

局所冷却による人体反応への影響

○西原(吉見)直枝¹⁾、長谷部ヤエ²⁾¹⁾ お茶の水女子大学大学院、²⁾ お茶の水女子大学

The Effect of Local Cooling Stimulation on the Human Body

Naoe YOSHIMI-NISHIHARA¹⁾, Yae HASEBE²⁾

To examine the effect of local cooling stimulation in the various parts of the human body, subjective experiments were carried out. The subjects were eight healthy females. The skin temperature and the heat flux from the human body were measured and the thermal sensations were selected. The experimental clothing was a coverall type garment which could be removed partially at the neck, breast, back, upper arm, forearm, thigh and leg regions. Each exposed area was 400 cm². The thermal insulation of this clothing was 1.69 clo. By removing each part of the clothing, each subject was locally exposed to an environment that was conditioned at a globe temperature of 18.2°C, 50%RH and still air. During the experiment, the skin temperature and the heat flux from the human body were measured every 1-min. Subjects selected their thermal sensation every 5-min during the experimental period. Local skin temperature and local thermal sensation during exposure at the upper arm were lower than other parts. However, the general thermal sensation during exposure at the upper arm was not different during exposure at the other regions. On the other hand, local skin temperature and local thermal sensation during exposure at the neck were higher than other parts, whereas local cooling stimulation of the neck is the most influential in lowering the skin temperature and thermal sensation of the whole body. It affected not only the extremities but also the trunk.

はじめに

本研究では、身体の局所冷刺激による人体反応特性を検討することを目的とした。全身が熱的中立である状態から、身体の各部位を同じ面積ずつ、グローブ温度 18°C、相対湿度 50%、静穏気流の環境に局所的に冷氣曝露したときの、全身および身体各部位の、皮膚温・温冷感等の反応特性を検討した。本報では、身体の部位による反応特性の違いについて報告する。

1. 実験方法

局所冷却方法としては、丸山ら¹⁾の密着服を用いた冷氣曝露法を採用し、Hasebe ら²⁾の方法に準じて曝露面積一定、曝露環境温度一定とした。Hasebe らの実験方法との相違点は、曝露部位に頸部を加えた 7 条件としたこと、曝露面積を 400cm²としたこと、曝露部位の熱流束の測定を行ったことである。

実験は 1999 年 7~9 月に、お茶の水女子大学人間環境制御室にて行った。実験環境条件を Table 1 に示す。被験者は健康な女子学生 8 名とした。被験者の身体的特徴を Table 2 に示す。

Table 1 Environmental condition

グローブ温度	18.2±0.18°C
相対湿度	50±1.0%
風速	約 0.05m/s

Table 2 Anthropometric data for the subjects

	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重(kg)	体表面積 (m ²) ¹⁾	ローレル 指数 (-) ²⁾
\bar{x}	22.1	160.6	50.8	1.53	123.1
SD	0.64	4.93	4.16	0.07	12.2

¹⁾ Calculated by Takahira's Equation; $A=72.46W^{0.425} \times L^{0.725}$, ²⁾ Rohrer Index = $W/L^3 \times 10^7$

実験服は、頭部を除いて全身を覆う密着服とした。実験服の素材は、厚さ 12.4mm、アクリル 100%の保温性の高い毛布用材料である。曝露部位は、体幹部の代表として頸部・胸部・背部、四肢部の代表として上腕部・前腕部・大腿部・下腿部の計 7 部位を選定し、400cm²ずつ曝露した。Fig. 1 に曝露部位を示す。

サーマルマネキン³⁾を用いて、実験服の椅座位着用時の熱損失量および皮膚温を測定し、基礎着衣熱抵抗値(クロ値)の算出を行った。全身被覆状態におけるクロ値は、1.69clo であった。Fig. 2 にサーマルマネキンを用いた実験風景を示す。

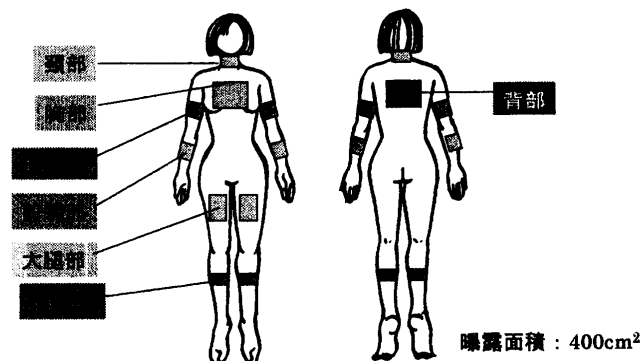


Fig.1 Exposed region

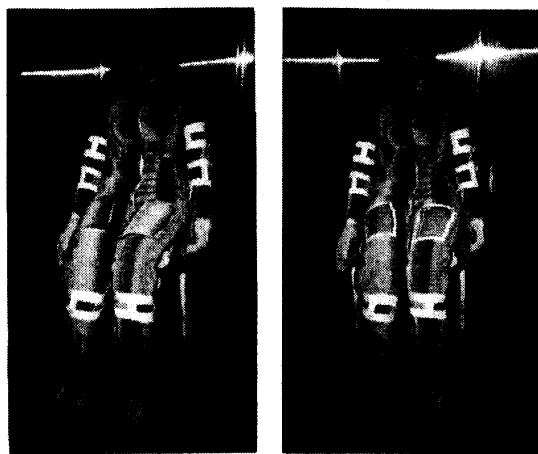


Fig.2 Thermal manikin
(Left: all-covered, Right: thigh-exposed)

実験手順を Fig. 3 に示す。被験者は実験開始 1 時間前に実験室に入室し、実験服に着替えた。下着は各自のショーツのみとした。実験服着用後、皮膚温・熱流束のセンサを被験者の身体各部位に貼付し、30 分後に実験を開始した。実験中、被験者は椅座位安静を保った。全身被覆状態で 30 分経過後、実験服の 1 部位を取り外して、グローブ温度 18℃、相対湿度 50%、静穏気流の環境に 40 分間の局所冷氣曝露を行った。70 分目に曝露部位を被覆し、100 分目で実験を終了した。

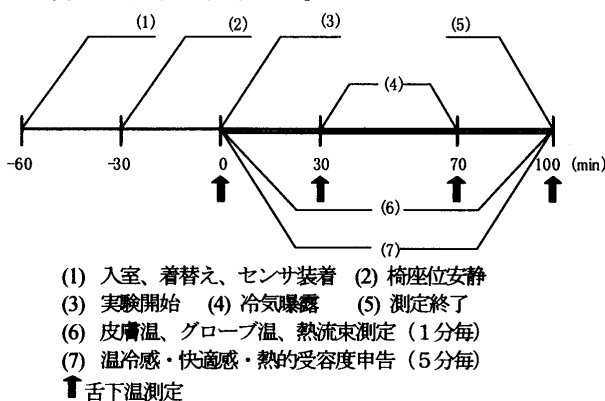


Fig.3 Experimental procedure

皮膚温および熱流束は、1 分毎に測定を行った。皮膚温は、頸、胸、背中、上腕、前腕、大腿、下腿、額、腹、手背、指先、足背、趾の計 13 点を、銅・コンスタンタン熱電対を用い測定した。また、冷氣曝露部位の熱流束測定には、低熱流用小型熱流センサ (EM1 (株) 京都電子工業) を用いた。舌下温は、実験開始から 0 分、30 分、70 分、100 分目に、電子基礎体温計で各 5 分間測定した。全身および各測定部位における温冷感・快適感の申告を 5 分毎に行った。Fig. 4 に温冷感申告スケールを示す。本報では、皮膚温および温冷感申告結果についてのみを報告する。

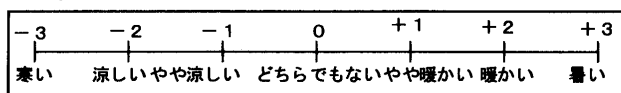


Fig.4 Voting scale for thermal sensation

2. 解析方法

曝露前データとして、皮膚温については曝露 5~1 分前の値の平均を、温冷感申告については、曝露前データとして曝露 5 分前および曝露開始直前のデータの平均値を用いた。曝露時データとしては、曝露開始後 5 分、10 分、40 分について解析を行った。なお、曝露開始後 40 分のデータについては、皮膚温については曝露後 35~39 分目のデータの平均値を用い、温冷感申告については曝露開始後 35 分目と 40 分目のデータの平均値を用いた。曝露開始 5 分、10 分後については、平均値を用いずに曝露開始 5 分目および 10 分目のデータを用いた。曝露前後の変化量の算出には、曝露前データと曝露開始後 40 分のデータの差を用いた。曝露前後の比較には paired *t*-test を、曝露部位条件の比較には最小有意差法を用いた。

3. 実験結果および考察

3.1 皮膚温結果

全曝露条件において、40 分間の冷氣曝露により、曝露された部位の皮膚温は曝露前の値よりも有意に低下した ($p<0.01$)。Fig. 5 に曝露部位における局所皮膚温を示す。Table 3 に、局所皮膚温の曝露部位間の比較を行った結果を示す。曝露前、曝露 5 分後、10 分後、40 分後ともに、頸の皮膚温は他部位の局所皮膚温よりも有意に高い、もしくは高い傾向があった。また、冷氣曝露時の上腕の皮膚温は頸、胸、背中、前腕における曝露時皮膚温よりも有意に低かった。

Fig. 6 に曝露前から曝露後 40 分の間における曝露部位の皮膚温低下量を示す。頸における皮膚温の低下量は、他部位よりも有意に小さく、2.8℃であった。他部位の皮膚温低下量は約 4℃であった。

Table 4 に、皮膚温測定各部位における冷氣曝露 40 分後における曝露前と比較した皮膚温変化を示す。四肢部では、実験服で覆われているにも関わらず、どの部位を冷氣曝露しても皮膚温が有意に低下した。頸曝露時には、四肢部のみではなく、胸・腹・背中などの体幹部の皮膚温も有意に低下し全身への影響が大きかった。

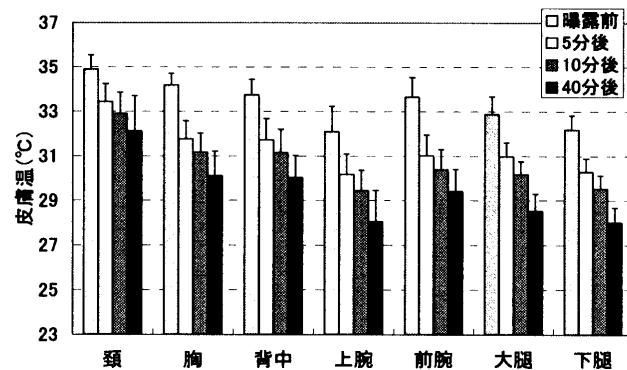


Fig.5 Local skin temperature of the exposed region

Table 3 Comparison of local skin temperatures between the exposed regions

**p<0.01, *p<0.05, +p<0.1

曝露前							
頸							
胸	<+						
背中	<**						
上腕	<**	<**	<**				
前腕	<**			>**			
大腿	<**	<**	<**	>**	<+		
下腿	<**	<**	<**		<**	<+	

曝露開始 5分後							
頸							
胸	<**						
背中	<**						
上腕	<**	<**	<**				
前腕	<**	<+	<+	>**			
大腿	<**	<+	<+	>+			
下腿	<**	<**	<**		<+	<+	

曝露開始10分後							
頸							
胸	<**						
背中	<**						
上腕	<**	<**	<**				
前腕	<**	<+	<+	>*			
大腿	<**	<*	<*	>+			
下腿	<**	<**	<**		<+		

曝露開始40分後							
頸							
胸	<**						
背中	<**						
上腕	<**	<**	<**				
前腕	<**			>*			
大腿	<**	<*	<*				
下腿	<**	<**	<**		<*		

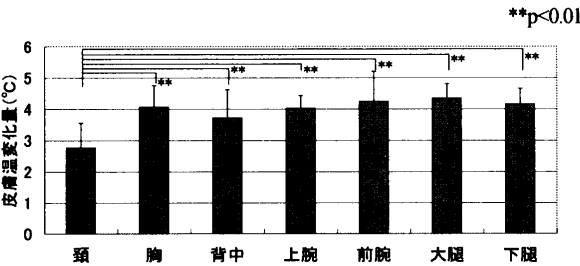


Fig. 6 Changes of local skin temperatures at 40min after cool air exposure

Table 4 Changes in skin temperatures at 40 min after exposure

皮膚温度変化量(°C)	曝露部位						
	頸	胸	背中	上腕	前腕	大腿	下腿
頸	-0.15**	-0.11*	-	-	-	-0.13**	-0.10*
胸	-0.25*	-	-	-	-	-0.05*	-
腹	-0.12*	-	-	-	-	-	-
背中	-0.23*	-0.22**	-	-0.13*	-0.15**	-	-0.16**
上腕	-0.51**	-0.53**	-0.38*	-	-0.43**	-0.50**	-0.35*
前腕	-0.48**	-0.50**	-0.50**	-0.60**	-	-0.53**	-0.47**
手背	-0.77**	-0.76**	-0.56*	-0.71**	-0.87**	-0.83*	-0.52**
指先	-1.30*	-1.23*	-1.19*	-0.68**	-1.30**	-	-0.65*
大腿	-0.44**	-0.47**	-0.38**	-0.47**	-0.42**	-	-0.48**
下腿	-0.67**	-0.63**	-0.61**	-0.60**	-0.69**	-0.74**	-
足背	-1.16**	-1.28**	-1.10**	-1.31**	-1.31**	-1.25**	-1.10**
趾	-2.86**	-2.75**	-2.65**	-2.48**	-2.55**	-2.27**	-2.04*

■ 曝露部位 (**: p<0.01, *: p<0.05)

3. 2 温冷感申告結果

1) 曝露部位における局所温冷感

Fig. 7 に曝露部位における局所温冷感を示す。Table 5 に、局所温冷感の曝露部位条件による比較結果を示す。曝露前は、身体の局所温冷感はいずれも中立であり、有意な

差は認められなかった。曝露 5 分後は、上腕の局所温冷感が頸より有意に低く、その他の部位と比較しても低い傾向があった。曝露 10 分後は、頸の局所温冷感が上腕、前腕より有意に高く、背中より高い傾向があった。曝露 40 分後では、上腕の局所温冷感が、頸、胸、下腿より有意に低く、大腿より低い傾向があった。

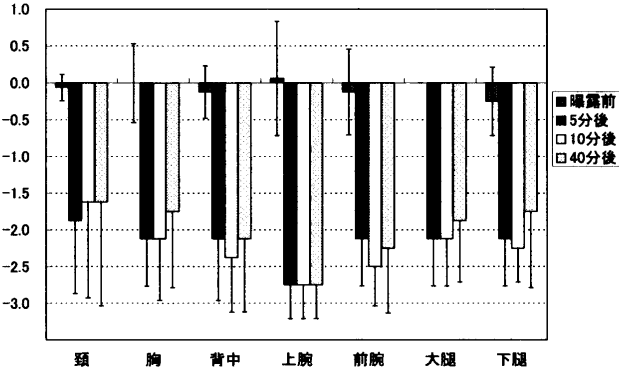


Fig.7 Local thermal sensation of the exposed region

Table 5 Comparison of thermal sensation between the exposed regions

**p<0.01, *p<0.05, +p<0.1

曝露開始 5分後							
頸							
胸							
背中							
上腕	<*	<+	<+				
前腕				>+			
大腿				>+			
下腿				>+			

曝露開始10分後							
頸							
胸							
背中	<+						
上腕	<**						
前腕	<*						
大腿							
下腿							

曝露開始40分後							
頸							
胸							
背中							
上腕	<*	<*					
前腕							
大腿					>+		
下腿					>*		

2) 全身温冷感

Fig. 8 に各曝露条件ごとの全身温冷感を示す。曝露前、曝露 5 分後、曝露 10 分後、曝露 40 分後における、各曝露条件による比較を行った結果、全身温冷感に曝露部位による有意な差は認められなかった。

3) 局所冷氣曝露による他部位への影響

Table 6 に、身体各部位における局所温冷感の冷氣曝露 40 分後と曝露前との間の変化量を示す。頸曝露時は、胸や背中などの実験服で被覆されている体幹部の温冷感も有意に低下した。また、上腕部はどの曝露条件においても、実験服による被覆の有無にかかわらず、曝露前よりも曝露 40 分後の方が、局所温冷感が有意に低下した。

Fig. 9、Fig. 10 に、頸、上腕曝露時における、曝露部位および被覆されている各部位の、局所・全身温冷感の経

時変化を示す。頸曝露時は、曝露されている部位以外の局所温冷感および全身温冷感が時間経過にともない、徐々に低下した。一方、上腕曝露時では、曝露されていない部位における局所温冷感の低下は小さく、全身温冷感も、曝露開始直後に大きく低下し、その後はほぼ一定の値で推移した。

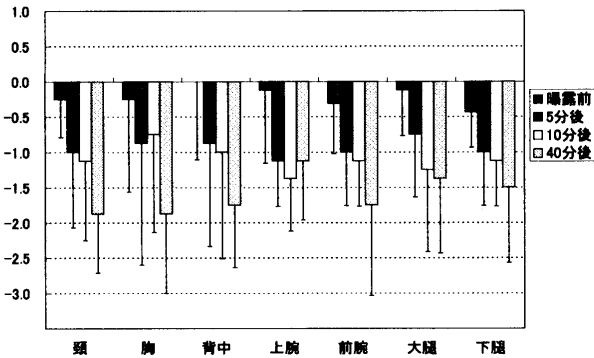


Fig.8 General thermal sensation

Table 4 Changes in thermal sensation at 40 min after exposure

	曝露部位						
	頸	胸	背中	上腕	前腕	大腿	下腿
全身	-1.50**	-1.56*	-1.81*	-1.13*	-1.38**	-1.25**	-1.00**
頸	-1.50**	-	-	-	-	-	-
胸	-0.25*	-1.75**	-	-	-0.63*	-	-
背中	-1.25**	-	-2.00**	-0.38*	-	-	-
上腕	-0.63*	-1.13**	-0.63*	-2.88**	-1.00**	-0.63**	-0.75**
前腕	-0.50*	-0.63*	-0.50*	-	-2.00**	-0.38**	-
大腿	-	-	-	-	-0.75**	-1.88**	-0.63*
下腿	-0.75*	-	-	-	-0.63*	-	-1.50**

(** : $p < 0.01$ * $p < 0.05$)

■ 曝露部位

3. 3 考察

局所冷氣曝露時の他部位への影響が最も大きかったのは、皮膚温については、Hasebe ら²⁾では上腕曝露時であったが、本研究では頸曝露時であった。また温冷感では、頸の局所温冷感他部位曝露時に比べて、寒さを感じにくいにもかかわらず全身温冷感への影響が大きく、全身温冷感は時間経過にともなって徐々に低下した。これは頸曝露時、冷氣曝露による頸の局所皮膚温の低下量は小さいが、曝露されていない他部位の皮膚温の低下により、時間経過とともに全身温冷感の低下が生じたものと思われる。頸部曝露により外頸動脈が冷却されたために生じたことではないかと考えられる。Hasebe らの場合、6部位曝露時すべて頸部は冷氣曝露されており、被覆されている部位への影響が大きかったのは、頸曝露プラス上腕曝露の場合であったが、本研究では上腕のみの曝露で頸部は覆われているため、Hasebe らの場合と異なり、上腕曝露時の他部位の影響は小さかった。これらの結果より、頸曝露が冷却服の設計を考える時重要であることがわかった。

4. まとめ

身体の一部を局所的に冷氣曝露したときの、身体各部位の皮膚温および温冷感の反応特性を検討することを目的とし、被験者実験を行った。グローブ温度 18℃、相

対湿度 50%、静穏気流の環境に、頸、胸、背中、上腕、前腕、大腿、下腿の 7 部位を、各 400cm² ずつ 40 分間冷氣曝露した。得られた結果を以下に述べる。

- 1) 上腕曝露時の局所皮膚温および局所温冷感他部位曝露時に比較して低いが、全身温冷感他部位曝露時と有意な差が認められなかった。
- 2) 頸曝露時の局所皮膚温および局所温冷感他部位曝露時に比較して高かった。
- 3) 頸曝露時は、曝露されていない他部位の皮膚温および局所温冷感に与える影響が大きかった。

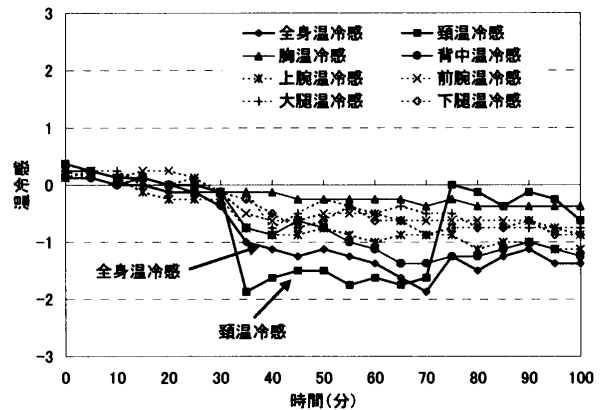


Fig.9 Thermal sensation under the neck-exposed condition

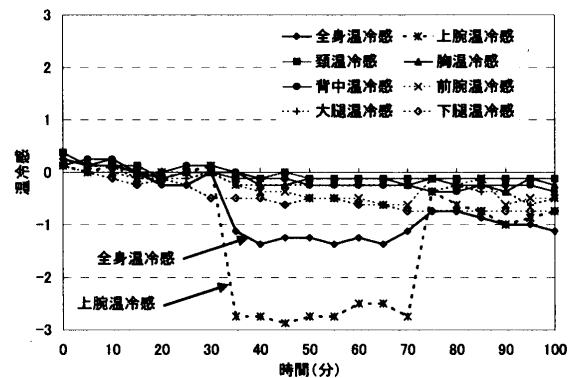


Fig.9 Thermal sensation under the upper arm - exposed condition

《謝辞》

本研究の実験にご協力頂いた、井東由貴、平野友美両氏に深謝いたします。被験者として参加して下さいの方々へ心から御礼申し上げます。

《参考文献》

- 1) 丸山康子, 田村照子: 不均一温熱刺激に対する皮膚温・温冷感反応, 日本生気象学会誌, 26(3), 143/154, 1989
- 2) Y. Hasebe, L. Zhou: Changes in skin temperature and thermal sensation to unevenly distributed thermal resistance of clothing, Proceedings of the 1998 International Symposium on Human Biometeorology, 187/192, 1998
- 3) 田辺新一, 長谷部ヤエ: 皮膚温度可変型サーマルマネキンによる室内環境評価法に関する研究, 日本建築学会計画系論文報告集, 448, 1/8, 1993