

寝床内環境と熱の移動

体温生理

1. 体温調節：人体からの発熱

健康な成人の人体の安静時における直腸温は通常約 $37.0 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ですが、個人差があります。また体温は常に一定ではなく、概日リズム（サーカディアンリズム）があり変動しています。早朝4～6時ごろに最も低く、夕方遅く午後4時～6時頃の間にも最も高くなり、その温度差は約 $0.7 \sim 1.2^{\circ}\text{C}$ でやはり個人差があります。この概日リズム（サーカディアンリズム）は睡眠や発汗などと深い関係があります。睡眠は概日リズムの体内時計によってもコントロールされています。

運動をした時も、代謝量の増加に応じて体温が上がり、激しい運動時には体温も $39^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ もの高温になることもあります。また強い精神活動があると、一時的に体温が上がる場合があります。

深部体温も、環境温である外気の暑さや寒さも、まったく影響がないわけではなく、環境温の影響を受けていくらかは上下します。また、食後30～90分には食事によって吸収された栄養素、特にたんぱく質を体内で分解処理する際に熱が発生し、体温が高くなります。カロリー摂取が過剰な場合にはさらに長時間にわたって熱発生が増加します。こうしたことで体温は約 $0.1 \sim 0.3^{\circ}\text{C}$ 程度上昇することがあります。

体温については、上限は 42°C が限界温度とされています。これは 42°C 以上の温度になると酵素（タンパク質）などが変遷をしてしまうからです。人の身体の多くはタンパク質の成分で出来ています。特に「脳」は温度変化に弱く、高くなっても、低くなっても機能障害を起こしやすい部位と考えられています。体温は、「脳」を始め、身体的な弊害を避けるためにも 37°C 近辺に保つ必要があります。下限については 35°C が限界とされ、それ以下の体温は低体温症と呼ばれる疾患として扱われます。 35°C 以下になると、体温調節能力が著しく減退し、多くの身体機能が低下をします。 $30^{\circ}\text{C} \sim 28^{\circ}\text{C}$ 以下になると、まったく調節機能を失ってしまい、やがて活動停止の状態（死）になります。

2. 体内温度 37.0°C の理由

ヒトの深部体温は、ほぼ 37°C に保たれており、 $36.6^{\circ}\text{C} \sim 37.2^{\circ}\text{C}$ の範囲を理想体温としています。まだ正確には解明されていませんが、このように深部体温をほぼ 37°C に保つには重要な必要性があるためと考えられています。

人の体内では休むことなく代謝が行われています。この代謝活動のなかで起きている、重要な化学反応の多くに酵素が関与しています。この酵素がうまく働くための温度として、酵素の多くは 37°C 近辺の比較的狭い範囲に至適温度を持っています。 37°C から大きく外れるとこの酵素が適切に働かなくなり、反応の速度が低下したり、反対に上昇しすぎた

ります。代謝における化学反応の速度は、温度と極めて深い関係があり、温度によって代謝速度が変わります。

3. 代謝

代謝とは、人などの生命体が、生命維持のために必要なエネルギー等を獲得するために行われる生体内の反応や、成長に必要な有機素材を合成したりするための体内で起こる、一連の合成や化学反応の総称で新陳代謝のことであると解説されます。

基礎代謝

生体の生命維持のために最小限必要な代謝のことで、絶対安静状態で一定時間に生命個体が消費するエネルギーを測定し、このときの量を基礎代謝量といいます。人の場合は性別、年齢などによって異なります。成人の場合は一日の基礎代謝量は1200～1500 kcalで一般的には男性より女性のほうが低いことがわかっています。睡眠中の代謝は基礎代謝の約80%といわれます。

人体の体内では、絶えず代謝が行われていて、それによって生じたエネルギーの大部分は熱になります。一方、身体の皮膚表面からは常に熱が外部へ放出し、失われることとなります。（外部環境が高温の時には熱が体内に入ることもある）人間を含む恒温動物では、この熱産生と熱放散のバランスが調節され、体温（体内温度）がほぼ一定に保たれています。

4. 寝具の必要性

ヒトは恒温動物で体温を一定に保ち生命を維持しています。寝具は夜間の体温調節のための大切な必需品です。昼間なら環境温度に対して、暑ければ服を脱ぎ、寒ければ服を着ます。覚醒しているときはこのように**行動性体温調節**によって対応することが出来ます。しかし、睡眠中はこうした行動が出来ないことから、寝具を使用して体温を守ることがあります。

5. 熱について

熱の基礎と特性（伝導、対流、輻射）

暖かさとは：熱は分子、原子の振動（運動）エネルギー。

振動エネルギーが大きい・・・暖かい、振動エネルギーが小さい・・・冷たい

熱量が多い ←————→ 熱量が少ない

絶対零度：物質の分子・粒子の運動が停止した状態（温度のない状態を絶対零度といいます。）

絶対零度：温度－273.15℃

5-1. 温度（熱）とは

温度（熱）は物質の振動エネルギーの結果です。暖かいと感じるのはその部分の原子、

分子の振動によるもので、振動エネルギーが大きいときは暖かく、振動エネルギーが小さいときは冷たく感じます。特に人の場合の感じ方は、人は体温があり、体温を介した判断を指標として、暖かさや冷たさを感じるようになります。またこの感覚は季節差、性差、個人差など、それぞれの状態によって差が生じることが知られています。

5-2. 熱伝導 (寝具の中の熱の移動)

熱伝導とは、熱エネルギーが移動するとき、物質の移動を伴わず熱だけが移動することをいいます。熱伝導は原子・分子あるいは電子などの乱雑な熱運動物体内で平均化される過程であると解説されています。これを熱平衡と言います。物は安定するために平均化することが基本となります。熱の温度勾配（温度差）があまり大きくないときは、伝えられる熱量は温度勾配に比例します。これをフーリエの法則と言います。熱伝導によって伝えられる熱の流れは、物質の密度や形態に影響されます。

固体>液体>気体 の順に熱は流れやすい・・密度が高いほど多く流れる。

5-3. 対流

空気は暖められると膨張し、その分重量が軽くなり（温度変化に伴って流体の密度が変化し、重量が変わる）上昇します。一方上部にある冷たい空気は下降し、空気が流れが来、循環します。これは空気ばかりではなく流体（液体・気体）は同じ性質があります。これらの現象を対流と言います。

5-4. 輻射の説明

太陽の熱はどうして地球に届くのか（電磁波は真空中も移動する）
太陽の熱が地球に届いているのは、晴れた日に太陽の光に当たると暖かく感じることから経験値として認識されています。しかし、地球と太陽の間には真空の空間があり、熱がそのまま伝わることはありません。太陽の熱が地球に届くシステムは輻射と言われる現象で、太陽の膨大なエネルギーは電磁波として放出され、地球に届きます。この電磁波が人や物に当たると、物や人のからだの細胞などの原子、分子を振動させることになり、熱が発生します。この発生した熱を人は感じるようになります。

この電磁波を利用したものに電子レンジがあります。物体に電磁波を当てて原子、分子を振動させ、発熱させます

このように電磁波として伝わること・・・輻射（放射）と言います。

6. 暖かさ（保温性とクロー値）

保温性の単位としてクロー値を使います。保温性で1クローは、気温21.2℃、湿度50%RH、気流10cm/sec以下の熱的環境の中で成人男子が坐った状態で快感を感じる衣服の断熱性に与えた数値です。（1クローはほぼスーツ一着分の断熱性能）

計算式は $1 clo = 0.155 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}/\text{m}^2$ 又は $1 clo = 0.18 / \text{Kcal}/\text{m}^2/\text{hr}$ となります。では2 cloでは何度の環境に対応するのか。3 cloでは何度の環境に対応することになるのか。4 cloで既に温度-5.2℃、5 cloでは温度-14℃の

環境に適応することはあまり知られていない数字です。

冬季には高い保温性が望まれますが、日本の寝室で -10°C を下回ることは皆無であると考えられます。確かに睡眠中は代謝も低下し熱産生も少なくなります。また寝具は服とは異なり、空気の流通が多く、同じように比較出来ないことは想定できます。しかし、寝具の特性などの諸条件を加味しても、掛け寝具は4.5c10程度あればほぼ十分であると考えられます。(実測値に基づく)

JISに認定された横浜国大式保温性試験機での保温性能の測定結果では、羽毛掛ふとんの最大値も5c10を超えることはほとんどありませんでした。ちなみに8c10では環境温度約 -40°C の環境に、10c10では環境温度約 -60°C の環境下で一枚の掛けふとんで快適と感じることに対応する寝具になります。熱の理論を正しく理解しつつ、寝具に係わる性能を正確に理解し、寝具の保温性を正確に説明できることが重要です。

7. 快適な環境

前記した通り、保温性で1クローは、気温 21.2°C 、湿度50%RH、気流10cm/sec以下の熱的環境の中で成人男子が坐った状態で、快感を感じる衣服の断熱性に与えた数値です。1クローでの保有温度は約 8.8°C とされます。この理論から考えると、環境温度約 30°C で、ほぼ裸体で座っていると快感を感じる温度域になります。ヒトの身体は、**中性温度域**と言って外気温が**約 28°C ~ 33°C の範囲では血流のみによって体温調節が出来る**ことが解っています。睡眠中も身体の周りの環境をこの温度域にすれば、簡単に余分なエネルギーの負担もなく体温調節が出来ます。寝床内をこの温度域に保つのはこうした生理的な要因が主ですが、睡眠中は代謝が低下(約20%)するために発熱も低下し、それを踏まえた、昼間の保温性よりやや高めの保温性が必要になります。

快適環境とは、こうした生理的な理由を基に、人が暑さや寒さの刺激が無く(暑くもなく、寒くもない)、湿度が一定量(約50%)以下で、身体にムレ感がなく、温度が平衡状態(発熱と放熱のバランスが取れ温度が一定のまま推移)になって不感蒸泄((体温調節のための発汗、体熱放散の約24%)により湿度が上昇しない事で、リラックス出来る環境です。ムレ感是不快感につながりますので要注意です。

・・・ここで湿度環境は。

一般的には湿度における快適な環境は50%RH \pm 5%とありますが低い方(約50%RH以下)が快適な環境になります。これはふとんを干した後の使用感を考えれば納得すると思います。ちなみに寝具を干した後の湿度は30%RH前後になります。低い方が吸湿発熱も早く多く起こります。

8. 保温性(クロー値と対応温度)

前記のように、保温性で1クローは、気温 21.2°C 、湿度50%RH、気流10cm/sec

以下の熱的環境の中で成人男子が坐った状態で、快感を感じる衣服の断熱性に与えた数値です。これはほぼ誰でも知っています。（1クローはほぼスーツ着分の断熱性能）

従って理論上は下記の保温性（クロー値表示）と環境温度が対応します。

- 2クロー（環境温度12.4℃で快適と感じる保温性能）
- 3クロー（環境温度3.6℃で快適と感じる保温性能）
- 4クロー（環境温度-5.2℃で快適と感じる保温性能）
- 5クロー（環境温度-14.0℃で快適と感じる保温性能）

・環境の成り立ち

睡眠環境は体温調節のための環境として成立し、睡眠中の体温（サーカディアンリズム、また、発熱量は代謝量に依存、の影響あり）を適正に保つ必要性があることから、快適と考えられる環境は、発汗やシバリング（震え）などの体内の調節機能を働かせることなく体温を維持することにあります。従って、室内環境に対応してその方法が変わります。大きく分けると**寒冷期と暑熱期（寒ければ熱を逃がさない。暑ければ熱を放出）**の二つに分けられます。それぞれに異なった温度・湿度域が発生することになります。

身体からは基礎代謝として常にほぼ一定の発熱が行われて、その発熱を外的環境に対応してコントロールし体温調節を行っています。従ってこの体からの熱を調節する必要があります。

室内環境の温度、湿度に対応して、熱や湿度の移動速度が異なることから、これらの変化に対し、寝床内の熱や湿度をコントロールする必要があります。寝具などの保温性能に基づいた制御により、熱や湿度の移動速度がコントロールされ変化をし、寝床内環境として成立します。保温性の高いものは熱の移動が遅く、保温性の低いものは熱の移動が速くなります。熱は伝導、対流、輻射によって伝わります。寝床内も**熱は拡散しつつ常に移動をします。**

・感覚変化 人の感覚は季節によって変化する

人の感覚は季節に対応するために変化をします。これを季節変化といい、暑さ寒さに順応して、その季節を乗り越えて行く性能を持っています。夏に向かっては、高温になれるために感覚温度が上昇してゆきます。夏が過ぎ、やや涼しい季節になってきても、暑さに慣れた、夏の高い温度感覚状態で秋を迎えるために、秋の20℃は涼しく感じます。

一方冬に向かっては寒さに耐えられるように温度感覚が低下してゆきます。冬が終わり春になっても低温にシフトされた温度感覚は、同じ20℃の温度は暖かく感じます。

このように**春と秋では体感温度が10℃以上異なる**ことが解かっています。またこうした温冷感覚は季節にすぐに対応できるわけではなく、季節を追いかけるように順応してゆくため、タイムラグが起きます

従って同じ環境温度でも春と秋では受ける感覚が異なります。これも快適と考えられる

環境温度が一定ではない事の理由にもなります。また前記した体感温度の季節差とは別に、夏と冬では快適と感じる温度に差（冬高め、夏低め）があることも解っています。

夏と冬の寝床内環境


夏と冬では環境とヒトの体温との温度差が大きく異り熱の温度勾配が変わる事から、放熱などの熱の移動形態（移動速度・放熱速度等）が著しく異なり、ヒトの周りの温度分布にも差が生じ、快適な寝床内環境と考えられる温度・湿度にも違いが出てくることになります。

夜間のヒトの皮膚表面温度は部位で差はありますが、顔以外は約34.5℃～36.5℃の範囲にあります。環境温度が低い時はこの温度を保持する必要があり、反対に環境温度が高い時はこの温度から体温が上昇しないよう熱を逃がす必要があります。睡眠時のヒトからの発熱量（サーカディアンリズム、また、発熱量は代謝量に依存、の影響あり）と、環境温度の温度差で必要な保温性や必要な放熱性が決まります。模式図により説明します。

・温度移動の比較

夏

温度域

体表面（温度36℃） 外部 外環境28℃ 温度差 8℃ 小
（発熱量一定）>放熱 熱勾配・緩やか

発熱量より放熱が小さいと、身体からの熱を逃がしきれず体温、体表面温度が上がり気味になる。・・・暑さを感じ、発汗する。

夏は身体の周りの環境温度が高いため熱が逃げにくい。熱移動は・小さく・遅い

温度勾配が緩やか・・・拡散しにくい・・・熱がたまりやすい


少なくとも睡眠中は熱をうまく放出する必要がある（熱を止めないことが大事）

夏の素材

熱移動が良い（冷たさを感じる素材）、熱伝導が良い（熱の移動が速い・麻など）、肌にまとわりつかない（空間に熱を放出）、ラジエーター構造（熱・湿度の放散）

冬

温度域

体表面（温度36℃） 外部 外環境15℃ 温度差 21℃ 大
（発熱量一定）<放熱 熱勾配・・・急

発熱より放熱が大きいと体表面温度が下がり寒くなる。

寒くならないよう放熱を止める必要がある・・・寝具が必要

冬は身体の周りの環境温度が低いため熱が逃げてしまう。熱移動は・大きく・早い

温度勾配が急・・・拡散しやすい・・・体温が奪われる

睡眠中は熱の放出を少なくする。熱の放出を少なくするために保温性（熱遮断の能力）のある寝具を使う。熱は常に移動しているが、身体の周りは同じ温度に保つようにする。

冬の素材

保温性が高い（空気は断熱能力が高いことから空気層が多い・羽毛ふとんなど）。隙間を無くし熱の流出を防ぐ（毛布やパット）。立体構造（空気を貯めやすい・断熱性）

・寝床内の熱は常に移動していることを認識して下さい。

熱は止まっているわけではありません。この移動の過程で皮膚と外気の間に着衣や寝具が設置され、熱をコントロール（実際は熱を完全に遮断して、停滞させるわけではなく、移動を調節します。この調節の量が保温性能です。）します。寝具の暖かさはこの熱遮断の能力によります。湿度については、特性が異なることから、温度の経過とは異なった動きをします。ただ湿度も止まっているわけではなく、移動しつつ寝床内の環境を形成します。

以上

(株)ロマンス小杉

人間環境・睡眠科学研究所

古田土 賢一