

Der Einfluß von Dehnung und Sauerstoff auf die postmortale Magen-Peristaltik der Ratte

B. FORSTER, G. HUMMELSHEIM und W. NEUHAUS

Institut für gerichtliche Medizin und Kriminalistik der Universität Göttingen
(Direktor: Prof. Dr. S. BERG)

Eingegangen am 17. Juli 1967

A. Einleitung

Bisher wurde im allgemeinen angenommen, daß es mit dem Sistieren des Blutkreislaufes nach dem Tode auch zu einem baldigen Stillstand der aeroben Reaktionen kommt. Es war vor allem WARBURG, der darauf hingewiesen hatte, daß Sauerstoff nur äußerst kurze Strecken in Gewebeschnitten eindringen kann. Hierbei ist allerdings zu bedenken, daß bei in situ belassenen Organen ganz andere Diffusions-Bedingungen vorliegen als in Gewebeschnitten. Für die Annahme einer postmortalen¹ Sauerstoff-Diffusion in die Muskeln sprechen Versuche von FLETSCHER, WINTERSTEIN und MANGOLD. Sie konnten zeigen, daß Muskeln in reiner Sauerstoff-Atmosphäre nicht starr werden.

DÖRING, PATZER und FORSTER fanden an der Magen-Muskulatur der Ratte, daß neben dem Stillstand der anaerob ATP-liefernden Reaktionen und der Tatsache einer geringeren Milchsäure-Bildung, als den abgebauten Glykogen- und Glucose-Mengen entspricht, noch weitere Ergebnisse dafür sprechen, daß ATP auch postmortal in kleinen Mengen über aerobe Prozesse gebildet werden kann. Zu diesen Befunden gehört in erster Linie, daß der gedehnte Magen-Muskel unter bestimmten Versuchsbedingungen trotz postmortaler Aktivität einen höheren ATP-Gehalt aufweist als der ungedehnte. Die Erhöhung des ATP-Gehaltes erwies sich in dem dünnwandigen Fundus als sehr viel ausgeprägter als im Pylorus. Noch stärkere postmortale Magen-Peristaltik findet man im gedehnten Magen nach E 605-Vergiftung (FORSTER, HUMMELSHEIM und DÖRING).

Nach BÜLBRING werden in der glatten Muskulatur nach Zusatz von Acetylcholin verstärkte Kontraktionen bei gleichzeitiger Verdoppelung der Sauerstoff-Aufnahme beobachtet. DÖRING, PATZER und FORSTER konnten zeigen, daß bei E 605-Vergiftung postmortal der Milchsäure-Gehalt von einem hohen Ausgangswert zunächst abfällt. Die beste Erklärungsmöglichkeit hierfür wird in der Annahme einer Veratmung gesehen. Die weitere Beobachtung, daß der gedehnte, im Unterschied zum ungedehnten E 605-vergifteten Magen starke postmortale Peristaltik entwickelt, ohne Unterschiede im anaeroben ATP-Stoffwechsel zu zeigen, zwingt praktisch zu der Annahme, daß aerobe Reaktionen die Energie für die postmortale Aktivität liefern.

¹ Unter „postmortal“ soll hier die Zeit nach dem Tode des Gesamtorganismus verstanden werden. Bei den im folgenden beschriebenen Untersuchungen handelt es sich um Versuche am *absterbenden* Organ (vgl. FORSTER, HUMMELSHEIM u. DÖRING).

Aufgrund dieser chemischen Untersuchungen muß sonach gefolgert werden, daß auch der absterbende gedehnte glatte Muskel mehr Sauerstoff aufnehmen kann als der ungedehnte, wie FENG dies am Skelettmuskel und BRECHT, UTZ und LUTZ an der überlebenden glatten Muskulatur beobachtet haben. Die Frage nach einem „postmortalem“ Feng-Effekt müßte hiernach in positivem Sinne beantwortet werden, wofür im übrigen auch die chemischen Untersuchungen an der Skelettmuskulatur von DÖRING und FALSAFI sprechen.

Ein postmortaler Feng-Effekt würde die Abhängigkeit der Peristaltik-Stärke vom jeweiligen Sauerstoff-Partial-Druck zur Folge haben. Er würde auch eine weitere Erklärung dafür zu geben vermögen, daß sich nur der gedehnte Muskel in der Totenstarre zu verkürzen vermag (FORSTER).

Es erschien daher von Bedeutung, die chemischen Untersuchungen durch physiologische Befunde zu ergänzen und hierdurch die Existenz eines postmortalen Feng-Effektes zu beweisen.

Interessant ist ferner die Frage, ob die Sauerstoff-Diffusion in den dünnen gedehnten Fundus-Anteil stärkere postmortale Peristaltik zur Folge hat als diejenige in den dickwandigen Pylorus-Anteil, wie aufgrund der ATP-Bestimmungen von DÖRING u. Mitarb. zu vermuten wäre. Diese Autoren fanden den Endwert für ATP im Pylorus bereits 30 min post mortem, im Fundus dagegen erst nach mehr als 4 Std.

Die Tatsache einer stärkeren Fundus-Peristaltik stünde allerdings im Gegensatz zu der bisher insbesondere von MANGOLD geäußerten Ansicht, daß dem muskulösen Pylorus-Anteil eine stärkere postmortale Aktivität zuzuschreiben sei.

Zur Klärung dieser Frage durch physiologische Methoden wurden Pylorus- und Fundus-Anteil von uns getrennt untersucht.

B. Methodik

Die Versuche wurden an weißen weiblichen Ratten vom Stamm Sprague-Dawley durchgeführt, wobei die Gewichte der Tiere nur in engen Grenzen zwischen 250 und 280 g schwankten².

Vor dem Versuch wurde den Tieren das Futter für 24—36 Std entzogen, um eine möglichst weitgehende Magenentleerung zu erreichen. Die so vorbereiteten Tiere wurden durch Nackenschlag getötet. Einzelheiten der Versuchsanordnung, insbesondere der Ableitung und Aufnahme der postmortalen Magen-Peristaltik am Gesamtmagen, sind der Arbeit von FORSTER, HUMMELSHHEIM und DÖRING zu entnehmen.

Darüber hinaus wurden getrennte Ableitungen von Fundus- und Pylorus-Anteil des Rattenmagens durchgeführt. Am deutlich sichtbaren Übergang vom dünnwandigen Fundus in den dickwandigen Pylorus-Anteil des Magens wurde eine gebogene Péan-Klemme so angelegt, daß jeweils Ableitungen aus dem gewünschten Magenanteil vorgenommen werden konnten, wobei bei Fundus-Ableitungen das zu Registrierzwecken benutzte Plastikröhrchen in die Kardia, bei Pylorus-Ableitungen durch das Duodenum ins Mageninnere eingeführt und abgebunden wurde.

² Es besteht eine Abhängigkeit des ATP-Gehaltes des Magens vom Alter und damit von dem Gewicht des Gesamtieres (DÖRING).

Die Versuche wurden unter anaeroben und aeroben Bedingungen durchgeführt. Hierzu kamen die Tiere in geschlossene Kammern, die mit reinem, wassergesättigtem Sauerstoff oder mit Stickstoff, der vorher durch alkalische Pyrogallol-Lösung geleitet und hierdurch sauerstofffrei gemacht worden war, durchströmt wurden. Da die Peristaltik-Stärke deutliche Abhängigkeit vom Dehnungsdruck des Magens zeigt, wurde über einen Druck-Bereich von 0—50 cm Wasser untersucht. Die Peristaltik-Kurven wurden nach Anzahl, Auswurf, Zeitdauer und Stärke ausgewertet (vgl. FORSTER, HUMMELSHEIM und DÖRING).

C. Versuchsergebnisse

Die in Stickstoff- und Sauerstoff-Atmosphäre gewonnenen Ableitungen der postmortalen Magen-Peristaltik lassen schon auf den ersten Blick — ohne Einzelauswertung — einen deutlichen Unterschied erkennen. Dies sei an zwei Original-Ableitungen demonstriert (Abb. 1).

Beide Kurven wurden bei einem Ausgangs-Druck von 10 cm Wasser gewonnen. Man erkennt deutlich, daß sowohl die Anzahl als auch der Auswurf der Peristaltik unter Sauerstoff gegenüber der Stickstoff-Ableitung erheblich gesteigert sind. Darüber hinaus fällt auf, daß die Peristaltik in der Stickstoff-Atmosphäre nur sehr kurz andauert. Die Zeitdauer der Sauerstoff-Ableitung ist demgegenüber beträchtlich. Das Ende der Peristaltik ist in dem abgebildeten Kurvenabschnitt noch nicht erreicht. Exakte Vergleichsmöglichkeiten sind zu erhalten, wenn man die Peristaltik getrennt nach Anzahl, Auswurf und Zeitdauer auswertet und die unter Sauerstoff gewonnenen Ergebnisse denen in Stickstoff-Atmosphäre gegenüberstellt. Abb. 2 veranschaulicht diese Verhältnisse.

Alle Kurvenpunkte stellen Mittelwerte aus drei bis fünf Einzel-Ableitungen dar. Auf der Abszisse sind jeweils der Druck in cm Wasser, auf der Ordinate die Anzahl, der Gesamtauswurf und die Zeitdauer aufgetragen. Es zeigt sich an allen drei Kurven eine typische Druckabhängigkeit (FORSTER, HUMMELSHEIM und DÖRING). Alle Größen nehmen mit steigendem Druck zu, um nach Überschreiten eines Maximums allmählich wieder abzunehmen. Vergleicht man die Sauerstoff- mit den Stickstoff-Ableitungen, so zeigt sich, daß das jeweilige Maximum unter Sauerstoff zu höheren Drucken verschoben ist. Setzt man die im Maximum erreichten Meßgrößen in Beziehung, erweist sich unter Sauerstoff die Anzahl der peristaltischen Wellen gegenüber den Stickstoff-Ableitungen fast um das Zwanzigfache, der Auswurf in Kubikzentimetern fast um das Achtfache erhöht. Ähnliche Unterschiede zeigen sich auch im zeitlichen Ablauf. Während unter Sauerstoff noch nach über 7 Std autonome Kontraktionen festgestellt werden konnten, endet die Peristaltik in Stickstoff-Atmosphäre bereits nach 40 min.

Die eben dargelegten Verhältnisse kommen noch wesentlich deutlicher zum Ausdruck, wenn man die Gesamtstärke der Peristaltik, die

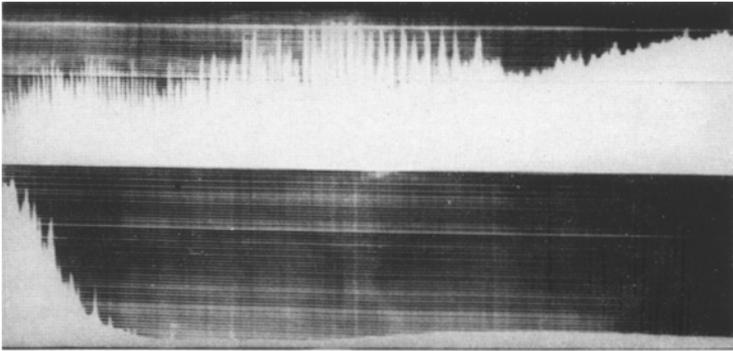


Abb. 1. Oben: Postmortale Magenperistaltik der Ratte. Ableitung in Sauerstoffatmosphäre. Unten: Stickstoffatmosphäre

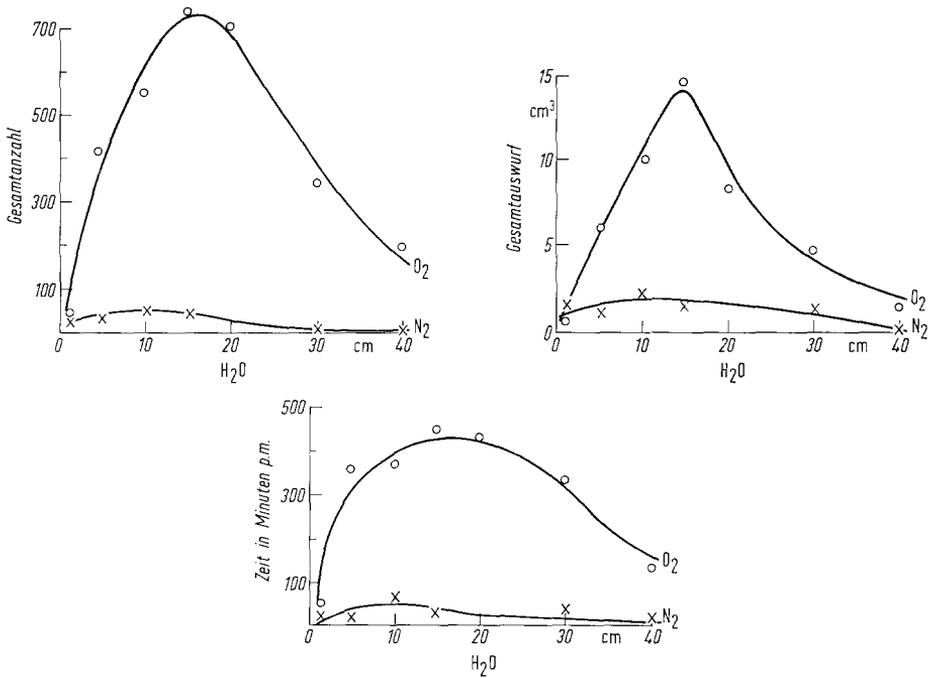


Abb. 2

wir definieren als Gesamtanzahl der peristaltischen Wellen mal Gesamtauswurf in Kubikzentimetern, aufträgt (Abb. 3).

Es ergibt sich jetzt, daß hier die Stärke der Peristaltik unter Sauerstoff fast das 100fache derjenigen in Stickstoff-Atmosphäre ausmacht.

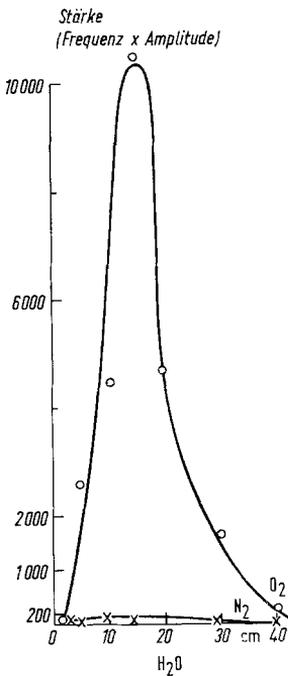


Abb. 3

Leitet man die Peristaltik am Fundus- und Pylorus-Anteil getrennt ab, so findet sich unter Sauerstoff-Zutritt für alle drei Meßgrößen der Peristaltik ein deutliches Überwiegen des Fundus-Anteiles (Abb. 4). Diese Verhältnisse kommen wieder besonders gut zum Ausdruck, wenn man die Peristaltik-Stärke aufträgt (Abb. 5).

Messungen in Sauerstoff- und Stickstoff-Atmosphäre zeigen, ebenso wie die Versuche am ganzen Magen, jeweils eine deutliche Verstärkung der in Sauerstoff-Atmosphäre abgeleiteten Peristaltik. Als Beispiel möge die Gegenüberstellung von zwei Original-Pylorus-Ableitungen unter Sauerstoff und Stickstoff dienen (Abb. 6).

Die Einzelauswertungen zeigten für den Pylorus-Anteil unter Stickstoff eine Peristaltik-Stärke von 5, unter Sauerstoff eine solche von 680. Für den Fundus lauteten die Werte 70 und 6400. Die Zahlen stellen jeweils Mittelwerte aus fünf bis acht Versuchen dar.

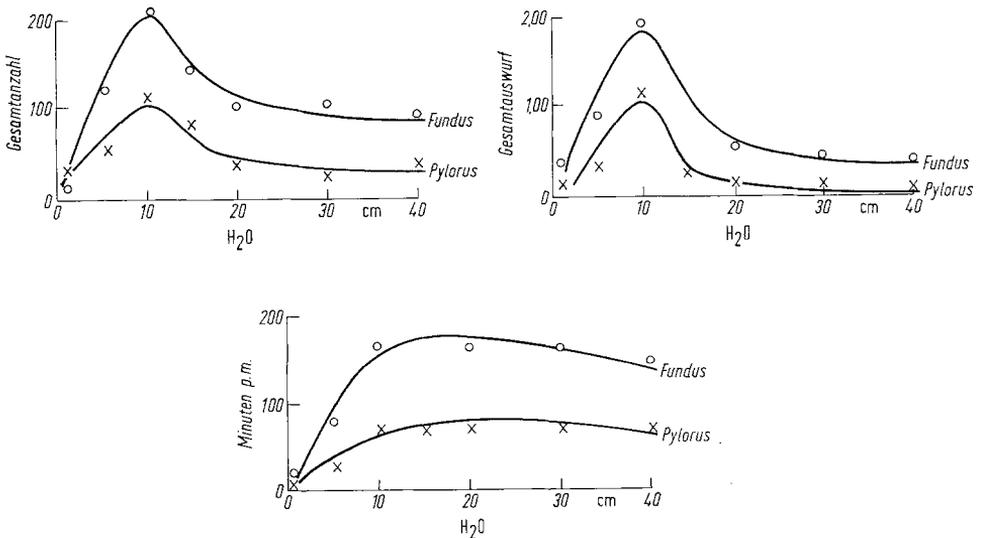


Abb. 4

Diskussion

Die von DÖRING, PATZER und FORSTER aufgrund chemischer Untersuchungen festgestellte Erhöhung des ATP-Spiegels bei Dehnung und der kurze Zeit post mortem höhere ATP-Gehalt im Fundus-Anteil des Rattenmagens sowie auch die Befunde nach E 605-Vergiftung ließen die Annahme einer postmortalen Sauerstoff-Aufnahme zu, wobei der gedehnte Muskel mehr Sauerstoff aufnehmen mußte als der ungedehnte.

Diese Folgerungen aus den chemischen Untersuchungsbefunden können aufgrund unserer physiologischen Untersuchungsergebnisse voll

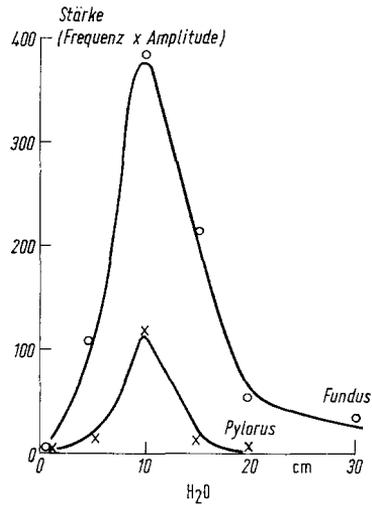


Abb. 5

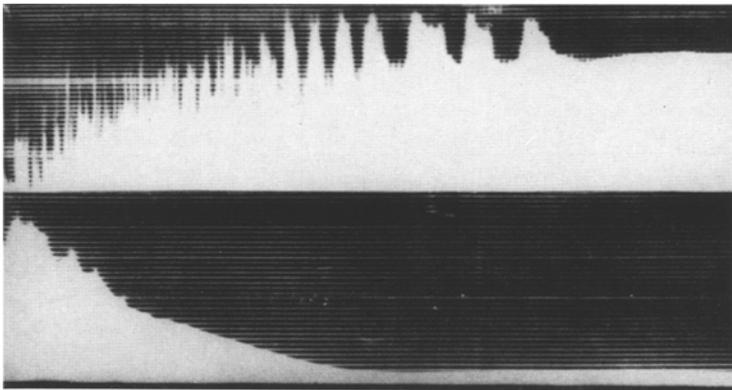


Abb. 6. Postmortale Peristaltik des Pylorusanteiles des Rattenmagens.
Oben: Sauerstoffatmosphäre; unten: Stickstoffatmosphäre

bestätigt werden. Es fand sich ein starker Unterschied zwischen den unter aeroben und anaeroben Bedingungen abgeleiteten Kurven. Die Verschiebung des vom Druck, d.h. von der Dehnung des Magens abhängigen Peristaltik-Maximums in Sauerstoff-Atmosphäre zu höheren Drucken hin zeigt eindeutig eine erhöhte Sauerstoff-Aufnahme nach Dehnung an. Das gleiche gilt für die in den maximalen Druck-Bereichen besonders erhöhte Anzahl und den erhöhten Auswurf der peristaltischen Wellen sowie für die stark verlängerte Zeitdauer der postmortalen autonomen

Kontraktionen. Der ungedehnte Muskel zeigt dagegen weder in Sauerstoff- noch in Stickstoff-Atmosphäre eine postmortale Aktivität. Es liegt sonach ein postmortaler Feng-Effekt vor: Eine erhöhte Sauerstoff-Aufnahme des gedehnten Muskels ist unzweifelhaft.

Auch die sich aus den chemischen Untersuchungen ergebende Annahme, daß der dünnwandige Fundus-Anteil bei Dehnung besser mit Sauerstoff versorgt wird als der dickwandige Pylorus, hat sich durch unsere physiologischen Untersuchungen voll bestätigen lassen. Die vergleichenden Ableitungen von Fundus und Pylorus in Sauerstoff- und Stickstoff-Atmosphäre ließen in ihren jeweils günstigsten Druck-Bereichen beim Pylorus eine Peristaltik-Stärke von 5 unter Stickstoff und eine solche von 680 unter Sauerstoff erkennen. Für den Fundus lauten die Zahlen 70 und 6400.

Die erhöhten anaeroben Reserven des Fundus, die sich in einer Stärke von 70 in Stickstoff-Atmosphäre gegenüber nur 5 beim Pylorus ausdrücken, spielen also nur eine geringe Rolle. Bringt man diese Werte von den Sauerstoff-Werten in Abzug, so ergibt sich immer noch ein Verhältnis von 675:6330 zugunsten des Fundus. Damit ist nachgewiesen, daß die erhöhte postmortale Fundus-Aktivität so gut wie ausschließlich auf erhöhter Sauerstoff-Diffusion beruht.

Daß bei unserer Versuchsanordnung Sauerstoff auch von außen an die Magenwand gelangen konnte, ist nicht als Nachteil anzusehen. Die Unterschiede zwischen den Stickstoff- und Sauerstoff-Ableitungen kommen hierdurch sogar besonders deutlich zutage. Bei der Größe der gefundenen Differenzen muß auch unter natürlichen Bedingungen, bei denen Sauerstoff nur an die Innenwände des Magens gelangen kann, postmortal ein Einfluß des Sauerstoffs auf die Peristaltik angenommen werden, zumindest wenn es sich um gedehnte Magen-Muskulatur (z. B. durch Nahrungsaufnahme) handelt.

Zusammenfassung

Es wird über physiologische Untersuchungen über das postmortale Verhalten der Peristaltik des Rattenmagens in Sauerstoff- und Stickstoff-Atmosphäre berichtet. Dabei wurden die Peristaltik des Gesamtmagens sowie diejenige des Fundus- und Pylorus-Anteiles getrennt abgeleitet.

1. Der gedehnte Magen zeigt in Sauerstoff-Atmosphäre eine erheblich stärkere Peristaltik als in Stickstoff-Atmosphäre. Anzahl, Auswurf und Zeitdauer der peristaltischen Wellen sind deutlich erhöht.

2. Der dünnwandige Fundus-Anteil weist in Sauerstoff-Atmosphäre eine stärkere und länger andauernde postmortale Peristaltik auf als der Pylorus-Anteil.

3. Die Untersuchungsergebnisse werden als Beweis für die Existenz eines postmortalen Feng-Effektes angesehen.

Summary

The post-mortal peristalsis of the stomach of the rat was studied under aerobic and anaerobic conditions. For this purpose, we recorded the peristalsis of the stomach as a whole as well as that of the fund and the pylorus separately.

1. The peristalsis of the extended stomach of the rat is considerably stronger in oxygen- than in nitrogen-atmosphere: number, amplitude and duration of the peristaltic waves are clearly increased.

2. In oxygen-atmosphere the fund with its thin wall shows a longer lasting post-mortal peristalsis than the pylorus.

3. The results are considered to be a proof for the existence of a post-mortal Feng-effect.

Literatur

- BRECHT, K., G. UTZ u. E. LUTZ: Über die Atmung quergestreifter und glatter Muskeln von Kaltblütern in Ruhe, Dehnung, Kontraktion und Kontraktur. *Pflügers Arch. ges. Physiol.* **260**, 524—537 (1955).
- BÜLBRING, E.: Measurements of oxygen consumption in smooth muscle. *J. Physiol. (Lond.)* **122**, 111—134 (1953).
- DÖRING, G.: Untersuchungen über die Beziehungen des postmortalen Stoffwechsels zur Totenstarre des Herzmuskels. *Dtsch. Z. ges. gerichtl. Med.* **53**, 163 (1963).
- , u. A. FALSAFI: Der Einfluß von Dehnung und Sauerstoff auf den postmortalen ATP-Stoffwechsel des Skelettmuskels. *Dtsch. Z. ges. gerichtl. Med.* **59**, 88—98 (1965).
- K. HENNING u. O. SCHMIDT: Bestimmung des Kreatinphosphatgehaltes in verschiedenen Rattenmuskeln mit einem enzymatischen Verfahren. *Hoppe-Seylers Z. physiol. Chem.* **328**, 251 (1962).
- E. KORINTH, and O. SCHMIDT: Post-mortem glycogenolysis in muscle. Its influence on ATP-level and rigor mortis. *J. forens. Med.* **9**, 106 (1962).
- FENG, T. P.: The effect of length on the resting metabolism of muscle. *J. Physiol. (Lond.)* **74**, 441 (1932).
- FLETCHER, W. M.: The relation of oxygen to the survival metabolism of muscle. *J. Physiol. (Lond.)* **28**, 474 (1902).
- FÖRSTER, B.: The contractile deformation of skeletal muscle in rigor mortis. *J. forens. Med.* **10**, 133 (1963).
- The plastic, elastic and contractile deformation of the heart muscle in rigor mortis. *J. forens. Med.* **11**, 148 (1964).
- G. HUMMELSHHEIM u. G. DÖRING: Tierexperimentelle Untersuchungen über die postmortale Magen-Peristaltik bei Leuchtgas- und Parathion-Vergiftung. *Dtsch. Z. ges. gerichtl. Med.* **56**, 148 (1965).
- u. O. RIBBAT: Das Verhalten des Rattenmagens in der Agonie bei E 605-(Parathion-)Vergiftung. *Dtsch. Z. ges. gerichtl. Med.* **60**, 28—38 (1967).

- MANGOLD, E.: Zur postmortalen Erregbarkeit quergestreifter Warmblütermuskeln. Zbl. Physiol. **16**, 89 (1902).
- Über Automatie, Erregbarkeit und Totenstarre in verschiedenen Teilen des Froschmagens. Dtsch. med. Wschr. **46**, 447 (1920).
 - Die Totenstarre des Säugermagens. Pflügers Arch. ges. Physiol. **182**, 303 (1921).
 - Die Totenstarre der menschlichen Magenmuskulatur. Z. ges. exp. Med. **12**, 288 (1921).
 - Die Totenstarre. Naturwissenschaften **10**, 895 (1922).
 - Die Totenstarre der glatten Muskulatur. Ergebn. Physiol. **25**, 46 (1926).
- WINTERSTEIN, H. W.: Über die physiologische Natur der Totenstarre des Muskels. Pflügers Arch. ges. Physiol. **120**, 225 (1907).

Privat-Dozent Dr. B. FORSTER
Institut für gerichtliche Medizin
und Kriminalistik der Universität
34 Göttingen, Geiststr. 7