

XI.

Kleinere Mittheilungen.

1.

Zur elektrischen Reizung des Darmes.

Von Dr. Carl Lüderitz in Berlin.

Bei Gelegenheit von Untersuchungen, die ich an den blossgelegten Därmen lebender Kaninchen anstellte, wurde beobachtet, dass die bei faradischer Reizung des Darmes auftretende Contraction desselben in der longitudinalen Muskelschicht in anderer Weise als in der Ringmuskellage verläuft; auch bei einigen zur Controle untersuchten Meerschweinchen und Katzen zeigte sich das gleiche Verhalten. Da diese Thatsache bisher nicht bekannt, wenigstens nicht beschrieben worden ist, da überhaupt die für das theoretische wie praktische Interesse gleich wichtigen Grundthatsachen, die bei directer elektrischer Reizung der Därme lebender Warmblüter sich darbieten, bisher nur wenig beachtet worden sind, so theile ich das von mir Beobachtete im Folgenden mit. In der Literatur konnte ich über den Einfluss der Elektrizität auf die Darmbewegungen, abgesehen von kurzen, mehr beiläufigen Angaben, die sich darüber in verschiedenen, die Darmbewegungen behandelnden Schriften vorfinden, jedoch für eine genauere Kenntniss der betreffenden Vorgänge nicht verwerthbar sind, abgesehen ferner von den gleichfalls hierfür nicht verwerthbaren Mittheilungen der Elektrotherapeuten, nur drei Arbeiten auffinden: einen Aufsatz von Nothnagel¹⁾ mit Angaben über die faradische Reizung des Kaninchendarmes, eine Arbeit Schillbach's²⁾ über faradische und galvanische Reizung desselben, und eine solche von Biedermann³⁾, die sich nur mit den Wirkungen des Kettenstromes beschäftigt.

Die von mir untersuchten Thiere waren 9 Kaninchen, 4 Meerschweinchen und 3 Katzen, sämmtlich gut entwickelte, ausgewachsene Thiere. Sie wurden betäubt, — die Kaninchen und Meerschweinchen durch subcutane Aetherinjectionen, die Katzen durch Chloroform, — und bei eröffnetem Abdomen in einem 38° C. warmen, 0,6procentigen Kochsalzbade untersucht. Zur elektri-

¹⁾ Nothnagel, Beiträge zur Physiol. u. Pathol. des Darmes. Berlin 1884. S. 42.

²⁾ Schillbach, Dieses Archiv. 1887. Bd. 109. S. 278.

³⁾ Biedermann, Pflüger's Arch. f. Phys. 1889. Bd. 45.

schen Reizung diente der secundäre Strom eines mit Grenet'schem Element versehenen Du Bois'schen Schlittenapparates. Der zu reizende Darmtheil wurde vorsichtig etwas aus dem Badewasser gehoben und dann entweder mit 2 Elektroden (Platindrähten), oder auch nur mit 1 Platinelektrode, während eine breite unpolarisirbare Elektrode am Fussende des Thieres in die Badeflüssigkeit tauchte, gereizt. Die Anwendung unpolarisirbarer Elektroden statt der Platindrähte war, wie ich mich überzeigte, für den beobachteten motorischen Erfolg gleichgültig.

Die zur Contraction erforderlichen Stromstärken waren sehr wechselnd, am oberen Dünndarm grösser wie am übrigen Darm, ausserdem jedoch verschieden bei den einzelnen Thieren und während der Dauer des Experiments bei einem und demselben Thiere. In der Regel waren sie bedeutend grösser als die zur Erregung der Skelettmusculatur nöthigen Stromstärken; beispielsweise am Pectoralis Contraction bei einem Rollenabstande von 240 mm, am Dünndarm erst bei 160 mm.

Beim Kaninchen entsteht, wie zuerst Nothnagel angegeben, auf Reizung des Dünndarms mit schwachem oder mässig starkem Strom eine unbeschriebene ringförmige Contraction, bei grösserer Stromstärke eine den Darm stark verengende, vorwiegend magenwärts und nur sehr wenig abwärts sich ausdehnende Zusammenziehung.

Die Einzelheiten hierbei sind folgende. Reizt man mit nur einer Elektrode eine ganz circumscribte Stelle des Dünndarms, so entsteht bei schwacher Erregung genau an dieser Stelle ein schmaler, den Darm verengender Contractionring. Ist der Reiz stärker und contrahirt sich eine längere, 1 bis $1\frac{1}{2}$ cm lange Darmstrecke, so liegt dieselbe stets oberhalb der Reizungsstelle, und die Contraction schreitet entweder von dieser aus aufwärts fort, oder sie beginnt ziemlich gleichzeitig auf der ganzen Strecke, oder endlich ihr Beginn ist einige Millimeter bis 1 cm oberhalb der Reizungsstelle und sie wandert von hier aus abwärts bis zu letzterer und gleichzeitig aufwärts. Bei Reizung mit zwei Elektroden, die 4—5 mm von einander entfernt in der Längsrichtung des Darmes an denselben angelegt werden, beginnt bei schwacher Erregung die Contraction meistens an der pyloruswärts gelegenen Elektrode; seltener an beiden Elektroden zugleich, und selbst bei Verengung einer 1—2 cm langen Strecke kann die Gegend des Darmes abwärts von der oberen Elektrode ganz frei von Zusammenziehung bleiben. Bei stärkeren Strömen erstreckt sich die Verengung weiter nach oben hin, 3—6 cm und weiter, während sie ausserdem nun auch ein kurzes Stück, 1—3 cm, auf den abwärts gelegenen Darmabschnitt sich fortpflanzt. Dieses Verhalten — bei schwächerer Erregung ausschliesslich an der Reizungsstelle oder zugleich oberhalb, bei starker ausserdem etwas unterhalb auftretende Zusammenziehung der Ringmuskeln, — ist an jeglichem Abschnitt des Darmes wahrzunehmen. Am Cöcum entspricht dabei, wie dies ganz ähnlich für die Wirkung der Natronsalze von Bokai¹⁾ angegeben ist, die Contraction nach

¹⁾ Bokai, Archiv f. experim. Path. u. Pharmakol. 1887. Bd. 23.

dem geschlossenen Ende hin dem an anderen Darmstellen magenwärts gerichteten Verlauf.

Neben der Thätigkeit der Ringmuskellage ist jedoch auch eine solche der Längsmuskelfasern wahrzunehmen. In dieser Beziehung giebt nur Schillbach an, dass bei schwachen Strömen eine Verstärkung der Pendelbewegungen, jener durch Contraction der Längsmuskelfasern entstehenden Verschiebungen des Darmrohrs, auftrete, theilt aber Näheres hierüber nicht mit. Bemerkenswerth ist nun, dass im Gegensatze zu den Ringmuskeln hierbei eine bestimmte Richtung nicht bevorzugt wird, sondern die Erregung verbreitet sich von der gereizten Stelle aus gleichmässig magen- und afterwärts, so dass der Darm am Orte der Reizung und 2—4—5 cm je auf- und abwärts — und zwar um so früher und um so stärker, je näher der gereizten Stelle, — in seiner ganzen Circumferenz durch Contraction der longitudinalen Muskelfasern sich verkürzt. Man erkennt dies besonders an dem Zusammenrücken der kleinen, quer über das Darmrohr laufenden Aederchen. Von dem Verhalten der Ringmuskeln ist dasjenige der Längsmuskeln mit Leichtigkeit deshalb zu unterscheiden, weil die Zusammenziehung der letzteren stets früher eintritt als die der Ringfasern: von beiden Seiten her nach der gereizten Stelle hin verkürzt sich der Darm, und erst auf der Höhe dieser Verkürzung tritt dann die aufwärts verlaufende Verengung und Streckung hinzu, während abwärts die Verkürzung noch andauert. Bei weiterer Dauer der Reizung pflegen dann Ring- und Längsmuskeln, zuerst in den von der Reizungsstelle entfernteren Abschnitten, wieder zu erschlaffen. Oft auch tritt in der Längsmuskellage, seltener in den Ringmuskeln, mehrmals hinter einander Erschlaffung und erneute Contraction ein, so dass eine Art von Pendelbewegung entsteht. Bemerkenswerth ist ferner, dass man bei Anwendung schwacher Reize häufig nur eine, in der beschriebenen Weise sich darstellende Wirkung auf die Längsmuskeln, dagegen keine auf die Ringmuskeln erzielt, was besonders bei schon spontan vorhandener Thätigkeit der Längsmuskeln eintritt; in anderen Fällen, wobei dann auch die spontanen Pendelbewegungen fehlen, tritt gar keine Verkürzung auf, sondern sofort Verengung und Streckung des Darmes. Bei starker Erregung dagegen war die der Constriction des Darmes vorausgehende Verkürzung und Erweiterung viel häufiger, aber auch nicht in allen Fällen ausgeprägt, vorhanden. Es scheinen also, was auch durch andere Erfahrungen wahrscheinlich gemacht wird, die beiden Muskelschichten des Darmrohrs in ihrer Erregbarkeit eine gewisse Unabhängigkeit von einander zu besitzen.

Das Geschilderte gilt nur für den Dünndarm. Am Colon und Cöcum war die Erregung der Längsmuskelschicht wenig oder gar nicht ausgeprägt; übrigens sind auch spontane Bewegungen derselben, die am Dünndarm so häufig sind, hier nur selten.

Erwähnt sei endlich eine Bewegungserscheinung, die zuerst von Nothnagel¹⁾ durch starke faradische Reizung hervorgerufen wurde: die dicht

¹⁾ a. a. O.

unterhalb der Elektroden aus der abwärts befindlichen Darmstrecke sich ausbildende *Invaginatio descendens*, bei welcher unter dem Einfluss des fortbestehenden Reizes immer neue Abschnitte des Darmes sich emporschieben, nahe den Elektroden sich nach innen umschlagen und zum äusseren und weiter zum inneren Rohre des eingeschobenen Darmstücks werden. Da das Zustandekommen dieser für die Pathologie wichtigen Erscheinung bisher nicht erklärt ist, so theile ich folgende, für eine Erklärung verwertbare Versuche hier mit. Hört man, nachdem die Invagination sich bereits ausgebildet hat, mit der Reizung auf und legt sodann die Elektroden, bei einer schwächeren, am benachbarten Darm nur zu localer oder wenig aufsteigender Constriction führenden Stromstärke, an den Umschlagssaum der Einschiebung, so contrahiren sich auch hier local die Ringmuskeln, und während die verengten Stellen abwärtsleitend sich ebenfalls einschieben, rücken immer neue Theile des *Intussuscipti* zur Reizstelle aufwärts; es schreitet also die Einschiebung in ganz derselben Weise, als ob bei starker Stromintensität die Elektroden sich oberhalb derselben am Darm befänden, weiter vor. Vermuthlich also sind es die bei starkem Strom sich weiter ausbreitenden Stromschleifen, welche, nachdem zunächst der verengte und gleichzeitig verlängerte Darm sich, wie leicht verständlich, in das abwärts angrenzende, durch Contraction seiner Längsmuskeln erweiterte und verkürzte Darmstück etwas eingeschoben hat, nunmehr auf den Umschlagssaum einwirkend, auf die genannte Weise die Fortentwicklung der Einschiebung zu Stande bringen. Dass dieser freie Rand als Angriffsstelle des Reizes wichtig ist, erhellt noch aus einer anderen Thatsache. Man kann nemlich genau dieselbe absteigende Invagination wie mittelst des Inductionsstromes auch durch Reizung des Darmes mit Natronsalkzkrystallen hervorrufen. Bringt man hierbei, nachdem sich der Darm aufsteigend verengt und, was sehr häufig der Fall ist, abwärts ein wenig eingeschoben hat, den Krystall in die so entstandene Rinne, so verengt sich der Saum und zieht sich in die Rinne hinein, und durch wiederholte, bezw. fortdauernde Berührung der Innenfläche des Saumes mit dem Krystall werden von aussen immer neue Darmpartien emporgezogen und schieben sich ein. Das (wieder entfaltete) *Intussusceptum* erreichte hierbei mehrmals eine Länge von 10 cm und bestand ganz oder vorwiegend aus dem, bei Beginn der Reizung abwärts von der zuerst gereizten Stelle gelegenen Darmabschnitt. Bezüglich der zur Weiterentwicklung der Einschiebung nothwendigen Muskelaction bin ich nach dem Mitgetheilten der Ansicht, dass vorwiegend die Ringmuskeln des Umschlagssaumes in Betracht kommen dürften, indem durch Verengung dieses Saumes die innere Wand desselben abwärts, die äussere aufwärts sich verschiebt. Ob dieser Entstehungsmodus auch für die in der menschlichen Pathologie uns interessirenden Invaginationen zutrifft, ist eine andere Frage; immerhin schien mir, da nur das Experiment hier ein genaueres Verständniss anbahnen kann, die Mittheilung obiger Thatsachen gerechtfertigt.

Beim Meerschweinchen ist der Erfolg der faradischen Reizung im Wesentlichen derselbe wie beim Kaninchen: die Längsmuskeln ziehen sich

früher und sowohl oberhalb als unterhalb der gereizten Stelle, die Ringmuskeln später und ausschliesslich oder — bei stärkeren Reizen — vorwiegend oberhalb derselben zusammen. Nicht blos am Dünndarm, sondern auch am ganzen Dickdarm war die Action der Längsmuskeln ausgesprochen vorhanden, eine starke Erregung konnte am oberen Dickdarm sich 4—5 cm weit je auf- und abwärts verbreiten. Eine Verschiedenheit in der Erregbarkeit jeder einzelnen der beiden Muskelschichten, wie dies beim Kaninchen beobachtet wurde, liess sich (vielleicht zufällig?) nicht nachweisen. Stets reagirten zuerst die Längsfasern, contrahirt bleibend oder auch pendelnd, bei geringer Stromstärke häufig nur sie allein. Die Ringcontraction entstand etwas später, oft erst einige Secunden nach Beginn der Reizung, an dem bereits verkürzten Darm; bei ganz schwacher Reizung mit 2 Elektroden (Anordnung wie oben) trat nur am oberen Plätindraht, am Dickdarm häufig sogar einige Millimeter oberhalb desselben, eine schmale Einschnürung auf, bei starkem Strom konnte die Verengung sich 2—3 cm nach oben, sowie 0,5—1 cm nach unten hin, ausbreiten. Der Darm wurde dabei zu einem bleichen blutleeren Strang.

Auch bei der Katze waren die Verhältnisse, abgesehen von einigen Besonderheiten, ganz ähnliche. Am Darm dieser Thiere sind, wie bekannt, spontane Bewegungen selten zu beobachten, auch bei meinen Thieren verharrte während der ganzen, über eine Stunde dauernden Zeit der Untersuchung der glatte, wie Atlas glänzende Darm, wenn er nicht künstlich zur Bewegung angeregt wurde, in vollkommener Ruhe. Wurde der Dünndarm mit schwachem Strome (bei nahestehenden Elektroden) gereizt, so erfolgte zunächst am Orte der Reizung eine, nicht den ganzen Umfang des Darmes ergreifende, sondern nur auf diesen Ort beschränkte, als weisse Vertiefung sich darstellende Contraction, und gleichzeitig wurden 1—2 cm weit von oben und unten her die kleinen querverlaufenden Gefässchen des Darmes den Elektroden genähert. Unter Zunahme dieser Erscheinungen bildete sich nach einigen Secunden, entweder in der Höhe der oberen Elektrode, oder häufiger eine kurze Strecke, bis einige Millimeter, oberhalb derselben, eine den Darm ringförmig umgreifende schmale Einschnürung. Bei grösserer Stromstärke entstand dasselbe Bild, aber rascher, und die Ringcontraction schritt noch einige Millimeter aufwärts sowie abwärts bis zur unteren Elektrode fort. Bei sehr starkem Strom (30 mm Rollenabstand) kann der Darm bis 2 cm oberhalb und 0,5—1 cm unterhalb der Reizungsstelle sich durch Zusammenziehung seiner Ringmuskeln verengern, er streckt sich dabei und wird zu einem bleichen knochenähnlichen Stab. Der Beginn der Constriction war dabei fast stets oberhalb der Reizungsstelle, bisweilen 5—8 mm oberhalb derselben. Mitunter traten, bevor die ganze Strecke sich contrahirte, mehrere isolirte Schnürringe auf, oder die Thätigkeit war intermittirend, so dass eine Art wogender Bewegung entstand. — Am Dickdarm ist die locale Wirkung der Reizung besonders deutlich von der sich weiter verbreitenden zu unterscheiden, sie erstreckt sich auf Ring- und auf Längsmuskeln. Ausserdem verkürzt sich von beiden Seiten her der Darm, meistens nur wenig, und

wird sodann, und zwar ausnahmslos zuerst einige Millimeter oberhalb des Reizortes und bei nicht zu starken Strömen von dort aus nur nach oben schreitend und die Reizungsstelle ganz verschonend, durch Contraction seiner Ringfasern verengt. — Sehr auffällig ist bei der Katze die Langsamkeit, mit welcher die Bewegungen sich ausbilden. Schon beim Kaninchen und beim Meerschweinchen treten dieselben nicht sofort auf, und besonders die Ringcontraction stellt mitunter erst 4—6 Secunden nach Beginn der Reizung sich ein. Aber noch langsamer geschieht dies bei der Katze. Bei fortdauernder Reizung können hier 15—20 Secunden vergehen, ehe das Maximum der Wirkung erreicht ist. Ausserdem sei erwähnt, dass bei diesem Thiere sehr häufig, nachdem durch eine 20—30 Secunden dauernde Reizung nur ein mässiger, constant bleibender Effect erzielt worden war, nach Entfernung der Elektroden diese Wirkung noch zunahm und sich nun erst, und zwar ziemlich rasch, zu ihrer grössten Intensität entwickelte. —

Was die Erklärung der beschriebenen Bewegungsvorgänge betrifft, so lässt sich mit Wahrscheinlichkeit wenigstens so viel aussagen, dass dieselben nur zum kleinsten Theile als directe Erregung der glatten Musculatur, sondern wesentlich als eine Wirkung auf den nervösen Apparat des Darmes aufzufassen sind. Die eigenthümliche, oberhalb der gereizten Stelle auftretende Action der Ringmuskeln ist in ganz ähnlicher Weise, wie durch den Einfluss der Elektrizität, nur nicht so hochgradig, auch durch chemische Reizung des Darmes zu erzielen, und hier haben Nothnagel¹⁾ und weiterhin Floël²⁾ die Argumente geliefert, dass diese Wirkung höchstwahrscheinlich eine indirecte, durch Intervention nervöser Apparate vermittelte ist. Den gleichen Ursprung bin ich geneigt für die Action der Längsmusculatur anzunehmen. Der Einwand, dass etwa Stromschleifen die Ursache der auf- und abwärts sich vollziehenden Contraction seien, kann leicht widerlegt werden: nach fester Umschnürung des Darmes mit einem feinen Faden können bei Reizung neben der Schnürstelle die Längsmuskeln dieser Seite mehrere Centimeter weit sich zusammenziehen, während jenseits der Darm unerregt bleibt. Für ziemlich beweisend, dass diese Fernwirkung durch Erregung nervöser Bahnen zu Stande kommt, möchte ich die beschriebene, an der Katze gemachte Beobachtung ansehen, dass neben der auf Längs- und Ringmuskeln sich erstreckenden Fernwirkung auch eine ganz locale, auf den Ort der Elektroden beschränkte und füglich als directe Muskelreizung zu deutende Contraction auftritt, die am Dickdarm deutlich auch die Längsfasern betrifft. Mit Wahrscheinlichkeit ziehe ich also den Schluss, dass der Inductionsstrom am Darm theils direct die glatte Musculatur (nur bei der Katze deutlich), theils die den Bewegungen vorstehenden nervösen Apparate der Darmwand in Erregung versetzt, und dass allein letztere Erregung zunächst zu den Längsmuskeln, und zwar gleichmässig pylorus- und analwärts, und ausserdem zu den Ringmuskeln, und hier ausschliesslich oder vorwiegend pyloruswärts, fortgeleitet wird.

¹⁾ Nothnagel, a. a. O. S. 51.

²⁾ Floël, Pflüger's Archiv f. Physiol. 1885. Bd. 35.

Die Bedeutung dieses Verhaltens für das Verständniss der normalen Darmbewegungen ist erst zu einem Theile offenbar. Bezüglich der Ring-contraction sei darauf hingewiesen, dass dieselbe nicht nur durch elektrische und chemische, sondern, wie ich an anderer Stelle¹⁾ beschrieben habe, auch durch mechanische Reizung des Darmes (Dehnung des Kaninchendarms mit einem Kautschukballon) hervorzurufen ist, dass sie hier bei genügender Erregbarkeit eine Abwärtsbewegung des dehnenden Körpers zur Folge hat und, an immer tiefer gelegenen Darmstellen auf's Neue entstehend, als treibender Constrictionsring hinter dem dehnenden Körper her nach unten verläuft. Diese durch Reize sehr verschiedener Art experimentell zu erzeugende Constriction dient also dem Zwecke der Abwärtsbewegung des Darminhalts. Ob freilich die hierdurch veranlasste Art der Peristaltik, wobei also der nervöse Apparat der Darmwand successiv von Querschnitt zu Querschnitt durch den Inhalt erregt wird, die einzige ist, die beim Lebenden vorkommt, ob nicht auch unabhängig vom Inhalt peristaltisch abwärts verlaufende Wellen entstehen können, und welche von diesen beiden Arten der Entstehung der Peristaltik die physiologisch wichtigere ist, diese Fragen bleiben vor der Hand offen. Von experimentellen, in dieser Hinsicht verwerthbaren Thatsachen sei hier Folgendes erwähnt. Am hochgradig erregbaren Darm des todtten Thieres (Kaninchen, Meerschweinchen) verläuft die auf stärkere Reize (Natron carbon. und besonders stärkere faradische Ströme) erfolgende Zusammenziehung der Ringmuskeln bisweilen ebensoweit — mehrere Centimeter bis 1 dm — aufwärts wie abwärts, was ich am lebenden Thiere niemals beobachtet habe. Besonders ausgeprägt ist dieser Unterschied bei der Katze, bei welcher während des Lebens die Contraction der Ringmuskeln, welche durch chemische oder faradische Reizung zu erzielen ist, einmal auch durch blosses Quetschen mit einer Pincette erzielt wurde, stets allein oder ganz vorwiegend oberhalb der gereizten Stelle sich ausbildet, während einige Zeit nach dem Tode des Thieres schon auf schwächere Reize Schnürringe entstehen, welche, wie dies bereits Engelmann²⁾ ausführlich geschildert hat, von der Ursprungsstelle aus in gleicher Weise magen- und afterwärts den Darm auf weite Strecken durchwandern.

An das über die Längsmuskeln Mitgetheilte weitere Erörterungen anzuknüpfen, scheint mir vorläufig wenig fruchtbringend. Hier ist zunächst das Gebiet der Thatsachen weiter zu vergrössern.

¹⁾ Dieses Archiv. 1889. Bd. 118. S. 24.

²⁾ Engelmann, Pflüger's Arch. f. Physiol. 1871. Bd. 4.