



6

体温



## 体温調節

### 体温の部位差と生理的変動

#### 核心温度と外殻温度

##### ◇ 体温とは

【生理学】

ヒトの体温は、おもに代謝によって産生される熱で維持されている。各組織で産生された熱<sup>1)</sup>は、体内を循環する血液によって運搬され、全身に分布する。

健康なヒトの体温はほぼ36～37°Cの範囲内で変動しながら恒常性を維持<sup>2)</sup>している。なお小児の体温は一般に成人よりも高く、高齢者は低い。

##### ◇ 核心温度と外殻温度

【生理学】

核心温度は、体表面などの温度変化の影響を直接うけずに、比較的一定している身体深部の温度<sup>3)</sup>である。これに対し、外殻温度は身体外層部の温度である皮膚表面などの温度をいう。

###### 1. 核心温度

健康成人の核心温度は、視床下部にある体温調節中枢によりほぼ37°C前後の狭い温度範囲内に維持されている。

###### 2. 外殻温度

外殻温度、とくに皮膚温は環境温(気温)などに大きな影響を受けるとともに、体温調節機構の働きによっても大きく変動する。また皮膚温は、環境温や皮膚血流量による部位差がある。

---

1) 産生された熱： 身体のおもな構成成分である筋や骨などは熱をほとんど伝導しない。このため血液循環は体温を運ぶという重要な役割をになっている。

2) 恒常性を維持： 体温が生理的範囲内で変動しながら恒常性を維持しているのは、体内における熱産生(体熱産生・産熱)と体表面からの熱放散(体熱放散・放熱)がつねにおこなわれているためである。

3) 身体深部の温度： 腹腔内の内臓、とくに肝臓や消化器などは代謝による熱産生量が高い。さらに内臓は厚い腹壁に囲まれているため放熱量が少なく体温が高い。

## ◇ 体温測定

【生理学】

体温は一般に腋窩<sup>えきか</sup>、口腔<sup>こうくう</sup>、直腸<sup>4)</sup>、鼓膜などで計測されるが、日本では一般に腋窩温<sup>5)</sup>をもちいる。このうちもっとも高値をしめすのは鼓膜温と直腸温であり、これに口腔温(舌下温)、腋窩温がつぐ。

水銀体温計や電子体温計では、直腸温がもっとも高い値をしめす。すなわち直腸温は核心温度(深部体温)に非常に近い。なお腋窩温は直腸温にくらべ約1°C低く、口腔温は腋下温と直腸温の中間をしめす<sup>6)</sup>。

また赤外線式温度計をもちいると、外耳道で体温(鼓膜温)を測定できる。鼓膜温は核心温度の指標としてもちいられる。

## ◇◇ 体温の変動

### ◇ 体温の周期的変動

【生理学】

体温には以下のような周期的変動がみられる。

#### 1. 体温の日内変動

体温は夜間<sup>7)</sup>から朝は低く、午後に高くなる日差<sup>8)</sup>がある。

#### 2. 体温の月変動

女性では体温の月変動がみられる。すなわち体温は月経前期(卵胞期<sup>9)</sup>)に低く、排卵に一致して0.5~1.0°C上昇し、月経後期(黄体期<sup>10)</sup>)にはこの高体温が持続する。これは卵巣黄体<sup>11)</sup>から分泌されるプロゲステロン(黄体ホ

4) 直腸： 肛門より体温計を挿入して測定する。正確な核心温度の測定には肛門より10cm以上感温部を挿入することが必要である。

5) 腋窩温： 日本人の腋窩温の平均は、36.89±0.34°Cと報告されている。

6) 中間をしめす： 腋窩温にくらべ口腔温は0.2~0.4°C、直腸温は0.4~0.8°C程度高い。

7) 夜間： 良質な睡眠には、睡眠時に核心温度が下がることが重要であると考えられている。高齢者では睡眠時に十分な体温低下がおこらないことが多く、これが不眠の原因になるといわれている。

8) 日差： 早朝午前4~6時にもっとも低く、午後2~8時にもっとも高い。最低温と最高温の差は1°C以内であることが多い。

9) 卵胞期： 卵胞期は、女性の卵巣周期のうち、月経開始から排卵までの期間をいう。この時期には卵胞刺激ホルモン(FSH)の刺激により発育した卵胞からエストロゲンが分泌される。これは子宮内膜の周期(月経周期)からみると増殖期に相当する。

10) 黄体期： 黄体期は、女性の卵巣周期のうち、排卵から次の月経開始までの期間をいう。この時期には黄体から分泌されるプロゲステロンが視床下部に作用して体温が上昇する。これにより体温は通常36.7°C以上となる。これは子宮内膜の周期(月経周期)からみると分泌期に相当する。

11) 黄体： 黄体は、卵巣において成熟卵胞から卵子が出た(排卵)のちに、卵胞壁に残存した細胞群が形成する黄色調を帯びた内分泌組織である。

ルモン)<sup>12)</sup>の基礎代謝亢進作用によっておこる。

## 温度受容器と体温調節中枢

### 温度感覚と体温調節中枢

#### 温度受容器

【生理学】

外部環境の温度(外気温)変化は、皮膚・粘膜などの体表面にある温度受容器によって感受される。このような温度刺激<sup>13)</sup>を感受する感覚受容器を温度受容器と総称し、これには温度の上昇を感受する温受容器と、下降を感受する冷受容器とがある。これらの感覚受容器の興奮によって生じる感覚を、それぞれ温覚、冷覚という。

温受容器や冷受容器は表皮下または皮下組織にあり<sup>14)</sup>、組織学的に特殊な構造をもたない自由神経終末<sup>15)</sup>である。これらの自由神経終末には、温刺激または冷刺激によって開閉するイオンチャンネルがあり、このイオンチャンネルが開くことで求心性インパルスが生じる。

温受容器は30～50℃程度の温度刺激に感受性があり、35℃でもっとも興奮性が高まる。また冷受容器<sup>16)</sup>は10～40℃程度の温度刺激に感受性があり、25℃でもっとも興奮性が高まる。

- 
- 12) プロゲステロン(progesterone; 黄体ホルモン): プロゲステロン(黄体ホルモン)は、女性の性周期および妊娠の成立、維持に重要な役割を果たすステロイド型ホルモンである。非妊女性においてはおもに卵巣黄体から分泌されるほか、妊娠時の胎盤絨毛などからも分泌される。プロゲステロンは「妊娠を成立、維持するホルモン」といわれる。すなわち①子宮内膜を分泌期へと変化させ着床の準備をおこない、②妊娠時には子宮内膜を脱落膜に変化させ、③子宮筋の緊張を抑制し妊娠の維持をはかり、④基礎代謝を亢進させて体温を上昇させる作用をもつ。
- 13) 温度刺激: 最近の研究で温受容器や冷受容器は、温度刺激のみならず、特定の化学物質の刺激によっても興奮することがわかってきた。たとえば、あるタイプの温受容器(TRPV1)は、43℃以上の熱刺激のほかにも唐辛子の成分であるカプサイシンをも感受する。これを利用して、温湿布には唐辛子エキス(カプサイシン)がもちいられることがある。また唐辛子の味は英語で「hot」と表現されるが、これは舌粘膜に分布する温受容器(TRPV1)の興奮によっていると考えることができる。いっぽうあるタイプの冷受容器はメンソールの刺激をも感受する。メンソールは冷湿布などで冷感をもたらす物質としてもちいられている。
- 14) 皮下組織: 皮膚に冷たい金属と同温度の木片をあてた場合、木片よりも金属の方が冷たく感じられる。これは金属が木製物よりも皮膚から速く熱をうばい、皮下組織をより冷却するためである。このように温覚や冷覚を生じさせているのは皮下組織の温度である。
- 15) 自由神経終末: 温受容器と冷受容器に構造的な差は見いだされていない。
- 16) 冷受容器: 一部の冷受容器は、45℃位の温度刺激で興奮する性質をもつ。

## ◇ 求心性線維

【生理学】

温覚や冷覚をつたえる求心性線維は、以下のとおりである。

- 冷受容器の興奮(冷覚) -----おもに有髄性のAδ線維(III群線維)をつたわる。
- 温受容器の興奮(温覚) -----おもに無髄性のC線維(IV群線維)をつたわる。ただし高い温度刺激を感知する受容器の求心性線維には、Aδ線維(III群線維)のものもある<sup>17)</sup>。

## ◇ 温度感覚伝導路

【生理学】

体表面の温受容器や冷受容器からおくられる温度感覚情報<sup>18)</sup>は、外側脊髄視床路<sup>19)</sup>によって大脳皮質体性感覚野につたえられるとともに、脊髄網様体路<sup>20)</sup>から延髄網様体を經由<sup>21)</sup>して視床下部の体温調節中枢<sup>22)</sup>にもつたえられる。

## ◇ 体温調節中枢

【生理学】

体温調節中枢は間脳<sup>[p.352]</sup>の視床下部<sup>[p.354]</sup>にある。

体温調節中枢<sup>[p.475]</sup>は体表面の温度感覚情報をうけるとともに、核心温度を感受<sup>24)</sup>し、これらの温度差を検出することで体温を適切なレベルに設定

- 
- 17) Aδ線維(III群線維)のものもある： 近年みつかった温覚受容体であるTRPチャンネル温度受容体のひとつであるTRPV2は、52°Cを超える熱刺激で興奮し、その求心性線維はAδ線維である。たとえばぬるい湯に手をつけたとき、その温感はずっと生じるのに対し、高音の湯に手をつけたときに即座に熱感を感じて手を引っ込めることができるのは、このように伝導速度の速い温受容器があるためであると考えられる。
- 18) 温度感覚情報： 温度受容器は、中枢神経系では視床下部、中脳、延髄、脊髄などにあり、その他、腹腔壁、腹部内臓、大血管などにも分布して身体のコア温度を感受している。これらの受容器の興奮は「ほてる」や「のぼせる」といった感覚に関与すると考えられる。
- 19) 外側脊髄視床路： 外側脊髄視床路は、脊髄から反対側の側索を上行して視床にいたる感覚伝導路である。これは体幹・四肢にくわえられた痛覚、温覚、冷覚の感覚情報を、脊髄から視床を介して大脳皮質体性感覚野におくる。
- 20) 脊髄網様体路： 脊髄網様体路は、脊髄から反対側の前側索を上行して延髄網様体にいたる感覚伝導路である。これは体性感覚および内臓感覚の情報をつたえ、延髄網様体から脳のさまざまな領域に投射する。
- 21) 延髄網様体を經由： 体性組織からおくられる温度感覚情報を体温調節中枢につたえる中枢内伝導路は、脊髄後角から脳幹部の外側結合腕傍核を經由して視索前野にいたる。
- 22) 体温調節中枢： 体温調節中枢は、視床下部の視索前野と前視床下部にある。
- 23) 視床下部： 体温調節中枢は、視床下部の視索前野・前視床下部にある。
- 24) 核心温度を感受： 体温調節中枢で核心温度を感受するニューロンとしては、体温調節中枢である視索前野や前視床下部にある温度感受性ニューロンが知られている。これらは脳組織の温度が上昇することによってインパルスを発する。また局所的に視索前野を冷却すると熱産生が惹起され、あたためると熱放散の促進がおこる。

する。この**体温調節中枢**によって決定される**体温レベル**を、**体温のセットポイント**という。

体温調節中枢は体温のセットポイントにもとづいて、**体熱放散**あるいは**熱**産生の反応を引きおこし、**熱出納**<sup>すいどう</sup>のバランスを調節する。これによって**核心温度**は一定にたもたれる。

さらに体温や外気温(環境温)が上昇したときにおこる**温熱性発汗**も**体温調節中枢**のはたらきによるため、これを**発汗中枢**ということもある。

## 体熱の産生と放散

### 熱産生・熱放散とは

#### ◇ 熱産生と熱放散

【生理学】

体温調節中枢は、体温のセットポイントのレベルで**核心温度(体温)**を維持する。

体温は、**基礎代謝**<sup>[p.517]</sup>において産生される**熱エネルギー**によって維持されている。このため体温調節中枢は、セットポイントよりも**核心温度**を低下させる因子がはたらいているときには代謝を亢進することで**熱を産生**し、**体温**を維持する。これを**体熱産生(産熱)**という。

いっぽうセットポイントよりも**核心温度**を上昇させる因子がはたらいているとき、体温調節中枢は**身体**の**熱を外に放出**して**体温**を維持する。これを**体熱放散(放熱)**という。

### 熱産生

#### ◇ 熱産生

【生理学】

**体熱の産生(熱産生、産熱)**はさまざまな臓器で行われているが、**安静時**

には肝臓で、運動時には骨格筋でもっとも多くの熱が産生される。

## ◇ 熱産生のメカニズム

【生理学】

身体における熱産生(産熱)のメカニズムには、骨格筋収縮によるふるえ産熱と代謝による熱産生(非ふるえ産熱)とがある。

### 1. ふるえ熱産生

ふるえ熱産生は、細かな骨格筋運動(ふるえ、振戦)による熱産生である。ふるえ<sup>25)</sup>(振戦)は、体性運動神経を介して骨格筋が不随意的におこす小さな収縮である。

これは寒冷時におこるほか、体温のセットポイントの上昇に応じておこる発熱時にもみられる。

### 2. 代謝による熱産生(非ふるえ産熱)

さまざまな臓器・器官でおこる基礎代謝によって生じるエネルギーの一部は、熱エネルギーとなって熱産生(産熱)にはたらく。とくに食物摂取にともないエネルギー代謝が亢進する現象を特異動的作用(食事誘発性産熱反応)<sup>[p.518]</sup>という。この特異動的作用により体温は食後に上昇する。

また新生児期には、褐色脂肪組織<sup>かつしよく</sup><sup>[p.43]</sup>で体熱が産生される。

## ◇ 熱産生を促進する因子

【生理学】

熱産生(産熱)を促進し、体温を上昇させることにはたらく因子には、以下のようなものがある。

- ・ 甲状腺ホルモンであるサイロキシンやトリヨードサイロニン<sup>3)</sup>は、基礎代謝を亢進することで、熱産生を促進し、体温を上昇させる。
- ・ 交感神経系の興奮は、基礎代謝を亢進することで、熱産生を促進し、体温を上昇させる。体温が日中に高く、夜間に低い<sup>[p.331]</sup>のは、交感神経活動が日中高まることによる。
- ・ 副腎髄質などから分泌されるアドレナリン、ノルアドレナリンなどのカテコ

25) ふるえ(shivering)：ふるえ(振戦)では、ある関節を中心としてその伸筋群と屈筋群が同時に細かく収縮(最大で200~250回/分)するため、そのエネルギーはほとんど力学的エネルギーを生ずることなく、多くの熱エネルギーを生み出すことができる。これによって安静時に比べて最大で6倍の熱を産生する。



ラミン<sup>26)</sup>は、グリコーゲン分解<sup>[p.524]</sup>を促進し、血糖値を上昇させることで、熱産生を促進し、体温を上昇させる。

- 卵巣黄体<sup>27)</sup>から分泌されるプロゲステロン(黄体ホルモン)<sup>28)</sup>は、基礎代謝を亢進し、体温を上昇させる。女性において体温が排卵に一致して0.5～1.0℃上昇し、月経後期(黄体期)にはこの高体温が持続<sup>[p.331]</sup>するのはプロゲステロンの作用による。
- 体内でつくられ体温を上昇させるインターロイキン1<sup>29)</sup>などの物質を内因性発熱物質という。内因性発熱物質は視床下部の体温調節中枢に作用し、体温を上昇させる。

## 熱放散

### 熱放散とそのメカニズム

#### 熱放散

【生理学】

体熱の放散(体熱放散、放熱)は、血液が運んできた身体深部の熱が体表面から身体外に移動することでおこる。このため皮膚血管が拡張すると体熱放散(放熱)は促進され、皮膚血管が収縮すると抑制される。

体熱放散(放熱)のメカニズムは、蒸散性熱放散<sup>じょうさん</sup>と非蒸散性熱放散<sup>じょうさん</sup>に分類される。蒸散性熱放散<sup>じょうさん</sup>には蒸発<sup>じょうはつ</sup>がふくまれ、非蒸散性熱放散<sup>じょうさん</sup>には熱放射<sup>ふくしゃ</sup>(輻射)、伝導、対流がふくまれる。

- 
- 26) カテコラミン(catecholamine): カテコラミンは、カテコール核とよばれる化学構造をもつ物質の総称である。これに含まれる物質としては、ドパミン、ノルアドレナリン(ノルエピネフリン)、アドレナリン(エピネフリン)がある。末梢組織では、交感神経節後ニューロンからはノルアドレナリンが、副腎髄質からはアドレナリンが分泌され、全身の細胞の代謝調節に作用する。
- 27) 黄体: 黄体は、卵巣において成熟卵胞から卵子が出た(排卵)のちに、卵胞壁に残存した細胞群が形成する黄色調を帯びた内分泌組織である。
- 28) プロゲステロン(progesterone; 黄体ホルモン): プロゲステロン(黄体ホルモン)は、女性の性周期および妊娠の成立、維持に重要な役割を果たすステロイド型ホルモンである。非妊女性においてはおもに卵巣黄体から分泌されるほか、妊娠時の胎盤絨毛などからも分泌される。プロゲステロンは「妊娠を成立、維持するホルモン」といわれる。すなわち①子宮内膜を分泌期へと変化させ着床の準備をおこない、②妊娠時には子宮内膜を脱落膜に変化させ、③子宮筋の緊張を抑制し妊娠の維持をはかり、④基礎代謝を亢進させて体温を上昇させる作用をもつ。
- 29) インターロイキン1(interleukin-1; IL-1): インターロイキン1は、おもに単球やマクロファージから産生されるサイトカインである。炎症反応の急性期などに分泌されて、発熱、プロスタグランジン産生などにはたらく。



## ◇ 蒸散性熱放散

【生理学】

蒸散性熱放散は、蒸発による体熱放散である。これは体表面にある水分が蒸発するときに気化熱<sup>30)</sup>として体熱を奪うことで、体熱を放散(放熱)する。

蒸発は、皮膚温と環境温(外気温)の高低差にかかわらずおこる現象である。このため環境温(外気温)が皮膚温より高い時は、蒸発が熱放散の唯一のルートとなる。

蒸散性熱放散(蒸発)には不感蒸散と発汗がある。

### 1. 不感蒸散

蒸散性熱放散のうち、普段に感じることはないが、皮膚<sup>31)</sup>や気道粘膜<sup>32)</sup>から常時水分が蒸発している現象を不感蒸散(不感蒸泄)という。これは、蒸散性熱放散のうち、発汗によらない部分をいう。

### 2. 発汗 [p.338]

発汗は、汗腺から分泌された汗が体表面から蒸発するときの熱放散をいう。

## ◇ 非蒸散性熱放散

【生理学】

非蒸散性熱放散<sup>33)</sup>には熱放射(輻射)、伝導、対流があるが、これらは皮膚温が環境温(外気温)よりも高いときのみおこる現象である。このため熱放射(輻射)、伝導、対流による熱放散は、環境温(外気温)が皮膚温より高い時にはおこらない。

### 1. 熱放射(輻射)

熱放射(輻射)<sup>34)</sup>は、熱エネルギーが赤外線・遠赤外線などの電磁波<sup>35)</sup>として放射されて、熱エネルギーの低い物体につたわる現象であり、接触してい

- 
- 30) 気化熱: 気化熱とは、一定の温度において一定量の物質が蒸発(気化)するのに使われる熱量である。体表面から汗などが蒸発するときには、身体から熱を奪っていくため、蒸発は体熱放散にはたらく。
- 31) 皮膚: 皮膚では約700ml/dayの水分が表皮から皮膚面に拡散し、外気へ蒸発する。
- 32) 気道粘膜: 気道粘膜では約300ml/dayの水分が粘膜表面から気道内に蒸発し、呼気から外気にでる。
- 33) 非蒸散性熱放散: 非蒸散性熱放散は水分の蒸発をともなわず、温度差(温度勾配)にしたがって体熱が体表面から体外に移動するものである。
- 34) 熱放射(輻射): たとえば、太陽光線を浴びて温かく感じるのは、太陽からの赤外線・遠赤外線の熱放射による。
- 35) 電磁波: 熱放射では、熱をもつ物体が電磁波を出し、周囲にある物体がそれを吸収することによって熱が運ばれる。この過程では、ふたつの物体の間が真空であったとしても熱が伝わる。

ない物体に直接熱が伝わることを用いる。

2. 伝導

伝導<sup>36)</sup>は、熱が物質の移動なしに、接触しまたは連続する物体の高温部から低温部に移る現象である。たとえば体熱が皮膚を介して接している体外の空気に移動するのは伝導によっている。

3. 対流

対流は、流体の流れによって熱エネルギーが移動する現象である。たとえば体熱が風などによりうばわれることをいう。

## ◇◇ 発汗と汗腺

### ◇ 発汗とは

【生理学】

発汗<sup>37)</sup>とは汗腺から汗を分泌する現象をいう。これには温度刺激により引き起こされる温熱性発汗と、温度刺激以外の刺激による非温熱性発汗とがある。

### ◇ 汗腺

【解剖学】【生理学】

皮膚の付属器<sup>[p.56]</sup>のひとつである汗腺は、汗を分泌する腺であり、エクリン汗腺(小汗腺)とアポクリン汗腺(大汗腺)の2種類がある。エクリン汗腺(小汗腺)とアポクリン汗腺(大汗腺)はともに交感神経系の単独支配<sup>[p.485]</sup>を受ける。

36) 伝導: 物質を構成する原子や分子は、高温であるほど熱エネルギーを多くもつため大きく振動する。伝導は、熱エネルギーによる原子や分子の振動が、熱エネルギーが低い部位に移動することでおこる。なお伝導による熱の移動のしやすさは熱伝導率であらわされる。熱伝導率は、値が大きいほど熱が伝わりやすい、すなわち体熱を放散しやすいことを意味する。たとえば衣服の素材としての羊毛(ウール)の熱伝導率は0.37W/m Kで、麻(リネン)は0.63W/m Kである。このため羊毛製の衣服は、麻でできたものよりも体熱を放散しにくいいため、暖かく感じる。

37) 発汗: 発汗は哺乳類のひろく見られる現象であるが、熱放散のために大量に汗をかくことができるのは、ヒトやウマなどの限られた動物のみである。ヒトがマラソンのような長距離を走ることができるのは、この大量に汗をかくことができる能力によっている。

## 1. エクリン汗腺（小汗腺）

**エクリン汗腺（小汗腺）<sup>38)</sup>**は、真皮下層または皮下組織の上部に糸球状の腺体を持ち、水分の割合が多い汗を分泌する外分泌腺である。これは**全身の皮膚に分布し、おもに温熱性発汗による体熱放散をおこない、体温調節にあずかる。**

## 2. アポクリン腺（大汗腺）

**アポクリン汗腺（大汗腺）<sup>39)</sup>**の腺細胞は皮膚の真皮内に存在し、**毛包に開口して、蛋白質や脂肪の割合が多い汗を分泌する外分泌腺である。アポクリン汗腺は腋窩部、外耳道、乳輪、肛門周囲などの限られた部位に分布する。**このため**アポクリン汗腺からの発汗に体熱放散や体温調節の機能はない。**

## ◇◇ さまざまな発汗

### ◇ 温熱性発汗

【生理学】

温熱性発汗とは、外気温（環境温）の上昇や骨格筋運動などで、核心温度がセットポイントよりも上昇した場合におこる発汗をいう。温熱性発汗は、皮膚面に分泌された汗の水分が蒸発するときに、気化熱<sup>40)</sup>がうばわれることによって、体熱の放散にあずかる。

**温熱性発汗は視床下部の体温調節中枢によって交感神経を介して調節され、手掌と足底をのぞく体表面全体で、おもにエクリン汗腺（小汗腺）から汗が分泌される。**

- 
- 38) エクリン汗腺(小汗腺; eccrine sweat gland): エクリン汗腺は1本の腺管でできている細長い単管状腺で、真皮下層ないし皮下組織の上部に直径0.1~0.5mmの糸球状の腺体をもつ。エクリン腺は液体のみを分泌し、細胞の有形成分は分泌しない。このようにエクリン腺は大量の水分を分泌して体温調節に関与するが、その分泌能力は暑熱経験に大きく影響され、個人差も大きい。またその分泌機能は加齢とともに低下すると考えられており、これによって高齢者は暑い環境下で汗をかきづらく、熱中症を発症しやすくなるといわれている。
- 39) アポクリン汗腺(大汗腺; apocrine sweat gland): アポクリン汗腺の分泌能はエクリン汗腺に比べて低く、汗の排出過程は非常にゆっくりしている。またここから出る汗は希薄であり、汗腺の細胞の一部が破片となって液の中に混じる。蛋白質などの有機物を多くふくむため成分が複雑で、独特の臭気をもつことがあり、青春ごろに分泌がはじまる。
- 40) 気化熱: 気化熱とは、液体が蒸発(気化)するために使われる熱量をいう。水100mlの気化熱は33℃で約58kcalであり、人体の比熱は約0.83とされる。このため、たとえば体重70kgの人の熱容量は70×0.83=58.1kcalとなり、これは水が100ml蒸発するのと同ほぼ等しい熱量になる。これは汗を100mlかくと、体温が1℃上昇するのを防ぐことができるということを意味する。

## ◇ 非温熱性発汗

【生理学】

温熱性発汗以外の発汗には、精神的な興奮やストレスによっておこる精神性発汗や、一部の食物の刺激によっておこる味覚性発汗などがある。

### 1. 精神性発汗

精神性発汗は、精神的な緊張やストレス、情動が大きく変動したときなどに交感神経活動が亢進して、おもに腋窩<sup>えきか</sup>、手掌<sup>しゅしょう</sup>、足底<sup>41)</sup>におこる発汗である。精神性発汗は体温調節に関与しない。

精神性発汗の中樞は扁桃体 [p.372] などにあるといわれ、これに大脳皮質が関与している。

### 2. 味覚性発汗

味覚性発汗<sup>42)</sup>は、トウガラシの辛味などの舌粘膜に対する刺激によって誘発される発汗をいう。

## ◇◇ 発汗調節

## ◇ 圧発汗反射

【生理学】

発汗時に身体の一部に圧迫刺激をくわえると、圧迫した体側の発汗は抑制<sup>43)</sup>される。これを圧発汗反射 [p.503] または交叉性半側発汗反射(皮膚圧半側発汗現象)という。

この反射では、圧迫側の交感神経系は抑制され、非圧迫側の交感神経系活動は亢進する。またこの反応は左右上下半身において交叉性にあらわれる<sup>44)</sup>。

また圧迫側では発汗が減少するのみならず、皮膚温は低下し、血圧は低下し、鼻粘膜の毛細管は拡張する。

- 
- 41) 手掌、足底： 手掌や足底部にある指紋の膨隆部には汗腺がならんでいる。交感神経系の興奮によっておこる精神性発汗は、手掌や足底の発汗を促進することで、ものを握るときのグリップ力を高め、感覚を敏感にするはたらきがある。
- 42) 味覚性発汗： 味覚性発汗は、辛味の成分であるカプサイシンが舌粘膜を刺激しておこり、おもに顔面部に発汗をみるとともに、紅潮をとまなう。
- 43) 発汗は抑制： たとえば側臥位になったとき、下になった半身では発汗が抑制され、上になった半身では発汗が増加する。
- 44) 左右上下半身において交叉性にあらわれる： 上下半身の境界線となるのはほぼ臍のレベルである。たとえば両側の側胸部を同時に圧迫すると、両半身の発汗が減少する。また片側の側殿部とこれと反対側の側胸部を圧迫すると、それぞれの圧迫側、すなわち上下半身においてことなる側の発汗が抑制される。



## 体温調節反応



### 外気温の変動にともなう体温調節

#### ◇ 温熱中性帯

【生理学】

体温を皮膚血流の変化のみで一定にたもつことができる外気温(環境温)の範囲を温熱中性帯<sup>45)</sup>という。温熱中性帯は、裸体のヒトでは28～32℃である。

#### ◇ 外気温低下時の体温調節反応

【生理学】

外気温(環境温)が下降したときは、核心温度の低下を防止するために、以下のような反応がおこる。

##### 1. 皮膚血管収縮

交感神経の興奮により皮膚血管が収縮<sup>46)</sup>して、非蒸散性熱放散(熱放射、伝導、対流)による体熱放散を防止する。

##### 2. 立毛筋収縮

交感神経<sup>47)</sup>の興奮により、立毛筋<sup>[p.57]</sup>が収縮し体毛は直立する。またこのとき表皮がわずかに持ちあげられことで、いわゆる鳥肌がおこる。これを立毛筋反射<sup>48)</sup>という。

本来の立毛筋<sup>49)</sup>の機能は、その収縮により体表面における毛髪がつくる空気層の厚さを増し、体熱の放散を防止することにある。しかしヒトの場合は体毛がほとんどないため、この機能はほとんど失われている。

45) 温熱中性帯： 温熱中性帯では、熱産生(産熱)は最小レベルにある。この領域より外気温(環境温)が下がると熱産生が始まり、上がると発汗がおこる。

46) 皮膚血管が収縮： 皮膚血管にある平滑筋はおもに交感神経による調節を受ける。寒冷環境で、交感神経から放出されるノルアドレナリンは血管平滑筋を収縮させ、皮膚の血流を減少させる。これによって血液が運ぶ体熱の移動が抑制され、皮膚からの熱の放散は小さくなる。

47) 交感神経： 立毛筋を支配する交感神経節後ニューロンは、コリン作動性ニューロンである。

48) 立毛筋反射： 立毛筋反射は寒冷刺激以外にも恐怖や悪寒・戦慄などによっておこることもある。

49) 立毛筋： サルやクマなど長い体毛を密にもつ動物は、立毛筋を収縮させ体毛を立たせることで、皮膚外側で保持される空気層を厚くし断熱性を高めている。

3. ふるえ産熱 [p.335]

体性運動神経の興奮により、骨格筋におけるふるえ熱産生<sup>50)</sup>がおこる。

4. 代謝による熱産生（非ふるえ産熱）の促進

寒冷環境が長くつづく、交感神経系の活動が亢進し、ノルアドレナリンなどの作用によって各組織における基礎代謝量が増大する。これによって熱産生が活発になることで、身体の耐寒性は高まる。

◇ 外気温上昇時の体温調節反応

【生理学】

外気温（環境温）が上昇したときは、核心温度の上昇を防止するために以下のような反応がおこる。

1. 皮膚血管の拡張

血管平滑筋を支配する交感神経の興奮性低下により皮膚血管が拡張<sup>51)</sup>して、非蒸散性熱放散（熱放射、伝導、対流）による体熱放散を促進する。

2. 発汗量の増加

汗腺を支配する交感神経の興奮により、汗腺の活動が促進され、発汗量が増加する。

a. 外気温（環境温）の上昇にともなう体熱放散メカニズムの変化

外気温（環境温）と体熱放散には以下のような関係がある。

- 25℃前後のとき体熱放散は、おもに熱放射によっておこる。
- 30℃をこえると外気温（環境温）と皮膚温の差が少なくなるため、熱放射、伝導、対流による体熱放散は少なくなり、発汗（蒸発）による体熱放散が急激に増加する。
- 35℃をこえると外気温（環境温）よりも皮膚温の方が低くなるため、熱放射、伝導、対流による体熱放散はおこらなくなり、もっぱら発汗（蒸発）によって熱放散がおこなわれる。

b. 発汗の暑熱順化

ヒトが暑熱環境にさらされると、1～2週間で皮膚血管の拡張および発汗

50) ふるえ熱産生： 寒冷時には、まず随意筋の緊張が亢進し、次第に肩、体幹、四肢の順番でふるえがおこっていく。

51) 皮膚血管が拡張： 暑熱環境では交感神経活動が低下することによって皮膚血管の平滑筋が弛緩し、血管が拡張する。これは皮膚の血流量を増加させ、体熱の放散を促進する。



が促進され、熱放散が効率よく行われるようになる。

また汗にふくまれる食塩の濃度は、発汗量が増すにつれて高くなる。しかし長期におよぶ暑熱環境のもとで発汗が持続して**気候順化(適応)がおこると、汗にふくまれる塩分濃度<sup>52)</sup>は次第に低下**する。これは気候順化によってアルドステロンが汗腺に対して作用するようになり、汗を産生するときにナトリウムイオンの再吸収を促進することによる。

### 3. アルドステロンの分泌亢進

副腎皮質からのアルドステロンの分泌亢進により、尿や汗からのナトリウムイオンの再吸収が促進される。これは体液からのナトリウムイオン喪失を防止し、細胞外液の浸透圧をたもつことにはたらく。

### 4. バソプレシン分泌亢進

下垂体後葉からのバソプレシン(抗利尿ホルモン)分泌亢進により、腎臓における水の再吸収が促進される。これによって尿量が減少し、尿からの水分喪失をふせぐ。

### 5. 体熱の産生抑制

- 食欲が低下し、**特異動的作用による産熱は抑制**される。
- 運動量が減少し、**骨格筋収縮による産熱は抑制**される。

## 体温調節反射

### ◇ 体温調節反射

【生理学】

体温調節にはたらく以下のような反射を体温調節反射と総称する。これらは**体性-内臓反射** [p.506]である。

- **外気温(環境温)の上昇による発汗増加や皮膚血管の拡張** [p.342]
- **外気温(環境温)の低下による皮膚血管の収縮** [p.341]
- **外気温(環境温)の低下による鳥肌(立毛筋反射)** [p.341]

52) 塩分濃度：汗にふくまれるナトリウムイオンの濃度は、気候順化の度合いにより30～65mmol/Lの範囲で変化する。



## 体温の異常

### ◇ 高体温

【生理学】

高体温<sup>53)</sup>には発熱とうつ熱とがある。

#### 1. 発熱

**発熱とは、視床下部の体温調節中枢における体温のセットポイント**<sup>[p.333]</sup>  
が上昇して核心温度が上昇することをいう。

マクロファージなどの食細胞は、病原体を貪食したときなどにインターロイキン1などの内因性発熱物質を分泌する。**内因性発熱物質は、視床下部の体温調節中枢に作用して、体温のセットポイントを上昇させることで発熱をひき起こす。**

**発熱における体温上昇時<sup>54)</sup>には、倦怠感、頭痛、頭重感、食欲不振、眠気、ほてり感、発汗、悪寒戦慄<sup>55)</sup>、筋肉痛、関節痛、脈拍数増加(頻脈)<sup>56)</sup>、タンパク尿などの症状・所見をみる。**

また発熱状態から体温が正常域にもどることを解熱<sup>57)</sup>と**分利**<sup>57)</sup>と**換散**<sup>58)</sup>に大別される。

#### 2. うつ熱

うつ熱は、皮膚からまたは呼気からの体熱放散のいずれかまたは両方がさまたげられ、体内に熱がうっ積することによる体温上昇をいう。

- 
- 53) 高体温: ヒトの身体の構成成分として多くある蛋白質は、43°Cの温度刺激によって立体構造が破壊される。このため体温42°Cでは、死亡率が80%以上となる。
- 54) 体温上昇時: 発熱の極期に達した場合は、顔面が紅潮し熱感が強くなるため、皮膚を冷却し体温の下降をはかるとよい。
- 55) 悪寒戦慄: 悪寒戦慄はぞくぞくする寒気(さむけ)とふるえをいう。ふるえは骨格筋の律動的な収縮であり、筋肉の長さを変えない等尺性収縮である。この等尺性収縮は外部に対して力学的な仕事をしないため、発生するエネルギーのほとんどが熱になる。このためふるえ産熱は、非常に効率のよい熱産生となる。
- 56) 脈拍数増加(頻脈): 発熱時には体温が40°Cになるまでは、0.5~1°C上昇するごとに脈拍数は約10回/分程度増加する。
- 57) 分利: 分利とは、高体温の状態から急速(6~12時間)に体温が下降することをいう。
- 58) 換散: 換散とは、高体温の状態から徐々に体温が下降することをいう。

## ◇ 低体温

低体温<sup>59)</sup>では、体熱放散の著しい増加により体温が下降して凍死<sup>とうし</sup>にいたることがある。このため低体温時には、十分に身体を保温する必要がある。

---

59) 低体温： 体温が33°C以下になると、ふるえなどの対寒反応がなくなり、意識障害、筋硬直、血圧低下、徐脈、不整脈をみとめ、30°C以下になると幻覚や錯乱がおき、25～27°Cにまで下降すると心室細動をおこして死にいたることが多い。

## 6. 体温