組織水分移動と温度との関係

On the Relationship between Water and Temperature in the Body Tissues

慶応義塾大学医学部衛生学公衆衛生学教室（指導 原島教授）

薄 井 智 香 夫

Chikao Usui

Department of Hygiene and Public Health, Faculty of Medicine, Keiō-Gijuku University
(Director : Prof. S. Harajima)

生体に於ける水分は環境条件の諸変化によつて変動をうけるが、この水分代謝の基本をなす体内諸器管の含水量の変化については、既に多くの研究がなされている¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾。著者は組織水分移動と温度との関係を、摘出皮膚及び筋肉について、即ち、臓器組織の温度と水分移動とを直接に観察し、この基礎に立つて、生体を比較的高温環境において、生体内の水分代謝に於て主役を演ずる皮膚及び筋肉と、更に、その中間にたつ血液について水分移動の事情を検した。

（I）摘出皮膚及び筋肉についての実験

実験方法：

出血死した体重 200~300g のテンジクネズミから、重量約 500mg の腹部皮膚（実験前剃毛）と二頭股筋を切出して、これを「チローデ」氏液及び血清中に入れて、温度を 5°C、20°C、30°C、40°C に 3、6、8 時間に亘つて保ち、時間を追つて組織の全水分量と細胞外間隙とを同時に測定した。

組織の水分量は最初の組織重量 (X) を基準として、一定温度に一定時間保たれた後の組織を浸漬液から取りだし、濾紙で附着する水分を軽く吸い去つた後に秤量 (Y) して、最初の組織重量との差を、最初の組織重量の百分率で表わして、これを水分移動とした。

$$\text{即ち、} \quad \text{水分移動} = \frac{Y - X}{X} \times 100$$

組織重量はトーシヨンプランスによつた。

細胞外間隙の測定は Fenn⁶⁾ の式を用いた。なお、浸漬時間は 1 時間以上数時間に亘っているから、組織細胞とその浸漬液との間には塩素イオンについて平衡状態にあるものとみなし得る。塩素量は Peters and Van Slyke⁷⁾ の方法によつた。

実験成績：

（1）「チローデ」氏液中に於ける水分移動

各 6 例の平均値をみると、（図 1 並に図 2）皮膚では、「チローデ」氏液を 40°C に保つた場合が一番水分の侵入が大きく、これに反して、筋肉に於ては 5°C の場合に水分の浸入が最も高いようである。そこで計算してみると、浸漬 8 時間後に於て、皮膚並に筋肉共に 5°C と 20°C、30°C と 40°C 間に有意差が認められた（5%）のである。即ち、皮膚では温度が上昇すると、水分を組織にひき入れる性質がみられ、これに反して筋肉では、温度が上昇すると水分を組織から追出す性質があるといえる。それでは、この組織水分の移動は組織細胞内で起るのか、或は細胞外で起るのかが問題となつてくる。

なお、この実験で、皮膚及び筋肉共に浸漬 6 時間以上は水分移動に対して変化がないことが分る。

図 1 「チローデ」氏液に浸漬した皮膚の時間的水分移動

図2 「チローデ」氏液に浸漬した筋肉の時間的水分移動

(2) 「チローデ」氏液中に於ける細胞外間隙

先ず、正常テンジクネズミの血清、皮膚及び筋肉組織内の塩素量を測定して、両組織の細胞外間隙を計算しておいてから、前実験と同条件下に組織片を加温してみるゝと図3のようになる。加温8時間後の成績については、皮膚細胞外間隙(%)は5°Cと20°Cとの間には差は認められないが、他は互いに有意の差(5%)を示している。また筋肉についても、8時間後に於て、40°Cと5、20、30°Cとの間に差を認めたのである。

そこで、細胞外間隙が温度によつて増加する程度を両組織について比較するために、両組織を40°Cに保つた場合の細胞外間隙の増加の割合を5°Cに保つた場合を基準にして調べてみると、筋肉の方が多少大きいと考えられる。

以上の成績から、「チローデ」氏液中では皮膚は温度の上昇に伴つて水分が侵入し、細胞外間隙は増加するが筋肉では、温度上昇によつて水分は筋肉から浸漬液中へ去るのに、細胞外間隙は皮膚と同様に増加することが明らかとなつた。しかし、この実験は「チローデ」氏液を組織浸漬液と考えて行つた結果であるから、ここに得た結果を直ちに生体内にあてはめるには多少の異論があるかもしれない。それには、血清中に於ての水分移動を観察すればよいわけである。

(3) 血清中に於ける水分移動

数匹のテンジクネズミから得た血清約2ccに200mg内

図3 「チローデ」氏液中に於ける皮膚及び筋肉の細胞外間隙の温度による差異

外の皮膚、筋肉片を入れて、生体内状態に近い30°Cと40°Cの加温状態について水分移動をみた。

血清中に浸漬した皮膚は血清の温度が40°Cの時は30°Cの時に比して水分量が増加し、筋肉に於ては30°Cの方が40°Cに比して水分量の増加が認められた(5%有意)ので、水分移動の状態は血清中でも「チローデ」氏液中でも同様であることが明らかとなつた。従つて細胞外間隙についても前実験と同傾向にあると考えて差支えない。

(II) 生体についての実験

以上述べた摘出組織片の試験管内実験成績を基礎にして、さて環境温度が生体皮膚、筋肉及び血液の水分含有量にいかなる影響を与えるかをみてみる。

実験方法：

体重250~300g内外のテンジクネズミを、乾球温度各々32°C、35°C、40°Cに2時間曝露して直腸温を測定した後、約500mgの皮膚及び筋肉片をとり、70°C 48時間乾燥して、乾燥前後の重量差から含水量百分率を求めた。また、血液水分量を、心臓穿刺によつて得た約0.5ccの血液について、同様に乾燥法によつて検した。

実験成績：

まず、10例について常温（15～20℃）に於ける皮膚及び筋肉片の含水量を測定したのち、上記加温条件で各5例について測定を行い、両者を各々比較してみると、32℃加温では平均2.3%、35℃では4.5%、40℃では9.4%の含水量の減少がみられるのであつて、40℃と32℃、40℃と常温（15～20℃）間に各々有意差がみられる（5%水準）。

また、筋肉に於ては、32℃加温では平均2.8%、35℃では4.5%、40℃では9.1%の含水量の減少が認められたから、皮膚と筋肉の含水量減少の割合はほぼ同じだといえる。なお、常温時と35℃、35℃と40℃間に有意差がみられる。

この間、各加温条件に於けるテンジクネズミの体重減少量（%）、直腸温をみてみると、32℃では各々平均3.1%、39.1℃、35℃加温では4.9%、40.3℃、40℃加温では8.4%、41.1℃となり、高温度に保つた時に直腸温上昇、体重減少量共に大となつてゐる。また、温度による体重減少の程度は、皮膚及び筋肉の含水量減少の程度とはほぼ一致していることが分る。

次に、皮膚面からの水分蒸発を遮断するために、腹部全体を剃毛して厚くコロジウムを塗布した後、前記加温条件を負荷し、この皮膚についての含水量の動きをみてみると、32℃では常温時に比して3.5%、35℃では6.0%、40℃では10.9%何れも増加を示し、加温温度が高いほど水分増加も著明であり、32℃と40℃間に有意差が認められるのである。

他方、血液水分量の変化は、上記加温条件各5例についてみると、32℃では常温に比して80.5%、35℃では82.0%、40℃では83.4%の増加を示してゐて、32℃と40℃間に有意差がある。

（Ⅲ）考 察

常に一定の水分を含有している細胞組織の水分移動に主として関与するのは自由水であろう。そこで、結合水の占める地位⁷⁾については、しばらく措いて、基礎実験に明らかなように、温度の変化に応じて移動する組織の水分は、皮膚に於ては、比較的高温時に増加し、しかもそれは主として細胞外間隙に集る。これに反して、筋肉に於ては比較的低温時に水分が増加し、その水分は主として実質細胞内に集る。ところで、テンジクネズミを32、35、40℃に各々加温した場合の皮膚、筋肉の水分減少の様子は、両者ほぼ同様であつて、これを体重減少の様子と比較してみるとやはり同様の傾向を示すことが

ら、高温のために放散する水分は筋肉よりもまた皮膚よりも由来するものであつて、身体軟部の夫々58%、21%を占める両者の合計79%の組織の水分変動は、体重の変動を生ぜしむる主要な因子となるわけである。

さて、ここで問題になるのは皮膚に移動してくる水分量は一体どれほどかということである。そこで試みに、テンジクネズミの腹部を広く剃毛してコロジウムを十分塗り、水分蒸散を遮つてみると、前記のように、含水量は各温度について3.5、6.0、10.9%の増加であるのに対して、水分蒸散を自然にまかせておいた場合の皮膚の水分減少率は2.3、4.5、9.4%であつたのである。そこで、この両者の絶対値を加算して得られる5.8、10.5、20.3%は皮膚の水分移動率とすることができる。その絶対値は求めることが出来ないけれども、各温度に於て皮膚を通して行われる水分移動量の比は、皮膚の含水量66.3%、及び全皮膚の身体軟部に対する21%⁸⁾の両者を上の水分移動率に乘ずれば、32、35、40℃で、夫々0.81、1.46、2.83%なる数値を得る。

これに対して、筋肉の水分移動率は夫々2.8、4.5、9.1%であるから、上の計算と同様に、筋肉の含水量78.0%と筋肉が身体軟部に対して占める58%の3者をかけ合すと、32、35、40℃で夫々1.27、2.03、4.22%が得られる。

次に、これらの筋肉の数値が皮膚の相当する数値に対する倍数を求めてみると、夫々1.57、1.53、1.46となり、この比は温度に関係なくほぼ等しいことがわかる。そして、筋肉から体内に出される水分は、皮膚から外部に出される水分よりも大であることが知られる。

この差は呼吸から出される水分に相当すると考えねばならないが、血液の水分量を測定して、室温20～24℃では80.5%のものが、35℃2時間で81.9%、40℃2時間で83.4%と温度の増加に従つて増すことから、本実験条件で、体温が39～41℃にある時期には、体内水分の主要な存在組織である筋肉は、その温度上昇のために組織細胞内の水分を血液に出し、それが皮膚を環流する間に、皮膚はその細胞外間隙に水分をとり、これを更に皮膚から外部に放散するということになる。勿論、体内臓器組織間の水分移動が毛細管の開閉、透過性の変動によることは明らかであるが、細胞内及び細胞外間隙の水分移動が組織の温度によつて影響されることもまた、本実験から云い得るのである。

（Ⅳ）結 論

1) テンジクネズミを乾球温 32℃、35℃、40℃に

各 2 時間加温すると、筋肉、皮膚の含水量は両者同傾向で漸減する。

2) この際皮膚面にコロジウムを塗布して水分放散を遮断すると該皮膚の水分量は増加する。

3) 本実験の加温条件では、血液水分量は増加するがこの原因は一つには体温上昇のために、筋肉水分が血流中に追い出されることにもあると考えられる。

原島教授の御指導御校閲を深謝致します。

文 献

- 1) 岡田一平：慶応医学 20, 109, 昭 15
- 2) 大倉重夫：慶応医学 21, 267, 昭 16
- 3) 土屋博次：慶応医学 21, 999, 昭 16
- 4) 吉川 桂：慶応医学 23, 699, 昭 18
- 5) 星田昌文：慶応医学 23, 725, 昭 18
- 6) W. O. Fenn et al. : Amer. J. of Physiol. 112, 41, 1935
- 7) R. A. Peters et al. : Quant. Clin. Chemistry 2, 835, 1935
- 8) J. Barcroft : Features in the Architecture of Physiological Function. Cambridge, 106, 1934

(受付：1954年6月5日)