

Neue Versuche über den Actionsstrom in unerregbaren Nerven.

Von

C. Radzikowski,

Assistent am Lausanner Laboratorium.

Seit der Veröffentlichung unserer Versuche über diesen Gegenstand¹⁾ sind folgende Einwürfe zu unserer Kenntniss gekommen. Cybulski²⁾ und Sosnowski³⁾ behaupten, wir hätten Actionsstrom und Katelektrotonus mit einander verwechselt. — Bei Anwendung schwacher Inductionsströme soll dieser Irrthum unvermeidlich sein.

Darauf kann ich mit Herzen⁴⁾ entgegnen, dass, wenn dem so ist, der Einwurf sich nicht nur gegen unsere Versuche richtet, sondern auch gegen alle Versuche, die je mit Inductionsströmen gemacht wurden, seit Du Bois-Reymond's Untersuchungen bis auf diejenigen von Waller und Gotch u. Burch. Folglich sollte man bei derartigen Versuchen auf die Reizung mittelst Inductionsströme ganz verzichten.

Ausserdem lassen sich folgende Thatsachen gegen diesen Einwand anführen:

a) Bei verschiedenen Versuchen an todtten Nerven von Säugethieren habe ich während 18, 20 und selbst 24 Stunden die als „Actionsstrom“ bezeichnete Erscheinung beobachten können. Nach Verlauf dieser Zeit ging die negative Schwankung in eine elektrotonische Ablenkung über, und bald war es der Katelektrotonus und bald der Anelektrotonus, je nach der Stellung des Commutators,

1) Radzikowski, Trav. de l'Institut Solvay. Bruxelles 1899. — Herzen, Centralbl. f. Physiologie Bd. 13 Nr. 18. — Herzen, Revue Scientifique Nr. 2, 13. Jan. 1900.

2) Cybulski und Sosnowski, Centralbl. f. Physiologie Bd. 12 S. 23. 1899.

3) Sosnowski, Bull. internat. de l'Acad. de Cracovie vol. 4. 1900.

4) Herzen, Compt. rend. du Congrès de Paris 1900.

ohne dass man dazu den Inductionsstrom hätte verstärken müssen. In anderen Fällen war eine Verstärkung desselben nöthig, um eine elektrotonische Ablenkung zu bekommen; in diesem Falle zeigt sich aber bei schwächeren Strömen keine Spur mehr von Actionsstrom; und jedes Mal, wenn eine Ablenkung vorkam, konnte ihre Richtung durch Drehung des Commutators verändert werden.

b) In Nerven, welche Aether- oder Chloroformdämpfen ausgesetzt werden, nimmt der Actionsstrom mehr und mehr ab und verschwindet schliesslich vollständig. Ersetzt man in diesem Momente den Inductionsstrom durch den constanten Strom, so kann man den Elektrotonus noch eine Zeit lang deutlich sehen. Diese Thatsache beweist, dass im gegebenen Momente die Anästhesie des Nerven so weit vorgeschritten ist, dass derselbe keinen Actionsstrom mehr, wohl aber noch den Elektrotonus gibt.

c) Endlich gibt die Faradisirung „künstlicher Nerven“ gewöhnlich keine negative, sondern eine positive Schwankung.

Da nun angenommen wird, dass die elektrotonischen Erscheinungen an künstlichen Nerven denjenigen der natürlichen Nerven gleichen, so sollte man meinen, dass, da in letzteren der Katelektrotonus vorwiegt, dies auch beim künstlichen Nerven der Fall sei, — was also nicht zutrifft¹⁾.

Borutttau²⁾ will von der Möglichkeit eines Actionsstromes ohne Action nichts wissen, und er nimmt sich vor, in einer nächsten Schrift die gegentheiligen Beweise darzulegen. In seinem gegenwärtigen Aufsätze sagt er nur, er hätte von mehreren Fachgenossen gehört, dass der Versuch, wie ihn Herzen beschrieben hat, nicht gelingen soll, und behauptet, dass der Versuch mit Thon oder Milchzucker zu gelingen scheint.

Auch Wedensky hat eine ähnliche Bemerkung gemacht, die ich später in Betracht ziehen werde; für den Moment will ich nur den Wunsch äussern, zu wissen, ob die Versuche mit Milchzucker u. s. w. nur zu gelingen scheinen, oder ob sie wirklich gelingen?

1) Beiläufig will ich noch bemerken, dass auch Wedensky aus verschiedenen Gründen die Erklärung von Cybulski nicht anerkennt. Pflüger's Archiv Bd. 82. 1900.

2) Borutttau, Pflüger's Archiv Bd. 81. 1900.

(Ich weiss nicht, was Boruttau bewogen hat, seine Priorität so energisch zu vertheidigen; mir ist es nie eingefallen dieselbe zu bestreiten oder gar mir selbst zuzuschreiben. Ist es denn nöthig, wenn man von einer allgemein bekannten Thatsache spricht, jedes Mal ihren Entdecker zu nennen?)

Wedensky¹⁾ wie Boruttau kann auch an das Vorhandensein eines Actionsstromes ohne Thätigkeit nicht glauben und will ausserdem von der Trennung zwischen Empfänglichkeit und Leitungsvermögen des Nerven nichts wissen. Letztere haben wir nicht erfunden, aber sehr oft auf einer begrenzten Nervenstrecke unter der Wirkung verschiedener Stoffe beobachtet und zu unserem Zwecke benutzt. Dazu war, beiläufig gesagt, eine absolute Unreizbarkeit jener Strecke gar nicht nöthig; es genügte völlig, dass ihre Reizung erfolglos blieb bei Stromstärken, welche von den überhalb oder unterhalb gelegenen Strecken aus kräftige Zuckungen gaben.

Des Weiteren sind es namentlich noch vier Einwürfe von Wedensky, die der Reihe nach berücksichtigt werden müssen.

a) Die Wirkung der Chloralose beruht auf einer Austrocknung des Nerven.

Die Art und Weise, wie die Chloralose wirkt, ist vollkommen gleichgültig; die Chloralose ist, wie andere Stoffe, nur das Mittel zum Zweck; das einzig Wichtige hierbei ist, eine Trennung zwischen Empfänglichkeit und Leitungsfähigkeit einer Nervenstrecke herbeizuführen. Ob nun die Chloralose physisch oder chemisch wirkt, das ändert nichts am Thatbestand. Was man einzig sucht, das ist, eine Nervenstrecke zu erhalten, deren elektrische Reizung im übrigen Theile des Nerven einen Actionsstrom hervorruft, welcher keine Muskelzusammenziehung zur Folge hat.

Uebrigens habe ich eine Reihe Versuche an todten und unerregbaren Nerven gemacht und jedes Mal einen deutlichen Actionsstrom erhalten; diese Versuche hat Wedensky leider einfach übergangen.

b) Das Factum, dass der Nerv unerregbar ist, könnte seine Erklärung in einer langsamen Vergiftung der Endplatte finden.

1) Wedensky, l. c.

Mit dem besten Willen kann ich mir einen solchen Einwurf nicht deuten; wenn man einen bestimmten Theil eines Nerven der Wirkung u. A. der Chloralose aussetzt, so verliert nur dieser bestimmte Theil seine Empfänglichkeit, unter Beibehalt des Leitungsvermögens. Die peripherisch und central gelegenen Theile des Nerven bleiben normal, da ja ihre Reizung immer eine Muskelzusammenziehung hervorruft. Was dabei die Endplatte zu thun haben soll, ist mir ein Räthsel¹⁾.

c) Der Nerv könnte während seiner Herauspräparirung und seiner Verbindung mit den Elektroden in der feuchten Kammer von Neuem erregbar geworden sein.

Alle meine Experimente habe ich auf folgende Art gemacht: Der Frosch wurde durch Zerstörung des Gehirns unbeweglich gemacht, dann der Sciaticus mitsammt dem Plexus vom Knie bis zum Rückgrat präparirt und der Schenkel nahe beim Knie durchgeschnitten; darauf legte ich den Nerv in seine normale anatomische Lage, den Plexus in's Becken und den Sciaticus zwischen die Muskeln des Schenkels; die Pfote kam auf eine Unterlage. Die Chloralose²⁾ liess ich immer auf den Theil des Nerven einwirken, der zwischen den Muskeln des Schenkels liegt.

Im Allgemeinen nahm ich eine gesättigte Lösung von Chloralose, mit Beimengung von einem Ueberschuss an Chloralosepulver, so dass das Ganze eine halbflüssige Masse bildete. Um das Austrocknen zu verhindern, bedeckte ich den ganzen Frosch mit von Salzwasser durchtränktem Fliesspapier und brachte das Präparat unter eine Glasglocke, in der noch ein kleiner Schwamm voll Wasser war. Die Chloralose wirkte ausschliesslich auf den am tiefsten gelegenen Theil des Nerven, da der Fuss und das Becken etwas höher gelegen waren, um eben die Verbreitung der breiigen Masse zu ver-

1) Diesbezüglich sagte mir jüngst Prof. Herzen: „Von der Rolle der Endplatte bei der Nerventhätigkeit wissen wir gar nichts, und was sich Dieser oder Jener einbildet, ist reines Hirngespinnst; aber in der Wissenschaft spielt sie eine hervorragende Rolle, nämlich die eines sehr bequemen Löschhütchens für unbequeme Thatsachen.“

2) Ich habe viele andere Substanzen angewandt, aber es schien mir, dass die Chloralose am besten den Zweck erfüllte; sie wirkt langsam, aber sicher, und man kann mit ihrer Hülfe den gewünschten Zustand sehr lange erhalten, ehe der Nerv abstirbt.

hindern. Nach Ablauf einer gewissen, für jeden Versuch verschiedenen Zeit, kam der Moment, in welchem der chloralosierte Theil des Nerven erst für schwache, dann für stärkere Inductionsströme nicht mehr empfänglich war, während er die auf den Plexus ausgeübten Reizungen bis zum Muskel fortpflanzte. In diesem Augenblicke wurde der Nerv bei der Wirbelsäule durchschnitten und das Präparat in die feuchte Kammer des Galvanometers gebracht und derart mit den Elektroden verbunden, dass man die unreizbare Nervenstrecke reizen und am centralen Theile des Nerven den Actionsstrom beobachten konnte.

Wenn nun auf die Reizung der unerregbaren Nervenstrecke eine Muskelzusammenziehung folgte, so betrachtete ich den Versuch als misslungen und natürlich nur im umgekehrten Falle als gültig. Folglich kann von einer Erholung der Empfänglichkeit keine Rede sein; der Muskel diente ja stets zur Controle der Abwesenheit der Reizbarkeit — wenigstens für den angewendeten Reiz — der chloralosierten Nervenstrecke und zugleich für ihre Gegenwart in den übrigen Theilen des Nerven. Vor und nach jeder galvanometrischen Beobachtung wurde diese Controle noch absichtlich ausgeübt.

d) Endlich behauptet Wedensky, unsere Methode sei überhaupt eine fehlerhafte. Vielleicht wird er sie jetzt, nach den gegebenen Details, als weniger fehlerhaft betrachten. Jedenfalls ist die Methode, die er uns zuschreibt und sich bemüht nachzuahmen, ganz und gar seine eigene Erfindung und uns vollkommen fremd.

Experimente.

Die neue Reihe von Versuchen, die ich in diesem Aufsatz vorlege, ist nach einem ganz anderen Verfahren durchgeführt worden als die vorhergehende, und zwar gerade um einige der oben erwähnten Einwände zu umgehen. Die Resultate beider Versuchsarten kommen einander vollständig gleich.

Experiment I. 7. Juni 1900.

Der Hüftnerve eines Frosches wird vom Knie bis zur Wirbelsäule präpariert, oben abgeschnitten und mit dem Beine in einer Glasröhre während zehn Minuten concentrirten Aetherdämpfen ausgesetzt; er wird vollständig unreizbar, selbst durch sehr starke Inductionsschläge, ausgenommen in einer ganz kurzen

Strecke in der Nähe des Muskels, die ungefähr ihre normale Reizbarkeit beibehält¹⁾. Nun wird das Präparat in eine leicht alkalische physiologische Lösung getaucht. Nach ca. einer Stunde ist dann die peripherische Hälfte des Nerven von Neuem erregbar, während der centrale Theil auch für stärkere Reize noch ganz unempfindlich ist. Jetzt kommt das Präparat in die feuchte Kammer, um auf die elektrischen Erscheinungen geprüft zu werden. Das Bein wird auf einer Korkunterlage fixirt und der Nerv kommt auf vier unpolarisierbare Elektroden, so dass die Elektroden des Schlittenapparates den erregbaren Theil des Nerven berühren, während die Elektroden des Galvanometers mit seiner centralen, nicht erregbaren Strecke verbunden sind.

Wird nun der erregbare Theil des Nerven gereizt, so beobachtet man einen Actionsstrom von 5 mm in dem nicht erregbaren Theil des Nerven.

Experiment II. 11. Juli 1900.

Ein ähnliches Präparat wird fünf Minuten lang concentrirten Aetherdämpfen ausgesetzt. Der Nerv wird auf seiner ganzen Länge, ausser in nächster Nähe des Muskels, unreizbar. Gleich nach gemachter Probe, bringt man das Präparat in die feuchte Kammer, aber dies Mal wird der Nerv derart auf die Elektroden gelegt, dass die Reizung auf den centralen, nicht erregbaren Theil fällt und der erregbare Theil galvanometrisch geprüft wird.

In diesem Falle ist von einer Muskelzusammenziehung keine Spur zu sehen, und doch erscheint ein deutlicher Actionsstrom. (Der Muskel wurde nicht weggeschnitten).

Nachdem man den Versuch zu wiederholten Malen so gemacht hat, kehrt man die Sache um; d. h. man reizt den peripherischen reizbaren Theil des Nerven und untersucht den nicht erregbaren; man bekommt einen Actionsstrom in diesem Theile des Nerven und zugleich eine starke Zusammenziehung des Muskels.

Experiment III. 11. Juli 1900.

Das zweite Bein des nämlichen Frosches, auf die gleiche Art präparirt, gibt dieselben Resultate: Reizt man den erregbaren Theil des Nerven, so bekommt man eine Zuckung und einen Actionsstrom im anderen Theil; im umgekehrten Falle gibt es einen Actionsstrom in der erregbaren Nervenstrecke, aber keine Zusammenziehung im Muskel.

Experiment IV. 13. Juli 1900.

Ein galvanoskopisches Präparat bleibt während 21 Stunden in einer leicht alkalischen physiologischen Salzlösung; der Nerv zeigt in seiner ganzen Ausdehnung, selbst in der Nähe des Muskels, keine Reizbarkeit mehr. Man legt ihn auf die Elektroden.

1) Die Endplatte ist also nicht functionsunfähig geworden. Minimale Reize sind zu rathen, um Stromschleifen zu vermeiden.

Eine leichte faradische Reizung bewirkt einen Actionsstrom, der sich in beiden Richtungen fortpflanzt, d. h. vom Centrum zur Peripherie und umgekehrt.

Experiment V. 8. Juli 1900.

Morgens zehn Uhr wird ein Frosch durch Zerstörung des Gehirns getötet. 1^h 30'. Die beiden Sciadici sind nicht mehr erregbar. Einer wird sorgfältig herauspräpariert, und das ganze Präparat wird in die feuchte Kammer gebracht.

1. Die peripherische Strecke wird gereizt und die Centrale untersucht: Muskelzusammenziehung: keine. Actionstrom: sehr deutlich und regelmässig.

2. Die centrale Strecke wird gereizt und die peripherische untersucht, ohne den Muskel zu entfernen; Muskelzusammenziehung: keine. Actionstrom: sehr deutlich und regelmässig.

Experiment VI. 8. Juni. 1900.

Ein galvanoskopisches Präparat wird am Knie auf einer mit Paraffin bestrichenen Korkunterlage fixirt und der Nerv auf die vier Elektroden gelegt, so dass man den peripherischen Theil reizt.

Das ganze Präparat kommt in eine geräumige feuchte Kammer, in die man ein Uhrglas mit Aether stellt. Die feuchte Kammer ist gross und nicht luftdicht, so dass die Aetherdämpfe schwach concentrirt sind und die Unerregbarkeit des Nerven langsam vor sich schreitet. Man beginnt den Versuch mit schwachen Reizungen, die von der Zungenspitze nicht empfunden werden: Anfang der Narkose um 10 Uhr 5 Min.

10 ^h 05'	Actionsstrom: 15	mm	Zusammenziehung: stark.
10 ^h 15'	"	7	" "
10 ^h 20'	"	5	" "
10 ^h 25'	"	5	" "
10 ^h 30'	"	5	" "
10 ^h 35'	"	3	" schwächer.
10 ^h 40'	"	3	" schwach.
10 ^h 45'	"	2	" null.
10 ^h 50'	"	2	" "
10 ^h 55'	"	1 ¹ / ₂	" "
11 ^h 00'	Die Reizung wird verstärkt, so dass sie sich auf der Zungenspitze recht deutlich fühlbar macht.		
11 ^h 00'	Actionsstrom: 7	mm	Zusammenziehung: keine.
12 ^h 00'	Derselbe Zustand dauert an; der Aether wird entfernt und durch Wasser ersetzt.		
1 ^h 30'	Actionsstrom: 0	mm	Zusammenziehung: null.

Experiment VII. 22. Juni 1900.

Die Anordnungen sind dieselben wie im vorhergehenden Versuche, nur statt Aether wird die Mischung A. C. E. genommen. Um zehn Uhr fängt die Unreizbarkeit an; der Demarcationsstrom ist schwach, aber regelmässig.

10 ^h 00'	Actionsstrom: 6 mm	Zusammenziehung: stark
10 ^h 10'	" 6 "	" "
10 ^h 25'	" 5 "	" "
10 ^h 45'	" 4 "	" "
11 ^h 05'	" 3—4 "	schwächer
11 ^h 20'	" 3—4 "	schwach
11 ^h 25'	" 3 "	null
11 ^h 30'	" 2 "	"
11 ^h 45'	" 1½ "	"
11 ^h 50'	" 0 "	"

Die Mischung wird weggenommen und durch Wasser ersetzt.

2^h 30' Actionsstrom: 3 mm Zusammenziehung: null.

3^h 00' " 2—3 " " "

Experiment VIII. 25. Juni 1900.

Die gleichen Anordnungen wie in den zwei vorhergehenden Versuchen. Langsam eintretende Unreizbarkeit durch verdünnte Chloroformdämpfe.

2^h 45' Anfang der Narkose.

2^h 45' Actionsstrom: stark. Zusammenziehung: stark.

3^h 00' " schwach, aber deutlich. " null.

3^h 05' man verstärkt die Reizung:

Actionsstrom: deutlich. Zusammenziehung: null.

Das Präparat wird in Salzlösung gelegt.

3^h 25' Der Nerv ist in seiner ganze Länge erregbar.

4^h 35' Keine Spur von Reizbarkeit mehr, auf der ganzen Nervenlänge, selbst mit starken Reizungen; aber der Nerv beantwortet diese mit einem deutlichen Actionsstrom, der sich in beiden Richtungen fortpflanzt.

Experimente IX—XII. Juli 1900.

Die drei vorhergehenden Versuche wurden noch auf eine andere Art ausgeführt. Der Zweig des Sciaticus, der den Gastrocnemius innerviert, wird so nahe wie möglich am Muskel durchgeschnitten und auf die zwei Elektroden des Galvanometers gelegt. Der andere Zweig des Sciaticus, der in die vorderen Beinmuskeln geht, bleibt unversehrt.

Auf diese Art brauchte ich nicht mehr den peripherischen Theil des Nerven zu reizen, um den Actionsstrom im centralen Theil zu beobachten, sondern durch Reizung des Stammes konnte ich zu gleicher Zeit den doppelten Erfolg sehen: im abgeschnittenen Nervenast den Actionsstrom, in den Muskeln die Zusammenziehung oder ihre Abwesenheit. Die auf diese Weise mit Aether und Chloroform erhaltenen Resultate sind den früher erwähnten identisch: Der Actionsstrom bleibt bestehen, auch wenn die Muskeln sich nicht mehr zusammenziehen.

Was die Versuche VI bis XII anbelangt, mache ich mich auf folgenden Einwand gefasst: Das Fehlen der Zusammenziehung des Muskels kann seine Erklärung in einer Vergiftung der Endplatte finden, und in diesen Falle ist es kein Wunder, wenn ich einen Actionsstrom ohne Muskelzusammenziehung bekomme.

Eine solche Erklärung muss ich aus folgenden Gründen zurückweisen. Nach allen vollständig gerathenen Versuchen habe ich am Schluss immer noch die Reizbarkeit des ganzen Nervenstranges untersucht und gefunden, dass er auf der ganzen Länge unerregbar war, ausser ganz in der Nähe des Muskels; folglich konnte sein peripherischer Theil auf den Muskel wirken¹⁾.

Nach einer Reihe anderer Versuche, die ich einer anderen Schrift zu Grunde legen werde, zu schliessen, glaube ich, dass Aether und Chloroform eine Vergrösserung des Widerstandes für die Fortpflanzung im Nerven bilden. Je länger der Nerv, je grösser der Widerstand. Reizt man jedoch den Nerven ganz in der Nähe des Muskels, so ist der Widerstand nicht gross genug, um eine Fortpflanzung bis zum Muskel zu verhindern, und die Zusammenziehung erfolgt.

Wie dem auch sei, die Thatsache des Erfolges einer Reizung einer mehr peripheriewärts gelegenen Nervenstrecke, bei Unreizbarkeit der centralen Strecke beweist, dass man nicht das Recht hat, von dem Ausbleiben der Muskelzusammenziehung auf die Unerregbarkeit der Endplatte zu schliessen²⁾.

Schlussfolgerungen.

1. Der Actionsstrom kann im unreizbaren Theile eines Nerven entstehen, zu Folge einer Erregung des reizbaren Theiles und vice versa.

2. Der Actionsstrom kann auch in Nerven, die in ihrer ganzen Länge total unerregbar sind, beobachtet werden.

3. Die Nerven, die durch Aether- oder Chloroformdämpfe nar-
kotisirt sind, verlieren ihren Einfluss auf die Muskeln lange vor

1) Ich halte darauf, hier anzudeuten, dass ich immer mit grösster Sorgfalt darauf achtete, jedwede unipolare Wirkung und Stromeschleifen zu vermeiden.

2) Bei spontan — „vom Centrum zur Peripherie“ — absterbenden Nerven ist dies selbstverständlich. Siehe Herzen's Aufsatz in *Revue Scientifique*.

der Eigenschaft, auf faradische Reizung einen Actionsstrom zu erzeugen.

4. Die Wiederherstellung der Reizbarkeit schreitet anscheinend „von der Peripherie gegen das Centrum“ vor. Ist in einem Theil die Reizbarkeit wieder hergestellt, so dienen diese Nerven vortrefflich dazu, die Thatsachen zu beobachten, auf welchen der Schluss 1 beruht.
