輻射熱負荷による体表面温度の変動

Influence of Radiant Heat on Skin Temperature

慶応義塾大学医学部衛生学・公衆衛生学教室

倉田 正一・新井 昌平・豊田 和雄

東京都渋谷保健所

石原 弘純

Masakazu Kurata, Shôhei Arai, Kazuo Toyoda

Department of Preventive Medicine and Public Health, School of Medicine, Keio University

Hirozumi Ishihara

Shibuya Health Center, Tokyo

住宅における冬季採暖法としては現在輻射暖房が相当な役割を演じている。輻射暖房といつても、ここでは部屋の壁や天井、床自身を輻射体とする暖房方法ではなくて、ストーブ類による採暖法を意味しているのであるが、この場合には、われわれの受ける輻射熱は身体のある1方向からのみ、多くは前面からのみのことが多い。A. Burton¹⁾によれば、F. Goldbyらはオーストラリアに住む土民の採暖風習について記載していて、彼らは凍るような寒夜に真裸で火の側に横臥就寝するという。もしこのような状態が可能であるとすれば、土民の寒冷馴化はあるにしても、裸体横臥時前面から受ける熱によって一体どんな熱関係を生ずるのであろうか。

著者らはさきに、着衣状態で軽い作業をしている被検者の前面から輻射熱を加えた場合起る身体熱収支の変動の様子を観察したのであるが²⁾、その際、直接輻射熱に曝されない皮膚面、特に躯幹部背面では、室温を20℃付近に保つと、作業中皮膚温下降を示し、室温が上昇して30℃を越すようになってはじめて該部皮膚温は下降から上昇に転ずるのを認めたのである。このことは、オーストラリア土民の風習と考え合わせると、受熱面と放熱面との間に何か微妙な協調が存在することが暗示されているようでもある。あるいはまた、輻射熱によつて特殊な血管反射でも起るのであろうか。著者らはここで、前面から輻射熱を受けたときの裸体横臥時の全身の皮膚温分布から本問題を検討してみたのである。

1) 実験方法

輻射熱源としては、3 KW = クロム線 3 本の背部に、

反射銅輝面 120×60cm を置いて、裸体横臥位の被検者の前面75cm または 100cm に設置した。

被検者は 6 名 (21~23 歳男子 5 名, 59 歳男子 1 名) で、まず裸体後体重を測定し、ついで横臥せしめて皮膚温測定用熱電対を全身に貼布する。貼布部位は、頭部 (後頭極)、顔頸部 (前額中央)、胸部 (肩胛棘)、腹部 (剣状突起、側腹)、腰大腿部 (鼠蹊部、大腿前、後面)、上膊 (三角筋中央)、前膊 (内、背面)、手部 (手掌、手背)、下腿部 (前、後面)、足部 (足背) 合計 16 カ所を主とした。これらとともに直腸温も熱電対で測定する。その後およそ 30 分安静に保ちながら皮膚温を測定する。この間、環境温度条件 (気温、気湿、気流、輻射熱)、ついで血圧、脈搏を測定し、発汗状態を観察するため Minor 法による沃度澱粉の塗抹をおこなつてから、輻射熱を負荷しはじめる。負荷は 1 時間とし、この間連続して皮膚温、直腸温を測定し、終了直前再び血圧、脈搏を測定して負荷を終る。再び体重を計量して、さきの測定値との差から腎外水分排泄量を算定した。

2) 成績ならびに考按

実験中の空気温度条件は、第 1 表に示すように、気温 15~16℃ を中心としているが、実験室の都合で、実験中数度にも及び気温上昇をきたした例がある。しかし多くは 0.5℃ 内外の上昇に止めることができた。いずれにしてもこの温度上昇は考慮に入れねばならない。

横臥位被検者の前面から輻射熱を与えると、受熱皮膚表面温度は当然直ちに急上昇しはじめ、特に鼠蹊部は著しくて、有効輻射温 22.5℃ では 42℃ に及んだことがあり、

第1表 実験温度条件

氏名	年齢	照射部位	距離 cm	乾球温度℃	比湿%	気流 m/sec	有効輻射 温度 ℃
A	21歳	前	100	14.0~14.6	46~39	~0.1	12.0
B	22歳		100	13.7~14.3	37~36	~0.3	19.2
C	23歳		100	12.0~12.7	34~35	~0.2	17.0
D	59歳		75	17.3~17.7	43~40	~0.4	26.8
E	23歳		75	12.8~13.5	36~32	~0.1	19.0
B	22歳		75	14.8~15.3	39~42	~0.1	23.5
E	23歳	面	75	18.0~18.4	43~50	~0.2	18.0
D	59歳		75	15.5~16.1	41~39	~0.1	20.0
F	22歳		75	16.8~17.3	38~40	0.1~0.2	22.5
F	22歳		75	11.5~18.5	45~38	~0.6	23.0
E	23歳		75	18.0~17.0	39~39	0.3~0.4	19.2
B	22歳	顔	75	14.5~15.1	34~33	0.1~0.2	22.0
E	23歳	面	75	16.3~16.8	33~35	~0.2	21.1
E	23歳		75	17.0~17.8	33~39	0.5~0.7	13.1
B	22歳	胸、腹の前面	75	16.5~18.8	49~38	~0.2	20.3

剣状突起部、大腿前面部皮膚面の上昇も著明である。なお、熱電対自身が輻射熱を受けるが、これによる測定誤差は無視できるほど小さかった。これに反して、輻射熱を直接受けない三角筋部、肩胛棘部、大腿後面、下腿後面などの皮膚温は、気温により程度の差はあつても、一様に輻射熱負荷前からひき続いて低下を続け、殊に比較的低気温時には、物理的冷却を思わせるような下降を示す。第1図は、気温18℃、球温度36℃のときの例である。

第1図 皮膚温分布 (被検者E)

乾球温度 18.0℃ 有効輻射温 18.0℃

注目すべきは、1時間の観察期間中これら背面において、ついに反射的な皮膚温上昇がみられなかつたことである。図中に示すように、直接輻射熱を受ける皮膚面、特に胸部皮膚面では、右半身(左半身を下にしている)に

受熱後8~18分まず小汗滴が認められはじめ、背面でも少し遅れて同じく右半身に21~45分小汗滴が認められはじめたのである。すなわち、汗滴は、左半身よりも右半身すなわち床に接している反対側の半身に高木⁹⁾のいう半側性発汗としてまず認められたのである。そこで、この背部皮膚温下降は小汗滴による奪温のためではないかという疑も起るが、Minor法で汗滴を認める前後を比較してみても、特に発汗の影響を思わせる傾向はみられないから、やはり主役を演じているのは物理的な冷却と考

第2図 背部皮膚温

乾球温度 26.0℃ 有効輻射温 18.0℃

えざるをえない。試みに、気温を高めて、気温26℃のもとで有効輻射温18.0℃を負荷してみても、第2図にみるように、背面(左右両肩胛棘部、腰部)皮膚温は低下はしないが、認むべき上昇はみられないのである。また

M. Bader ら⁹⁾は、着衣椅坐位の被検者を気温15℃において顔面を輻射熱加温したところ、80分後に手の皮膚温は約10℃上昇するが、他部位に認むべき上昇はなく、足趾皮膚温に被検者により多少の上昇はあつても、背面皮膚温は上昇しないのを見ていのである。しかも、気温23.5℃においても、背面皮膚温上昇は起らなかったという。著者らの前記裸体横臥位の被検者に、気温16℃のもとで、顔面のみを照射したときの成績は第3図に示すようであるが、Bader らの成績にみるような手の反射的皮

第3図 顔面輻射熱加温 (被検者B)

乾球温度 14.5℃ 有効輻射温 22.0℃

膚温上昇はみられないのであつて、手部といえども、裸体で気温16℃では反射を起しえなかつたということになる。背面では勿論皮膚温上昇はみられなかつた。また、著者らが着衣で中等度の運動をしている被検者の前面から輻射熱を负荷した実験⁹⁾では、室温20℃付近では、胸部背面の肩胛棘部皮膚温は運動開始後下降を示して上昇がなかなか起らず、室温が30℃を越すようになるとはじめて下降から上昇に転ずるのを見ていることからしても、背面は、低気温下、したがつて低皮膚温下ではまず反射は起らないとみてよいのではあるまいか。

さて、前面から輻射熱を受けた裸体横臥時の各部皮膚温の動きは第1図のようであるが、直接輻射を受けている全皮膚面と、直接照射されていない全皮膚面とはどれほど温度差がみられるであろうか。さらに、全身の平均皮膚温はどうか。これを知るためには、まず全体表面を区分し⁶⁾、その各区分の面積のどれほどが輻射を受けているかを実測し、これらを合計して輻射皮膚面を算出し、同様に非輻射皮膚面積を実測算出し、接着皮膚面(床と右側身体との接着部、上肢内面と軀幹部、左右下肢間など)を算出する。第2表は、23歳男子学生(被検者E)の測定結果である。輻射面を知るには、輻射源の位置に電球数個を置いて横臥被検者皮膚上に陰影を作らせる。そし

第2表 体表面積

身体区分	全体表面		輻射面		非輻射面		接着面	
	%	cm ²	%	cm ²	%	cm ²	%	cm ²
頭 部	4.3	698	1.2	193	2.3	372	0.8	133
顔 面 部	3.1	503	2.7	444	0	0	0.4	59
頸 部	2.4	390	0.5	82	1.2	197	0.7	111
上 膊 部	8.2	1331	3.4	553	2.5	412	2.3	366
前 膊 部	6.1	991	3.2	529	2.3	376	0.6	86
手 部	5.3	861	2.5	419	2.5	400	0.3	42
胸 部	16.6	2695	6.6	1064	8.4	1364	1.6	267
腹 部	8.1	1315	3.0	481	2.8	456	2.3	378
腰大腿部	25.3	4108	3.7	608	2.8	444	18.8	3056
下 腿 部	13.4	2176	5.8	940	6.3	1021	1.3	215
足 部	7.2	1169	2.3	362	4.4	726	0.5	81
合 計	100.0	16237	34.9	5675	35.5	5768	29.6	4794

被検者E {身長 166.8 cm
 {体重 54.9 kg

て、各皮膚区分ごとにセロファン紙小片を貼布してゆき、光の当る面積に貼布した小片の面積を合計算出する。非輻射面についても同様のことをして面積を算出するのである。さて次に、各区分ごとに輻射面、非輻射面とも数カ所の皮膚温を測定して、各々の平均値を算出し、さらに、第2表にみるような面積比率の重みをつけて、全輻射皮膚面と全非輻射皮膚面の平均温度を求めるのである。被検者Eについては、第3表ならびに第2表から算出されるが、一般に両面の温度差は約6℃であつた。さて全身の平均皮膚温は、第3表のように、各部平均皮膚温から容易に求められるが、実際には、時間的に上記方法によつて算出してゆくことは非常に煩雑であるので、被検者E、Fについて種々検討の結果、著者らの皮膚温測定点に関する研究⁹⁾から、11点法のⅡ法(測定点が後頭極、前額、肩胛棘、側腹、単蹠、三角筋、前膊内面、手背、大腿前面、下腿後面、足背合計11点)を選び、面積比率の重みづけをしてゆけば、上記の複雑な方法から求めた平均皮膚温におよそ一致することを知つたので(第3表)、以後この方法によつた。前記実験の平均皮膚温をこの11点法で時間的経過につき観察すると第4図のようになる。すなわち、輻射源からの距離75cmの場合も100cmの場合も、平均皮膚温は輻射熱を负荷してのち10分内外は上昇を示すが、やがてほぼ一定水準を保持してゆくのである。第5図は、輻射源からの距離75cmにおいて、顔面のみを加温した3例を示しているが、この場合には平均皮膚温は漸次低下してゆく。

ここで、直腸温の動きをみると、前面全体の輻射時

第3表 平均皮膚溫 (被検者E)

実 測 値				11 点 法				実 測 値				11 点 法				実 測 値				11 点 法			
皮膚 区分	各点 皮温 ℃	各面 均皮温 ℃	全身平 均皮温 ℃	測定 部位	全身平 均皮温 ℃	皮膚 区分	各点 皮温 ℃	各面 均皮温 ℃	全身平 均皮温 ℃	測定 部位	全身平 均皮温 ℃	皮膚 区分	各点 皮温 ℃	各面 均皮温 ℃	全身平 均皮温 ℃	測定 部位	全身平 均皮温 ℃	皮膚 区分	各点 皮温 ℃	各面 均皮温 ℃	全身平 均皮温 ℃	測定 部位	全身平 均皮温 ℃
頭 部	照 射 面	29.5 31.5	30.5	後頭極	31.3	側腹 鼠蹊部	32.1		31.5	大腿 前面	31.2	前 膊	30.8 34.9 31.1	32.1	33.0	前 膊	30.8 34.9 31.1	32.1	手 背	下腿 後面	29.1	足背	
	非照 射 面	29.9 30.7 31.5 30.4	30.6				33.7 33.5 35.5 36.7 34.3	31.9					33.4	31.9			25.4 23.4 24.9 30.5	26.1					23.3 28.7 22.2
額面 頸部	照 射 面	34.2 35.1 33.4 31.5 34.7	33.8	前額	31.3	腰 部	33.7 36.3 33.5 35.3 28.3 29.1 27.8 27.2 26.2 26.4 26.2 27.4	29.8	31.5	大 腿	31.2	手 部	33.3 33.2 32.5 32.8 31.5	32.7	33.0	非照 射 面	33.3 33.2 32.5 32.8 31.5	32.7	下 腿	29.1	足 部		
	非照 射 面	33.4 33.4 33.4 33.4 33.4	33.8				33.7 36.3 33.5 35.3 28.3 29.1 27.8 27.2 26.2 26.4 26.2 27.4	29.8					33.3	33.3 33.2 32.5 32.8 31.5			32.7	33.0				33.3 33.2 32.5 32.8 31.5	32.7
胸 部	照 射 面	35.2 37.1 36.3 37.0 38.2 35.8	36.6	肩胛棘	31.3	上 膊	35.4 34.4 34.3 32.1 33.1	33.0	31.3	三角筋	31.2	下 腿	31.9 33.8 29.5 34.2 35.0 32.9	32.9	29.1	照 射 面	31.9 33.8 29.5 34.2 35.0 32.9	32.9	足 部	25.5	足背		
	非照 射 面	29.6 29.9 31.0 30.3 30.4 29.3 30.7 30.2	30.2				35.4 34.4 34.3 32.1 33.1	33.0					33.3	26.9 29.5 25.4 25.4 24.9 27.0 22.3			25.9	25.4 23.4 24.9 30.5				26.1	23.3 28.7 22.2
腹 部	照 射 面	36.8 37.3 36.6 37.8	37.1	三角筋	31.3	前 膊	29.9 30.7 34.2 34.4	32.3	31.3	三角筋	31.2	足 部	25.4 23.4 24.9 30.5	26.1	25.5	照 射 面	25.4 23.4 24.9 30.5	26.1	足 部	25.5	足背		
	非照 射 面	29.9 27.8 27.6	29.4				29.9 30.7 34.2 34.4	32.3					23.3 28.7 22.2	24.7									

乾燥温度 18.0 °C 有効輻射温 19.0 °C

第4図 平均皮膚温の動き (横臥位, 全輻射面加温)

第5図 平均皮膚温の動き (顔面のみ加温)
(距離 75 cm)

(75 ならびに 100cm) においては、一般に不変か加温初期に 0.8°C 以内の低下を示すが、被検者 E, F では 1.8°C に及ぶ低下をみた。かかる例では、直腸温は輻射熱負荷後70分でも安定しないが、他の全例ではおよそ10分で一定の高さを維持するようになる。一方、顔面のみを加温した場合には、該部の平均皮膚温と同様に、漸次下降を続けてゆくのである。

血圧、脈搏にはみるべき変化はなかつたが、腎外水分排泄量では、顔面のみを加温したときよりも、前面全体を加温したときの方が蒸泄が盛んであつたことが示され、前記実験条件下(第1表)で、前者の30~100gの体重減少に対し、後者は100~450gであつた。特に、直接輻射されている胸部では、背面に寒冷の不快感が去らぬにも拘らず、背面に比べてかなり著明な汗滴が認められた。

上記平均皮膚温と直腸温の動きが、加温開始時の動き

を別にすれば、ともに一定の高さを維持して動かないことは、かかる特殊な環境下で熱平衡が維持されていることを示すものと考えられる。すなわち、前面から主として輻射によつて熱が侵入してくるが、反面、後面からの輻射、伝導、対流によつて放熱が続き、時間経過に応じて前面の侵入熱量、後面の放散熱量の大きさに差はあつても、結局は常に前、後面の熱出入によつて身体全体として熱の平衡が維持されていると考えられるのである。ただ、前記 F. Goldby らが記載しているオーストラリアの土民にみる採暖法としてのこの状態の持続は、身体前後面の熱平衡ということだけでは説明が充分ではないと考えられ、著者らの実験にみられた被検者の快感度や蒸泄量、2例にみられた直腸温低下などから、代謝、寒冷馴化といったような何か他の関係因子を考えねばならない。しかし少なくとも、焚火によつて反射的に全身の皮膚血管が開張するということは、この場合考えられない。

3) 総 括

輻射熱を身体前面から受けた場合に起る熱収支の変化の様子を、気温およそ $15\sim 16^{\circ}\text{C}$ のもとで裸体横臥の6名について観察した結果、輻射熱に直接曝されない身体背面では、熱負荷の影響は明らかでなく皮膚温低下が続くが、身体前面からの熱侵入と相殺して、結局は体内深部温は一定の高さを保持し、体表面温度も平均皮膚温からみてほぼ一定の値を維持してゆくことをみた。

原島教授の御校閲を深謝致します。

参 考 文 献

- 1) Burton, A.: Man in a Cold Environment, Edward Arnold Ltd., 1955.
- 2) 田中龍男: 慶応医学, 34, 284, 昭32.
- 3) 高木健太郎: 医学のあゆみ, 15, 81, 昭28.
- 4) Bader, M. et al.: J. Appl. Physiol., 1, 215, 1948.
- 5) 倉田正一: 日本衛生学雑誌, 12, 247, 昭32.
- 6) 倉田正一他: 労働科学, 30, 332, 昭29.

(受付: 1958年7月31日)