

Om Loven for den tetaniske Sammentræknings Højde,
betragtet som Funktion af de tetaniserende Irritationers
Antal i Tidsenheden og af den enkelte Irritations Styrke.

Af

Christian Bohr.

Nedenstaaende Undersøgelser ere udførte under et Aars Ophold paa Leipziger Universitetets fysiologiske Laboratorium, hvis Direktør Professor Carl Ludwig, jeg herved bringer min bedste Tak for hans Understøttelse. I denne meget sammentrængte Udsigt over Arbejdet anføres kun de vigtigste af de for Tetanus fundne empiriske Love i deres Hovedtræk; af det Forsøgsmateriale, hvorpaa de ere grundede, gives kun faa til Forstaaelsen nødvendige Exempler; ligesaa kortfattet har jeg søgt at gjøre Beskrivelsen af Methoden, idet specielt alle Biomstændigheder ved de anvendte Apparaters Konstruktion ere udeladte. Disse forskjellige Details ville senere blive offentliggjorte.

Paavirkes Musklen af en enkelt Irritation f. Ex. af et enkelt Induktionsslag, svarer den som bekjendt paa denne Paavirkning med en hurtig forløbende saakaldt enkelt Muskelsammentrækning; rammes Musklen af flere ligestore med regelmæssigt Mellemrum paa hinanden følgende Irritationer, saa vil, naar Intervallet mellem Irritationerne bliver tilstrækkelig kort, Muskels Sammentrækning blive kontinuerlig; den siges da at være i Tetanus.

Hvilken Lov den tetaniske Bevægelse, betragtet som Funktion af Irritationerne, fulgte, har hidtil ikke været oplyst. Kun for Resultatet af 2 paa hinanden følgende maximale Trækninger har Helmholtz i en for Muskelfysiologien fundamental Afhandling fundet en tilnærmet Regel (den saakaldte Summationslov).

De i denne Oversigt beskrevne Forsøg sigtede til at oplyse nogle herhen hørende Forhold, idet den kontinuerlige Sammentræknings Afhængighed af den enkelte Irritations Styrke og de paa hinanden følgende Irritationers Interval undersøgte, oprindelig saaledes, at der søgte bestemt de nævnte Momenters Indflydelse paa den største Højde, Tetanus naaede, førend den ved Muskens tidligere eller senere indtrædende Træthed igjen aftog; ved denne Fremgangsmaade fandtes da følgende foreløbige Regler:

1. Den største Højde, Muskens Sammentrækning naar, er uafhængig af Antallet af Irritationer i Tidsenheden; men denne største Højde opnaas ved stor Frekvens i kortere Tid end ved ringe Frekvens.
2. Naar Styrken af det enkelte Irritationsslag stiger, stiger ogsaa indenfor en vis Grænse den største Højde, som Tetanus naar.
3. Den efter Tetanus undertiden optrædende blivende Forkortning (Tiegelske Kontraktur) er størst ved stærk Frekvens af Irritamentet og stærke enkelte Irritationer; ved ensdannede Tetani stiger Kontrakturens Størrelse med Tetanus' Varighed.
4. Naar en Muskel har været i Tetanus, frembringer en umiddelbart efter Tetanus' Ophør indvirkende Irritation en større Virkning, end samme Irritation havde før den tetaniske Sammentrækning. Dette finder Sted, hvad enten der efter Tetanus er blivende Forkortning eller ikke, og selv om Irritationen før Tetanus Begyndelse frembragte «maximale Trækninger».

Ved nærmere Studium af de herhen hørende Forhold lykkedes det mig imidlertid at vise, at der gives en for alle Tetanigjældende almindelig Lov, der angiver, hvilken Funktion af de ligestærke Irritationers Antal Tetanus' Højde i hvert Øjeblik er, eller at finde Formen af «den tetaniske Kurve», naar man herved som i Almindelighed forstaar den kontinuerlige Kurve, som en med ensartede, regelmæssigt paa hinanden følgende Irritationer paavirket Muskel optegner paa en med jævn Hastighed roterende Cylinder, hvor da Kurvens Ordinater ere proportionale med Sammentrækningens Højde, Abscisserne med Tiden, eller med Irritationernes Antal, da disse som nævnt følge hinanden med ligestort Interval. Herved kan man da bestemme de Tilvækster, Ordinaterne faa ved en uendelig lille Tilvæxt af Abscissen. Udtrykkes denne Differentialkvotient som Funktion af Ordinaten, faar man et Udtryk, der i Overensstemmelse med den tidligere Sprogbrug kunde kaldes den almindelige Summationslov.

Det viser sig tillige, at det oprindeligt stillede Spørgsmaal, hvorledes den største Højde, Tetanus naar, er afhængig af Irritationerne, ikke er tilstrækkeligt ukompliceret til at give nøjagtige Resultater. Det vil nemlig af det følgende fremgaa, at den tetaniske Kurve er af saadan Natur, at den asymptotisk nærmer sig en Grænseværdi. Den største Højde, Muskulens Sammentrækning naar, er da sammensat af 2 Momenter: dels nærmer Muskelsammentrækningen sig paa en eller anden Maade en Grænse, dels afbrydes dens Stræben mod Grænsen af Trætheden, og det Tidspunkt, hvori Trætheden optræder, er da bestemmende for den Højde, Tetanus overhovedet naar. Trætheden er imidlertid en meget kompliceret Proces, som det netop ved denne som ved andre Undersøgelser af samme Slags over de Love, den friske Muskel følger, er nødvendigt at søge udelukket; derfor er det ikke godt muligt paa den ovennævnte Maade, at faa tydelige Resultater, hvorimod man maatte se at faa bestemt Tetanuskurvens Konstanter's Afhængighed af Irritationsmaaden. Dette lykkedes, som senere skal frem-

stilles ogsaa i et vist Omfang, om end flere væsentlige Spørgsmaal staa tilbage.

I det følgende gives først en kort Fremstilling af Hovedtrækkene i den anvendte Methode, dernæst af de ved Methoden fundne Resultater.

Musklen optegnede paa en med jævn Hastighed roterende, sodet Cylinder sine Sammentrækninger ved Hjælp af en 107^{mm.} lang, let, enarmet Vægtstang, hvis Bevægelser foregik i et Plan gjennem Cylindrens Axe; for at kunne opskrive sine Bevægelser paa Cylindren, maatte den da efter sine forskjellige Stillinger forlænge eller forkorte sig en Smule, hvilket skete ved Hjælp af en let Fjeder. Forandringerne i Vægtstangens Længde viste sig forsøgmæssig at være saa smaa, at der ikke behøvedes at indføres nogen Korrektion for dem. Paa Vægtstangen greb Musklen an 26^{mm.} fra Omdrejningspunktet og Bevægelserne bleve saaledes optegnede 4,1 Gange forstørrede. Musklen hævede ved sin Sammentrækning en Vægt, der var ophængt i en omkring Vægtstangens Axe slynget Snor. Herved blev Vægtens Bevægelser meget smaa, og Kastningsbevægelser bleve næsten helt undgaaede. I alle Forsøgene var Vægten ligestor (50 Gram), hvad der svarede til en direkte Belastning af Musklen med 6,7 Gram. Paa Cylindren noteredes tillige Irritationernes Antal af en dertil indrettet Elektromagnet, samt 30^{te} Dele Sekunder ved Hjælp af en elektrisk Stemmegaffel.

Kurverne udmaales senere nøjagtig med en i 0,1^{mm.} delt Maalestok, der var indridset paa Undersiden af Spejlglas, og Aflæsningen skete med Lupe. Under Maalingen fastspændtes Kurvepapiret paa en plan Glasplade med en omhyggelig forarbejdet Metallineal, der lagdes parallelt med Abscisseaxen, og henad hvilken Maalestokken førtes.

De anvendte Irritamerter vare stedse Induktionsslag. De for Forsøgene med Hensyn til Irritationsmaaden nødvendige

Betingelser vare for det første, at Irritamenterne, der anvendtes til at frembringe en Tetanus, skulde være alle lige stærke, og under forøvrigt lige Forhold ensartede i deres Virkning paa Musklen (enten Aabningsslag alene eller Slutningsslag alene), samt følge hinanden med regelmæssigt Interval. Endvidere fordredes der, at de enkelte Irritationers Styrke skulde kunne varieres, medens Intervallet mellem Irritationerne forblev konstant, og endelig at Intervallet mellem Irritationerne kunde forandres, medens den enkelte Irritations Styrke forblev konstant. Undladelse af at tage behørigt Hensyn til denne sidste Fordring har allerede ført til flere fejlagtige Resultater hos Forfatterne.

Der anvendtes da følgende Methode. Traadenderne i den sekundære Rulle af en Du Bois-Reymond's Induktionsslæde førtes til Muskens 2 Ender; den inducerende Strøms Slutning og Aabning bevirkedes imidlertid ikke af den Apparatet i Reglen medgivne Wagnerske Hammer, der arbejdede altfor uregelmæssigt for disse Forsøg og tilmed ikke tillod at afblænde Slutnings- (eller Aabnings-) slagene, hvilket var nødvendigt, hvis de enkelte Irritamenter skulde være ensartede i deres Virkning paa Musklen.

Til Strømmens Slutning og Aabning anvendtes derfor følgende Apparat: Et meget regelmæssigt Urværk drev med efter Behag foranderlig Hastighed et, i horizontalt Plan liggende, med Platintænder forsynet Tandhjul omkring en vertikal Axe. Tænderne i dette Hjul, der var elektrisk isoleret, stødte, en for en, mod en paa en kort, stærk Fjeder anbragt lille Platinplade, der ligeledes var elektrisk isoleret. Den primære Strøm gik fra Elementet til Hjulet, derfra, saalænge en Platintand var i Berøring med Platinpladen, til denne, dernæst omkring den primære Rulle i Induktionsapparatet og saa tilbage til Elementet. Strømmen sluttedes hvergang en Tand af Hjulet lige kom i Berøring med Pladen og aabnedes, naar Tandens lige forlod sidstnævnte. Hjul og Plade vare anbragte i et Kar med en rigelig Mængde Alkohol; herved holdtes Kontakten stadig rén.

Med nøjagtig samme Hastighed roteredes samtidig et andet

Hjul, «Afblanderhjulet», fuldstændig bygget som det nys beskrevne Strømbryderhjul; det var ligesom dette elektrisk isoleret, og stødte med sine Tænder, en for en, mod en elektrisk isoleret Platinplade. Dette Hjul var imidlertid stillet saaledes paa Axen, at en Tand af det stødte mod Pladen et Øjeblik førend den tilsvarende Tand i Strømbryderhjulet, ved Berøring med den dertil hørende Plade, bevirkede en Slutning af den primære Strøm, og altsaa forlod Pladen et Øjeblik før Tandens i det første Hjul ved at forlade sin Plade aabnede den primære Strøm. Dette sidst beskrevne Afblanderhjul var anbragt i en metallisk Ledning, der gik fra den ene Traadende i den sekundære Rulle af Slædeapparatet til Tandhjulet, derfra gennem Platintænderne til Platinpladen, og derfra tilbage til den anden Traadende af den sekundære Rulle. Naar en Tand stødte mod Pladen blev saaledes en metallisk Bislutning til Musklen indskudt, og da dette hver Gang skete umiddelbart før den primære Strøms Slutning, modtog Musklen ingen Slutningsslag. Naar den primære Strøm aabnedes, var allerede et Øjeblik før Bislutningen afbrudt, og Musklen modtog saaledes Aabningsslaget og kun dette.

Hermed vare en Del af ovenfor nævnte Fordringer opfyldte, idet Afbrydelsen af den primære Strøm foregik stadig paa samme Maade og med ligestore Intervaller, og idet kun Aabningsslagene kom til Virkning. Det var endvidere muligt at bibeholde nøjagtig samme Interval mellem Irritationerne og variere Styrken af den enkelte Irritation ved Forandring af Afstanden mellem den sekundære og primære Rulle i Induktionsapparatet. Tilbage staar at beskrive, hvorledes det var gjort muligt, at lade den enkelte Irritations Styrke forblive uforandret, medens Intervallet mellem 2 Irritationer varieredes. Herved er nogen Vanskelighed, idet, naar Strømbryderhjulets Roteringshastighed forøges, nødvendigvis hver Tand maa forlade Pladen med større Hastighed end ved langsommere Gang af Hjulet; herved kan imidlertid Induktionsslagets Virkning paa Musklen forandres. For at kunne kontrollere dette Forhold, var det nødvendigt at

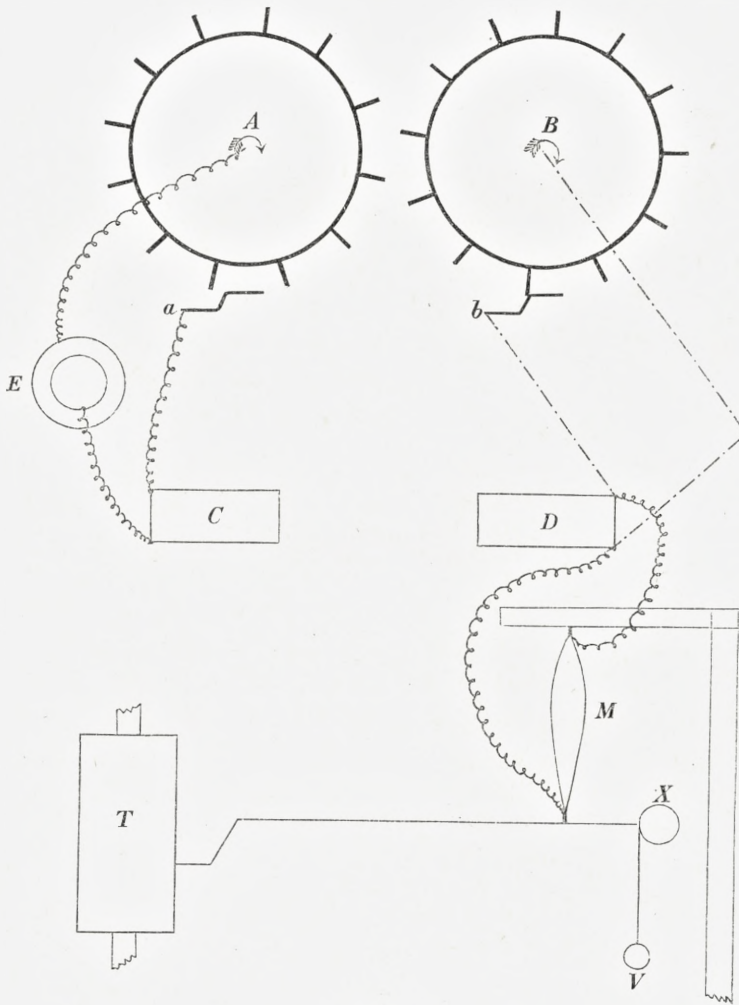


Fig. 1.

A Strømbryderhjul; *a* dertil hørende Platinplade; *B* Afblænderhjul; *b* dertil hørende Platinplade; *C* primære Induktionsrulle; *D* sekundære Induktionsrulle; *E* Element; *M* Muskel; *X* Vægtstangens Axe; *V* Vægt; *T* roterende Cylinder. Den metalliske Bislutning til Musklen er markeret — · — ·.

Mærk. Strømbryder- og Afblænderhjul rotere i modsat Retning af de ved *A* og *B* anbragte Pile.

træffe en Indretning, hvorved man kunde iagttage et enkelt Irritationsslags Virkning paa Musklen, medens Apparatet var i fuld Gang med den just ønskede Roterings hastighed. Dette opnaaedes ved at der, naar et saadant Enkeltslags Virkning paa Musklen skulde prøves, blev lagt til Musklen en metallisk Bislutning, der afblændede samtlige Irritationsslag fra denne. Naar Apparatet gik med den ønskede Hastighed, bevirkede et simpelt Haandgreb, at en Fjeder i Apparatet aabnede Bislutningen netop for den Tid, en enkelt Tand passerede Platinpladen, og dernæst straks igjen sluttede Bislutningen vedvarende. Herved modtog Musklen et enkelt Irritationsslag, hvis Virkning den optegnede paa den roterende Cylinder. Var nu Virkningerne af et Induktionsslag forskjellig ved forskjelligt Interval, kunde de gjøres lige ved passende Forskydning af den sekundære Rulle; herved var det muligt med tilstrækkelig Nøjagtighed at gjøre Enkelttrækningen ved forskjellig Gang af Apparatet ens.

Senere blev dette opnaaet simplere og sikrere, idet man pludseligt kunde afblænde de $\frac{3}{4}$ af Tænderne helt fra Musklen, saa at efter Behag alle Tændernes Induktionsslag eller kun hver fjerde Tands Induktionsslag kom til Virkning paa Musklen, uden at for øvrigt det ringeste forandrede ved hvert enkelt Induktionsslag. Intervallet kunde da pludselig forstørres 4 Gange; for Korthedens Skyld forbigaar jeg Beskrivelsen af det hertil tjenende Apparat.

I Fig. 1 gives en skematisk Tegning af Maaden, hvorpaa Musklen var anbragt i Strømmen; dog findes kun tegnet Strømbryder- og Afblænderhjul, hvorimod de Indretninger til Enkelttrækningens Optegnelse og Intervallets Forandring, der nys ere beskrevne, ere udeladte.

Til Forsøgene anvendtes Frømuskler, som oftest kurariserede og i Forbindelse med Dyret, saaledes at Blodcirculationen i Musklen var vedligeholdt; dog anvendtes ogsaa udskaarne og med Kogsaltopløsning udvaskede Muskler. Enkelte Gange var ingen Kurare anvendt, og Irritationerne fandt Sted fra Nervus

ischiadicus. Musklen var oftest *m. gastrocnemius* og *m. triceps femoris*; dog anvendtes ikke sjældent den parallelbundtede *Adductor* gruppe paa Laaret. Resultaterne gjælde ens for alle Arter af prøvede Muskler.

Den empiriske Lov for den tetaniske Kurves Form fandtes da paa følgende Maade, som jeg oplyser ved et Exempel, hentet fra en med 27 Slag i Sekundet tetaniseret Frømuskel. De ved Experimentet direkte fundne Størrelser ere de Højder af Tetanuskurven, der svare til en bestemt Abscisse af samme. I 1^{ste} Rubrik af nedenstaaende Tabel findes Abscisselængden, det vil sige, Antallet af Stemmegaffelsvingninger fra Irritationens Begyndelse multipliceret med den horizontale Længde af 1 Stemmegaffelsvingning. Denne sidste Størrelse er for alle Forsøgene sat ligestor og lig med 1. I 2^{den} Rubrik findes de til hver Abscisselængde svarende direkte maalte Ordinatorer, angivne i 0,1^{mm.} som Enhed.

Tabel 1.

1. Antal af Stemmegaffel- svingninger fra Irritationens Begyndelse.	2. Højden af den tetaniske Sammen- trækning.	3. <i>m.</i>	4. <i>tg v.</i>	5. <i>k.</i>
15	128,7	0,1165	0,0058	0,030
20	137,5	0,1455	0,0058	0,030
30	147,4	0,2035	0,0058	0,031
40	152,8	0,2618	0,0058	0,031
50	156,2	0,3201	0,0057	0,031
60	159,0	0,3774	0,0058	0,031
70	162,8	0,4353	0,0057	0,031
85	163,2	0,5208		0,030

Kurven findes nu at være af en saadan Beskaffenhed, at Forholdene mellem Abscisser og Ordinator, opførte som Ordinator (med samme Enhed, der er brugt til Abscisseenhed) i de tilhørende Abscissepunkter, alle ere beliggende i én ret Linie. Vi ville kalde det Stykke, denne rette Linie afskjærer af Ordinataxén, for k , Vinklen den danner med Abscisseaxén for v , og have da for den rette Linie

$$y = x \operatorname{tg} v + k.$$

At ovennævnte Forhold finder Sted, ses nu empirisk paa følgende Maade. I 3^{die} Rubrik findes opført under Overskriften m , Forholdene mellem Abscisser og Ordinator; disse Forhold ere tænkte opførte som Ordinator (med Abscisseenheden som Enhed) i de tilhørende Abscissepunkter, og hver Ordinats Endepunkt er tænkt forenet med det følgende ved en ret Linie (m_1 forenet med m_2 , m_2 med m_3 . . .). Tangens til hver af disse rette Liniers Vinkel med Abscisseaxén er beregnet og opført i 4^{de} Rubrik under Overskriften $\operatorname{tg} v$. Da alle disse Tangenter nu empirisk vise sig at være ligestore, ligge alle Punkterne m i én ret Linie. Dernæst er beregnet, hvor stort et Stykke (k) denne rette Linie afskjærer af Ordinataxén, idet for hvert Punkt k er beregnet af Ligningen $k = y - x \operatorname{tg} v$; (til denne Beregning er anvendt det arithm. Middeltal af alle i Rubrik 4 opførte Tangenter). Størrelsen k , beregnet af hvert maalt Punkt af Kurven, er opført i 5^{te} Rubrik.

Den her opførte Lov er bekræftet ved talrige Forsøg. Betingelserne for dens Gyldighed ere 1) at Musklen ved Ophør af Irritationen igjen stræber tilbage til sin oprindelige Ligevægtsstilling, ikke til en højereliggende, at med andre Ord ingen «Tiegelsk Kontraktur» findes; og 2) at Musklen er i en saadan Tilstand, at 2 kort efter hinanden følgende, men dog i deres Virkning paa Musklen ikke sammensmeltede, ligestærke Irritationer, bevirke ligestore Sammentrækninger af Musklen. Dette finder som bekjendt ikke Sted, naar Musklen er træt; ligestærke

Irritationer bevirke da mindre og mindre Sammentrækninger. Ikke sjældent finder ogsaa ved de allerførste Irritationer Uregelmæssigheder Sted, idet ligestærke Irritationer give større og større Sammentrækning; derfor findes undertiden Afvigelse fra Loven i den allerførste Begyndelse af Tetanus. I alle andre Tilfælde gjælder ovennævnte Sætning; hvorledes Forholdene ere ved Tetanus med Kontraktur udvikles nærmere neden for.

Efter at have vist, at Forholdene mellem Abscisser og Ordinator af Tetanuskurven, opførte som Ordinator i de tilhørende Abscissepunkter ere beliggende i en ret Linie, hvor $y = x \operatorname{tg} v + k$ (se foran), ville vi nærmere betragte Kurvens Egenskaber.

Kaldes Ordinaten af Tetanuskurven y_1 , Abscissen x_1 , have vi ved ovenstaaende Sætning (da $y = \frac{x_1}{y_1}$ og $x = x_1$)

$$\frac{x_1}{y_1} = x_1 \operatorname{tg} v + k, \text{ som Kurvens Formel}$$

eller

$$x_1 = y_1 (x_1 \operatorname{tg} v + k);$$

Forskydes i denne Ligning Axerne, idet y_1 sættes lig $\eta + \beta$, x_1 sættes lig $\xi + \alpha$, hvor η og ξ ere de nye Axer, α og β Stykker, vi skulle bestemme, faas:

$$\xi + \alpha = (\eta + \beta) (\xi \operatorname{tg} v + \alpha \operatorname{tg} v + k),$$

sættes heri

$$\beta \operatorname{tg} v = 1, \text{ hvad der giver } \beta = \cot v$$

og

$$\alpha \operatorname{tg} v + k = 0, \text{ hvad der giver } \alpha = -k \cot v$$

faas

$$\eta \xi = -k \cot^2 v, \text{ som Kurvens Formel.}$$

Heraf ses, at den tetaniske Kurve er en til Asymptoterne som Axer henført i 2^{den} og 4^{de} Kvadrant beliggende ligesidet Hyperbel.

I Fig. 2 findes anført en skematisk Tegning af en Tetanuskurve, med Angivelse af Beliggenheden for de nye Axer. Forklaring er tilføjet Figuren.

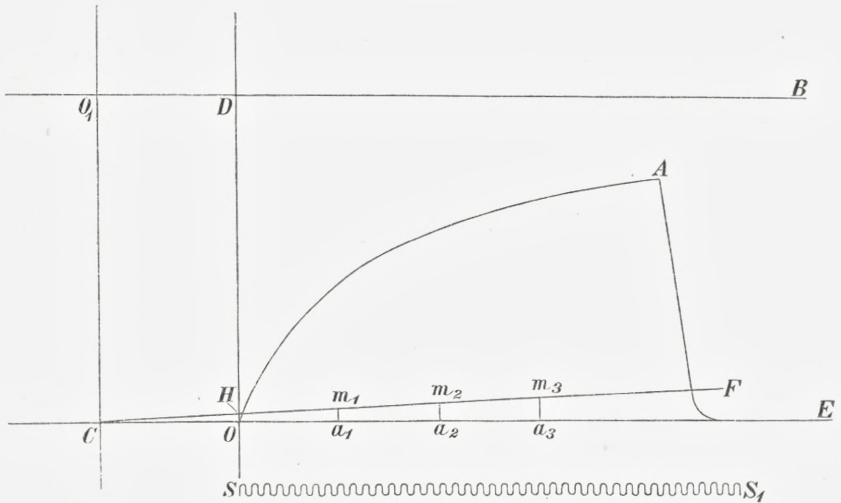


Fig. 2.

OA den tetaniske Kurve; OE og OD Kurvens oprindelige Axer; O_1B og O_1C Kurvens nye Axer; a_1m_1 , a_2m_2 og a_3m_3 Forhold mellem Abscisser og Ordinater af Kurven i Punkterne a_1 , a_2 og a_3 ; SS_1 Stemme-gaffelsvingninger; $\angle FCE = \angle v$; $OD = \cot v$; $OH = k$; $OC = -k \cot v$.

Man vil af det udviklede se, at Tetanuskurven er af en saadan Natur, at den uendeligt stræber at nærme sig en Grænse, saaledes at der altsaa imod den hidtidige Antagelse under hele Tetanus' Forløb forrettes ydre mekanisk Arbejde. Grænsen, som den tetaniske Sammentrækning stræber imod, ligger β tiendedel millimeter over den oprindelige Abscisse, hvor $\beta = \cot v$, og lader sig bestemme af et hvilket som helst Stykke af Kurven. Som i Indledningen anført vil da den største Højde, Tetanus naar, være en Funktion dels af Grænseværdien, Kurven stræber imod, dels af det Moment, hvor Træthedens Indtrædelse bringer Kurven til at afvige fra sin tidligere Vej og synke mod Abscissen. Man maa derfor, hvis man vil vente sig overskuelige Resultater, ikke søge at bestemme Irritationsmaadens Indflydelse paa den største Højde, Tetanus har naat, men derimod paa Grænsen, den stræber at naa, eller med andre Ord finde, hvilken Funktion

cot *v* er af Irritationsmaaden. Endvidere er herved vundet en ikke ringe praktisk Fordel, idet det er muligt at gjøre de tetaniske Kurver meget korte, og dog bestemme alle Forhold ved Kurverne; herved kan meget undgaas af den Indflydelse, Trætheden ellers faar paa en længere Forsøgsrække med samme Muskel.

Førend vi gaar over til at undersøge, hvorledes Kurvens Konstanter ere afhængige af de 2 Forandringer i Irritationsmaaden, der kunne finde Sted, naar Irritationens Karakter som en Række af ligestærke Irritamer, der følge hinanden med ligestore Mellemrum bibeholdes, hvilke to Forandringer ere dels Variation af den enkelte Irritations Styrke dels af Intervallet mellem to Irritationer, bliver det nødvendigt at betragte, hvorledes Kurven forholder sig, naar den ovenfor nævnte Tiegelske Kontraktur findes efter Tetanus' Ophør, idet det vanskeligt er muligt, at frembringe en Række af Tetani efter hinanden, uden at der indtræder Kontraktur ved nogen af dem; at finde de Love, Kontrakturen følger, er da nødvendigt, saafremt det skal være muligt at sammenligne samtlige Tetani i et Forsøg med hinanden.

Naar en Muskel har været i Tetanus, og Irritationerne atter ophøre at virke, træffer det ved vor Irritationsmaade ikke sjældent, især ved svage Muskler og stærke Irritamer, at Musklen ikke stræber tilbage til sin oprindelige Ligevægtsstilling, men en Tidlang holder sig et Stykke over denne. Der siges da at være Kontraktur tilstede. Som rimeligt er, er den tetaniske Kurve i saadanne Tilfælde ikke nogen ligesidet Hyperbel; thi Kontrakturen kan efter sit hele Forhold, hvorpaa det ikke her er Stedet nærmere at gaa ind, ikke tænkes som en Forkortning, hvis Foranledning er Irritationens Ophør, men derimod som en Forkortning, der udvikler sig under hele Forløbet af Tetanus, og som først for den umiddelbare Anskuelse giver sig tilkjende, naar den egentlige tetaniske Sammentrækning er ophørt.

At finde, hvorledes Kontrakturen er afhængig af Irritationernes Antal under den stadig fortsatte kontinuerlige tetaniske Kurve er her vor Opgave; vi ere nemlig da i Stand til at undersøge, om den Del af Tetanus, der ikke skyldes Kontrakturen, følger den Lov, der gjaldt Tetanus uden Kontraktur eller ikke.

Idet vi skulle behandle denne Opgave, bliver det først og fremmest nødvendigt, at fastslaa, hvorledes vi ville maale Kontrakturen; det vi ville finde, er hvor højt den nye Ligevægtsstilling, som Musklen i det Moment, Tetanus ophører, stræber imod, ligger over den oprindelige Abscisseaxe. Denne Størrelse lader sig bestemme paa følgende Maade: Ved at undersøge den Kurve, som den sig efter Tetanus forlængende Muskel tegner paa en jævnt roterende Cylinder, findes denne Kurve empirisk i den første Tid efter Tetanus' Ophør at være en ligesidet Hyperbel, hvis Asymptoter ligge parallelle med Asymptoterne til den tetaniske Kurve (se Fig. 3). Beviset føres fuldstændig som Beviset for Tetanuskurvens hyper-

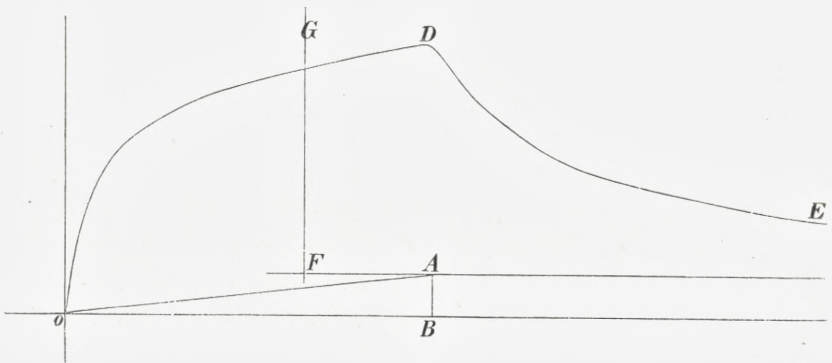


Fig. 3.

OD Tetanuskurve; *DE* Forlængelseskurve efter Irritationens Ophør; *FA* og *FG* Asymptoter til den ligesidede Hyperbel *DE*; *AB* Kontrakturens Størrelse i Punktet *D* af Tetanuskurven; *OA* angiver Kontrakturens Væxt under Tetanus' Forløb.

bolske Form og forbigaaes derfor i denne korte Oversigt. Den ene Asymptote er da den Grænse, henimod hvilken Musklen ved Ophør af Irritationen stræber. Denne Asymptotes Beliggenhed over den oprindelige Abscisseaxe lader sig beregne og er det nøjagtige Udtryk for Kontrakturens Størrelse efter den givne Definition.

Vi have da fundet, hvorledes Kontrakturen maa maales; tilbage staar at finde, hvilken Funktion af Tiden den er under en kontinuerlig fortsat Muskelsammentrækning. Den simpleste Fremgangsmaade syntes at være følgende, som jeg først forsøgte: Man tetaniserer Musklen a Sekunder og bestemmer den derefter blivende Kontraktur; efter at Musklen i længere Tid har udhvilet sig, tetaniseres den fuldstændig paa samme Maade $2a$ Sekunder, dernæst $3a$ Sekunder, saa atter $2a$ Sekunder og endelig a Sekunder, idet man lader Musklen hvile sig tilstrækkelig mellem hver Tetanus. Kontrakturen bestemmes for alle disse Tetani, og der undersøges, hvilken Funktion den er af Tetanus' Varighed.

De tilbagegaaende Kontrollforsøg viste imidlertid, at naar en Gang en Tetanus af længere Varighed har fremkaldt en stærkere Kontraktur, denne da er mere tilbøjelig end forhen til at optræde stærkt selv efter en kort Tetanus. Dette Fænomen vedrører os imidlertid ikke her, ligesaa lidt som Kontrakturens Forhold ved Tetani af forskjellig Højde. Det er Kontrakturens Udvikling under den enkelte Tetanus, det er os nødvendigt at finde. Dertil er nævnte Fremgangsmaade altsaa uanvendelig, og ganske rene Forsøg derover lade sig vist neppe udføre.

Imidlertid fandt jeg følgende Methode mest hensigtsvarende: Man frembringer en længere varende Tetanus, men afbryder denne med visse Mellemrum for ganske kort Tid; ved disse smaa Afbrydelser forstyrres Tetanus' Forløb meget lidt; men af dem er det muligt at bestemme Kontrakturens Størrelse paa hvert Afbrydningssted.

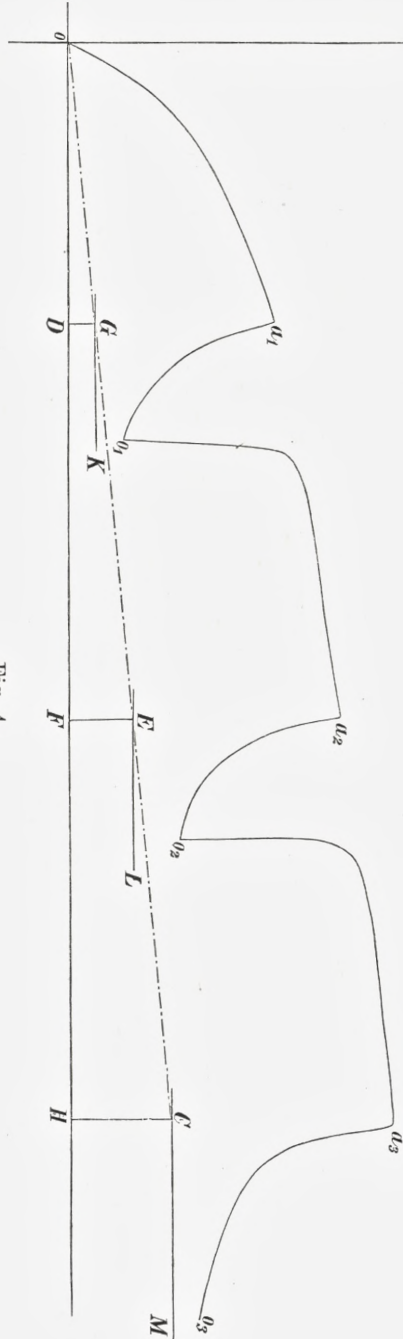


Fig. 4.

- GD* Kontraktur i Punktet a_1 , regnes frembragt af Tetanus oa_1 ;
EF Kontraktur i Punktet a_2 , regnes frembragt af Tetanus $oa_1 + o_1a_2$;
CH Kontraktur i Punktet a_3 , regnes frembragt af Tetanus $oa_1 + o_1a_2 + o_2a_3$;
GK Asymptote til Kurven a_1o_1 ;
EL Asymptote til Kurven a_2o_2 ;
CM Asymptote til Kurven a_3o_3 .

Fig. 4 giver et skematisk Billede af dette Forhold. Kontrakturen i a_1 betragtes da som frembragt af Tetanus oa_1 , Kontrakturen i Punktet a_2 , som frembragt af Tetanus $oa_1 + o_1a_2$ o. s. v.

Man finder da, at Kontrakturens Størrelse temmelig nær voxer proportionalt med det givne Antal Induktionsslag eller med den Tid, Musklen har været tetaniseret.

Et Exempel gives her. Tetanus' Varighed til 1^{ste} Afbrydelse = 27,5 Stemmegaffelsvingninger.

Kontrakturen ved 1^{ste} Afbrydelse = 4,1 ($\frac{1}{10}$ mm.).

Varighed af 2^{det} Afsnit af Tetanus = 29,5 Svingninger.

Varighed af 1^{ste} Afsnit + 2^{det} Afsnit = 27,5 + 29,5 = 57 Svingninger.

Kontrakturen ved anden Afbrydelse = 8,8.

Varighed af 3^{dje} Afsnit af Tetanus = 131,5 Svingninger.

Varighed af 1^{ste} Afsnit + 2^{det} Afsnit + 3^{dje} Afsnit = 27,5 + 29,5 + 131,5 = 188,5 Svingninger.

Kontrakturens Størrelse ved 3^{dje} Afbrydelse = 27,9.

Opføres Størrelserne 4,1, 8,8, 27,9 som Ordinatorer i Abscissepunkterne 27,5, 57,0, 188,5 faas omtrent en ret Linje. Bestemmes nemlig Tangens til Vinklen med Abscisseaxen, som en Linje fra Begyndelsespunktet til Punktet $y = 4,1$, $x = 27,5$ danner, faas 0,149.

Bestemmes Tangens til Vinklen, som Linjen mellem Punktet $x = 27,5$, $y = 4,1$ og Punktet $x = 57,0$ $y = 8,8$ danner med Abscissen, faas 0,159;

og endelig bestemmes den tilsvarende Tangens for Linjen mellem Punktet $x = 57$, $y = 8,8$ og Punktet $x = 188,5$, $y = 27,9$ faas 0,145.

Da disse Tangenter ikke afvige meget fra hinanden, ligge bemeldte Punkter omtrentlig i en ret Linje. Disse Forsøg ere temmelig vanskelige at anstille, da de fordre gode Tetani og stærke Kontrakturer, hvad ofte ikke samtidig træffes.

Ikke uvæsentligt er det Resultat, at Kontrakturen følger en hel anden Lov end den Summation af Trækningerne, der iagttages ved Tetanus uden Kontraktur.

Vi ville nu undersøge, hvorledes ved en Tetanus med Kontraktur den Del, der ikke skyldes Kontrakturen, forholder sig. Herved er jeg gaaet frem paa følgende Maade.

Ved en Tetanus med Kontraktur bestemmes Tetanus' Varighed og Kontrakturens Størrelse; da denne sidste voxer fra 0 ved Tetanus' Begyndelse proportionalt med Tiden, vil dens Størrelse i hvert Punkt være bestemt ved den rette Linje (Linjen *OA* Fig. 3), der trækkes fra Begyndelsespunktet af Tetanus' Kurven til et Punkt, hvis Abscisse er Tetanus' Varighed, og hvis Ordinat er Kontrakturens Størrelse i Afbrydningsøjeblikket, en Størrelse, der er bestemt ved Maaling. Tangens til nævnte rette Linje er Forholdet mellem Kontrakturens Størrelse i Afbrydelsesmomentet og Tetanus' Varighed. Bestemmes først denne Tangens (i det følgende kaldet Tangens til Kontrakturlinjen) og derigjennem Kontrakturens Størrelse i hvert maalt Punkt af den tetaniske Kurve, og subtraheres denne sidstnævnte Størrelse fra den hele Højde, Sammentrækningen i Punktet har naat, vil man faa den Del, der skyldes Summation af Trækningerne. Denne Størrelse ville vi kalde den korrigerede Højde. Opføres disse korrigerede Højder i de tilhørende Abscissepunkter, faas en i 2^{den} og 4^{de} Kvadrant beliggende til Asymptoterne som Axer henført ligesidet Hyperbel.

Tetanus med Kontraktur kan da tænkes sammensat 1) af en hyperbolsk forløbende Højde (den korrigerede Højde), der skyldes Summation af Trækningerne, og 2) af en retlinet forløbende Kontrakturhøjde. Skal Tetanus uden Kontraktur sammenlignes med Tetanus med Kontraktur, er det kun den sub 1 nævnte Del af Sammentrækningens Højde ved sidstnævnte, der bør komme i Betragtning, og saaledes er jeg da ogsaa gaaet frem ved de i det følgende beskrevne Undersøgelser.

Her følger et Exempel.

Antallet af Irritationer var 38,6 i Sekundet. Tangens til Kontrakturlinjen fandtes = 0,09. I 1^{ste} Rubrik findes det efter Irritationens Begyndelse forløbne Antal Stemmegaffelsvingninger (1 Svingning = $\frac{1}{30}$ Sekund); i 2^{den} Rubrik findes den direkte maalte Højde af Sammentrækningen i Punktet; i 3^{dje} Rubrik findes den (se ovenfor) for hvert Punkt beregnede Kontrakturstørrelse; i 4^{de} Rubrik findes den korrigerede Højde (direkte maalte Højde minus Kontrakturhøjde); tænkes disse korrigerede Højder opførte som Ordinater i de tilhørende Abscissepunkter, kunne de vises at være beliggende i en ligesidet Hyperbel, ganske paa samme Maade som blev anvendt Side 180. Der er da i 5^{te} Rubrik opført Forholdene mellem Abscisser og korrigerede Højder (under Overskriften m), og Tangens til Vinklerne med Abscisseaxen, som Linjen mellem Punkterne m_1 og m_2 , m_2 og m_3 o. s. v. danne, ere opførte i 6^{te} Rubrik (tg v); af disse Tangenters Ligestorhed bevises, ganske som Side 181, Kurvens hyperbolske Form.

Tabel 2.

1.	2.	3.	4.	5.	6.
Stemmegaffelsvingninger.	Tetanus' Højde	Kontrakturens Højde.	Korrigerede Højde.	m .	tg v .
25	159,0	2,3	156,7	0,1595	0,00567
35	165,1	3,2	161,9	0,2162	0,00560
45	169,4	4,1	165,3	0,2772	0,00556
55	172,8	5,0	167,8	0,3270	0,00566
65	175,0	5,9	169,1	0,3844	0,00563
75	177,0	6,8	170,2	0,4407	0,00555
85	179,0	7,7	171,3	0,4962	0,00565
95	180,5	8,6	171,9	0,5527	0,00560
105	182,0	9,5	172,5	0,6087	

Det Spørgsmaal, vi havde stillet med Hensyn til Kontrakturens Indflydelse paa Tetanus med Kontraktur, er saaledes besvaret.

Vi komme efter at have gennemgaaet den almindelige Form for Tetanuskurven til den ubetinget vanskeligste Del af Undersøgelsen, hvorledes denne Kurve forandres ved Forandring af Irritationens Maade. Da Irritamentet skal bestaa af ligestore i regelmæssigt Interval paa hinanden følgende enkelte Irritationer, falde de mulige Variationer i følgende 2 Grupper: 1) Intervallet kan forandres, medens den enkelte Irritation lades uforandret; og 2) den enkelte Irritation kan gøres stærkere eller svagere, medens Intervallet forbliver uforandret. Begge disse Forandringer i Irritamentet have vi set ere mulige ved det anvendte Apparat. Det er altsaa Kurvens Konstanter (k og $\operatorname{tg} v$, se foran), hvis Afhængighed af nævnte Variationer skulle undersøges. Her gjælde da i det væsentlige følgende Regler:

1. Forandres Intervallet mellem Irritationerne, medens den enkelte Irritation forbliver konstant, da forandres dermed Konstanten k , idet den aftager med Intervallet, medens $\operatorname{tg} v$, eller den reciproke Værdi af Grænsen for Tetanuskurven, ikke forandres.

Exempel.

Den enkelte Irritation er overalt den samme.

1^{ste} Tetanus. Antal af Irritationer = 28,4 i Sekundet

$$k = 0,019$$

$$\operatorname{tg} v = 0,00615.$$

2^{den} Tetanus. Antal af Irritationer = 64,3 i Sekundet

$$k = 0,0041$$

$$\operatorname{tg} v = 0,0060.$$

3^{dje} Tetanus (tilbagegaaende Kontrollforsøg). Antal af Irritationer = 34,0 i Sekundet

$$k = 0,020$$

$$\operatorname{tg} v = 0,00627.$$

2. Forandres den enkelte Irritations Styrke, medens Intervallet holdes konstant, saa forandres hermed Konstanten $\operatorname{tg} v$, idet den aftager naar Irritationens Styrke voxer, medens k forbliver uforandret.

Exempel.

1^{ste} Tetanus. Antal af Irritationer = 39,3 i Sekundet

$$\text{tg } v = 0,0074$$

$$k = 0,0275.$$

2^{den} Tetanus. Antal af Irritationer = 39,3 i Sekundet; større Strømstyrke end 1^{ste} Tetanus

$$\text{tg } v = 0,0064$$

$$k = 0,0275.$$

3^{dje} Tetanus. Antal af Irritationer = 39,3 i Sekundet; større Strømstyrke end i 2^{den} Tetanus

$$\text{tg } v = 0,0052$$

$$k = 0,0281.$$

Ved disse Regler er man imidlertid nødsaget til at være mindre stræng i sine Fordringer paa Nøjagtighed, da Forsøgene ere langt mere komplicerede end de tidligere. Ved saadanne Forsøg maa nemlig først Konstanterne udregnes for hver enkelt Kurve, ofte med Korrektion for den atter beregnede Kontraktur, og dernæst er det yderst vanskeligt, som her fordres, timevis at holde Musklen frisk og usvækket.

I Hovedtrækkene ere Reglerne imidlertid utvivlsomme, altsaa varierer den Grænse, Tetanus stræber imod, med Styrken af den enkelte Irritation og kun med denne, medens Maaden, hvorpaa den stræber mod Grænsen, forandres med Antallet af Irritationer i Tidsenheden, saaledes at Kurven ved hyppigere Irritationer bliver stejlere.

Hermed ere formentlig Hovedreglerne for det ydre Muskelarbejde under Tetanus udviklede. Om de tildels meget nærliggende Formodninger, man heraf kan drage om Forholdet mellem den i Musklen ved Irritamentet udviklede Energi og det ydre Arbejde, skal nærmere udvikles i den udførligere Afhandling, jeg agter at offentliggjøre om denne Undersøgelse.