

Homeostasis

Fetal and Neonatal Oxygen Transport

Janin Bergantung pada Plasenta untuk Pertukaran Gas, Nutrisi, dan Produk Sampingan Metabolik

- Sejak pembuahan sampai lahir, embrio dan janin bergantung pada ibu untuk suplai oksigen dan nutrisi serta untuk menghilangkan karbondioksida dan produk sampingan metabolik lainnya.
- Embrio menukar zat ini melalui difusi melalui cairan rahim. Ketika konseptus bertambah besar, organ pertukaran khusus, yang dikenal sebagai plasenta, menjadi penting.
- Plasenta membawa darah ibu dan janin ke dalam aposisi dekat di atas permukaan luas yang disediakan oleh jaringan kapiler.
- Penampakan kasar dari plasenta spesies yang berbeda sangat bervariasi:
 1. Pada kuda dan babi, plasenta menyebar dan menutupi sebagian besar epitel uterus.
 2. Pada hewan ruminansia, plasenta memiliki deretan kotiledon melingkar-ke-oval diskrit yang melekat pada sekitar 100 caruncles yang sangat vaskularisasi di epitel uterus.
 3. Pada anjing, plasenta berbentuk zoner, membentuk pita melingkar di sekitar allantochorion anak anjing

TABLE 51-1 Placentation in Domestic Mammals

| Species | Classification | |
|------------|----------------|-------------------|
| | Gross | Histological |
| Horse | Diffuse | Epitheliochorial |
| Pig | Diffuse | Epitheliochorial |
| Cow | Cotyledonary | Epitheliochorial |
| Sheep | Cotyledonary | Epitheliochorial |
| Goat | Cotyledonary | Epitheliochorial |
| Dog | Zonary | Endotheliochorial |
| Cat | Zonary | Endotheliochorial |
| Rabbit | Discoid | Hemochorial |
| Guinea pig | Discoid | Hemochorial |

Efisiensi Pertukaran Gas di Plasenta Tergantung pada Pengaturan Variabel Spesies Pembuluh Darah Janin dan Ibu

- Pertukaran gas dan zat lain melintasi plasenta ditentukan oleh beberapa faktor, termasuk jumlah aposisi permukaan antara jaringan janin dan ibu serta jumlah lapisan sel yang memisahkan darah janin dan ibu. Namun, faktor utama yang menentukan pertukaran adalah pengaturan pembuluh darah janin dan ibu di dalam vili kecil interdigitasi pada plasenta.
- Aliran darah ibu dan janin yang berlawanan arus menyediakan pertukaran yang paling efisien dan memungkinkan keseimbangan ketegangan gas arteri janin dan ibu. Aliran darah janin dan ibu secara bersamaan memungkinkan pembuluh darah janin menyeimbangkan ketegangan gas vena ibu. Pada tipe ekuilibrator arus silang dan kumpulan, kapiler janin berputar ke bawah ke pembuluh ibu atau ke kumpulan darah ibu.

A. Countercurrent



B. Concurrent



C. Crosscurrent



D. Pool

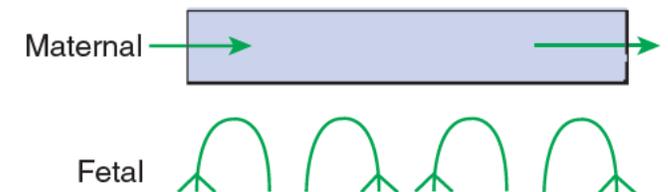


FIGURE 51-1 Schematic representation of possible arrangements of fetal and maternal blood vessels. (From Dawes GS: *Foetal and neonatal physiology: a comparative study of the changes at birth*, Chicago, 1968, Year Book Medical.)

- susunan pembuluh di mikrocotyledon kuda, spesies di mana aliran darah janin dan ibu terutama berlawanan. Plasenta kotiledon domba berfungsi sebagai penyeimbang vena, sedangkan plasenta hemochorial kelinci tampaknya menjadi penukar arus berlawanan.

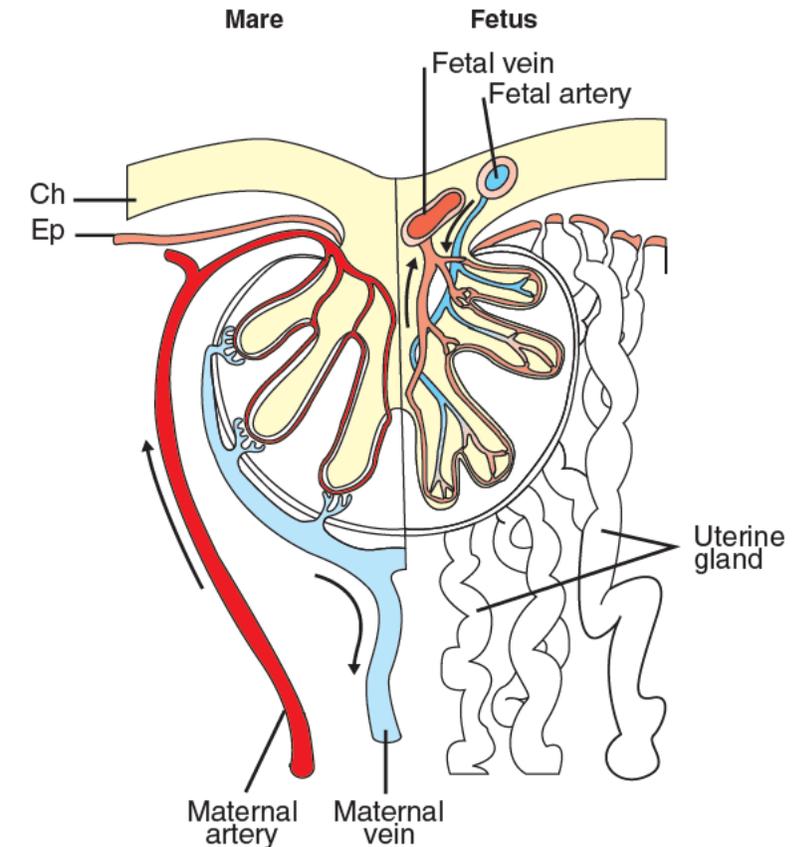


FIGURE 51-2 Diagram showing the arrangement of maternal and fetal blood vessels in the microcotyledons of the equine placenta. *Arrows* demonstrate the postulated countercurrent directions of maternal and fetal blood flow. *Ch*, Chorioallantois; *Ep*, uterine epithelium. (Based on data in Tsutsumi T: *J Agriculture Hokkaide Imperial Univ* 52:372, 1962; from Comline KS, Cross GS, Dawes GS, et al, editors: *Foetal and neonatal physiology: proceedings of the Sir Joseph Barcroft Centenary Symposium*, Cambridge, UK, 1973, Cambridge University Press.)

Sirkulasi Janin Mencampur Darah Oksigenasi dan Deoksigenasi di Beberapa Titik, Sehingga Janin Ada Dalam Keadaan Hipoksemia

- Pada orang dewasa, curah jantung dari ventrikel kanan dan kiri terpisah dan masing-masing mengalir ke sirkulasi paru dan sistemik. Pada janin, keluaran dari kedua sisi jantung bercampur di beberapa titik, jadi lebih mudah untuk menggunakan istilah curah jantung untuk merujuk pada keluaran gabungan dari ventrikel kanan dan kiri. Rata-rata curah jantung gabungan 500 mL / menit / kg pada janin domba; keluaran ventrikel kanan melebihi keluaran ventrikel kiri. Karena ventrikel kanan dan kiri janin memompa ke dalam sirkulasi yang umum, keduanya memiliki ukuran dan ketebalan dinding yang sama.
- Plasenta, yang memiliki resistensi vaskular rendah, menerima 45% dari curah jantung melalui arteri umbilikal. Vena umbilikalis mengalirkan plasenta ke arah hati.
- Pada domba, sebagian besar darah vena umbilikalis melewati hati melalui saluran resistansi rendah yang disebut duktus venosus;
- babi dan kuda, duktus venosus menghilang pada awal kehamilan, dan darah vena umbilikalis mengalir melalui kapiler hati. Di dalam hati, darah beroksigen dari plasenta bercampur dengan sejumlah kecil darah beroksigen yang lebih buruk yang mengalir ke sinusoid hati. Darah vena hepatic memasuki vena kava posterior, bercampur dengan darah yang kekurangan oksigen, mengeringkan ujung belakang janin, sehingga darah yang kembali ke atrium kanan memiliki P_{O_2} 25 mm Hg.

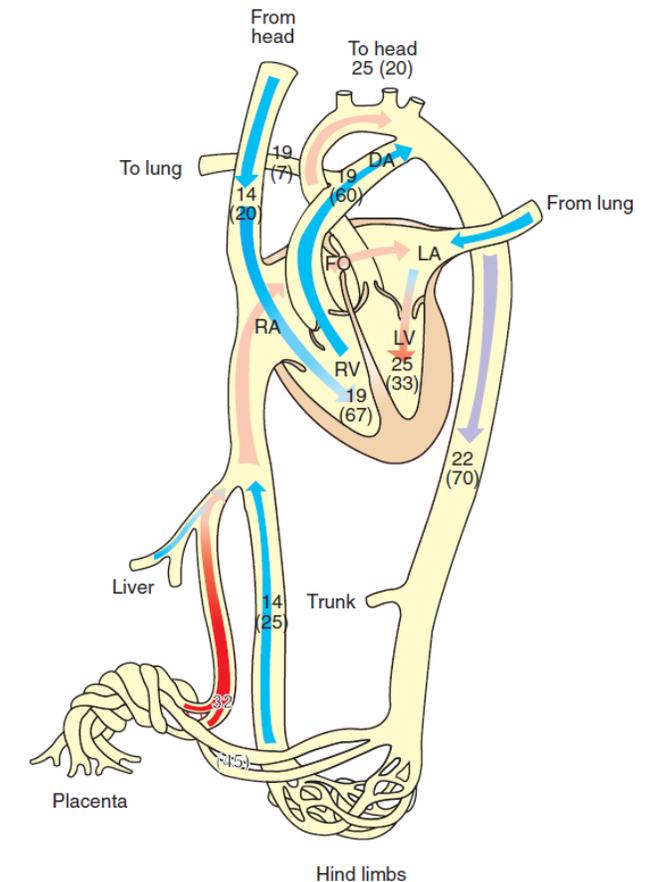


FIGURE 51-4 Diagrammatic representation of the fetal circulation showing oxygen tension (P_{O_2}) in millimeters of mercury (mm Hg) and percentage of cardiac output (in parentheses) in different parts of the circulation. DA, Ductus arteriosus; FO, foramen ovale; LA, left atrium; LV, left ventricle; RA, right atrium; RV, right ventricle.

- Jalur resistansi rendah, foramen ovale, menghubungkan atrium kanan dan kiri, dan struktur yang dikenal sebagai crista dividend mengarahkan darah yang lebih teroksigenasi dari vena kava posterior melalui foramen ovale ke atrium kiri.
- Darah yang kekurangan oksigen yang kembali ke atrium kanan di vena kava kranial diarahkan ke atrium kanan dan ventrikel kanan. Akan tetapi, sebagian besar keluaran dari ventrikel kanan tidak melalui paru-paru, karena paru-paru janin memiliki resistensi vaskular yang tinggi. Saluran resistansi rendah lainnya, duktus arteriosus, menghubungkan arteri pulmonalis dengan aorta dan memungkinkan darah melewati paru-paru.
- Penting untuk dicatat bahwa pengaturan sirkulasi janin memungkinkan darah beroksigen lebih baik masuk ke ventrikel kiri, dari mana darah mencapai pembuluh brachycephalic dan bagian depan hewan. Darah yang kurang oksigen dari duktus arteriosus memasuki aorta hilir dari pembuluh brachycephalic. Jaringan ujung belakang hewan dan plasenta menerima darah dengan P_{O_2} sekitar 22 mm Hg.
- Aliran darah dari atrium kanan ke atrium kiri melalui foramen ovale dan dari arteri pulmonalis ke aorta melalui duktus arteriosus membutuhkan tekanan di sisi kanan sirkulasi janin lebih besar daripada di sisi kiri. Perbedaan tekanan ini terjadi karena sisi kiri sirkulasi memberikan sebagian besar keluarannya ke plasenta resistansi rendah, sedangkan sisi kanan sirkulasi janin ditentang oleh sirkulasi paru resistansi tinggi. Pada waktunya, tekanan arteri sistemik pada domba sekitar 42 mm Hg.

- Sirkulasi janin bukanlah sistem pasif dan mampu mengatur secara signifikan, terutama saat janin menjadi dewasa. Hipoksia janin dapat merangsang vasodilatasi di jantung dan otak serta vasokonstriksi di usus, ginjal, dan jaringan rangka. Sirkulasi paru janin mengerut dengan kuat saat janin dalam keadaan hipoksia. Penyempitan ini mengalihkan lebih banyak darah melalui duktus arteriosus ke jaringan sistemik.

Transpor Oksigen Janin Dibantu oleh Hemoglobin Janin, Yang Memiliki Afinitas Tinggi terhadap Oksigen

- Darah arteri janin memiliki P_{O_2} yang rendah karena plasenta bukan merupakan penukar gas yang sangat efisien dan karena darah beroksigen dan darah vena bercampur di beberapa titik dalam sirkulasi janin. Janin beradaptasi dengan keadaan hipoksia kronis ini dengan dua cara. Pertama, ia memiliki curah jantung tinggi yang mengirimkan sejumlah besar darah per menit ke jaringan. Kedua, janin menghasilkan eritrosit yang mengandung hemoglobin dengan afinitas tinggi terhadap oksigen
- Produksi eritrosit awalnya terjadi di kantung kuning telur dan di jaringan lain seperti endotel. Eritrosit embrionik ini berinti dan mengandung hemoglobin embrio, yang afinitas oksigennya belum ditentukan dengan jelas. Pada penghentian periode embrio, produksi eritrosit bergeser ke hati dan limpa dan kemudian secara progresif ke limpa dan sumsum tulang. Pada sepertiga akhir masa gestasi, produksi eritrosit hanya dilakukan oleh sumsum dan eritrosit kehilangan nukleusnya. Tergantung pada spesiesnya, eritrosit janin mengandung hemoglobin janin atau orang dewasa. Juga, ada perubahan pada enzim glikolitik untuk menghasilkan konsentrasi janin 2,3-difosfoglisarat (2,3-DPG), yang mengatur kombinasi oksigen dengan hemoglobin.
- Eritrosit janin memiliki afinitas yang lebih tinggi terhadap oksigen (tekanan parsial [ketegangan] lebih rendah di mana hemoglobin tersaturasi 50% dengan oksigen [P_{50}]) dibandingkan eritrosit ibu.

- Pada hewan ruminansia, afinitas oksigen yang lebih tinggi dihasilkan dari sintesis hemoglobin janin dengan afinitas oksigen intrinsik yang tinggi. Hemoglobin janin dari spesies ini tidak responsif terhadap 2,3-DPG.
- Setelah lahir terjadi penggantian hemoglobin janin secara bertahap dengan hemoglobin dewasa.
- Pada primata, terdapat sedikit perbedaan intrinsik dalam afinitas oksigen dari hemoglobin janin dan ibu, tetapi interaksi hemoglobin janin dengan 2,3-DPG menurun.
- Pada kuda dan babi tidak ada hemoglobin janin; hemoglobin embrio segera diganti dengan hemoglobin dewasa. Pada spesies ini, konsentrasi rendah 2,3-DPG dalam eritrosit janin adalah penyebab afinitas oksigen tinggi dan setelah lahir, terjadi peningkatan konsentrasi 2,3-DPG

Afinitas hemoglobin janin yang tinggi terhadap oksigen memungkinkan hemoglobin di vena umbilikalis, dengan P_{O_2} 30 mm Hg, menjadi 80% jenuh dengan oksigen dan memungkinkan hemoglobin di aorta, dengan P_{O_2} 22 mm Hg, menjadi 56 % jenuh.

Afinitas tinggi hemoglobin janin terhadap oksigen tidak hanya memungkinkan pengangkutan oksigen pada P_{O_2} rendah di arteri janin, tetapi juga membuat jaringan janin perlu memiliki P_{O_2} yang sangat rendah. Jaringan P_{O_2} yang rendah memberikan gradien konsentrasi oksigen untuk mengeluarkan oksigen dari hemoglobin janin. Oleh karena itu janin berada dalam keadaan hipoksia jaringan dibandingkan dengan orang dewasa

Paru-paru Berkembang dalam Tiga Tahap, dan Surfaktan Paru Harus Ada Saat Lahir

- **Pada saat lahir, paru-paru harus siap untuk menjalankan fungsi perubahan gas pada plasenta.**
- Paru-paru berkembang dalam tiga tahap dengan durasi yang setara:
 1. Dimulai sebagai hasil pertumbuhan dari foregut, kuncup paru-paru menyerang mesenkim toraks dan membelah menjadi semua saluran udara utama selama sepertiga pertama kehamilan. Secara bersamaan, cabang pembuluh darah utama berkembang. Karena saluran udara primordial dilapisi dengan epitel kuboid dan terlihat seperti kelenjar pada penampang melintang, tahap perkembangan ini dikenal sebagai tahap pseudoglandular.
 2. Pada tahap perkembangan kedua atau kanalikuli, bronkiolus berkembang, saluran udara berkembang menjadi lumens dan daerah bronkiolus yang berkembang diserang oleh kapiler.
 3. Pada tahap akhir, atau tahap kantung alveolar, kantung alveolar, dan di beberapa spesies alveoli, berkembang. Tahap kematangan paru-paru saat lahir pada umumnya sama dengan kematangan janin. Domba dan anak babi memiliki alveoli yang berkembang dengan baik, tetapi manusia dan terutama hewan pengerat memiliki kantung alveolar berdinding lebih tebal. Pada spesies yang terakhir ini, alveoli berkembang sebagai hewan yang tumbuh secara postnatal

- Surfaktan paru sangat penting jika paru-paru ingin tetap mengembang setelah lahir
- Sintesis surfaktan dimulai selama tahap perkembangan kelenjar tetapi dimulai sekitar pertengahan kehamilan, terjadi peningkatan sintesis komponen surfaktan, seperti lesitin, di dalam paru-paru.
- Peningkatan sintesis lesitin ini bertepatan dengan munculnya sel alveolar tipe II (sumber surfaktan) dan dengan peningkatan aliran darah paru. Sebagian dari lesitin ini disekresikan ke dalam lumens alveolar dan muncul dalam cairan ketuban, yang dapat diukur sebagai indikator keadaan kematangan paru. Kematangan paru-paru bertepatan dengan peningkatan kadar glukokortikoid serum (kortisol) pada janin.
- glukokortikoid (dua pertiga dari janin dan sepertiga dari ibu) memainkan peran penting di paru-paru pematangan.

- Hingga saat lahir, resistensi pembuluh darah pada sirkulasi paru janin tinggi, karena beberapa alasan:
- Paru janin tidak membengkak; oleh karena itu pembuluh darah besar tidak ditarik terbuka oleh septa alveolar di sekitarnya. Selain itu, hipoksia janin mempertahankan otot polos pembuluh darah paru dalam keadaan kontraksi yang mempersempit pembuluh darah arteri. Beberapa tarikan napas pertama meredakan kedua kondisi ini. Paru-paru janin terus menerus mengeluarkan cairan hingga sekitar 2 hari sebelum lahir. Cairan ini, yang kaya klorida dan rendah bikarbonat dan protein, berjalan ke trakea dan melalui mulut janin ke dalam rongga ketuban. Cairan di ruang alveolar dan saluran udara sebagian tertekan keluar dari paru-paru saat dada dikompresi selama kelahiran. Mayoritas diserap kembali ke dalam pembuluh limfatik dan darah segera setelah lahir. Dimulai pada sekitar sepertiga masa gestasi, janin membuat gerakan pernapasan, meskipun ia menggerakkan sedikit cairan kental ke sana kemari di saluran udara. Gerakan-gerakan ini tampaknya mempersiapkan otot-otot pernapasan untuk fungsi pascanatal mereka.

Pada atau Sesaat Setelah Lahir, Pembuluh Darah Umbilical Pecah, Resistensi Pembuluh Darah Paru Menurun, dan Foramen Ovale dan Ductus Arteriosus Menutup

- Saat cukup bulan, janin bergantung pada plasenta dan ibu untuk pertukaran dengan lingkungan, tetapi paru-paru dan organ lain harus siap untuk menjalankan fungsi pascanatal. Selama kelahiran normal, bayi baru lahir keluar dari jalan lahir pada saat plasenta terlepas dari dinding rahim. Pertukaran gas plasenta mungkin berlanjut hingga persalinan kala tiga. Jika persalinan berlangsung lama, plasenta dapat terlepas sebelum bayi baru lahir. Ini darurat medis.
- Biasanya, bayi baru lahir mengambil napas pertama segera setelah melahirkan. Stimulus untuk ini termasuk (1) hipoksia dan hiperkarbia, yang diakibatkan oleh hilangnya penukar gas plasenta; (2) mendinginkan janin saat cairan janin menguap dari kulit; dan (3) peningkatan masukan sensorik secara umum ke janin saat janin dijilat dan digigit oleh bendungannya.
- Upaya besar selama tarikan napas pertama diperlukan untuk memindahkan cairan kental ke saluran udara sebelum udara masuk ke alveoli dan untuk membuka alveoli yang berisi cairan. Tidak semua alveoli bisa mengembang selama napas pertama, tetapi inhalasi berikutnya akan menggembungkan seluruh paru dan mendistribusikan surfaktan ke permukaan alveolar. Surfaktan ini membuat alveoli stabil dan mencegah kolapsnya sehingga volume paru ekspirasi akhir yang stabil, yang dikenal sebagai kapasitas sisa fungsional, dapat dibangun. Setelah beberapa napas pertama, tekanan oksigen arteri (P_{aO_2}) jauh lebih tinggi daripada sebelum kelahiran, namun pernapasan terus berlanjut.

- Meskipun janin berada dalam keadaan hipoksia dibandingkan dengan orang dewasa, tubuh karotis tidak merangsang gerakan pernapasan dalam rahim.
- Sebaliknya, hipoksia menghambat gerakan pernapasan dan mengurangi laju metabolisme untuk mengurangi kebutuhan oksigen.
- Saat lahir, badan karotis relatif tidak sensitif terhadap hipoksia, tetapi dengan adanya konsentrasi oksigen yang ditemukan di udara, mengembangkan kepekaan orang dewasa terhadap defisit oksigen dalam beberapa minggu.
- Inflasi dan oksigenasi paru-paru saat lahir mengurangi resistensi pembuluh darah paru, yang menyebabkan penurunan tekanan di arteri pulmonalis, ventrikel kanan, dan atrium kanan.
- Pada waktu yang hampir bersamaan, pembuluh pusat pecah karena hewan tersebut kesulitan untuk berdiri atau tali pusatnya robek oleh induknya. Aliran darah umbilikalis ditahan oleh vasokonstriksi lokal di pembuluh darah pusat.
- Hilangnya sirkulasi plasenta resisten rendah meningkatkan resistensi vaskular sistemik, yang mengakibatkan peningkatan tekanan di aorta, ventrikel kiri, dan atrium kiri. Akibat perubahan ini, tekanan aorta melebihi tekanan arteri pulmonalis, dan tekanan atrium kiri melebihi tekanan atrium kanan. Oleh karena itu, aliran darah melalui duktus arteriosus dan foramen ovale berbalik arah.

- Pembalikan aliran di foramen ovale menyebabkan katup flap menutup dan menutup foramen. Selama beberapa hari hingga minggu berikutnya, katup ini melekat pada dinding atrium, sehingga secara permanen menutup foramen.
- Pembalikan aliran di duktus arteriosus mengekspos dinding duktus ke darah yang teroksigenasi dengan baik. Hal ini menyebabkan penyempitan otot polos di dinding duktus, sehingga menghambat aliran darah. Penutupan duktus melibatkan penurunan konsentrasi prostaglandin vasodilator.
- Pemberian obat-obatan, seperti indometasin, yang menghambat sintesis prostaglandin menyempitkan duktus pada janin domba, dan pemberian prostaglandin E2 melebarkannya. Ketika duktus telah menyempit dan aliran telah ditahan, duktus secara bertahap diubah menjadi pita jaringan parut fibrosa. Perubahan yang baru saja dijelaskan mengubah sirkulasi janin menjadi sirkulasi dewasa, yang mampu mendukung fungsi pertukaran gas di paru-paru. Hebatnya, perubahan ini terjadi secara rutin dan tanpa bantuan medis di hampir semua kelahiran hewan.

Thermoregulation

Suhu Merupakan Faktor Utama Yang Mempengaruhi Fungsi Jaringan

- Because body function is the result of chemical and physical processes that are sensitive to changes in temperature, animals use a variety of strategies to regulate the temperature of their tissues.
- If body temperature is allowed to decrease too much below its normal value of about 38° C (~100° F), metabolic processes are slowed to such an extent that body functions are severely impaired. Below 34° C (93.2° F), animals become unable to regulate their own temperature, and at 27° to 29° C (80.6° to 84.2° F), cardiac fibrillation and death occur.
- At the other extreme, an increase in temperature to 45° C (113° F) can cause fatal brain lesions.

Homeotherms dan Poikilotherms Menggunakan Strategi Berbeda untuk Mengatur Suhu Tubuh

- Mamalia dan burung adalah homeotherm; mereka mempertahankan suhu tubuh yang konstan dengan adanya perubahan suhu lingkungan yang cukup besar. Meskipun pemeliharaan suhu konstan memungkinkan mamalia untuk hidup di berbagai lingkungan dan tetap aktif selama musim dingin dalam setahun, itu bukan tanpa biaya.
- Homeotherms harus mempertahankan tingkat metabolisme yang tinggi hanya untuk memberikan panas yang diperlukan untuk menjaga suhu tubuh. Ini membutuhkan asupan energi yang tinggi dan karena itu hampir selalu mencari makan. Poikilotherms membutuhkan lebih sedikit energi dan lebih mampu bertahan saat kekurangan makanan.

Body Temperature Depends on the Balance Between Heat Input and Heat Output

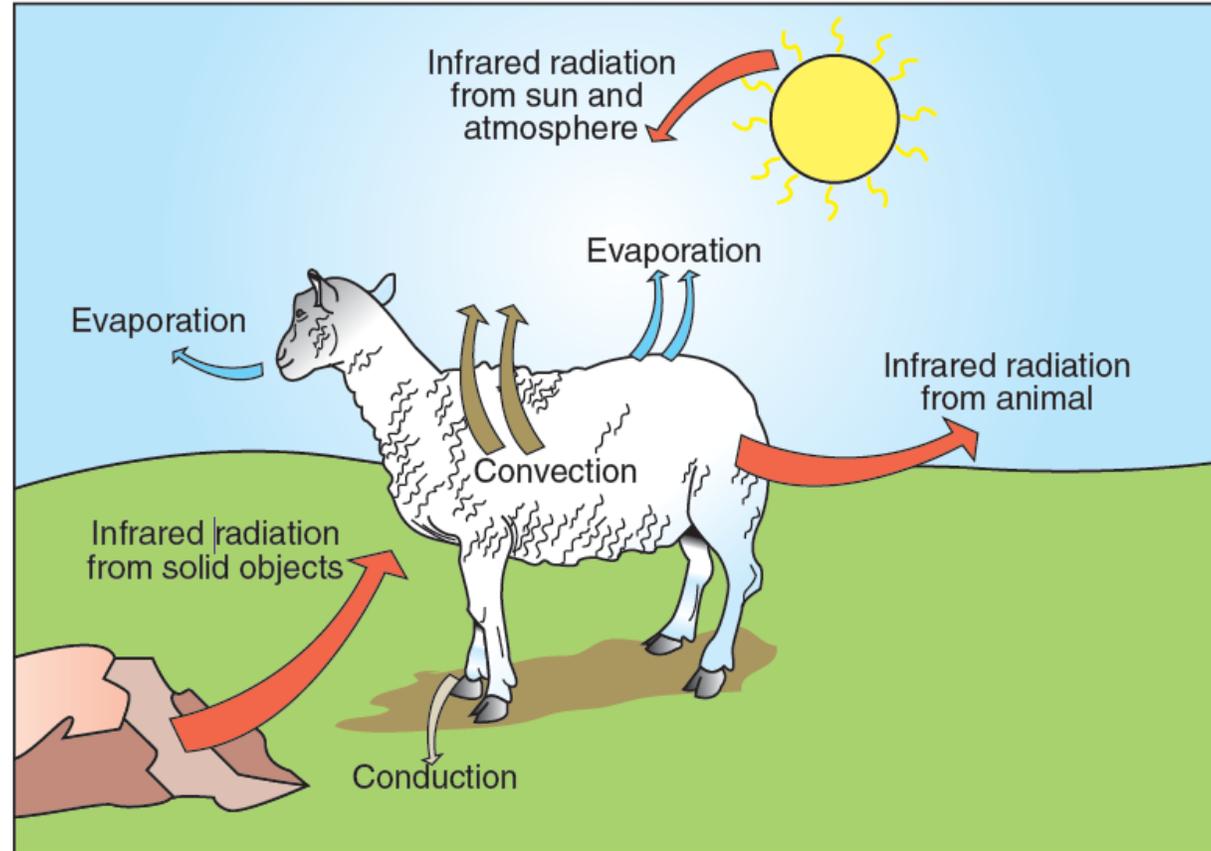
- Saat energi makanan dicerna, panas diproduksi di semua tahap proses metabolisme. Akhirnya, semua energi makanan diubah menjadi panas, yang dibuang ke lingkungan dan dipancarkan ke luar angkasa. Produksi panas oleh tubuh berhubungan dengan laju metabolisme. Tingkat metabolisme basal diperlukan untuk mempertahankan fungsi sel. Selama olahraga, produksi panas metabolik bisa meningkat lebih dari sepuluh kali lipat. Jika panas ini tidak hilang ke lingkungan, suhu tubuh dapat meningkat ke tingkat yang berbahaya. Selain itu, peningkatan suhu tubuh ini meningkatkan laju metabolisme, yang selanjutnya meningkatkan panas produksi
- Hewan memperoleh panas dari lingkungan saat suhu lingkungan melebihi suhu tubuh dan saat terpapar sumber panas radiasi. Yang terakhir terjadi ketika hewan terpapar sinar matahari atau ditempatkan di dekat benda padat yang lebih hangat dari suhu tubuhnya.
- Panas hilang ke lingkungan karena radiasi dari permukaan tubuh ke benda yang lebih dingin; secara konveksi karena udara atau air di sekitarnya dihangatkan oleh tubuh; dengan penguapan sekresi pernapasan, keringat, atau air liur; dan dengan konduksi ke permukaan yang lebih dingin tempat hewan tersebut bersentuhan. Sejumlah kecil panas juga hilang bersama urin dan feses.

TABLE 53-1 Amount of Heat Produced by Metabolism of Major Food Types

| Food Type | Heat Production (kcal/g) | | |
|--------------------|--------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| | Per Gram of Food | Per Liter of O ₂ Consumed | Per Liter of CO ₂ Produced |
| Carbohydrates | 4.1 | 5.05 | 5.05 |
| Fat | 9.6 | 4.75 | 6.67 |
| Proteins (to urea) | 4.2 | 4.46 | 5.57 |

- Banyak sumber panas metabolik, seperti hati, jantung, dan otot tungkai, berada jauh dari kulit, yang merupakan tempat hilangnya panas. Oleh karena itu, perlu untuk mentransfer panas di antara situs-situs ini. Jaringan tubuh adalah konduktor yang buruk, sehingga panas ditransfer terutama melalui konveksi dalam sirkulasi

FIGURE 53-1 Representation of the heat input and heat output between a mammal and the environment.



HEAT PRODUCTION

Heat Is a Byproduct of All Metabolic Processes

- the amount of heat produced by the metabolism of carbohydrates, fats, and proteins
- jumlah panas yang dihasilkan oleh metabolisme karbohidrat, lemak, dan protein daripada di poikilotherms karena homeotherms perlu menghasilkan panas untuk menjaga suhu tubuh.
- BMR per kilogram berat badan lebih besar pada mamalia yang lebih kecil daripada mamalia yang lebih besar
- The BMR per kilogram of body weight is greater in smaller than in larger mammals

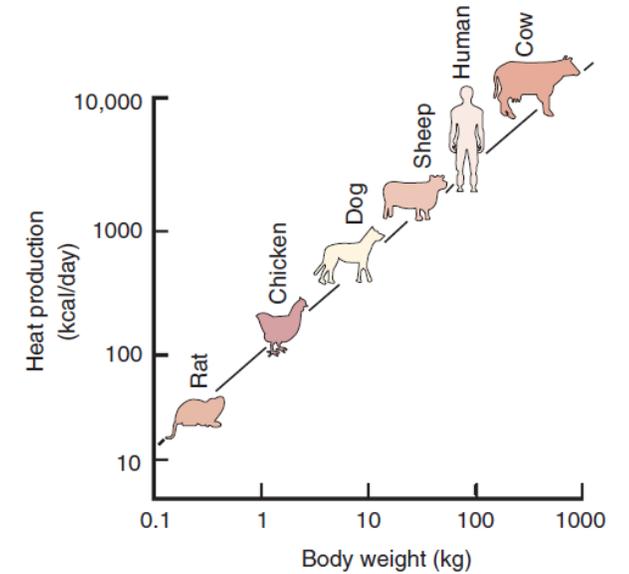


FIGURE 53-2 Relationship between body weight and heat production.

Shivering Produces Heat by Muscle Contraction

- Menggigil merupakan salah satu metode untuk meningkatkan produksi panas metabolik. Kelompok antagonis otot tungkai diaktifkan sehingga tidak menghasilkan pekerjaan yang berguna.
- Energi kimia yang digunakan untuk menggigil ditransfer ke inti tubuh sebagai panas. Jika perlu, menggigil dapat berlangsung selama berjam-jam dan dapat menggandakan produksi panas. Menggigil dalam waktu singkat bahkan dapat meningkatkan produksi panas hingga empat kali lipat.

Termogenesis Nonshivering Adalah Peningkatan Laju Metabolik Basal, Terutama Disebabkan oleh Oksidasi Lemak Coklat, Menghasilkan Panas.

Ketika hewan terpapar dingin secara kronis, mereka mengembangkan kemampuan untuk meningkatkan produksi panas metabolik tanpa menggigil (termogenesis nonshivering). Peningkatan metabolisme ini dimediasi melalui peningkatan sekresi hormon tiroid dan efek kalorigenik katekolamin pada lipid.

HEAT TRANSFER IN THE BODY

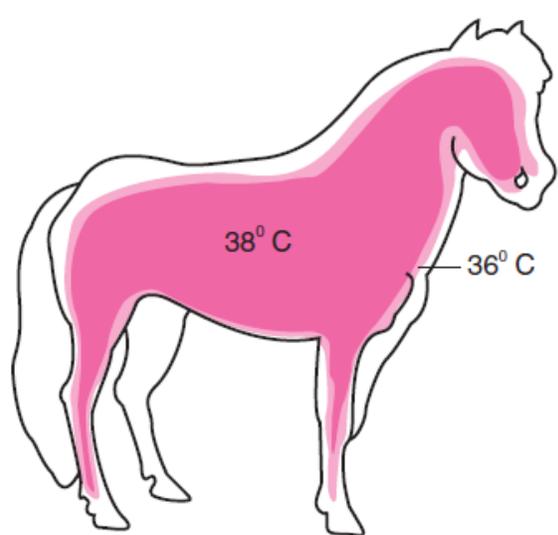
Karena Jaringan Adalah Konduktor Yang Buruk, Panas Paling Efektif Ditransfer dalam Darah

- Karena panas diproduksi terutama di otot-otot tungkai dan di hati dan dihilangkan melalui kulit dan saluran pernapasan, panas perlu dipindahkan ke seluruh tubuh. Jaringan memiliki konduktivitas termal yang buruk; oleh karena itu, konduksi bukanlah cara yang efisien untuk redistribusi panas
- Darah yang mengalir ke organ yang aktif secara metabolik mengumpulkan panas dan mentransfernya ke bagian tubuh yang lebih dingin melalui konveksi peredaran darah. Redistribusi aliran darah dapat menghantarkan panas secara istimewa ke daerah tubuh tertentu, atau dapat membuat daerah menjadi dingin ketika pemeliharaan suhu otak dan organ dalam (suhu inti) terancam.

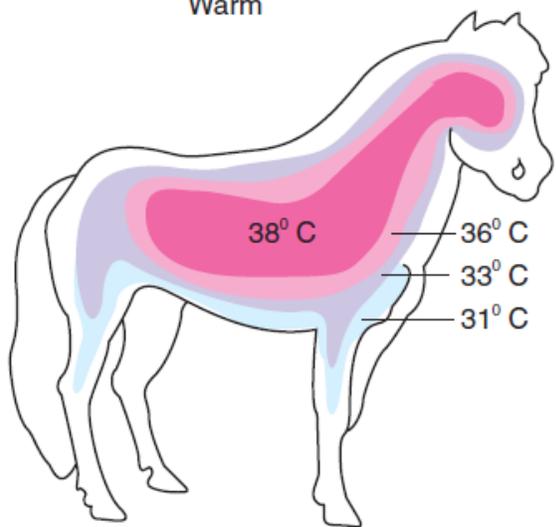
- Dalam kondisi tekanan panas, perpindahan panas ke kulit melalui peredaran darah dapat meningkat secara dramatis melalui dua mekanisme:
 1. Pertama, arteriol dari pembuluh darah kulit membesar, yang menyebabkan peningkatan aliran darah kapiler.
 2. Kedua, anastomosis arteriovenosa terbuka di tungkai, telinga, dan moncong. Kedua tindakan ini sangat meningkatkan aliran darah total ke pinggiran, dan peningkatan pengiriman panas meningkatkan suhu kulit, yang memfasilitasi hilangnya panas. Sebaliknya, di bawah tekanan dingin, tempat tidur pembuluh darah kulit mengalami vasokonstriksi, dan anastomosis arteriovenosa menutup; sehingga suhu kulit dan anggota tubuh menurun. Hal ini mengakibatkan berkurangnya panas yang hilang dari kulit dan dalam gradien suhu di sepanjang tungkai.
- Di bawah tekanan dingin yang parah, suhu kulit ekstremitas dapat mendekati suhu lingkungan. Menariknya, lipid di ekstremitas ekstremitas memiliki titik leleh lebih rendah daripada di inti, sehingga lemak tidak membeku dalam tekanan dingin yang ekstrem.

Mekanisme Pertukaran Panas Arus Balik Digunakan Baik untuk Menghemat dan Menghilangkan Panas

- Ketika suhu lingkungan tinggi, darah yang mengalir ke lapisan pembuluh darah kulit kembali ke inti tubuh melalui vena superfisial dari mana panas hilang ke kulit dan udara. Dalam kondisi dingin, aliran darah anggota tubuh kembali ke inti melalui vena dalam yang menyertai arteri
- Panas ditransfer melalui pertukaran arus berlawanan dari darah arteri yang hangat ke darah vena yang lebih dingin dan dengan demikian dikembalikan ke inti tubuh.
- Pertukaran panas berlawanan arus serupa terjadi pada rete karotis pada domba dan beberapa hewan berkuku lainnya. Dalam sistem ini arteri karotis membentuk rete yang bermandikan sinus darah vena yang telah mengeringkan rongga hidung. Darah vena yang lebih dingin dari hidung mendinginkan darah arteri yang memasok otak dan melindungi suhu otak. Mekanisme ini menjadi penting selama latihan, ketika peningkatan ventilasi membantu mendinginkan darah yang mengalir dari hidung. Akibatnya, darah arteri yang membawa panas dari otot yang berlatih menjadi dingin sebelum masuk ke otak.
- Pada kuda, kantong serak (the *guttural Pouches*) bisa berfungsi sebagai mekanisme seperti itu. Kantong guttural mengandung udara yang lebih dingin daripada darah arteri yang dibawa ke arteri karotis interna. Karena secara anatomis kantong guttural ini mengelilingi arteri karotis interna, panas dipindahkan dari darah ke udara di dalam kantong guttural, sehingga melindungi otak dari hipertermia.
- Selain itu, sinus vena kavernosa intrakranial dapat membantu mendinginkan otak kuda selama latihan. Mekanisme ini dianggap berfungsi dengan cara yang sama seperti rete karotis, tetapi kurang efisien.



Warm



Cold

FIGURE 53-3 Representation of the distribution of temperatures in a pony under warm and cold environmental conditions. Under warm conditions, the core body temperature extends into the limbs and close to the skin surface of the animal. Under cold conditions, vasoconstriction in the peripheral blood vessels results in a gradient of temperatures between the core and the extremities. The core temperature is maintained only in the abdomen, thorax, and brain of the animal. The more peripheral tissues are allowed to cool considerably.

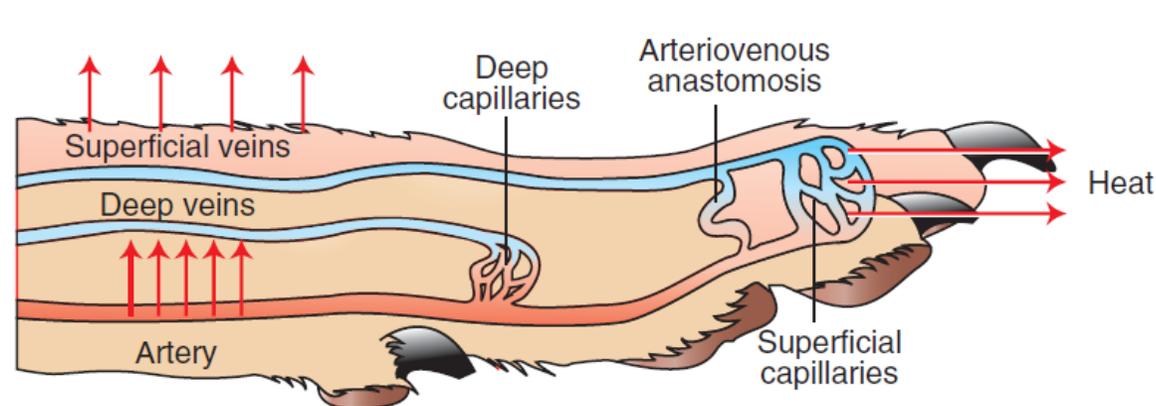
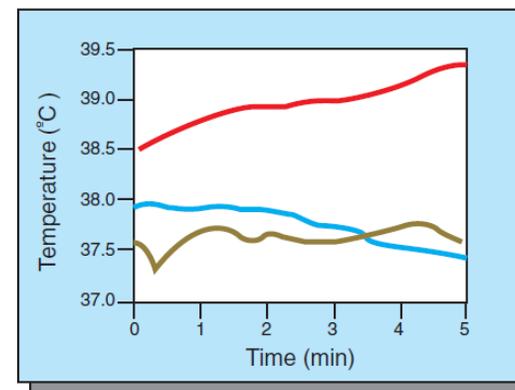
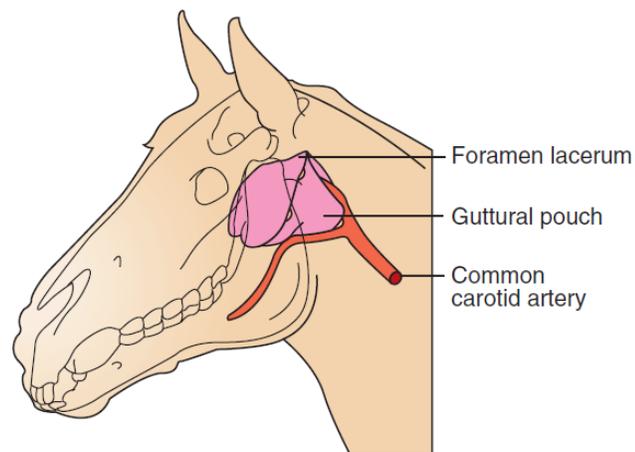


FIGURE 53-4 Representation of a limb showing the arterial supply and venous drainage by deep and superficial veins. Under warm conditions, blood perfuses the more superficial capillary beds, and heat is lost to the environment through the skin. Blood returns from these superficial vascular beds through the superficial veins, and this provides an additional source of heat loss. Under cold conditions, peripheral vasoconstriction occurs, and the blood flow to the limb is directed to the deeper vascular beds and returns to the trunk through the deep veins. Countercurrent heat exchange between the arteries and veins conserves body heat.



- Common carotid artery
- Foramen lacerum
- Guttural pouch

FIGURE 53-5 Guttural pouches cool the blood passing through the internal carotid artery on its way to the brain. *Left*, Anatomic arrangement of the guttural pouches and carotid arteries in the skull. The location of the temperature probes used to measure blood temperature is indicated. *Right*, Graph of blood and guttural pouch temperatures during a period of cantering. Note that even though the temperature of blood entering the guttural pouch in the common carotid artery increases with the duration of exercise, temperature at the foramen lacerum (where the internal carotid artery enters the cranium) decreases slightly.

PERUBAHAN PANAS DENGAN LINGKUNGAN

Kehilangan Panas Secara Konveksi Terjadi Saat Tubuh Menghangat Udara atau Air

- Ketika udara atau air yang bersentuhan dengan kulit dipanaskan, maka akan mengalir keluar, sehingga membuat kulit terpapar cairan yang lebih dingin. Karena dibutuhkan lebih banyak panas untuk menghangatkan air daripada untuk menghangatkan massa udara yang setara, hewan yang hidup di air kehilangan lebih banyak panas melalui konveksi daripada mamalia darat.
- Jumlah panas yang hilang melalui konveksi bergantung pada gradien termal (perbedaan suhu) antara kulit hewan dan cairan yang menutupi kulit; gradien termal yang lebih besar menghasilkan lebih banyak kehilangan panas.
- Dalam konveksi alami, udara hangat atau air naik dari permukaan hewan karena kepadatannya kurang dari cairan yang lebih dingin.
- Dalam konveksi paksa, cairan yang lebih dingin dipindahkan ke permukaan kulit dengan angin atau arus atau hanya karena anggota tubuh dan hewan bergerak. Konveksi paksa lebih efektif daripada konveksi alami sebagai cara kehilangan panas karena gradien termal dipertahankan dengan pembaruan konstan udara dingin atau air yang menyelimuti permukaan kulit.
- Hewan muda atau kecil yang dibiarkan dalam udara dingin dapat dengan cepat kehilangan banyak panas tubuh melalui konveksi dan harus dilindungi dari situasi seperti itu.
- Gradien termal untuk kehilangan panas dapat diubah oleh perubahan aliran darah di kulit dan jumlah isolasi yang memisahkan hewan dari lingkungan. Meningkatkan aliran darah ke kulit meningkatkan suhu kulit dan karenanya kehilangan panas, sedangkan penurunan aliran darah di kulit mengurangi kehilangan panas. Rambut memerangkap udara dan merusak konveksi.
- Ketebalan lapisan rambut dapat diubah dengan piloerection (membuat rambut berdiri) dan dengan menumbuhkan lapisan rambut yang lebih tebal sebagai persiapan untuk musim dingin. Lapisan lemak yang tebal pada mamalia laut juga menyediakan lapisan isolasi. Mengurangi area permukaan tubuh yang terbuka juga mengurangi kehilangan panas konvektif. Hewan melakukannya dengan meringkuk di bola atau dengan berkumpul bersama teman serasahnya.

Kehilangan Panas melalui Konduksi Terjadi Saat Tubuh Bersentuhan dengan Permukaan Yang Lebih Dingin

Karena hewan biasanya tidak berbaring di permukaan dingin untuk **waktu yang lama**, konduksi biasanya bukan bentuk utama kehilangan panas. Namun, dalam beberapa situasi, **kehilangan panas konduktif dapat menyebabkan hipotermia**. Meja operasi baja tahan karat yang dingin dapat membentuk heat sink untuk burung atau mamalia kecil yang dibius. Isolasi atau sumber panas harus disediakan untuk hewan tersebut. Demikian pula, anak babi yang baru lahir bisa kehilangan banyak panas dengan berbaring di lantai beton yang dingin. Babi dewasa mendinginkan diri dengan konduksi saat berkubang di genangan lumpur yang dingin.

Kehilangan Panas oleh Radiasi Terjadi Ketika Radiasi Inframerah yang Dipancarkan oleh Tubuh Diserap oleh Benda-benda Yang Lebih Dingin

- Semua benda padat memancarkan radiasi elektromagnetik tak terlihat dalam jarak inframerah.
- Benda-benda hangat memancarkan pada panjang gelombang yang lebih pendek dan mengeluarkan lebih banyak emisi per satuan waktu daripada benda-benda dingin.
- Ketika emisi ini mengenai objek lain, beberapa diserap dan dengan demikian mentransfer panas. Meskipun semua benda memancarkan panas radiasi, perpindahan panas bersih adalah dari benda hangat ke benda dingin.
- Penting untuk disadari bahwa kehilangan panas pancaran dapat terjadi bahkan ketika lingkungan yang netral atau hangat secara termal mengelilingi hewan.
- Panas dapat hilang dari hewan ke dinding bangunan yang tidak berinsulasi meskipun udara di antaranya hangat.

Kehilangan Panas karena Penguapan Terjadi Saat Air dalam Keringat, Air Liur, dan Sekresi Pernafasan Diubah menjadi Uap Air

- Penguapan 1 liter air menjadi uap air membutuhkan 580 kilokalori (kcal). Jika tubuh menyediakan panas ini, penguapan bisa menjadi bentuk utama hilangnya panas.
- Beberapa kehilangan panas penguapan terjadi secara terus menerus oleh difusi air melalui kulit dan hilangnya uap air dari saluran pernapasan.
- Kehilangan air ini wajib, tetapi di bawah tekanan termal, pendinginan evaporasi dapat ditingkatkan secara drastis baik karena kelenjar keringat diaktifkan, hewan mulai terengah-engah, atau hewan melumuri dirinya sendiri dengan air liur.
- Kehilangan panas penguapan menjadi semakin penting saat suhu lingkungan mendekati suhu tubuh; ini adalah satu-satunya bentuk kehilangan panas yang tersedia saat suhu lingkungan melebihi suhu tubuh. Efektivitas penguapan berkurang dengan meningkatnya kelembaban relatif, yaitu karena udara menjadi lebih jenuh dengan uap air
- Keringat terjadi dari dua jenis kelenjar keringat tubular melingkar yang terletak di dermis.
- Kelenjar apokrin menghasilkan protein yang mengandung sekresi, sedangkan kelenjar ekrin menghasilkan sekresi air.
- Semua mamalia plasenta kecuali hewan pengerat dan lagomorf memiliki kelenjar keringat, tetapi pada anjing dan babi, kelenjar ini tidak berkembang dengan baik dan jarang digunakan dalam termoregulasi.
- Kelenjar apokrin menghasilkan keringat termoregulasi dari hewan berkuku, sedangkan pada primata, keringat diproduksi oleh kelenjar ekrin.
- Keringat yang dikeluarkan memiliki komposisi ionik yang mirip dengan plasma. Saat ia melewati permukaan kulit di sepanjang saluran, komposisinya diubah oleh reabsorpsi ion. Jika kecepatan sekresi rendah, hampir semua natrium dan klorida, bersama dengan air, diserap. Oleh karena itu keringat yang mencapai kulit adalah larutan pekat urea, asam laktat, ion kalium, dan, dalam kasus mamalia berkuku, protein.
- Ketika laju sekresi tinggi, lebih sedikit natrium dan klorida yang diserap, lebih banyak air yang hilang, dan sebagai akibatnya unsur lainnya diencerkan. Di lingkungan yang panas, aklimatisasi meningkatkan kecepatan berkeringat, dan karena peningkatan sekresi aldosteron, sebagian besar natrium dan klorida diserap kembali sebelum keringat mencapai kulit.

- Pada kebanyakan spesies, berkeringat berada di bawah kendali serabut saraf kolinergik simpatis, tetapi pada kuda, kendali melalui adrenoseptor β_2 yang diaktivasi oleh katekolamin yang berasal dari saraf simpatis atau medula adrenal
- Terengah-engah adalah salah satu cara meningkatkan penguapan dari saluran pernapasan.
- Volume tidal kecil digerakkan dengan frekuensi cepat (200 napas / menit) di atas ruang mati pernapasan. Laju terengah-engah mendekati frekuensi resonansi dari sistem pernapasan, dan dengan demikian kerja pernapasan diminimalkan dan tidak menambah beban panas.
- Pada hewan yang terengah-engah, ada dua mekanisme yang bertindak untuk meningkatkan kehilangan panas melalui penguapan: (1) pembengkakan vaskular pada mukosa mulut dan pernapasan dan (2) peningkatan air liur. Dengan memberi ventilasi pada ruang mati, hiperventilasi parah dan alkalosis pernapasan dapat dihindari.
- Pada burung, gular flutter adalah metode lain untuk meningkatkan aliran udara di atas ruang mati pernapasan. Bahkan pada mamalia yang tidak terengah-engah, seperti kuda, kehilangan panas penguapan dari saluran pernapasan mungkin meningkat selama latihan yang lama karena ventilasi ruang mati meningkat.
- Kepentingan mamalia bervariasi dalam cara-cara yang berbeda untuk kehilangan panas penguapan. Pada kuda dan sapi, berkeringat adalah bentuk utama hilangnya panas penguapan.
- Domba berkeringat, tetapi terengah-engah juga sangat penting. Anjing itu hampir sepenuhnya mengandalkan terengah-engah. Bahkan hewan pengerat kecil, yang tidak terengah-engah atau berkeringat, meningkatkan kehilangan panas penguapan dengan mengoleskan air liur atau air pada bulunya.

PERATURAN TEMPERATUR

Mamalia dan Burung Mengatur Masukan dan Keluaran Panas untuk Menjaga Suhu Tubuh Dalam Batas Sempit

- Biasanya mengukur suhu tubuh sebagai bagian pertama dari pemeriksaan klinis mamalia. Ini karena suhu tubuh dijaga dalam batas yang cukup sempit meskipun kondisi ambiennya bervariasi.
- Pada hewan yang sakit kemampuan untuk mengatur suhu bisa terganggu, misalnya karena dehidrasi. Selain itu, agen infeksius dan lainnya menghasilkan pirogen yang dapat menyebabkan peningkatan suhu tubuh
- Suhu rektal agak lebih rendah dari suhu inti hewan, dan perubahan suhu rektal tertinggal dari perubahan suhu inti. Namun, suhu rektal adalah ukuran yang tepat pada mamalia domestik dan memberikan indikasi yang berguna untuk suhu inti
- Pada hewan yang terhidrasi dengan baik yang hidup di iklim sedang, kisaran suhu normal cukup sempit. Mamalia yang hidup di iklim panas dan kering mentolerir kisaran suhu yang lebih luas, memungkinkan suhu tubuh menurun selama malam yang sejuk sehingga lebih banyak panas dapat diserap selama hari yang panas.
- Untuk menjaga suhu dalam batas yang sempit, hewan harus mengatur masukan dan keluaran panasnya. Input dan output jelas tidak bisa sama setiap saat. Selama berolahraga, misalnya, produksi panas melebihi kehilangan panas. Panas disimpan di dalam tubuh dan kemudian menghilang saat olahraga berhenti. Panas spesifik jaringan tubuh mirip dengan air; oleh karena itu, sejumlah besar panas dapat disimpan tanpa peningkatan suhu yang berpotensi mematikan.

TABLE 53-2 Rectal Temperature (in Degrees C) of Domestic Mammals

| Species | Average | Range |
|----------------|---------|-----------|
| Cat | 38.6 | 38.1-39.2 |
| Cattle (beef) | 38.3 | 36.7-39.1 |
| Cattle (dairy) | 38.6 | 38.0-39.3 |
| Dog | 38.9 | 37.9-39.9 |
| Donkey | 37.4 | 36.4-38.4 |
| Goat | 39.1 | 38.5-39.7 |
| Horse | 37.7 | 37.2-38.2 |
| Pig | 39.2 | 38.7-39.8 |
| Sheep | 39.1 | 38.5-39.9 |

Reseptor Peka Suhu Terletak di Sistem Saraf Pusat, Kulit, dan Beberapa Organ Internal

- Untuk mengatur suhu tubuh, hewan membutuhkan berbagai sensor suhu di berbagai lokasi di dalam tubuhnya. Sensor ini menyampaikan informasi ke otak, yang kemudian memulai mekanisme baik untuk meningkatkan atau mengurangi kehilangan atau produksi panas.
- Banyak neuron yang peka terhadap panas terletak di daerah preoptik hipotalamus. Neuron-neuron ini meningkatkan laju pengaktifannya sebagai respons terhadap peningkatan kecil suhu lokal. Selain itu, secara eksperimental menghangatkan area ini segera memulai mekanisme pelepasan panas, seperti vasodilatasi perifer dan keringat.
- wilayah otak menjadi pusat utama pengaturan suhu. Neuron hipotalamus dan otak tengah lain menurunkan penembakan mereka sebagai respons terhadap panas, dan yang lain meningkatkan penembakan sebagai respons terhadap dingin. Semua neuron yang peka terhadap suhu ini memantau suhu otak atau inti.
- Saat hewan terpapar pada perubahan suhu, kehilangan panas atau perolehan panas yang cukup besar dapat terjadi sebelum perubahan suhu inti terjadi. **Oleh karena itu**, menguntungkan untuk memiliki neuron sensitif suhu yang terletak di kulit sehingga perubahan suhu lingkungan dapat dideteksi sebelum mengancam suhu inti. Neuron yang peka terhadap suhu paling banyak di kulit merespons dingin. Jika reseptor ini diaktifkan, tubuh dapat memulai mekanisme konservasi panas dan produksi panas sebelum suhu inti menurun.
- Reseptor dingin kulit sangat sensitif terhadap laju penurunan suhu. Untuk alasan ini, menggigil dapat terjadi setelah olahraga karena kulit menjadi dingin dengan cepat melalui penguapan keringat, meskipun suhu inti mungkin normal atau sedikit meningkat. Reseptor kulit yang sensitif terhadap panas juga ada dan dapat menyebabkan hilangnya panas saat suhu kulit meningkat.
- Neuron yang peka terhadap suhu juga ada di berbagai lokasi di organ dalam. Meminum cairan dingin dalam jumlah besar dapat menstimulasi reseptor dingin di sistem gastrointestinal, memulai mekanisme pelestarian panas tubuh.

Informasi dari Saraf Sensitif Panas Pusat dan Perifer Terintegrasi dalam Hipotalamus untuk Mengatur Mekanisme Penghilang Panas atau Penghematan Panas

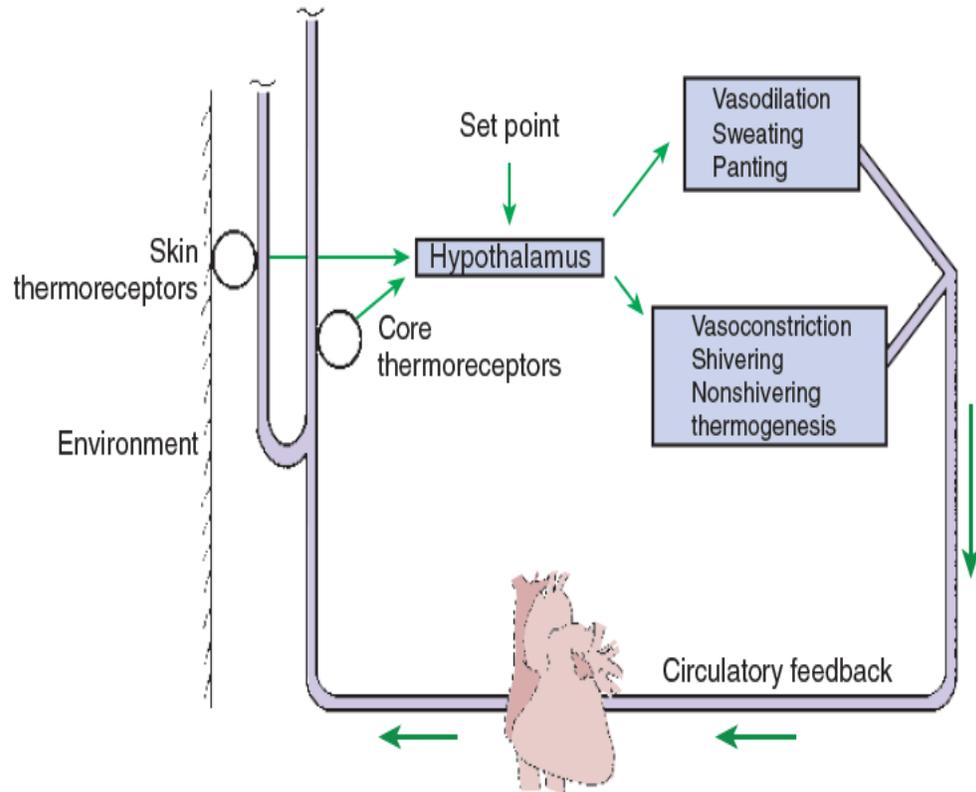


FIGURE 53-6 Feedback control mechanisms for the regulation of body temperature. Temperature receptors in the skin and the core relay information to the hypothalamus, which adjusts the responses either to conserve and produce or to lose heat. The results of these responses are relayed to the receptors through the circulatory feedback.

- Central integration of the information from various receptors occurs in the anterior **hypothalamus**.
- Informasi dari reseptor suhu pusat tampaknya mendominasi informasi dari reseptor kulit dan viseral. Karena alasan ini, kenaikan suhu inti hanya $0,5^{\circ}\text{C}$ menyebabkan peningkatan tujuh kali lipat jumlah aliran darah kulit; Demikian pula, penurunan suhu inti yang sedikit memicu vasokonstriksi dan menggigil. Efek reseptor sentral sekitar dua puluh kali lipat lebih besar daripada efek reseptor perifer
- Dalam pengaturan suhu tubuh, hipotalamus berperilaku seolah-olah memiliki titik setel normal. Ketika suhu inti naik di atas titik setel, mekanisme kehilangan panas dimulai; ketika suhu menurun, konservasi atau produksi panas dimulai.
- Informasi dari reseptor perifer mengubah titik setel, dan dengan demikian menggigil dimulai pada suhu inti yang lebih tinggi saat kulit dingin daripada saat hangat. Demikian pula, berkeringat dimulai pada suhu inti yang lebih tinggi saat kulit dingin daripada saat hangat.

RESPONS TERINTEGRASI

Respon terhadap Tekanan Panas Adalah Vasodilatasi Perifer dan Peningkatan Pendinginan Evaporatif

- Untuk semua mamalia dan burung, terdapat suhu lingkungan di mana suhu tubuh dapat dipertahankan dalam kisaran normal, terutama dengan mekanisme vasomotor.
- Zona termoneutral ini bervariasi dengan laju metabolisme dan jumlah isolasi. Babi, yang tidak memiliki bulu, jelas memiliki suhu termoneutral yang lebih tinggi daripada domba yang berbulu tebal. Sapi perah yang memiliki produksi susu tinggi menghasilkan begitu banyak panas metabolik sehingga zona termoneutralnya sangat rendah: 4 ° hingga 15 ° C (39 ° hingga 59 ° F). Di zona termoneutral, suhu tubuh dapat diatur oleh mekanisme vasomotor yang meningkatkan atau menurunkan aliran darah kulit dan oleh karena itu mengubah jumlah kehilangan panas melalui konveksi dan radiasi.
- Ketika homeotherm terpapar stres panas, respons awalnya adalah vasodilatasi, yang meningkatkan aliran darah pada kulit dan anggota tubuh. Peningkatan suhu kulit dan perluasan suhu inti ke bawah anggota tubuh meningkatkan gradien suhu antara kulit dan lingkungan, mengakibatkan lebih banyak kehilangan panas oleh radiasi dan konveksi.
- Jika vasodilatasi saja tidak efektif dalam mempertahankan suhu normal, pendinginan evaporatif ditingkatkan dengan berkeringat, terengah-engah, atau keduanya. Pendinginan evaporasi adalah satu-satunya metode kehilangan panas yang tersedia saat suhu lingkungan melebihi suhu kulit dan paling efektif bila kelembapan relatif rendah.

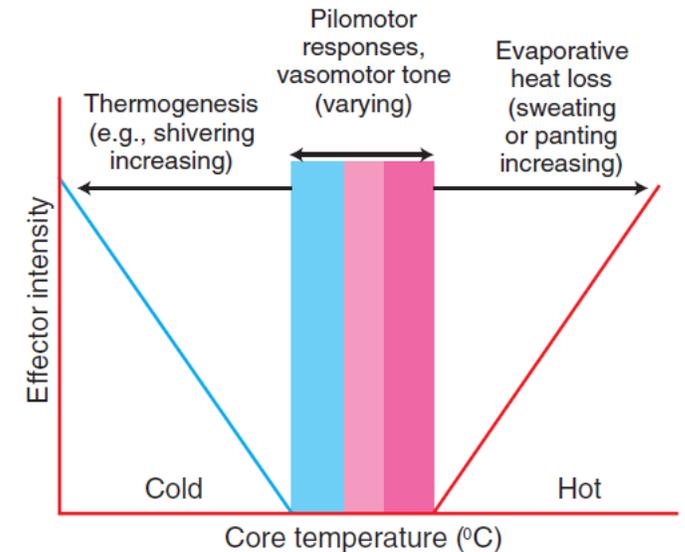


FIGURE 53-7 Relationship between the intensity of thermoregulatory responses and core temperature. The set point for temperature regulation is indicated by the pink bar zone. On either side of this set point is a zone where temperature can be maintained by vasomotor responses (*blue and red zones*). As the core temperature deviates more dramatically from the set point, there is a need either to increase thermogenesis during cold stress or to increase evaporative heat loss during heat stress. (Modified from Bligh J: Temperature regulation in environmental physiology of animals. In Bligh J, Cloudsley-Thompson JL, MacDonald AG, editors: *Environmental physiology of animals*, Oxford, UK, 1976, Blackwell Scientific.)

- Hewan juga menggunakan metode perilaku untuk melawan tekanan panas. Metode ini, termasuk mencari naungan, berdiri di air, dan berkubang di lumpur, tidak tersedia untuk ternak yang dikelola secara intensif.
- Produsen harus meningkatkan tanggung jawab atas kenyamanan dan kelangsungan hidup hewan. Karena sapi perah yang memproduksi tinggi memiliki suhu termoneutral yang rendah, kebutuhan utama mereka adalah naungan di iklim panas, yang menjadi perhatian lebih besar daripada sumber panas atau isolasi di iklim dingin.

Respon terhadap Tekanan Dingin adalah Vasokonstriksi Perifer, Piloereksi, dan Peningkatan Produksi Panas Metabolik dengan Menggigil dan Termogenesis Nonshivering

- Saat suhu lingkungan menurun, homeoterm awalnya menghemat panas dengan vasokonstriksi perifer. Ini mengatur gradien suhu di sepanjang tungkai dan mengurangi suhu kulit, jadi hanya ada gradien suhu yang sempit untuk radiasi dan kehilangan panas konvektif.
- Piloerection memberikan isolasi dan juga mengurangi kehilangan panas. Stres dingin lebih lanjut memulai peningkatan produksi panas metabolik dengan menggigil atau termogenesis nonshivering. Semua mamalia dewasa bisa menggigil, dan neonatus yang lahir dalam keadaan perkembangan lanjut, seperti domba dan anak kuda, juga bisa menggigil. Anak anjing dan neonatus lain yang kurang berkembang tidak bisa menggigil; mereka mengandalkan kehangatan ibu dan sarang untuk melindungi mereka dari pendinginan. Lemak coklat, yang terdapat pada beberapa neonatus terakhir dan pada mamalia kecil lainnya, menyediakan sumber termogenesis yang tidak menyebar.
- Hewan yang terpapar suhu dingin secara kronis menyebabkan peningkatan sekresi tiroksin dan peningkatan metabolisme basal, yang meningkatkan produksi panas basal. Ketika hewan ditempatkan dalam kondisi di mana mereka menerima cahaya alami, ketebalan bulu akan meningkat pada saat-saat dingin dalam setahun. Pertumbuhan rambut adalah hasil dari berkurangnya cahaya matahari saat cuaca dingin mendekat.

Demam Adalah Peningkatan Suhu Tubuh Yang Dihasilkan dari Peningkatan Titik Setel Termoregulatori

- Demam, juga dikenal sebagai pireksia, terjadi sebagai respons terhadap peningkatan titik setel termoregulasi hewan dan paling sering menyertai penyakit menular.
- Demam diyakini sebagai adaptasi evolusioner untuk melawan infeksi dan dapat disebabkan oleh beberapa spesies purba, seperti reptil dan amfibi. Studi menunjukkan bahwa selama infeksi, peningkatan suhu tubuh meningkatkan aktivitas leukosit. Hal ini menyebabkan penurunan morbiditas dan mortalitas hewan akibat infeksi.
- Induksi demam dimulai dengan produksi berbagai jenis sel polipeptida kecil yang dikenal sebagai pirogen
- Hal ini terjadi ketika agen infeksi, racun, atau kompleks lipopolisakarida pada bakteri gram negatif menyerang tubuh.
- Pirogen termasuk interleukin-1 (IL-1; dianggap yang paling penting), faktor nekrosis tumor (TNF), interleukin-6 (IL-6), interferon (IFN), dan protein inflamasi makrofag (MIP).
- Selain itu, prostaglandin (PG), produk kaskade asam arakidonat yang diproduksi oleh sel endotel, merupakan peserta utama dalam patogenesis demam. Saat dilepaskan ke dalam darah, pirogen mencapai bagian hipotalamus yang disebut organa vasculosum dari lamina terminalis (OVLT). Daerah hipotalamus ini sangat vaskularisasi, dan sawar darah-otak di sini hampir tidak ada, sehingga pirogen dan PG endogen masuk ke otak dengan mudah dari aliran darah.
- Di hipotalamus, pirogen endogen bekerja pada sel endotel untuk menghasilkan prostaglandin E2 (PGE2) tambahan dan metabolit asam arakidonat lainnya. PG ini menyebabkan set point meningkat.

- Ketika titik setel meningkat, hewan memulai respons untuk menghemat dan menghasilkan panas hingga suhu tubuh mencapai titik setel baru
- Menggigil, vasokonstriksi perifer, piloereksi, dan perilaku berkerumun merupakan karakteristik dari timbulnya demam.
- Ketika titik setel baru tercapai, hewan mempertahankan tubuhnya pada suhu baru sampai pirogen dimetabolisme dan produksi berhenti. Saat ini terjadi, set point menurun kembali ke normal, dan hewan memulai mekanisme penghilang panas seperti vasodilatasi dan berkeringat untuk menurunkan suhu tubuh. Karena produksi lokal PGE₂ di hipotalamus terlibat dalam peningkatan titik setel, obat antiinflamasi nonsteroid (NSAID; misalnya, aspirin, flunixin, ibuprofen) digunakan untuk mengobati demam.
- Obat antipiretik ini memblokir enzim siklooksigenase, enzim integral dalam kaskade asam arakidonat, sehingga menghalangi produksi prostaglandin.

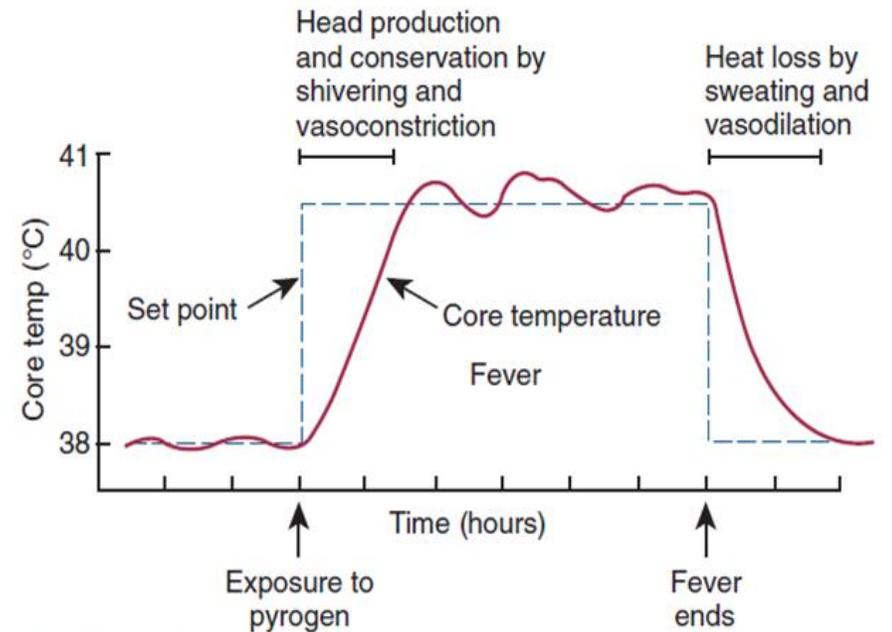


FIGURE 53-10 Events involved in fever. Exposure to a pyrogen increases the set point for the temperature-regulating system. This results in heat production and conservation to elevate body temperature, which in turn results in fever. When the fever ends, the set point decreases, and heat must be lost from the body through sweating and vasodilation.

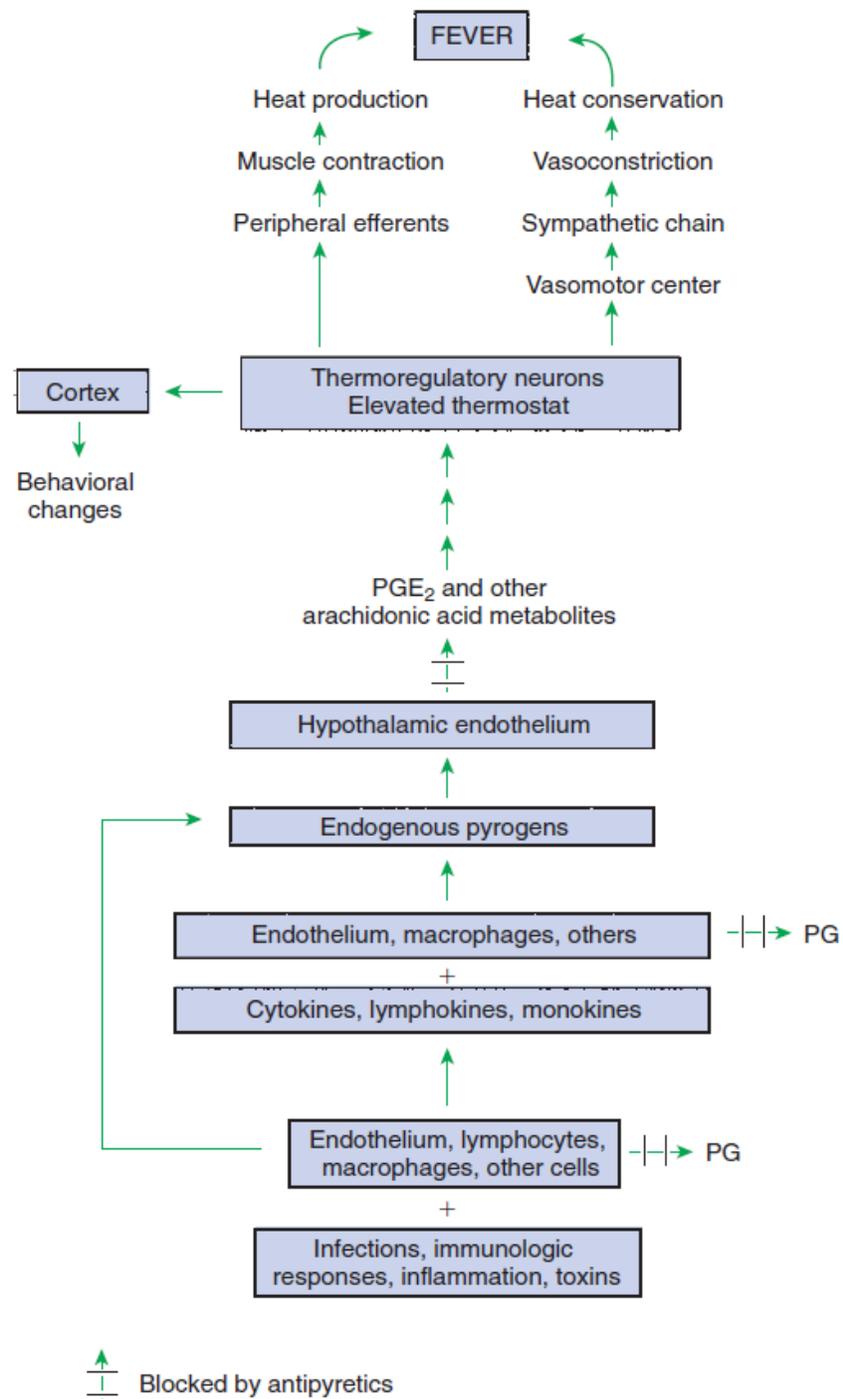


FIGURE 53-9 Peripheral and central mechanisms involved in the pathogenesis of fever. PGE_2 , Prostaglandin E_2 ; PG, prostaglandins.

HEAT STROKE, HYPOTHERMIA, DAN FROSTBITE

Heat Stroke Terjadi Ketika Produksi Panas atau Input Melebihi Output Panas, Sehingga Suhu Tubuh Meningkat Ke Tingkat Berbahaya

- Dalam cuaca panas dan lembab, hewan sulit kehilangan panas karena pendinginan evaporatif tidak dapat terjadi secara efektif.
- Olahraga berat dalam kondisi ini dapat menyebabkan peningkatan suhu tubuh yang berbahaya. Demikian pula, ketika anjing ditutup di dalam mobil di bawah sinar matahari, terengah-engah mereka memenuhi udara dengan uap air, sehingga kehilangan panas lebih lanjut tidak mungkin terjadi.
- Saat suhu tubuh meningkat, laju metabolisme meningkat, dan lebih banyak panas dihasilkan. Selain itu, terengah-engah atau berkeringat (atau keduanya) menyebabkan dehidrasi dan dapat menyebabkan gangguan peredaran darah, yang membuatnya lebih sulit untuk mentransfer panas ke kulit. Ketika suhu tubuh melebihi 41,5 ° hingga 42,5 ° C (~ 107 ° hingga 109 ° F), fungsi seluler akan sangat terganggu dan kesadaran hilang.

Hipotermia Terjadi Ketika Keluaran Panas Melebihi Produksi Panas, Sehingga Suhu Tubuh Menurun Ke Tingkat Berbahaya

- Hewan kecil atau sakit yang terpapar pada lingkungan dingin dapat kehilangan panas lebih banyak daripada yang dapat mereka hasilkan, dan suhu tubuh dapat turun ke titik di mana mekanisme pengaturan panas tidak lagi berfungsi. Kemampuan hipotalamus untuk mengatur suhu tubuh sangat terganggu di bawah suhu 29 ° C (84 ° F).
- Henti jantung terjadi pada sekitar 20 ° C (68 ° F). Neonatus tampaknya mampu menahan pendinginan lebih dari orang dewasa, dan tampaknya domba, anak babi, dan anak anjing yang koma dapat dihidupkan kembali melalui pemanasan.

Frostbite Terjadi Saat Kristal Es Terbentuk di Jaringan Ekstremitas

- Dalam kondisi yang sangat dingin, ketika ekstremitas vasokonstriksi untuk menghemat panas, jaringan dapat mendingin di bawah titik beku air jaringan. Kristal es mengganggu integritas jaringan, dan dapat menyebabkan gangren. Biasanya, radang dingin dicegah karena otot polos pembuluh darah membesar dalam suhu dingin yang ekstrim, menyebabkan aliran darah hangat. Mekanisme ini tampaknya bekerja secara memadai pada hewan yang musim dingin di luar ruangan di iklim utara.

Tugas

1. Apa yang kalian ketahui tentang homeostatis
2. Buat ringkasan dari materi homeostatis sesuai yang kalian pahami, dilarang keras menyalin jawaban teman

Dikumpulkan maksimal sabtu jam 10.00