

人体の免疫と室内温湿度環境に関する研究

人体の熱平衡を考慮した高齢者の体内水分量変動に関する考察

1. 背景と目的

高齢者の免疫について熱環境と湿度環境の観点から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、既報¹⁾に引き続き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、人体の体温調節機能モデル COM³⁾を用い人体の熱平衡を考慮した水分収支を算定した。

2. 人体の熱、水分収支モデルと解析条件

人体生理量は人体熱数値計算モデル COM³⁾の引用値のうち、高齢者に対応する生理量（表面積、体重、心拍数など）に換算した。明確な換算方が見つからないものは成人男子の値をそのまま参照した。COM は詳細な四肢血流モデルを含み、人体を Core 層と Skin 層からなる 17 の部位に分割しモデル化している。各部位の Core 層と Skin 層は熱伝導により熱交換を行い、Skin 層は外部環境と対流、放射、蒸発、熱伝導により熱交換を行う。COM では Core や Skin の温度上昇を血流量増加による熱放散促進と発汗や不感蒸泄での潜熱放散で抑制する。低温環境下では血流量を生極限まで制限することで、熱放散を抑えるようモデル化されている。人は体内の水分量を一定に保つよう細胞内液や細胞外液を調整、排尿を制御することで水分量調整をしている。血流量、発汗、不感蒸泄を熱平衡を取るのみならず水分収支も同時に制御するが、COM モデルでは水分収支にかかる人体のモデル化ができていない。本研究では熱平衡モデルとして COM を使用し、部位ごとの体温に応じて発汗、不感蒸泄を求めると並列に飲水、排尿スケジュールに応じた体内水分の収支をとった。

表 1 に解析条件を示す。熱平衡の解析は 1 秒ごとに行い、部位ごとの温度は 10 分毎出力した。熱平衡を取る結果生じる不感蒸泄、発汗量は 10 分間の積算値を出力した結果をもとに 30 分刻みで飲水、排尿による水分量調整に反映させた。

3. 解析結果

図 1, 2 に各%の Core、Skin 温度の時間変化を示す。Core 温度は室温が同一であれば室内湿度が異なっても同じ値になることがわかる。Skin 温度は室温が同一の場合、室内湿度が高ければ上がり、低ければ下がる。Core 温度は就寝時には下がっている。これは昼間の活動している時間の代謝量と夜間就寝時の代謝量が異なり、

夜間就寝時の代謝量が低いためである。図 3 に室内湿度 50%時の各部位の Core 温度を示す。Core の温度は頭から腰までの胴体部分では差が無く、胴体から四肢の先端に向かうにつれ温度が下がっていることがわかる。図 4 に室内湿度 50%時の Skin 温度、図 5 に各部位の発汗による水分損失量を示す。Skin では頭の温度が高く、胴体の温度は Core 温度と同様に 0.2℃程度しかみられない。しかし発汗の水分量は Core 温度や Skin 温度に比例しない。発汗量が最も多いのは腰であり、次いで胸、背中となった。

図 6, 7 に各室内湿度における不感蒸泄、呼吸、発汗による水分損失量を示す。不感蒸泄と呼吸は室内湿度が低い状況下では水分の損失量が大きくなる。逆に発汗においては室内湿度が高いほうが水分損失量も多くなる。

図 8 に室内湿度 50%、食事摂取率 71%時の朝食を抜いた場合の体内水分充足率、表 2 に体内水分の充足率と健康被害を示す。朝食を摂らず日中を過ごしてしまうと体内水分充足率が 98%に改善されにくくなる。

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(作用温度)	27℃		
湿度	20%40%50%70%		
室内風速	1.05m/s		
生活リズム	椅座安静(日中)	7:00~22:00	
	就寝(夜間)	22:00~7:00	
代謝量	椅座安静(日中)	45.3W/m ²	
	就寝(夜間)	58.2W/m ²	
着衣量	頭、首、手、足	0.0clo	
	胸、背、腰、肩、腕、腿、脚	0.5clo	
初期体内水分	体重×50%または55%(ml)		
摂取水分量	起床	7:00	170ml
	朝食	9:00	660ml
	昼食	12:00	660ml
	間食(飲水)	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)	

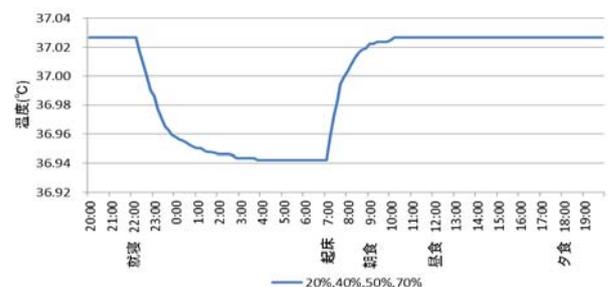


図 1 各室内湿度条件での男性 Core 平均温度

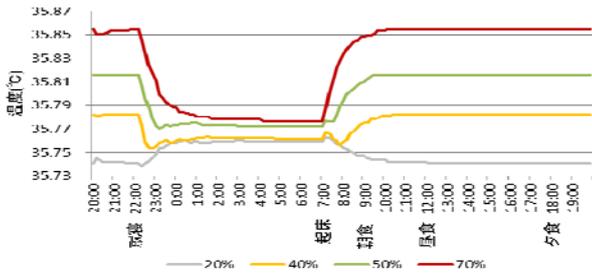


図2 各室内湿度における男性 Skin 平均温度

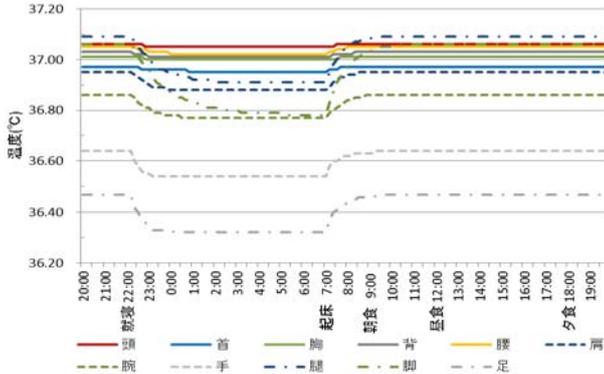


図3 室内湿度 50%での各部男性 Core 温度

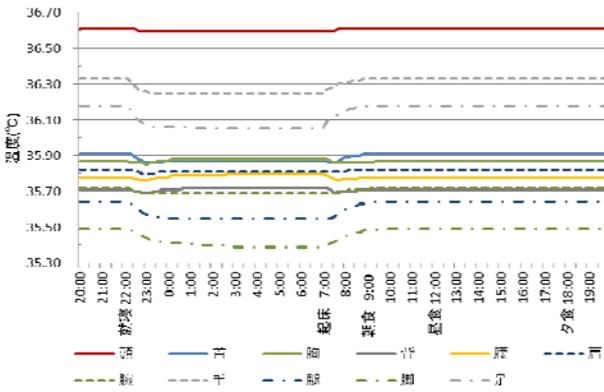


図4 室内湿度 50%での各部男性 Skin 温度

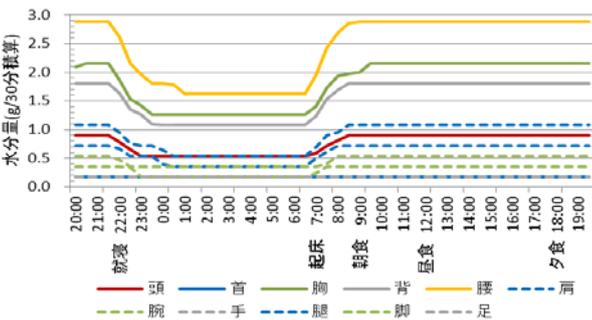


図5 室内相対湿度 50%での男性発汗水分量

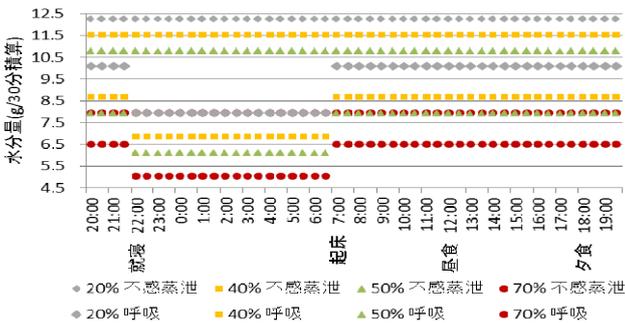


図6 男性不感蒸泄、呼吸水分量

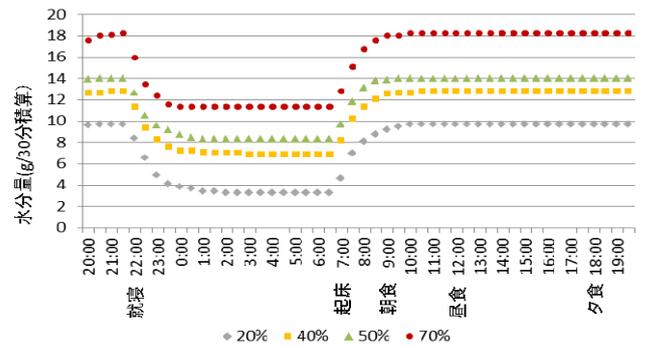


図7 各室内湿度条件に応じる男性発汗水分量

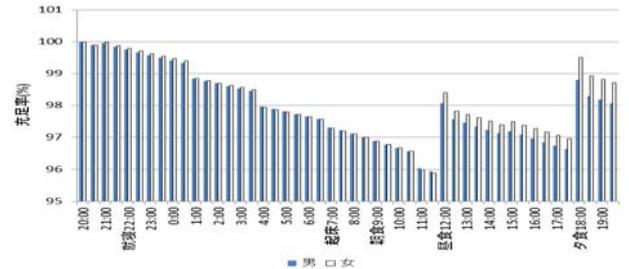


図8 湿度 20%朝食抜き (必要水分摂取率 71%)

男女の体内水分量比較

表2 体内水分の充足率と健康被害¹⁾

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

4. まとめ

- 1) Core 温度は室内湿度に関わらず同一となり、Skin 温度は室内湿度が高いほうが高くなる。
- 2) 室内湿度が高くなると発汗による水分の損失量は大きくなる。
- 3) COM モデルの発汗が頭部温度で決まるため、各部位の Skin 温度と発汗による水分損失量は比例せず、表面積の大きな胴体からの水分損失量が多くなる。
- 4) 水分損失量は同じ湿度条件下で男生の方が女性より多い。摂取量は男女で同じため、どの湿度条件下でも男性の方が健康被害を受けやすい。

人体生理量としての水分収支を熱平衡式 COM では十分モデル化できていない。本結果にどのように影響しているか今後継続して検討する。

参考文献

- 1) 佐藤: AIJ 大会学術講演梗概集 環境工学II、205-206、2017年9月
- 2) 貴島富久子、根来英雄 著: シンプル生理学(改訂第4版)、南江堂
- 3) 桜井靖久、渡辺敏 著: ME 早わかり Q&A、南江堂
- 4) 田辺新一ほか: AIJ 環境系論文集 第599号、31-38、2006年1月
- 5) 辻原正規彦監修: 図説やさしい建築環境