

Thermoregulation

(1) Grundlagen

- Körperkerntemperatur des Menschen (umfasst das Innere des Rumpfes und des Kopfes) = 37 °C: gleichwarm (**homiotherm**)
- Umgebene Schale des Körperkerns ist wechselwarm (**poikilotherm**), d.h. sie folgt in bestimmtem Ausmaß Temperaturschwankungen der Umgebung
- ➔ Beeinträchtigung der körperlichen Leistungsfähigkeit vor allem im Ausdauerbereich bei Temperaturen über 35 °C und unter 10 °C (im Wasser)
- Um die Temperatur des Körperkerns soweit wie möglich konstant zu halten verfügt der Mensch über die Fähigkeit zur Temperaturregulation. Zu diesem Zweck besitzt der Mensch zwei Gruppen von Temperaturrezeptoren:
 - Die eine Gruppe befindet sich im Zwischenhirn und kontrolliert die Temperatur des Blutes, das durch diesen Hirnabschnitt fließt
 - Die andere Gruppe sind die Wärme- und Kälterezeptoren der Haut, die Erwärmung und Abkühlung der Körperoberfläche (Schale) auf nervösem Weg an das Zentrum für die Temperaturregulation im Zwischenhirn melden

(2) Mechanismen der Wärmebildung

- Wärmebildung entsteht durch die Verbrennung von Sauerstoff im Körper
- Wärmebildung steht dem Körper zur Regulation der Körpertemperatur zur Verfügung
- Wärmebildung steigt bei körperlicher Aktivität an, bei Ruhe sinkt sie ab
- Hyperthermie = zu hohe Wärmebelastung (Wärmestau) → ab ca. 40° C KKT
- Hypothermie = zu starkes Absinken der Körpertemperatur → ab ca. 32° C KKT
- Möglichkeiten des Körpers dem Absinken der Körpertemperatur entgegenzuwirken:

1) Die Steigerung des Muskeltonus:

- Führt zur Erhöhung des Spannungszustands der Muskulatur und dadurch zu vermehrter Bildung von Wärme. Bei weiter absinkender Umgebungstemperatur verstärkt sich der Muskeltonus und es tritt das „Kältezittern“ ein

2) Das „Kältezittern“:

- Steigerung der Sauerstoffaufnahme um das Fünffache und damit Steigerung der einhergehenden Wärmewirkung um das Dreifache
- Sehr unökonomische Maßnahme der Thermoregulation, da durch das Zittern auch die Hautdurchblutung zunimmt und gleichzeitig die Wärmeabgabe über die Haut ansteigt
- Die Willkürmotorik ist beim „Kältezittern“ beeinträchtigt

3) Die „chemische Thermogenese“:

- Für den erwachsenen Menschen eher unbedeutend
- Verbrennung des braunen Fettgewebes, das eine hohe Kapazität der aeroben Energiebereitstellung besitzt. Der Stoffwechsel wird gesteigert
- Bei Kälte wird die Wärmebildung in diesem Gewebe über den Sympathicus aktiviert. Auf diese Weise wird dem Absinken der Körperkerntemperatur im Rückenmarksbereich und im Thorax, wo das braune Fettgewebe liegt, entgegengewirkt

(3) Mechanismen der Wärmeabgabe

1) Die Wärmeabgabe durch Konduktion (Wärmeleitung):

- Transport von Wärmeenergie aufgrund molekularer Vorgänge in einem ruhenden Medium. Dabei übertragen die schnelleren Moleküle des wärmeren Bereichs kinetische Energie auf die im Mittel langsameren Moleküle des kälteren Bereichs
- Wärmeleitung zwischen den Zellen verschiedener Körperteile

2) Die Wärmeabgabe durch Konvektion:

- Transport von Wärmemengen durch strömende Flüssigkeiten oder Gase. Im Gegensatz zur Wärmeleitung ist die Konvektion ein Vorgang, bei dem erheblich größere Wärmemengen übertragen werden können
- Wärmeabgabe durch das strömende Blut vom Kern an die Haut. Blut besitzt eine große Wärmekapazität und bietet sich daher als Transportmittel zwischen Körperkern und Haut geradezu an
- Extremitäten sind eine bevorzugte Stelle der Wärmeabgabe, da sie sehr viel Oberfläche besitzen
- Die Fähigkeit der Wärmedämmung (= die Fähigkeit des Körpers den Durchgang der Wärme zu behindern) wird durch die Hautdurchblutung geregelt:
 - Bei Kälte wird die Hautdurchblutung gedrosselt
 - Bei Wärme wird die Durchblutung der Haut gefördert und dadurch der Wärmedurchgang erleichtert

3) Die Wärmeabgabe durch Wärmestrahlung:

- Übertragung von Wärmeenergie durch elektromagnetische Wellen
- Die durch Wärmestrahlung vom Menschen abgegebene Wärmemenge nimmt mit steigenden Hauttemperaturen rapide zu. D.h., je höher die Hauttemperatur ist, desto mehr Wärme wird durch Wärmestrahlung abgegeben
- Problem der Abgabe durch Wärmestrahlung über die Haut: Große Fensterflächen in den Sport- und Schwimmhallen im Winter meiden!

4) Die Wärmeabgabe durch Verdunstung:

- Möglichkeit der Wärmeabgabe von der Haut zur Umgebung
- Neben den Atemwegen kann die Wasserabgabe durch die Schweißdrüsen und durch die nicht wasserdichte Haut zwischen den Schweißdrüsen erfolgen
- Die Schweißabsonderung aus den Schweißdrüsen ist ein Sekretionsvorgang, der vom sympathischen Nervensystem ausgelöst wird

- Alles in allem sind also Konduktion, Konvektion, Strahlung und Verdunstung für die gesamte Wärmeabgabe pro Flächeneinheit Körperoberfläche an die Umgebung verantwortlich. Allerdings bestimmen äußere Faktoren, wie z.B. Außentemperatur, Luftfeuchtigkeit, Wind und das Vorhandensein von Strahlungswärme (Heizkörper), in welchem Ausmaß die einzelnen Faktoren für die Wärmeabgabe wirksam werden

(4) Temperaturregulation bei körperlicher Aktivität

- Körperliche Aktivität führt zur Erhöhung der Muskeltemperatur, zu einer Erhöhung der Körperschalentemperatur und somit auch zur Erhöhung der Körperkerntemperatur
- Der Organismus kann jedoch die gesamte Wärme nicht über die Mechanismen der Wärmeabgabe beseitigen. Deshalb steigt die Körperkerntemperatur an. Dieser Vorgang wird als „Belastungs-Hyperthermie“ bezeichnet
- Eine körperl. Belastung bei steigender Umgebungstemperatur führt zu einer Verschlechterung der Bedingungen der Wärmeabgabe mittels Konvektion und Strahlung
- Somit muss die Wärmeabgabe über die Verdunstung ansteigen. D.h., dass die Schweißsekretion ebenfalls ansteigen muss
- Eine Erhöhung der Schweißproduktion führt zu immer größer werdendem Wasserverlust
- Durch Schwitzen verliert der Körper Kochsalz (Gefahr: Salzdefizit)

(5) Versagen der Hitzetoleranz

- Wenn die im Körper produzierte oder ihm von außen zugeführte Wärmemenge (Sonneneinstrahlung) über die Mechanismen der Wärmeabgabe nicht abgeführt werden kann, droht eine passive Überwärmung des Organismus (= **Hyperthermie**)
- Die Regelmechanismen bleiben bis ca. 40,5 °C Körperkerntemperatur funktionsfähig. Die Obergrenze, ab der die Lebensfähigkeit des menschlichen Organismus ernsthaft bedroht ist, beträgt 42 °C
- Leistungsmindernde Folgezustände auf Hitzeeinwirkung:

1) Der Hitzschlag:

- **Ursache:** Direkte Schädigung des Nervensystems durch hohe Körperkerntemperaturen im Bereich des Temperaturregelzentrums im Zwischenhirn
- Versagen der Schweißproduktion (ab 40 °C) als Möglichkeit der Wärmeabgabe; als Folge Bewusstlosigkeit (ab 41,5 °C) und anschließender Tod (ab 43,5 °C) → **akute Lebensgefahr!**
- **Anzeichen:**
 - Gereiztheit und Aggressivität im Vorstadium
 - später Desorientierung und Apathie
 - starrer, glasiger Blick
 - schwankender, schlecht koordinierter Gang
 - meist trockene Haut

- leicht unterdrückbarer Puls, Kollapsgefahr!
- Bewusstlosigkeit

➤ Erstbehandlung:

- Flachlagerung in kühler Umgebung mit angehobenem Kopf
- Bespritzen der Haut mit Wasser
- **Dringende intensivmedizinische Behandlung → Notarzt**

2) Die Hitzerschöpfung bzw. der -kollaps:

- **Ursache:** Kreislaufversagen mit Blutdruckabfall und Bewusstlosigkeit
- Hitze führt zu einer starken Zunahme der Hautdurchblutung
- Die Folge kann eine Diskrepanz zwischen der Kapazität der Gefäße und der zirkulierenden Blutmenge sein. D.h., es steht nicht mehr genügend Blutvolumen zur Versorgung des Gehirns zur Verfügung
- Diese Form des Kreislaufversagens wird gefördert durch:
 - längeres Stehen in heißer Umgebung (zusätzliche Verlagerung von Blutvolumen in die Beine)
 - körperliche Aktivität (Vasodilatation = weite Muskelgefäße)
 - Verminderung der zirkulierenden Blutmenge (durch Flüssigkeitsverluste)
- **Erstbehandlung:**
 - „Schocklagerung“ → Rückenlage mit erhöhten Beinen
 - Schattiger Ort
 - Flüssigkeitsgabe

3) Der Hitzekrampf:

- **Ursache:** Sauerstoffmangel der Muskelzelle bei starker körperlicher Belastung und gleichzeitig bestehenden Wasserdefizit; zusätzlich oft auch Magnesiummangel
- Bergläufe, harter Untergrund und holprige Wege provozieren diese Krämpfe (z.B. Wadenkrämpfe)
- **Erstbehandlung:**
 - Dehnung der betroffenen Muskulatur
 - Streichmassage
 - reichliches Trinken, Kühlung der betroffenen Muskulatur

4) Der Sonnenstich:

- **Ursache:** Längere direkte Sonneneinstrahlung des unbedeckten Kopfes
- Reizung der Hirnhäute durch verstärkten Blutandrang im Schädelinneren
- **Anzeichen:**
 - Kopfschmerz
 - Schwindel
 - Übelkeit und Erbrechen
 - Ohrensausen
 - Bewusstlosigkeit
- **Erstbehandlung:**
 - Flachlagerung mit erhöhtem Kopf in kühler Umgebung
 - Kalte Umschläge im Kopf- und Nackenbereich
 - Bei Bewusstseinseintrübungen → **Notarzt!**

➔ **Generelle Erste Hilfemaßnahmen bei Hitzeunfällen:**

- Patienten in den Schatten bzw. kühlen Raum legen
Ziel: Drosselung der Wärmezufuhr und Erhöhung der Wärmeabgabe
- Haut mit Wasser bespritzen
Ziel: Förderung der Wärmeabgabe durch Verdunstung
- für Luftbewegung über dem Körper sorgen bis die Rektaltemperatur ca. 38 °C erreicht hat
- für den Transport ins Krankenhaus sorgen
Ziel: Behandlung eines drohenden Kreislaufversagens
- bei länger andauernden Wettkämpfen in warmer Umgebung ausreichend trinken
Ziel: Kreislaufauffüllung, Schwitzwasser ersetzen