



Termoregölasyon

Vücut Isının Kontrolü

Prof. Dr. Hakan Öztürk

Homeoterm ve Poikiloterm Canlılar

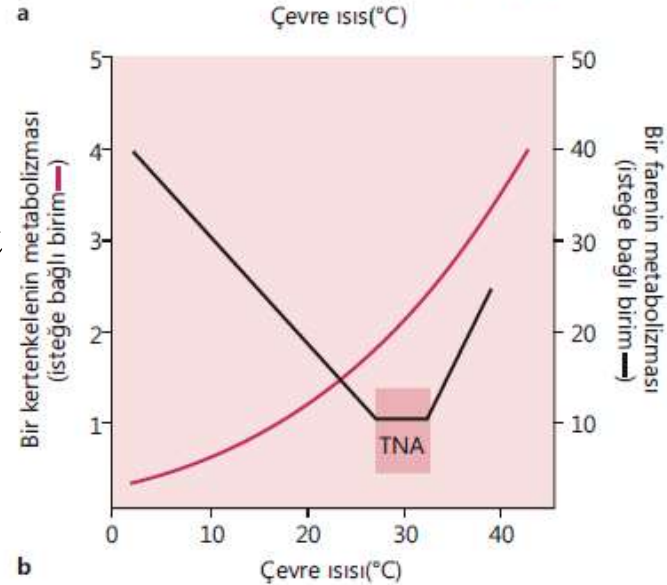
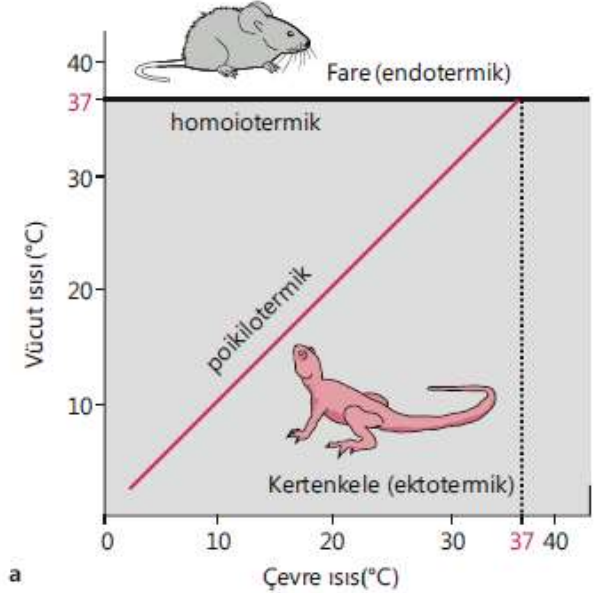
- Canlı vücudunda cereyan eden kimyasal reaksiyonlar vücut sıcaklığına bağlıdır. Dolayısıyla vücut fonksiyonları da vücut sıcaklığına bağlıdır. Sıcaklığın artması reaksiyonları hızlandırır, düşmesi ise yavaşlatır. Sıcaklığın vücut fonksiyonlarında neden olduğu dalgalanmayı önlemek için memeli ve kanatlılarda vücut sıcaklığını sabit sınırlar içerisinde tutan bir takım mekanizmalar gelişmiştir. Bu nedenle memeli ve kanatlılara homeoterm veya homiooterm (sıcakkanlı) hayvanlar denir.
- Vücut sıcaklıkları çevre ısısına göre değişen canlılara ise poikiloterm (soğuk kanlı) hayvanlar denir. Tüm omurgasızlar ve omurgalılarından **balıklar, amfibiler ve sürüngenler** poikilotermik hayvanlardır.

Homeoterm ve Poikiloterm Canlılar

- Halk arasında kullanılan sıcakkanlı ya da soğukkanlı terimlerini termoregülasyonla ilişkili olarak kullanmaktan kaçınmak gerekir, çünkü birçok poikilotermik hayvan yüksek çevre ısıda homoiotermik hayvanlardan daha yüksek vücut ısılarına sahip olabilirler.
- Klasik poikilotermik/homoiotermik terimleri tamamen betimseldir ve özel durumları dikkate almaz, örneğin derin denizlerde yaşayan poikilotermik balıkların ya da omurgasızların hayatları boyunca vücut ısıları genel olarak sabit kalırken, homoioterm kuşlar ve memelilerin vücut ısıları gün içinde birkaç derece inip çıkabilmektedir.

Homeoterm ve Poikiloterm Canlılar

- Ektotermik hayvanlar dış ortam enerjisine bağımlılık gösterirler, çünkü kendi vücutlarında endojen enerji üretimi yetersizdir. Buna karşın endotermik hayvanlar endojen ısı üretimleri ile yüksek bir vücut ısısını dış ortam ısısından bağımsız olarak sürdürebilirler.
- Ektotermik (poikilotermik, kırmızı çizgi) ve endotermik (homeotermik, siyah çizgi) hayvanların çevre ısısına bağlı olarak vücut ısısı (a) ve metabolizması (b). Altta ki grafikte (b) fare ve kertenkelenin metabolizmaları için ayrı skalalar olduğuna dikkat ediniz. TNA = termonötral alan



Homeoterm ve Poikiloterm Canlılar

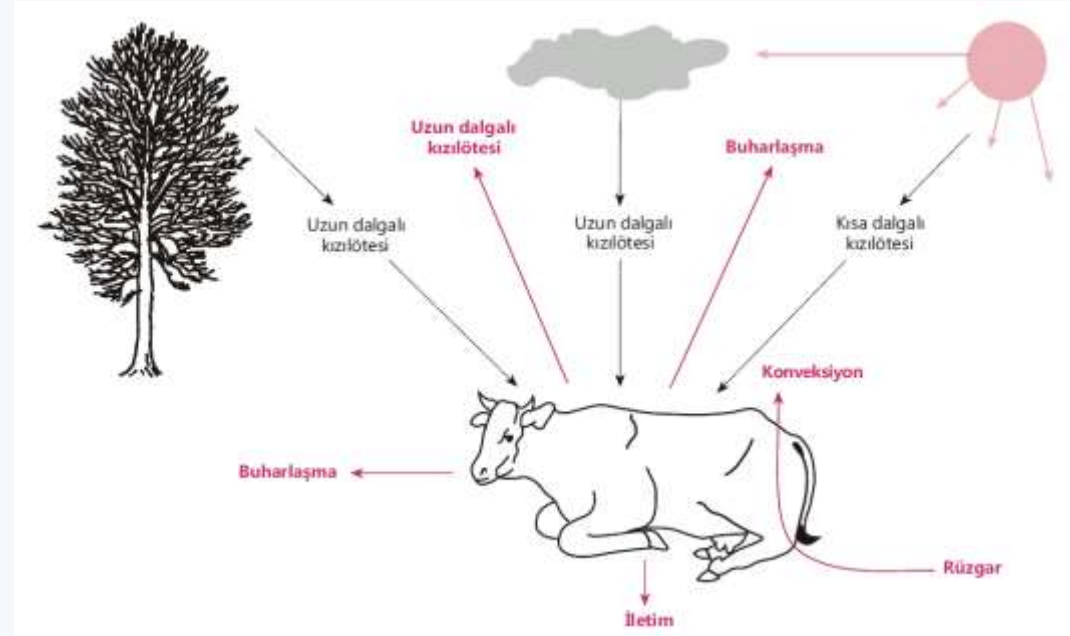
- **Heteroterm** terimi, iki strateji arasında geçiş yapabilen hayvanları belirtir. Normalde homeotermik olan kedi, köpek, fare ve güvrecin gibi endoterm hayvanların yavruları hayata geldikleri ilk birkaç gün poikiloterm hayvanlara benzer. Yine ton balıkları özel bir ters akım ısı değişim sistemiyle yüzmek kaslarında yüksek bir lokal ısı oluşturabilir ya da büyük böcekler (çekirgeler, güveler) aktivite öncesi torakslarındaki uçuş kaslarını yaklaşık 35 °C'ye ısıtabilirler (**lokal heterotermi**). Bu hayvanlar normalde dinlenme esnasında ektotermiktir. Heteroterm grubuna torpor ve kış uykusu yeteneği olan endotermik hayvanlar da dâhil edilebilir (**geçici heterotermi**).
- Homeoterm olanlar 20 °C'lik vücut ısısında genellikle ölürlür. Poikiloterm hayvanlar ise vücut ısılarının 0-1 °C'ye düşmesine dayanabilirler. Homeoterm hayvanlar soğukta daha çok besin tüketirler. Poikiloterm olanlarda ise besin alımı azalır veya tamamen durur. Her iki grup için yaşamın devam edemeyeceği vücut ısı üst sınırı hücre protoplazmasının pıhtılaşığı 45 °C'dir. Poikiloterm hayvanla homeoterm hayvan arasında metabolizma farkıdır, günde kg canlı ağırlık için çingiraklı yılanında 7,7 keal, tavşanda ise 44,8 keal'dir.

Isı Bilançosu

- Tüm yaşayan organizmalar hücreleri içindeki metabolizmalarıyla ısı ürettikleri için, metabolizma ne kadar hızlıysa üretilen ısı miktarı da o denli yüksek olacaktır. Vücut ısısının değişim hızı şu etmenlere bağlıdır:
 - ✓ Vücuttaki ısı üretimi
 - ✓ Dış kaynaklardan ısı alımı
 - ✓ Çevreye olan ısı kaybı
- Buna göre: $Vücut\ ısısı = Isı\ üretimi + (ısı\ alımı - ısı\ kaybı) = Isı\ üretimi \pm çevreyle\ olan\ ısı\ alışverişi$
- Her hayvan vücut ısısını ancak ısı üretimi ısı kaybına eşit olduğunda **sabit tutabilir**. Alınan ya da üretilenden daha çok ısı kaybedilirse vücut ısı düşer; kaybedilenden çok ısı üretilirse vücut ısı yükselir. Genç olarak küçük endoterm hayvanlarda (göreceli olarak büyük yüzey alanına sahiptirler) vücut ısısında düşme tehlikesi ağır basar. Ancak büyük hayvanlarda (göreceli olarak küçük yüzey alanına sahiptirler) aşırı ısınma sorunu ortaya çıkar (özellikle fiziksel aktivite esnasında).

Çevreyle Isı Alışverişi

- Genel olarak ısı enerjisinin cisimler veya ortamlar arasında geçişi için dört olasılık vardır: **kondüksiyon** (ısı iletimi), **konveksiyon** (ısı transportu), **radyasyon** (ışınım) ve **evaporasyon** (buharlaştırma).



- Bir hayvan ve çevresi arasındaki ısı değişimi. Kondüksiyon (daha soğuk olan zeminle temas), konveksiyon (serin hava deri üzerinden sürtünerek geçer ve bu esnada ısınır), ışıınım (daha sıcak olan deriden çevredeki daha soğuk cisimlere) ve suyun buharlaştırması (solunum ve terleme) ile ısı kaybı (kırmızı). Güneşten ve çevredeki nispeten sıcak cisimlerden ışıınım yoluyla ısı kazanımı (siyah).

Çevreyle Isı Alışverişi

- **Kondüksiyon:** Farklı ısılardaki iki cisim birbirine temas ettirilirse, iki cismin ısıları eşitlenene dek ısısı yüksek olan cisimden düşük olan cisme doğru ısı formunda bir enerji akışı olur. Bu yüzden kondüksiyon Fick'in difüzyon kanununa uygun şekilde "**ısı difüzyonu**" olarak da ifade edilebilir. Bu bağlamda ısı farkı ne kadar yüksekse, temas yüzeyi ne kadar büyükse, cisimler arasındaki temas ne kadar sıkıysa kondüksiyon da o kadar büyük olacaktır.
- Şöminenin üstündeki tahta sırada yatan kedi ya da sıcakta serin fayans zeminde uzanan köpek kondüksiyondan faydalanmaktadır. Bir ahırda zemininin ısı iletkenliği yüksekse yerde yatan hayvan için kondüksiyon önemli olabilir. Bu durumda altlık serilerek iletkenlik azaltılabilir.

Çevreyle Isı Alışverişi

- **Konveksiyon:** Konveksiyon hareket eden bir ortam (örneğin su, kan, hava vb.) aracılığıyla gerçekleşen ısı transportudur. Konveksiyonun etkinliği nakledilen ortamın akım hızına ve ısı kapasitesine bağlıdır (hava = $0,001 \text{ J}\cdot\text{ml}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, su = $4,72 \text{ J}\cdot\text{ml}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$). Yani su havaya göre yaklaşık 5.000 kat daha iyi bir ısı transport kapasitesine sahiptir.
- Konveksiyon, vücut içinde ısı dağılımı için ve bununla ilişkili olarak vücut merkezi ile yüzeyi arasında ısı alışverişi için fizyolojik açıdan en önemli yoldur. Kaslarda ya da kahverengi yağ dokuda üretilen ısı kan ile daha serin olan organlara ve özellikle de deriye taşınır. Vücut yüzeyi üzerinden gerçekleşen konvektif ısı kaybında öncelikle hayvanın postuyla temas eden havaya ısı enerjisinin verilmesiyle kondüksiyon olur. Bölgeyle ısıman hava yükselir ve yerine daha soğuk hava gelir (**serbest konveksiyon**). Burada ısı kaybı, hava ve vücut yüzeyi arasındaki ısı farkıyla orantılıdır. Rüzgârın artmasıyla konvektif ısı kaybı da artar (**zorlamalı konveksiyon**).

Çevreyle Isı Alışverişi

- **Radyasyon:** Radyasyon (ışınım) kızılötesi alanda elektromanyetik dalgalar şeklindeki ısı transportudur. Bir cisim ne kadar sıcaksa, o kadar çok ve o kadar kısa dalgada kızıl ötesi ışınım yapar. Işınımın pratik (ve fizyolojik) anlamı çoğunlukla küçümsenir, oysa ışınımın önemli düzeyde ısı kaybı olabilir. Özellikle geceleri, dünya üzerine düşen güneş ışınları olmadığında, soğuk evren sonsuz kapasiteli bir “ısı emicidir” (açık arazilerde yapılan sundurmaların nedeni budur). Su ve bulutlar kızılötesi ışınım için neredeyse hiç geçirgen olmadıklarından, hava gece gökyüzü açıkken bulutlu olduğundan çok daha fazla soğuktur.
- Güneşin ışınım enerjisi bir hayvanın ısı dengesini doğrudan ya da çevreyi ısıtarak dolaylı olarak etkiler. Endotermik hayvanlar ışınım ısını endojen ısı üretimi için gerekli enerjiden tasarruf etmek için kullanırlar. Ektotermikler ise bu ısıyı istedikleri vücut ısısına ulaşmak için kullanırlar.

Çevreyle Isı Alışverişi

- **Evaporasyon:** Kondüksiyon, konveksiyon ve radyasyonla olan “kuru” ısı kaybına karşı bir de deri ya da solunum yollarındaki suyun buharlaşması (evaporasyon) ile gerçekleşen “nemli” ısı kaybı söz konusudur.
- Çevre ısısı vücut ısından yüksek olduğu durumlarda evaporasyon hayvanların sıcaklık gradiyentine karşı ısı kaybedebildiği tek yoldur. Vücut yüzeyinde suyun buharlaşmasıyla vücuttan buharlaşma ısısı kaybedilir (yaklaşık $2.400 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$). Terleyebilen hayvanlar bu şekilde çok etkili bir ısı kaybetme yoluna sahip olurlar. Örneğin 600 kg ağırlığındaki bir at saatte sadece 3 litre ter salgıladığında, bu terin buharlaşması ile 2.000 Watt’lık bir ısı kaybı oluşur. Bu değer atın dinlenme halindeyken üç saatte ürettiği ısı miktarına eşittir!

Çevreyle Isı Alışverişi

- Deri ve solunum yolları üzerinden gerçekleşen bu kontrol edilemeyen buharlaşma (**perspiratio insensibilis**), dinlenme halindeki ısı üretiminin yaklaşık %20'sine denk gelen bir ısı kaybına yol açar. Bu oran çok kuru, soğuk havalarda (yüksek dağlarda!) ve soluma sırasında (sıcaklık polipnösi) belirgin şekilde artar. **Perspiratio sensibilis** terimi ise başlıca ter bezlerinin aktivitesi ile deriden gerçekleşen görünür su kaybını tarif eder.

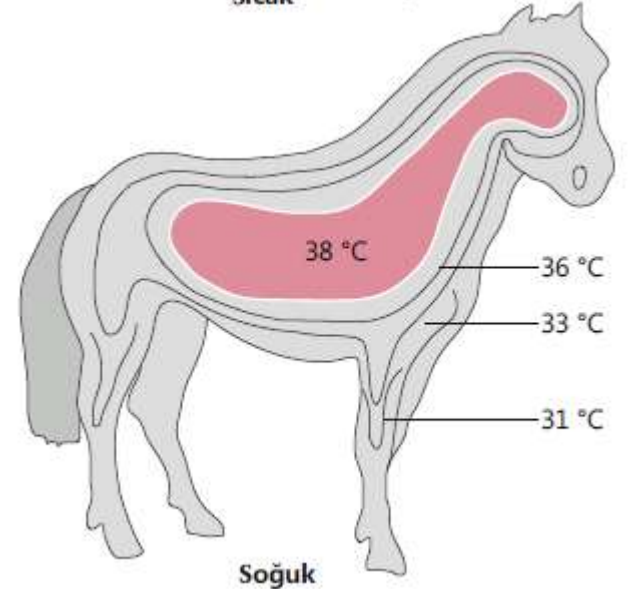
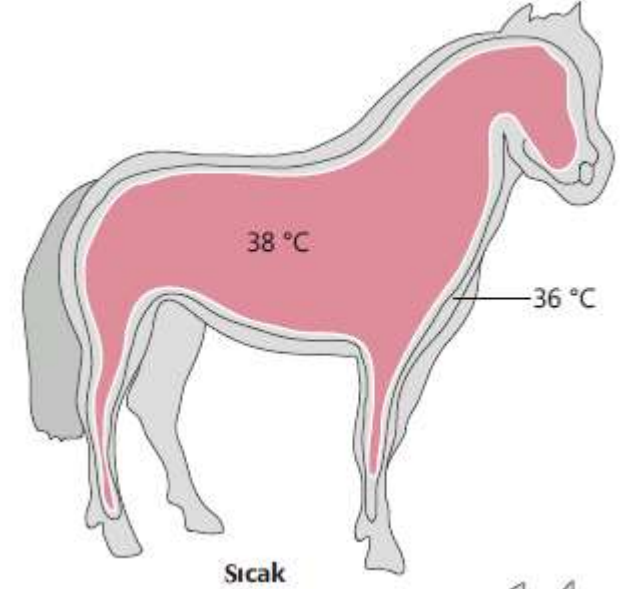


Vücut Isı Alanları (Çekirdék ve Kabuk)

- Endoterm canlılarda vücut ısısı hassas bir şekilde düzenlenebilmesine rağmen, vücut ısısı sabit değildir, **mekânsal** ve **zamansal dalgalanmalar** gösterir. Vücut ısısının bölgesel dalgalanmaları özellikle büyük eüsseli memelilerde belirgindir. Sadece vücut merkezi (**çekirdék**) gerçek anlamda homoiotermiktir. Bu çekirdék, dinlenme halinde tüm ısının yaklaşık %70'ini üreten beyin ve metabolik olarak aktif iç organlardan oluşur.

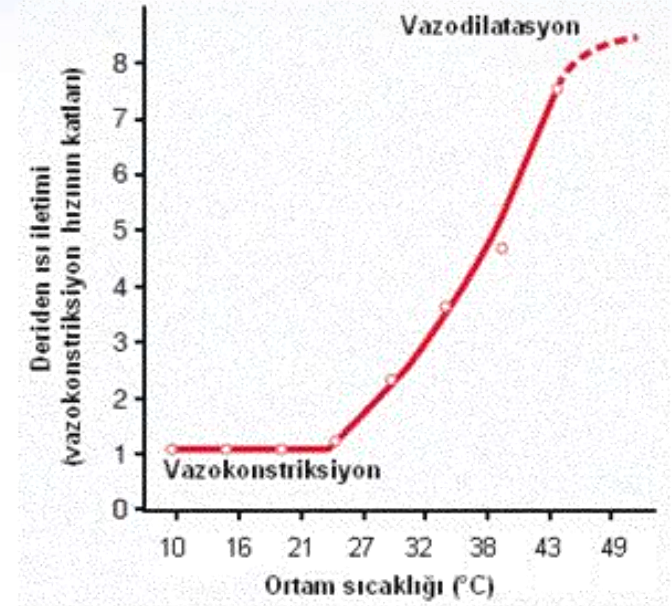
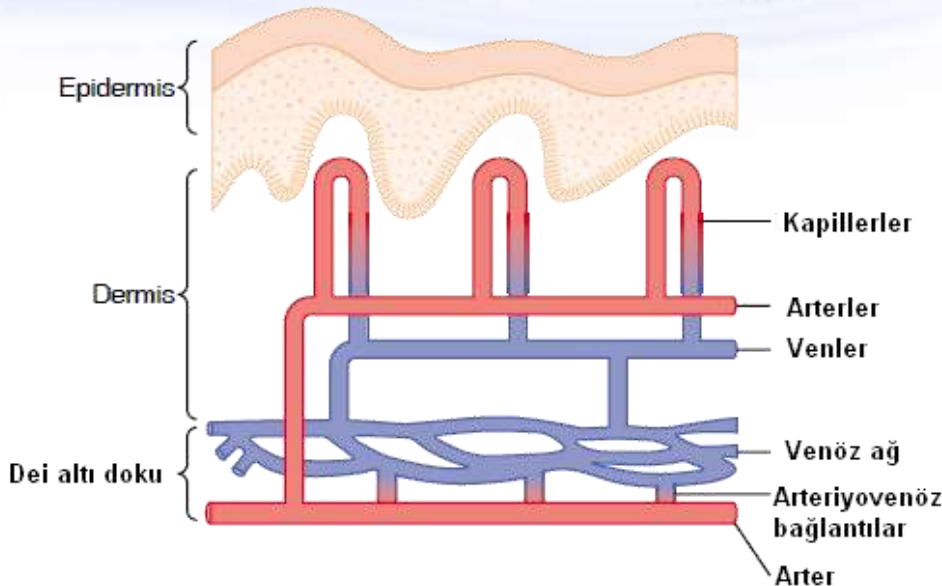
Vücut Isı Alanları (Çekirdék ve Kabuk)

- Yüksek ortam sıcaklıklarında **kabuk** incedir ve ekstremitelerin bir kısmı çekirdék seviyesindedir. Soğuk havalarda vücut çekirdéđi küçüktür, ancak çekirdék sıcaklığı sabit kalır. Aynı zamanda kabuk alanı genişletilir ve kabuk sıcaklığı düşer. Vücut kabuğunda çekirdéđi izole ederek daha fazla ısı kaybetmektен koruyan bir ısı gradiyenti oluşur. Kabuktaki bu değişiklikler aslında kan dolaşımındaki değişimlerden ileri gelir;



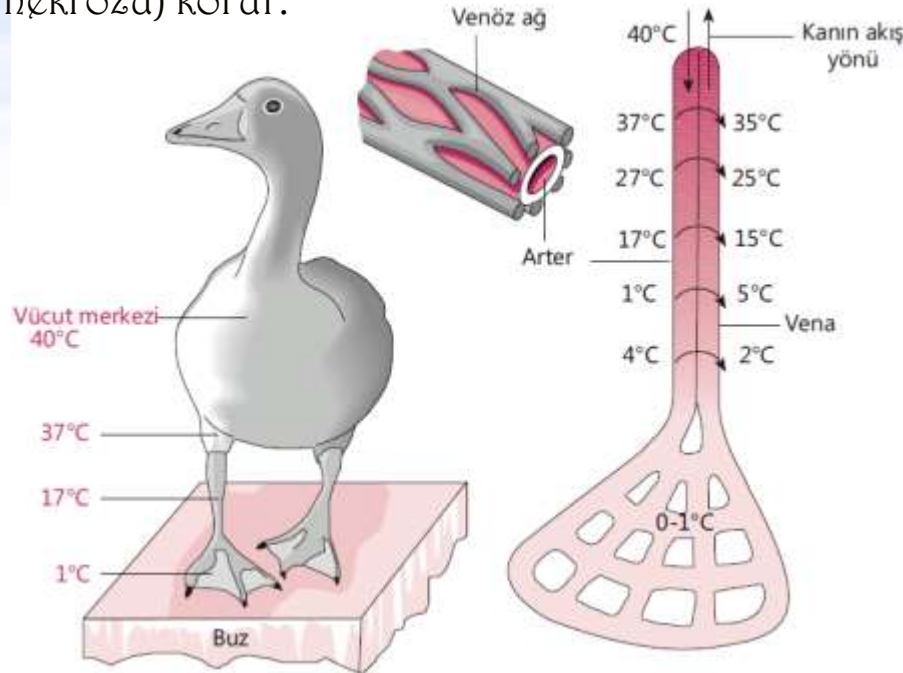
Deri Dolaşımı

- Kan damarları yağlıktan deri altı yağ dokusuna girerek yoğun bir şekilde dallanır. İç ısının dışarı iletilip-iletilmemesinde venöz ağ önemli bir rol üstlenir. Kan venöz ağa arteriyovenöz bağlantılar ile ihtiyaçlar doğrultusunda, neredeyse sıfırdan kalp debisinin %30'u gibi büyük miktarlarda nakledilebilir. Arteriyovenöz bağlantıların açılarak kanın deriye yönlendirilmemesi ısının muhafazasına, kapatılması ise kanın yoğun bir şekilde deriye nakledilip iç ısının dış ortama verilmemesine neden olur. Tam vazokonstriksiyon ve tam vazodilatasyon sırasında ısı iletimi açısından 8 kat fark oluşmaktadır.



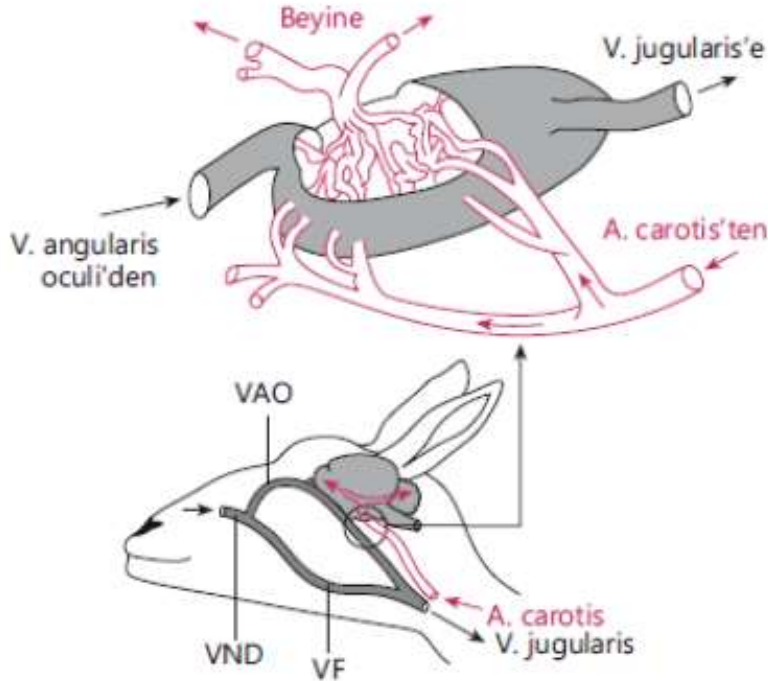
Ters Akım Isı Değişimi

- Kan dolaşımının sistemik olarak düzenlenmesinin yanı sıra, lokal mekanizmalarla da düzenleme söz konusudur. Özellikle ekstremitelere bir ters akım-ısı değişimi mevcuttur. Ekstremitelerden geri dönen serin kan, kanı ekstremitelere götüren büyük arterleri sıkıca saran ince duvarlı bir venöz ağ içinde seyrederek. Bu esnada geri dönen serin kan, vücut merkezinden gelen sıcak kan tarafından ısıtılır ve ısıyı vücut merkezine geri taşır, ekstremitelere akan sıcak arteriyel kan ise soğur. Böylelikle ekstremiteler üzerinden çok fazla ısının kaybedilmesi engellenir.
- Ekstremitelerin uzun süreli hipotermisinde düzenli olarak kısa süreli vazodilatasyonlar (Lewis-reaksiyonu) şekillenir, bu reaksiyon tahminen dokuları aşırı soğuğa bağlı hasarlardan (doku nekrozu) korur.

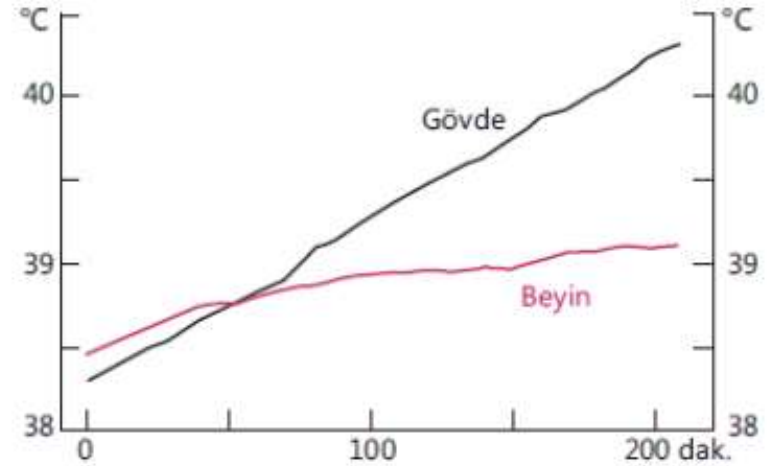


Ters Akım Isı Değişimi

- Isı stresine maruz kalan çift tırnaklılarda beyin kendi ısısını vücut ısısından bağımsız olarak düzenleyebilir. **a** Bir ren geyiğinde, **Rete mirabile-Sinus cavernosus**'da nazofarinks boşluğundan gelen serin venöz kan ile beyine giden sıcak arteriyel kan arasındaki ısı değişimi. VND = Vena dorsalis nasi, VAO = Vena angularis oculi, VF = Vena facialis.
- b** Bir keçide vücut ısısının artmasına rağmen beyin ısısındaki artış daha sınırlıdır.



a



b

Ters Akım Isı Değişimi

- Ters akım ısı değişimi solunumda da gerçekleşir. Burun boşluğunda mukoza üzerindeki ısı ve su buharı ekspirasyon havası ile dışarı verilir. Nispeten serin ve kuru olan inspirasyon havası ise akciğerlere giderken bu ısı ve nemi kısmen geri alır. Soğuk habitatlarda yaşayan hayvanlarda (rneğin ren geyiklerinde) dallanmış derin katlanmalarla burun boşluğundaki mukoza yüzeyi artırılır, böylece bu değişim daha tkin olur.



Isı Üretimi

- Termonötral ortamda dinlenme halindeki ısı üretimi (**bazal metabolizmadan** kaynaklanan) ısı bilançosunda önemli bir değere sahiptir ve hayvanın vücut kütlesi arttıkça azalır. Başlıca evcil hayvanlarda dinlenme halinde ısı üretimi normal besleme halinde 2 W/kg (köpek) ile 1 W/kg (sığır) arasında yer alır.
- **Besin alımı artarsa** (besiye çekme, gebelik, laktasyon) bu değerler önemli oranda artabilir. Bunun yanında **hormonal** (örneğin tiroit hormonları) ve **sinirsel** (sempatik sinir sistemi aktivasyonu) etmenler de enerji metabolizmasında ve dolayısıyla ısı üretiminde önemli rol oynar.
- Gündüz aktif olan memelilerde, sabah erken saatlerde **glukokortikoidlerin** günlük artışı, istirahat metabolizmasındaki artış ve dolayısıyla vücut ısısı artışı ile paralellik gösterir

Isı Üretimi

- Ciddi soğuklarda vücut çekirdək ısısını sabit tutmak için ısı üretimi (termogenz) arttırılarak dinlenme değgerinin üzerine çıkarılmak zorundadır. Özellikle büyük kas kütleşine sahip iri hayvanlarda bir seçgenek soğuga bağılı **titremedir**: hafif soğukta öncelikle kasta ekstensör ve fleksörlerin aynı anda kasıldığı bir **tonus artışı** görülür. Daha güçlü soğuk titremesi hareket olarak da algılanabilir (**tremor**); ancak bu esnada tüm kaslar senkronize şekilde kısalmazlar, tek tek kas telleri koordinasyon olmaksızın çalışırlar. Bu sırada anlamlı bir iş ortaya konmadığı için ATP üzerinden kasta üretilen enerji ısı enerjisi olarak kalır. Bölgelelikle ısı üretimi kısa süreli olarak dinlenme değgerinin beş katına çıkarılabilir.

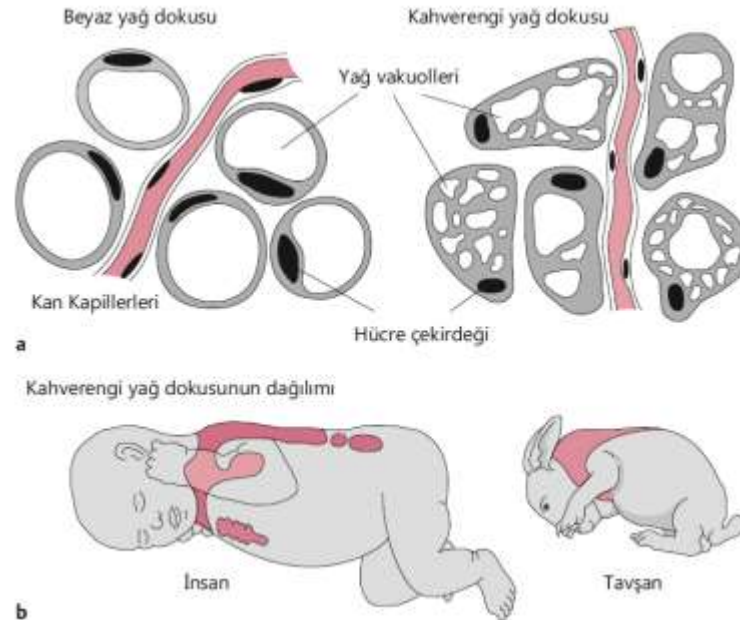
Olumsuz yönleri

Kas titremesi çoğunlukla periferik kaslarda meydana gelir, bu kasların fazlaca kanlanması da gerektiğinden, vücut yüzeyinden çok fazla ısı kaybedilir.

Şiddetli titremede hassas motor hareketler de olumsuz etkilendir ve kürkteki galıtkan hava katmanı bu hareketten zarar görür, bu durum ilaveten ısı kaybına yol açar.

Isı Üretimi

- Bebekler de dâhil olmak üzere 10 kg'dan daha hafif olan memelilerde ayrıca, özel bir doku vardır (**kahverengi yağ**), bu doku **titremesiz termogenez** oluşturabilir. Kahverengi yağ dokusu, akan kan için bir akış ısıtıcısı gibi işlev görür ve servikotorakal alandaki konumu nedeniyle postun altına giyilen bir ısıtma çeketi gibi görev yapar.
- Kahverengi yağ dokusunun adipositleri sempatik sinir telleriyle sıkıca sarılmıştır. Soğuğa maruz kalındığında noradrenalin salınır ve kan damarları ile adipositlerdeki β_3 -adrenajik reseptörlere bağlanır. Bu sayede kahverengi yağ dokusunda kan dolaşımı artar ve termogenez aktive edilir.
- Kahverengi yağ dokusu hücrelerinin sitoplazması mitokondrilerle tıka basa doludur (rengi buradan gelir). Kahverengi yağ dokudaki mitokondrilerin sahip olduğu $UCP1$ (eşleşmemiş protein 1) sayesinde oksidasyon enerjisinin neredeyse tamamı ATP üretmek yerine ısı olarak salınır.



Isı Üretimi

- Şimdiye kadar titremesiz termogenezin sadece küçük memelilerde ve kış uykusuna gatan hayvanlarda yaşam boyu kalıcı olduğuna inanılmaktadır. Kış uykusuna gatan hayvanlar titremesiz termogeneze her şeyden önce uyanma (ısınma) sürecinin başlangıcı için ihtiyaç duyarlar, çünkü kas titremesi ile ısı üretimi ancak 15°C 'den sonra mümkündür.
- Küçük memeliler soğuk stresinde birincil olarak titremesiz termogenezi kullanırlar. Ancak ekstrem soğukta son çare olarak titreme devreye girer. Daha büyük türlerde titremesiz termogenez her şeyden önce postnatal fazda önemlidir, çünkü şiddetli soğuk stresi tehlikesi en çok bu dönemde söz konusudur. Bununla birlikte erişkin insanlardan elde edilen yeni bulgular, kahverengi yağ ve aktif ÜCP1'in büyük hayvanlarda da muhtemelen hayat boyu kaldığını göstermektedir.

Isı Üretimi

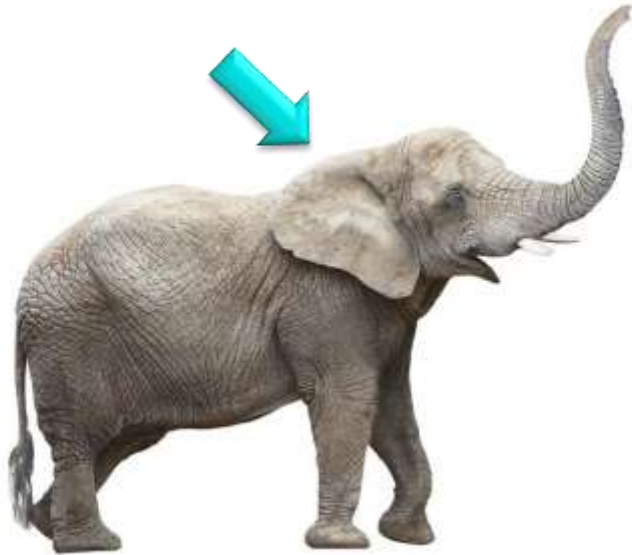


- Domuzlarda oldukça enterjesan bir istisnai durum söz konusudur. Yeni doğmuş domuz yavruları büyük bir kahverengi yağ deposuna sahip olmamalarına rağmen önemli düzeyde titremesiz termogenez yaparlar ve soğuğa adaptasyon gösterirler.
- Domuzlar titremesiz termogenez için bugüne kadar yeterince üzerinde durulmamış ikinci bir ekstra termogenez yolunu kullanmaktadır: Sarkoplazmik retikulumda zara bağlı Ca^{2+} ATPaz enzimi (SERCA), Ca^{2+} iyonlarını ATP kullanarak sitozolden sarkoplazmik retikulumun (SR) içine geri taşır (bu olay kas aktivitesinin önemli bir bileşenidir). İzoformuna bağlı olarak SERCA'lar ATP hidrolizinde ATP başına 42-125 kJ ısı üretirler. Bu süreç, SR'nin ryanodin reseptör- Ca^{2+} kanallarının açılmasıyla tamamen aygırılır ve bölümlikle UCPI'ye benzer şekilde titremesiz termogenez için etkili bir mekanizma haline gelir.

Isı Transportu

İç Isı Transportu: Isı kaybı için vücutta farklı doku ve organlar tarafından üretilen ısının öncelikle daha serin olan vücut yüzeyine taşınması gerekir. Vücut merkezinden vücut yüzeyine olan bu ısı transportu, dokuların ısı iletim özelliği nispeten düşük olduğu için aslında kan ile sağlanan **konvektif iç ısı transportudur**. Bu transport derideki kan dolaşımının değiştirilmesiyle düzenlenir. Soğuğa maruz kalındığında görülen **vazokonstriksiyonun** sempatik sinir sisteminin aktivasyonuna bağlı olduğu yaklaşık 150 yıl önce Claude Bernard tarafından gösterilmiştir (soldaki tavşanda sağ kulağın sempatik inervasyonu ortadan kaldırılmış ve soğuk koşullarda vazokonstriksiyon göstermiyor!).

- Periferik dolaşım kısmi olarak da düzenlenebilir. Bölümlerle “**termik pencereler**”, yani deride kan dolaşımının artmış olduğu bölgeler oluşur. Burarlardan daha etkili ısı kaybı sağlanabilir ya da ışınım enerjisi (radyasyon) alınabilir.



Isı Transportu

Dış Isı Transportu

- **Işınım:** Soğuk ortamda deri ısısının düşmesiyle, özellikle deriden uzun dalgalı kızıl ötesi ışınlar yoluyla olan ısı kaybı azalır. Öte yandan, **iç ısı stresi** durumunda (örneğin şiddetli fiziksel aktivitede) ışınım gibi kuru ısı kaybını mümkün kılmak için, yüzeysel ısısının havanın sıcaklığından daha yüksek olması gerekir (deride vazodilatasyon). Ancak **ekzojen ısı stresinde**, hava sıcaklığı vücudun merkez ısısından daha fazla olduğunda, yüksek bir yüzeysel ısı avantajlı olabilir, çünkü böylelikle ışınımla daha az ısı alınır.
- Yüzeylerin **yapısı ve rengi** de absorbe edilen ışınım enerjisinin miktarında önemli rol oynarlar. Koyu renk ve mat bir kürk daha çok ışını absorbe ederken, parlak ve açık renk bir kürk daha fazla ışını yansıtır. Bu yüzden sıcak çöl iklimlerinde hayvanlar açık renkli ve parlak olmalı, kutup bölgelerinde ise daha koyu renkli olmalıdır.



- ✓ Kutup ayısı ve kar tavşanında termik duruma kıyasla **kamuflej** çok daha büyük önem arz eder.
- ✓ Kutuplarda **kış döneminde günlerin çok kısa** olduğu ve **güneşin neredeyse 24 saat ufuk altında** bulunduğu göz önünde bulundurulmalıdır.
- ✓ **Büyük kas kütleli** ve buna bağlı ısı üretimi nedeniyle kutup ayısının kışın vücut ısısını sabit tutmak gibi bir derdi yoktur. Buna karşın gazın kutup ayısının daha zıfade **aşırı ısınma problemi** vardır ve bu nedenle güneşten kaçınır.

Isı Transportu

- **Deri Altı Yağ Dokusu, Kıllar ve Tüylər:** Kıllar ve tüylər, deri altı yağ dokusu ile birlikte ısı kaybına karşı bir direnç oluştururlar. Bögləc bu yapılar izolasyonu artırır (kondüktansı azaltır).
- Yazın kalın bir kürk ısı kaybını zorlaştırır. Bu yüzden birçok memeli kış kürkünden, yaz kürküne geçiş yapar. Yaz kürkü daha incedir, daha kısa kıllıdır ve çoğunlukla daha açık renklidir. Kürk değişimi, primer olarak gün uzunluğunun mevsimsel değişimi ve bununla ilişkili **epifiz bezindeki** (Gl. pinealis) **melatonin** üretimi tarafından düzenlenir.
- Postun yalıtım değeri **pilomotorik** aktivite ile de düzenlenebilir. Kıl kökündeki düz kasların kontraksiyonu ile kalın kıllar dikilirken, ince kıllar pasif olarak bunları izler. Yalıtkan hava katmanı bu sayede kalınlaşır. Bu olay, kan dolaşımında yapılan değişimler ile birlikte düşen çevre sıcaklığında vücut ısısının sabit tutulabilmesini sağlayan en önemli mekanizmadır.



Isı Transportu

- **Evaporatif Serinleme:** Çevre ısısı vücut ısısından daha yüksek olduğunda evaporatif serinleme ısı kaybı için tek yoldur. Derinin üzerindeki hava çok kuru olduğunda su çok fazla buharlaşır; buna karşın havadaki nem oranı yükserse (%100'e yakınsa) su çok az buharlaşır. Hemen hemen hiç kontrol edilemeyen *Perspiratio insensibilis*'in dışında evaporatif serinleme için genel olarak üç ihtimal vardır: bunlar **terleme**, **solunma (sıcaklık polipnösi)** ve **galanmadır (tükürükleme)**.
 - **Terleme:** Farklı hayvan türlerinde ter bezlerinin sayısı ve işlevi çok farklıdır. Birçok kemirgen (fare, sıçan), tavşan ve kuşta ter bezi bulunmaz. Çok fazla terleyebilme yeteneği evrim sırasında sadece birkaç memeli türünde oluşmuştur. İnsanlar, tek tırnaklılar, bazı maymun türleri ve develer tüm vücutlarıyla terleyebilir. Diğer bazı türlerde (köpek, koyun, domuz) ise çok az ter salgısı vardır ve çoğunlukla deride küçük bölgelerde sınırlıdır. Özellikle kuru havada **terleme** çok etkilidir. Buna karşın, farklı türlerde evaporatif serinlemede terleme ve solumanın payları da farklıdır. Kısa ya da zayıf posta sahip hayvanlarda deri üzerinde büyük bir buharlaşma alanı söz konusudur. Bu yüzden örneğin atlar terleme ile tüm vücutu serinletme imkânına sahiptir. Bununla birlikte at terindeki elektrolit yoğunluğu insana kıyasla çok yüksek olduğu için, terlemeyle **elektrolit kaybı** da yüksektir.

Isı Transportu

- **Evaporatif Soğutma:**

- **Soluma (Sıcaklık Polipnezi):** Ter bezi olmayan veya yeterince olmayan hayvanlarda soluma vücut ısısının düzenlenmesinde önemli bir fizyolojik mekanizmadır. Avantajlarının yanında (tuz kaybının olması, bölgesel soğutma gibi), soluma olayının iki belirgin dezavantajı vardır: bunlardan ilki hiperventilasyonun **respiratorik** (solunuma bağlı) **alkaloza** yol açması, ikincisi ise artan ventilasyonun kas aktivitesi gerektirmesi ve bunun da tekrar sıcaklık polipnezi ile bertaraf edilmesi gereken bir **ısı artışına** neden olmasıdır. Ancak solunum yollarının elastikiyet özelliklerinden yararlanılarak sıcaklık polipnezi için gerekli olan kas çalışması büyük oranda azaltılabilir. Respiratorik alkalozdan korunmak için nispeten büyük bir anatomik ölü hacme sahip olmak önemlidir. Soluma sırasında yüzeysel yüksek frekanslı solunumlar ile ölü aralık ventile olurken alveoller ventilasyon şekillenmez. Ancak ağır bir sıcaklık stresi altında alveoller ventilasyon artmaya başlar.
- Orta dereceli ısıya maruz kalan bir köpek orta düzeyde solumak yerine, normal frekanslı soluma periyotları ile bölünmüş kısa sürümlü yüksek frekanslı solumalar yapar. Bir köpek solumaya başladığı zaman solunum frekansını ani bir şekilde dakikada 30-40'dan 10 katına, 300-400 solunuma çıkarır, bu frekans solunum yolunun ve göğüs kafesinin rezonans frekansına denk gelir. Bu rezonans frekansını sürdürmek için çok ılıman bir kas çalışmasına gereksinim duyar ve bu da çok ezi bir ısı yükü oluşturur.

Isı Transportu

- Bir köpek kendi isteği ile ağzından ya da burnundan ekspirasyon yapmayı seçerek ısı kaybını kontrol edebilir. Burundan yapılan ekspirasyonda, ekspirasyon havasının sıcaklığı 29°C'dir. Köpek aynı frekansta soluyarak ekspirasyonu ağzından yaparsa, ekspirasyon havası vücut ısısına yakın bir ısıda, yaklaşık 38°C'de olur. Eğer 1 l hava 29°C'de su buharıyla tamamen doymuş olarak ekspirasyon edilirse 62 J ısı kaybedilir. Ancak 38°C'lik hava ağızdan ekspirasyon edildiğinde yaklaşık iki katı kadar ısı kaybedilir (116 J). Yani köpek aynı solunum frekansı ve hacmini ağız ya da burundan ekspirasyon etme seçenekleriyle ısı kaybını ayarlayabilir.
- Ruminantlar terleme dışında soluyarak da fazla ısıyı kaybederler; özellikle çok küçük geviş getirenler ısı kaybını şiddetli şekilde soluyarak düzenlerler.

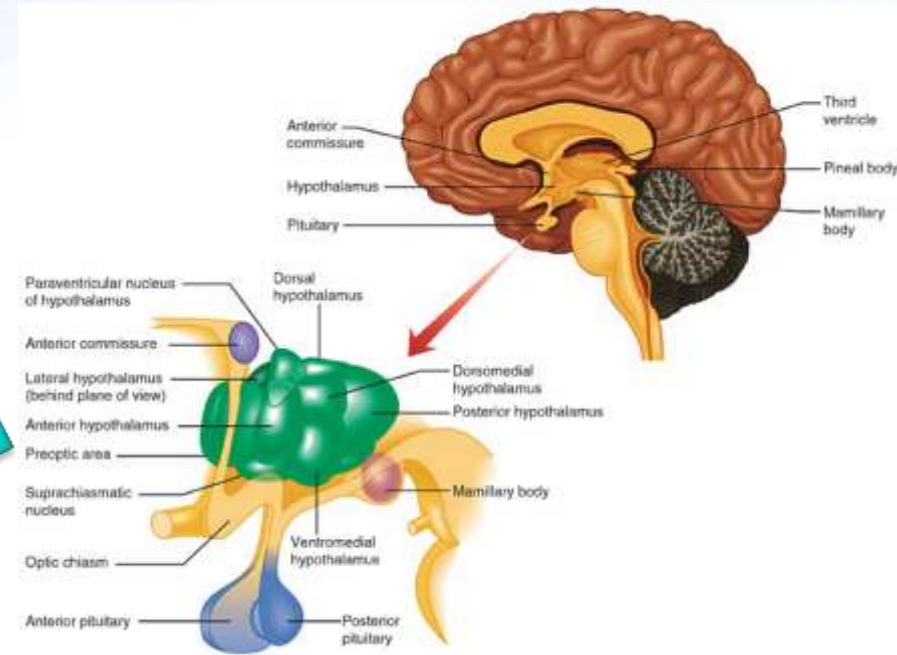
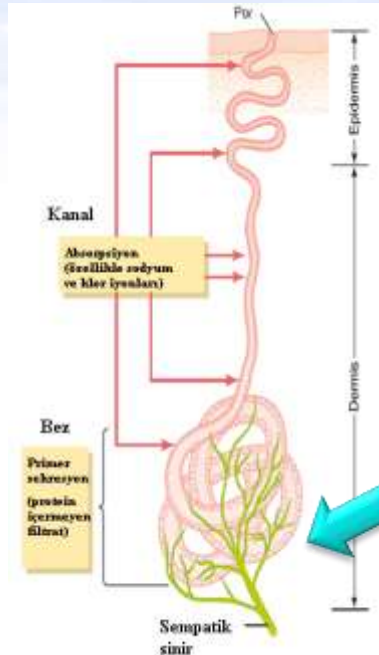


- **Yalanma (Tükürükleme):** Yalanma ile evaporatif serinleme çok etkili bir mekanizma değildir. Bu mekanizma özellikle keseli hayvanlarda (kangurular) ve küçük memelilerde yaygındır. Bu mekanizmada ekstremiteler ve göğüs derisi yalanarak nemlendirilir. Tükürük elektrolitleri içerdiğinden, bu esnada bir miktar tuz kaybı da gerçekleşir.

Terlemenin Kontrolü

- Beyindeki anterior hipotalamusun preoptik alanı elektriksel veya ısıtılarak uyarılırsa terleme oluşur. Bu bölgeden kaynaklanan uyarılar omurilik üzerinden sempatik sinir sistemi lifleri ile tüm vücuda dağılmış olan ter bezlerine ulaşır. Ter bezleri sempatik sinirler ile uyarılır. Ama ilginç olan uyarılmanın asetil kolin ile sağlanmasıdır (sempatik kolinerjik liflerle).
- Ancak egzersiz sırasında adrenal medulladan dolaşıma salınan epinefrin ve norepinefrin de doğrudan ter bezlerini uyarıp terlemeye yol açar. Bu sayede kassal aktivite sonucu üretilen fazla ısı dışarı verilir.

Terle birlikte tuz kaybı önemli bir handikaptır. Sıcağa adapte olmamış kişilerde terle birlikte günde 15-30 g tuz kaybedilir. Sıcağa adapte olmuş kişilerde ise günde sadece 3-5 g tuz kaybedilir. Bunu sağlayan **aldosteron** hormonudur. Sıcağa bu şekilde uyum sağlamaya **aklimatizasyon** denir.



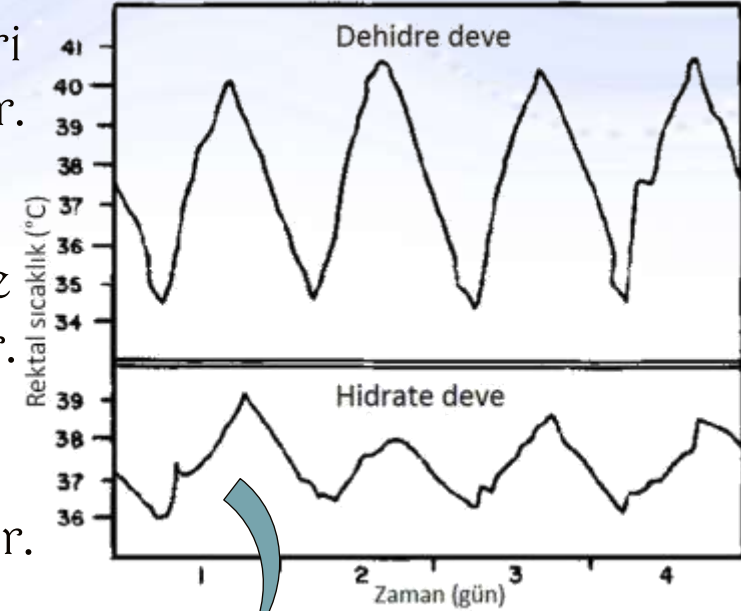
Isı Depolama

Bazı memeli hayvanlar, özellikle kurak bölgelerde yaşayanlar, sıcak çevre ısısına ve yüksek kas aktivitesine bağlı geçici hipertermiye şaşırtıcı şekilde dayanıklıdır. Hayvan ne kadar büyüksü vücudunda o kadar çok ısı depolayabilir. Örneğin antilop-ger sinecisi gibi küçük bir kemirgen (100-250 g) kavurucu güneşin altında yaklaşık 30 dakikalık kısa süreli bir besin arama aktivitesi esnasında vücut ısısının neredeyse 43°C 'ye çıkmasını tolere eder. Daha sonra toprak altındaki guvasına çekilerek orada 38°C 'ye kadar soğur ve sonrasında tekrar dışarıdaki aktivitelerine başlar. Bir deve (500 kg) sıcak bir günde vücut ısısının 41°C 'ye kadar çıkmasına izin verir, sonrasında fazla ısıyı serin gecede dışarı vererek 34°C 'ye kadar düşürür. Burada hiperterminin iki avantajı vardır:

- (1) Yüksek vücut ısısı sıcak çevre ısısı ile olan ısı gradyanını azaltır ve bu sayede çevrelerden ısı alımı da azalmış olur.
- (2) Her şeyin ötesinde evaporatif serinleme için gerekli olan sudan tasarruf edilmiş olur.

Diurnal Sıcaklık

- Günün farklı zamanlarında vücut sıcaklığındaki değişimlere diurnal sıcaklık denir. Gündüz aktif olan, gece uyuyan canlılarda vücut sıcaklığı sabah düşük, öğleden sonra ise yüksektir. Gece aktif olan noktürnal canlılarda ise tam tersi görülür.
- Develerde suyun korunması amacıyla gündüzleri ısı vücutta depo edilir, geceleri soğuk çöl havasında ise dış ortama verilir.
- Isıyı buharlaşma ile dışarı vermek yerine vücutta depolama stratejisi deveye günde yaklaşık 5 litre su tasarrufu imkânı sağlar. Bu esnada “serin bir kafanın” korunması için daha önce anlatılan mekanizma ile gerçekleşen lokal beyin serinlemesi şarttır.



Evaporasyonla ısı kaybı için
yeterli su var, ısıyı
depolamaya gerek yok!

Davranışsal Kontrol

- Vücut ısının kontrolünde bilinçaltı otonom kontrol dışında çok güçlü bir bilinçli kontrol mekanizması daha vardır. Bu davranışsal kontroldür (**termoregülatorik davranışlar**). Vücut ısısı ne zaman yükselirse, sıcaklık kontrol alanlarından başlayan sinyaller canlıda psikik olarak aşırı sıcaklık duygusu yaratır. Vücut ısısı düştüğünde ise deri ve derin sıcaklık reseptörlerinden gelen uyarılar canlıda rahatsızlık yaratan üşümeye duygusu yaratır. Bu nedenle canlı tekrar rahatlamak için uygun davranışlar sergiler. Hatta çok şiddetli soğuklarda vücut ısısının kontrolü için tek etkili mekanizma budur.



- “Birbirine sokulma” (**sosyal termoregülasyon**), yüzey/hacim oranını azaltmak için uygulanan bir stratejidir.
- Güneşlenen hayvanlar sadece güneşe göre **vücut duruşlarını** ve **yönlərini** değiştirerek gelen ışınım enerjisini ve bu sayede vücut ısılarını etkileyebilirler.

Vücut Sıcaklığı, Isı Kayıp ve Üretimi Arasındaki Denge ile Kontrol Edilir!

- Vücutta üretilen ısı kaybedilenden fazla ise ısı vücutta birikir ve vücut sıcaklığı yükselir. Tersisi durumda ise düşer.
- Isı üretimi metabolizmanın bir yan ürünüdür. Metabolik hıza bağlı olan ısı üretimi:
 - Bazal metabolizma hızına
 - Kas aktivitesinin artmasına
 - Tiroksin, büyüme hormonu ve testosteron gibi hormonların düzeyine
 - Epinefrin, norepinefrin ve sempatik stimülasyonun düzeyine
 - Hücre sıcaklığı artışına bağlı kimyasal reaksiyonların hızlanmasına bağlı olarak değişir.

Vücut Isısı, Isı Kayıp ve Üretimi Arasındaki Denge ile Kontrol Edilir!

- Isı vücutta derin organlarda, özellikle karaciğer, beyin, kalp ve iskelet kaslarında üretilir. Sonra bu ısı derin organlardan deriyeye, oradan da çevreye nakledilir. Isı kaybı iki faktör tarafından belirlenir:
 - Isının üretim yeri olan derin organlardan deriyeye iletim hızı
 - Isının deriden çevreye nakledilme hızı
- Deri ve deri altı yağ dokusu vücudun yalıtkan sistemini oluşturur. Diğer dokulara kıyasla yağ doku ısıyı 1/3 oranında daha az iletir. İç organlardan deriyeye kan akımı olmazsa vücudun yalıtkan sistemi giyilen giysilerin 3/4'ü kadar bir ısı muhafazası sağlar.
- Yalıtkan sistem bir yandan deri ısısının çevre sıcaklığına yakın olmasına neden olurken, diğer yandan da daha hayati önemi olan iç ısının korunmasına yardım eder.

Termoregülasyonda Hipotalamusun Rolü

- Vücut merkezinin birçok yerinde ısı reseptörleri vardır. Özellikle omurilik çevresindeki ısı reseptörleri hassas ve yoğundur. Omuriliğin lokal olarak ısıtılması ısı kaybı olaylarını (soluma, terleme) artırır ve çekirdek ısı düşer. Tam tersine, omuriliğin soğutulması şiddetli soğuk titremesine neden olur. Hipotalamusun lokal olarak soğutulması ya da ısıtılması da ısıya bağlı olarak ısı üretimi ya da ısı kaybına yönelik tüm termoregülatorik reaksiyonları tetikler. Özellikle ön hipotalamusta (**Arxa pręoptica**) tüm vücuttaki ısı reseptörlerinden gelen afferent uyarımlar toplanır. Termoregülatorik düzenleme alanlarına giden efferent sinyaller de posterior hipotalamustan köken aldıkları için, hipotalamus ısı ile ilgili verilerin düzenlenmesi ve yönetilmesinde olduğu gibi entegrasyonu ve işlenmesinde de merkezi bir rol sahiptir (**ayarlama merkezi**).
- Termodların kullanıldığı, beyindeki çeşitli alanların ısıtılması veya soğutulmasına yönelik araştırmalarda, anterior hipotalamusun pręoptik alanında çok sayıda ısıya duyarlı nöronlar belirlenmiştir. Bu nöronların yaklaşık 2/3'ü sıcaklığa, 1/3'ü ise soğuklığa duyarlı olup, vücut ısısının düzenlenmesinde merkezi reseptörler olarak görev yaparlar. Vücut ısısı yükselinecek sıcaklığa duyarlı nöronların, düştüğünde ise soğuklığa duyarlı nöronların deşarj hızı artar.
- Pręoptik alan ısıtılınca deride vazodilatasyon ve yoğun terleme görülmekte, bu suretle vücut ısısı normal düzeye düşürülmeye çalışılmaktadır. Ayrıca tüm vücutta ısı üretimi baskılanmaktadır.

Termoregülasyonda Deri ve Derin Reseptörlerin Rolü

- Hipotalamustaki merkezi reseptörler dışında vücut ısısının düzenlenmesinde görev yapan deri ve derin organ reseptörleri de vardır. Derideki ısıya duyarlı reseptörler, **soğuğa duyarlı Krause bulbusu ve sıcağa duyarlı Ruffini organıdır**. Krause bulbuslarının sayısı 10 kat daha fazladır. Bu nedenle periferik ısı kontrolünde özellikle soğuğa karşı düzenleme ön plandadır. Deri üşüyünce vücutu ısıtacak bir dizi mekanizma devreye sokulur. Bunlar:
 - Kuvvetli bir sempatik uyarı ile titreme başlar ve ısı üretimi hızlanır
 - Terleme baskılanır
 - Deride vazokonstriksiyon ile ısının derige nakledilmesi azaltılır
- Derin reseptörler özellikle **omurilik, karın organları** ve karın ile göğüs boşluğundaki **büyük venlerde** bulunurlar. Deri reseptörlerinden farklı olarak bunlar yüzeysel değil vücutun içindeki ısıyı algırlar ve sıcağa değil **soğuğa duyarlıdır**. Hem deri hem de derin reseptörler vücutu özellikle hipotermiden korurlar.

Vücut Isısı Yükselince Ne Olur?

- Vücut ısısını düşürmeye yönelik 3 önemli mekanizma devreye girer:
 1. **Deri kan damarlarında vazodilatasyon olur:** Posterior hipotalamusta vazokonstriksiyona yol açan sempatik merkezlerin baskılanmasıyla gerçekleştirilir. Tam bir vazodilatasyon sonrası deriden ısı kaybı 8 kat artar.
 2. **Terleme:**
 3. **Isı üretiminin baskılanması:** Titreme ve kimyasal ısı üretimi gibi mekanizmalar baskılanır.

Vücut Isısı Düşünce Ne Olur?

- Bu durumda sıcaklık kontrol merkezi biraz önceki olayın tam tersini yapar:
 1. **Bütün vücutta deri kan damarlarında vazokonstriksiyon:** Posterior hipotalamustaki sempatik merkezlerin uyarılmasıyla gerçekleştirilir.
 2. **Piloereksiyon:** Sempatik uyarıyla kıl köklerindeki *m. errektör pilli*ler kasılır ve kıllar dikleşir. Bu durum insanlarda ısı düzenlenmesi açısından önemli değildir. Ancak hayvanlarda piloereksiyon ile tüyler arasında yalıtkan bir hava tabakası oluşturulur ve vücut ısısının kaybedilmesi azaltılır.
 3. **Isı üretiminin uyarılması:** Metabolik sistemlerde ısı oluşumu, titreme, sempatik sistemce ve tiroksin hormonunca ısı üretiminin hızlandırılması ile vücut ısısı yükseltilmeye çalışılır.

Sempatik 'Kimyasal' Yolla Isı Üretimi

- Sempatik sinir sisteminin uyarılması, dolaşımdaki epinefrin ve norepinefrin düzeylerinin artması hücrelerde metabolizma hızını yükseltir. Besin maddeleri vücudun normal ihtiyacından daha çok enerji üretecek şekilde oksidatif fosforilasyonla yakılır ve ısı üretilir.
- Hayvanlarda kimyasal ısı üretimi derecesi **kahverengi yağ dokusunun** miktarına bağlıdır. Bu dokuda fazlaca sempatik uyarı alır ve çok sayıda mitokondri içerir. Kahverengi yağın yakılmasıyla ısı üretilir. Haftalarca soğuk iklimde kalmış ve soğuğa aklimatize olmuş ratlar aniden soğuğa maruz kalırlarsa ısı üretimlerini 100-500 kat artırabilirler. Aklimatize olmamış ratlarda ise ısı üretimi bunun sadece 1/3'ü kadardır. Artmış ısı üretimine artmış besin alımı da eşlik eder.
- Yetişkin insanlarda neredeyse hiç kahverengi yağ bulunmaz. Bu nedenle kimyasal termogenez ile ısı oluşumu sadece %10-15 düzeyinde olur. Ancak yeni doğan bebeklerde interskapular bölgede bir miktar kahverengi yağ vardır ve kimyasal termogenez ısı üretimini %100 kadar artırabilir. Bu bebeklerdeki termoregülasyonda önemli rol oynar.

Uzun Sürçeli Isı Üretiminde Tiroksinin Rolü

- Hipotalamusun preoptik alanının soğutulması hipotalamusun nöroendokrin hücrelerinden TRH salgılanmasına yol açar. Bu hormon hipotalamohipofizer portal sistemle hipofiz ön lobuna gelir ve buradan TSH salınmasına yol açar. TSH'da kan yoluyla tiroid bezine gelerek tiroksin hormonunun salınımına neden olur. Tiroksin hormonu işe tüm vücutta metabolizma hızını yükselterek kimyasal termogenezı artırır. Ancak bu mekanizma çok hızlı gerçekleştirilemez. Çünkü tiroid bezinin hipertrofiye uğrayarak kimyasal termogenez sağlayacak şekilde yüksek tiroksin salgılaması haftaları bulur.
- Hayvanların haftalarca aşırı soğuşa maruz kalmasıyla tiroid bezi %20-40 oranında büyür. Ancak insanlar kendilerini hayvanlar kadar ileri derecede soğuşa maruz bırakmazlar. Bu nedenle de insanlarda soğuşa adaptasyonda tiroidin rolü çok önemli değildir.

Deride Lokal Sıcaklık Refleksleri

- Eğer kişi ayağını sıcak bir lambanın altına tutup bekletirse **lokal** bir vazodilatasyon ve terleme meydana gelir. Aksine soğuk suya soktuğunda lokal vazokonstriksiyon olur ve terleme son bulur. Bu reaksiyonlar sıcak ve soğüğün doğrudan damarlar ve ter bezlerine etki etmesi yanında esas olarak lokal spinal refleksler ile gerçekleştirilir. Derideki reseptörlerden durum algılanır ve omur iliğe iletilir, oradan da derinin aynı bölgelerine uygun cevabın oluşturulmasına yönelik emirler verilir. Bu lokal spinal reflekslerin şiddeti hipotalamustaki termostatin (ısı kontrol merkezinin) kontrolü altındadır. Bu sayede lokal olarak ısınan yada soğuyan bölgelerden vücudun diğer bölgelerine aşırı ısı transferi önlenmiş olur.
- Spinal hayvan ve insanlarda vücut ısısının kontrolü bozular. Çünkü hipotalamusun ısı düzenlenmesine yönelik emirleri ve periferik reseptörlerden gelen bilgilerin hipotalamusa ulaşması mümkün olmaz. Böyle canlılar sadece kafa bölgeleriyle sıcak ve soğucu hissedip uygun davranışsal reaksiyonlar gösterirler.

Normal Vücut Sıcaklığı

- Bir memeli hayvanın ya da kuşun dinlenme halindeki merkezi vücut ısısı **normoterm** ya da **oterm** olarak tanımlanır. Bu normal aralık tür özgüdür, ev ve laboratuvar hayvanlarında 37,5 ile 40 °C arasında bulunurken kuşlarda 40 ile 42°C arasındadır. Bu aralıktan patolojik sapmalar **hipotermi** ve **hipertermi** olarak adlandırılır.
- Vücut sıcaklığı dinlenme halindeki hayvanın rektumuna yerleştirilen bir termometre ile belirlenir. Ortalama vücut sıcaklığı hayvanın türüne, egzersize, günün farklı zamanlarına, çevre sıcaklığına, sindirim ve su içme gibi durumlara göre değişir.

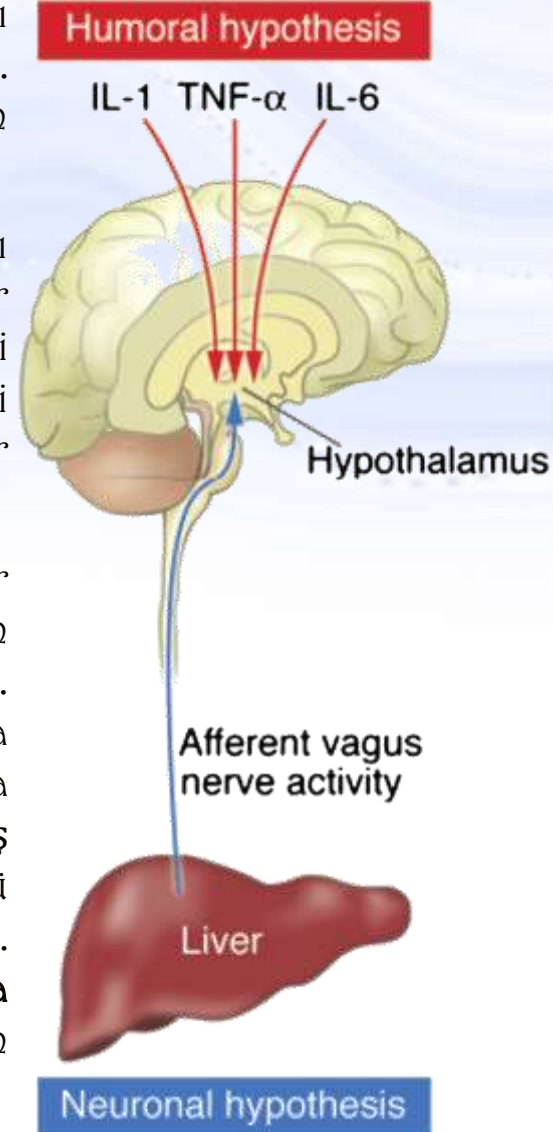
Tür	Ortalama	Alt Sınır	Üst Sınır
At	37,8	37,5	38,5
Siğir	38,5	37,5	39,5
Koyun	39,3	38,0	39,5
Keçi	39,5	38,0	39,5
Domuz	39,0	38,0	40,0
Deve	37,5	34,2	40,7
Köpek	38,4	37,5	39,0
Kedi	38,8	38,0	39,0
Tavşan	39,0	38,5	39,5
Kobay	38,5	37,5	39,5
Kaz	40,5	40,0	41,0
Tavuk	41,0	40,0	42,0
Güvercin	42,0	41,0	43,0

Hipo- ve Hipertermi

- Isı üretimi uzun süreli olarak dinlenme metabolizmasının beş katından fazla arttırılamaz. Soğuk ortamdaki ısı kayıpları bu ısı üretimini aşarsa, merkezi vücut ısı sürekli olarak düşer ve **hipotermi** şekillenir. Orta Avrupa'daki çoğu erişkin çiftlik hayvanı yeterli beslenme ve sağlam kürk izolasyonu sayesinde hemen hemen hiç problem yaşamazlar. Ancak yeni doğmuş kuzular, domuz yavruları ve yeni kırılmış koyunlar soğuk ve özellikle nemli ve aynı zamanda şiddetli rüzgârlı ortamlarda bu sınırlara ulaşabilirler. Merkezi vücut ısı 35-32 °C'ler civarındaysa orta düzeyli bir hipotermiden söz edilir. Bu durum artan titreme, hiperventilasyon ve taşikardi ile karakterizedir. Eğer ısı 32 °C'nin altına inerse uyuşukluk, hissizlik ve akabinde bilinç kaybı şekillenir. Yaklaşık 28 °C'nin altında kaslar ve eklemler sertleşir ve kalp ritminin gittikçe bozulduğu görülür; 25 °C'de genellikle ventriküler fibrilasyon şekillenir. Uzun süreli derin anestezi de, metabolizma hızının düşmesi ve bununla birlikte kas tonusunun baskılanmasıyla yaşamı tehdit eden bir hipotermiye yol açabilir.
- **Hipertermi**, normal ayar noktası değerinde bir değişiklik olmaksızın ısı üretimi ve ısı kaybı arasındaki dengesizlik nedeniyle oluşur. Bu durumda tabii ki ısı kaybı her zaman ısı alımı ya da ısı üretimine oranla çok daha düşüktür. Kas oranı fazla olan büyük hayvanlarda yüksek fiziksel aktivite esnasında üst sınırlara nispeten hızlı bir şekilde ulaşılır. Memelilerde 42-43°C üzerindeki vücut ısılarına neden olan uzun süreli sıcaklar yaşamı tehdit eden **sıcak çarpmasına** yol açar. Bu durum solgun ve kuru bir deri ile karakterizedir (vazokonstriksiyon, ter üretiminin olmaması), bu da sonuçta ısı kaybını daha da engeller.

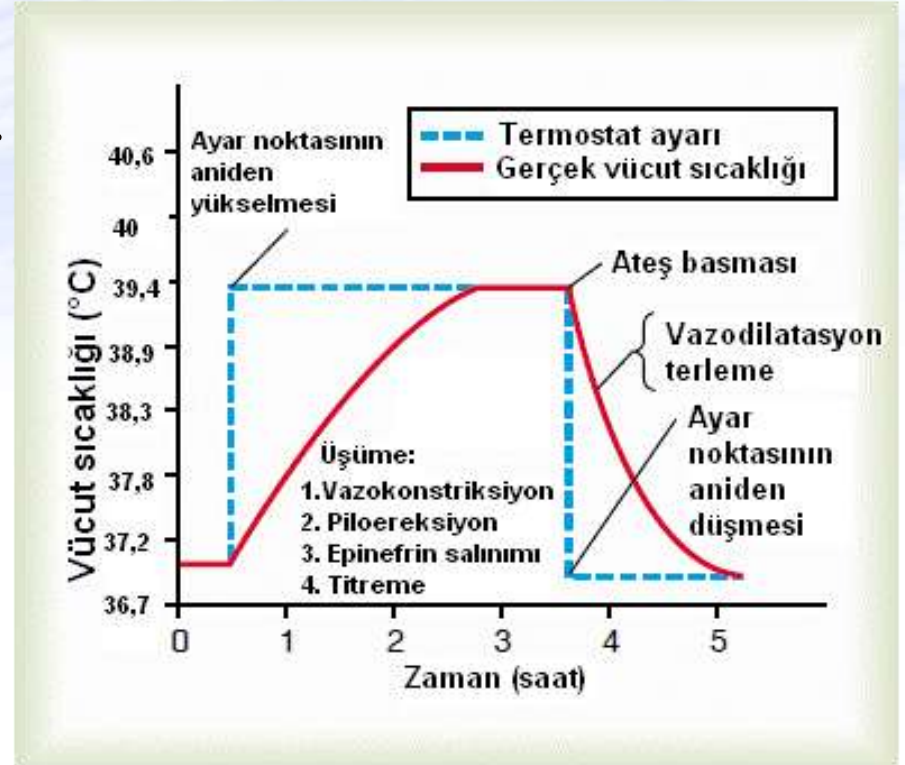
Ateş

- Merkezi ayar noktasının daha yüksek bir değere ayarlanması sonrası vücut sıcaklığının normal değerler üzerinde olmasıdır. **Hipertermi** ise ayar noktasında herhangi bir değişiklik olmaksızın vücut ısısının yükselmesidir.
- Bir çok protein, protein yıkım ürünü, bakterilerin salgıladığı lipopolisakkarit yapısındaki toksinler ve endotoksinler hipotalamustaki termostatin ayar noktasını yükseltir. Bu etkiyi yaratan maddelere **pirojenler** denir. Hastalıklarda ateş yükselmesi bakterilerin salgıladığı veya hasarlı dokulardan salınan pirojenler nedeniyle olur.
- Pirojenler lökositler, makrofajlar ve büyük granüllü katil lenfositler tarafından fagositiz edilir. Bu hücreler bakteri ürünlerini sindirdikten sonra kana **IL-1**, **TNF- α** ve **IL-6** gibi **endojen pirojenler** salgırlar. Bunlar beyne ulaşınca lokal endotel hücreleri ve mikroglia hücrelerinden PGC_2 salınımına yol açıp, 8-10 dakikada hipotalamustaki termostatin ayar noktasını yükselterek ateş oluşumuna neden olurlar (**Humoral hipotez**). Aspirin, ateş düşürücü etkisini prostoglandin sentezini engellemesine borçludur. Enflamasyon sırasında aktive olan komplement sistemi üyesi **C5a** karaciğerde PGC_2 salınımını uyarır. PGC_2 ise n. vagus üzerinden hipotalamusu uyatarak ateş oluşturur (**nöral hipotez**).



Ateşli Durumların Özellikleri

- **Titreme:** Pirojenler tarafından hipotalamustaki ayar noktasının aniden yükseltilmesi vücut ısısının bu yeni noktaya getirilmesini gerektirir. Ancak bu saatler alır.
- **Ateş basması (Kriz):** Eğer ateşe neden olan etken aniden uzaklaştırılırsa termostatin ayar noktası aniden normal düzeyine iner. Bu durum anteriör hipotalamusun preoptik alanının aşırı ısıtılmasında olduğu gibi etkiler oluşturur. Aşırı sıcaklık hissi, yoğun terleme ve yaygın vazodilatasyon nedeniyle sıcak ve kızarıklık bir deri görüntüsü oluşur.



Sıcak Çarpması

- İnsanlar kuru havada 54 °C'lik sıcaklığa saatlerce dayanır. Öte yandan %100 nemli havada 34 °C'ye çok fazla dayanamaz ve ölür. Kişi ağır bir iş yapıyorsa sıcaklık çarpmasına yol açacak kritik çevre sıcaklığı 29-32 °C'dir.
- Vücut ısısı 41-42 °C'ye çıkınca sıcak çarpması görülebilir. Baş dönmesi, karın ağrısı, kusma, deliryum ve en sonunda bilinç kaybı oluşur. Bu semptomların bir çoğu akut su ve elektrolit kaybına bağlı **dolaşım şokundan** ileri gelir. Ancak hiperterminin kendisi de beyne büyük ölçüde zarar verir. Bu nedenle ateş çarpmasına uğrayan kişi derhal soğuk su banyosuna alınmalı veya süngerle yada soğuk su püskürtülerek vücut ısısı düşürülmeye çalışılmalıdır.
- Tropikal bölgelerde yaşayan veya yüksek sıcaklık ve %100 nem derecesine sahip madenlerde çalışan insanlarda yüksek ısıya aklimatizasyon şekillenmiştir. Aklimatizasyon 1-3 haftada oluşur. Bu kişilerde terleme hızı artar, plazma hacmi artar, aldosteron salgısının artmasına bağlı ter ve idrarla tuz kaybı azaltılır.

Aşırı Soğukta Kalma

- Aşırı soğuğa yada buzlu suya uzun süre maruz kalan canlılarda derhal müdahale edilmeyi takdirde 20-30 dakika içinde kalp durması veya fibrilasyon sonucu ölüm şekillenir. Bu sırada vücut sıcaklığı normal değerlerin altına (hipotermi) inerek 25 °C'ye kadar düşebilir.
- Vücut ısısı 29,4 °C'nin altına düşünce hipotalamusun sıcaklık düzenleme yeteneği kaybolur. Hatta 34 °C'de bile hipotalamusun bu yeteneği büyük ölçüde bozulur.
- Aşırı soğukta kalma sonrası vücutta (özellikle el-ayak parmakları, kulak memeleri) donuklar şekillenebilir. Donuk olayında hücre sitoplazmasında buz kristalleri oluşur, dolaşım bozukluğu ve lokal doku hasarı oluşur. Buzun çözülmesi sonrası haraplaşan dokularda kangren şekillenir ve bu durumda bu bölgelerin cerrahi olarak uzaklaştırılması zorunlu olabilir.
- Dokuların ısısı donma derecesine inince damar düz kasları soğüğün etkisiyle paralizye uğrar, gelişen vazodilatasyon ile deride aniden kızarma şekillenir. Aslında bu mekanizma dokuları donmaya karşı koruyan vücudun son müdahalesidir.
- Bazen de tıpta soğüğün etkisinden istifade edilir. Kuvvetli sedatifler ile hipotalamusun termostatik etkinliği baskılanarak yapay hipotermi oluşturulur. Vücut ısısı uzun süre 32 °C'de tutularak vücutta istenilen operasyonlar gerçekleştirilir.

Hibernasyon (Kış Uykususu)

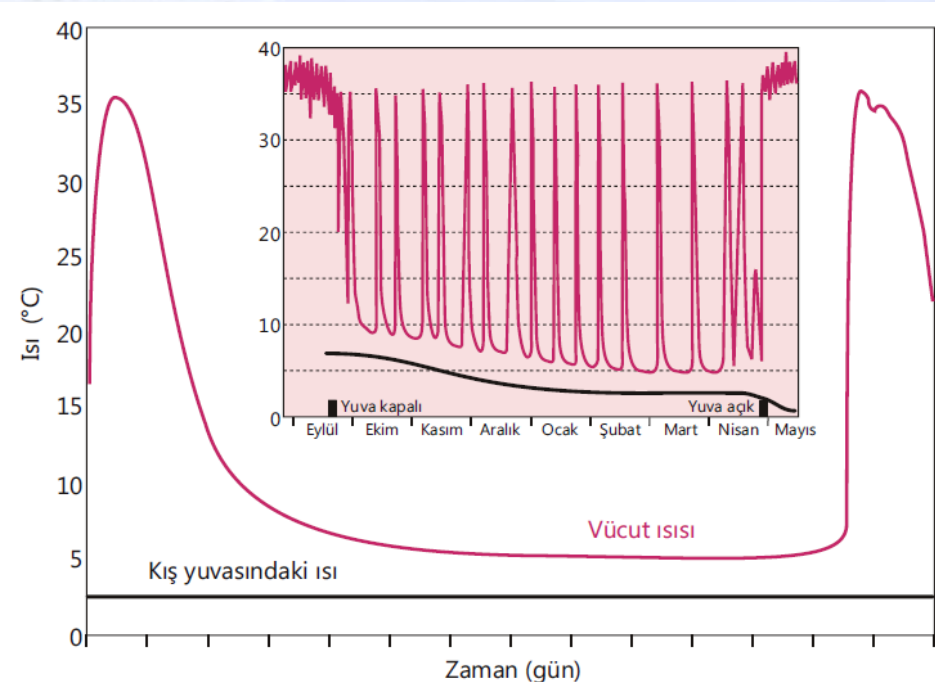
- Çevre ısısı düştükçe poikiloterm hayvanlarda oksidasyon olayları azalmakta, hayvanlar hareketsiz hale gelmektedir. Hibernasyon (kış uykusu) denilen bu olay bazı memeli hayvanlarda da (**tarla sincabı, tarla faresi, tarla sıçanı, kirpi, köstebek, porsuk, yarasa**) görülmektedir. Hibernasyon hayvanların soğuk aylarda hayatta kalabilmeleri için gerekli olan adaptasyon yollarından biridir.



- Derin kış uykusunda çekirdék vücut ısısı dış ortam ısısına yaklaşır, kalp atım sayısı belirgin şekilde azalır, örneğin tarla sıçanında dakikada 4-6 olur (gazın bu değer dakikada 80-140'dır). Aynı şekilde solunum da belirgin olarak yavaşlar, sıklıkla çok uzun solunum duraklamalarını takip eden birkaç derin solunum görülür (**Çeyne-Stokes solunumu**). Hatta bazı tarla sincaplarında merkezî vücut ısısı donma noktasının altına inebilir. Buz oluşumu için gerekli kristalizasyon çekirdékleri olmadığından hayvanların vücut sıvıları donmaz (**süper soğuma**).

Hibernasyon (Kış Uykusu)

- Gerçek hibernantlar torpor evresinde enerji metabolizmalarını vücut büyüklüğüne bağlı olarak dinlenme değerinin yirmide biri ile yüzde birine kadar düşürebilirler. Ancak her şeye rağmen kış uykusunun kesintisiz olmadığı, aralarında düzenli uyanma süreçlerinin bulunduğu daha kısa bölümlerden oluştuğu unutulmamalıdır. Uyanma ve uyanık olma fazlarındaki yüksek enerji maliyetleri de göz önüne alındığında tüm kış sezonu için yine de %85-95 oranında enerji tasarrufu söz konusudur. Hayvanların neden düzenli olarak uyanmak zorunda olduğu sorusu ise bugüne dek kesin biçimde açıklığa kavuşturulamamıştır.



Bir tarla sıçanının tek bir kış uykusu bölümünde (büyük resim) ve kış uykusu sezonunun tamamında (üstteki pembe şekil) vücut ısısının seyri. Kış süresince düzenli olarak vücut ısısının 2°C'ye kadar düştüğü 12 günlük torpor evreleri ve bunu izleyen ortalama 28 saatlik normotermik evreler görülür. Bu normotermik evrelerde de vücut ısısı yaz mevsiminde olduğundan 2-3 °C daha düşüktür.

Hibernasyon (Kış Uyukusu)

- Bazı araştırmacılara göre ayılar gerçek hibernant değildirler. Örneğin Amerikan ayılarında inaktif dnmler uzun zaman sürmektedir. Bu periyot boyunca hayvanlarda defekasyon, rinasyon, içme, yeme yeme olmasa bile vücut ısısı yaklaşık 6-8 °C düşmektedir (vücut ısısı sadece 30-32 °C'ye kadar düşer .
- Oysa gerçek hibernantlarda bu ısı düşüşü yaklaşık 20-30°C'dir. Bunun kışın yatan ayılar için biyolojik bir koruyuculuğu olduğuna inanılmaktadır. Ayılar vücut ısılarını çok az düşürdükleri ve kış boyunca sıcakkanlı kaldıkları için gerçek hibernant sayılmamaktadırlar (**kış istirahati**).



Torpor

- **Torpor (İzterji, uyuşukluk):** Bazı küçük memliler, kışlı hayvan ve kuşlarda (zbabil, sinek kuşu) görülen, metabolik süreçler ile enerji harcanmasını azaltıp tüm vücut fonksiyonlarını minimuma düşüren uyuşuklukla karakterize fizyolojik uyku durumudur. Besin ve su kıtlığında hayvanın birkaç günden birkaç haftaya kadar hayatta kalmasını sağlar (açlık uyuşukluğu, günlük uyku uyuşukluğu, açlık veya soğuk uykusu).
- Fizyolojik olarak kış uykusuna benzer, ancak soğuk, ışık azlığı ve hormonal mekanizmalar burada etkili değildir. Sadece besin yetersizliği ve buna bağlı kilo kaybı etkilidir. Kış uykusunda olduğu gibi vücut sıcaklığı radikal bir şekilde düşürülmez. Ortam uygun olunca hayvan kendiliğinden uyanır. Hayvan belirli bir süre için kendi isteğiyle fizyolojik bir hazırlık yapmaksızın torpora girer. Kış uykusu ise zorunlu ve ön hazırlıkların yapıldığı (yağ depolama, hormonal değişiklikler, vs) bir süreçtir.



Cüce maki: Kitlik zamanlarında geceleri torpor yaparak %40 enerji tasarrufu sağlar



Sinek kuşu: Çok yüksek bir metabolik hızı sahiptir. İhtiyaçlı olan enerjiyi tasarruf etmek için çok soğuk gecelerde torpor yaparak vücut sıcaklığını 40 C°den 20 C°ye düşürür ve birkaç saatlikte olsa %90 enerji tasarrufu sağlar

Torpor ve kış uykusu kontrolsüz hipotermiler değildir, bilakis düşük sıcaklıklarda düzenlenen tasarruf mekanizmalarıdır!

Təşəkkürlər

