

## 寒冷環境 (6 °C) における幼児の体温調節機構 ～はだか保育園児と一般園児の比較～

小林寛道

東京大学教養学部

Thermoregulatory responses of 6 years boys and girls  
in a cold exposure to 6 °C

Kando Kobayashi

Dept. of Sports Sciences, College of Arts and Sciences,  
The University of Tokyo.

### Abstract

Thermoregulatory responses of 7 boys and 5 girls ages of 6 yrs were studied during 2 -hr exposure to 6 °C and 75 % relative humidity with short pants and shoes. The subjects divided from two different groups, namely Group-1 from a kindergarten at where children educated with no cloth except short pants all year round at Hamamatsu city, and Group-2 from general kindergarten at Nagoya city as a control. Subjects entered cold room after 40 min rest in an ambient environment of 19 °C. After sitting on chair for 60 min, subject exercised on a motordriven treadmill one by one for 7 - 8 min until semi-maximum exertion. Skin temperature at the part of chest, arm, thigh and finger, and rectal temperature were measured continuously. Oxygen intake for 5 min was measured during rest in a control room (19 °C) and in a cold room (6 °C) at 5, 30, 60 and 120 min, respectively. During exercise oxygen intake was measured continuously in one minute interval using Douglas bags.

The following results were obtained from the present study.

1. The skin temperature was lowest at finger and was lower in the order of arm, thigh and chest. Symptoms of vasodilation reaction to cold stress was observed on finger temperature.
2. Reduction of rectal temperature of 0.3 °C was observed for Group-1 and Group-2, even though mean skin temperature was higher for boys compared to girls.
3. Increase of metabolism was 56-60 % for boys and 17-19 % for girls after 60 min stay in a cold room.
4. The pattern of adaptation to cold stress different between boys and girls, namely boys adapt with increased metabolism and girls adapt with insulation rather than increase of metabolism.
5. It seems that lowering in skin temperature become small in progress of adaptation to cold stress for boys and girls, which provide them easier state to move and exercise.

## ◆目的

幼児の健康増進を目的として、冬期にも幼児を薄着にさせたり、寒冷な刺激を皮膚に与えることを意図して、上半身裸に短パンツ姿でのランニングや、乾布摩擦を行うことなどを実施している幼稚園や保育園がみられる。また、年間を通じて、幼児を上半身裸で保育する幼稚園や保育園も存在する。

経験的には、幼児をこのような寒冷環境にさらすことによって、耐寒性が向上することが予測されているが、寒冷環境において、幼児の深部体温や皮膚温がどのように変化し、どのような適応が生じてくるかについての科学的なデータは著しく不足している。

本研究では、年間を通して裸保育を実施している幼稚園の園児、および裸保育を行っていない一般の幼稚園児を対象に、寒冷環境における幼児の体温調節機構を観察することを目的とした。

## ◆方法

1. 対象：年間を通して上半身裸保育と幼児マラソンを行っている静岡県浜松市A幼稚園の6歳男児4名、6歳女児4名を裸保育群の対象とした。また、裸保育を行っていない名古屋市内の幼稚園の6歳男児3名、6歳女児1名を一般保育群の対象とした。

測定対象の保護者には、幼稚園園長を介して幼児の測定参加に対する承諾を得るとともに、測定の実施にあたっては、園長および保護者のつき添いを条件とした。

対象児の形態計測項目は、身長、体重、皮下脂肪厚とした。皮下脂肪厚は、栄研式皮脂厚計を用い、上腕背部、肩甲骨下縁、腹部（臍脇）を計測した（表1）。

## 2. 体温計測

体温変化は、身体4ヶ所の皮膚温（胸部、上腕部、大腿部、手の中指先）と深部体温（直腸部）についてサーミスタ法を用いて1分間隔で連続的にとらえた。温度計測の印字記録にはサーミスタデータ集録装置K-700（宝工業製）を用いた。

なお、サーミスタによる温度計測は、胸部（Chest）は右胸中央部位、上腕（Arm）は上腕背部

	対象児	身長 (cm)	体重 (kg)	皮下脂肪厚(mm)			
				上腕背部	肩甲骨下縁	腹部	
裸 保 育 群	男 児	M1	114.3	22.5	9.0	5.5	5.5
		M2	116.7	21.0	8.0	6.5	5.5
		M3	121.9	21.5	10.5	4.0	5.0
		M4	122.2	25.0	10.0	6.0	6.0
		平均 (標準偏差)	118.8 (3.9)	22.5 (1.8)	9.4 (1.1)	5.5 (1.1)	5.5 (0.4)
	女 児	F1	109.3	17.5	10.5	6.0	4.5
		F2	116.6	23.5	13.0	11.0	6.5
		F3	109.0	17.0	9.5	8.5	7.0
		F4	104.8	14.0	8.0	5.0	4.0
		平均 (標準偏差)	109.9 (4.9)	18.0 (4.0)	10.3 (2.1)	7.6 (2.7)	5.5 (1.5)
一 般 保 育 群	男 児	M5	116.4	19.5	7.5	5.5	3.0
		M6	106.7	18.0	9.5	5.0	6.9
		M7	114.9	21.5	10.5	6.5	6.5
		平均 (標準偏差)	112.7 (5.2)	19.7 (1.8)	9.2 (1.5)	5.7 (0.8)	5.5 (2.1)
	女 児	F5	111.9	19.8	8.5	6.5	4.5

表1 対象児(6才)の形態と皮下脂肪厚

の中央部位、大腿（Thigh）は、大腿前面中央部位とした。また直腸温（Tre）は、肛門部より約6cm深くサーミスタを挿入した部位で計測した。

平均皮膚温（ $\bar{T}_{sk}$ ）および平均体温（ $\bar{T}_b$ ）は、次式によりもとめた。

$$\bar{T}_{sk} = 0.43(\text{Chest}) + 0.25(\text{Arm}) + 0.32(\text{Thigh})$$

$$\bar{T}_b = 0.65(\text{Tre}) + 0.35(\bar{T}_{sk})$$

また、体熱容量（BHC Body Heat Content）は次式によりもとめた。

$$\text{BHC} = 0.83W(0.65\text{Tre} + 0.35\bar{T}_{sk})$$

但し、0.83は身体比熱、Wは体重（kg）を示す。

## 3. 手順

対象児は、ランニングパンツ（短パンツ）のみを着用した上半身裸の状態でも60分間、室温（19℃）で過した後、気温6℃、相対湿度75±10%にコントロールされた人工気候室内に入り、2時間とどまった。

人工気候室内へは、4名の幼児が引率の先生または保護者とともに同時に入室し、入室後60分間は座位安静状態を保ち、60分以後、120分までのうち、1名ずつ順次トレッドミル上でランニングを行った。ランニングはウォーミングアップ後、トレッドミル速度を漸増させる方法により、ほぼ最大努力の水準まで行った。

なお、一般保育群の園児では、2名のみがトレッドミル運動を実施した。

## 4. 代謝測定

呼気ガスを、室温（19℃）での座位安静時、お



寒冷環境（6℃）における安静時代謝量の測定風景  
（裸保育群・女児）



寒冷環境（6℃）における安静60分経過後の様子  
（裸保育群・男児）



寒冷環境（6℃）で60分  
経過後実施したトレッド  
ミル運動の風景

よび人工気候室内で、入室5分後、30分後、60分後、120分後に、それぞれ5分間単位で採集した。また、運動中には1分毎に連続採気した。呼気ガスの $O_2$ 、 $CO_2$ 濃度を呼気ガス分析装置を用いて測定し、酸素摂取量をもとめた。

また、テレメータ装置を用いて測定時間内の心電図を連続的に記録し、心電図記録から1分間単位の心拍数の推移をとらえた。

#### 5. 測定時期

裸保育群の測定は、12月26、27日、一般保育群の測定は2月2日に実施した。

#### ◆結果

裸保育群の全員（8名）、および一般保育群の3名は、人工気候室内に120分間とどまれたが、一般保育群の男児1名（Subj.M6）は寒さに耐えられず、105分で人工気候室を退出した。

#### 1. 身体各部位の個人別温度推移

室温（19℃）および人工気候室内の寒冷環境（6℃）における身体各部位の温度変化の推移を個人別に図1（裸保育群男児）、図2（裸保育群女児）、図3（一般保育群）に示した。

裸保育群男児（図1）についてみると、指先の温度が最も低く、腕、大腿、胸および直腸の順に温度が高い様子がみられる。

寒冷環境下で最も敏感に温度が低下するのは指先で、人工気候室内での滞在時間経過に従ってゆるやかに低下しつづける傾向を示した。しかし、際限なく低下しつづけるのではなく、人工気候室入室後、30～40分目までの低下が急激である。その後やや上昇して一定値を保とうとする動きが見られるが、ベースラインは徐々に低下する傾向を見せながら動揺を繰り返している。指先温度の大きな動揺は、安静時の採気を行った時と、トレッドミル運動を行った時にみられる。

上腕背部の皮膚温は、人工気候室に入室30分後ではほぼ一定水準を示すようになり、その後あまり大きな動揺は示さなかった。

大腿前部の皮膚温は、比較的長時間をかけて徐々に低下してゆく様子をみせ、Subj.M1、M2、M4では、入室後70分付近で最も低い温度になり、以後大きなサイクルでの変動を示した。各対象児とも、運動中には大腿の皮膚温が低下し、運動後大きく上昇している。

胸部の皮膚温は、小さな動揺を示しながらほぼ一定水準を保つタイプ（Subj.M1、M3）と比

較的大きな動揺を示しながら平均値としてのベースラインを一定に保とうとするタイプ (Subj. M 2, M 4) がみられた。

直腸温は、皮膚温のように大きな変化は示さないが、次項で詳細にふれることにする。

図 2 は裸保育群女児 4 名の 4 部位の皮膚温と直腸温の変化を示したものである。

指先の温度は、Subj. F 1 で 12~13°C, Subj. F 4 で 11~12°C と比較的低い値となった。Subj. F 3 では寒冷環境の安静時に 16~19°C の比較的高い温度を示し、Subj. F 2 では 14°C 以上の水準を保つことが多かった。

上腕背部の皮膚温は、指先の温度が低かった Subj. F 1 と F 4 および F 2 では 17°C 程度まで低下したが、Subj. F 3 では 18.5°C 以下に低下しなかった。

大腿前部の皮膚温は、Subj. F 1, F 3, F 4 では 24~26°C の範囲にあったが、Subj. F 2 では 18.5°C 付近にまで低下がみられた。

胸部の皮膚温には大きな個人差がみられ、Subj. F 1, F 3 では比較的低温が低く、Subj. F 2, F 4 では 25°C の温度が保たれた。

図 3 は、一般保育群の温度変化を示したもので、指先の温度変化に最も良く個人差がみられている。すなわち Subj. M 5 では比較的高い指先温度を保ちながら徐々に低下していく傾向を示すのに対して、Subj. M 6, M 7 では比較的早期に指先温度が低下している。また女児の Subj. F 5 では人工気候室入室後 30 分以後の温度低下が著しく 40 分以後では 12~14°C の水準となっている。

上腕背部の皮膚温は、Subj. M 5 では比較的高い温度 (24°C) で一定値を保持したが、Subj. M 6, M 7, F 5 では徐々に低下する傾向を示した。

大腿前部の皮膚温は、Subj. M 7 で低下傾向が著しく、入室 55 分目には 19.5°C となった。

胸部の皮膚温は、Subj. M 5, M 6, M 7 は 26~28°C の範囲にあったが、Subj. F 5 では 29~30°C という高い水準で安定している。

## 2. 平均皮膚温

平均皮膚温 ( $\bar{T}_{sk}$ ) の変化を図 4 (A, B, C) に示した。

人工気候室入室前の平均皮膚温は、裸保育群男

児で平均 29.9°C, 裸保育群女児で 28.7°C, 一般保育群で 28.7°C であった。

人工気候室に入室すると、平均皮膚温は急速に低下するが、低下の様子には個人差がみられた。いずれの対象児の場合も、平均皮膚温は、細かな波動状の変化を繰り返しながら、全体として大きな変動を示している。

裸保育群男児 (図 4-A) の場合は、人工気候室に入室直後から 30 分にかけて急速に平均皮膚温が低下した後、60 分にかけてほぼ安定した範囲の変動にとどまる例が多く、60 分目では、平均 24.0°C となっている。60 分目以後では、順次トレッドミル運動を行ったため、変動の範囲が大きくなっているが、全体として平均皮膚温が高い傾向の対象児と低い傾向の対象児がみられた。しかし、個人差の範囲は比較的小さかった。

裸保育群女児 (図 4-B) では、3 名の対象児の平均皮膚温は人工気候室入室直後から急激に低下しはじめ、以後 45~50 分まで徐々に低下しつづけ 21~22°C の水準となった。60 分以後では、順次トレッドミル運動を実施した影響もあり平均皮膚温が 1.5~2.5°C 上昇する様子が見られた。

裸保育群女児の 1 名 (Subj. F 4) では、他の 3 名と比較して相対的に高い平均皮膚温を示した。この対象児では、人工気候室に入室直後の平均皮膚温の低下の割合が他の 3 名よりゆるやかであり、入室 15 分後に最低値の 23.9°C を示した。それ以後平均皮膚温が上昇に転じ、37 分目に 25.9°C と安静時での極大値を示し、以後 24.5~25.0°C 付近の値を示した。80 分目から 6 分間トレッドミル運動を行った後では、平均皮膚温は上昇傾向を示し、120 分目では 26.3°C となった。

なお、この対象児の平均皮膚温の推移の様子は、裸保育群男児の高い平均皮膚温を示す男児とほぼ類似の温度水準にあり、他の 3 名の女児では、男児より一段階低い温度水準での推移に終始した。

一般保育群の平均皮膚温の推移 (図 4-C) をみると、全体的傾向として裸保育群の対象児のパターンとほぼ類似であった。

人工気候室内で最も平均皮膚温の低下が少なかったのは Subj. M 5 で入室 20 分以後 25.5~26.5°C の範囲内の変動にとどまっている。一方、最も平均皮膚温の低下が顕著であったのは、Subj. M 7

入室後37分で22.2°Cにまで低下し、以後65分目にかけて24.1°Cにまで上昇した後、22.5~23.5°Cの範囲内の変動を示した。

この図(図4-C)で、下から2本目のラインで示したSubj.M6の場合は、入室後平均皮膚温は細かな下降と上降の波動を繰り返しながら、測定期間中に一貫して下降傾向を示し続けた。他の対象児がどうか平均皮膚温をある一定水準で保持しようとする様子がみられるなかで、この対象児の場合は特に90分目以後に22.4°Cというそれまでと比較して一段階低い平均皮膚温の状態が現われている。Subj.M6は、寒さに耐え切れず105分目で測定を打ち切り人工気候室から退出した。

一般保育群では唯一の女児対象であったSubj.F5は、最も高い平均皮膚温を示した男児M5とほぼ類似の範囲の平均皮膚温の推移を示した。なお90分目以後トレッドミル運動を行うと、平均皮膚温の急速な下降がみられ、運動後再び上昇するというパターンがみられた。

### 3. 深部体温

深部体温(直腸温)の個人値の推移を図5(A, B, C)に示した。19°Cの室温での直腸温は、裸保育群男児(図5A)と裸保育群女児(図5B)がともに37.7°C、一般保育群(図5C)では、男児3名の平均が37.5°C、女児1名が38.2°Cであった。

人工気候室に入って安静を保っていると、時間経過にともなって直腸温の低下がみられ、入室60分後には裸保育群男児および女児とともに37.4°C、一般保育群男児で37.2°C、女児で38.0°Cとなり、直腸温の低下は裸保育群の男女と一般保育群男児で、ともに0.3°Cであった。

安静60分以後、順次トレッドミル上でのランニングを行ったが、120分後の直腸温の平均値は、裸保育群男児が37.4°C、女児が37.5°C、一般保育群では、100分以後で男児37.1°C、女児37.6°Cであった。運動によって直腸温が上昇する例としない例は半々であった。

### 4. 平均体温の個人別推移

平均体温( $\bar{T}_b$ )の推移を図6(A, B, C)に示した。

裸保育群男児での平均体温は、32~33°Cの範囲内であった。裸保育群女児では、Subj.F1, F2, F3が約32°C付近であったが、Subj.F4では34°Cという高い水準を示した。一般保育群では、Subj.M5とF5が33.5~34°Cという高い値を示し、Subj.M6とM7が低い値を示した。最も低い値はSubj.M7の32°Cであった。

### 5. 身体比熱の個人別推移

身体比熱(BHC)について、図7(A, B, C)に示した。

裸保育群男児で最も身体比熱が大きかったのはSubj.M4で660~680kcal付近にあり、次いでSubj.M1, M3, M2の順に小さくなっている。最も身体比熱が小さかったのはSubj.M2で570kcal付近の値であった。

裸保育群女児では、最も大きな値がSubj.F2の620~630kcalであり、最も小さい値はSubj.F4の380kcal付近であった。一般保育群では、Subj.M7が最も大きい値で570~580kcal、Subj.M6が最も小さい値で480~490kcalを示した。Subj.M5は540kcal付近、Subj.F5は550~560kcal付近にあった。

### 6. 体温指標の対象群間の比較

平均皮膚温( $\bar{T}_{sk}$ )、深部体温(Tre)、平均体温( $\bar{T}_b$ )、身体比熱(BHC)の各対象群の平均値を比較する目的で、図8(A, B, C, D)を描いた。

一般保育群の場合は、男児3名についての平均値とした。

図8に示されたように、平均皮膚温( $\bar{T}_{sk}$ )では全体的に一般保育群男児の値が高いが、裸保育群男児との差は少ない。一方、裸保育群女児の場合は、男児より一段階低い水準で推移していることがわかる。

深部体温(Tre)では、裸保育群の男児および女児の値が類似であることに比較して、一般保育群男児の値が全体的に裸保育群に対して低値を示している。

平均体温( $\bar{T}_b$ )は、一般保育群男児と裸保育群男児が類似の値を示し、裸保育群女児でやや低い水準を示した。

身体比熱 (BHC) は、裸保育群男児の値が最も高く、一般保育群男児、裸保育群女児、の順に低値を示した。

## 7. 呼吸循環機能の比較

図9に、安静状態で測定した酸素摂取量の平均値を示した。

室温 (19°C) での酸素摂取量は、裸保育群男児で0.20 l / 分、裸保育群女児0.21 l / 分、一般保育群男児0.16 l / 分、女児1名0.23 l / 分であった。

寒冷環境 (°C) で安静状態を保つと、時間経過にともない酸素摂取量の増加がみられた。120分目の値は、60分目以降に実施した運動の影響があると考えられるが、60分までの安静状態を比較しても、裸保育群男児では60分後に0.32 l / 分 (安静時に比較して60%増)、裸保育群女児0.25 l / 分 (19%増)、一般保育群男児0.25 l / 分 (56%増)、一般保育群女児 (1名) 0.27 l / 分 (17%増) と、両対象群で男児の安静時酸素摂取量の増加の割合が大きかった。

寒冷環境における安静時の心拍水準を対象群の平均値でみると、安静開始5分後、30分後、60分後で裸保育群男児は108~111拍 / 分、裸保育群女児108~113拍 / 分、一般保育群男児100~101拍 / 分、と安定した状態にあった。

120分後の心拍数は、裸保育群のSubj. M1が125拍 / 分、Subj. M4が127拍 / 分とやや水準が高く、裸保育群男児全体で平均117拍 / 分となっているが、裸保育群女児では平均115拍 / 分と、60分目の値とほぼ同水準であった。

一般保育群男児では、Subj. M5のみが運動を行ったが、120分目で114拍 / 分と60分目に比較して7拍 / 分の増加した水準にあった。

一般保育群女児1名 (Subj. F5) では120分目に148拍 / 分と60分目に比較して32拍 / 分も高い水準にあった。このような心拍数の増加にもかかわらず120分目の酸素摂取量には顕著な増加がみられなかった。

120分目の酸素摂取量は、裸保育群男子で0.37 l / 分 (室温安静時に比較して85%増)、裸保育群女児で0.27 l / 分 (29%増)、一般保育群男児

(2名) は0.35 l / 分 (84%増)、一般保育群女児 (1名) では、0.27 l / 分 (17%増) であった。

60分目から120分にかけて順次実施したトレッドミル運動では、裸保育群男児でピーク酸素摂取量が平均1.22 l / 分 (1.02~1.48 l / 分の範囲)、体重あたり酸素摂取量53.9 ml / kg / 分 (47.4~59.2 ml / kg / 分の範囲)、裸保育群女児では平均0.77 l / 分 (0.64~0.93 l / 分の範囲)、体重あたり酸素摂取量41.8 ml / kg / 分 (38.2~45.6 ml / kg / 分の範囲) であった。一般保育群男児ではSubj. M5が1.00 l / 分 (51.3 ml / kg / 分)、女児ではSubj. F5が0.99 l / 分 (50.1 ml / kg / 分) であった。

運動中の最高心拍数は、裸保育群男児で平均186拍 / 分 (173~204拍 / 分の範囲)、裸保育群女児で181拍 / 分 (173~187拍 / 分の範囲)、一般保育群では男児Subj. M5が177拍 / 分、女児Subj. F5が195拍 / 分という水準を示した。

## 論 議

寒冷環境における生体適応に関する研究は成人を対象に数多く実施されてきた<sup>3, 7, 13, 16, 17, 20, 22)</sup>。研究対象は男性が圧倒的に多く、女性を対象に含めた研究は比較的少ない。また、年齢の特徴を研究した報告も比較的少ない<sup>21, 25)</sup>。

本研究は、6歳男女を対象としたが、幼児の寒冷適応に関する研究成果は極めて限られたものであり、幼児の体温調節機構については明らかでない部分が多い。

成人を対象とした寒冷適応反応には、代謝系<sup>19)</sup>、視床下部系<sup>5, 13, 23)</sup>、断熱系<sup>20)</sup>、内分泌系<sup>7, 12, 17)</sup>などの反応があるが、このうち代謝系と断熱系の反応が重要であるとされている<sup>3, 10, 11)</sup>。

本研究においても、代謝系と断熱系の反応に注目したかたちで論議をすすめてみたい。

### 1) 寒冷血管拡張反応について

本研究の対象児の皮膚温では、指先が最も低く、腕、大腿、胸の順で高くなっているが、深部体温を保持するために末梢部ほど低温となる傾向を示しているといえる。

寒冷環境によって冷却された末梢組織では、血管が収縮して血行がとどこおる状態となる。しかし、ある時点からときどき血管の拡張が生じ、皮

膚に新しい血液が送り込まれる。このことによって、周期的に皮膚温が上昇し、皮膚温の持続的な低下が予防されている。

本研究において、対象児の指先温は寒冷環境に入ると急速に低下したが、しばらくするうちに温度の低下が抑制される様子がみられた。これは、寒冷血管拡張反応、または指趾皮膚温のハンティング反応とよばれる現象を反映したものであると考えられる。また、身体各部位の皮膚温についても、細かな動揺を繰り返しながら温度が変化の様子がみられているが、これらも皮膚表面に近い血管の収縮と拡張によって皮膚温を維持する血管反応の機構が働いているためであろうと考えられる。

吉村は、<sup>27, 28)</sup>寒さに強く、凍傷にかかりにくさを判定する方法として、氷水に手を入れたときの手の中指の寒冷血管拡張反応を用いている。採点の基準は、次の要領による。

①寒冷血管拡張反応の現われる時間の早いもの、②反応の現われ始めた時の皮膚温が高いもの、③氷水中での平均皮膚温の高いもの。これら3項目の成績を得点化し、総合得点の高い程、凍傷にかかりにくい、と評価している。

本研究の寒冷環境は6℃であり、凍傷ができるほどの厳しい寒冷刺激ではない。しかしこのような寒冷環境であっても、寒冷血管拡張反応によって指先温の低下が抑制され始める時点をとらえることが可能である。

そこで、各対象児について、温度低下抑制開始時点（寒冷血管拡張反応開始時点）とその時の指先温度との関係、および本測定時間内に指先温度が最低値となった時点とその時の指先温度との関係を図10にプロットし、各々の個人値を直線で結んだ。

図10に示されたように、寒冷血管拡張反応によって指先温度の低下抑制が生じる時点（抑制開始時点と略す）は、26分から42分にかけてであり、その平均は35分（標準偏差5.4分）であった。この時の指先温度が最も高かったのはSubj. M5の16.2℃であり、その平均値は13.5℃（標準偏差1.6℃）であった。

測定時間内に指先温度の最低値が生じた時点は、59分から120分の範囲に散らばっており、その時の温度は平均10.7℃（標準偏差1.1℃）であった。

先の吉村の判定基準にそった考え方をすれば、「早い時間に指先温度が高い状態で寒冷血管拡張反応が開始された方が寒さに強い」ということであるから、図10において抑制開始時点が早く、指先温度が高かった対象児が寒さに強いということになる。

本研究の対象児は全員が寒さに強い子どもたちと考えられるので、その差を判定することは難かしいが、「抑制開始時点の指先温度が高い」ということでは、Subj. M5, F3, M1, M2あたりが寒さに強く、Subj. M3, M6, M7あたりが寒さに弱いということになる。

ところが、視点をかえて、「測定期間中の指先温度の最低値が高い」という点でみると、Subj. F2, F3, M7, F5, M1といった順になる。さらに、「指先温度の最低値が早期にあらわれる」という点でみると、Subj. F2, F4, F5, M6の順となるが、「この時の指先温度が高い」という条件をあわせてみると、Subj. F2が最も寒さに強いということになるかもしれない。また、図10から総合的に推察してみると、Subj. F3の指先温度が最も高く、Subj. M3の指先温度が最も低い。

## 2) 代謝系と断熱系について

ところで、本研究における深部体温の低下は、裸保育群男児、裸保育群女児、および一般保育群男児とともに-0.3℃であった。このことから、深部体温の様子に裸保育と一般保育の対象児で差がなかったといえる。しかし、身体各部の皮膚温や平均皮膚温( $\bar{T}_{sk}$ )の変化には、対象群間で特徴がみられ、特に女児（裸保育）では平均皮膚温が低くなる傾向がみられた。

これは、皮膚に近い血管を収縮させることによって体熱放散を防ぐ反応が強くあらわれたためであると考えられる。

こうした反応は寒冷環境にあって、自然に生じるものであるが、その生理的機序には、①寒冷の局所刺激、のほかに②神経反射、③ノルアドレナリンの分泌、などが係っている。こうした皮膚血管の収縮が生じることにより、静脈は動脈に沿って走る深部の静脈を流れながら動脈血で加温され、冷たい静脈血が身体の中心部に流れ込むのをふせ

ぎ、一方あたたかい動脈血は、末梢へゆく前に冷やされるので外界への放熱量が少くなる。

深部体温の低下を防ぐことに働くもう一つのメカニズムが代謝の増大である。

本研究の寒冷環境で60分間の安静状態を保った時、安静時酸素摂取量の増加が認められたが、室温(19°C)での安静時に比較して裸保育群男児および一般保育群男児で平均56~60%増、裸保育群女児および一般保育群女児で平均17~19%増という結果が得られ、男児での代謝量の増大が女児より大きかった。

このことから考えると、深部体温の低下を防ぐために、男児では代謝量の増大による体温保持機構が大きく寄与し、女児では皮膚血管収縮による体温保持機構が優先する、という寒さに対する対応メカニズムに男女の違いがあることがみえてくる。

こうしたメカニズムの男女差に加えて、寒冷環境に対する適応過程についても考慮することが必要であろう。

裸保育群の対象児は、年間を通しての裸保育が実施されていることから、すでに寒冷刺激に対する身体適応は備わっていると考えられるが、本測定を実施したのは12月末であった。寒さが本格化するのは1~2月であるから、裸保育の対象児では、本格的な寒さに対する適応は不十分な状態であったと考えられる。

一方、一般保育群の対象児は、2月初旬に測定を実施したことから、本格的な寒さに対する適応がある程度できた状態にあったと考えることができる。

こうした点を考慮して、平均皮膚温( $T_{sk}$ )、直腸温( $T_{re}$ )、平均体温( $T_b$ )を比較してみると、図8に示したように、平均皮膚温は、一般保育群男児で最も高く、しかも直腸温は一般保育群男児で最も低い。

このことから推察すると、男児では寒冷適応によって、寒さに対して皮膚血管の強い収縮が生じにくくなって、活動しやすい状態が保たれるようになるといえよう。さらに、深部体温のベースは厳冬期にはやや低下し、いわば変温動物的に<sup>2,8)</sup>対応が生じているとも考えられる。

なお、平均体温は、男児では裸保育群と一般群

でほぼ同水準を保っている。

女児の場合、一般保育の対象児が1名(Subj. F5)だけなので寒冷適応を論じることは難かしが、一般保育群男児で最も高い平均皮膚温を示したSubj. M5とほぼ同水準の高い平均皮膚温を示した。しかもSubj. F5の場合は、直腸温が全対象児で最も高い水準を示した。

女児の場合は、寒冷適応というかたちで、厳冬期に直腸温が低下した水準にはなりにくいのかもしれない。

これらの事象についての論議をすすめるためには、これまでになされてきた寒冷適応に関する研究が参考となる。

寒冷適応と体力や体脂肪量との関連について、多くの研究報告<sup>2,4,6,9,11)</sup>があるが、体力水準(最大酸素摂取量)が高い人では寒冷適応能力が高いことが明らかにされている。また代謝と密接に関連する「ふるえ」についての報告も<sup>10,22,24)</sup>少ない。本研究の対象児にも「ふるえ」がみられた。

### 3) 寒冷適応パターンについて

吉村<sup>2,8)</sup>によれば、ヒトの耐寒適応には、①代謝による産生熱を増加させて体温(深部体温)を保持しようとする代謝型適応、②四肢の血流量を減少させ皮膚温を低下させてShellの生成を行うことによる断熱型適応、および③代謝の上昇もShell生成の強化もそれほど強くなく、いわば変温動物的な適応を示す従合型適応、の3つの型があるとしている。

代謝型適応は通常にみられる耐寒適応であるがScholanderたちは<sup>1,9)</sup>学生8人に2ヶ月間の耐寒訓練(外気温-5°C~+10°Cの環境でテント内で寝袋にシャツ1枚で寝る)を2ヶ月実施した結果、3°Cの外気温で裸で寝袋に入って寝ても手足が冷えず直腸温が下がらず、代謝量は150~155%上昇したことを示した。同じ条件で一晩寝た非耐寒訓練の学生は、代謝量は通常の130~135%増となったが手足が冷えて眠れず直腸温は1~1.5°C低下したと報告している。

断熱型適応については、同じくScholanderたち<sup>1,8)</sup>がオーストラリアの原住民(常時裸体でオーストラリア中部砂漠地方で放牧している)を対象に2~5°Cの寒冷環境で8時間、裸体で寝袋に寝

た時、同じ条件でコントロールとなった白人では、代謝量が増大したのに対し、原住民では代謝量が安静時より低下し、四肢の皮膚温は白人より著しく低下してShellの生成が著明であった。また原住民は熟睡したのに対し白人ではガタガタふるえて眠れなかったという。

従合型適応の例としては、Andersenたち<sup>1)</sup>のノルウェーの遊放民であるラップ人と村に在在のラップ人および白人の比較研究結果がある。0℃の室内で裸で寝袋に入り午後10時から翌朝8時まで寝かせる実験においては、狩猟ラップ人では代謝の上昇もなく良く寝たが、白人では「ふるえ」続け、代謝量も増大した。村人ラップ人では、その中間であり、なかに「ふるえ」が生じる人もあった。白人や村人ラップ人では、顕著な皮膚温の低下がみられ、特に足部温の低下がおこりShellの生成が著明であったが、直腸温はほぼ一定に保たれた。しかし、狩猟ラップ人では、皮膚温の低下は白人ほど顕著でなく、その分放熱量が大きく、直腸温が2℃程度低下している。すなわち狩猟ラップ人の場合は、変温動物的な反応を示しているといえたと報告している。

このような寒冷適応のパターンについて遺伝的素因が関与するという<sup>15)</sup>考え方があがるが、吉村<sup>2,8)</sup>は寒冷馴化の程度の差によって成体の示す耐寒反応のパターンがかわると考えた方が良いとしている。一般に寒冷馴化の順序は、代謝型から視床下部型、断熱型へと進行するといわれる。<sup>14, 20, 29)</sup>

本研究の対象児についても代謝型適応と断熱型適応の双方が観察され、男児では代謝型適応、女児では断熱型適応が特徴的であったといえることができる。そして、寒冷順化の進行によって、寒冷環境にあっても皮膚温の低下がおこりにくくなり、より活動しやすい状態が形成されてくるといえるよう。

## まとめ

1. 年間を通じて上半身裸保育が行われている幼稚園の6歳幼児（男児4名、女児4名）および裸保育が行われていない幼稚園の6歳幼児（男児3名、女児1名）を対象に、寒冷環境（6℃）における体温調節機構について研究した。
2. 対象児は、上半身裸の短パンツ姿で、室温

（19℃）で1時間以上過した後、気温6℃、湿度75±10%に調整された人工気候室に入り、120分間滞在した。人工気候室に入室後60分間は座位安静を保ち、その後順次トレッドミル上でトレッドミル運動を実施した。

3. 測定項目は、皮膚温（胸部、上腕背部、大腿、中指先）、直腸温、安静時および運動時酸素摂取量、心拍数である。
4. 本測定から次の結果が得られた。
  - ①身体部位のうち指先温が最も低く、上腕背部、大腿、胸部の順に温度が高かった。指先温の変化には、寒冷血管拡張反応がみられた。
  - ②寒冷環境における直腸温の低下は、裸保育群（男、女）、一般保育群（男）でともに-0.3℃であった。しかし、平均皮膚温( $\bar{T}_{sk}$ )は、男児で高く、女児（裸保育群）で低い傾向にあった。
  - ③寒冷環境における代謝量の増大は、60分後で、室温（19℃）安静的に比較して男児は56~60%増、女児では17~19%増であった。
  - ④寒冷環境に対する反応として、男児は代謝型適応、女児は断熱型適応が特徴的にみられた。
  - ⑤寒冷順化の進行によって、寒冷環境にあっても皮膚温の低下がおこりにくくなり、より活動しやすい状態が形成されると考えられる。

## 謝辞

本測定を実施するにあたり御協力いただいた対象児の皆様、父母各位、浜松市あすなろ幼稚園坂本清園長先生、ウィプロジャパン青樹和夫先生、桜井佳世先生、斉藤満先生、鈴木邦雄先生、関係各位に深謝致します。

図1. 直腸温および皮膚温 (胸部、上腕背部、大腿、指先) の個人別推移 (裸保育群・男児)

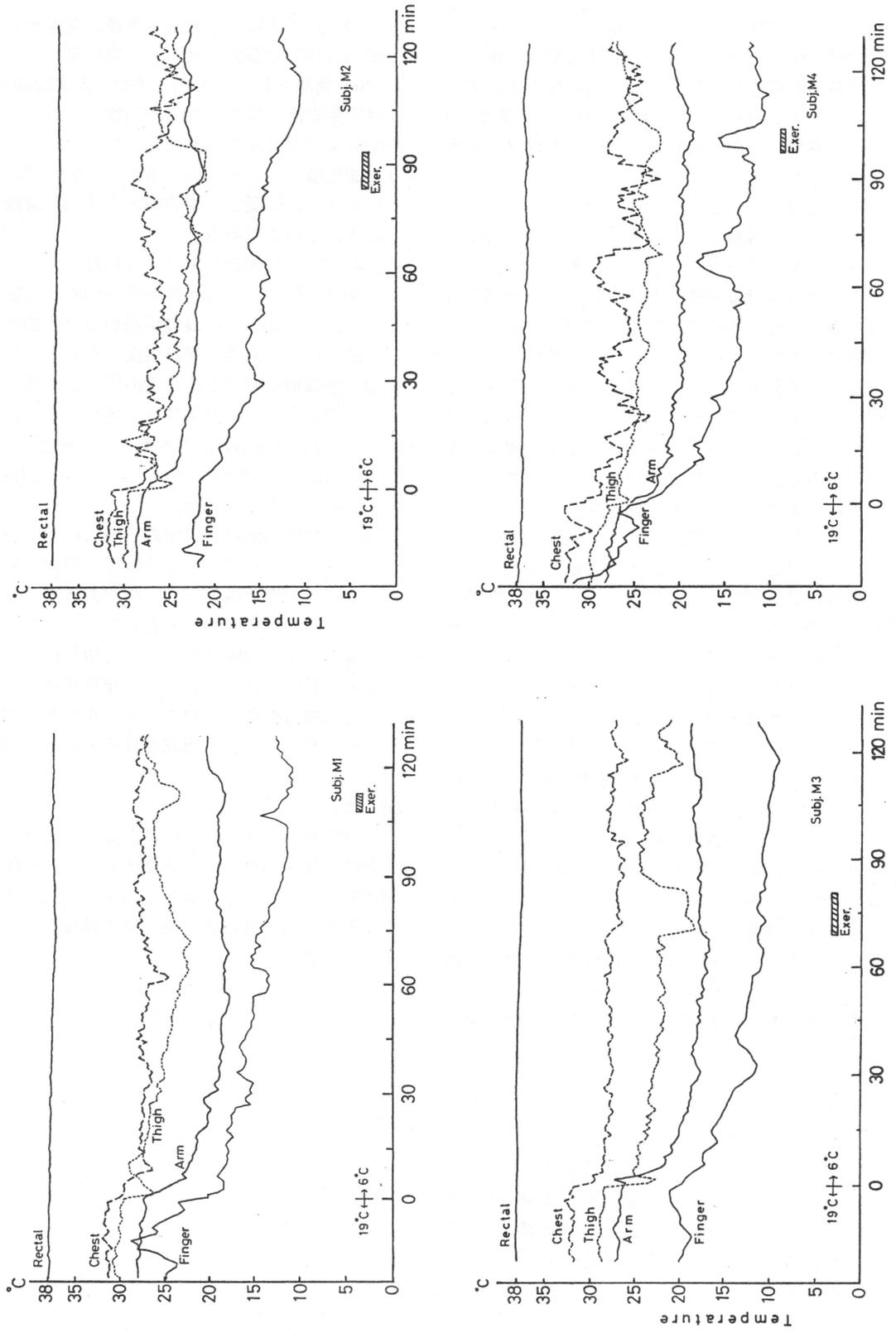


図2. 直腸温および皮膚温（胸部、上腕背部、大腿、指先）の個人別推移（裸保育群・女児）

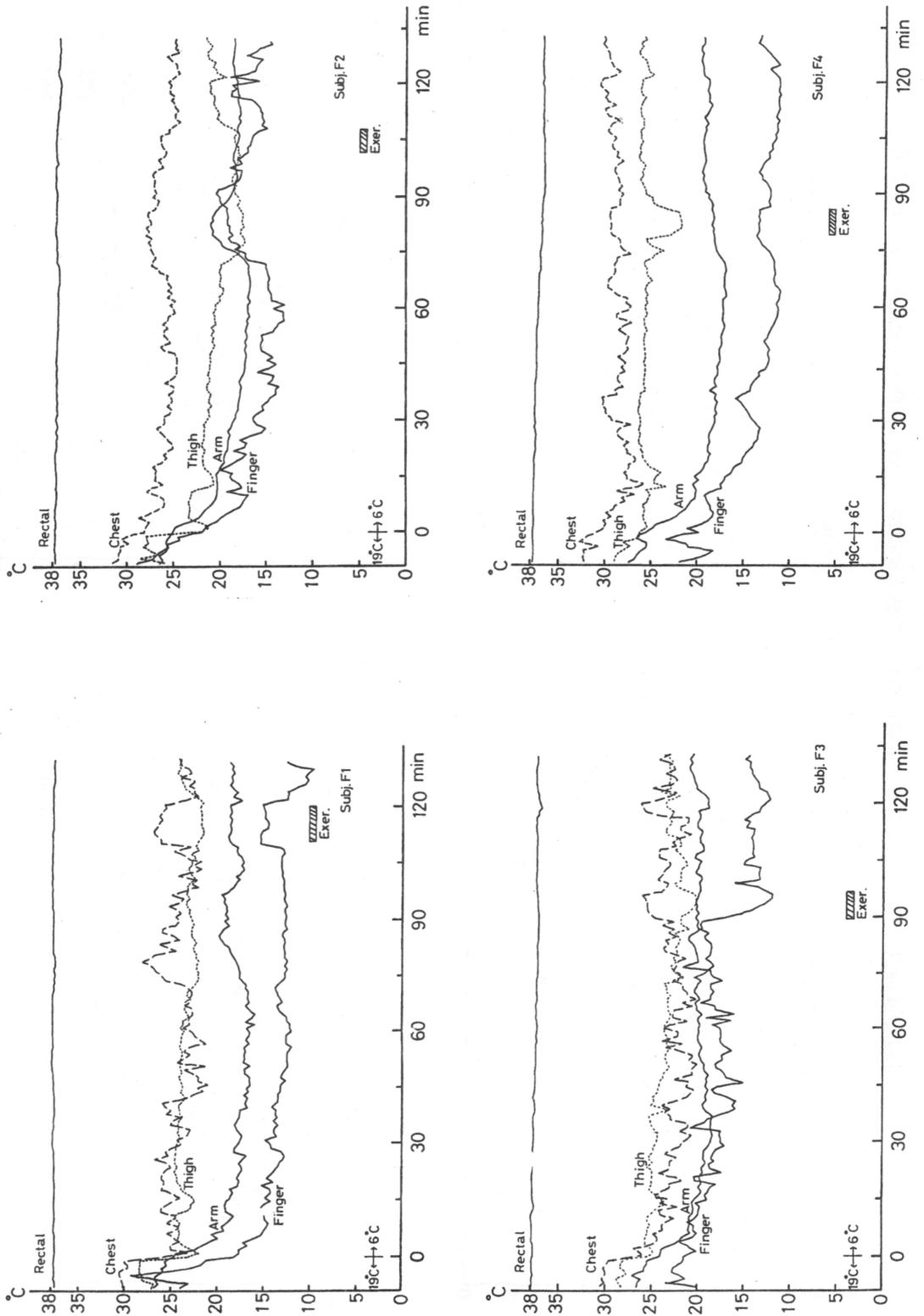


図3. 直腸温および皮膚温 (胸部、上腕背部、大腿、指先) の個人別推移 (一般保育群・男児M5~7、女児F5)

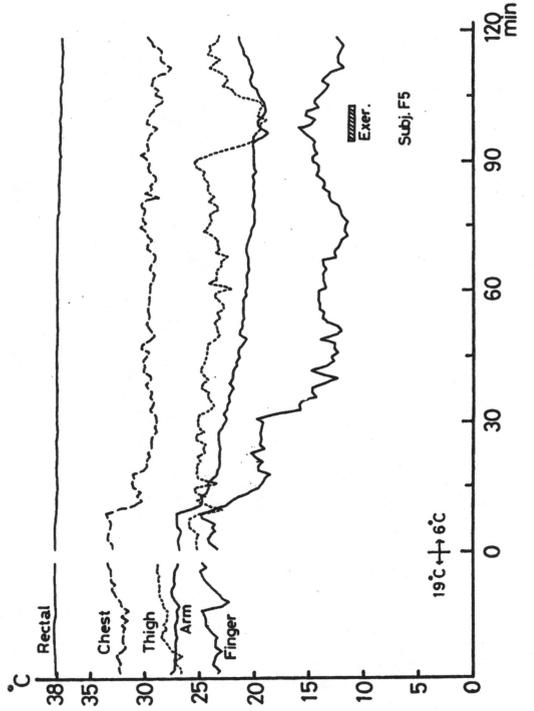
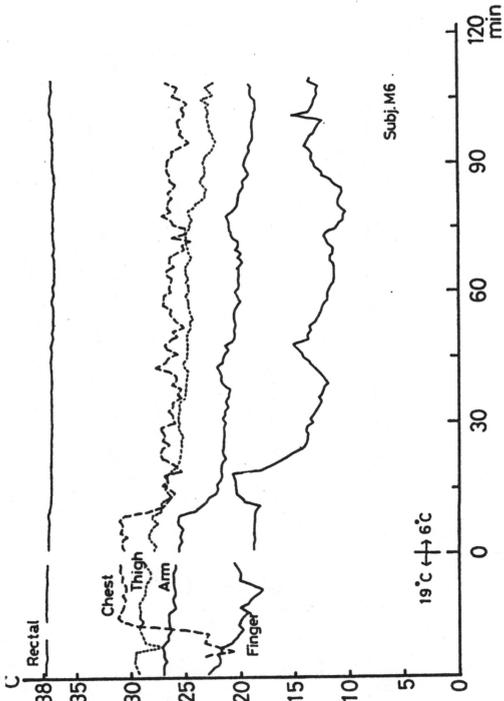
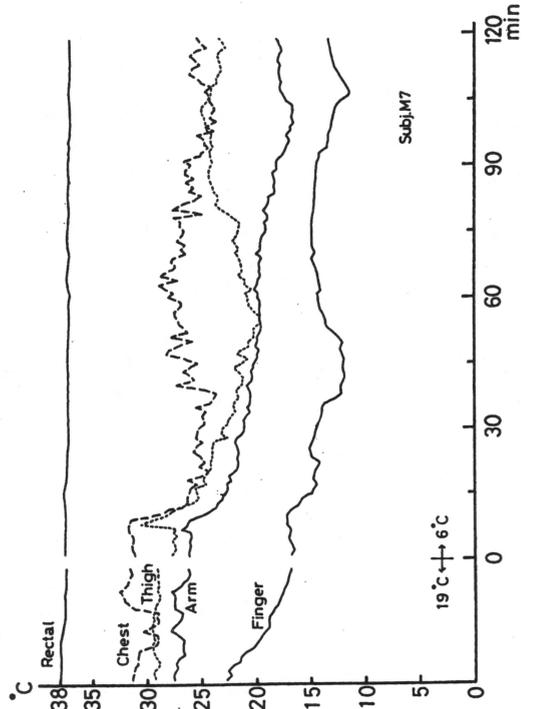
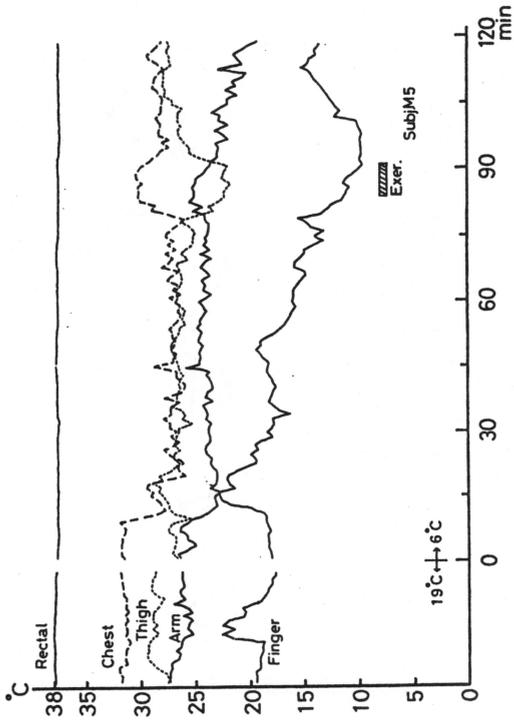
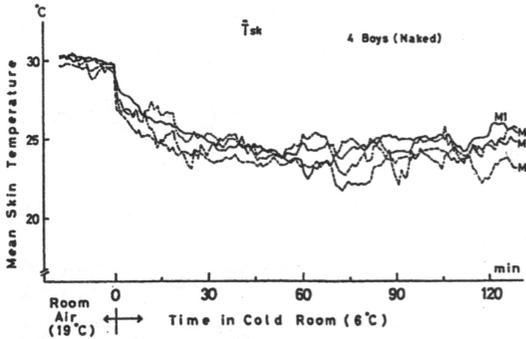
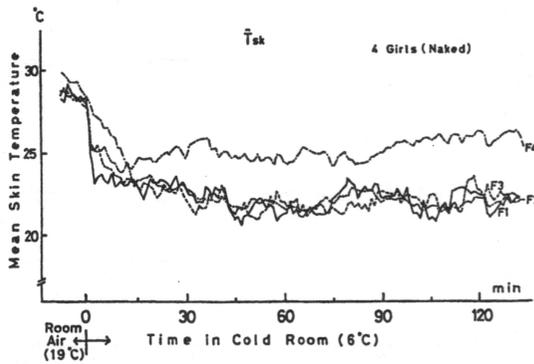


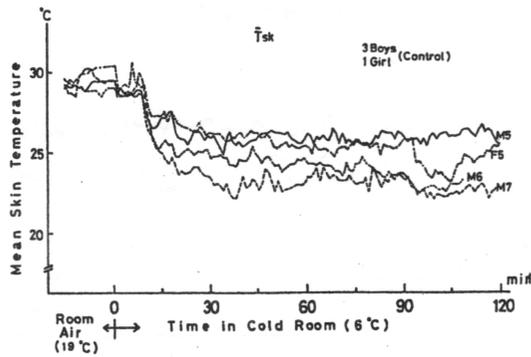
図4. 平均皮膚温の対象群別・個人別推移 (A: 裸保育群男児、B: 裸保育群女児、C: 一般保育群)



A

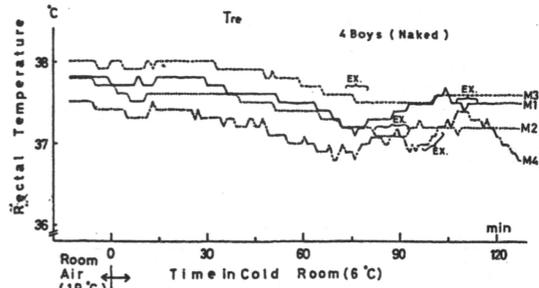


B

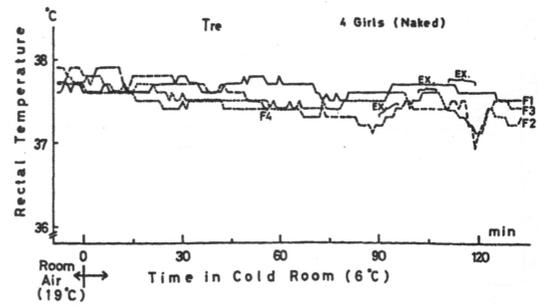


C

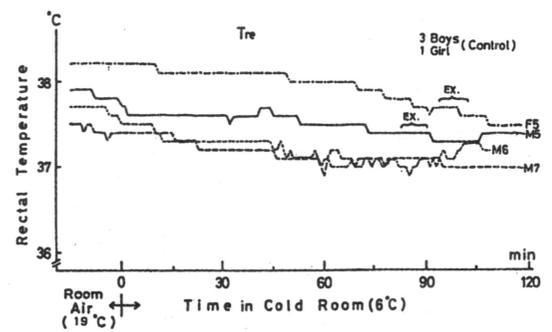
図5. 直腸温の対象群別・個人別推移 (A: 裸保育群男児、B: 裸保育群女児、C: 一般保育群)



A

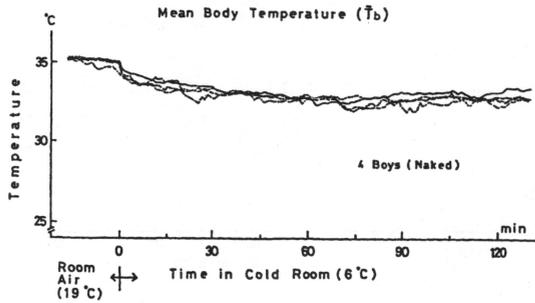


B

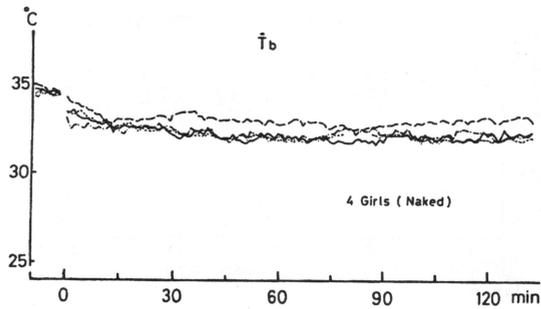


C

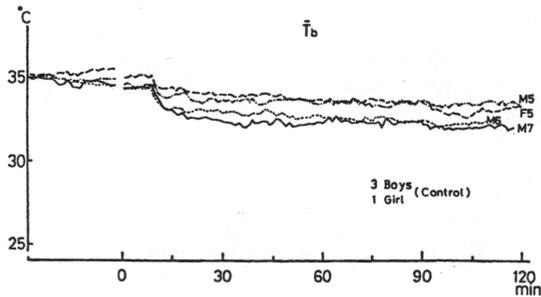
図6. 平均体温の対象群別・個人別推移 (A: 裸保育男児、B: 裸保育群女児、C: 一般保育群)



A

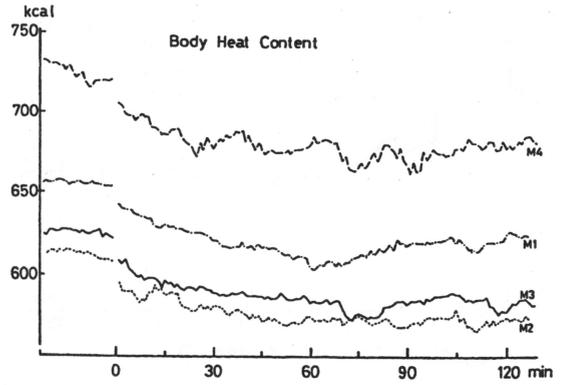


B

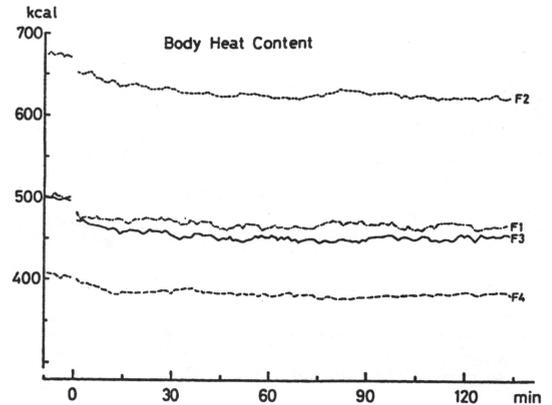


C

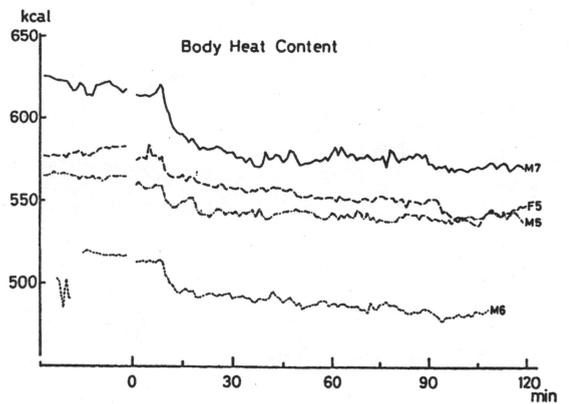
図7. 身体比熱の対象群別・個人別推移 (A: 裸保育群男児、B: 裸保育群女児、C: 一般保育群)



A



B



C

図8. 平均皮膚温、直腸温、平均体温、身体比熱の対象群別比較。

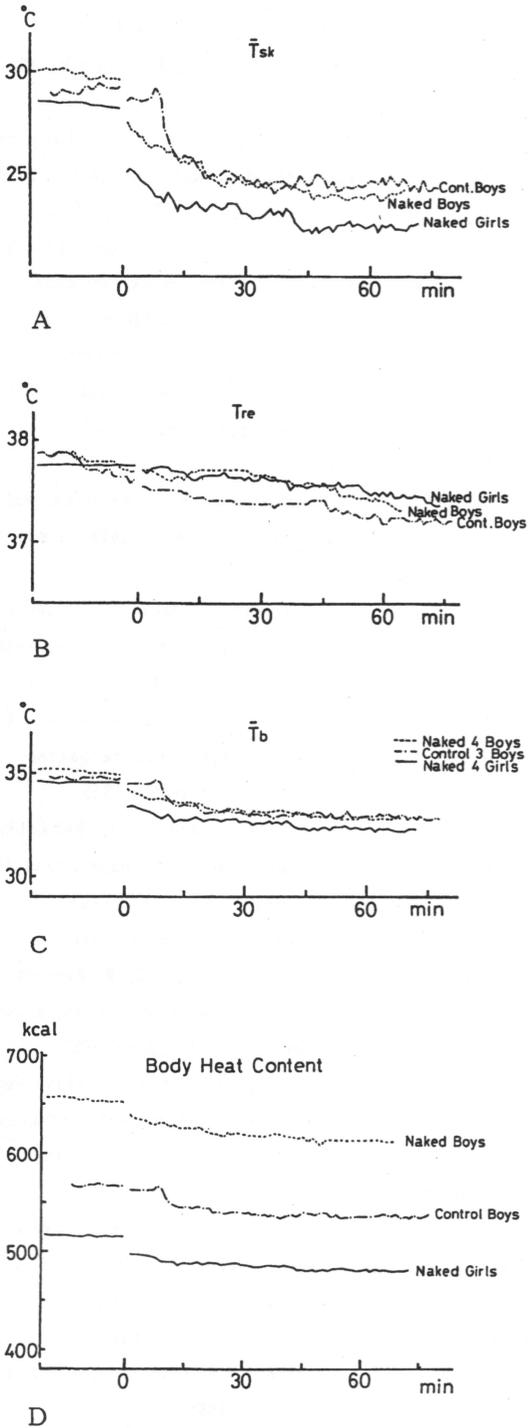


図9. 安静時酸素摂取量の対象群別推移。

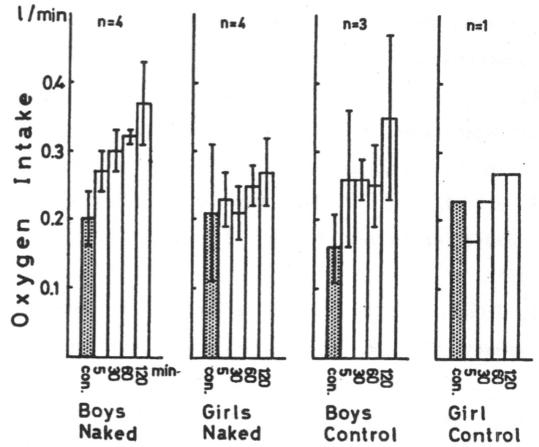
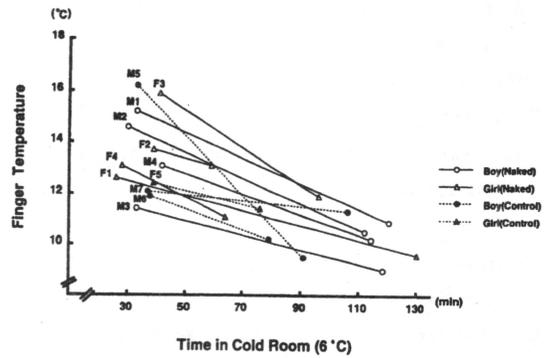


図10. 指先における寒冷血管拡張反応出現時の指先温と寒冷環境（6℃）滞在時間、および指先温の最低値とその時の滞在時間の個人別関係。



## 文献

1. Andersen, K. L., Y. Løyning, J. D. Nelms, O. Wilson, R. H. Fox and A. Bolsted. Metabolic and thermal response to a moderate cold exposure in nomadic Lapps. *J. Appl. Physiol.* 15:649-653, 1960.
2. Boker, P. T., and F. Daniels, Jr. Relationship between skinhold thickness and body cooling for two hours at 15°C. *J. Appl. Physiol.* 8:409-416, 1958.
3. Bittel, J. H. M. Heat debt as an index for cold adaptation in men. *J. Appl. Physiol.* 62:1627-1634, 1987.
4. Bittel, J. H. M., C. Nonotte-Varly, G. H. Livecchi - gonnot, G. L. M. J. Savourey, and A. M. Hanniquet. Physical fitness and thermoregulatory reactions in a cold environment in men. *J. Appl. Physiol.* 65:1984-1989, 1988.
5. Bruck, K., E. Baum, and H. P. Schennicke. Cold adaptive modifications in man induce by repeated short - term cold - exposures and during a 10 - day and - night cold exposure. *Pflugers Arch.* 363:125-133, 1976.
6. Budd, G. M., J. R. Brotherhood, A. L. Hendrie, and S. E. Jeffery. Effect of fitness, and age on men's response to whole body cooling in air. *J. Appl. Physiol.* 71(6):2387-2393, 1991.
7. Davies, T. R. A., and D. R. Johnston. Seasonal acclimatization to cold in man. *J. Appl. Physiol.* 16:231-234, 1961.
8. Golden, F. S. C., and M. J. Tipton. Human adaptation to repeated cold immersions. *J. Physiol. Lond.* 396:349-363, 1988.
9. Heberling, E. J., and T. Adams. Relation of changing levels of physical fitness to human cold acclimatization. *J. Appl. Physiol.* 16:226-230, 1961.
10. Horvath, S. M., G. B. Spurr, B. K. Hutt and L. H. Hamilton. Metabolic cost of shivering. *J. Appl. Physiol.* 8:595-602, 1956.
11. Horvath, S. M.. Exercise in a cold environment. *Exercise Sport Sci Rev.* 9:221-263, 1981.
12. Leblanc, J., and I. Mercier. Cold wind stimulation reflex. *J. Appl. Physiol.* 73(5):1704-1707, 1992.
13. Leblanc, J.. Evidence and meaning of acclimatization to cold in man. *J. Appl. Physiol.* 9:395-398, 1956.
14. Leblanc, J.. Adaptation of man to cold. In strategies in cold : Natural Torpidity and Thermogenesis., editea by L. C. H. Wang and J. W Hudson, New York Academic, 1978. p. 695-715.
15. 緒方雅弘 : 適応-気候風土に対する適応-, 医歯薬出版, 1973.
16. O' Hanlon, J. F., and S. M. Horvath. Changing physiological relationships in men under acute cold stress. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* 48:1-10, 1970.
17. Radomski, M. W. and C. Boutelier. Hormone response of normal and intermittent cold - preadapted human to continuous cold. *J. Appl. Physiol.* 53:610-616, 1982.
18. Scholander, P. F., H. F. Hammel, J. S. Hant, D. H. LeMessurier, and J. Steen. Cold adaptation in Australian aborigines. *J. Appl. Physiol.* 13:211-218, 1958.
19. Scholander, P.F., H. F. Hammel, K. L. Andersen, and Y. Løyning. Metabolic acclimation to cold in man . *J. Appl. Physiol.* 12:1-8, 1958.
20. Skreslet, S., and F Aarefjord. Acclimatization to cold in man induced by frequent scuba diving in cold water. *J. Appl. Physiol.* 24:177-181, 1968.
21. Spurr, B. B., B. K. Hutt, and S. M. Horvath. The effects of age on finger temperature responses to local cooling. *Am. Health J.* 50:551-555, 1955.
22. Spurr, G. B., B. K. Hutt, and S. M. Horvath. Shivering, oxxygen consumption and body temperatures in acute exposure of men to two different cold environments. *J. Appl. Physiol.* 11:50-64, 1957.
23. Tikuisis, P., D. H. McCracken, and M. W. Radomski. Heat debt during cold air exposure before and after cold water. *J. Appl. Physiol.* 71(1):60-68, 1991.
24. Tikuisis, P., D. G. Bell, and I. Jacobs. Shivering onset, metabolic response, and convective heat transfer during exposure to cold air. *J. Appl. Physiol.* 70:1996-2002, 1991.
25. Wagner, J. A., S. Robinson, and R. P. Mario. Age and temperature regulation of humans in neutral and cold environments. *J. Appl. Physiol.* 37:562-565, 1974.
26. Wagner, J. A., and S. M. Horvath. Cardiovascular reactions to cold exposure differ with age and gender. *J. Appl. Physiol.* 58:187-192, 1985.
27. Yoshimura, H., and T. Iida. Studies on the

- reactivity of skin vessels to extreme cold. Part II. Factors governing the individual differences of the reactivity on the resistance against frost - bite. Jpn. J. Physiol. 2:177-185, 1955.
28. 吉村寿人：ヒトの適応能—気候変化への適応を中心として—, 環境科学叢書, 共立出版, 1977.
29. Young, A. J., S. R. Muza, M. M. Sawka, R. R. Gonzalez, and K. B. Kent. Human thermoregulatory responses to cold air are altered by repeated cold water immersion. J. Appl. Physiol. 60:1542-1548, 1986.