

皮膚からの水分消失の測定法について

順天堂大学医学部第二外科教室（指導：田中憲二教授）

田中 憲二・石塚 吉郎

（原稿受付 昭和37年12月3日）

THE MEASUREMENT ABOUT THE WATER LOSS IN THE SKIN

by

KENJI TANAKA, YOSIRAO ISIZUKA

Department of 2nd Surgery, Juntendo University School of Medicine

We tried to measure the water loss in the skin — the perspiration and insensible loss of water with “minima humidity meter”

As the basic experiment, we measured the water loss by using the physiological salt water and Ringer's solution.

By this experiment, we could observe remarkable change in water loss at 26°C in temperature and at 50% in relative humidity.

That is to say, we could see that the degree of water loss is most remarkable, at low temperature and low humidity, and the degree is least at high temperature and high humidity. And the degree of water loss at high temperature and low humidity is a little much than that at low temperature and high humidity.

And we found out that this method is applicable to measure water loss in human body. Besides we could observe that the degree of water loss in the respiratory organ is three times and half more than the degree of water loss in the surface of skin.

外科に於ける fluid balance の問題は、近年急速に明らかになって来たが、未だ不明の点も多く殊に dehydration と insensible loss of water との関係は未だ充分明らかになつて居ない。又、手術時に於ける手術的侵襲に対する出血量、水分消失量の測定、即ち、輸血、輸液の対策は測定操作がはんだつて計測が不十分な状態である。

我々は“ミニマ湿度計”による皮膚からの水分消失（発汗及び不感蒸泄）の計測を東京大学応用物理学芝亀吉教授、及び、群馬大学上田文教授の御指導により、物理学的に試みた。

基 礎 実 験

種々の物体が湿めると電気抵抗が小さくなることはよく知られて居ります。適当な吸湿体の抵抗を測ると湿度が知られるであろうと推測される。

芝亀吉教授の考案になる微量湿度計（ミニマ湿度計）の吸湿体はある塩類で処理した植物の髄の薄片であり、之に金属の電極が付けられている。電極には導線がつきこれにより吸湿体の電気抵抗が測られる。

感湿部は厚さ 0.2mm、長さ 6mm、巾約 2.5mm であり、

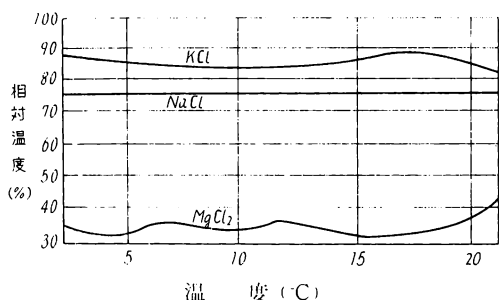
感湿度の電気抵抗は湿度が増すと、急激に小さくなるので湿度と抵抗との関係を調べておけば、抵抗の測定によつて湿度が知られる。

1個の感湿度は大体相対湿度の約50%の範囲で使用される。故に3個の感湿度を必要とする。使用範囲が50~100%のもの、30~80%のもの、10~40%のものを使用し計測を行う。

種々の物質の飽和水溶液と平衡に共存している空気の湿度は、溶けている物質の種類と温度で定まっている。故に何種類かの物質の飽和水溶液について、それと平衡に共存する空気の相対湿度と温度との関係を調べておけば、飽和水溶液と平衡に共存する空気を作ると相対湿度の既知の空気が得られる。

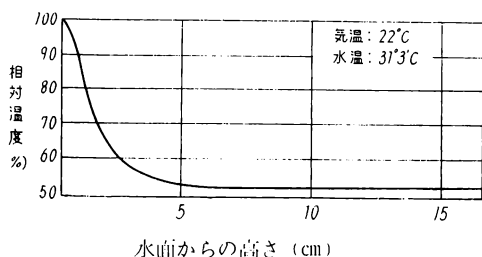
湿度計の検査に都合のよい数種の物質(MgCl₂, NaCl, KCl)の飽和水溶液について、それと平衡に共存する空気の相対湿度と温度との関係は第1図に示す如くである。

第 1 図



第2図は水を入れた皿の中央の上方に於ける高さとの湿度との関係で、相対湿度が100%に近いのはほんの5.6mmの間である。

第 2 図



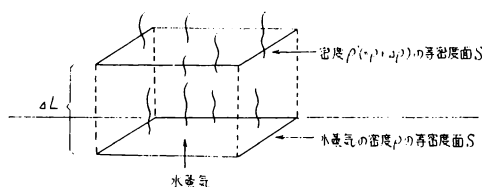
水蒸気は空気より重いので、一種の対流によつて動くことが多いようであると芝教授は云つておられる。(途中の時刻における分布に凹凸があることから推察される)

温度が一樣な空気の中に湿度の異つたところがあると、湿度の大きい方から小さい方へ水蒸気が移動する。之が水蒸気の拡散と云う現象で、一定の温度ならば水蒸気の密度が湿度に比例しているのだから、拡散によつて水蒸気が密度の大きい方から小さい方へ移動するとしてもよいわけである。

空気中に同じ湿度の面が考えられる。之を等湿度面と云い、等温度面は(空気の温度は一樣であるとして)、水蒸気の等密度面である。

水蒸気の密度 ρ の等密度面 S とわずかばかり違う密度 $\rho' (= \rho + \Delta\rho)$ の等密度面 S' とは、小さい場所だけを見れば近似的に平行平面であると見られる。その距離を l とすれば、 ρ/l が水蒸気の密度勾配である。

第 3 図

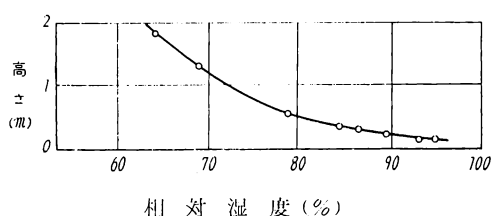


この場合に水蒸気は等密度面に垂直な方向に密度の大きい方から小さい方へ移動する。

水蒸気の密度分布が不変に保たれているとき(すなわち、湿度分布が不変に保たれているとき)、等密度面の面積 f の部分を通つて、時間 t の間に移動する水蒸気の質量を m とすると、 m は水蒸気の密度勾配に比例し、 f 及び t に比例する。この比例定数を水蒸気の拡散係数と云う。

群馬大学上田助教授の行つた実験によると面積 $f = 64\text{cm}^2$ の水面から1時間に蒸発した水の質量は $m = 167\text{mg}$ であり、そのときの定常的の湿度分布(高さによる分布)は4図のとおりであつた。

第 4 図



(群馬大学上田助教授による)

グラフの左の直線部分は水蒸気の移動が、拡散だけで行われている範囲であり、この直線の傾斜から湿度

勾配が得られる。

直線でない部分は、拡散のほかに対流による水蒸気の移動があると推定される。

拡散係数は温度及び気圧により、その関係はつぎのとおりであることが知られている。

$$\lambda_{15} = \lambda_{15} \left(\frac{273 + \theta}{288} \right)^{1.75} \cdot \frac{760}{P}$$

λ_{10} , λ_{15} はそれぞれ 10°C 及び 15°C の温度に於て、気圧が P mmHg のときの拡散係数である。

気圧が 760mmHg のときの λ_{15} の値は、

$$\lambda_{15}(760\text{mmHg}) = 0.241\text{cm}^2/\text{S} \text{ である。}$$

水蒸気の拡散係数が知られていると、定常状態となつていゝときの湿度勾配を測定することによつて、水の蒸発速度を知ることができる。

以上の事により、次の試式で蒸発せる水の質量を計測する事が出来ます。

$$\begin{array}{l} \text{相対湿度} \cdots \cdots H \\ \text{高さ} \cdots \cdots Z \\ \text{密度} \cdots \cdots \rho \\ \hline \text{Z} + \Delta Z \qquad \rho - \Delta \rho \end{array}$$

$$H = \frac{P}{P_0} \times 100 \quad (P \text{ は分圧, } P_0 \text{ は飽和蒸気圧})$$

$$\frac{\Delta H}{\Delta Z} = \frac{1}{P_0} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta Z} \times 100$$

$$\frac{\Delta P}{\Delta Z} = \frac{P}{100} \cdot \frac{\Delta H}{\Delta Z}$$

単位時間単位面積を通りぬける水蒸気の質量を m とすると、

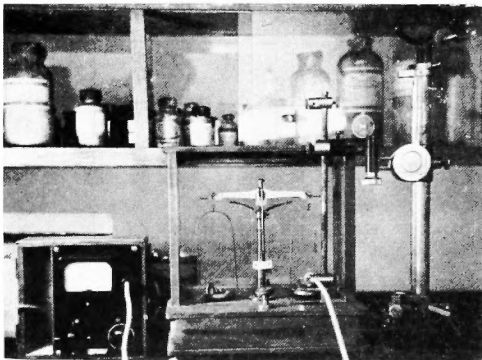
$$m = D \cdot \frac{\Delta \rho}{\Delta Z} = D \cdot d \cdot \frac{\Delta P}{\Delta Z}$$

で表わされます。

次に、生理的食塩水、及び、リングル氏液を使用し、蒸発速度の測定、蒸発速度より消失量の測定を行いました。

定真 (1) の如く、毒莖天秤の径 5.6cm のシャーレー

写 真 1



の中へ、リングル氏液又は、生理的食塩水を満たし、毒莖天秤上に蒸発による水溶液の減量を計測しながら、一方ミニマ鋭感湿度計の感湿部をユーパーサルスタンドに固定し、水面上 2mm より 20mm 迄の高さの間を 2mm 毎に計測しシャーレー水面上の拡散相に於ける相対湿度を求めました。

ミニマ鋭感湿度計による消失量の計量には湿度計に表われた相対湿度及び室温より拡散層における蒸気圧勾配と拡散係数を定め、単位面積あたりの水の蒸発速度を求めます。

蒸発速度はシャーレーの体積には関係なく、シャーレーの表面積による。

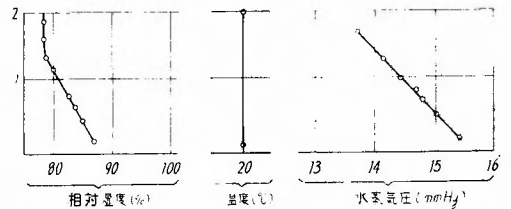
次の拡散係数式……

$$\cdots \cdots D (15 + \Delta f) C = (0.241 + 0.0015 \Delta f) \cdot \left(\frac{760}{P} \right) \text{cm}^2/\text{S} \cdots \cdots$$

に於て、気圧は殆ど拡散係数式には影響を及ぼさず、760mmHg として計算して間違いないものと考えられる。

生理的食塩 20g 計測の結果は第 5 図の如くであり、その計算式は第 6 図に示す。

第 5 図



第 5・6 図より蒸発量を計算することが出来る。即ち

$$D_{20}^{\circ}\text{C} = \left\{ 0.241 + 0.0015 \times (20 - 15) \right\} \frac{760}{760} = 0.249$$

$$W = 0.249 \times 1 \times 10^{-6} \times 1 \times 1 \times 1 = 2.5 \times 10^{-4} \text{mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{S}$$

$$W = 2.5 \times 10^{-4} \times 24.6 \times 600$$

$$= 3.7 \text{mg cm}^2 \cdot \text{h}$$

上記、蒸発量測定に於て 7 図の如き成績を得た。

7 図より、温度、湿度、蒸発量より考案し温度 26°C を境として、高温、低温と分け、湿度は相対湿度 50% を境として、高温、低温を分類し成績を観察することが便利なので、8 図の如く分類した。

即ち、低温高湿、低温低湿、高温高湿、高温低湿と 4 部分に分類して観察しました。

(1) 低温低湿の部分に水分蒸発最も多く、82mg, 29

第 6 図

高さ (Z)	B		A		
	(% 相対湿度) R. H	(温度) temp °C	飽和蒸気圧 (mmHg)	水蒸気圧 P (A × B)	水蒸気圧勾配 $\frac{P}{Z}$ (mmHg/cm)
14	79.5	20.0	17.54	17.54 × 0.795 = 13.94	0.9 1.3 1.0 1.2 0.9 0.9 6) 6.2 1.0 —△P/△Z = 1.0mmHg/cm
12	80.5	20.0	17.54	17.54 × 0.805 = 14.12	
10	82.0	20.0	17.54	17.54 × 0.82 = 14.38	
8	83.0	20.0	17.54	17.54 × 0.83 = 14.58	
6	84.5	20.0	17.54	17.54 × 0.845 = 14.82	
4	85.5	20.0	17.54	17.54 × 0.855 = 15.00	
2	86.5	20.0	17.54	17.54 × 0.865 = 15.18	

第 7 図

生理的食塩水										
温度(°C)	20	24	24	25	25	27	27	26	26	25
湿度(%)	77	41	43	43	44	68	47	47	47	49
蒸発量(mg)	3.7	21	29	82	14	11	16	15	8	10

リンゲル氏液										
温度(°C)	21	20	20	25	24	26	27	26	27	27
湿度(%)	73.5	71.5	67	48	70	56	67	43	47	51
蒸発量(mg)	6	2.2	5.6	8.2	6	7	8	13	35	16

- mg, 21mg, 35mg等多量の水分消失があつた。
 之等の検査当日は盛夏であつたが、身体に爽涼感を覚えました。
 (2) 高温高湿の部分に最も水分蒸発少なく、
 (3) 高温低湿は、低温高湿より多少多い。
 (4) 低温低湿時に於て、同湿度の場合は、摂氏一度の上昇は多量の水分蒸発の原因となる。
 (5) 高湿の場合は、温度の変化は余り水分—蒸発量には影響を及ぼさない。
 (6) 生理的食塩水、リンゲル氏液の水分蒸発量には大差を認めなかつた。

人 体 応 用

之は未だ端緒についたばかりであるが、水分蒸発には大なる個人差があることは衆知のことである。
 我々は個人差の最も少なき夏期(7・8・9の3カ

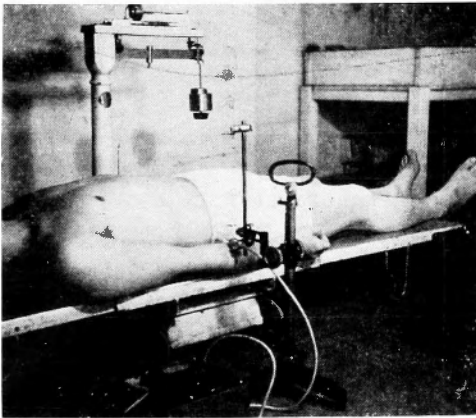
第 8 図

	生理的食塩水						リンゲル氏液				
	(低温 高温)						(低温 低湿)				
T	20	21	23	23	23	21	20	20	25	25	20
M	77	65	76	76	70	73.5	71.5	67	48	47	70
mg	3.7	5	6	4	5.5	6	2.2	5.0	8.2	16	6

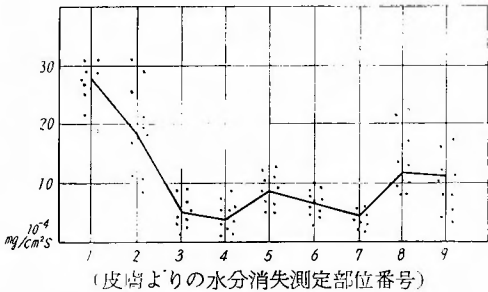
	(高温 高湿)						(高温 低湿)				
	T	24	24	25	25	24	24	25	25	25	25
M	41	43	43	44	49	41	45	46	45	40	
mg	21	29	82	14	10	18	17	67	17	0.5	

月)に一定条件に実験を行つた。
 人体に於ては、身体各部に於て発汗量の相違があり、基礎実験をそのまま応用出来ない。
 写真(2)は測定状態の一例です。
 故に、先ず身体各部の蒸発量の測定を行つた。

写 真 2



第 9 図



第 10 図

部 位	蒸 発 量
1 前額部	26.3 × 10 ⁻⁴ mg/cm ² S
2 胸骨中央部	18.8 × //
3 上臍中央部	5.0 × //
4 上膊内側中央部	5.1 × //
5 前膊内側中央部	9.1 × //
6 上腿伸側中央部	7.6 × //
7 下腿外側中央部	6.5 × //
8 手 掌	13.2 × //
9 手 背	10.2 × //

前額部, 胸骨中央部, 上臍部, 上膊内側中央, 前膊内側中央, 上腿伸側中央, 下腿外側中央, 手掌, 手背の9カ所にて測定を行つた。

被検者は10人の体格の異なる男女で, 中男9人, 女1人である。……9・10図

蒸発量の平均は10図の如く, 前額部最も多く, 最少は上臍中央部で, 平均値に等しい値は前膊中央内側部であり, 此の部分の計測値が, 皮膚面よりの水分蒸発

量の標準値であると考えられる。故にこの値に体表面積を乗じたものが皮膚よりの水分蒸発量と考えるのが妥当と思われる。

この実験の比較として, 5 gr迄計量出来る体重計を用いた。……写真 (2)

体表面積測定には, 誤差の最も少ない大谷式 (新谷が補正せるもの) を用いた。

$$S = 5.4\sqrt{GH} \quad G = \text{体重} \quad H = \text{身長}$$

ミニマ湿度計, 及び体重計による体重消失量は第11図の如くであります。

第 11 図

(水分消失量——1時間値)		T (C)	M (%)
ミニマによる	体重計による		
34.8gr	80.0gr	28	62.5
61.8	200.0	28	33.0
40.5	110.0	30	71.5
16.5	85.0	20	30.0
30.0	110.0	32	52.0
16.8	50.0	25	73.0
24.9	140.0	28	65.0
16.8	62.0	26	70.5
63.0	200.0	28	45.0
45.0	190.0	30	72.0

ミニマ湿度計による体重消失量, 即ち水分消失量は体重計によるものの1/3.5であります。

之は体重計による水分消失量の中には, 呼吸面より消失する水分が含まれて居るためであります。

10図よりみるに高温低湿にて最も水分消失量が多いようです。

以上の結果より, ミニマ鋭感湿度計にて, 前膊内側中央部の計測で水分消失量が判り, 又は, この3.5倍値が呼吸面より消失するものと考えられる。

更に本法を人体測定に応用して, 出来得れば不感蒸発の測定, 病的皮膚組織よりの水分蒸発測定等に利用する可能性があると考えられる。

総 括

我々は, ミニマ鋭感湿度計による皮膚よりの水分消失量計測を行つた。

基礎実験として, 生理食塩水, リンゲル氏液の水分消失を計測しその結果, 両者共に, 夏期に於ける比較的低温低湿時に最も多く, 高温高湿の場合最も少い消失量を示した。

人体に於ける水分消失量測定には、高温低湿時に最も多く、又、身体各部に於て、消失量即ち蒸発量は夫々異なるが、前膊内側中央が身体各部の平均値に等しく、この成績より呼吸面よりの水分消失量は体表面皮膚よりの約3.5倍を示しました。

擧筆に際し懇切なる御指導をいただいた東京大学応用物理学芝危吉教授、元群馬大学上田政文助教授に深甚の謝意を表す。

文 献

- 1) 生理学講座(補遺3) 12, 6
- 2) 国民衛生 8, P 233
- 3) 久野 寧: 生理学講座 P 38
- 4) Loewy et al: Virchow archiv. für pathol. Anat. 206, 79, 1911
- 5) G. F. Sonderstrom et al.: Arch. Int. med. 19, 931
- 6) F. A. Coller et al.: Ann. Surg. 98, 952, 1933
- 7) W. W. Fwge et al.: Ann. Surg. 108, 1, 1933
- 8) T. R. Stanton et al.: Surg. Gyn. & obst. 89, 9, 1949
- 9) W. R. Bristol: Am. J. Med. Sc. 221, 412, 1951

	正	誤	表
目次	3行目	田中憲二	は 石塚吉郎 に訂正
26頁	4行目	田中憲二	を除く
〃	9行目	KENJI TANAKA	を除く