないかと感じる（感覚的にはそれほど温熱負荷がかかった状態と感ぜないため）。

環境温30℃の結果においても、基本的には35℃と同様であった。Nielsen, M<sup>8)</sup>は環境温5～30℃の範囲では運動時の体温上昇度は変わらないことを示したが、近年では個人の体温調節能の違いにより体温上昇に影響する臨界環境温度は異なることが指摘されている<sup>10)</sup>。

本研究において、環境温20℃における同一運動時の直腸温上昇度は平均0.44℃であり、環境温30℃の対照群の値（平均0.71℃）と比較して有意に増加していた。頸部・前額部9℃冷却により直腸温上昇度は有意に軽減され、環境温度20℃の上昇度とほぼ同様となった。平均皮膚温は頸部・前額部9℃冷却によって統計的にも有意に上昇が抑制された。この環境温度では、皮膚血管拡張による熱放散は有効な温度範囲である。そのため、皮膚温の低下、即ち皮膚からの非蒸発性熱放散量減少は体温調節の面からマイナスと考えられるが、そのマイナス分以上に9℃の直接的な冷却効果が体温（直腸温）の上昇を抑制したものと考える。

以上、室内実験結果から暑熱環境下における有効冷却部位は頸・前額部の冷却であり、冷却温度は20℃前後では生理的機能には効果がなく、10℃以下が必要でありことが明らかとなった。そこで、実際の屋外スポーツにおいてこの冷却法が本当に有効か否かを検討した。

今回行った初・中級レベルのテニスダブルゲームの運動量は約200 kcal/hと中程度の運動強度であった。心理的側面（温度感覚、快適感覚）は屋内実験と同様に効果が示されたが、体温（舌

下温度）には差は見られなかった。この理由として、（1）今回行った初・中級レベルのテニスダブルゲームの運動量は約200 kcal/hと中程度の運動強度であったが、非冷却群の体温上昇度から屋内実験における運動と比べ小さかったこと。（2）冷却バンドの温度を9℃に維持するため、交換用の冷却バンドをアイスボックス内に入れ、冷却していたが測定後半には初期の冷却バンドの温度は14℃まで上昇してしまったことなどが挙げられる。

今回のアイスボックスで冷却バンドの温度を維持すること自体大がかりなものとなるため、非実用的であると考え。今後、より容易に長時間冷却温度を低温に維持できる冷却器具の開発が必要であろう。

#### 4. まとめ

暑熱環境下における実用的な局部冷却法を探ることを目的とし、人工気候室内実験および屋外テニスプレイ時の測定を行った。その結果、有効な冷却部位は頸・前額部の冷却であったが、10℃以下の冷却温度でなければ生理機能には効果が示されないことが明らかとなった。実験室内ではこの温度の冷却は容易ではあるが、一般の屋外スポーツ時には現在市販されているような冷却装置では低温を維持することは難しく、新たな冷却器具開発が期待される。

#### 文 献

- 1) Cabanac, M., M. Caputa; Open loop increase in trunk temperature produced by face cooling in cooling humans, *J. Physiol.*, 289, 163-179 (1979)
- 2) Cabanac, M.; Human selective brain cooling, Springer-Verlag, Heidelberg, Germany (1995)
- 3) 藤島和孝, 大柿哲朗, 小室史恵; 運動時の身体冷却が生理的反応に及ぼす影響, *デサントスポーツ科学*, 7, 231-239 (1986)



- 4) Gagge, A.P., A.P. Stolwijk, J.D. Hardy ; Comfort and thermal sensations and associated physiological responses at various ambient temperatures, *Envir. Res.*, 1, 1-20 (1967)
- 5) Hirata, K., T. Nagasaka, T. Nunomura, A. Hirai, M. Hirashita ; Effects of facial fanning on local exercise performance and thermoregulatory responses during hyperthermia, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 56, 43-48 (1987)
- 6) 川原 貢, 森本武利 編 ; スポーツ活動中の熱中症予防ガイドブック, (財) 日本体育協会発行 (1994)
- 7) 小林義雄, 安藤好郎, 細井輝男 ; 頭部冷却が高温下身体運動時の体温調節反応に及ぼす効果, *体育学研究*, 25, 39-45 (1980)
- 8) Nielsen, M. ; Die Regulation der Körpertemperatur bei Muskelarbeit, *Skand. Arch. Physiol.*, 79, 193-230 (1938)
- 9) 菅原正志, 田井村明博, 今中國泰 ; 運動時の前腕冷却が体温調節反応に及ぼす影響, *デサントスポーツ科学*, 13, 185-192 (1992)
- 10) 内野欽司 ; ヒト鼓膜温の生理学的意義, *日本生理学雑誌*, 51, 387-404 (1989)
- 11) 安松幹展, 田中英登 ; 運動時およびサウナ入浴時における体温上昇度の個人差について, 第45回日本体育学会抄録, 330 (1994)