

# Ueber die Wirkung des constanten Stromes auf die Darmmusculation.

Von

Dr. **Carl Lüderitz**, prakt. Arzt in Berlin.

Mit 5 Holzschnittfiguren.

Die am Darm bei galvanischer Reizung desselben auftretenden Muskelzusammenziehungen sind in den letzten Jahren mehrfach Gegenstand genaueren Studiums gewesen, doch eine hinreichende Kenntniss selbst des Gröbereren dieser Verhältnisse fehlt noch.

Nachdem zuerst Schillbach<sup>1)</sup> am Darm des Kaninchens die ungleiche Wirkung der beiden Pole des Stromes festgestellt hatte, indem bei der Schliessung an der Kathode meist nur locale Contractions, an der Anode dagegen weiter ausgebreitete peristaltische Wellen von ihm beobachtet waren, theilte Biedermann<sup>2)</sup>, der seine Untersuchungen an verschiedenen Säugethieren, an Vögeln und an Fröschen anstellte, mit, dass der Unterschied in der Wirkung an der Ein- und Austrittsstelle des Stromes nicht sowohl ein quantitativer als vielmehr ein qualitativer sei: bei Schliessung des Stromes mit der aussen auf die Darmwand aufgesetzten zugespitzten Electrode, sowohl bei unipolarer als bei bipolarer Reizung, entwickelte sich an der Kathode ein in der Längsrichtung des Darmes verlaufender und die von der Electrode berührte Stelle nach oben und unten etwas überragender, in einer flachen Grube gelegener Streifen contrahirter Musculatur, während am positiven Pol eine deutliche Contraction der Längsmuskeln nicht bemerkt wurde, sondern im Bereich der Electrode, bei stärkeren Strömen zugleich etwas aufwärts und abwärts von ihr, durch Contraction der Ringmuskeln des Darmes eine Verengung des-

1) Schillbach, Virchow's Archiv 109. Bd., 1887.

2) Biedermann, dieses Archiv 45. Bd., 1889.

selben eintrat. Biedermann zog aus diesem Verhalten zunächst den durch den Augenschein nahegelegten Schluss, dass zwischen den antagonistisch wirkenden Längs- und Ringmuskeln des Wirbelthierdarmes ein durchgreifender Unterschied im Verhalten gegenüber der galvanischen Reizung vorhanden sei, indem die Längsfasern nur an der Austrittsstelle des Stromes, die Ringfasern nur an der Eintrittsstelle in Erregung versetzt würden.

Weitere, an der glatten Musculatur von Wirbellosen angestellte Versuche lehrten indessen, dass die erwähnte, mit dem Pflüger'schen Erregungsgesetze in Widerspruch stehende Folgerung keine nothwendige war, sondern dass die beobachteten Erscheinungen eine andere, mit diesem Gesetze harmonirende Deutung zuließen. So beobachtete Fürst<sup>1)</sup>, der auf Veranlassung von Biedermann Versuche an dem aus einer äusseren Ringmuskellage und einer inneren Längsmuskelschicht bestehenden Hautmuskelschlauch des Regenwurms und Blutegels anstellte, dass hier, wo im Allgemeinen die Erregung ähnliche Bilder wie am Wirbelthierdarme lieferte, die Anode deutlich hemmend auf Längs- und Ringmuskeln wirkte, und es seien daher die beobachteten, vornehmlich an den Ringmuskeln auftretenden Contractionen als Wirkung des Stromes an seiner Austrittsstelle aus dem Thierkörper, als Wirkung kathodischer Reizung also, aufzufassen. Andererseits zeigte sich bei Kathodenschliessung zwar am auffälligsten die durch Contraction der Längsmuskeln an der der Electrode entsprechenden Längsseite des Wurmes erzeugte und über mehrere Segmente sich ausdehnende Verkürzung, ausserdem aber war ganz local auch die Ringmusculatur an der Erregung betheilig. Aehnliches fand Biedermann<sup>2)</sup> an zwei marinen Anneliden, und noch klarer waren die Verhältnisse an den Hautmuskeln einiger Weichthiere, bei denen eine sichtbare Trennung der Ring- und Längsmuskeln eine isolirte Erregung derselben gestattete. Es zeigte sich hier unzweifelhaft, dass gemäss dem Pflüger'schen Erregungsgesetze bei Schliessung des Stromes nur an der Kathode Erregung erfolgte, die sich aber auf die Austrittsstelle des Stromes und deren allernächste Umgebung beschränkte, dass andererseits die Anode local keine Erregung machte, und dass, wenn eine solche

---

1) Fürst, dieses Archiv 46. Bd., 1890.

2) Biedermann, dieses Archiv 46. Bd., 1890.

an der Anode eintrat, sie nachweislich in der Umgebung derselben zu Stande kam.

Nach diesen an Wirbellosen gewonnenen Erfahrungen erschien nun auch die Reactionsweise des Wirbelthierdarmes in anderem Lichte, und Biedermann spricht sich nach erneuter Untersuchung dahin aus, dass an dem bei Kathodenschliessung entstehenden narbenähnlichen Längswulst des Darmes auch die Ringmuskulatur sich theiligt, wie auch die dellenförmige Einziehung, aus der jener Wulst sich erhebt, z. Th. mit auf Erregung der Ringmuskeln bezogen werden müsse, dass ferner die bei Anodenschliessung erscheinende ringförmige Verengung des Darmes nicht als directe Wirkung der Anode, sondern als entstanden in der Umgebung der letzteren, da, wo der Strom durch Verringerung seiner Dichte gleichsam aus dem Darm wieder austrete, aufzufassen sei.

Wenngleich diese mit dem Pflüger'schen Erregungsgesetze in Einklang stehende Deutung noch keine ganz vollkommene genannt werden kann, indem noch nicht recht ersichtlich ist, weshalb die Erregung, wenn sie direct (bei Kathodenschliessung) geschieht, sich anscheinend mehr in der Längsrichtung, wenn indirect (bei Anodenschliessung), anscheinend mehr in der Querrichtung des Darmes ausbreitet, so steht doch soviel fest, dass die Erscheinungen nicht die Annahme eines mit dem Pflüger'schen Gesetze in Widerspruch stehenden, für Längs- und Ringmuskeln verschiedenen electromotorischen Verhaltens nothwendig machen. Und weiterhin ist es sehr wahrscheinlich und wird ebenfalls durch die an Wirbellosen gemachten Erfahrungen bekräftigt, dass wir es hier mit rein musculären Erregungen zu thun haben.

Doch ausser diesen, im nächsten Umkreis der gereizten Stelle auftretenden und wohl als „idiomusculäre“ zu deutenden Contractionen sind, besonders bei Benutzung stärkerer Ströme, noch Bewegungserscheinungen wahrzunehmen, die über eine längere Strecke des Darmes sich ausbreiten. Schillbach sah solche fortgeleiteten Contractionen besonders von der Anode ausgehen, von der sie als peristaltische Wellen in beiden Richtungen des Darmes, vornehmlich aber aufwärts, sich fortsetzten. Auch Biedermann<sup>1)</sup> giebt an, dass sich (an ausgeschnittenen Darmstücken!) oft ein Fort-

1) Biedermann, dieses Archiv 45. Bd., 1889.

schreiten der bei Schliessung des Stromes an der Anode entstehenden Contraction der Ringmuskeln beobachten lässt, und dass die Welle sich in der Regel mit gleicher Leichtigkeit an- wie katastaltisch verbreitet. Im Einzelnen jedoch sind diese fortgeleiteten Bewegungen, die Bedingungen ihres Auftretens und ihre Beziehungen zu den vorhin beschriebenen localen Contractionen noch so gut wie gar nicht bekannt, und es waren deshalb hier weitere Untersuchungen erforderlich.

Die Resultate einer zu diesem Zwecke an Kaninchen, Meerschweinchen und Katzen angestellten Versuchsreihe bringe ich in den nachstehenden Zeilen zur Kenntniss. Die Anordnung der Versuche war folgende. Nach Betäubung des Thieres, die bei den Meerschweinchen und Kaninchen durch subcutane Aethereinspritzungen, bei den Katzen durch Chloroforminhalation geschah, wurde, um eine längere Dauer der Beobachtung zu ermöglichen, nach van Braam-Houckgeest das Abdomen in einem Bade physiologischer, auf 38° C. temperirter Kochsalzlösung geöffnet. Als Stromquelle diente eine Spamer'sche, mit Stromwender versehene, 30 Elemente enthaltende Tauchbatterie. Dass, wie bekannt, derartige Batterien keine völlig constanten Ströme liefern, war unter den vorliegenden Verhältnissen, wie die Eindeutigkeit der mitzutheilenden Ergebnisse lehren wird, kein die Richtigkeit dieser Ergebnisse schmälender Uebelstand. Die Electroden waren unpolarisierbar: eine breitere indifferente tauchte am Fussende des Thieres in die Badeflüssigkeit, die andere, in einen zugespitzten Baumwollenfaden auslaufende, wurde auf die zu reizende Stelle der Darmoberfläche aufgesetzt. Lag diese Stelle unter dem Niveau des Badewassers, so wurde die betreffende Darmschlinge vorsichtig soweit emporgehoben, dass sie mit einem kleinen, der Reizung zu unterwerfenden Theile ihrer Oberfläche den Flüssigkeitsspiegel eben überragte. Stets habe ich nur diese eine Art der Reizung, die unipolare, benutzt. Wird bei der beschriebenen Versuchsanordnung der Darm gleichzeitig an zwei Stellen, also bipolar, gereizt, so ist, wenn die Entfernung zwischen den Electroden mehr als wenige Centimeter beträgt und die Stromstärke nicht gerade erheblich ist, kaum anzunehmen, dass in der Mitte zwischen beiden Electroden der den Darm durchfliessende Strom noch die zu deutlichen physiologischen Wirkungen ausreichende Dichte besitzt, und es kommen also bei solchen Entfernungen der Electroden

von einander wohl vorwiegend polare Wirkungen zum Ausdruck. Applicirt man beide Electroden nahe bei einander auf den Darm, so wird die Beurtheilung der alsdann an dem umfänglichen und complicirt gebauten Organ auftretenden Bewegungen, die schon bei unipolarer Reizung keine ganz einfache ist, eine allzu schwierige. Bei der Reizung des nicht isolirten Darmes mit dem constanten Strom liegen die Verhältnisse ähnlich wie bei der von den Electrotherapeuten geübten percutanen galvanischen Erregung der Nerven des unversehrten menschlichen Körpers, bei welcher seit Brenner die polare Methode der Reizung als die verlässlichste und brauchbarste gilt.

Es lassen sich nun — abgesehen von der besprochenen verschiedenen Wirkung der beiden Pole des Stromes — bei Reizung der verschiedensten Darmstrecken mit mehr oder minder grosser Deutlichkeit zweierlei sowohl in ihrer Erscheinungsform als in den Bedingungen ihres Auftretens von einander scharf zu trennende Wirkungen aufweisen. In vorstehendem Satze ist das Resultat der Untersuchung theilweise vorweggenommen, doch sei mir im Interesse einer mehr übersichtlichen Darstellung dies gestattet. Die eine jener Wirkungen ist bereits genauer bekannt, es sind dies die oben skizzirten, vermuthlich durch directe Erregung der glatten Muskelzellen erzeugten Veränderungen; die andere Wirkung äussert sich als eine, nicht auf die nähere Umgebung der Pole beschränkt bleibende, sondern von hier aus weiter fortgeleitete Contraction.

Auf eine ausführliche Beschreibung der erstgenannten Wirkung darf ich verzichten und bemerke, dass ich die sämtlichen von Biedermann hierüber gemachten thatsächlichen Angaben bestätigen kann; nur einige, das Zustandekommen dieser Bewegungen betreffende Einzelheiten mögen noch hier angeführt werden. Zum Studium der localen Wirkungen, wenigstens der bei Schliessung der Kette auftretenden, eignen sich am besten niedrige Stromstärken, vielfach sind schon 1 bis 2 Elemente genügend. Dass, wie das Pflüger'sche Erregungsgesetz es verlangt, die Erregung immer nur an der Austrittsstelle des Stromes entsteht, und dass sie auf beide Muskelschichten sich erstreckt, ist meistens nicht deutlich, am wenigsten deutlich am Dünndarm, obwohl auch hier, wie ich Biedermann beistimmen muss, die Erscheinungen nicht direct gegen jenes Gesetz sprechen. An manchen Darm-

partien kann man jedoch, wie übrigens auch der genannte Autor angiebt, bei geeigneter Stromstärke Erscheinungen wahrnehmen, die selbst bei wenig scharfer Besichtigung die völlige Uebereinstimmung mit jenem Gesetze klarlegen. So lässt sich am Colon der Katze, deutlicher am Colon und Coecum der Pflanzenfresser, häufig die Beobachtung machen, dass bei Anodenschliessung die nächste Umgebung der Electrode im Vergleich zu der weiteren Umgebung wenig oder gar nicht erregt wird. Am Colon des Kaninchens bemerkt man ferner bei Kathodenschliessung, wenn mit der Electrode die Mitte eines Haustrums berührt wurde, ausser der weisslichen Längsleiste häufig eine deutliche Verengung des betreffenden Haustrums, indem der zwischen zwei Tänien befindliche Zwischenraum schmaler wird, es findet hier also sicher auch eine Contraction der Ringmuskeln statt. Bei Anodenschliessung am Coecum des Kaninchens sieht man neben der Ringmuskelnzusammenziehung, welche, entsprechend der gereizten Stelle, entweder in der ganzen Circumferenz des Darmes oder nur in einem der Electrode zugekehrten Segment zu Stande kommt, deutlich auch die Längsmuskeln rings um die Electrode sich contrahiren, während die von letzterer berührte Stelle selbst und ihre allernächste Umgebung von Contraction frei bleibt. Mit Deutlichkeit konnte ich mich ferner überzeugen, dass man bei etwas höheren Stromstärken (4 bis 10 El.) auch bei der Oeffnung der Kette häufig Wirkungen erhält, welche den bei der Schliessung auftretenden entsprechen d. h. ihnen entgegengesetzt sind. So wird bei Kathodenöffnung am Dünndarm, nachdem bisher ein in einer Delle gelegener weisslicher Längsstreif daselbst bestanden hatte, unter Verschwinden des letzteren der Darm leicht verengt; und am Dickdarm der Katze, sowie besonders ausgeprägt am Blinddarm der Pflanzenfresser, zeigt sich bei Anodenöffnung, nachdem vorher der Ort der Electrode von Contraction ganz verschont geblieben war, hierselbst ein von Muskelcontraction herrührender Fleck oder Wulst. Hervorzuheben ist jedoch, dass man bei solchen höheren Stromstärken nicht selten schon Andeutungen jener oben erwähnten zweiten Wirkung des Stromes auf den Bewegungsapparat des Darmes, deren Entstehung, wie sich ergeben wird, eine andere als die der localen Wirkung ist, erhält, und dass hierdurch die Deutung des Bildes erschwert werden kann.

Zur Erzielung dieser zweiten, von der berührten Stelle des

Darmes aus sich weiter im Verlauf desselben ausbreitenden Wirkung sind nämlich im Allgemeinen viel grössere Stromstärken nöthig, als solche für das Studium der lokalen Reizerfolge ausreichen. Ausnahmsweise können sie wohl schon bei Benutzung von nur 2 oder 3 Elementen sich zeigen, im Allgemeinen jedoch muss eine grössere Anzahl (8 bis 16 El.) angewendet werden, und unter Umständen können sie selbst bei 30 Elementen noch ausbleiben. Während nämlich jene localen Wirkungen in der Stärke ihres Auftretens anscheinend ganz allein von der benutzten Stromstärke abhängig sind und an jeglichem Abschnitt des Darmtractus mit gleicher Prägnanz sich hervorrufen lassen, macht sich bei den fortgeleiteten Wirkungen in hohem Maasse der jeweilige, auch aus anderen Erscheinungen ersichtliche und bekanntlich häufig wechselnde Zustand der (offenbar nervösen) Erregbarkeit des Darmes geltend. Die Einzelheiten der fortgeleiteten Contractionen sind bei den 3 untersuchten Thierarten verschieden, und es ist daher zweckmässig, die ausführlichere Beschreibung des Vorganges für jede Thierart gesondert zu geben.

Reizt man beim Kaninchen das Duodenum mit einem mittelstarken Strom (8 bis 14 El.), so entsteht bei Kathodenschliessung nicht bloss der in breiter muldenförmiger Vertiefung gelegene Längsstreif, sondern ebendasselbst mehr oder weniger rasch eine breite aber mässige Verengerung des Darmrohres, und alsdann, binnen Secunden, schreitet letztere in der Richtung nach dem Pylorus hin einige Centimeter weiter fort, während analwärts von der gereizten Stelle keine Contraction des Darmes auftritt. Während des Geschlosseneins der Kette dauert die Zusammenziehung fort, meist wird sie sogar allmählich noch kräftiger und nach aufwärts hin ausgedehnter, bei Oeffnung des Stromkreises (die längstens nach  $\frac{1}{2}$  Minute, meistens viel früher, erfolgte) hört sie oberhalb der Electrode rasch auf, während an dieser selbst ein schärfer abgesetzter, breiter und kräftiger Schnürring noch einige Zeit fortbesteht. Dieser Vorgang zeigt nun zahlreiche Varietäten. Häufig entstehen zunächst nur einzelne, durch uncontrahirte Strecken getrennte Einschnürungen des oberwärts gelegenen Darmabschnittes, und erst nach und nach wird die ganze Strecke gleichmässig verengt. In anderen Fällen scheint die Constriction nicht unmittelbar an der Electrode zu beginnen, woselbst sie überhaupt wegen der hier vorhandenen weisslichen Längsleiste und der breiten muldenähn-

lichen Abflachung des Organs bisweilen nur schwer zu erkennen ist, sondern 1 bis 2 Centimeter aufwärts von den Electroden geschieht dies, und von hier aus dehnt sie sich dann weiter nach oben und zugleich abwärts bis zur Electrode hin aus. Speciell in Fällen, wo sich viel flüssiger Inhalt im Darne befindet, ist letzteres Verhalten kein seltenes und scheint durch Anstauung des Inhalts mitbedingt zu sein. Während ferner die locale Wirkung der Kathodenschliessung (Längsstreif und Delle) sich relativ rasch zu ihrer grössten Stärke entwickelt, erfolgt die aufsteigende Constriction langsamer: in der Regel vergehen einige Secunden, ja es kann 15 bis 20 Secunden währen, ehe sie überhaupt bemerkbar wird. Häufig ferner stellt sie sich dar als eine Art von peristaltischem Wogen; oder die bereits vollendete Contraction lässt von oben her nach, um gleich darauf von Neuem aufwärts zu wandern. Die Länge des verengten Darmabschnitts wechselt sehr, für gewöhnlich beträgt sie nur wenige Centimeter, nicht selten aber mehr, sogar bis 2 Decimeter. In ausgeprägten Fällen streckt sich dabei der Darm beträchtlich und wird bleich, blutleer. Abwärts der gereizten Darmstelle bleibt, wie erwähnt, die Zusammenziehung in der Regel aus; nur wenn die oberwärts contrahierte Strecke eine sehr ausgedehnte ist, schreitet die Constriction auch wohl 1—2—3 cm über die Electrode hinaus nach dem Ileum zu fort.

Die beschriebenen Vorgänge vollziehen sich, wie der Augenschein lehrt, an der Ringmuskelschichte des Darmrohres. Mitunter indessen wird deutlich auch die Längsmuskellage, und zwar rings um den Darm, in fortgeleitete Erregung versetzt. Dann verkürzt sich zunächst der Darm einige Centimeter weit je auf- und abwärts von der Electrode, geräth auch wohl durch abwechselndes Erschlaffen und erneute Verkürzung in leichtes Pendeln, und erst etwas später tritt ausserdem, wenn überhaupt, die aufsteigende Verengung zu diesen Bewegungen hinzu.

Wird anstatt mit der Kathode die Kette mit dem positiven Pol am Duodenum geschlossen, so sind ähnliche Vorgänge wie die mitgetheilten zwar ebenfalls wahrzunehmen, sie sind jedoch ganz entschieden schwächer. Man darf sich freilich durch den bei erheblicher Stromintensität am positiven Pole entstehenden, kräftigen, stabförmig gestreckten Schnürring, der als locale Wirkung anzusehen ist, nicht täuschen lassen. Tritt bei Kathoden-



schliessung eine sehr ausgedehnte fortschreitende Zusammenziehung auf, so bleibt eine ähnliche Wirkung meist auch bei Anodenschliessung nicht aus, sondern von dem localen Schnürring aus schreitet die Verengung ganz ebenso und mit denselben Varietäten, wie vorhin ausführlich beschrieben, weiter aufwärts, aber diese Constriction entwickelt sich langsamer, ist weniger intensiv und über eine weniger lange Strecke ausgebreitet. Ist bei Kathodenschliessung die Wirkung nur schwach, so fehlt sie bei Anodenschliessung in der Regel völlig. In den meisten Fällen ist überhaupt nur mit der Kathode fortgeleitete Wirkung zu erzielen. Niemals fand ich die Anodenwirkung stärker als die kathodische. In einigen wenigen Fällen wurde, nachdem auf Anodenschliessung fortschreitende Zusammenziehung erfolgt war und während der Strömungsdauer, die  $\frac{1}{2}$  bis  $\frac{3}{4}$  Minute betrug, in wechselnder, etwas abnehmender Intensität fortbestanden hatte, bei Oeffnung des Stromes diese Zusammenziehung wieder stärker, aber dieses Verhalten war wie gesagt ein ganz ausnahmsweises. Bei Kathodenöffnung sah ich fortgeleitete Reaction niemals.

Am übrigen Dünndarm sind zwar qualitativ dieselben Verhältnisse wie am Duodenum anzutreffen, doch bedarf es in der Regel einer grösseren, oft recht grossen Anzahl von Elementen (12 bis 20 und mehr), um fortgeleitete Wirkungen zu erzielen, und auch dann können diese schwach sein oder fehlen. Unter Umständen freilich, wenn z. B. soeben eine kräftige peristaltische Welle einen längeren Abschnitt des Dünndarmes durchheilt hat, sind schon schwächere Ströme (von 8 bis 10 El.) dazu ausreichend, wie andererseits ausnahmsweise auch am Duodenum sogar bei der höchsten verfügbaren Stromstärke ausschliesslich locale Wirkungen auftreten können. — Dickdarm und Blinddarm endlich reagiren ebenfalls bei stärkerer galvanischer Reizung im Wesentlichen ganz ähnlich. Am Dickdarm geht die fortgeleitete Ringmuskulcontraction meist auch etwas mehr abwärts als am Dünndarm, doch ist die aufwärts der gereizten Stelle sich verengernde Darmstrecke stets länger; vielfach ist analwärts die Zusammenziehung kaum angedeutet, während klappenwärts eine 3—5 cm lange Strecke betheiligt ist. Am Blinddarm nimmt die Verengung die Richtung nach dem geschlossenen Ende hin und kann hier auf 2 bis 3 Haustra sich fortpflanzen.

Viel ausgesprochener als während des Lebens tritt die auf-

steigende Constriction an dem stark erregbaren Darne des eben getödteten (erstickten) Thieres auf und ist hier bei genügender Stromstärke überall nachweisbar. Zugleich ist sie einfacher gestaltet: die oben geschilderten Spielarten derselben fehlen, und rascher und gleichmässiger als während des Lebens verläuft vom Reizungsorte aus die Bewegung, meist auch eine kurze Strecke nach abwärts, den Darm entlang.

Beim Meerschweinchen findet sich im Wesentlichen daselbe Verhalten wie beim Kaninchen, doch sind die fortgeleiteten Wirkungen hier weniger ausgesprochen und im Einzelnen etwas anders. Am leichtesten reagirte auch hier der Anfangstheil des Darmes, am übrigen Dünndarm mussten meistens recht erhebliche Stromstärken benutzt werden, und auch dann noch blieb es hier häufig bei localen Erfolgen. Der Dickdarm dagegen, sowohl das weitere Anfangsstück als der dünnwandige, mit cylindrischen Kothballen angefüllte untere Abschnitt, reagirte wieder prompter. Die Länge der aufsteigend verengten Darmstrecke ist, dem kürzeren Darm dieser Thiere entsprechend, geringer als beim Kaninchen, sie beträgt für gewöhnlich — am Dünndarm — nur 1 bis 2 cm. Viel häufiger ferner als beim Kaninchen verläuft die Einschnürung nicht gleichmässig pyloruswärts, sondern es tritt eine unregelmässige, wogende Bewegung auf. Oder die Verengung beginnt 1 bis 1½ cm oberhalb der Electrode und schreitet von hier ausschliesslich abwärts, bis zu letzterer hin oder noch etwas über sie hinaus. Dieses Verhalten war am Duodenum sogar das gewöhnliche: hier nahm, wenn der erregende Pol die Darmserosa 5 bis 6 cm vom Pförtner entfernt berührte, die Einschnürung fast immer hart am Magen ihren Anfang und eilte von hier aus rasch abwärts bis zur gereizten Stelle, auch wohl noch ein wenig weiter, den Darm stark verengend und seinen Inhalt in die tieferen Abschnitte weitertreibend. — Auch am Dickdarm kommt die Erregung in einer Mannichfaltigkeit von Bildern zum Ausdruck. So schreitet am oberen Colon die Verengung entweder typisch, an der Electrode beginnend, 1—2—3 cm weit mit abnehmender Intensität aufwärts, oder es treten oberhalb nur vereinzelte Ringfurchen auf, oder der Darm wird nach beiden Richtungen hin, nach oben aber stärker und auf eine längere Strecke, verengt. Mehrmals blieb nach Kathodenschliessung die Verengung an der Angriffsstelle des Reizes schwächer als abwärts und besonders aufwärts neben

derselben, so dass diese Gegend — wie die beigegefügte Abbildung zeigt, in welcher der Pfeil die Richtung nach der Ileocoecalclappe angiebt — spindelförmig sich von der Nachbarschaft abgrenzte.

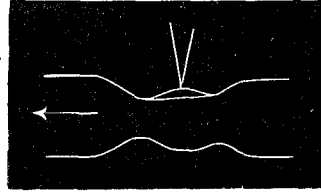


Fig. 1.

An der Längsmuskellage kam eine fortgeleitete Wirkung noch seltener als an den Ringmuskeln zur Beobachtung. Wenn sie aber auftrat, so geschah die Verkürzung des Darmes stets in beiden Richtungen etwa gleich weit, oft rhythmisch sich erneuernd, und stets erschien sie, wenn ausserdem Ringmuskelcontraction dazutrat, früher als letztere. Sehr schön waren diese Vorgänge in einem Falle kurz nach dem Tode des Thieres zu sehen: hier war das Bild genau dasselbe, wie es bei faradischer Reizung schon während des Lebens ganz gewöhnlich sich darstellt und an anderer Stelle<sup>1)</sup> von mir beschrieben worden ist, nur dass bei Anwendung des nicht unterbrochenen Kettenstromes ausserdem die localen Erfolge in auffälliger Weise sich geltend machten. Bei Anodenschliessung war die fortgeleitete Wirkung qualitativ dieselbe als bei Kathodenschliessung, aber schwächer.

Bei der Katze ist, während die nur localen Erfolge schwächerer Reizung dieselben wie bei Pflanzenfressern sind, das Bild der fortgeleiteten bzw. bei stärkerer Reizung auftretenden Wirkung auf den ersten Anblick ein ganz anderes als bei den letztgenannten Thieren, und ohne die genauere Kenntniss des bei letzteren herrschenden Verhaltens ist es nicht so leicht, die richtige Deutung zu finden. Auch hier zwar kommen die auf eine längere Darmstrecke sich ausbreitenden Bewegungen zuerst bei KS zum Vorschein, während AS einen schwächeren Reiz setzt und mit AO und KO überhaupt nichts dergleichen erzielt werden kann. Doch unterscheiden sie sich von den beim Kaninchen und Meerschweinchen wahrzunehmenden dadurch, dass sie viel weniger weit sich fortpflanzen, und insbesondere dadurch, dass die Verengung des Darmrohres nicht bloss aufwärts von dem erregenden Pol und anastaltisch fortschreitend, sondern stets auch nach unten hin, ja sehr häufig auf- und abwärts gleich weit sich erstreckt. An der longi-

1) Virchow's Archiv 119. Bd., 1890.

tudinalen Muskelschicht konnte eine den ganzen Umkreis derselben treffende und zur Verkürzung des Darmes führende Erregung überhaupt nicht festgestellt werden. Im Einzelnen sind die Vorgänge folgende. Bei Kathodenschliessung am Dünndarm (mit etwa 10 bis 12 Elem.) wird, nachdem der charakteristische Längshügel sich ausgebildet hat, das Organ ebendasselbst in einer Ausdehnung von 1 bis  $1\frac{1}{2}$  cm — bei grösserer Stromstärke auch auf eine längere, 2 ja 3 cm betragende Strecke — mässig verengt und leicht gestreckt, und die Verengung geht allmählich in den uncontrahirten Darm über. Nicht immer, sondern nur in der Mehrzahl der Fälle liess sich — nach genauer Untersuchung von 8 Thieren — an der verengten Strecke eine Längendifferenz zu Gunsten des magenwärts befindlichen Abschnittes demonstrieren. Der Unterschied beträgt sehr oft nur einige mm; aber es kann auch vorkommen, dass die Verengung wie beim Kaninchen 1 bis 2 cm weit oder noch weiter langsam aufwärts geht, oder dass hier getrennte schwache Einschnürungen auftreten, während die untere, jenseits der Electrode befindliche Grenze der contrahirten Strecke mehr oder weniger stabil bleibt. Oder die anastaltisch stärkere Erregung markirt sich in Form eines oberwärts neben der Electrode den Darm tiefer als jenseits einschneidenden oder hierselbst eher auftretenden Ringes. Während des Geschlosseneins der Kette bleibt die Erregung im Allgemeinen auf gleicher Höhe; sie kann anfänglich noch langsam zunehmen; sie kann gleich im Beginn den Darm nach oben und unten hin auf eine Strecke von im Ganzen 2 bis 4 cm strecken und verengern, um gleich darauf sich auf die nähere Umgebung des Poles zurückzuziehen; sie kann auch im nächsten Umkreis desselben sich am wenigsten ausprägen, so dass ein Bild wie Fig. 1 zu Stande kommt. Wird der Stromkreis durch anodische Berührung des Darmes geschlossen, so ist bei Benutzung stärkerer Ströme (10 bis 20 Elem.) die nunmehr recht stark verengte und etwas verlängerte Strecke zwar ebenfalls ziemlich ausgedehnt (1 bis  $1\frac{1}{2}$  cm, ja noch mehr), aber eine Bevorzugung der aufsteigenden Richtung ist nur in recht seltenen Fällen anzutreffen. — Am Dickdarm war das Ueberwiegen dieser Richtung deutlicher als am Dünndarm, die klappenwärts verengte Strecke war jedoch nie länger als 2 cm. Viel deutlicher ferner als am Dünndarm war hier der Intensitätsunterschied, der zwischen der bei Kathodenschliessung auftretenden fortgeleiteten und der mehr localen, ver-

muthlich idiomusculären, anodischen Verengung sich findet: letztere ist stets recht energisch, erstere meistens um Vieles schwächer. Entsteht bei Anodenschliessung fortgeleitete Contraction, so grenzt sich daher nicht selten, wie dies aus Fig. 2 zu ersehen ist, der Bezirk starker „idiomusculärer“ Contraction von einem oberwärts gelegenen, weniger verengten Bezirk auf's Deutlichste ab. Die Mannichfaltigkeit der bei Kathodenschliessung auftretenden Bilder wird, besser als durch jede Beschreibung, durch die Figuren 3 bis 5 veranschaulicht.

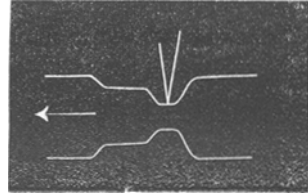


Fig. 2.

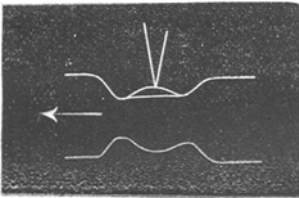


Fig. 3.

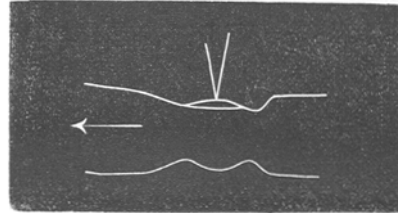


Fig. 4.

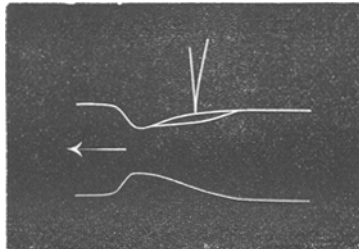


Fig. 5.

Nach dem Tode des Thieres sind die fortgeleiteten Wirkungen (Ringmuskelcontraction) ausgeprägter als während des Lebens; aber auch dann ist die Ausdehnung der anastaltischen Bewegung häufig nicht grösser als die der absteigend gerichteten; und hat erst die Erregbarkeit des Darmes ihren Höhepunkt erreicht, so ist die Bevorzugung einer bestimmten Richtung überhaupt nicht mehr wahrzunehmen, sondern ana- und katastaltisch in etwa gleicher Weise schreiten die Contractionswellen über beliebig weite Strecken des Darmes fort.

Das Wesentliche der mitgetheilten Thatsachen lässt sich in folgende Sätze zusammenfassen:

Bei Reizung des Darmes lebender Warmblüter (Kaninchen, Meerschweinchen, Katze) mit dem con-

stanten electricischen Strom treten ausser den auf die gereizte Stelle sich beschränkenden Contractions, die bei Schliessung des Stromes mit der Kathode qualitativ anders als bei Anodenschliessung sich darstellen, noch weiter fortgeleitete Bewegungsvorgänge auf. Zur Erzeugung derselben sind im Allgemeinen grössere Stromstärken erforderlich, und auch dann können sie unter Umständen ausbleiben. Sie entstehen fast ausnahmslos nur bei der Schliessung der Kette, und zwar sowohl wenn die Reizung am Darne mit der positiven als wenn sie mit der negativen Electrode geschieht. In beiden Fällen ist qualitativ die Wirkung die gleiche, doch wirkt die Kathode stärker als die Anode. Beim Kaninchen und Meerschweinchen stellt diese Wirkung in ausgeprägten Fällen sich dar als eine, mehrere Centimeter weit je auf- und abwärts von der Electrode eintretende Contraction der Längsmuskellage des Darmes, der eine, ausschliesslich oder vorwiegend pyloruswärts verlaufende Contraction der Ringmuskellage sich anschliesst; bei der Katze tritt eine, entweder auf- und abwärts gleich weit oder pyloruswärts weiter sich erstreckende Contraction der Ringmuskeln auf.

In Bezug auf die Deutung des Beobachteten ist die Hauptfrage, welcher Antheil der Bewegungsvorgänge als directe Erregung der glatten Musculatur und welcher als indirecte, durch nervöse Einflüsse vermittelte Erregung aufzufassen ist, wohl ohne besondere Schwierigkeit zu beantworten. Schon das am Eingang dieser Abhandlung über die mehr localen, polar verschiedenen Contractions Mitgetheilte hatte zu dem Schluss geführt, dass wir es hier mit einer directen Erregung der glatten Muskelfasern zu thun haben. Die Kenntniss noch einer zweiten, nach Form und Entstehungsbedingungen von jener ersten ganz verschiedenen Wirkung bekräftigt diesen Schluss, während andererseits diese zweite Wirkung, deren wechselnde Stärke mit dem wechselnden Grade der sicherlich nervösen Erregbarkeit des Darmtractus gleichen Schritt hält, sich als eine durch Nervenapparate vermittelte documentirt. Weitere Beweise werden durch die nachstehend noch erwähnten analogen Wirkungsarten verschiedener anderer Agentien gegeben.

Freilich ist hiermit ein genügendes Verständniss der sämtlichen oben beschriebenen Einzelheiten der Bewegungsbilder noch nicht erreicht. Einige besonders charakteristische, durch die superponirte Wirkung der directen und indirecten Erregung erzeugte Bilder sind unschwer zu deuten. So ist in Fig. 2 (Anodenschliessung am Colon der Katze) die starke Verengerung wohl sicher auf directe Muskelerrregung, die schwächere, daneben befindliche auf indirecte zu beziehen. Die Figuren 1, 3 und 4 (Kathodenschliessung am Colon von Meerschweinchen und Katze) dürften in der Weise zu erklären sein, dass in diesen Fällen, wo musculäre und nervöse Erregung an der kleinen, von der Electrode berührten Stelle geschieht und gleichzeitig in einer peripolaren Zone sich schwächere erregungshemmende (anodische) Wirkungen hinzugesellen, die sich ausbreitende Nervenwirkung erst in einigem Abstände von der Electrode, da in deren näherer Umgebung die Muskulatur sich im Zustande des Anelectrotonus befindet, zur Zusammenziehung der Ringmuskeln führen kann. Worauf die bei der Katze beobachtete Abweichung der Reaction von der bei den Pflanzenfressern auftretenden beruht, bleibt noch unklar. Auch die mannigfache, beim Kaninchen und Meerschweinchen zu bemerkende Gestaltung des Vorganges der nervösen Erregung erfordert ebenfalls noch eine genauere, vorläufig nur vermuthungsweise zu gebende Erklärung, und selbst die idiomusculären Zusammenziehungen können, wie erwähnt, noch nicht als in allen Punkten aufgeklärt gelten.

Es sei noch darauf hingewiesen, dass die vom Nerven ausgehende Erregung der Darmmuskeln in völliger Uebereinstimmung mit dem Pflüger'schen Zuckungsgesetze vor sich geht. Da in den Versuchen das gereizte Darmstück mit einer grossen, den Strom relativ gut leitenden Masse (Thierkörper und Badeflüssigkeit) in Verbindung stand und daher die Methode der unipolaren Reizung angewendet wurde, so äussert sich diese Uebereinstimmung als eine gemäss der von Brenner<sup>1)</sup> aufgestellten Zuckungsformel, die bekanntlich von Helmholtz<sup>2)</sup> und Filehne<sup>3)</sup> auf das Pflüger'sche Gesetz zurückgeführt ist, mit anschwellender Stromstärke

---

1) Brenner, Untersuchungen und Beobachtungen aus dem Gebiet der Elektrotherapie. Leipzig, 1869.

2) Bei Erb, Deutsches Archiv für klin. Medicin 3. Bd., 1867.

3) Filehne, Deutsches Archiv für klin. Medicin 7. Bd., 1870.

zuerst an der Kathode, dann an der Anode auftretende Wirkung. Gleichwie bei percutaner Reizung der Nerven des lebenden Menschen mit dem Anwachsen der Stromstärke die Zuckung zuerst bei KS, darauf bei AS, weiterhin bei AO auftritt, so kam die indirecte Erregung der Darmmuskulatur ausnahmslos zuerst bei KS, beziehlich bei KS stärker als bei AS, zum Vorschein, einige wenige Male war ausser Anodenschliessungswirkung auch bei Anodenöffnung eine geringe Erregung zu bemerken.

Die beschriebene Reactionsweise des Darmes auf galvanische Reizung reiht sich endlich zwanglos den Thatsachen an, welche über die Wirkung verschiedener anderer Agentien, wenn dieselben auf die Serosa des Darmes applicirt werden, bereits bekannt sind. So bewirkt der faradische Strom ausser directer (am Katzentarm ganz deutlicher), in nächster Nähe der Electroden geschehender Erregung der Muskulatur eine indirecte Erregung derselben, die sich als auf- und abwärts von den Electroden auftretende Verkürzung und sich anschliessende, ausschliesslich oder überwiegend pyloruswärts verlaufende, Verengerung des Darmes darstellt. Aehnliches erhält man bei Application chemischer Reize (Natronsalze)<sup>1)</sup>; auch die der Ringmuskelzusammenziehung vorausgehende Contraction der Längsmuskellage ist, wie ich beiläufig hier mittheile, bei Anwendung der stärker wirkenden Salze (besonders des Natron carbonicum) unverkennbar. Mechanische Reize bewirken, wenn überhaupt ein Erfolg sich zeigt, meistens nur eine Zusammenziehung der direct getroffenen Muskelpartien, doch gelingt es, durch Dehnung des Darmes mittelst eines ihm einverleibten Ballons<sup>2)</sup> auch den Nervenapparat zu erregen und aufsteigende Ringmuskelcontraction hervorzurufen. Die Wirkung des constanten Stromes unterscheidet sich also von den Wirkungen der genannten anderen Erregungsmittel hauptsächlich dadurch, dass bei ihr der Erfolg der directen Muskelreizung besonders kräftig und räumlich besonders ausgedehnt ist, ausserdem je nachdem man den Darm mit der positiven oder mit der negativen Electrode berührt, in charakteristisch verschiedener Weise sich darstellt.

---

1) Nothnagel, Virchow's Archiv Bd. 88.

2) Lüderitz, Virchow's Archiv Bd. 118, 1889.

---