

# 人体の免疫と室内温湿度環境に関する研究

## 高齢者を対象とした体内水分量と室内湿度環境に関する考察

212-052 黒川 翔太郎

### 1. 背景と目的

生命維持に必要な生理反応は「体温調節」「呼吸」「睡眠」「代謝」「排泄」「免疫」である。増加している高齢者介護施設では自立生活が困難な高齢者の健康状態を安定させ、感染を予防する免疫機能が十分働く室内の熱・湿気環境の整備を急いでいる。

高齢者の免疫について熱環境に着目した研究<sup>1)</sup>は多い。比して、湿度環境の調査研究は進みつつあるが、免疫を維持するための室内湿度の指針は明らかになっていない。

本研究では、免疫機能と体内水分に関し調査し、高齢者施設での適正な湿度環境を評価する基礎資料を得るために、単純な人体の水分収支モデルで室内湿度環境と体内水分量の日周期変動を算定した結果を示す。

### 2. 免疫

免疫とは、物理・化学的な生体防御を除いた機構で、体内で白血球が働く生体防御である。血液の液体成分は血管→組織→リンパ管→血管と循環する。体内水分が占める割合<sup>2)</sup>は成人で平均体重の60%~66%、高齢者で平均体重の50%~55%である。そのうち40%は細胞内液で、残りが血漿・組織間液・組織液・リンパ液等の細胞外液となり、これらが、白血球・熱・酸素・栄養を運搬する。

### 3. 人体水分収支モデルと解析条件

施設に入居している高齢者を対象とし、施設の熱環境は十分管理されているとする。高齢者は熱的中性であり発汗は生じない。体内水分は不感蒸泄・排尿・排便による損失と食事(燃料水含む)・飲水による摂取のみで調整されるとする。皮膚表面からの水分損失に着衣の抵抗は考慮しない。表1に解析条件を示す。排尿量は、高齢者の平均排尿回数の10回を1回あたり120ml、日中と夜間で表示した排尿スケジュールで排泄する。体内水分量が初期値を超えた場合、排尿によりバランスを取ると考える。高齢者の尿意は200ml<sup>2)</sup>で喚起されるとし、初期体内水分値を超えた水分量を30分間隔で最大200ml排尿するとした。条件発生時、排尿量・排尿回数を変更する。

高齢者の1日の日中の深部温度<sup>4)</sup>及び平均皮膚温<sup>5)</sup>は文献より引用した。夜間の平均皮膚温は文献値が得られなかったため、若者の就寝時の平均皮膚温と就寝時の深部体温の差を高齢者に準用し夜間の平均皮膚温を推測した。図1に高齢者の1日の深部温度と平均皮膚温を示す。

式(1)に皮膚表面からの不感蒸泄量<sup>6)</sup>算定式を示す。人体周囲の湿気伝達率 $\alpha'_m$ は風速0.15m/s時、人体周囲の浮力を考慮した対流熱伝達率 $3.1W/m^2K$ をミッチェルの式<sup>7)</sup>で求めた後、ルイス関係により算出する。

表1 解析条件

対象者	80歳以上高齢者		
体型	男性	160.1cm	59.1kg
	女性	148.2cm	50.4kg
室温	27℃		
湿度	20%40%70%		
室内風速 <sup>1)</sup>	0.15m/s		
生活リズム	拘束安静(日中)	7:00~22:00	
	就寝(夜間)	22:00~7:00	
初期体内水分量	体重×50%または55% (ml)		
摂取水分量 <sup>3)</sup>	起床	7:00	170ml
	朝食	9:00	860ml
	昼食	12:00	860ml
	間食(飲水のみ)	15:00	170ml
	夕食	18:00	670ml
	就寝前	21:00	170ml
排尿スケジュール	日中	120ml×8回(7:00,9:30,12:30,15:00,17:00,18:30,21:00)	
	夜間	120ml×2回(1:00,4:00)	
排便スケジュール	起床時	100ml(9:00)	

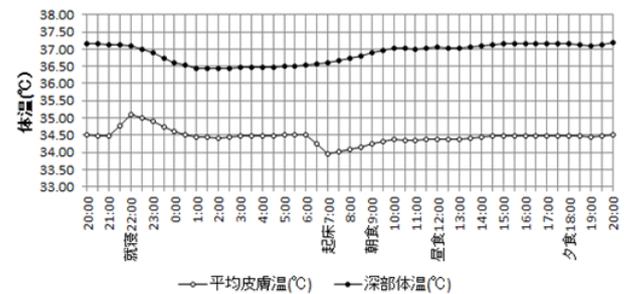


図1 高齢者の1日の体内深部温度と平均皮膚温

$$E = w \times \alpha'_m (P_{ssk} - RH \times P_a) \times 3.6 \times 10^6 \times S \quad (1)$$

E: 皮膚からの蒸泄量(g/h) w: 皮膚濡れ率(=0.06)

$\alpha'_m$ : 人体の湿気伝達率(kg/m<sup>2</sup>sPa) P<sub>ssk</sub>: 皮膚温における飽和水蒸気圧(Pa)

RH: 周囲環境の相対湿度(%) P<sub>a</sub>: 周囲環境の飽和水蒸気圧(Pa) S: 体表面積(m<sup>2</sup>)

式(2)に呼吸による不感蒸泄量<sup>8)</sup>を示す。

$$W = V_{atps} \times \rho \times (X_a - X_b) \quad (2)$$

W: 呼吸による蒸泄量(kg/h) V<sub>atps</sub>: 行動別呼吸率(m<sup>3</sup>/h)

$\rho$ : 乾燥空気密度(kg/m<sup>3</sup>) (=1.2) X<sub>a</sub>: 肺中の絶対湿度(kg/kg<sup>-1</sup>) X<sub>b</sub>: 外気の絶対湿度(kg/kg<sup>-1</sup>)

式(2)の行動別呼吸率 V<sub>atps</sub> は式(3)で定義される標準酸素摂取量 V<sub>stpd</sub>O<sub>2</sub> をもとに 式(4)で空気摂取量に換算し、式(5)、式(6)で求めた。

$$V_{stpd}O_2 = M \times S / (0.23R + 0.77) \times 5.86 \times 60 \quad (3)$$

V<sub>stpd</sub>O<sub>2</sub>: 標準状態に換算した酸素摂取量(l/min) S: 体表面積(m<sup>2</sup>)

M: 代謝率(W/m<sup>2</sup>) (=40W/m<sup>2</sup>...睡眠時 =60W/m<sup>2</sup>...拘束安静時)

R: 呼吸率(m<sup>3</sup>/h) (=0.37 m<sup>3</sup>/h...睡眠時 =0.6m<sup>3</sup>/h...拘束安静時)

$$V_{stpd} = 100 \times V_{stpd}O_2 / (O_{2,0} - O_{2,1}) \quad (4)$$

V<sub>stpd</sub>: 標準状態に換算した空気摂取量(l/min) V<sub>stpd</sub>O<sub>2</sub>: 標準状態に換算した酸素摂取量(l/min) O<sub>2,0</sub>: 吸気中の酸素濃度(%) (=21%) O<sub>2,1</sub>: 呼気中の酸素濃度(%) (=16%)

$$f = 273.15 \times (P_B - P_t) / (273.15 + t_{asp}) \times 101.3 \quad (5)$$

f: 0℃,1気圧の標準状態への換算係数 t<sub>asp</sub>: 呼気の温度(°C)

P<sub>B</sub>: 大気圧(kPa) P<sub>t</sub>: 呼気の温度における飽和水蒸気圧(kPa)

$$V_{atps} = V_{stpd}/f \quad (6)$$

$V_{atps}$ : 気圧 $P_g$ 、室温 $t_{asp}$ 、 $t_c$ 飽和水蒸気圧 $P_g$ における時間当たりの換気量(l/min)

$t$ 時刻の体内水分量は式(7)で 30 分毎推定した。

$$W(t) = W(t-1) - x(t) - y(t) + z(t) \quad (7)$$

$W(t)$ :  $t$ 時刻の体内水分量(ml)  $t$ : 時間(30分毎)  $x(t)$ : 前時刻から30分間の不感蒸泄量(ml)

$y(t)$ : 排尿量・排便量(ml)  $z(t)$ : 飲水・飲食による摂取水分量と消化に伴う代謝水(ml)

#### 4. 解析結果

表 2 に体内水分充足率(実体内水分/初期体内水分)に対する健康被害を示す。以下、充足率と呼ぶ。

図 2 に室内湿度 20%、三食摂取した場合の 30 分毎充足率の時間変化を示す。破線以下となる午前 1 時から起床直前まで、のどの渇きを感じる充足率である。就寝中は飲水が無いとすると、起床時の飲水 170ml では排尿と不感蒸泄分を担保できず、朝食前で体内水分は最低の充足率 97% 台まで下がる。男女ともに 5:30 から 9:00 の朝食直前まで血液濃縮が懸念される。朝食を十分摂取すると充足率は 99% 以上と改善し以後就寝まで充足率 98% 以上を維持する。

図 3 に最も健康被害が懸念される室内湿度 20%、朝食抜き、昼・夕食摂取率が 71%<sup>9)</sup>とした充足率時間変化を示す。就寝中から朝食直前まで充足率は図 2 の結果と大略一致する。朝食が無く 170ml の飲水では充足率 98% にも改善されず、昼食、夕食直前の一時間以上で脳血管障害、代謝障害が引き起こす嗜眠(しみん)がおきることが危惧される充足率 96% 台となる。

表 3 に室内湿度が異なる場合の充足率 98% 以下の時間帯を示す。規則正しく食事(燃料水含む)と飲水などで一日 2500ml の水分を摂取できたとして、室内湿度 40% ~ 70% 制御で起床(直ちに飲水)から朝食直前まで血液濃縮の危険状態は男女ともに 2 時間程度生じる。朝食時、飲水 170ml のみ、昼・夕食の水分摂取が 71%<sup>9)</sup>となると相対湿度 20% ではほぼ半日、血液濃縮ばかりでなく図示していないが嗜眠がおきる可能性が男女共に高い状態が続く。室内湿度 40% では初期体内水分の少ない女性が昼食時直前 1 時間程度、充足率 96% 台の動きの鈍り・嗜眠に陥る可能性が高くなる。

#### 5. まとめ

- 1) 免疫は血管・リンパ管・組織中の水分中を能動的・受動的に移動し異物に備える白血球の働きである
- 2) 27°C 室内で熱的中性の高齢者は、室内相対湿度が 40% 以上に維持され、飲食・飲水・燃料水合わせ 1 日 2500ml の水分を規則正しい生活摂取しているならば、朝食後就寝時まで免疫に影響を受ける体内水分量とはならない。
- 3) 室内湿度が 20% となると、十分な水分摂取があっても朝食前の 3~4 時間の間、血液濃縮の危険な状態になる。
- 4) 朝食抜きや摂取量の減少は相対湿度 40% であっても免疫を損ねる可能性のある体内水分状態が昼間 8~9 時

間態度続き、昼食・夕食での補填が出来ず、就寝時には 98% 台の充足率となる。

5) 室内湿度 20% で朝食抜きや摂取量の減少があれば、昼食・夕食直前の 1 時間程度「動きの鈍り」「嗜眠」という健康を大きく損ねる状態に陥る可能性が予測される。

表 2 体内水分の充足率と健康被害<sup>3)</sup>

水分充足率(%)	健康被害
98<X≤99	のどの渇き
97<X≤98	食欲減衰、血液濃縮
95<X≤97	動きの鈍り、疲労及び嗜眠
93<X≤95	手足の震え、脈拍・呼吸の上昇
X≤80	死亡

表 3 水分充足率 98% 以下の継続時間

食事状況	性別	室内湿度(%)	継続時間(h)	継続時間の時間帯
三食摂取 (摂取率100%)	男	20	3h	6:00~9:00
		40	2h	7:00~9:00
		70	0h	—
	女	20	4h	5:00~9:00
		40	2.5h	6:30~9:00
		70	1h	8:00~9:00
朝食抜き (摂取率71.0%)	男	20	13h	6:00~12:00, 12:30~18:00, 18:30~20:00
		40	8.5h	7:00~9:00, 9:30~12:00, 14:00~18:00
		70	1.5h	11:00~12:00, 17:30~18:00
	女	20	13.5h	5:00~12:00, 12:30~18:00, 19:00~20:00
		40	9.5h	6:30~9:00, 9:30~12:00, 14:00~18:00
		70	4.5h	8:00~9:00, 9:30~12:00, 17:00~18:00

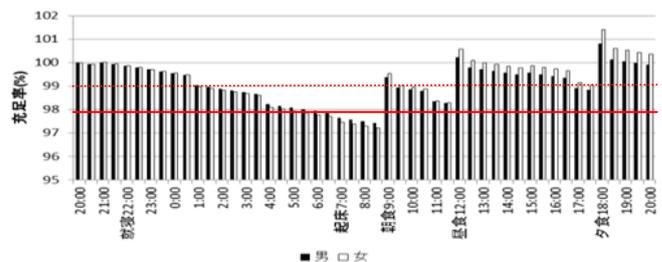


図 2 湿度 20% 三食摂取(摂取率 100%)

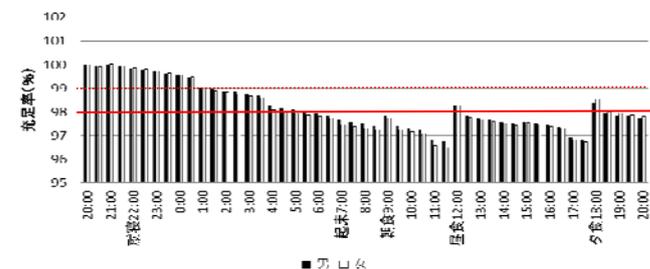


図 3 湿度 20% 朝食抜き(摂取率 71.0%)

#### 参考文献

- 1) 『からだと温度の事典』 朝倉書店 彼末一之監修
- 2) 排泄ケアナビ 高齢者の排泄の特徴と尿失禁
- 3) 「水と人-生理的立場から」 田中正敏 福島県立医科大学医学部衛生学講座 人間と生活環境 (J.Human and Living Environment), 6(2), 85/91, 1999
- 4) テルモ体温研究所 体温リズムと身体環境
- 5) 「高齢者の選択温度からみた心理生理反応特性」 日本建築学会環境系論文集 第 75 巻 第 655 号, 815-820, 2010 年 9 月 佐々尚美、久保博子、磯田憲生
- 6) 「皮膚濡れ率と暑熱感覚」 小柴朋子 からだと温度の事典 彼末一之監修 p.258, p.259 15.
- 7) 「Convective Heat Transfer Coefficient of the Human Body under Force Convection from Ceiling」 Technical University of Denmark/Journal of Ergonomics/Volume 4・Issue 1・1000126
- 8) 特集③人間工学のための計測手法 第 2 部: 周囲環境と人体影響の計測(1) 温熱環境と体温調節反応 温熱的快適性 都築和代 久保博子
- 9) 「残食調査結果から推察される介護老人保健施設入所者の食品群および調理に対する嗜好について」 栄養学会誌 Vol.62 No.3 153~164(2004) 小城明子 高木里恵

(佐藤研究室)