

Professor Rulberg and



"On the Summation of Electrical
Stimuli applied to the Skin."

being a

Thesis

presented to the University of
Edinburgh

by
William Stirling D.Sc. M.B. Ch.

for the
Degree of M. D.

1875.

(1)

"On the Summation of Electrical
Stimuli Applied to the Skin."

by
William Stirling D.Sc. M.B.C.M.

Part I. Historical & Introductory.

Nervous Physiology was founded in England. John Hunter was the first, who with few & masterly touches foreshadowed the plan for the construction of the new doctrine. His distinguished successor Sir Charles Bell from the simple observation of the course of the nerves had concluded as to the difference in the function of their roots, & in 1811 published "An Idea of a new Anatomy of the Brain," submitted for the consideration of the author's friends. - Therewith were won the channels by which it was possible to approach the goal, of determining the relation of sensation to motion. But long before this, Robert Whytt had to a certain extent explained the old obscure doctrine of 'sympathies,' according to which the sympathetic was the medium of nervous communication between the different parts of the body. vide "An Essay on the vital and other involuntary motions of Animals," Edinburgh 1751. [R.]

of Institutes | Whytt was Professor of Medicine in the University of Edinburgh, & seems to have been one of the most acute thinkers

and fact-reasoners of his time. Inger in the preface to his great work on physiology; - Erste gründe einer Physiologie von D. Johann August-Inger, Leipzig 1771 says "Um diesen Theil der thierischen Physiologie haben sich die neuern Beobachter, deren Namen Europa kennt & verehret, ein v. Haller, Linnæus, Knytt, Oeder, verdient-gemacht" &c. An excellent account of the life & writings of Knytt is given by Dr. Wm Sellar in the Transactions of the Royal Society of Edinburgh, vol xxiii, pt 1, p 99.

Several decades later, Prochaska introduced into physiology the notion & name of reflex motion or action. He says "Impressiones externæ quæ in nervos sensorios fiunt, per totam eorum longitudinem celerime ad originem usque propagantur; quo ubi pervenerunt, reflectuntur certa lege, et in certos ac respondentes nervos motorios transeunt, per quos iterum celerime usque ad musculos propagatae motus certos ac determinatos excitant. Hic locus, in quo tanquam centro, nervi tam sensui quam motui dicati concurrunt, ac communicant, et in quo impressiones nervorum sensoriorum reflectuntur in nervos motorios, vocatur terminus plerisque Physiologis jam recepto sensorium

¶ or p 351. of Garnier's Edition, *Œuvres philosophiques de Descartes*, Tome 1. Paris 1835.

^ This subject is carefully gone into by du Bois in his "Anmerkungen" p 182, to the above Rede. Much later the subject was taken up by Huxley, (who does not seem to be aware of du Bois Reynaud's priority) in one of his Lay Sermons, addresses, & Reviews, viz. "On Descartes' Discourse touching the method of using our reason rightly & of seeking scientific truth." Peoples Edition, 1872.

commune." G. Prochaska, *Operum minorum, anatomici physiologici et pathologici Argumenti Pars II*, Vienna 1800, p 150. —

Emil du Bois Reymond showed in his *Gedächtnisrede auf Johannes Müller*, *Abhandlungen d. K. Akademie d. Wissenschaften zu Berlin 1859*, p 79 (separate at F. Dümmler, Berlin, 1860) that even one hundred fifty years before Prochaska Des Cartes had known the art & meaning of reflex-movements. The example employed by René Des Cartes (*Les Passions de l'Âme*, Paris 1649, p 53) — the closing of the eyelids when an object is brought near to them — for explaining the principle of reflex action is cited (together with others), even literally translated by Prochaska (loc. cit. p 155).

Prochaska in apposition to Whijt had made noticeable progress in the knowledge of the functions of the central nervous system. Whilst the latter regarded the soul as distributed over the whole body (*Works* p 288 *Annatation*) the former separated the "Sensorium Commune" from the soul.

This division of the soul is carried to the extreme by Le Gallois (*Ouvres*, Paris 1830 *Tom I* p. 135.) where he says "Si au lieu de détruire la moëlle on y fait

(M. Pariset, secrétaire perpétuel de l'académie
royale de médecine. —)

des sections transversales, les parties correspondantes à chaque segment de la moëlle jouissent du sentiment et du mouvement volontaire, mais sous aucune harmonie et d'une manière aussi indépendante entre elles que si on eût coupé transversalement tout le corps de l'animal aux mêmes endroits; En un mot il y a dans ces cas autant de centres de sensations, bien distincts, qu'il y a fait de segments à la moëlle." To these words of the posthumous work, the Secretary of the Paris Academy observes "Ce mouvement volontaire est provoqué par une volonté qui n'a rien d'intellectuel. Une volonté une impulsion intérieure, toute seule, produit des mouvements. Dans le cas présent, les mouvements, bien que voulus, sont dirigés; ils n'ont entre eux aucune ordination."

L'Allemand had informed this view of Prochaska & Seftalov's by observation of acephali. He says "Ces observations suffisent, dit le professeur de Montpellier, pour prouver que le cerveau n'est pas la source unique de la puissance nerveuse, comme le croyait Haller, ni le centre unique du système nerveux de la vie animale, comme le pensait Bichat. La respiration, la déglutition, la sensibilité et le mouvement ont existé, chez ces foetus, malgré l'absence

Doq Acas. of med. M. Parnet,

5

du cerveau et du cervelet. Aucune objection
ne peut empêcher d'en conclure que ces
fonctions sont indépendantes des ces organes,
que par conséquent la moëlle allongée et
la moëlle épinière ne puissent ni dans
le cerveau, ni dans le cervelet, la
puissance nerveuse qui anime les parties
qui en reçoivent des nerfs?"

Results similar in principle had been
observed by Gilbert Blane (Select
Dissertations on several subjects of
Medical Science 1788 p 212.) After de-
-capitating a kitten & dividing its
spinal cord between the lumbar
vertebrae & sacrum, he found that
the posterior extremities were incap-
-able of movement, the tail however
could move. From this, one might
say that the portion of the spinal
cord below the section had served
as a "sensorium" (commune) to this
however he replies, that the capacity
for movement also continued in
the head, as was shown by the
condition of the ear upon pinching
& touching it with a hot wire. Here
consciousness & sensation must be
present in two, of the body separated
from each other. An acephalus foetus
yielded similar results. N. Dewees.

parts

its legs when the soles of its feet were

As legs when the soles of its feet were tickled, could suck, & pelted urine & faeces & swallowed food. - These facts clearly show that instinctive or rather automatic movements can take place without the intervention of the sensorium commune & therefore without consciousness and sensation.

Balméil (Recherches sur la structure les. font. et le ramollissement de la moelle épinière. Journal des Progrès. t. IV, p. 87 et suiv. 1828.) after several series of experiments arrived at similar results to those of Le Gallois. Following the teaching of Cuvier, he regarded the brain as the place where the sensations took a distinct form; left traces & permanent recollections & says. "La moelle épinière des reptiles, des jeunes oiseaux, et des jeunes mammifères semble également susceptible, après l'enlèvement du cerveau, d'être modifiée par nos irritations, de les sentir, et par suite d'ordonner des mouvements calculés, durables, qu'il ne faut pas confondre avec les secousses convulsives et fugaces dues à l'irritabilité"

An analogous view was reported by Bostock (The Elementary System of Physiology. Vol. I. London 1824 p. 263.)

Also The Translation by Mr. Baly, London 1840. p 767

P. Flourens (Recherches & Experiment - sur les propriétés et les fonctions du système nerveux dans les animaux vertébrés, 1^{ere} Edition Paris, 1824) went into the opposite extreme from Le Gallon, by imagining that sensation and Contraction were not more proper to the spinal cord than to the nerves. - (in relation ^{regarding} to the seat of the intellect, consciousness, & sensations.)

Laugel in his great work (Anatomie et Physiologie du système nerveux de l'homme et des animaux vertébrés. Paris 1842, p 307). & presumes himself much more guarded in reference to the functions of the spinal cord, where he says: "il est déjà hors de doute que la moëlle n'est pas, comme un nerf, seulement un organe de transmission, mais qu'elle est de plus un centre d'action propre et indépendante. On va voir, en effet, qu'en l'absence de l'encephale elle peut encore être le siège de phénomènes de centralité (ou on me passe cette expression) extrêmement remarquables.

Regarding much a new, to which Volk-
-mann also leaned (Müller's Archiv für Physiologie 1838 p 22.) Johannes Müller (Handbuch d. Physiologie d. Menschen, Coblenz. 1834. B. I. p. 121). observes: "Dass in vielen Fällen Reflex-

- Bewegungen (bei unversehertem Gehirn und Rückenmark) Zweckmässig erfolgen, scheint nicht bezweifelt werden zu können. Hierher gehört z. B. das Schliessen der Augenlider beim heftigen Lichtreiz, die Bewegung der Athmuskeln bei Reizung der Schleimhaut des tractus respiratorius etc. Bedenkt man aber, dass alle Stücke einer Salamandra maculata, welche noch etwas vom Rückenmark enthalten noch Reflexbewegungen zeigen, so lässt sich diese Ansicht schwerlich als durchgreifend festhalten. Auch sieht es Reflexerscheinungen an Organen welche dem Einflusse des Willens entzogen sind, wie im Darmcanale und Herzen. Das Lymphherz (eines decapitirten Schildkröte), welches schon zu pulsiren aufgeföhrt hatte, zog sich noch jedes mal zusammen wenn der Hinterfuss geknippen wurde.

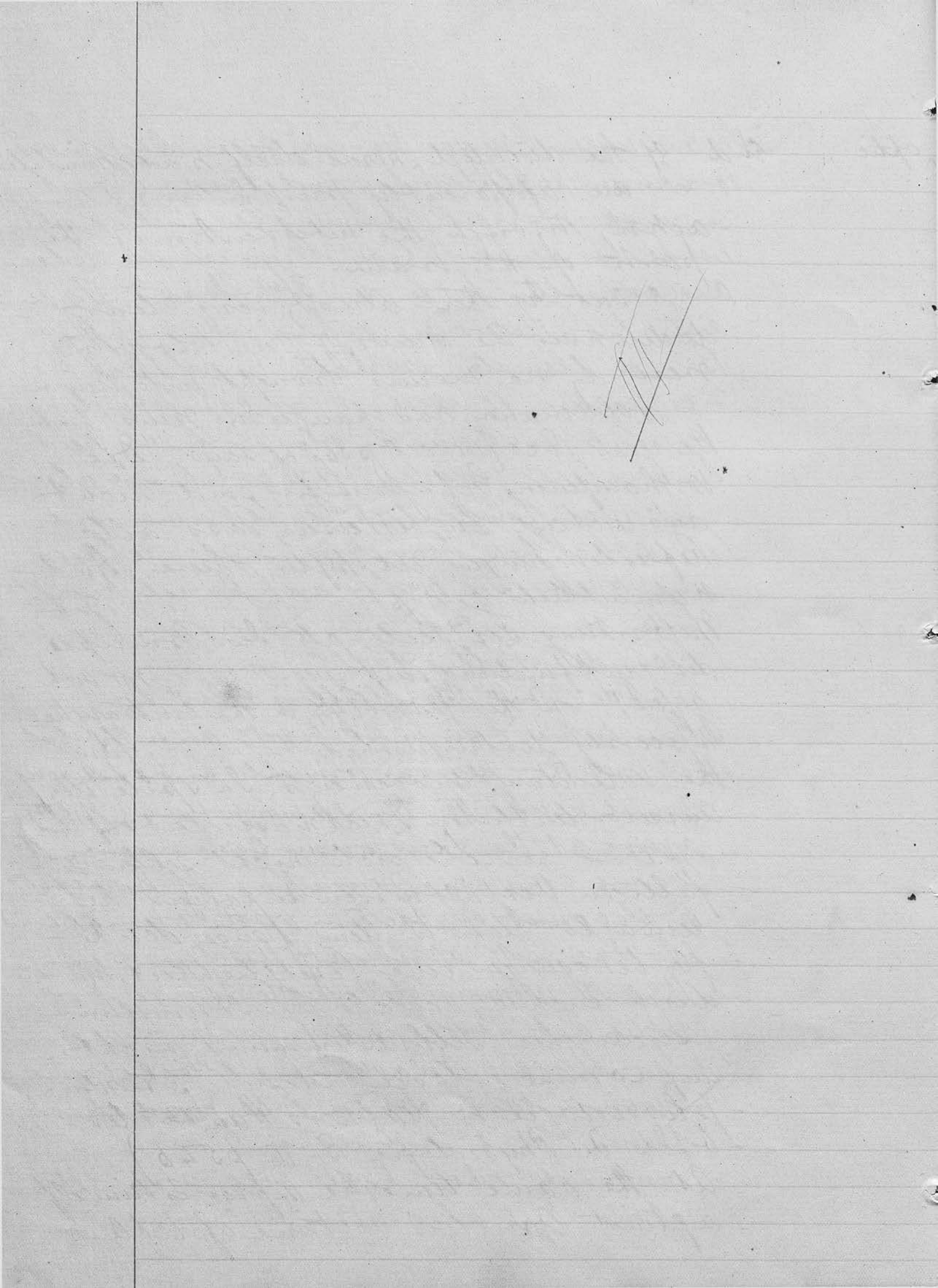
Endlich haben die allgemein reflectirten Tuckungen nach der Narcotisation nicht die geringste Befähigkeit mit spontaner Zweckmässiger Reaction". Die unbedeutendste lokale Empfindung wird hier in eine Bewegung nicht-blos der entsprechenden Muskeln des ganzen Körpers verwandelt, also Mitbewegung und Reflexbewegung, zu einer Erscheinung combinirt, und zwar sowohl gegen den Willen als völlig un Zweckmässig. Alle grossen

№ II. p. 5.

Verletzungen bringen die Frösche zu letzt in das Maximum reflectorischer und zwar höchst ungleichmäßiger Spannung des Rückenmarkes, welche bei den Fröschen, denen ich die Leber ausgeschnitten hatte, am 3^{ten} oder 4^{ten} Tage eintritt. Die Thiere saßen jetzt 1-ruhig da. Bei der kleinsten Erschütterung fassen sie zusammen. Wurden sie wohl Empfindungen gewahrt, so konnten sie noch eine Zeit lang erfalten werden, fassete ich sie aber mit den Händen an, so bekamen sie augenblicklich dem Tetanus als Reflexion und waren, die vorher noch soviel Kraft hatten, um aufrecht zu sitzen, in einigen Sekunden völlig todt."

According to Müller's view the stimulation causes at first a centripetal action of the nervous principle in the sensory spinal nerves, to the spinal cord. If this arrive at the sensorium commences it becomes conscious sensation, if however on account of section of the spinal cord it does not arrive at the sensorium, then it retains its whole energy for reflex action or centrifugal reflexion.

Mayo (Anatomical & Physiological Commentaries London, 1823.) had already found, that not only did the iris contract when light fell upon the retina, but also when the cerebral



optic

end of the divided nerve itself was stimulated
i. e. an apparently purposive reflex-
-action through the intervention of the
parts of the brain.

But by these already very clear
deductions, the views of Physiologists
were by no means brought into ruin.

Volkman had changed his views; for in
the year 1838 (loc. cit. p. 36.) he says: "Die
vorhandenen Erfahrungen sind nicht
ausreichend zu beweisen, dass alle
Reflexbewegungen geköpfter Thiere, und
namentlich geköpfter Amphibien, ohne
Mitwirkung der Seele, als des Principes
der Empfindung und des Willens, vor sich
gehen." In the year 1844 on the contrary he
expressly distinguished the reflex from
the voluntary movements. In spite "der
ausserordentlichen Zweckmässigkeit von den
-ersten ~~in~~ welche sich nicht selten zu-
-fälligen Verhältnissen anpassen" he
remarks "dass in dem Laufe der Re-
-flexbewegungen eine Gesetzmässigkeit hin-
-durchleuchte, welche die Annahme
psychischer Selbststimmung nicht
aufkommen lasse." (Article Nerven-
-physiologie in Wagner's Handwörter-
-buch d. Physiologie Bd. II. p. 54 b.)
At the same time he expressed himself
against Arnold's doctrine of reflex-

- actions ("Lehre von den Reflexfunctionen" Arnold, Heidelberg 1842.) - wh. requires an unconscious soul & will not allow the transference from sensory to motor nerves. - a view also endorsed by Spies.

Spies (Physiologie des Nervensystems, Braunschweig, 1844) regards "die isolirte Leitung" in all fibres of the nervous system, as the fundamental law of animal organisation. Now as the motor nerves are stimulated from the brain, and the sensory ones conduct their excitations further, then for reflex movements the existence of a special set of anastomosing fibres must be assumed. These branchings Anatomy has not yet been able to demonstrate. Such a network would correspond to the hypothesis of M. Hall, that a special auto-motor system ^{subserved} served the reflex-functions.

Marshall Hall has the undoubted merit of being the first (Earlier than Johannes Müller, as is acknowledged by the latter himself) who investigated more widely & thoroughly the vaguely known phenomena of movement consequent-upon stimulation of peripheral areas of the body, who employed the principle of reflexion

from the sensory to the motor nerves
 through the medium of the central
 parts of the nervous system; & wholly
 the discovery of many new facts, &
 - ~~explained~~ ^{clarified} the meaning of ^{numerous} many
 phenomena in their connection with
 other nervous actions, which were
 till his time falsely explained.
 In his paper in the Philosophical
 Transactions (1833, "On the reflex function
 of the medulla oblongata and medulla
 spinalis") M. Hall develops the following
 peculiar view. He thinks that the
 phenomena of reflexion are limited to
 the spinal nerves; & do not include the
 nerves of special sense connected with
 the brain. Reflexion is not brought about
 by sensation not even by sensory nerves,
 but by special nerves; the "kito-motory"
 wh. conduct the impression & the "reflexo-
 - motory" which cause the reaction. In
 the mixed nerves there two sorts of fibres
 are mixed with the sensory & motor
 nerves. The tone of the muscles are
 maintained by the reflexion (& the closure
 of the sphincters) of the spinal cord.
 The reflex movements are as different
 from the voluntary movements, as pure
 the movements of muscle alone, & form a
 class of movements ^{by themselves} of a peculiar sort.

J. Müller (Translated by W. Baly Vol I. 768).
 points out that Hall's theory differs from
 that of Whitt as well as from his own.
 "In the first place, M. Hall limits the
 phenomena of reflex action to the spinal
 nerves, & denies to the cerebral nerves of
 special sense the power of exciting them.
 He supposes the reflex motor action to be
 in no case excited by sensation, not
 even by means of the sensitive nervous
 fibres. He maintains the existence of special
 nerves, or nervous fibres, endowed with the
 "excito-motory" function; & the reflex action
 he supposes to be conveyed, not by the
 nerves of spontaneous motion, but by
 special fibres, which he calls "excito-
 -motory".

Granger was a warm supporter of
 this doctrine. ("Observations on the Structure
 and Functions of the Spinal Cord." London
 1837.)

M. Hall did not found his excito-
 -motor nervous system upon the same
 ground as led Spies to a similar
 hypothesis, but because he regarded
 the psychical and the reflex functions
 as so very different, that he could
 not imagine them as occurring in
 the same way. Beyond this, a special
 system of fibres seemed to him to be

necessary for the reflex processes, for the greater-reflex mobility does not seem to belong to those parts which are most richly supplied with sensory nerves, and because reflex movements can occur through the spinal cord, without-consciousness after removal of the brain.

Volkman ("Servenphysiologie loc. cit. p 548) shows how improbable the hypothesis of M. Hall is, for every piece of skin of the size of a needle's point, would require two specifically different fibres "Eine empfindende und eine excitirende". and as Kürschner himself remarks, "ebenso gut wie für die reflectorische Muskelbewegung, so auch für die Auslösung von Bewegung durch Vorstellungen oder Leidenschaften, besondere Fasern nöthig waren." "Man sieht leicht; dass bei consequenter Durchführung des Hall'schen Principes die Last der specifischen Fasern aller Wahrscheinlichkeit nach eine grössere erreichen würde, welche die dünneren Nervenstränge gar nicht herzugeben im Stande sind". (Nachträge und Ergänzungen zu der Uebersetzung von Marshall Hall's Abhandlungen. Marburg. 1840.) - Kürschner was the translator of Hall's work into German.

I have not thought it worth while to cite the
views & arguments of G. H. Lewes, wh. are to
be found in his 'Physiology of Common Life'
- Vol. II p120 et seq. Janchnitz Edition 1860 -
- vide also his controversy in Nature with
M. Foster, where the latter clearly showed
up his error.

Pflüger (Die sensorischen Functionen des Rückenmarkes der Wirbelthiere, Berlin. 1853) with the aid of critical dissection of the memoirs already published on this subject; together with cases of disease of the central nervous system, as well as from his own observations argues strongly against M. Hall's view. He tries to prove "Dass das Sensorium durch das ganze Cerebro-spinalorgan verbreitet sei". Auerbach (Güztburg's med. Zeitsch. Berlin 1856. B^d IV. p. 452). and also Funke (Lehrbuch der Physiologie, 1858. B^d II. p. 401) agree with him, whilst Schiff (Lehrbuch der Physiologie d. Menschen I. Jahr 1859. p. 213 & 214) says: "Haben wir auch die Möglichkeit einer vom cerebralen Selbstbewusstsein unabhängigen Empfindlichkeit des Rückenmarks gegen Reize zugegeben, ist das Rückenmark auch noch fähig, von ausseren Eindrücken unangenehm, vielleicht selbst angenehm, affectirt zu werden, so müssen wir ihm dennoch alles absprechen, was man gewöhnlich, als Wille oder als formelle Vorstellung bezeichnet, und müssen nur besonders gegen die Ansicht verfahren, als seien die Reflexbewegungen sogenannte "willkührliche"

Eckhard (*Experimentale Physiologie des Nervensystems*, Jena, 1867, p 252 & 254.) inclines to a mechanical view, he asserts for the spinal cord the faulche of "Autonomie und Reflexion" He arrives at a similar conclusion to Volkman, "Dass angeführten Thatsachen die Existenz psychischer Thätigkeiten des Rückenmarks durchaus nicht beweisen." What has weighed with him specially in deciding against the psychism of the spinal cord, is "Dass aus Rückenmarkskrankungen leidende Individuen nicht davon reden, dass ihnen irgend noch etwas Anders mit dem Verlust des Gefühls und der Bewegung verloren gegangen sei."

Lastly Goltz succeeded after a very extended series of observations, in showing clearly, that, "Der autorisierte Frosch nichts ist, als ein Complex von einfachen Reflexmechanismen."

Goltz ("Beiträge zur Lehre von den Functionen der Nervencentren des Frosches." Berlin, 1869, p 91.) distinguishes three sorts of movements.

- 1.) Einfache Reflexbewegungen nenne ich diejenigen, bei welchen der äußere Reiz erfolgende Bewegungsart immer derselbe Form hat.
- 2.) Autothätbewegungen. Auch

sie erfolgen unmittelbar auf einen Reiz, aber sie haben keinen constanten Fortschritt des Bewegungsakts, sondern jedes mal einen bestimmten Zweck gemäss der verfügbaren Kräfte angepasst.

3.) Freiwillige oder spontane Bewegungen sind solche, welche ohne eine nachweisbare unmittelbar vorausgegangene Veranlassung stattfinden.

The "automatischen Bewegungen" (loc. cit. p. 92.) he regards as "einfache Reflexbewegungen" and counts under the first group "einfache Reflexbewegungen". The "einfachen Reflexbewegungen" he does not regard, "weil solche während des Lebens wohl kaum vorkommen. The limits of the group are not sharply defined, "wie überall, wo es sich um Einteilung organischer Prozesse handelt". On the contrary the author has succeeded in finding a series of important signs, by which one may ascertain which parts of the central nervous system the processes.

"Das Prägen auf Seiten ist die Prüfung, ob sich das Thier, auf dem Rücken liegend, noch in die Bauchlage zurückdreht. Nachher gar keine Anstrengungen

Dazu, so liegt der Schnitt hinter der
Medulla oblongata. Bringt sich das
 Thier in die Bauchlage und bewegt es
 sich, ohne nachweisbare Ursache (freiwillig)
 so ist nicht das ganze Gehirn abgetrennt.
 Bleibt der Frosch spontan unbeweglich und
 nimmt keine Nahrung, vermag sich aber
 im Gleichgewicht auf schwachen Unterlagen
 zu erhalten (z. B. auf der geneigten
 Haut eines Brettes) so besitzt er die
 Vierfüßler umverteilt, hiermit das
 Centralorgan für die Anpassung.
 Dann wird auch der Querschnitt mit
 ihm gelungen. "Nur er dies nicht, then
 the section has injured or divided the
corpora quadrigemina. Spring er aus
 einem Bade concentrirter Kochsalz-
 lösung heraus, sobald er hinein ge-
 setzt worden, so muss der Schnitt
 vor dem Kleinhirn liegen. Bleibt er
 darin sitzen, so hat er das gesamte
 Centrum der Fortbewegung eingebüßt,
 und der Schnitt muss hinter dem Klein-
 -hirn liegen. Umklammert er blindlings
 den vorgefahrenen Finger, so ist das ganze
 eigentliche Gehirn fortgeschritten."

At p 80 (loc. cit.) ne find, "das was
 wir gewöhnlich Seele nennen, ist
 theilbar wie das Organ, durch dessen
 Thätigkeit die sich aussert."

Goldz kommt an der "Eine Seele mit
 ueberlegendem Bewusstsein" in dem
 Sinne wie Pflüger meinte, to the
 spinal cord, & is also convinced that
 "Das Rückenmark nichts kundgibt,
 woraus man auf etwas Schliesen könnte,
 was den Namen Bewusstsein verdient."
 (loc. cit. p. 100). "Wir müssen im Rücken-
 mark ein einfaches reflectorisches Centrum
 annehmen, dessen Aufgabe darin besteht,
 auf den Reiz hin, welchen die Streckung
 der hinteren Gliedmassen ausübt,
 mit einer Zusammenziehung der Beuge-
 muskeln zu antworten." (p. 105 & 106.)

The ordinary movements made by a
 decapitated frog to remove any
 stimulus from a stimulated
 portion of skin, generally with the leg
 first, on the side to which the
 irritant is applied, & then using the
 other limb when the limb on the other
 side is removed, or so fixed that he
 cannot use it, may be & planned by
 mechanical arrangements, for the
 other limb may be used, without the
 first-limb having been cut off
 at all. (Vide also loc. cit. p. 109 & 110.)

Whether trawlers frog also possesses
 Empfindungen "dafür lässt sich nichts
 Sichfaltiges anführen."

Kasse (Untersuchungen zur Physiologie und Pathologie I) thought that the connection of a nerve with the brain was necessary for the maintenance of its vital activities, whilst sensation & will were united with the nerves. Heule (Allgemeine Anatomie p 710.) also asserts that: It appears that the divided nerve loses the power of feeling (Empfindungsvermögen), because the brain is the medium of consciousness. He shows that the specific activity of every organ can only be deduced from itself. According to him the specific activity of sensory nerves is sensation, that of the brain the medium for consciousness & thinking.

From the experience that stimuli applied to our senses often only come to consciousness after a time, he attempts to show that they can be felt without the intervention or cooperation of the brain!

Valkmann in opposition to this remarks (Wagner's Handwörterbuch der Physiologie, Braunschweig, 1842, 13^o I. Article "Sensum" p. 573 & 574, where the views of Kasse & Heule are also explained) that: "Dergleichen Thatsachen sind unzweifelhaft, aber die Deutung lässt sich angeben. Ein Hork, welcher mir überhören und gleichwohl gehört zu haben nur manchmal erinnern,

beweist nicht, dass wir es in dem Augenblicke
 empfinden, in welchem es gesprochen würde.
 Es beweist nur, dass die Schallwelle
 den Hörnerven in einen andern, unstrittig
 spezifischen Zustand versetzt; ob aber dieser
 Zustand schon das volle Empfinden war,
 ist noch Gegenstand der Frage. Mir
 scheint, aber die Empfindung keine
 einfache Lebensthätigkeit zu sein,
 sondern Zusammengesetzt aus einem
 spezifischen Wirken des Sinnesnerven
 und einem ebenso spezifischen des
 Gehirns. Das Sinnesorgan assimilirt
 den empfangenen Reiz nach seiner
 Individualität, das Gehirn empfängt
 diesen Reiz aus freier Hand und
 nimmt ihn auf in Bewusstsein. Erst
 mit der Aufnahme des Reizes in
 Bewusstsein wird die Empfindung
 fertig. Gegen diese Behauptung,
 dass wir auch ohne Bewusstsein
 empfinden, setzt sich die Erfahrung,
 die wir an uns selbst machen, eben
 so wohl als das Raisonnement, dass
 es darauf ankommen muss, zwischen
 den physikalischen und chemischen
 Bewegungen in dem Sinnesorganen
 und den Sinnbildern, wie Farbe,
 Klang, Wärme zu unterscheiden.
 (p 574).

Pflüger sets aside the argumentation of Volkmann, but believes himself (loc. cit. p 57). "Dass vom Rückenmarke keine sensorischen Zustände existieren; d. h. keine Erinnerungen zurückgefallen werden, so dass in dem Augenblicke, wo das Hirnheraussetzen wieder mit ins Leben tritt vom Rückenmarks-
 -bestrahlung keine früher hierin ge-
 -wesen Gedanken ihm mitgeteilt werden können."

In relation to this point Wundt (*Grundzüge der physiologischen Psychologie*, Leipzig 1874. Vol II. p 825.) defines the difference between the ^{action} ~~feature~~ of a self regulating mechanism and the will, ^{also} ~~the~~ difference between a capacity, which I may name the susceptibility for stimuli, + sensation. "Der Wille für sich genügt um fast mit absoluter Sicherheit den schmerzenden Punkt zu treffen; über das genauere Lage-
 -verhältnis desselben gehen wir uns aber vielleicht gar nicht, erst vielleicht nachträglich Rechenschaft, indem wir ihn durch eigenes Befühlen und Besehen näher bestimmen. Der willkürliche Gebrauch unserer Bewegungsorgane und die bewusste Reaction auf äussere Reize würden

Ausnehmend erschwert sein, wenn wir in jedem einzelnen Fall von der Masse der auszuführenden Bewegungen und von dem Orte der Empfindung eine klare Vorstellung haben müssten. Also bleibt mir übrig anzunehmen, dass der Wille einen sicher arbeitenden Mechanismus benützt, dem er nur den ersten Impuls zu geben braucht, um eine genaue Befolgung seiner Befehle mit Berücksichtigung aller obwaltenden Umstände erwarten zu dürfen..... Wie der Wille nur ein unierer Reiz ist, der, nachdem er den ersten Anstoß zur Bewegung gegeben, den weiteren Ablauf der Selbstregulierung des physischen Mechanismus überlässt, so wird, wenn der letztere durch irgend einen äusseren Reiz ausgelöst wird, natürlich eine ähnliche Anpassung an die äusseren Umstände stattfinden, ohne dass eine bewusste Empfindung des Reizes hierzu erforderlich wäre.

Zweitens fehlt dann aber auch in dem Verhalten des euthaupteten Thieres das wesentlichste Kennzeichen, welches uns auf das Vorhandensein von Bewusstsein könnte schliessen lassen; nämlich irgend

Ein Merkmal, aus dem ein Fortschritt
vorangegangenes herv.

Ein Merkmal aus dem ein Fortwirken vorausgegangener Erregungen hervorgeht. Keine einzige Bewegung erfolgt spontan... In der Seele eines solchen Thieres können also die Eindrücke die Zeit, ohne Einwirkung nicht merklich überdauern. Momentane Empfindungen ohne Zusammenhang können aber kein Bewusstsein bilden, da sich das letztere, grade als ein durchgängiger Zusammenhang innerer Zustände darstellt. Die inneren Zustände eines Wesens, das einen Reiz mit einer augenblicklichen Bewegung beantwortet, ohne weitere Folgewirkung kann man im Grunde nicht mehr Recht Empfindungen oder gar Vorstellungen nennen, als die inneren Zustände aller Materie. Es giebt nur einen einzigen Fall, wo der innere Zustand zur Empfindung wird; dieser ist eben dort, verwicklicht, wo die zeitlich getrennten Empfindungen in einem Zusammenhang treten."

Goldz (loc. cit. p. 127) makes the following pregnant remarks "über das Empfindungsvermögen des Frosches ohne Gehirn."
 "Die Empfindung ist eben ein rein

subjectiver Vorgang. Sie kann nur von dem Wahrgenommenen werden, der sie fñhrt. Ein anderer kann nur die Bewegungen sehen, welche durch Empfindungsvorgänge Veranlasst werden. Wenn nun ein Thier unter Umständen, welche wohl geeignet scheinen, ihm heftige Pein zu bereiten, keine Bewegungen macht, obwohl es deren fähig ist, so kann man wenigstens sagen, "Es sei in wahr-scheinlich, dass es Empfindung habe."

The above described conclusion is drawn by Golz from the following ingenious experiments, which have been confirmed by M. Foster ("On the effects of a gradual rise of temperature on reflex actions in the Frog." *Journal of Anatomy & Physiology* VIII, p. 36). A brainless & blinded frog were placed in a vessel, whose bottom was covered with water, which was gradually heated from without. When the temperature rises to 25°C , the frog with the brain begins to be restless; it respines more rapidly & lastly seeks to escape from the hot bath, until at about 42° it dies exhibiting signs of pain & tetanic spasms. In the meantime the brainless frog remains motionless, until at last

the heat-tetanus (coagulation of the myosin) & death occurs. If a second frog whose brain has been removed is suddenly thrown into the heated water, it is at once thrown into violent spasms, and dies just like the frog with the brain. This experiment shows very clearly how the mechanism of the spinal cord, following the general laws of nervous-irritation, only reacts to such stimuli as act, with a certain rapidity, whilst a gradually increasing stimulus is completely without effect. In the brainless frog only this law of nervous irritation appears. That it - from the heat - 'Schmerzstoff', it gives no sign whatever.

Whoever after this would wish to ascribe sensation to the nerves, or to the remainder of the spinal cord, must make the paradoxical assumption, that the capability or capacity for feeling remains to the sensory parts, but that they do not possess the power of transferring their sensations to the equally uninjured motor parts.

Thus we are brought to a knowledge which even today we do not better know how to formulate than in the words of Ludwig, written in the year 1858.

Ludwig (Lehrbuch der Physiologie des Menschen, B^d. I. Zweite Auflage, Leipzig 181) says: "Wenn man den Begriff, Seele gewohnter Maassen, als den Vorgang, definiren wollte, durch den Empfindung, Bewusstsein, und Gedächtnis erzeugt werden, so liesse sich aus den bekannten Erscheinungen, die in dem vom Hirn getrennten menschlichen Rückenmark beobachtet werden, sogleich zeigen, dass dem letzteren keine solche Seele zukomme. Da nun aber die Zweckmässigkeit, der eintretenden Bewegung keinen Grund abgibt, in der bewussten Seele analoges Wesen anzunehmen, und da anderseits das ganze Reflexproblem principiell wenigstens genügend erläutert werden kann, als aus Molecularbewegungen oder aus Umsetzung von Bewegung und Spannung u. s. f. mit andern Worten aus mechanischen Gründen, so wird es rathsam sein, den viel deutigen Begriff, Seele ganz ausser Spiel zu lassen, und statt dessen, so weit als möglich die Erscheinungen der Reflexbewegungen unter möglichsten verschiedenen Bedingungen gründlich zu beobachten."

To this programme we are indebted for Ludwig's school, for a series of communications upon 1). The channels

of the reflex-irritations; sometimes followed in relation to the so called vaso-motor nerves. (Arbeiten aus der physiologischen Anstalt, zu Leipzig, von Loven, Cohn & Ludwig, Asp, Dittmar, Mescher, Owsjannikow, Saurrocki, Moroschiloff)

2) "Emi Topographie der Reflexe" is given, i. e. the dependence of different kinds of movements on the parts of the skin of the frog's leg here investigated. (Donders. Exn.) 3.)

den | 3). The dependence of the duration of latent stimulation on the strength of a (chemical) continually acting irritant (Bast).

But in other places also the interest of the subject had excited physiologists to investigate in different directions, the remarkable process of reflex-action.

A large number of physiologists have attempted to limit the place where in the spinal cord the transference of the stimulus to movement. I must content myself here with citing the authors & referring to their works for details. Calmeil (l. c.) 1828. Legallois (Ouvres, 1830, p 136.) Johannes Müller (Bestätigung des Bell'schen Lehrsatzes. Printed in Romberg's

Uebersetzung von Karl Bell's phys. und
 pathol. Untersuchungen, Berlin, 1832,
 p 386). Joh. Müller (Untersuchungen
 an Salamandra maculata 1830,
 cited in his Handbuch d. Physiologie
 1844, B^d I p 611. & 612. In the Translation
 by Baly, London, 1840. p 757.). Marshall
 Hall (l.c. 1837.). Grainger (1837 l.c.
 p 63.) Volkmann (in Müller's
 Arch. 1838 p 115)... Stilling (Versuche
 ueber die Spinnrotation 1840 p 314-315.)
 Kürschner (1840 l.c. p 169.). Van Deen
 (Traité et découvertes sur la physiol. de
 la moëlle épinière, 1841). Florens (l.c. 1842).
 Longet (1842 l.c. p 317). Volkmann (1844
 "Nervenphysiologie" l.c. p 543.) Eigebrodts,
 (Ueber die Leitungsgesetze im Rückenmark
 Gießen 1849.) Türk (Sitzungsberichte der
 Wiener Akademie der Wissenschaften, 800th
 1850). Brown-Séguard (De la transmission
 des impressions sensibles. Comptes rendus
 1850.) Pflüger (1853 l.c. p 62.) Schiff,
 (Physiologie 1853, p 206.) Schroeder van
 der Kolk (Anatom. physiol. Onderzoek.
 over het fijne Samenstel en de Werking
 van het Ruggewerv, Amsterdam, 1854.
 vide also the Translation in the New
 Sydenham Society Series, 1859.)—
 Auerbach (1856 l.c.). v. Bezold, (Ueber
 die gekreuzten Wirkungen des Rücken

^ Schellge (New Measurements of the rapidity
of the propagation of irritations in the human
nerves, *Reichert u. du Bois' Arch.* vol. 1864, p. 151.)

^ Massins et Vaublair (De la situation et de l'étendue
des centres réflexes de la moëlle épinière chez la femelle, *Bulletin*
1870.

- marks, 1858, Zeitschrift f. wissenschaftl. Zoologie Bd. 9 p 305). Chauveau (Jour. de la physiol. T. 1. 1858 p 176). Brown-Séquard (Lectures on the Physiol. & Pathol. of the Central Nervous System London 1860.). Bl. Bernard (Recherches expérimentales sur les nerfs vasculaires etc. Comptes rendus 1862.). Bayrard (Recherches crit. et Expér. sur les mouvem. réflexes, Paris, 1864.). Letschenow (Ueber die Nervenbahnen, welche die Vorder- und hinteren Extremitäten des Frosches unter-
 - einander verbinden. Centralblatt f. die med. Wissensch. 1865 p 817.). Sanders (Gefäßbau in hets, ruggemus, Gronningen, 1866.). Vulpian (Leçons sur la physiol. du système nerveux Paris, 1866.). Westphal (Ueber Erkrankungen des Rückenmarks 1866, Virchow's Archiv. Bd 39.). Eckhard (Experimentalphysiol. des Nervensystems, Gießen 1867, p 244.).
 - Massis und van Lair (Von der Lage, und Ausdehnung der Reflexcentren beim Frosche, Centralblatt für die medicin. Wissensch. 1870. p 1.). Spiro, (Physiol.-topograph. Untersuchungen, Bulletin de l'academie de St. Petersburg, 1870, Toke had separate text Leopold, voss, Leipzig.) Fr. Müller, Beiträge zur pathol. Anatomie

des menschlichen Rückenmarks Jena 1871.)
Leyden, (Klinik der Rückenmarkskrank-
heiten 1874.)

With regard to the conduction of irritations its results from the total of the above cited works, that the motor & sensory paths in the spinal cord follow a crossed direction, and that the ependym substance surrounding the spinal canal can conduct irritations in every direction.

The recent investigations of Moroschiloff (Arbeits. aus der physiol. Anstalt zu Leipzig, 1874.) have limited with quite special precision the "Verlauf der motorischen und sensiblen Bahnen durch das Lendenmark des Kanariens."

The physiological effects of partial & exactly graduated sections of the individual columns of the spinal cord were tested, & then the extent of the injury was ascertained by enlarged photographic pictures of the sections.

The results of this investigation show that 1). One can divide transversely the anterior & posterior white columns & the whole of the gray matter, without the reflex connection between the anterior & posterior portions of the body, or the voluntary movements of sitting, leaping, or springing being disturbed.

2.) The sensory & motor channels ascend in the lateral column from the roots to the brain (Miescher, Sawrocki, Dittmar.), so that the lateral columns of each half of the cord contain the channels for the excitation of reflex movements for both limbs. Lower.

3.) Motor & sensory fibres are mixed in all parts of the lateral column. The portion of the white column which is contained between in the depression between the anterior & posterior horns, between the strongest of the pointed projections of the gray matter, possesses the capability of transferring (Zu übertragen) coordinated movements, and at the same time, the power of lessening the too great sensibility of sensory nerves. The chief fibres, which perform this function, run in the inner half of the middle third of the lateral column.

All authors agree in this, that the individual sensory fibres are by no means so arranged with regard to the motor ones, that upon stimulating a small cutaneous area, a muscle, or even a group of muscles contracts, but (as has already shown) that the irritation extends in the spinal cord.

Calmeil in 1828 (l.c. p. 92) remarked,

"L'imitation a une grande tendance à se communiquer à ceux des nerfs moteurs spiniaux dont l'origine se rapproche le plus de celle des nerfs sensitifs joints."

Volkmann (Müller's Archiv. 1838 p. 23.) had shown, "dass die Ausdehnung der Reflexbewegungen vorzüglich von der Stärke des Reizes und von dem Grade der Reizbarkeit abhängig ist. Wenn man eine frisch geköpfte Amphibie durch leise Berührung irgend eines Theiles reizt, so beschränkt sich die Bewegung oft nur auf die nahe Umgebung der gereizten Stelle selbst. So gelingt es bisweilen durch leises Kitzeln einer Zefe, ausschliessliche Bewegungen des Fusses hervorzurufen. Bei etwas stärkerem Reize bewegt sich aber das ganze Glied, von welchem ein Theil berührt wird; bei noch stärkerem Reize endlich verbreitet sich die Bewegungen über alle Muskeln, und es scheint bemerkenswerth, dass Verhältnisse mässige sehr geringe Reize, z. B. ein leises Aufühlen mit der Hand, stark genug sind, um allgemeine Bewegungen hervorzurufen. Je geringer nämlich die Reizbarkeit ist, um so beschränkter werden die Bewegungen bei übrigens gleichbleibender Intensität

der Reize; So gelingt es geräumige Zeit
nach dem Köpfen nicht, mehr durch
Reizung eines Gliedes Bewegungswandel
in andern Theilen, als dem gereizten
hervorzubringen."

Analogous Remarks are made by
Johannes Müller (l. c. p. 619.) & Balys
Translation Vol I p 765. "Irritation pro-
pagated to the spinal cord most readily
affects those motor nerves which arise
nearest to the points of the exciting
Sensory nerves - - - and, the irritation
of the cord, & of the motor nerves
arising from it, diminishes in proportion
with the distance from that point."
Compare Pflüger (l. c. p. 62.) Landersohn
(Vorbereitung für die Erforschung des
Reflex-mechanismus im Rückenmark
des Frosches, Abh. aus d. phys. Institut
zu Leipzig 1867, p. 6.) Letschenow
(Die elektrische und chemische Reizung
der sensiblen Rückenmarksnerven des
Frosches" frag 1868, p 25.) asserts a similar
tension in of the reflex for electrical
stimulation! Golz (1869. l. c. 120). for
chemical, & also Foster, (Handbook
for the physiological Laboratory"
1873, p 407.) Merhuzen (Ueber den
Einfluss einiger Substanzen auf die
Reflex-erregbarkeit, Pflügers Abh.

für Physiologie 1873. Bd VII, p 215). says! "Es bleibt der centrale Erfolg der Chemischen Reize auf das locale Centrum für die gereizte Extremität beschränkt, während der centrale Erfolg des mechanischen Reizes sich auf alle Reflexcentren ausbreitet". (?)

Fick, on the contrary (Einige Bemerkungen über Reflexbewegungen, Pflügers Arch. 1870, Bd III p 331) has seen identical twitching-movements ("Misch-Bewegungen") by mechanical or chemical stimulation of the skin, whilst by single induction shocks applied to the larger cutaneous nerves, he could only obtain simple contractions, or contractions of single groups of muscles; by rapid intermittent stimuli tetanic muscular contractions were obtained, "aber keine planmässige Reflexe". Also "nach Reizen der Haut mit Säure (concentrirter) Zuckungsartiger Reflex" occurs.

"Chemische Reizmittel erzeugen beim Frosch fast, ohne Ausnahme tetanische Contractionen, während durch mechanische Reizung durchgehend, wiederholte Zuckungen, selten eines kurzer tetanus herbeigeführt wird". (Lauders-Ey. Ab. aus d. physiol. Ausst. zu Leipzig 1867. page 28.)

Up till now only a few experiments exist regarding the relation of the reflex contraction of a muscle to the strength of the stimulus. Wundt (*Grundzüge der phys. Psychologie*, Leipzig, 1874, p 261.) has found that: with an increase of the instantaneous stimuli which were applied to the nerve roots of a frog, the height of the curve drawn by the muscles belonging thereto, increased; that from a more distant-part of the central end of the nerve, the stimulation was less active. When the frog is poisoned with strychnine, then the contraction even with the weakest stimuli is higher than under normal conditions. At the height of the action of the poison, the reflex tetanus shows scarcely any difference, whether the strongest or the weakest stimuli are chosen.

In experiments, a seemingly paradoxical case, from Letschenow (l.c. p 23) belongs here. This experimenter remarked that very strong intermittent induction shocks applied to the central end of the ischiadic nerve, do not occasion at once reflex movements, as weaker stimuli do,

37.

but first when Wagner's (Reeff's) hammer is held fast, i.e. when the stimulus is interrupted, or after the stimulation has lasted for a long time, does the animal spring away. Similar reflex movements have been observed by other physiologists (Herzen, *Expériences sur les centres modérateurs de l'action réflexe*, Turin, 1864).

Goldf found that the heart of the frog stood still when one tapped on its abdomen (Virchow's *Arch.* 1862), Hater (*Centralblatt f. d. med. Wissenschaft.* 1868, p. 543) he remarks, that the "Klopfversuch" does not bring the heart to a standstill, when at the same time the skin of the legs is strongly stimulated.

The cessation in the action of the heart, which is produced by stimulation of the splanchnics (Bernstein, *Centralblatt f. d. med. Wissenschaft.* 1863 p. 52) cannot be set aside by stimulation of the skin.

Bothnagel (*Bewegungslehre und Mechanismen im Rückenmark* d. Froches *Centralblatt* 1869, p. 14) remarks, that strong electrical stimulation of sensory nerves diminishes the reflex activity, and Goldf has shown (*Centralblatt f. d. med. Wissenschaft* 1865 p. 706) that the reflex quacking which is made by

the brainless frog when its back is gently pressed upon, is inhibited by other sensory stimuli. Lewissson made similar experiments; "Ueber Hemmung d. Thatigkeit d. Motoris. Nervencentra durch Reizung sensibler Nerven, Arch. von Reichert & du Bois Reymond 1869, 255-266.) After placing caoutchouc rings round both the arms, the reflex movements fell out, when the cutaneous nerves were strongly pinched, or were stimulated by electrical currents. The inhibition did not occur when the posterior roots of the spinal nerves were divided at the height of the brachial nerves. Also in such animals, he succeeded in paralyzing other reflex movements, by strong stimulation of sensory nerves.

Hundt (l.c. p. 174) made the observation that simultaneous stimulation of nerve-roots which enter the cord at the same height & on the same side increase the reflex, or with more intense stimulation had the same effect, as if only one of the roots had been stimulated.

In the older papers on Reflex-action, the time which elapses between the application of the stimulus to the sensory nerve, & the beginning of the consequent movement is left completely out of account.

Prochaska (Physiologie des Menschen 1810, 13^d I. p 136.) says the nerves "Die Aeusseren und inneren Endröhre oder Reize aufnehmen und sie mit einer electrischen Geschwindigkeit zu ihrer Bestimmung leiten."

Even Johannes Müller refers the difference of time which elapses between the perception of an ocular impression (while observing a pendulum) & the marking of the same, to this, that our consciousness cannot observe two simultaneous impressions (through the eye & ear.)

"Die Zeit, in welcher eine Empfindung von den Aeusseren Theilen auf Gehirn und Rückenmark, und die Rückwirkung auf die Aeusseren Theile durch Zuckungen erfolgt, ist auch unendlich klein und unmerkbar. Wenn man Frösche mit Opium oder Hyocyamica vergiftet, so werden sie durch so ungeheurer sensibel, dass die geringste Berührung der Haut eine Zuckung am ganzen Rumpfe erzeugt. Hier erfolgt die Wirkung von der Haut zuerst auf das Rückenmark, und von Rückenmark auf alle Muskeln. Dennoch ist es mir unmöglich gewesen, den geringsten Zeitunterschied zwischen der Berührung und den Zuckungen zu bemerken".

Joh. Müller Handb. der Physiol. Vol I. Balg's Translation p. 731. - Whole chapter very valuable -

In the fundamental treatise of Ed. Greber, titled: "Muskelbewegung" (Bagner's Handwörterbuch der Physiologie Bd III, Abtheilung II p 19) there is as far as I know the first results, "über die Pause, welche zwischen Reiz und Reflexbewegung besteht". The author reports that on the decapitated frog, whose isolated N. ischiadicus was stimulated with the electro-motor rotation apparatus, that: "Die Bewegungen nicht wie wenn man das Rückenmark und die Nerven unmittelbar reizt, in dem selben Augenblicke eintreten, in dem der galvanische Strom begann, sondern, daß ungeachtet der heftigen Wirkung des Apparates, immer eine namhafte Zeit verging, ehe die Bewegung erfolgte."

The first measurement of this time "des latenten Reizung" i.e. "of latent stimulation" we owe to Helmholtz (Berichte d. K. Akademie der Wissenschaften zu Berlin, 1854, p 328.). The "transference time" ("Übertragungzeit") from sensory to motor roots in the spinal cord is $\frac{1}{30}^{\text{th}}$ to $\frac{1}{10}^{\text{th}}$ of a second and more, i.e. twelve times the time which the irritation takes to travel through the sensory & motor nerves, when the frog is poisoned with strychnine, & possesses an exceedingly latent irritability. The duration is specially long.

S. Luer ("Die experimentelle Untersuchung des einfachsten psychischen Processes, Pflüg. Arch. 1873, B. VII, p. 32.") has measured the sensory conduction in the spinal cord of man, in this way that he measured the 'reaction time' (Reactionszeit) till the person experimented upon had registered the sensation with the one hand, whilst the other hand (the index & middle fingers) were stimulated with strong electric currents. From this he calculates ('the rapidity of the transmission in the nerves taken as 62 meters per second') that the time of transference in the spinal cord is 8 meters per second. The motor conduction in the spinal cord (by observing the reaction time from the eye to the hand & comparing this with the reaction time from the eye to the foot) he reckons at 11-12 meters per second, with a medium error (in the most unfavourable case) of about 4 meters. "Die Reactionszeit nimmt zu bei der Ermüdung, nimmt ab bei wachsender Intensität des Reizes, und in Folge von Übung."

Grundt (l. c. p. 262.) had also shown, that on increasing the current, the time of latent stimulation diminishes. At the same time he remarks, what Volkmann & Weber found simple

Observation had already concluded, that the course of the reflex contraction is of much greater duration, than that which is given by direct stimulation. But after poisoning with strychnine, the minimal contraction lasts longer, than when it is obtained under normal conditions. "bei gesteigerter Giftwirkung, geht die sehr bald in eine tetanische Contraction ueber; Die Zeit der latenten Reizung kann auf mehr als das Doppelte ihrer gewoehnlichen Dauer vergrössert werden. Zugleich nehmen die Unterschiede in der Latenz bei starken und schwachen Reizen enorm zu".

Rosenthal (Sitzungsber. d. Berliner Academie der Wissenschaften Heft 1873.) has found that the reflex time ('Reflexzeit') i.e. the time necessary for the transference of the irritation from the sensory to the motor nerves, after (simple electrical?) stimulation of the intact skin, or the exposed nerve, is dependent on the strength of the stimulus. "Sie kann bei sehr starken Reizen unendlich klein werden". "Auch die Zeit der Querleitung hat bei ausreichenden Reizen (welche grade das Maximum der Reflexwirkung geben) ein Maximum, wird aber die ueber maximalen Reizen (d.h. staerkere als ausreichend), kleiner, und kann bei sehr starken Reizen ganz unmerklich werden."

Both latent times increase markedly

the fatigue. "Die Reflexzeit ist für die vom Rückenmark entferntere Nervenstelle grösser als für die nähere. Der Unterschied wird bei stärkeren Reizen gering".

Sherr also (l. c. Pflüg. Arch. 1874, 531) found that the reaction time like the reflex time (closure of the eyelid after electrical stimulation of the cornea) is smaller with strong stimuli than with weak ones.

Schiff asserts that: "Die Zeit, welche das Zustandekommen der Reflexbewegungen erfordert, um so länger ist, je mehr man durch Querschnitte in das Rückenmark / nur an einer Stelle der Rückenmarkslänge vom Froche, versucht, die Dicke der grauen Substanz an einer der Stellen vermindert, welche zwischen dem gereizten und dem zu bewegenden Punkte liegen." (Physiologie p. 228).

When single stimuli are applied to sensory nerves with a certain frequency, their effect becomes summated in the reflex producing organ, or rather I should say in the organ which is the medium of the reflex action. Till now methodical observations upon this point have been a desideratum. Of the observations made, those of Letschenow are the most extended. In the already

Cited Monograph "Über die Elektrische und Chemische Reizung der sensiblen Rückenmarks nerven des Frosches", 1868, he gives the results of a series of observations; "den reflectorischen und locomotorischen Centren kommt, in sehr hohem Grade die Fähigkeit zu, die ihnen zugetheilten einzelnen Stöße zu summieren" (p 25). "Die Grenze der Summierung der Effecte einzelner Schläge, Schliessung und Öffnung eines constanten Stromes (applied to the central end of the sciatic nerve of a frog) in der Zeit (d. h. wie oft die Schläge einer gegebenen Stärke und Richtung auf einander folgen müssen, damit überhaupt eine Summierung ihrer Effecte stattfindet) could not be measured on his apparatus.

For these experiments Seitzschnow employed frogs, whose cerebral lobes were removed, & noted the moment, they tried to escape, "weil dieser Schärfer hervortrete, als das Zusammenfließen einzelner Zuckungen in die Bewegung der ganzen Extremität." Of the few experiments instituted in this direction the following scheme case may serve as an example:—

"Schwacher aufsteigender Strom, dessen einzelne Schliessungen und Öffnungen den Frosch in Ruhe lassen, der in die Kette als Stromunterbrecher eingeschaltete Metronom

schlägt 26 Mal in 1 Minute, giebt also 13 Schliessungen und ebensoviel Öffnungen in einer Minute." Bei der ersten Probe, entfloh der Frosch nach 22 Schlägen; bei der zweiten nach 28; bei der dritten nach 26; bei der vierten nach 32 Schlägen. Uebrigens muss dieser Versuch fortgesetzt werden".

"Verstärkung des Stromes oder Vermehrung der Anzahl der Unterbrechungen läst den Erfolg unter anderen gleichen Bedingungen natürlich rascher eintreten (p 12.). Auch mittelst Inductionsschläge deren Wirkung sehr wenig wirksam sind, kann man den Effect der Summierung zeigen" (p 24). Compare also Fick l. c. p 329, Minot l. c. 262.) —

A similar increase of the effect, with the strength & duration of the stimulation as has been proved for the electrical stimulation, Türk had already in 1850 (l. c.) shown for chemical (dilute sulphuric acid) stimuli, and Baxt followed the subject methodically (Arch. aus. d. Phys. Supplement, zu Leipzig 1871. The latent-action of very dilute acid (0,0006 p. c.) may last as long as 2 minutes. Baxt found the 'times of action' ('Wirkungszeit') (from the dipping in of the limb into the fluid till it was withdrawn again reflexly) increase in a geometrical progression, whilst the

the degree of acidity follows an arithmetical series (p 86.) "Es hängt also die reizende Wirkung der Säure nicht, bloß von der Menge derselben, welche zum Nerven dringt, gleich dem Producte aus ihrer Dichtigkeit, in die Diffusionszeit, ist, und weil mit abnehmender Dichtigkeit die zur Erzeugung der Zuckung nöthige Diffusionszeit rascher anwächst, als die Säure an Dichtigkeit abgenommen hat, so folgt hieraus, daß zur Erzeugung der Zuckung um so mehr Säure übergegangen sein muß, je langsamer sie eingeedrungen ist" (l. c. p 87.)

"Dieses Verhalten ist leicht erklärlich wenn man annimmt, daß jedes an den Nerven ankommende Säuretheilchen in diesem nach Art eines momentanen Ausstoßes, z. B. eines Inductionsschlages einen periodischen Vorgang auslöst. Nach dieser Vorstellung wäre das, was den Reiz bewirkt nicht die Zahl der im Nerven anwesenden, sondern der in der Zeit-einheit herandrängenden Säurepartikeln, oder anders ausgedrückt, es wäre nicht der bleibende nach dem Zutritt der Säure vorhandene Zustand, der die Erregung bewirkt, sondern nur der Art der Zersetzung oder überhaupt derjenigen der Veränderung der Nervenmasse."

47

"Die Fähigkeit, Zuckungerregend zu wirken, würde erst dann der Säure zukommen, wenn sich ihre Massen rascher folgten, als die Abläufe der nervösen Erregungen, sodass jedes folgende die vom vorhergehenden Säuretheilchen eingeleitete Bewegung der Nervensmasse zu verstärken möchte."

To confirm this view by means of analysing electrical stimuli was the theme given me by Prof. Ludwig during the winter of 1872-73, & I responded to his invitation the more willingly, that Dr. Hugo Kronecker, yielded me his assistance during the course of the investigation.

The animal operated on was *Rana esculenta*. The brain & spinal cord were destroyed as far down as to where the ~~brachial~~ for the brachial plexus are given, to avoid hemorrhage the canal was plugged. The animal was suspended by the very practical rod of Sanders & Co (l.c.), the head being held by a small clamp. The spot chosen for irritation was the skin of one foot.

"Die Wirkbarkeit der Reize, welche Reflexbewegungen hervorbringen, wird durch die peripherische Ausbreitung der Nerven modificirt und gesteigert." This has pointed out by Volkman already

in 1838, (Müller's Arch. p 25) & he shows in Chapter titled as above, how much more sensitive the skin is, than the nerves are, which run loose from the skin, to the coverings of the muscles.

Letschenow like Marianini (vide, L. de Bois Reymond, Untersuch^{ung} über thier. Electricität Bd I, 1848) and Pflüger (Ueber die electrischen Empfindungen, Untersuch^{ung} aus dem phys. Laborat. zu Bonn, Berlin 1865, p 133) placed electrodes on the exposed ischiadics of a frog, after he had cut off the limbs as high as possible with scissors,

Fick also chose stimulation of the trunk of the cutaneous nerve, instead of those of the skin, "weil man bestimmten Centripetalen Nervenfasern ein bestimmtes Reizquantum zu kommen lassen kann, was bei Anbringen des Reizes an der Haut, selbst durch electrische Ströme als Reiz dienen, wohl (nicht) möglich ist. He found (like Volkmann) that stimulation of the skin caused warbling-movements, stimulation of the nervous trigs, contraction, and that, "ausserordentlich starke Inductionsschläge dazu gehören, um vom Stamme des nervus ischiadicus aus, überhaupt Reflexe zu erzeugen, während doch auf die Haut, Angebracht, bekanntlich oft schon

oft, schon ein "äusserst schwacher Reiz sehr
Energische Bewegungen hervorruft" (p. 328.)
Sensitiveness he chief not employ
cutaneous stimuli.

Rosenthal appears to have stimulated
areas of skin electrically, but his preliminary
communication contains however no account
of his method.

Grundt, also in the passage ahead cited
speaks only of stimulation of the central
end of sensory nerve root (l.c. 261.)

Mechurzen (l.c. p. 202) finds "die
Zuckungen durch directe Muskel-Regung
es natürlich unmöglich machen zu
electrischer Reizung einfach die Haut
einer & trenntal ohne weitere Vorbereitung
zu benutzen." A piece of skin separated
from its adjacent parts is useless, because
it does not long remain normal & citable.

To keep the skin stimulated as far
as possible free from all imperfections
was for me an important point, &
I have found that by the method of
stimulation which I employed, the
results obtained here by no means so
precise, as are obtained on stimulating
& electrically the various parts themselves.
Of course we must take special
care that the skin is kept wet with
ordinary water, that the electrodes are

accurately applied, & that they do not change their place. Because I desired the skin to be in full possession of its cutability, I did not fix any internal part of the body, & avoided also meddling with the tendo Achillis, to allow the gastrocnemius to write.

In the course of the numerous experiments which I performed, I had to change several times the experimental method, which will be alluded to at the proper place.