手指作業と手背皮膚温の関係

Relation of Manual Dexterity to the Skin Temperature of Dorsal Hand

慶大医学部衛生学, 公衆衛生学教室 (主任原島進教授)

倉 田 正 一

Masakazu Kurata

Dept. of Prev. Med. & Publ. Health, School of Med.,

The efficiency of man-machine system is influenced by the atmospheric conditions within which the human activities are carried out. One of the important aspect of the environments is that of temperature. Impairment of finger dexterity in various thermal conditions was observed by FD test and tapping rate. A marked drop of finger dexterity was showed at about below 23°C of dorsal hand skin temperature in spite of various outer environmental conditions. This level of the skin temperature was interpreted as additional evidence to the observations that seasonal variations of regional skin temperature, vascular reflex, and insensible perspiration of dorsal hand showed remarkable quantitative and also qualitative changes at about 23°C of skin temperature.

The decrement of manual dexterity is probably caused by some arm circulatory conditions.

光, 音, 温熱条件, 振動など外部環因子が人間機械系¹⁾の効率にどのような影響を与えるかは, ホーソン工場での照明研究にみるように, 評価に慎重を要する問題である。ことに至適条件の探究に対しては注意が必要であらう。しかし実際問題としては, 至適条件よりも生体に対する忍限度ともいうべき環境条件がまづ求められねばならない。それには, 或る環境因子の連続的な量的, 質的变化に対する人間機械系の生産の不連続点を求めることが一つの有力な手掛りとなる。

著者は温熱条件特に気温に対する人間機械系の作業量ないし生産の変化を手背皮膚温を通じて観察してみたのである。

I. 指の巧緻性

A. 実験方法並びに結果

1. FDテスト²⁾

検査盤を使用するがそれは次のように製作した。縦48 cm, 横40 cmの樹脂板の上部, 下部に各々50 (5×10=)の孔を3 cm間隔にあけ, 下部の50の各孔に長さ1.5 cmの丸鉗を坐金(直径1.3 cm, 厚さ0.3 cm)と共に挿込んでおく。樹脂板中央部の左端に坐金をうける長さ15 cmの金属棒をたてておく。被検者は合図と共に盤の下半部の孔から丸鉗を抜きとり, 坐金をはずして左手で金属棒に挿込むと同時に, 丸鉗は右手で盤の上半部にある孔(抜取った孔と対応する孔)に挿込む。右下の孔

から上に向かって進めてゆく。時間は1分で, できるだけ正確に早く行わせ, 検査盤上部の孔にさしえた鉗数を得点とする。坐金は丸鉗が抜取られる毎に盤の上をすべらせ検査盤の最下部までもってきから盤の端で始めてつまみとして金属棒に順々に挿してゆくのである。検査中完成しなかった鉗または坐金数は半分の得点を与える。

被検者は男子3名で安静椅座位とする。温熱条件を気温-10°Cから31°C(比湿50~90%, 無風に近い状態)に変化せしめ, その間, 呼吸, 脈搏, 体温, 皮膚温を測定しながらテストを課し得点を記録していった。皮膚温測定には銅, コンスタンタン熱電対の温接点を右中指末節背面, 手背中央線1/2の点, 腕関節部背面中央, 前膊内面中央線で前膊の下1/3の点, また平均皮膚温の算出のため大腿前面中央線上で鼠蹊線と膝蓋上端との間の下1/3の点と前額中央³⁾に絆創膏で固定し随時測定した。服装は温熱条件に相応した衣服をつけさせ特に指定しなかった。ただ, 氷点下の気温では防寒衣服を着用せしめたが, 全実験を通じて腕関節以下は常に露出せしめた。

テストによる得点を, テスト開始直前の右手背皮膚温との関係においてみると図1のようになる。すなわち, 被検者A, Bとも手背皮膚温23°Cから35°Cの範囲ではほぼ一定の得点を示すが, 23°C附近以下になると急激に, むしろ段階的に低下し, 以後皮膚温低下に伴って得点も減少してゆくのをみるのである。

図1 FDテストと手背皮膚温

Fig. 1. FD test score related to skin temperature of dorsal hand

2. 各指のタッピング数

上記テストと同様の条件下で、右各指の1分間のタッピング数を観察した。この際、上肢運動には何等制限を加えず、叩打の仕方も被検者の好みに委せた。叩打による9 mm 加圧によってカウンターが廻転するよう調節した。

各指がえたタッピング数を手背皮膚温との関係においてみると図2のようになる。すなわち、第Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ指においては、手背皮膚温 23°C から 35°C の範囲では各指ともほぼ一定のタッピング数を示しているが、23°C 附近以下になると急速にタッピング能を低下させているのである。ただ第Ⅰ、Ⅴ指についてはこの関係は明らかでない。

B. 考 按

温熱条件特に気温ないしは感覚温度と作業能率との関係をみた報告は数多く、これらは生産高、疲労、事故発生などから観察されている。A. Lundervold⁴⁾ もタイプライター作業について気温を 20°C から 15°C にした場合の筋疲労の増大について報告している。しかし問題は温熱条件の影響を気温でみることの適否である。果して従来示されてきたような外部環境条件からみてゆくことが適当であろうか。周知のように、同一気温下でも気流の存在の程度によって発汗や伝導による放熱量は変化し、衣服の状態により熱絶縁量が増大すれば放熱は抑制される。一方、産熱量は純粋に外部温熱条件によって決められてくるものばかりでなく、筋作業のための消費エネルギーに由来するものも同時に考えねばならない。このような次第であるから、もし気温ないし感覚温度から作業

図2 各指のタッピング数と手背皮膚温

Fig. 2. Tapping rate related to skin temperature of dorsal hand

能率をみてゆくためには、多種多様な作業の多種多様な作業状態ごとに観察してゆかねばならないことになり実用に供しえない筈である。

皮膚は外部環境と内部環境の境界に位置しているので、皮膚の示す温度は外部温熱環境因子と内部温熱環境因子双方の影響を同時にうけることは論をまたぬところ

である⁵⁾。したがって、皮膚温を測定することによって、関係する内、外両温熱環境因子の総合された効果をすることができる。特に、寒冷下で問題となる手指作業能率の低下が気温何度ぐらいで明らかになるかといっても、十分厚着をしている者と薄着をしている者では異なることは日常吾々が経験しているところである。皮膚温を

測定すれば、熱絶縁の効果は環境因子の中に含まれて表現される⁶⁾⁷⁾。そこで今回手指の作業を観察するに当たっては、外部温熱環境因子のみによることなく、外部環境因子の影響を反映している生体側の皮膚温を指標として作業を観察してみたのである。ただ、皮膚温を用いる場合発汗が関係してくるような状態では種々問題も生ずるが⁸⁾、ここでは C-E. Winslow らのいう所謂血管調節域⁹⁾以下に観察の重点をおいているのである。

さて成績の項でみたように、手指の巧緻性を F D テスト、タッピング数を通じて観察してみると、手背皮膚温 23°C 附近を境としてこれ以下の皮膚温では急速に運動能が低下してゆくのである。元来、手の巧緻性低下の原因については J. Hunter¹⁰⁾らは寒冷によって関節液の粘度が増大する結果関節の摩擦が増大するからであると考え、J. LeBlance¹¹⁾は関節液の性状も否定できないがそれよりも前膊諸筋の冷却が重要な役割を演じていると推論している。彼は手部を約 19°C の室温に放置し前膊を氷水で 10 分間冷却（この間腕関節以下の諸関節は室温下にある）してもやはり巧緻性低下を観察しえたのである。そしてこの際、前膊筋群の冷却によって血流低下、代謝低下が起るからであると推定している。

もし巧緻性低下が主として LeBlance のいうように

前膊の血流ないし血流量によるとするならば、その消長は皮膚温に当然反映さるべきで、逆に皮膚温低下の程度から巧緻性を推測することができることになる。これは作業現場で実際応用上きわめて有用であろう。われわれの場合、手背皮膚温 23°C 附近から著明な巧緻性低下をみているが、それでは手背皮膚温 23°C 附近とは皮膚血流や血管運動上何か重要な変化でも存在するところなのであろうか。ここで、著者の過去における温熱関係の種々の実験をこのような観点から整理しなおして検討してみることにした。

II. 手背皮膚温について

A. 気温との関係

昭和 26 年文部省科学研究費関係季節生理班（班長久野寧）によって日本人成年男女の皮膚温の正常値が年余に渉って検討されたが¹²⁾、その当時著者らが求めた成績⁶⁾から手背皮膚温を検討してみた。ただし測定条件は次のようであった。18~24 才男子 10 名を各季節に応じた服装で午前 10 時前後実験室にいて安静に椅坐せしめ 60~90 分後に測定を開始する。被検者の朝食は軽食とし刺激的な温水、冷水の飲用を禁じておく。特に手は机上の布の上におき、回内と回外の間位で小指側を

図3 気温と手背皮膚温

Fig. 3. Air temperature related to skin temperature of dorsal hand

布と接して保持せしめたのである。

実験室気温（床上 10, 90, 130 cm の高さでの平均値）と手背中央皮膚温との関係は図 3 に示すようになった。すなわち、気温低下に伴って皮膚温も低下してゆくのではあるが、よくみると両者が直線関係にあるのは気温 14°C 以下（皮膚温 23°C 附近以下）であって、気温が 14°C から 20°C 附近までは気温の動きに対して皮膚温の動きは大きく、かつ動揺に富んでいる。更に気温が上昇すると皮膚温の動きは比較的小さくなるのである。このことは、以上の実験条件のもとでは、皮膚の血液温度の影響換言すれば血管運動は気温 14°C 附近、皮膚温 23°C 附近以上から急に活潑になってやがて最大に

達し、その後次第に皮膚温に対する影響の割合が小さくなって気温の物理的な影響の方が大きな割合を占めてゆき、また皮膚温 23°C 以下においても血温の影響は小さくて気温の物理的な影響が主役を演じていることを思わせるのである。

このようにみえてくると、手背皮膚温 23°C を作るような状態は流量ないし血温効果からみて注目すべき温度であると考えられ、手指作業能率低下が、前述のように、この温度以下でみられることはその原因が流量減少と関係していることが推定されるのであって、J. Le-Blanc の手部を除く前膊冷却による手指作業の功緻性低下の結果とよく一致するのである。

図 4 上肢各部皮膚温の比較

Fig. 4. Comparative skin temperature of upper arm

手背皮膚温 23°C は本資料では室温凡そ 14°C であつたが、衣服の熱絶縁度が異れば当然異ってくることは勿論である。試みに露出部たる手部皮膚温（手背並びに中指末節背面）と衣服下にある前膊皮膚温（前膊内面中央線で前膊の下 1/3 の点）がいかなる関係にあるかをみる

と図 4 のようになる。前膊皮膚温は少くとも気温凡そ 18°C 以下では気温と直線関係にあるが、このような前膊皮膚温に対し手部皮膚温はこれと全く平行して動くのではなく手背皮膚温 23°C~30°C は急激な変化を示している。中指末節背面ではこれより多少低温にづれている

図 5 血管反射と手背皮膚温

Fig. 5. Vascular reflex related to skin temperature of dorsal hand

が傾向は全く手背でみたと同様の变化を示したのである。

B. 血管反射との関係

小児期の体温調節を観察した実験の中で、冬小児の一側の前膊以下を約 45°C の温湯につけて、反対側の手背その他の皮膚温の動きをみたことがあった¹³⁾。それは、冬季成人を被検者として一方の前膊以下を温湯に浸けて反対側の手背の皮膚血管反射の様子を観察していたとき、皮膚温の反射的急上昇がなかなか起らず初めは逆に低下するのが常で、加温後 20~40 分でやっと上昇が起るのをみたからである。もし体温調節に関する中枢機能群が季節によって固有の態度をとるとする著者らの推論が正しければ、そして小児はこの機能の発達が不十分であるとすれば、この場合反射機能は中枢からの制肘が少いだけに、成人に比べて容易になる筈であって、手背皮膚温の急上昇は速かに起らなければならないことになる。吾々は実際この実験によって小児は成人より皮膚温上昇発現時間が短いことを確かめたのであった。

しかしここで問題としたいのは皮膚温上昇発現時間と皮膚温との関係である。一側の前膊以下を温湯加温しは

じめて後反対側の手背皮膚温が急上昇しはじめるまでの時間を加温開始時の手背皮膚温についてみると図 5 のようになる。被検者は 6~16 才小児 24 名と成人 5 名である。ここで注目されるのは手背皮膚温 23°C 附近の変化である。すなわち、皮膚温上昇発現時間は皮膚温 23°C 附近から明らかに延長しはじめ、皮膚温低下と共に反射発現時間も大幅に延長してゆくことである。成人についても同様の傾向をもち、中指末節背面で観察するとこの関係は著明である。血管反射機能が脊髓の同じ高さに強く現われることは中枢からの調整を考慮にいれても当然であろうが、 23°C 附近において急激な変化をみせることは、手背皮膚温 23°C を示す時の皮膚血管状態が解剖学的または機能的な一つのフシであることを暗示していると思うのである。勿論皮膚温が直ちに皮膚血管状態を示すとはいえないし、事実被検者の栄養その他の因子が関係していた。また、ホルモン系や酵素系の季節的な動きが組織自身に及ぼす影響も考えねばならない¹⁴⁾。しかしこのような急激な変化は主として皮膚血管運動とみて差支えなからう。してみれば、手指の巧緻性低下も主として流血量減少によるものとみて差支えないように思わ

図 6 不感蒸泄水分量と手背皮膚温

Fig. 6. Insensible water loss related to skin temperature of dorsal hand

れる。最近、振動が生体に及ぼす影響について皮膚血管反応が注目され Th. Hettinger¹⁵⁾ は手背皮膚温について Index を求めているが、この際振動負荷開始時の手背皮膚温のレベルがどこにあるかにも注目すべきではなからうか。

C. 手背皮膚不感蒸泄量との関係

皮膚の不感蒸泄水分量は、一般に皮膚温における飽和水蒸気圧と気温における蒸気圧との差によって物理的に定められると考えられているが、著者は手背において季節的に測定を繰返した結果必ずしもそうではない季節特有の効果をみたのであった¹⁶⁾。しかし、ここで問題とするのは手背皮膚温との関係である。そこで季節的に両者の関係をプロットしてみ、さてここで問題としている手背皮膚温 23°C が蒸泄水分量とどんな関係にあるかをみると、手背皮膚温 31~23°C では蒸泄水分量はほぼ一定の値 (6 mg/19.6cm²/10min) を示したが、23°C から明らかな減少をみせ皮膚温 21~17°C では 4~5 mg を示したのであって、やはり 23°C は一つのフシをなしていたのである。ところで、不感蒸泄水分量を変動させる因子は皮膚温ないし皮膚の血液循環であって、気温、気湿、気流などの外部環境条件の物理作用や食事運動の影響は皮膚血行を変化させるという間接的な働きであると考えられている¹⁷⁾。そこで皮膚血管の状態が蒸泄水分量に対してどれほどの役を演ずるかを確かめるためには、皮膚表面に接する気温、気湿その他の外部環境条件を変えないで皮膚血行を高低気温時と類似した状態にしてやればよい。それには前述の血管反射を用いるのが便利である。そこで、左前膊以下を 46°C の湯にいれて右手背での皮膚温と蒸泄量を測定してみると、被検者 5 名中 3 名は図 6 に示すようになった。そしてここでも季節的に観察したと同様に皮膚温 23°C がフシとなって、23°C 以下では蒸泄量は少くなるのである。

以上手背皮膚温と気温、血管反射、皮膚不感蒸泄水分量、手指巧緻性などとの関係をみてきて共通な現象は手

背皮膚温 23°C 附近を境としての機能の変化であり、その基礎をなしているものは皮膚血液量ないし血管運動と考えられるのである。各観察は被検者も、衣服も、季節も、温熱その他の条件も異なるのであるがそれにも拘らず皮膚温について共通した観察がえられたことは、皮膚温にとって皮膚血液量ないし血管運動が、その変動因子が何であるにせよ、直接的に注目すべきであることを物語っている。

III. 総 括

A. 人間機械系に及ぼす温熱条件の効果を手背皮膚温について求めてみると、手背皮膚温凡そ 23°C から手指巧緻性は著しく低下する。

B. 皮膚温 23°C は皮膚血液量ないし血管運動の機能的な変化点であるように思われる。

文 献

- 1) 倉田正一: 労働科学 33, 589, 昭32.
- 2) 労働省編: 職業適性検査実施手引, 雇用問題研究会昭33.
- 3) 倉田正一: 労働科学 30, 332, 昭29.
- 4) A. Lundervold: Ergonomics 1, 226, 1958.
- 5) 倉田正一: 総合医学 11, 169, 昭29.
- 6) 船津雄三: 慶応医学 32, 182, 昭30.
- 7) 渡辺ミチ: 日本衛生学雑誌 14, 245, 昭34.
- 8) 鈴木武夫: 労働科学 29, 9, 昭28.
- 9) C-E. Winslow: Temperature and Human Life, Princeton Univ. Press 1949.
- 10) J. Hanter et al: Canad. J. Med. Sic. 30, 367, 1952.
- 11) J. LeBlanc: J. Appl. Physiol. 9, 62, 1957.
- 12) 季節生理班: 日新医学 39, 121, 昭27.
- 13) 倉田正一: 日本衛生学雑誌 10, 75, 昭30.
- 14) D. Smith: Amer. J. Physiology 171, 118, 1953.
- 15) Th. Hettinger: Int. Z. Angew. Physiol. Einsch. Arbeits-physiol. 17, 271, 1958.
- 16) 倉田正一: 日新医学 36, 343, 昭25.