

+ Überblick

Energiehaushalt
von Winterschläfern

Blutzuckergehalt
von Winterschläfern

Fettstoffwechsel
von Winterschläfern

Mineralstoffwechsel
im Winterschlaf

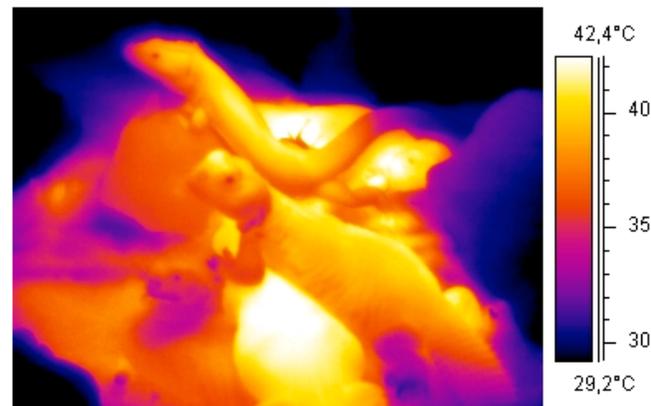
Stoffwechselaktivität & Winterschlaf

+ Was ist Winterschlaf oder Hibernation?



- Winterschlaf stellt einen jahreszeitlich bedingten Rhythmus dar, dem viele **endo-** bzw. **homoiotherme** Lebewesen unterworfen sind.
- Tiere wie z.B. Igel verringern ihre Körpertemperatur, Herzschlag und die Atemfrequenz wodurch sie einen längeren Zeitraum ohne Nahrung überleben können.

- Endotherme Lebewesen erzeugen durch ihren Stoffwechsel eine konstante / gleichbleibende Körpertemperatur; sie sind in der Regel: **homoiotherm** = gleichwarm.
- Die Körpertemperatur ektothermer Lebewesen wird durch die Umgebungstemperatur bestimmt, d.h. sie sind i. d. R. **poikilotherm** = wechselwarm.



Bildquelle: WikiCommons

+ Winterschlaf am Beispiel der Fledermaus

- Vorbereitung durch Aufsuchen geeigneter Überwinterungshöhlen
- Unterschreitung der artspezifischen, kritischen Temperatur über mehrere Tage und Verkürzung der Tageslänge leiten den Winterschlaf ein.
- **Hypothermie:** wird die kritische Körpertemperatur unterschritten, so folgt die Körpertemperatur passiv der Außentemperatur bis zu einem artspezifischen Minimum.
- Das Tier legt Atempausen ein (**Cheyne-Stokes-Atmung**) & verringert die Herzfrequenz (**Bradykardie**).
- Sauerstoffverbrauch, Harnproduktion und Blutzuckerspiegel sinken.



Bildquelle: Sächsisches Landesamt

+ Regelmechanismen während dem Winterschlaf

- Wärmesensible Nervenzellen im Hypothalamus (Zwischenhirn) regulieren die Körpertemperatur.
- Auf niedrigstem Stoffwechsell-niveau wird ein Gleichgewicht zw. Energiebedarf und -versorgung aufgebaut.
- Expression bestimmter Proteine (z.B. HIT „Hibernation inducing Trigger“).
- Biochemische Veränderung regulatorischer Proteine z. B. durch Phosphorylierungen.



Das Hormon **Leptin** ist ein bedeutender Regulator dieser Umstellung, da es bestimmt, ob und in welchem Maß der Körper Fettreserven anlegt.

- Die Energieversorgung wird von überwiegend Kohlehydrate auf überwiegend Fette umgestellt.

+ Energiehaushalt

Energiehaushalt
von Winterschläfern

Blutzuckergehalt
von Winterschläfern

Fettstoffwechsel
von Winterschläfern

Mineralstoffwechsel
im Winterschlaf

+ Energetische Betrachtung von Winterschläfern

- VAN'T HOFF'sche oder RGT-Regel:

„Chemische Reaktionen laufen bei einer um 10 K erhöhten Temperatur doppelt bis viermal so schnell ab“

- Der Sommergrundumsatz eines Winterschläfers wird nach dieser Regel wie folgt ermittelt:

$$\text{kCal/24 Std.} = 63,6 P^{0,62} \quad (*)$$

(*) P = Körpergewicht des Tieres in kg

- Für den Winterschlaf ergibt sich folgende Gleichung:

$$\text{kCal/24 Std.} = 2,04 P^{0,92}$$

- Betrachtet man also nur die minimale Wärmeproduktion eines Tieres, so verhält sich diese tatsächlich gewichtsproportional.



Die Körpertemperatur eines Winterschläfers fällt also umso höher aus, je größer das Gewicht des Tieres !!

- Die spez. Körpertemperatur der jeweiligen Tierart beim Winterschlaf wird in diesem Ansatz jedoch vollkommen vernachlässigt.

+ Glycogenreserven im Winterschlaf

- These der biologische Ähnlichkeit
„Der biologische Grundumsatz muss als eine „Leistung“ im physikalischen Sinne verstanden werden“
LAMBERT & TEISSIR , 1927
- Wärmeproduktion und Wärmeabgabe hängen damit einerseits vom Van't Hoff'schen Temperaturkoeffizienten ab – andererseits muss die physikalische Wärmeabstrahlung nach NEWTON berücksichtigt werden.
- Ein gleichwarmes Tier wird daher im Winterschlaf wechselwarm.



Was bedeutet diese Aussage für die energetische Betrachtung?



Nach der Hypothese von LAMBERT & THEISSIR verhalten sich gleiche Längen bei „ähnlichen Tieren“ wie gleiche Zeiten (zum Beispiel die Dauer der Diastole des Herzens) - ihr Verhältnis ist gleich.

- Je kleiner der Winterschläfer ist, desto größer ist seine relative Strahlungsfläche (seine Körperoberfläche) im Verhältnis zu seinem Gewicht
- Die Wärmeproduktion, die vom Van't Hoff'schen Koeffizienten abhängt fällt dann sehr klein aus und das Tier wird sehr kalt.

+ Blutzuckerspiegel

Energiehaushalt
von Winterschläfern

Blutzuckergehalt
von Winterschläfern

Fettstoffwechsel
von Winterschläfern

Mineralstoffwechsel
im Winterschlaf

+ Der Blutzuckergehalt winterschlafender Tiere

- Insulin bewirkt vermehrten Zucker- und Kaliumstrom in die Zellen, Glykogen- und Fettbildung aus Glukose, verstärkte Zuckerausnutzung im Gewebe und infolgedessen Unterzuckerung (**Hypoglykämie**).
- Insulin führt zudem zum Anstieg der Alkalireserve des Blutes und zur Vergrößerung des Ruhepotentials der Muskelzellen.
- Während dem Winterschlaf zeigen die insulinproduzierenden B-Zellen vorherrschende Aktivität, was zu einer Unterzuckerung des Tieres führt.



- Beim Erwachen steigt zunächst der Adrenalinpiegel, was zur Erhöhung des Blutzuckers über das normale Maß führt. (**Hyperglykämie**).



Hypoglykämie ist also charakteristisch für den Winterschlaf.



+ Fettstoffwechsel

Energiehaushalt
von Winterschläfern

Blutzuckergehalt
von Winterschläfern

Fettstoffwechsel
von Winterschläfern

Mineralstoffwechsel
im Winterschlaf

+ Der Fettstoffwechsel winterschlafender Tiere

Respiratorischer Quotient (RQ)

- Volumenverhältnis von abgegebenem Kohlendioxid (CO_2) - dem hauptsächlichsten Endprodukt des Stoffwechsels - und verbrauchtem Sauerstoff (O_2), gemessen innerhalb einer bestimmten Zeit.

$$\text{RQ} = \frac{\text{Volumen abgegebenes CO}_2}{\text{Volumen verbrauchter O}_2}$$

- Bei der Verbrennung reiner Kohlenhydrate ist der $\text{RQ} = 1,00$ nach folgender Gleichung:



- Bei der Fettverbrennung beträgt der $\text{RQ} 0,7$; bei Verbrennung von Protein $0,8$.

- Bei Winterschläfern beträgt der RQ -Wert $0,7$, d.h. er deckt seinen Energiebedarf mit Fettreserven.
- Vor dem Aufwachen erwärmt sich das Tier durch intensive, chemische Thermogenese. Diese findet in dem protoplasma-, fett- und mitochondrienreichen braunen Fettgewebe zwischen den Schulterblättern statt, wodurch sich zunächst die vordere Körperhälfte und der Kopf erwärmen.

Der RQ gibt über die Art der oxidierten Nahrungsstoffe Auskunft!

+ Mineralstoffwechsel

Energiehaushalt
von Winterschläfern

Blutzuckergehalt
von Winterschläfern

Fettstoffwechsel
von Winterschläfern

Mineralstoffwechsel
im Winterschlaf

+ Weitere stoffwechselphysiologische Auffälligkeiten

- Im Winter ist bei Winterschläfern die Kalzium-Bilanz negativ.
 - Das Verhältnis von Kalzium und Kalium ist in den Wintermonaten im Blutserum deutlich erhöht, da Kalzium aus den Zellen austritt.
 - Das den Knochen auf diese Weise entzogene Kalzium wird nicht durch vorherige Speicherung von Kalzium ausgeglichen, weswegen sich in den Wintermonaten eine Osteoporose einstellt.
 - Im Frühjahr verschwindet diese Osteoporose, da die Kalzium-Bilanz vom Tier ausgeglichen wird.
 - Auch der Magnesiumspiegel steigt in den Wintermonaten im Blutserum stark an.
- Mg-Salze haben eine stark temperaturherabsetzende und narkotisierende Wirkung.
- ATP-Synthese, Glykoseverbrauch und Milchsäurebildung der Nervenzellen winterschlafender Nager liegen höher als beim homoiothermen Nager.

Erläuterungen zu Folie 2

Der Winterschlaf ist eine viele Wochen anhaltende Schlafperiode in einem frostsicheren Zufluchtsort. Viele Säugetiere, insbesondere in gemäßigten und polaren Klimazonen nehmen ihn zum Überleben der nahrungsarmen, kalten Zeit ein. Je nach Tierart können bei den Winterschläfern sehr unterschiedliche körperliche Veränderungen auftreten. Allen gemeinsam sind jedoch eine erhebliche Senkung der Stoffwechselaktivität, sowie eine Verlangsamung von Atmung und Herzschlag.

Das Herz des Backenhörnchens schlägt in dieser Phase nicht 200- bis 300-mal pro Minute wie im Sommer, sondern nur 20- bis 30-mal. Fledermausherzen schlagen normal 240 bis 450 Schlägen pro Minute, im Winterschlaf hingegen noch 18 bis 80 mal. Auch die Atempausen können bei Winterschläfern bis zu 60 min betragen, bei Fledermäusen sogar bis zu 90 min, danach atmet das Tier mehrmals in schneller Folge. Die Körpertemperatur fällt fast auf Außentemperatur ab, wodurch der Energieverbrauch des Tieres enorm sinkt. Wird eine bestimmte Mindesttemperatur erreicht, tritt die Wärmeregulation wieder in Kraft, wobei unter Energieverbrauch entweder die Körpertemperatur auf dieser Höhe gehalten wird oder das Tier die Normaltemperatur annimmt und sich aktiv betätigt. Bei Fledermäusen funktioniert diese Selbstregulierung nicht, so dass diese bei Temperaturen unterhalb des Blutgefrierpunktes (ca. -4°C) erfrieren. Durch die massiven körperlichen Veränderungen ist es Tieren möglich monatelang in einem schlafähnlichen Zustand verharren, ohne Nahrung aufzunehmen. Sie zehren in dieser Zeit von ihrer im Herbst angefahrenen Fettschicht oder von gesammelten Vorräten. Dabei ist der Winterschlaf kein anhaltender Tiefschlaf. Vielmehr verläuft er in wechselnden Abschnitten von langen Ruhe- und kurzen Wachphasen. In letzteren sind die Tiere durchaus aktiv, setzen mitunter Kot und Urin ab oder wechseln den Schlafplatz.

Die Bereitschaft zum Winterschlaf entsteht einerseits durch innere (endogene) Faktoren wie beispielsweise die Umstellung des Hormonhaushalts, andererseits spielen äußere (exogene) Faktoren, insbesondere sinkende Außentemperaturen und Licht (kürzere Tage, weniger intensives Licht im Winter) eine Rolle. Der Winterschlaf wird hauptsächlich durch den Hypothalamus gesteuert und bewirkt eine reversible Veränderung von Warmblütlern (homiothermen) zu Kaltblütlern (poikilothermen).

Erläuterungen zu Folie 4

Die ob/ob-Maus ist Träger des Obesity(ob)-Proteins, welches später den Namen Leptin erhielt. Die Arbeitsgruppe Friedmann identifizierte 1994 bei den genetisch fettsüchtigen homozygoten ob/ob-Mäusen als einzigen Defekt eine Punktmutation im ob-Gen. Auf Grund dieser Spontanmutation wird Leptin nicht mehr synthetisiert. Zur Verifizierung wurde ob/ob-Mäusen synthetisch produziertes Leptin verabreicht, was einerseits zu gesteigerter körperlicher Aktivität und andererseits zu reduzierter Nahrungsaufnahme führte, verbunden mit einer Körpergewichtsnormalisierung.

Hibernation Induction Trigger (HIT) ist ein Hormon, das bei Bären gefunden wurde, die Winterruhe halten. Die Substanz ermöglicht den Bären, bis zu sechs Monate lang im Dämmerzustand in ihrer Höhle zu verbringen, ohne dass sie dabei fressen, Urin oder Kot abgeben. Auch scheinen sie bei ihrer Winterruhe keinen Muskelschwund zu erleiden. Ein Mensch dagegen würde bei einer ähnlich langen Ruhephase 90 Prozent seiner Muskelkraft einbüßen. Forscher sind dabei, mit Hilfe des Hormons dem menschlichen Muskelschwund im Krankbett entgegenzuwirken. Doch nicht nur die Muskelkraft bettlägeriger Patienten soll durch das Hormon erhalten werden, auch für Astronauten könnte die Substanz von Interesse sein, weil diese bei längerer Schwerelosigkeit ebenfalls Probleme mit ihrer Muskulatur haben. HIT scheint auch die Heilung von Unfallverletzungen zu beschleunigen, die Lebensdauer von Spenderorganen zu erhöhen, die Osteoporose zu mindern und von günstigem Einfluss auf Diabetes-Patienten zu sein.

Erläuterungen zu Folie 9

Blutzuckerkurve und Kaliumkurve verhalten sich beim winterschlafenden Hamster beispielsweise spiegelbildlich: Das Übergewicht in der ersten Phase des Winterschlafs senkt den Blutzucker so stark, die Ionenpumpen der Zellen versagen und das Kalium die Zelle verlässt - der Kaliumspiegel im Blutserum steigt also an.

In der zweiten Phase des Winterschlafes (in der auch die Muskeltätigkeit wieder einsetzt) verändert sich das Energieangebot in den Zellen dahingehend dass Kalium wieder aufgenommen wird. Das Hormon Insulin bewirkt diesen Einstrom von Kalium in die Zelle.

Insulin bewirkt gleichzeitig den Einstrom von Zucker in die Zelle und verstärkt die Zuckerausnutzung im Gewebe (was zu einer kurzzeitigen Unterzuckerung = Hypo-glykämie führt). Die Fett- und Glykogenbildung erfolgt in dieser Zeit fast ausschließlich aus Glukose. Diese Vorgänge bewirken einen Anstieg der Alkalireserven im Blut und erhöhen das Ruhepotential der Muskelzellen.

Quelle: Charles Kayser, „Stoffwechsel und Winterschlaf“

Weitere Quellen

Charles Kayser, „Stoffwechsel und Winterschlaf“

Wikipedia

Martin Eisentraut, „Der Winterschlaf mit seinen ökologischen und physiologischen Begleiterscheinungen“, Jena 1956

Paul Raths, „Mineralhaushalt und hormonale Aktivität im Winterschlaf“

<http://www.hyperlab.uni-muenster.de/>

<http://www.natur-lexikon.com/>

<http://www.tiere-online.de/>

<http://www.gartenfreunde.de/>

<http://www.wellermanns.de/>

<http://www.nabu.de/>

<http://www.birds-online.ch>

<http://www.dievoegeleuropas.de/>

<http://www.vogelruf.de/>

Linksammlung (Lehrer)



CONATEX-DIDACTIC Lehrmittel GmbH - Rombachstr. 65 - D-66539 Neunkirchen
Kundenservice (kostenfrei): 00800 0266 2839 (D, CH, A, L) oder 0049 (0) 6821 - 94 11-0
www.conatex.com - email: didactic@conatex.com

Weitergabe und Vervielfältigung dieser Publikation oder von Teilen daraus sind ohne die ausdrückliche schriftliche Genehmigung durch die Conatex Didactic Lehrmittel GmbH nicht gestattet.