

Chemische Temperaturregulation bei neugeborenen Mäusen

JOSEF PICHOTKA

Physiologisches Institut der Universität Bonn

ABSTRACT: Chemical temperature regulation in new-born mice. Immediately after birth, mice are poikilotherm. Changes in environmental temperature cause characteristic variations in metabolic rate. If plotted as a function of rectum temperature, metabolic rate shows the same pattern under conditions of cooling or warming. Below normal rectum temperature, e. g. between around 36° and 32° C, O₂-consumption increases with decreasing rectum temperature, but decreases with increasing rectum temperature. Basically the same relationship between rectum temperature and O₂-consumption is found under conditions of constant (for several hours) environmental temperatures. The maximum average O₂-consumption is obtained at a constant environmental temperature of 32° C. Overheating (1 hour at 40° C) destroys the relationship described and results in a simple reduction of O₂-consumption with decreasing rectum temperature under conditions of low environmental temperatures. The increasing constancy of body temperature in the second week after birth is caused by the development of the fur on the skin (reduction of heat loss), rather than by that of feed back mechanisms.

EINLEITUNG

Ein Teil der Warmblüter wird in einem sehr unreifen Zustand geboren. Charakteristische Beispiele dafür sind unter unseren Labortieren Mäuse und Ratten. Eine wirksame Temperaturregulation ist bei diesen Tieren in den ersten Lebenstagen nicht festzustellen. Die Differenz zwischen Körpertemperatur und Umgebungstemperatur ist gering und scheint in weiten Bereichen der Umgebungstemperatur praktisch gleich zu sein. Am Ende der zweiten Lebenswoche entwickelt sich eine zunehmende Unabhängigkeit der Körpertemperatur von der Umgebungstemperatur. Zur gleichen Zeit kommen die Tiere auch in den Besitz anderer Funktionen, die mit der histologisch nachweisbaren Reifung des Nervensystems zusammenhängen, wie der koordinierten Bewegung, der Fähigkeit zu zittern u. a. Das Erreichen der Homiothermie bei diesen Tieren wurde daher in gleicher Weise als Folge der Entwicklung des Zentralnervensystems angesehen.

Aus einer Reihe älterer und neuerer Untersuchungen geht hervor, daß auch bei unreif geborenen Tieren bald nach der Geburt Änderungen der Umgebungstemperatur zu charakteristischen Änderungen der Stoffwechselgröße führen. Eine Stoffwechselsteigerung bei unreifen neugeborenen Tieren durch „Abkühlung“ ist beim Kaninchen (GIAJA 1925, ADAMSONS 1959), bei Katzen (LEICHTENTRITT 1919, HILL 1959) und bei

Hunden (GELINEO 1957, McINTYRE & EDERSTROM 1958, ADAMSONS 1959) beschrieben worden.

Für die Ratte, bei der die Entwicklung zur Homoiothermie in der gleichen Zeit erfolgt wie bei der Maus, hatte ADOLPH (1957) angegeben, daß eine Steigerung der Sauerstoffaufnahme bei Abkühlung erst im Alter von 3 bis 4 Tagen erfolge. Er stützte seine Auffassung dabei im wesentlichen auf die Untersuchungen von ANTOSCHKINA (1939) und FAIRFIELD (1948). In späteren Untersuchungen wurde jedoch nachgewiesen, daß auch bei der neugeborenen Ratte in den ersten Lebenstagen eine Steigerung der Sauerstoffaufnahme durch Abkühlung eintritt (GELINEO & GELINEO 1951, HAHN & KOLDOVSKY 1958, TAYLOR 1960). Die sogenannte chemische Temperaturregulation besteht nach diesen Beobachtungen im Prinzip bereits zu einer Zeit, da die Tiere noch völlig poikilotherm sind.

Um diese in vieler Beziehung erstaunliche Tatsache in unsere Vorstellung von der Temperaturregulation einordnen zu können, ist es zunächst einmal erforderlich, den Umfang und die Bedingungen dieser regulativen Stoffwechselsteigerung festzustellen. Wir haben unsere Untersuchungen an Mäusen durchgeführt. Ein Teil der Ergebnisse liegt in vorläufigen Veröffentlichungen vor (PICHOTKA 1960, 1961, CHOINOWSKI 1962, HOHNSTÄDTER 1962). Von CASSIN (1963) wurde inzwischen bei neugeborenen Mäusen ebenfalls das Auftreten einer Stoffwechselsteigerung bei Abkühlung beschrieben.

METHODIK

Die Versuche wurden an weißen Mäusen (Stamm Agnes Bluhm) von wenigen Stunden nach der Geburt bis zum Alter von 5 Tagen durchgeführt. Die Elterntiere befanden sich mit den Neugeborenen in einem auf $22^{\circ} \pm 1,0^{\circ}$ C geregelten Raum. Das

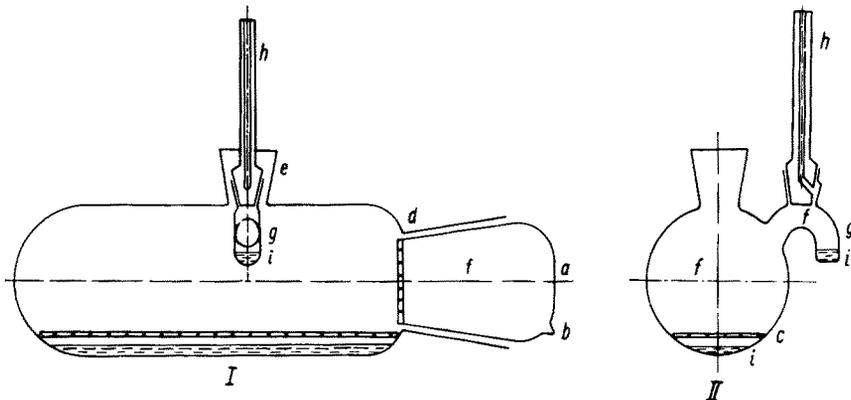


Abb. 1: Reaktionsgefäß zur Stoffwechsellmessung junger Mäuse

Körpergewicht der jungen Tiere lag je nach dem Alter zwischen 1,2 und 3,2 g. Die O_2 -Aufnahme wurde manometrisch in der Warburg-Apparatur gemessen. Dazu wurden spezielle Reaktionsgefäße von liegender Zylinderform mit 120 cm^3 Inhalt benutzt (Abb. 1). Die zur Absorption der CO_2 erforderliche Kalilauge befand sich unter einem

perforierten Boden, der über die ganze Länge in das Gefäß eingezogen war. Als Thermobarometer dienten Reaktionsgefäße gleicher Abmessungen; an Stelle der KOH enthielten sie die gleiche Menge Wasser. Die Messungen erfolgten in atmosphärischer Luft. Der verbrauchte Sauerstoff wurde bei der bestehenden Temperatur mit einer besonderen Einrichtung je nach der Verbrauchsgröße alle 10 bis 20 Minuten dem Reaktionsgefäß wieder zugeführt. Auf diese Weise war praktisch keine Zeit für den Temperatureausgleich notwendig. Die O_2 -Spannung im Reaktionsgefäß bewegte sich zwischen 19 und 21 %.

In den bisher vorliegenden Untersuchungen wurde im allgemeinen so vorgegangen, daß zunächst die sogenannte thermoneutrale Zone für die betreffende Spezies festgestellt wurde, d. h. die Umgebungstemperatur, bei der der niedrigste Stoffwechsel beobachtet wurde. Im Vergleich dazu wurde der Stoffwechsel bei einer konstanten niedrigeren Umgebungstemperatur gemessen; diese zweite Umgebungstemperatur wurde so gewählt, daß eine möglichst hohe O_2 -Aufnahme resultierte (ANTOSCHKINA 1939, GELINEO & GELINEO 1951, BARIĆ 1953, TAYLOR 1960).

Auf Grund der Erfahrung in früheren Untersuchungen an erwachsenen Tieren (PICHOTKA 1953, 1961) gehen die folgenden Versuche von der Möglichkeit aus, daß die Stoffwechselgröße der Neugeborenen eine charakteristische Funktion der Körpertemperatur ist. Daher wurden nicht zwei feste Umgebungstemperaturen als Meßsituation gewählt, sondern die Umgebungstemperaturen wurden in einem weiten Bereich stetig verändert. Die dadurch bedingte Änderung der Körpertemperatur und der O_2 -Aufnahme wurde fortlaufend gemessen. Bei der Wahl der Änderungsgeschwindigkeit der Temperatur ist zu berücksichtigen, daß offensichtlich eine wesentliche Zeit erforderlich ist, bis die der jeweiligen Umgebungs- und Körpertemperatur zugehörige Stoffwechselgröße erreicht ist. Aus diesem Grund erschien es günstig, die Temperaturänderungen möglichst langsam durchzuführen. Andererseits behalten die jungen Tiere nur für eine bestimmte Zeit nach der Fütterung ihre volle Leistungsfähigkeit. Unter Berücksichtigung dieser Bedingungen wurde eine stetige Änderung der Umgebungstemperatur von $0,06^\circ$ pro Minute gewählt. Sie wurde durch eine kontinuierliche Verstellung der Kontaktthermometer an den Thermostaten erreicht. Aus Gründen, die in der Untersuchung klargelegt werden, wurden die Messungen im allgemeinen bei Abkühlung der Thermostattemperatur von 38° nach 24° C oder bei Aufwärmung über den gleichen Bereich durchgeführt. Je nach der Dauer der Vor- und Nachperiode lagen die Versuchszeiten zwischen 5 und 8 Stunden. Die O_2 -Aufnahme wurde alle 5 Minuten abgelesen; die Thermobarometerwerte bildeten die Nullwerte für die Ablesung.

Die Messung der Körpertemperatur erfolgte rektal mit einem feinen Thermoelement aus Kupfer und Konstantan, das 1 cm tief eingeführt und durch feine Heftpflasterstreifen fixiert wurde. Das Vergleichselement befand sich in einem Thermostaten von 30° C.

Die Jungen wurden unmittelbar vor der Messung aus dem Nest entnommen und nach Beendigung des Versuches wieder in das Nest zurückgegeben. Sie wurden regelmäßig von der Mutter wieder angenommen, so daß auch wiederholte Messungen an demselben Tier keine Schwierigkeiten bereiteten. Zum Vergleich wurden immer Tiere desselben Wurfes herangezogen. Die Wurfgrößen lagen im allgemeinen zwischen 6 und 10 Tieren; in den meisten Fällen waren es 8 Tiere.

ERGEBNISSE

Bei kontinuierlicher Abkühlung und Aufwärmung der Tiere bewegt sich die Rektaltemperatur (RT) praktisch mit der gleichen Steilheit wie die Umgebungstemperatur (UT). Im Bereich der UT von 24° bis 38° C lag die beobachtete RT 1° bis 2° C über der UT. Im landläufigen Sinne waren diese Tiere mithin vollkommen poikilotherm.

Änderungen der Stoffwechselgröße fanden sich sowohl bei der kontinuierlichen Erhöhung der UT von 24° nach 38° C wie bei der Abkühlung von 38° nach 24° C. Diese Änderungen der Stoffwechselgröße sind in den folgenden Diagrammen als Funktion der RT angegeben. Die Berechtigung zu diesem Verhalten ergibt sich aus der Dar-

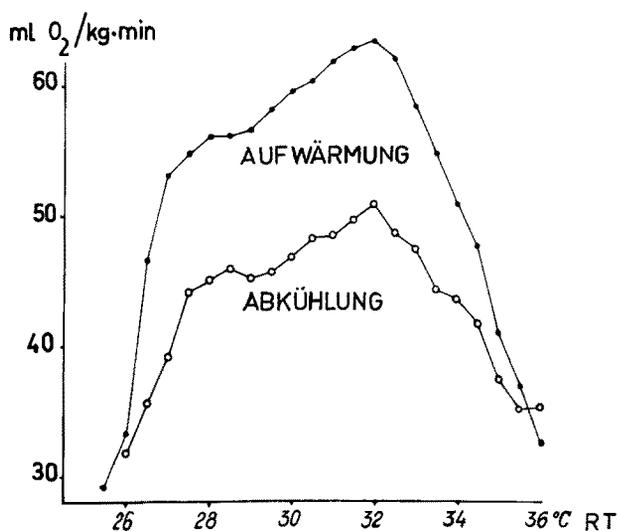


Abb. 2: Die O₂-Aufnahme als Funktion der Rektaltemperatur (RT) bei neun bzw. acht 5tägigen Tieren bei Aufwärmung und Abkühlung. Für beide Versuchsbedingungen ergibt sich das gleiche Bild. Bei der Abkühlung ist dabei mit Regelmäßigkeit die O₂-Aufnahme etwas geringer als bei der Aufwärmung

stellung der Abbildung 2. Es handelt sich um die Mittelwerte der Stoffwechselgröße bei Abkühlung und Aufwärmung 5tägiger Tiere über den gleichen Temperaturbereich. Der allgemeine Verlauf der Stoffwechselgröße über der RT ist für beide Gruppen völlig übereinstimmend. Die erreichte absolute Stoffwechselgröße ist bei den Tieren, die von niedrigeren nach höheren Temperaturen erwärmt werden, in allen Versuchsreihen größer als für die Tiere, die über den gleichen Temperaturbereich abgekühlt werden.

Aus späteren Messungen ist es wahrscheinlich geworden, daß die niedrigere Stoffwechselgröße der zweiten Gruppe darauf zurückzuführen ist, daß die Tiere vor Beginn der Messungen sich für etwa 1 Stunde in der hohen UT befanden. Unabhängig davon, ob es sich um Messungen bei Abkühlung oder Aufwärmung handelt, liegt ein ausgeprägtes Maximum der O₂-Aufnahme um 32° C und ein relatives Maximum bei 28° C. Die Stoffwechselgröße liegt im Maximum zum Teil mehr als doppelt so hoch als bei den hier zum Vergleich herangezogenen höheren (ca. 36° C) und niedrigeren (ca. 26° C) Rektaltemperaturen.

Wegen der günstigen Bedingungen ist im allgemeinen die Messung der RT und der O_2 -Aufnahme bei Erhöhung der UT von 24° nach 36° oder 38° C gewählt worden. Das Ergebnis solcher Messungen an einer Gruppe von eintägigen Tieren ist als Streudiagramm in der Abbildung 3 enthalten. Aus dieser Abbildung ergibt sich, daß in allen Fällen ein Anstieg der Stoffwechselgröße mit steigender Temperatur erfolgt bis zu

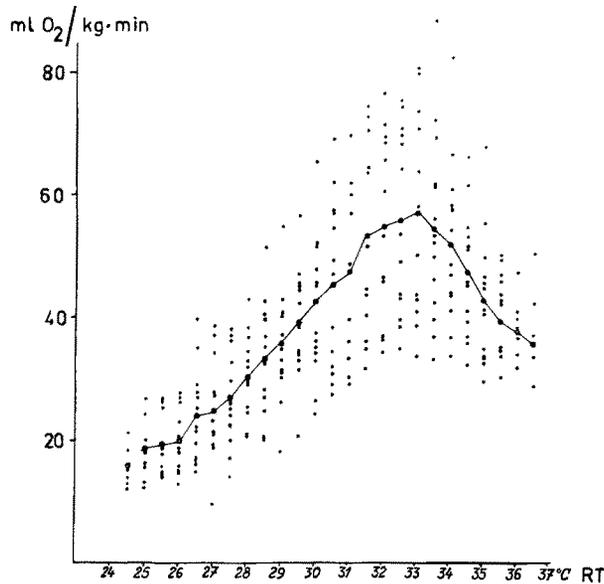


Abb. 3: Streudiagramm der O_2 -Aufnahme von neun 1-tägigen Tieren bei kontinuierlicher Änderung der Umgebungstemperatur (UT) von 24° auf 36° C. Die O_2 -Aufnahme ist dargestellt als Funktion der RT. Aus der Darstellung ergibt sich, daß ein deutliches Maximum der O_2 -Aufnahme im Bereich der RT von etwa 32° bis 34° C zu beobachten ist

einem Maximum zwischen 32° und 34° C rektal. Danach fällt die O_2 -Aufnahme mit weiter steigender Temperatur charakteristisch ab. Dieser Verlauf drückt sich in der Mittelwertskurve klar aus.

Mit dem Alter der Tiere ändert sich im wesentlichen nur die absolute Höhe des Stoffwechsels; die charakteristische Beziehung von O_2 -Aufnahme und RT bleibt unverändert. In der Abbildung 4 finden sich die Mittelwerte für eine Gruppe von 9 Tieren, für die vollständige Messungen am 1., 3. und 5. Lebenstag vorliegen. In allen drei Kurven findet sich der grundsätzlich gleiche Verlauf mit einem deutlichen Maximum in der Nähe von 32° C rektal. Die Übereinstimmung wird noch deutlicher, wenn man für die Darstellung die Stoffwechselgröße pro Einheit Körpergewicht benutzt. Das ist in der folgenden Abbildung 5 für die Messungen am 1. und 5. Lebenstag geschehen. In beiden Kurven findet sich der steile Anstieg und Abfall der Stoffwechselgröße im selben Temperaturbereich. Der Abfall der O_2 -Aufnahme mit steigender Temperatur nach Überschreiten des Maximums deckt sich in beiden Gruppen weitgehend. Daneben ist zu bemerken, daß insgesamt die Stoffwechselsteigerung bei den 1-tägigen Tieren geringer ist als bei den 5-tägigen.

Aus den berichteten Messungen bei kontinuierlicher Abkühlung oder Aufwärmung ergibt sich mithin eine charakteristische Beziehung zwischen Körpertemperatur und Stoffwechselgröße. Für das hier in Frage stehende Problem interessiert insbesondere das Verhalten in einem bestimmten Abschnitt. Von etwa 36° C abwärts, also in dem Temperaturbereich, der unmittelbar unter der normalen Körpertemperatur der Spezies

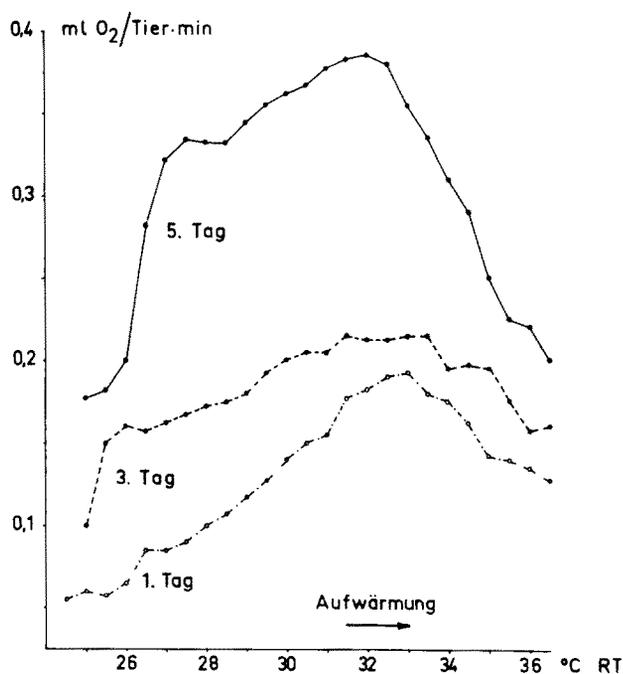


Abb. 4: Die O₂-Aufnahme als Funktion der RT bei neugeborenen Mäusen. Mittelwertskurve von 9 Tieren, deren O₂-Aufnahme am 1., 3. und 5. Lebenstag während der Aufwärmung gemessen wurde. *Abszisse*: beobachtete Rektaltemperatur; *Ordinate*: O₂-Aufnahme. Die O₂-Aufnahme stellt sich in allen drei Versuchsgruppen als eine charakteristische Funktion der RT dar, mit einem Maximum bei 32° C

liegt, steigt die Stoffwechselgröße mit fallender Temperatur steil an. Sie erreicht im allgemeinen bei Temperaturen zwischen 34° und 30° C ein mehr oder minder ausgedehntes Maximum und fällt dann mit weiter fallender Temperatur ab.

Diese bei gleitender Temperaturänderung gewonnene Beziehung zwischen Körpertemperatur und Stoffwechselgröße läßt sich auch bei konstanten Umgebungs- bzw. Körpertemperaturen nachweisen. Zu diesem Zweck wurden Gruppen von jeweils 10 Tieren für 4 Stunden nach konstanten Umgebungstemperaturen zwischen 24° und 36° C versetzt. Nach einer mehr oder minder langen Einstellzeit erreichten diese Tiere bei den gegebenen Umgebungstemperaturen konstante Körpertemperaturen und konstante O₂-Aufnahmen. Die Einstellzeiten bis zum Erreichen der konstanten O₂-Aufnahme und der konstanten Körpertemperatur waren um so größer, je höher die O₂-Aufnahme bei der betreffenden Bedingung war und je größer die Differenz Rektaltemperatur : Umgebungstemperatur wurde. Generell läßt sich feststellen, daß für alle

Versuchsgruppen die Differenz Rektaltemperatur : Umgebungstemperatur direkt proportional der O_2 -Aufnahme ist. Die Einstellverläufe von Rektaltemperatur und O_2 -Aufnahme bei den zumeist interessierenden Umgebungstemperaturen von 32° , 34° und 36° C sind in den Abbildungen 6 und 7 dargestellt. Die Übereinstimmung sowohl des Einstellverlaufes als auch der erreichten Endwerte beider Größen ist offensichtlich. In der Abbildung 8 sind alle im Gleichgewicht erreichten Werte für die O_2 -Aufnahme und die Differenz $RT - UT$ eingetragen. Aus dieser Darstellung ergibt sich zunächst einmal

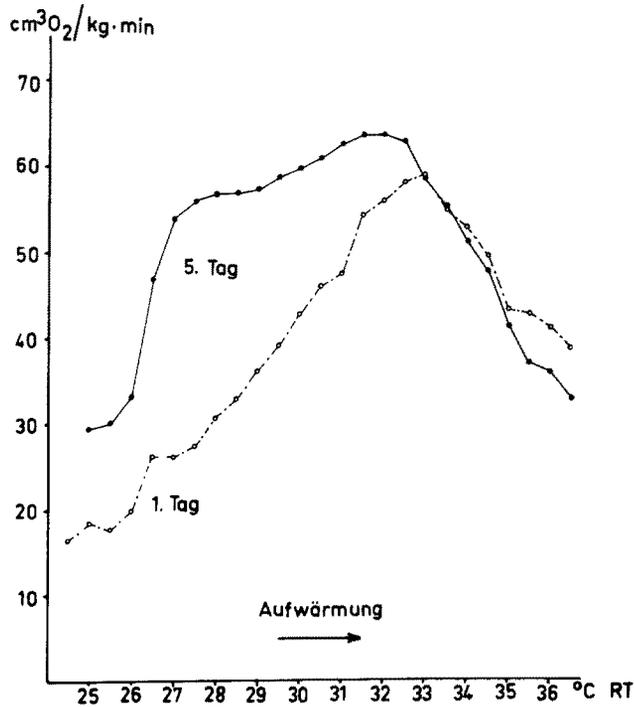


Abb. 5: Mittelwertskurve der O_2 -Aufnahme pro $kg \cdot min$ für 9 Tiere am 1. und 5. Lebenstag. Die gleichen Messungen wie in der vorhergehenden Abbildung. Insgesamt ist die Steigerung der O_2 -Aufnahme bei den 5tägigen Tieren höher als bei den 1tägigen. Die steilen Änderungen der O_2 -Aufnahme erfolgen in beiden Kurven in den gleichen engen Temperaturintervallen

überzeugend die direkte Proportionalität des Gradienten $RT - UT$ zur O_2 -Aufnahme. Diese Proportionalität bedeutet, daß keinerlei Änderung der Wärmeabgabe bei diesen Beobachtungen im Spiel sein kann.

Darüber hinaus demonstriert die Abbildung 8 die praktisch völlige Übereinstimmung mit der bei gleitender Temperatur gemessenen Beziehung von Körpertemperatur und O_2 -Aufnahme. Um die in der Abbildung 8 dargestellten Ergebnisse mit den Abbildungen 2, 4 und 5 vergleichbar zu machen, muß zu dem Wert für die Umgebungstemperatur auf der Abszisse jeweils die gleichzeitig bestehende Differenz $RT : UT$ addiert werden. Das Maximum der O_2 -Aufnahme bei konstanten Umgebungsbedingungen und dadurch konstanten Körpertemperaturen der neugeborenen Mäuse liegt somit ebenfalls im Bereich von 32° bis 34° C rektal. Aus den mehrstündigen Messungen

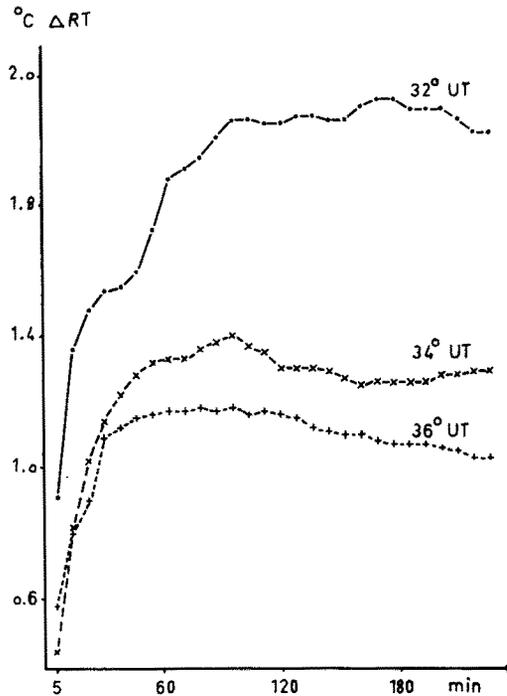


Abb. 6: Mittelwertskurven der RT von 3tägigen Mäusen (jeweils 10 Tiere) nach dem Versetzen in eine konstante Umgebungstemperatur von 32°, 34° und 36°C. Die RT ist angegeben als Differenz zur konstanten Thermostaten-Temperatur. Aus dem Diagramm ergibt sich, daß die RT nach einer bei den einzelnen Umgebungsbedingungen verschiedenen Einstellzeit auf dem erreichten Niveau konstant bleibt. Die höchste Differenz, nämlich von 2°C, findet sich bei einer UT von 32°C; bei 34° und 36°C liegen die Werte kontinuierlich tiefer

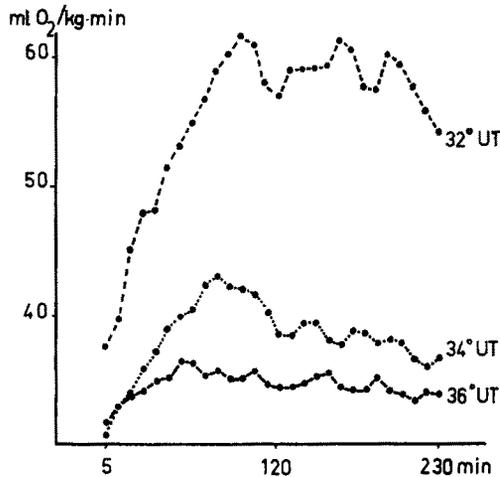


Abb. 7: Mittelwertskurven der O₂-Aufnahme von 3tägigen Mäusen (jeweils 10 Tiere) nach dem Versetzen in konstante Umgebungstemperaturen. Der Verlauf der O₂-Aufnahme zeigt dasselbe Bild wie die RT im vorhergehenden Diagramm. Die höchste O₂-Aufnahme findet sich bei 32°C; bei 34° und 36°C liegen die Werte zunehmend tiefer. Die O₂-Aufnahme bleibt bei jeder der angegebenen Bedingungen für mehrere Stunden konstant

bei konstanten Umgebungsbedingungen ergibt sich mithin die gleiche Beziehung zwischen Rektaltemperatur und O_2 -Aufnahme, wie wir sie bei kontinuierlich gleitender Abkühlung und Aufwärmung gemessen haben.

Die Regelung der Körpertemperatur über die Wärmebildung setzt eine prinzipielle Charakteristik der Art voraus, wie sie in den Abbildungen 2, 3, 4, 5 und 8 zum Vorschein kommt, nämlich daß innerhalb eines bestimmten Temperaturintervalls die Wärmebildung mit fallender Temperatur steigt. Durch eine Reihe zufälliger Erfahrungen gelang es nachzuweisen, daß diese regulative Stoffwechselsteigerung bei in bestimmter Weise geschädigten Tieren vollständig ausfallen kann. Es wurde schon betont, daß die Stoffwechselsteigerung bei der Abkühlung zuvor aufgewärmter Tiere immer zu

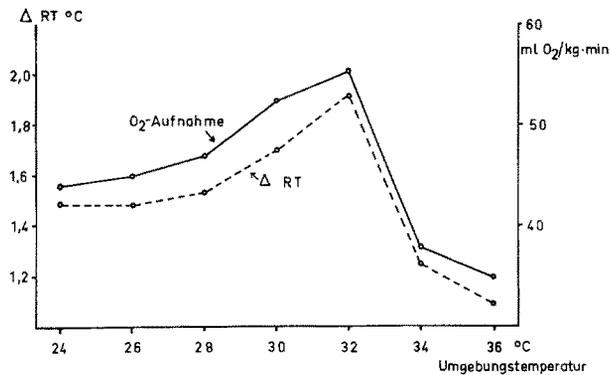


Abb. 8: Zusammenfassung von Messungen bei konstanten UT von 24° bis 36° C, wie sie im zeitlichen Verlauf in den Abbildungen 6 und 7 dargestellt sind. Mittelwerte von jeweils 8 bis 10 Tieren. Angegeben ist die O_2 -Aufnahme und die RT als Differenz zur Umgebungstemperatur, wie sie im eingestellten Zustand erreicht wurden. Die höchste O_2 -Aufnahme findet sich bei einer UT von 30° bis 32° C, d. h. einer RT von 32° bis 34° C. Die Differenz RT : UT geht immer mit der gleichzeitigen O_2 -Aufnahme streng parallel

niedrigeren Werten führte als bei der Aufwärmung der Tiere von niedrigen Temperaturen aus. Wenn die Abkühlung bei Umgebungstemperaturen von 39° oder 40° C begann, starb ein Teil der Tiere während der Experimente oder kurz danach. Nur die robusteren und darunter insbesondere die 1- bis 2tägigen Tiere überlebten. Bei diesen überwärmten Tieren fand sich eine ganz andere Beziehung zwischen Rektaltemperatur und Stoffwechselgröße. Die O_2 -Aufnahme fiel bei Abkühlung praktisch als stetige Funktion der Rektaltemperatur. Der in allen vorherigen Messungen beschriebene Anstieg der Stoffwechselgröße von 36° C abwärts fehlte bei diesen Tieren vollständig. Diese Beobachtungen sind in Abbildung 9 enthalten. Es handelt sich bei der Kurve der geschädigten Tiere um den Mittelwert von 9 drei- bis fünftägigen Tieren, die nach vorausgehender Überwärmung (1 Stunde bei 40° C) kontinuierlich abgekühlt wurden. Die O_2 -Aufnahme fällt ohne eine erkennbare regulative Bewegung stetig mit der RT ab. Die Kurve der nicht geschädigten Tiere ist der Mittelwert einer gleichzeitig gemessenen Gruppe von 3- bis 5tägigen Mäusen bei der Aufwärmung von 26° nach 38° C mit der charakteristischen gegenläufigen Bewegung von O_2 -Aufnahme und RT im Bereich unterhalb 36° C.

Das Ergebnis dieser Messungen ist also die Feststellung, daß schon bei der neu-

geborenen Maus offensichtlich in den ersten Stunden nach der Geburt die Stoffwechselgröße innerhalb eines bestimmten Bereichs mit fallender Temperatur steigt. Daß diese Steigerung der Stoffwechselgröße zu keiner Stabilisierung der Körpertemperatur führt, liegt offensichtlich an dem Fehlen eines hinreichenden Wärmewiderstandes und an dem Fehlen jeglicher physikalischen Regulation. Die Tatsache, daß bei neugeborenen Mäusen in der zweiten Woche eine zunehmende Stabilität der Körpertemperatur und ein allmählicher Übergang zur Homoiothermie erfolgt, liegt nicht daran, daß sich in dieser Zeit besondere Regulationsmechanismen ausbilden, sondern hat seine Ursache

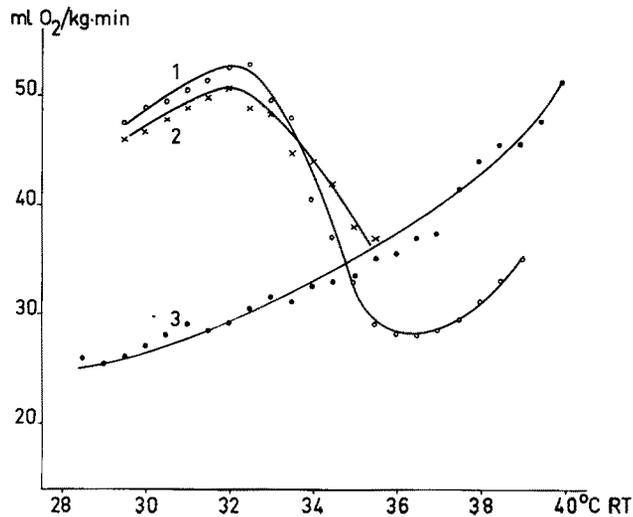


Abb. 9: Die O₂-Aufnahme bei neugeborenen Mäusen als Funktion der RT-Mittelwertskurven. 1: Gesunde Tiere bei Aufwärmung von 28° nach 38° C (5 Tiere); 2: Gesunde Tiere bei Abkühlung von 36° nach 26° C (8 Tiere); 3: Abkühlung überwärmter Tiere von 40° nach 28° C. Alle Tiere drei- bis fünftägig

vielmehr darin, daß mit dem sich jetzt entwickelnden Fell ein hinreichender Wärmewiderstand entsteht, an dem die regulative Steigerung der Wärmebildung wirksam wird. Es ist anzunehmen, daß in der gleichen Zeit physikalische Regulationsmechanismen hinzukommen, wenngleich bisher keine positiven Beobachtungen dazu bekannt geworden sind.

ZUSAMMENFASSUNG

1. Neugeborene Mäuse sind in den ersten Lebensstagen praktisch völlig poikilotherm.
2. Bei kontinuierlicher Abkühlung oder Erwärmung finden sich charakteristische Stoffwechseländerungen. Wenn die beobachtete Stoffwechselgröße als Funktion der Rektaltemperatur (RT) dargestellt wird, ergibt sich für Abkühlung und Erwärmung dasselbe Bild. Wesentlich ist, daß im Bereich unterhalb der normalen RT (also von etwa 36° bis 32° C) die O₂-Aufnahme mit fallender RT ansteigt, beziehungsweise mit steigender Temperatur abfällt.
3. Dieselbe grundsätzliche Beziehung zwischen RT und O₂-Aufnahme ergibt sich aus Versuchen bei für mehrere Stunden konstanten Umgebungstemperaturen. Bei einer

- Umgebungstemperatur (UT) von 32° C findet sich im Mittel die höchste O₂-Aufnahme; oberhalb und unterhalb ist die O₂-Aufnahme geringer.
4. Die charakteristische Beziehung zwischen RT und O₂-Aufnahme, die beim gesunden jungen Tier vorliegt, läßt sich durch Überwärmen beseitigen. Nach einstündigem Aufenthalt bei 40° C fand sich bei Abkühlung ein einfacher Abfall der O₂-Aufnahme mit der RT.
 5. Die zunehmende Konstanz der Körpertemperatur in der zweiten Lebenswoche kommt nicht durch die dann einsetzende Entwicklung von Regelmechanismen zustande, sondern durch die Entstehung eines Wärmewiderstandes in Gestalt des Felles.

ZITIERTE LITERATUR

- ADAMSONS, K., 1959. Breathing and the thermal environment in young rabbits. *J. Physiol.* **149**, 144–153.
- ADOLPH, E. F., 1957. Ontogeny of physiological regulations in the rat. *Quart. Rev. Biol.* **32**, 89–137.
- ANTOSCHKINA, E. D., 1939. Über die Ausbildung der Wärmeregulierung im Laufe der Ontogenese. *Sechenow Physiol. J. USSR.* **26**, 1–15.
- BARIĆ, I., 1953. La consommation d'oxygène du rat nouveau-né au cours du jeune. *Bull. Acad. serbe Sci. Cl. Sci. math. nat.* **12**, 71–76.
- CASSIN, S., 1963. Critical oxygen tensions in newborn, young, and adult mice. *Am. J. Physiol.* **205**, 325–330.
- CHOINOWSKI, H., 1962. Beziehungen zwischen Sauerstoffaufnahme und Körpertemperatur bei neugeborenen weißen Mäusen. Math. nat. Diss. Greifswald.
- FAIRFIELD, J., 1948. Effects of cold on infant rats: body temperatures, oxygen consumption, electrocardiograms. *Am. J. Physiol.* **155**, 355–365.
- GELINEO, S., 1957. Développement ontogénétique de la thermorégulation chez le chien. *Bull. Acad. serbe Sci. Cl. Sci. math. nat.* **18**, 97–122.
- & GELINEO, A., 1951. Sur la thermorégulation du rat nouveau-né et la température du nid. *C. r. Acad. hebdomadaire. Séanc. Acad. Sci., Paris*, **232**, 1031–1032.
- GIAJA, J., 1925. Le métabolisme du sommer et le quotient métabolique. *Annls Physiol. Physicochim. biol.* **1**, 596–627.
- HAHN, P. & KOLDOVSKY, O., 1958. Significance of the adrenal glands during the post-natal development of thermoregulation in the rat. *Nature, Lond.* **181**, 847.
- HILL, J. R., 1959. The oxygen consumption of new-born and adult mammals. Its dependence on the oxygen tension in the inspired air and on the environmental temperature. *J. Physiol.* **149**, 346–373.
- HOHNSTÄDTER, G., 1962. Untersuchung über die Beziehung von Stoffwechsel und Muskelaktionsströmen in Abhängigkeit von der Rektaltemperatur. Diss. Physiol. Inst. der Humboldt-Univ. Berlin.
- LEICHTENTRITT, B., 1919. Die Wärmeregulation neugeborener Säugetiere und Vögel. *Z. Biol.* **69**, 545–563.
- MCINTYRE, D. G. & EDERSTROM, H. E., 1958. Metabolic factors in the development of homeothermy in dogs. *Am. J. Physiol.* **194**, 293–296.
- PICHOTKA, J., 1953. Die Bedeutung der Schilddrüse für die Temperaturregulation. *Arch. exp. Path. Pharmacol.* **220**, 398–413.
- 1960. Die Beziehung zwischen Körpertemperatur und Stoffwechselgröße bei neugeborenen Nagern. *Pflügers Arch. ges. Physiol.* **272**, 26.
- 1961. Die Temperaturabhängigkeit des Stoffwechsels von Gewebe neugeborener Nager. *Pflügers Arch. ges. Physiol.* **274**, 72.
- TAYLOR, P. M., 1960. Oxygen consumption in new-born rats. *J. Physiol.* **154**, 153–168.