

(Aus dem Institut für Gerichtliche Medizin der Kgl. Universität in Parma.
Direktor: Prof. R. Romanese.)

Experimentelle Untersuchungen über die Todesursache bei völliger Ersetzung der Atmungsluft durch Wasserdampf.

Von
Dr. G. Guareschi.
Assistent.

Mit 2 Textabbildungen.

Die Frage der Todesursache bei Ersetzung der Atmungsluft durch Wasserdampf ist, soweit ich feststellen kann, noch nicht näher untersucht worden.

Die wenigen Autoren, die auf diese Frage eingehen (*Borri*), legen die größte Bedeutung der Verbrühung der Schleimhaut der Luftwege durch den überhitzten Dampf bei und erwähnen nicht den Anteil der Erstickung, der doch zweifellos eine Rolle spielt. In diesem Sinne wenigstens ist der Bericht über den einzigen Fall gehalten, den ich in der Literatur habe auffinden können und der von *De Josselin de Jong* beschrieben worden ist.

2 Kesselreiniger wurden im Maschinenraum eines Schiffes durch plötzliches Ausströmen von Wasserdampf getötet. Der Sektionsbefund entsprach dem bei Erstickungstod (flüssiger Zustand des Blutes, großer Umfang der Lungen, punktförmige Hämorrhagien in den Brustorganen). Außerdem war eine überreichliche Menge von Lungenblut und eine starke Ansammlung von Flüssigkeit in den Alveolen festzustellen; als örtliche Wirkung des heißen Dampfes hier und da Zerstörung der Epithelschicht der Alveolen und der kleinen Bronchien.

Es schien mir daher interessant und aussichtsreich, die Frage experimentell zu klären und festzustellen, ob und inwieweit die Todesursache in derartigen Fällen ausschließlich der hohen Temperatur des eingeatmeten Dampfes zugeschrieben werden muß oder auch auf die Ersetzung der Luft durch ein indifferentes Gas, auf Ertrinken im kondensierten Dampf oder endlich auf eine Art von innerer Ertränkung durch übermäßige Sekretion der Luftröhrenschleimhäute zurückzuführen ist.

Um die Deutung der Ergebnisse nicht zu erschweren, habe ich einen Faktor unberücksichtigt gelassen, der in der Praxis auch vorkommen dürfte; das ist der durch Ansteigen der Temperatur in dem Raum, wo

der Dampf sich ausbreitet, verursachte Shock. Um diesen auszuschalten, habe ich die Experimente (ausschließlich an Kaninchen) in folgender Weise ausgeführt:

Die Luftröhre wurde eröffnet und eine Glaskanüle eingelegt. Diese Kanüle wurde nach einem unten beschriebenen Verfahren mit einem Metallrohr von etwa 16 cm Länge und 3 cm Durchmesser verbunden, das an dem äußeren Ende offen, am anderen Ende durch eine mit einem Loch versehene Scheibe verschlossen war. Von dem Loch dieser Scheibe ging ein Rohr ab, das durch einen Gummischlauch mit dem Hahn eines Autoklaven verbunden war, aus dem der Wasserdampf ausströmte. Die Trachea wurde mittels eines Verbindungsstückes aus Gummi mit einem auch metallenen Röhrchen von $\frac{1}{2}$ cm Durchmesser verbunden, das senkrecht auf das größere, oben beschriebene, an der Grenze zwischen dem inneren und den äußeren Dritteln aufgelötet war. Es ragte etwa $1\frac{1}{2}$ cm tief ein, wodurch vermieden wurde, daß das kondensierte Wasser längs der Wand des größeren Rohrs in die Luftwege des Tieres eindrang (Abb. 1).

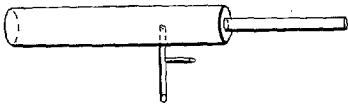


Abb. 1.

Bei dieser Anordnung strömte der Wasserdampf aus dem Autoklaven in das Metallrohr, wo er sich ausbreitete und die Luft vollständig austrieb. Das Versuchstier atmete also in einem Raum, der nur mit Wasserdampf angefüllt war, dessen Druck, wie die vorangegangenen Versuche mir gezeigt hatten, nicht merklich höher war als der der Umgebung, auch dann nicht, wenn der Dampf im Autoklaven unter 1 oder 2 Atmosphären stand. Atmung und Blutdruck wurden aufgezeichnet.

Die so ausgeführten 9 Versuche können in 3 Gruppen eingeteilt werden, je nachdem der aus dem Autoklaven ausströmende Dampf unter dem Druck von 2 oder 1 Atmosphären stand oder auch bei gewöhnlichem Druck frei ausströmte. Für jede dieser Gruppen werde ich über je einen Versuch, der als Beispiel dienen kann, berichten, da bei allen Experimenten der gleichen Gruppe die Ergebnisse die gleichen sind.

Gruppe I. Der Dampf entweicht aus dem Autoklaven unter Druck von 2 Atmosphären (Abb. 2a).

Versuch 1 (8. IV. 1931). Weibliches Kaninchen, 1630 g schwer.

Atmung und Blutdruck werden aufgezeichnet. Sobald der Apparat voll Dampf ist, holt das Tier plötzlich tief Luft. Dann folgen etwa 10 ganz oberflächliche Atmungen, worauf die Atmung überhaupt ganz aufhört. Nach anfänglichem leichten Fallen steigt der Blutdruck über die Norm, bleibt etwa 1 Minute lang hoch und fällt dann steil ab bis annähernd Null, während das Herz noch 2 Minuten lang schlägt.

Nach den ersten Abwehrbewegungen reagiert das Kaninchen nicht mehr auf Reize; es fällt in Krämpfe, verliert Urin und Faeces, die Glaskanüle füllt sich mit blutig verunreinigtem Schaum, der sich in der Trachea bildet.

Sektionsbefund : Blut flüssig, beide Herzventrikel erweitert und voll Blut; die Luftröhre ist mit rötlichem Schaum gefüllt; Mucosa gräulich, Lungen sehr groß, leicht anämisch, mit großen Blutflecken, besonders nach hinten, nach der Basis zu. Bauchorgane hyperämisch.

Gruppe II. Druck des aus dem Autoklaven ausströmenden Dampfes 1 Atmosphäre (Abb. 2b).

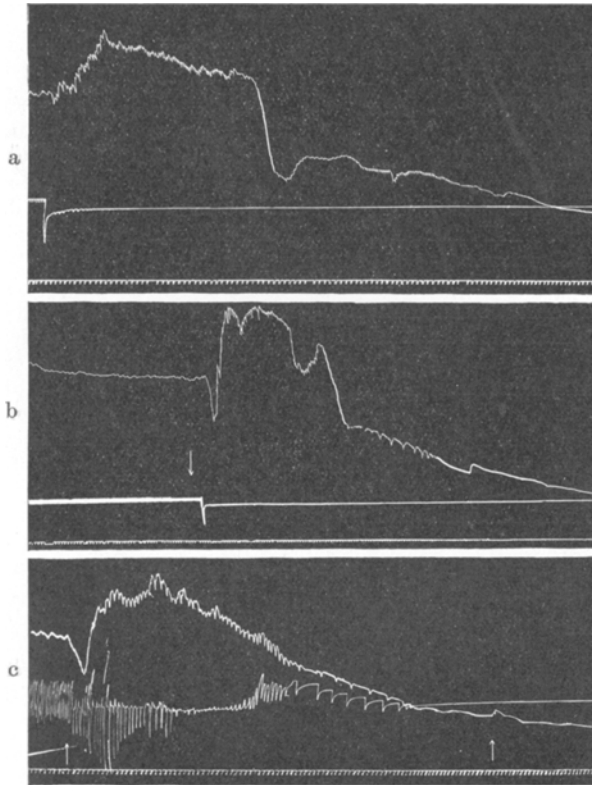


Abb. 2.

Versuch 1 (30. III. 1931). Weibliches Kaninchen, 1900 g schwer.

Technik wie im vorigen Versuch.

Nachdem der Dampf in den Apparat gelassen ist, bemerkt man zuerst plötzliches, tiefes Atemholen. Darauf tritt eine Pause in der Atmung ein. Gleich darauf kann man nur einige Male ganz leichtes Luftholen feststellen, das jedoch etwa 30 Sekunden nach Beginn des Versuches ganz aufhört.

Der Blutdruck weist anfänglich einen steilen Abfall auf, steigt im weiteren Verlauf jedoch höher als die Norm, bleibt auf diesem Stand etwa 1 Minute lang mit scharfen, plötzlichen Rucken und fällt dann, erst steil, dann allmählich bis auf Null. Das Herz zeigt terminale Tachykardie. Das Kaninchen stirbt in 4 Minuten.

Sobald das Tier zu atmen aufgehört hat, fällt es in heftige Krämpfe, verliert Urin und Kot, ist unempfindlich gegen jeden Reiz; aus der Trachea tritt rötlicher Schaum in Menge aus.

Sektionsbefund: Hirn anämisch, Blut flüssig, von dunkelroter Farbe, rechter Herzventrikel in der Diastole voll Blut, linker in der Systole. Trachea angefüllt mit schmutzig blutigem Schaum, Mucosa schmutziggrau. Die Lungen sind blutüberfüllt, voluminöser als in der Norm, mit großen Blutflecken. Beim Einschneiden bemerkt man, daß sie mit Schaum gefüllt sind; peribronchiale Blutungen. Bauchorgane o. B.

Gruppe III. Versuche bei normalem Druck (Abb. 2c).

Versuch 6 (12. V. 1931). Männliches Kaninchen, 1200 g schwer.

Atmung und Blutdruck werden wie in den vorigen Versuchen aufgezeichnet. Wenn der Apparat mit dem strömenden Dampf in Verbindung gesetzt wird, nimmt die Atmung fortschreitend an Tiefe zu, besonders beim Einatmen, bis zu einem Maximum, das nach 20 Sekunden erreicht wird; dann nimmt die Atmung bis zur Apnoe ab. Nach einer Pause von 25 Sekunden kommt wieder eine Periode expiratorischer Dyspnoe, dann Schnappbewegungen.

Nach anfänglicher Abnahme während der ersten 10 Minuten steigt der Blutdruck auf übernormal, bleibt dort etwa 1 Minute, um dann langsam bis auf Null zu fallen. Das Herz steht etwa 40 Minuten nach Aufhören der Atmung still. Tachykardie nur in der Schlußphase. Der Tod tritt nach $3\frac{1}{2}$ Minuten ein. Sobald das Tier beginnt, den Wasserdampf einzusatmen, erscheint in der in der Trachea eingeführten Glaskanüle rosiger Schaum in feinsten Bläschen, der den Atmungsbewegungen folgt. Bei den ersten Atemzügen reagiert das Tier auf Reize und versucht, sich zu befreien. Diese Periode dauert wenige Sekunden, denn gleich danach fällt das Tier in heftige allgemeine tonisch-klonische Krämpfe, die im Augenblick des höchsten Blutdruckes ihren Höhepunkt erreichen.

Das Kaninchen liegt in opisthotonischen Krämpfen und verliert Urin und Faeces. Gleichzeitig mit dem Nachlassen des Druckes nehmen die Konvulsionen an Heftigkeit ab; es tritt eine allgemeine Muskeler schlaffung ein.

Die wenige Minuten nach dem Tode vorgenommene Sektion ergibt: Gehirn anämisch, Blut flüssig, von dunkelroter Farbe. Herz: Der rechte Ventrikel in der Diastole mit Blut gefüllt, der linke kontrahiert; die Trachea enthält reichlich blutig gefärbte, schaumige Flüssigkeit. Mucosa schmutziggrau, mit leicht zerreißen Verletzungen. Diese Verletzungen sind bis fast zur Bifurkation deutlich erkennbar. Lungen sind ausgedehnt, blaßrosa gefärbt, an den Rändern leicht anämisch; dort kann man ein geringgradiges Emphysem feststellen, mit dunkelroten, unregelmäßig vieleckigen Flecken von 1 cm Durchmesser. Die Schnittflächen zeigen peribronchiale Blutungen, beim Ausdrücken der Lungen mit den Fingern kommen an der Schnittfläche viel Luft und eine schaumige Flüssigkeit zum Vorschein. Die Bauchorgane sind leicht hyperämisch.

Die mikroskopischen Untersuchungen der Lungen der verschiedenen Kaninchen ergaben bemerkenswerte Übereinstimmung der Befunde. Ich gebe aus dem Protokoll die Untersuchung von Experiment 3, die als Beispiel dienen möge, wieder: Fixierung in Formalin, Einbettung in Paraffin, Färbung mit Hämatoxylin und Eosin. Man sieht, daß die Alveolen erweitert sind; hier und da sind die Wände zerrissen, das Epithel ist ziemlich gut erhalten. Die Schleimhäute der Bronchien sind normal, meist umgeben mit einem blutigen Ring. Die Gefäße sind mit Blut gefüllt. Die Gefäßwand weist Verletzungen auf, durch die gut erhaltene rote Blutkörperchen austreten, aus denen Bezirke von blutigen Infiltrationen im Parenchym entstehen.

Betrachtet man im einzelnen die Versuchsergebnisse und die Sektionsberichte, so muß man den Schluß ziehen, daß die Bedingungen, unter denen der Tod der Tiere eintritt, bei den einzelnen Versuchen verschieden sind. Auch bei oberflächlicher Prüfung der verschiedenen Kurven bemerkt man sogleich, wie anders sich die Kaninchen in den Versuchen, bei denen Dampf unter Druck dem Autoklaven entströmt, verhalten als in denjenigen Experimenten, bei denen der Dampf frei ausströmen kann. Bei ersteren hörte, mit Ausnahme der anfänglichen tiefen Inspiration, die Atmung sogleich und, man kann sagen, vollständig und ein für allemal auf; es konnten nur einige leichte Ansätze zu äußerst oberflächlichem Atemholen festgestellt werden. Bei den letzteren dagegen zeigte sich zuerst eine dyspnoische Phase von vorwiegend inspiratorischem Typus; dann trat nach einer Atempause eine dyspnoische Phase vorwiegend von expiratorischem Typus, zum Schluß ein Zustand von schnappenden Atembewegungen ein.

In dieser letzten Gruppe der Versuche erinnert daher die Art der Atmung mit der oben beschriebenen Abweichung (Apnoe zwischen den dyspnoischen Phasen der Inspiration und Expiration) an die Art der Atmung beim reinen Erstickungstod. Es scheint mir daher kein allzu gewagter Schluß zu sein, wenn man, auch im Hinblick auf das Verhalten des Blutdrucks, den Tod der Tiere auf eine Art Erstickung zurückführt. Nach meiner Meinung muß der rötliche Schaum, der sich, sei es durch den kondensierten Wasserdampf, sei es durch Sekretion der Bronchien, bildet, und der von Anfang des Experiments an vorhanden ist, ein nicht unbeachtliches Hindernis für die freie Atmung des Tieres ausmachen. In den beiden anderen Versuchsgruppen, die im übrigen ganz gleich angestellt wurden, variierten nur Druck und Temperatur des Dampfes im Autoklaven. Trotzdem wich, wie bereits gesagt, in dem Dampfabflußrohr, durch das das Tier atmete, der Druck nicht deutlich von der Norm ab; und bei meinen Versuchen über die Temperatur des Dampfes im Expansionsrohr ergaben sich in den verschiedenen Fällen keine merklichen Unterschiede. 98—99° bei frei strömendem Dampf, 99° bei dem unter Druck von 1—2 Atmosphären stehenden Dampf.

Die Erklärung für die offenbare Verschiedenheit des Verhaltens der Tiere in den verschiedenen Versuchsgruppen bleibt daher dunkel, und ich beschränke mich darauf, eine Tatsache festzustellen, die sich ständig wiederholt. Wahrscheinlich ist die Empfindlichkeit der Kaninchenschleimhaut so groß, daß auch bei der kleinsten Temperaturschwankung Unterschiede, die mit den gewöhnlichen Thermometern nicht feststellbar sind, eine völlig andere Reaktion auslösen, oder das Thermometer ist nicht empfindlich genug, um die wahre Temperatur des Dampfes zu verzeichnen, wenn er beim Austritt aus dem Autoklaven sich auszuweiten beginnt. Wie es auch sei, ich wiederhole, daß ich die Frage

ungelöst lasse und mich darauf beschränke, die Tatsachen anzugeben. Meiner Meinung nach muß bei den Experimenten, die mit unter Druck von 1 und von 2 Atmosphären stehendem Dampf ausgeführt wurden, aus Gründen, die sich unserer Kenntnis entziehen, eine Hemmungswirkung, und zwar reflektorisch auf die Atemzentren ausgeübt werden, während das Herz anscheinend nicht unmittelbar in Mitleidenschaft gezogen wird. Das annähernd gleichartige Verhalten des Blutdrucks und der Pulsdauer bei allen Versuchsgruppen und das ziemlich analoge Obduktionsbild in den einzelnen Fällen (allgemeine innere Anzeichen von Asphyxie) geben uns hierfür die Bestätigung. Daß außerdem und in jedem Falle die Temperatur eine wichtige Rolle spielen muß, sowohl in den Versuchen mit frei strömendem wie in denen mit komprimiertem Dampf, das beweisen die Schädigungen an der Trachea, die peribronchialen Blutungen und die geringere Lebensdauer des Tieres, vom Beginn des Experimentes an gerechnet.

Interessant wäre es, wenn man die Versuche mit Einatmen von frei strömendem Dampf in großer Höhe wiederholen könnte, wobei wegen der Herabsetzung des Siedepunktes die Temperatur des Dampfes selbst keinen Einfluß auf die Atemwege auszuüben braucht. Nach meiner Ansicht müßte man unter diesen Bedingungen das typische Bild des Erstickungstodes durch Ertrinken oder durch innere Überschwemmung beobachten.

Ich komme also zum Schluß. Läßt man Kaninchen an Stelle von Luft Wasserdampf einatmen, der völlig die Luft ersetzt, so werden, unter sonst ganz gleichen Bedingungen, zweierlei Todesarten eintreten, je nachdem, ob der Dampf frei strömt oder ob er sich bildet oder auch ausbreitet, nachdem er unter 1—2 Atmosphären gebracht ist. Im ersten Falle tritt der Tod unter den Anzeichen der Asphyxie durch innere Überschwemmung ein, im zweiten durch einen jähen primären reflektorischen Stillstand der Atmung.
