

(Aus dem Institut für Gerichtliche und Soziale Medizin der Universität Bonn [Leiter: Prof. Dr. *Pietrusky*] und der Röntgenabteilung [Leiter: Prof. Dr. *Janker*] der Chirurgischen Universitätsklinik Bonn [Leiter: Professor Dr. *von Redwitz*].)

Röntgenkinematographische Untersuchungen über die Wirkung elektrischer Starkströme auf Kreislauf und Atmung des Tieres während und kurz nach der Durchströmung.

Von

Prof. F. *Pietrusky* und Prof. R. *Janker*.

Mit 30 Textabbildungen.

Bei unseren Versuchen, die wir mit narkotisierten Katzen und Kaninchen anstellten, kam es uns in erster Linie darauf an, die Wirkung der Elektrizität auf Herz und Gefäßsystem wie auf die Atmung *während* und *kurz nach* der Durchströmung in jeder Phase im Röntgenbild festzuhalten. Es sind bisher solche Untersuchungen nicht vorgenommen worden. *Schlomka* und *Schrader*¹ haben wohl Röntgenaufnahmen des Herzens auch während der Elektrizitätseinwirkung gemacht, die aber nur ein augenblickliches Zustandsbild zeigen konnten. Es handelt sich bei uns um Vorversuche mit dem Ziel, einige der verschiedenen Wirkungsweisen der Elektrizität sichtbar zu machen. Bekanntlich ist ja die Folge elektrischer Durchströmung nicht nur bei den Tierarten oft verschieden, sondern — wir haben Katzen als besonders und Kaninchen als weniger widerstandsfähig genommen — jedes Tier reagiert, auch unter scheinbar gleichen äußeren Bedingungen, nicht immer gleich.

Bei 2 Katzen sind die *Gefäße* durch Thorotrastfüllung *sichtbar* gemacht worden, bei der dritten und bei einem Kaninchen nicht. Durch größere Kontrastmittelmengen gelang es während des Versuchs, das Herzgefäßsystem deutlich erkennbar zu erhalten. Verwendet wurde *Wechselstrom* verschiedener Spannung, Stromstärke und Frequenz. Der Stromdurchgang war immer der gleiche, vom linken Vorder- zum rechten Hinterlauf. Die Zeit der Durchströmung wechselte.

I. Versuch.

Katze, Wechselstrom 240 Volt, 0,5 Amp., 50 Perioden, Einwirkungsdauer 6 Sekunden.

Abb. 1 zeigt das Herz ohne, Abb. 2 mit geringer Menge und Abb. 3 mit voller Kontrastfüllung.

Im Augenblick der *Einschaltung* des Stromes (Abb. 4) bäumt sich das Tier etwas nach vorn auf. Die Zwerchfelle treten hoch und bleiben in Expirationsstellung. Die untere Hohlvene ist weit. Das *Herz* ist

¹ Arch. Gewerbepath. **5**, 5 (1934) und Dtsch. Z. gerichtl. Med. **20**, 5 u. 6 (1933).

vergrößert. Die Vorhöfe werden sofort weit, die *Kammern* sind zusammengezogen. *Atmung* und *Herzschlag* haben schlagartig ausgesetzt. Man sieht ein geringes, allmählich schwächer werdendes Flimmern nur des rechten Herzohres.

Nach *Stromausschaltung* ist zunächst keine Änderung zu erkennen. Nach 12 Sekunden tritt erst ein geringes, später ein deutlich werdendes *Flimmern* der linken Kammer, dann der rechten auf, das immer größer wird. Schließlich flimmern auch die Vorhöfe. Die *Herzbewegungen* gehen allmählich in flache, dann tiefere, in der *Schnelligkeit* wechselnde



Abb. 1.

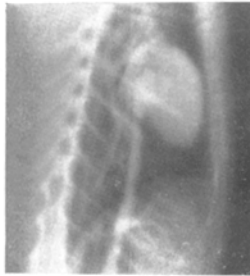


Abb. 2.



Abb. 3.



Abb. 4.



Abb. 5.

Kontraktionen über. Die *Vena cava inferior* bleibt auffallend breit (Abb. 5). Ob dies typische Stromwirkung ist, sei zunächst dahingestellt. Jedenfalls sieht man eine weite Cava auch bei Aussetzen der *Atmung* aus anderen Ursachen.

Die *Atmung* setzt nach etwa der doppelten Zeit, also nach etwa 24 Sekunden, ein. Sie ist ruckartig, tief, langsam. Das *Zwerchfell* kontrahiert sich maximal. Der untere Abschnitt des *Brustkorbs* wird eingezogen.

Nach 40 Sekunden wird die *Herztätigkeit* wieder weniger deutlich. Zunächst setzen die *Vorhöfe* aus, dann hört die *rechte Kammer* zu schlagen auf. Nur die *linke Kammer*, die zuerst begonnen hat, zeigt

noch einige Zeit Flimmern, ebenso das rechte Herzohr. Die Atmung wird immer seltener und setzt aus. Dabei treten ganz allmählich langsame, anscheinend selbständige Kontraktionen des linken Vorhofes auf. Auch diese kommen wieder zum Stillstand. Die Lungenfelder werden dunkler, das Tier ist tot.

II. Versuch.

Katze, 240 Volt, 0,5 Amp., 50 Perioden, Einwirkungsdauer 12 Sekunden.

Abb. 6 zeigt normale Herzfüllung mit dem Kontrastmittel, in Abb. 7 sieht man die deutliche Abhebung des Herzohres. Zwischen Abb. 8



Abb. 6.



Abb. 7.



Abb. 8.



Abb. 9.



Abb. 10.

und 9 erfolgt die *Einschaltung* des Stromes. Die Reaktion des Tieres darauf ist eine so schnelle, daß das Filmbild trotz der großen Zahl von Aufnahmen in der Sekunde (18) verwaschen ist. Es treten dieselben oben beschriebenen Veränderungen ein. Besonders deutlich ist die *Vergrößerung der Vorhöfe* mit starker Kontraktion der Ventrikel (Abb. 10 bis 12). Die untere Hohlvene ist auch hier *breiter*, ebenso aber auch die *Aorta*. Nebenbei sei erwähnt, daß die Breite der Cava zwischen Herz und Zwerchfell abhängig ist von Herztätigkeit und Atmung, der Stellung des Zwerchfells, die in den Vergleichsbildern aber immer die gleiche ist. Bei der Durchströmung sieht man, während sonst keinerlei

Bewegungen nachweisbar sind, plötzlich die obersten Abschnitte der Vena cava inferior näher an das Herz heranrücken. Gleichzeitig ist eine deutliche *Verengerung* der Aorta festzustellen.

Nach *Ausschalten* des Stromes (Abb. 13) bleibt die Aorta eng, die Cava weit, auch bleiben die Ventrikel zusammengezogen. Der Tod tritt nach vorübergehendem Flimmern des Herzens ein.



Abb. 11.



Abb. 12.



Abb. 13.

III. Versuch.

Katze, 240 Volt, 0,5 Amp., 500 Perioden, Einwirkungsdauer 6, 11, 15, 15, 17 Sekunden.

Abb. 14 und 15 zeigen das normale Herz ohne Kontrastfüllung. Der Strom wird zunächst für 6 Sekunden *eingeschaltet* (Abb. 16). Schlagartig setzen Herz- und Atmungstätigkeit aus. Das Herz steht quer. Die Vorhofabschnitte sind stark *erweitert*, die äußeren Partien des Zwerchfells stehen maximal tief, die mittleren maximal hoch, der Thorax ist breiter. Die Kammern sind kontrahiert (Abb. 17—19). Ein geringes Flimmern des rechten Herzohres ist wahrnehmbar. Die *Ausschaltung* des Stromes ist verdeutlicht durch eine gewisse Erschlaffung des Tieres. Sämtliche Herzabschnitte sind *erweitert*. Sofort fangen sie, im Gegensatz zur ersten Katze, wieder zu schlagen an. Dabei sind Extrasystolen einwandfrei festzustellen. Etwas *später* stellt sich die Atmung ein, die zuerst langsam und oberflächlich ist, dann schneller und tiefer wird. Das stark erweiterte Herz wird in allen Abschnitten *kleiner* und hat wieder etwa normale Größe.

Nach der 2. *Einschaltung* des Stromes für 11 Sekunden, wiederholen sich die oben beschriebenen Veränderungen. Vor allem sieht man das Flimmern des rechten Herzohres. Beim *Ausschalten* werden die stark erweiterten Vorhofabschnitte kleiner, wohl infolge Entleerung in die Ventrikel, die etwas weiter werden (Abb. 20). Die Herztätigkeit setzt sofort in allen Abschnitten ein, zuerst unregelmäßig, ungleichmäßig und langsam. Die *Atmung* steht zunächst, wird dann oberflächlich und schließlich tiefer. Mit der Besserung der Atmung erholt sich das Herz, das kleiner, etwa normal groß, wird (Abb. 21).

Der *dritte Stromdurchgang* für 15 Sekunden läßt zunächst dieselben Erscheinungen beobachten. Nach *Ausschalten* braucht das Tier längere Zeit, um sich zu erholen. Erst nach 30 Sekunden tritt ein geringes, ganz allmählich deutlicher werdendes Flimmern der Vorhöfe und dann der

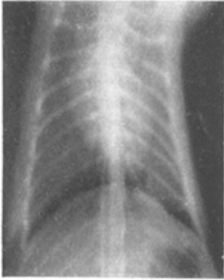


Abb. 14.



Abb. 15.

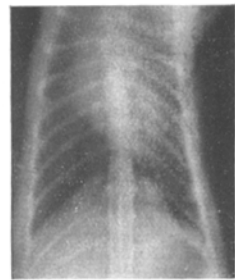


Abb. 16.

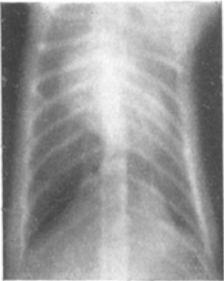


Abb. 17.

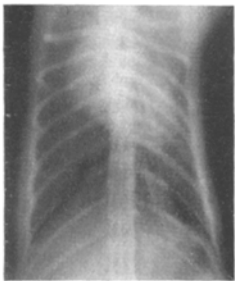


Abb. 18.

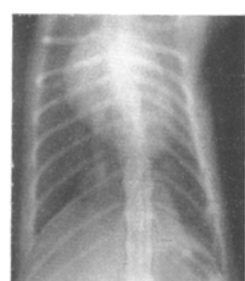


Abb. 19.

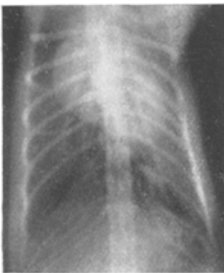


Abb. 20.

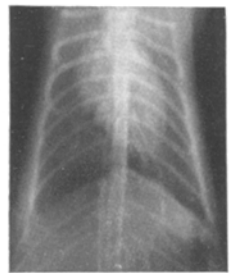


Abb. 21.



Abb. 22.

Kammern auf, das erst nach längerer Zeit in gut erkennbare Herzschläge übergeht. Das Herz wird kleiner, vereinzelte Atemzüge sind zu beobachten. Die Atmung erholt sich gleichzeitig mit der Besserung der Herzstätigkeit. Die Herzgröße wird etwa normal.

Bei der 4. *Durchströmung* für 15 Sekunden zeigen sich wieder dieselben Bilder. Nach *Ausschaltung* des Stromes ist wieder Flimmern der Vorhöfe und Kammern, dann oberflächliches Schlagen zu sehen. Das

Herz wird kleiner, dann erst stellt sich der erste Atemzug ein. Der Herzschlag wird schneller, die Atmung ebenfalls, auch wird sie tiefer. Das stark erweiterte Herz nimmt etwa normale Größe an. Bemerkenswert ist die zeitweise auffallende *Verlangsamung* des Herzschlages.

Der 5. *Stromdurchgang* von 17 Sekunden wird nicht mehr vertragen. Alle Herzabschnitte bleiben nach Stromausschaltung stark erweitert, die Zwerchfelle stehen maximal hoch, das Tier ist tot (Abb. 22).

IV. Versuch.

Kaninchen, 1000 Volt, 1 Amp., 50 Perioden, Einwirkungsdauer 5, 10, 20 Sek.

Abb. 23 zeigt das normale Herz ohne Kontrastfüllung. Bei *Strom-einschaltung* tritt neben einer allgemeinen Kontraktion eine sehr stark links konvexe Skoliose auf (Abb. 24). Das Tier befindet sich in der Phase der *Ausatmung*, diese wird maximal *verstärkt*. Das Herz steht. Schlagartig erweitern sich die Vorhöfe. Es kann ohne Kontrastfüllung nicht festgestellt werden, ob die Ventrikel in Kontraktionsstellung sind.

Die *Ausschaltung* des Stromes ist erkennbar durch die allgemeine Erschlaffung des Tieres und den Ausgleich der Skoliose. Das Herz beginnt unmittelbar in allen Abschnitten zu schlagen. Der Herzschlag ist klein, beschleunigt, unregelmäßig (Extrasystolen) und wird allmählich besser. Das erweiterte Herz verliert langsam an Größe und wird *kleiner als normal* (Abb. 25). Die *Atmung* beginnt erst nach etwa 20 Sekunden.

Der 2. *Stromdurchgang* für 10 Sekunden beginnt in der Phase der *Einatmung*. Die Zwerchfelle ziehen sich *noch mehr zusammen* und treten tiefer. Bei der Erweiterung des Herzens springt die Kontur des rechten Vorhofs besonders weit vor. Eine Kontraktion der Ventrikel ist nachweisbar (Abb. 26). Erst *während* der Durchströmung scheint auch der Ventrikelabschnitt etwas weiter zu werden. Das Herz ist groß, steht ruhig, die Atmung hat ausgesetzt.

Nach *Ausschalten* rücken die Zwerchfelle höher, das Herz schlägt *erst nach* einigen Sekunden, erholt sich ähnlich wie oben und wird *kleiner als normal* (Abb. 27). Die *Atmung* beginnt auch jetzt wieder erst nach etwa 20 Sekunden.

Bei der 3. *Durchströmung* für 20 Sekunden fällt, wie auch vorher, vor allem die *Erweiterung der Vorhöfe*, besonders des rechten auf (Abb. 28) Die anfänglich vorhandene taillenförmige Einziehung des rechten Ventrikels verschwindet, so daß nunmehr eine Erweiterung auch dieser Kammer anzunehmen ist (Abb. 29).

Die *Ausschaltung* des Stromes bedingt keine besonders deutliche Erscheinung mehr. Man sieht lediglich ein langsames, wie erschlaffen-des Hochgehen der Zwerchfelle. Das Herz, in allen Teilen erschlafft, sinkt etwas nach links (Abb. 30). Der Lungenraum wird noch kleiner, das Tier ist tot.

Bei der geringen Zahl der angestellten Versuche ist es nicht möglich, aus ihnen allgemeine Schlußfolgerungen über die Wirkung der verschiedenen elektrischen Ströme auf das Tier zu ziehen. Das soll weiteren, in Gang befindlichen Untersuchungen vorbehalten bleiben. Uns



Abb. 23.

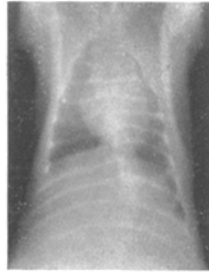


Abb. 24.

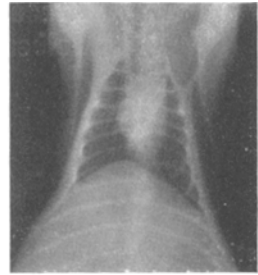


Abb. 25.

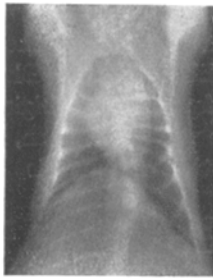


Abb. 26.

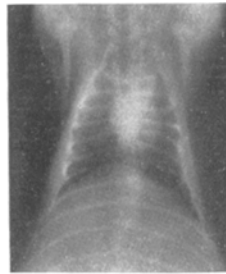


Abb. 27.



Abb. 28.

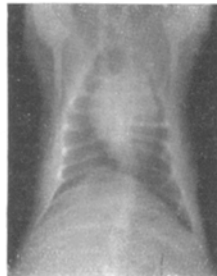


Abb. 29.



Abb. 30.

kam es, wie gesagt, hier zunächst darauf an, Veränderungen, die während des Stromdurchgangs und sofort nach Ausschalten des Stromes auftreten, zu zeigen. Wir glauben, daß die obenerwähnten Beobachtungen beachtenswert sind und eine Ergänzung zu den ausgezeichneten Arbeiten von *Schlomka* und *Schrader* über diese Fragen bilden.
