DEN ALMINDELIGE GYMNASTIKTEORI

AF

J. LINDHARD

II

MED 11 TAVLER

ANDEN GENNEMSETE UDGAVE

KJØBENHAVN
CARL LARSENS FORLAG
1918

Biblioteka Gł AWF w Krakowie

1800068572

53214

DEN ALMINDELIGE

GYMNASTIKTEORI

II

Figma

DEN ALMINDELIGE
(FYSIOLOGISKE)
GYMNASTIKTEORI

AF

J. LINDHARD

II

MED 11 TAVLER

ANDEN GENNEMSETE UDGAVE

KJØBENHAVN
CARL LARSENS FORLAG
1918

5240/2 I



S438

KØBENHAVN - GRÆBES BOGTRYKKERI

FORORD

UNDER Udarbejdelsen af nærværende Udgave af Den almindelige Gymnastikteori II har jeg benyttet O. Fischer: Kinematik organischer Gelenke, R. Fick: Handbuch der Anatomie und Mechanik der Gelenke, G. B. Duchenne: Physiologie der Bewegungen, R. du Bois-Reymond: Specielle Muskelphysiologie, E. H. Starling: Principles of human physiology samt en Del Specialafhandlinger. Fremstillingen af den almindelige Muskelfysiologi er baseret paa A. V. Hill's Undersøgelser, offentliggjorte i en Række Afhandlinger i The Journal of Physiology. Denne Opfattelse af Muskelfunktionen, der i flere Henseender afviger fra den hidtil almindelige, faar paa enkelte Punkter ogsaa Indflydelse paa Fremstillingen af Muskelmekaniken. — Figurerne, der af økonomiske Grunde er samlede paa Tavler bag i Bogen, er for største Delen kopierede fra de ovenfor nævnte Værker.

Frederiksberg i September 1918.

FORF.

INDHOLD

Side

Bevægelsesorganerne ... 1
A. Knoglerne og deres Forbindelser ... 1
Knoglernes Bygning og Egenskaber ... 1
Knoglernes Bygning ... 1
Knoglernes kemiske Sammensætning ... 2
Knoglernes fysiske Egenskaber ... 3
Ledbrusken ... 5
Knoglernes Forbindelser. Led ... 7
A. Almindelig Ledlære ... 7
I. Synarthroser ... 7
II. Diarthroser ... 9
Diarthrosernes Bygning ... 10
De sammenholdende Kræfter ... 12
Leddenes Hemningsapparat ... 17
Diarthrosernes Kinematik ... 22
A. Bevægelsen bestemt ved Ledfladernes Form ... 22
1. Led med udbredt Fladekontakt ... 23
2. Led med stærkt begrændset Fladekontakt ... 29
Cylinderled ... 32
Led med vilkaarlig Fladeform ... 42
B. Forskellige Grader af Bevægelsesfrihed ... 46
Diarthrosernes Inddeling ... 50
B. Speciel Ledlære ... 55
Terminologi og Metoder ... 55
Legemets enkelte Led ... 64
Hovedets Led ... 64
Hvirvelsøjlen og dens Ledforbindelser ... 67
Hvirvelsøjlens Form ... 68
Hvirvelsøjlens Ledforbindelser ... 77
Brystkassens Ledforbindelser ... 84
Bækkenets Ledforbindelser ... 90
Overextremitetens Led ... 93
Underextremitetens Led ... 105

Side
B. Musklerne 118
I. Almindelig Muskelfysiologi 118
1. Skeletmusklerne 120
Bygning 120
Kemisk Sammensætning 121
Fysiske Egenskaber 122
Kontraktionsprocessens Natur 137
Muskeltrætheden 139
Forholdet mellem Musklen og dens Nerve 143
Dødsstivheden 144
2. Indvoldsmusklerne 145
Bygning 145
Egenskaber 145
II. Speciel Muskelfysiologi 147
A. Almindelig Muskelmekanik 148
Muskeltrækkets Størrelse og Retning 148
Hvilelængde og Bevægelsesbane 151
Muskelkraft og Arbejde 155
Musklernes Virkning paa Leddene 161
Kræfters Sammensætning og Opløsning 162
Drejningsmoment 165
Masse og Tyngdepunkt 170
Træghedsmoment 174
B. Speciel Muskelmekanik 176
Vanskeligheder for Undersøgelsen 176
Undersøgelsesmetoder 182
De enkelte Muskler og Muskelgrupper 189
Kraniets og Ansigtets Muskler 189
Tyggemusklerne 189
Tungebensmusklerne 190
Hvirvelsøjlens Muskler 190
Hovedet og Halssøjlen 190
Bryst- og Lændesøjlen 193
Brystkassens Muskler 196
Overextremitetens Muskler 197
Underextremitetens Muskler 209
Oversigtstabeller 217

BEVÆGELSESORGANERNE.

A. KNOGLERNE OG DERES FORBINDELSER.

Knoglernes Bygning og Egenskaber.

KNOGLERNE er Legemets vigtigste Støttevæv; de tjener til Fæste for Musklerne og beskytter de bløde Organer. Knoglerne er forbundne med hinanden til et Skelet, der i det væsentlige betinger Legemets Form. Skelettets enkelte Afsnit er de Vægtstænger, hvorpaa Musklerne virker; ved Forandring af Knoglernes indbyrdes Stilling foregaar Legemets Bevægelser.

Knoglernes Bygning.

Betragter man et Tværsnit af en Knogle under stærk Forstørrelse, vil man finde, at Knoglevævet har en lamelløs Struktur; Lamellerne er ordnede saaledes, at de dels forløber parallelt med Knoglens Overflade og med Marvrummene, dels er ordnede koncentrisk omkring fine Kanaler, de Havers'ske Kanaler, der forløber i Knoglens Længderetning og anastomoserer med hinanden til et langmasket Netværk. I disse Kanaler findes Knoglevævets Kar og Nerver. Paa Grændsen mellem de enkelte Lameller ser man paa Tværsnittet talrige smaa, aflange Huler, hvori Knoglevævets Celler har deres Plads; de smaa Huler, Lacumæ, er ved yderst

fine Kanaler forbundne med hinanden. Cellerne er fladtrykte, forsynede med en stor Kærne og talrige fine Protoplasmaudløbere, der gennem Canaliculi sætter Cellerne i indbyrdes Forbindelse. Lamellernes Grundsubstans har fibrillær Struktur, og de enkelte Lameller er meget fast forbundne med hinanden.

Knoglernes kemiske Sammensætning.

Friske Ben indeholder 14—44 % Vand og 1,3—27 % Fedt. Knoglevævet bestaar af en organisk Grundsubstans, hvori uorganiske Salte findes indlejrede. Disse Salte er ikke til Stede som Korn eller Klumper men er meget fint fordelte og i intim Forbindelse med Grundsubstansen. Den organiske og den uorganiske Substans lader sig dog paa forskellig Maade adskille.

Brænder man en Knogle over aaben Ild, vil de organiske Dele forbrænde, og man beholder tilbage en hvid, kalklignende, skør Masse, der gengiver Knoglens Form men kun har ca. $^2/_3$ af dens Vægt. Denne Benaske har følgende Sammensætning:

Calciumfosfat	ca. 85,0 %
Magniumsfosfat	- 1,5 -
Calciumfluorid	- 0,3 -
Calciumchlorid	- 0,2 -
Calciumcarbonat	- 10,0 -
Alkalisalte	- 2-3 -

Lægger man en Knogle i fortyndet Saltsyre, da opløses de uorganiske Salte, og den organiske Del bliver tilbage som en bøjelig, bruskagtig Masse, der indtil Detailler gengiver hele Knoglens Form. En saaledes decalcineret Knogle giver ved Kogning Gelatine; Knoglernes Grundsubstans bestaar altsaa af limgivende Væv. (Udtrækker man en Knogle med concentreret Saltsyre, vil en Del af den organiske Substans destrueres, men den Membran, der beklæder Væggene i Lacunæ

og i de Havers'ske Kanaler bliver tilbage. Man kan paa denne Maade fremstille overordentlig smukke Knoglepræparater.)

Knoglernes fysiske Egenskaber.

Knoglerne er hvide, den levende Knogle med et svagt blaaligt Skær; de er haarde og faste men dog elastiske. Vgtf. omtrent 1,9.

Knoglerne er ikke massive, men det egentlige Knoglevæv er ordnet i tykkere eller tyndere Lag omkring større eller mindre Hulrum. Undersøger man en Rørknogle, vil man finde, at den bestaar af et cylindrisk Midtparti, Skaftet (Scapus), med tykke Vægge af kompakt Bensubstans omsluttende en central Hulhed, Marvhulen, samt to som Regel betydeligt tykkere Endepartier (Extremitas sup. & inf.), hvis ydre Benlamel kun er tynd, og hvis Indre er opfyldt af tynde Benlameller i forskellig Anordning omsluttende talrige smaa Marvrum. — Denne Bygning er ikke tilfældig men svarer nøje til de mekaniske Fordringer, der maa stilles til Knoglen, naar den med den mindst mulige Masse skal frembyde den størst mulige Fasthed.

Hvis man lader en bøjende Kraft virke paa en massiv Stang, viser det sig nemlig, at de stærkeste Spændinger og Tryk i den midterste Del af Stangen findes ud imod dennes Overflade; derfor er et Rør næsten lige saa stift som en massiv Stang af det samme Materiale og med de samme ydre Dimensioner og meget stivere end en massiv Stang af det samme Materiale med samme Vægt. Den største Bøjningsfasthed findes, naar Rørets indre og ydre Diameter forholder sig til hinanden som 8 : 11, og netop denne Fordring er opfyldt i Rørknoglerne. Henimod Stangens Ender fordeler Spændingerne sig derimod anderledes; Spændingskurverne faar hér et mere uregelmæsigt og kompliceret Forløb. I Hovedtræk viser det sig, at Retningerne for den stærkeste Spænding og for det stærkeste Tryk staar vinkelret paa hinanden,

og undersøger man Benlamellernes Anordning i de spongiøse Knogler, vil man finde, at disse er ordnede saaledes, at de mekaniske Fordringer ogsaa paa dette Punkt sker Fyldest. Som et klassisk Exempel finder man ofte Laarbenshalsens Struktur (Fig. 1.) afbildet i Lærebøger i teknisk Mekanik.

I Almindelighed kan det siges, at ikke alene Knoglernes indre Bygning men ogsaa deres ydre Former er bestemt af de mekaniske Forhold. Den Anskuelse har været fremsat, at Knoglernes Form i nogen Maade blev bestemt af de omgivende Væv paa Trods af mekaniske Forhold, at f. Ex. Tibia iflg. Mekanikens Fordringer skulde være oval paa Tværsnit men paa Grund af de omliggende Muskelgruppers Tryk under Udviklingen blev trekantet. De i denne Henseende udførte Beregninger synes imidlertid at vise, at netop det trekantede Tværsnit for Tibias Vedkommende betinger den størst mulige Fasthed.

Knoglernes Form er imidlertid ikke ganske uafhængig af andre Organsystemer; særligt tilkommer der Muskulaturen en ikke ringe Indflydelse paa Skelettets almindelige Udvikling. Hos muskuløse Individer er Benbygningen i al Almindelighed kraftigere end hos muskulsvage; de enkelte Muskler eller Muskelgrupper kan, hvor de udspringer fra eller fæster sig til Skelettet, give Anledning til Dannelsen af mere eller mindre markerede Lister og Fremspring paa Knoglerne, saakaldte Muskelspor, og noget ganske Tilsvarende gælder for Ligamenternes Vedkommende, Ligamentspor. Som Regel er derfor Mandens Skelet stærkt udviklet og har tydelige Muskelspor, medens Kvindens er svagere og har forholdsvis jævn Overflade. Endelig skal det nævnes, at under visse Omstændigheder utvivlsomt ogsaa et ydre Tryk kan være Anledning til en Omformning af Knoglerne, navnligt naar Trykket kommer til at virke paa et tidligt Stadium af Individets Udvikling. Det er saaledes en almindelig Opfattelse, at flere Foddeformiteter kan føres tilbage til et paa Foden

stadigt virkende intrauterint Tryk. En saadan Virkning maa dog betragtes som patologisk.

Man vil ved Hjælp af nedenstaaende Tal kunne danne sig en Forestilling om Skelettets Modstandsdygtighed mod ydre Vold.

Til at knuse en Tærning af de nævnte Dimensioner fordres et Tryk af:

Kompakt Bensubstans fra Tibia 5 mm^3..... 426 kg
Spongiøs Substans fra en Hvirvel, 10 mm^3 .. 96,25 -

Til at overrive en Benstav paa 2,4 mm i Diameter fordres et Træk paa 12,41 kg.

Til at frembringe Costafraktur ved Kompression af Brystkassen i sagittal Retning fordres et Tryk paa

	30-aarig Mand	82-aarig Kvinde
	60 kg	40 kg
ved transversel Kompression derimod	200 kg	40 kg

For Knogler af en voxen Mand er Brudgrændsen ved

	Belastning i Tværretning	Belastning i Længderetning
for Humerus	850 kg	505 kg
for Tibia	600 -	1060 -

Saadanne Størrelser er naturligvis underkastede betydelige Variationer; men det fremgaar dog af de anførte Tal, at Knoglerne taaler betydeligt stærkere Belastning end den, de sædvanligt bliver udsatte for, at Organismen altsaa for Skelettets Vedkommende er i Besiddelse af et »Reservefond«, hvormed den kan møde extraordinære Fordringer til dens Modstandsdygtighed.

Til Skelettet hører i mekanisk Henseende ogsaa

Ledbrusken.

Ledbrusken bestaar af en hyalin Grundsubstans, hvori de store karakteristiske Bruskceller findes indlejrede. Cellerne

er som oftest ordnede i Grupper eller korte Rækker, der henimod den frie Overflade er parallele med denne, i de dybe Lag vinkelrette derpaa. Bruskcellen er omgivet af en Slags Kapsel der dog gaar jævnt over i Grundsubstansen. I enkelte Led træffer man saakaldet Fiberbrusk, hvis Grundsubstans indeholder stærke Bundter af de sædvanlige kollagene Bindevævsfibriller.

Bruskvævets Grundsubstans bestaar af Kollagén samt flere meget sammensatte organiske Stoffer, bl. a. en mucinlignende Substans.

Ledbrusken er i tynde Lag gennemskinnelig, i tykkere Lag blank, blaalig hvid; den er af ejendommelig Konsistens og meget elastisk for Tryk. Den er ikke lige stærk i alle Retninger; trykker man en konisk Metaldorn vinkelret paa paa Overfladen ned i en Ledbrusk, vil den, naar den atter fjærnes, have frembragt en lille Spalte i Brusken vinkelret paa den Retning, hvori dennes Modstand mod Træk er svagest. Gnider man en fint udrevet, mørk Farve ned i et saaledes frembragt System af Spalter, fremtræder Bruskens Spaltningsretning overordentlige tydeligt, og man kan da direkte se, i hvilken Retning Bruskbeklædningen er mest modstandsdygtig. Det har ved saadanne Undersøgelser vist sig, at ogsaa Bruskens Struktur svarer til de mekaniske Fordringer saaledes, at den er mest modstandsdygtig i de Retninger, hvor Spændingen, der optræder under Leddets Funktion, er størst.

Brusken er ikke saa modstandsdygtig som Knoglerne.

Til at knuse en Tærning af Ledbrusk paa 5 mm^3 fordres et Tryk paa 39,3 kg.

Til at overrive en Bruskstav, hvis Tværsnit er 16 mm^2, fordres et Træk af 2,72 kg.

Knoglernes Forbindelser. Led.

A. Almindelig Ledlære.

Knoglerne er ved Led forbundne til et Skelet, idet vi ved Led forstaar enhver Forbindelse mellem to Skeletdele. De bevægelige Ledforbindelser er som Regel selvstændige Organer, hvis Funktion i Forbindelse med Knoglernes betinger Legemets Stillings- og Pladsforandringer. Knogler og Led udgør altsaa tilsammen Organismens passive Bevægelsesapparat.

(For Fuldstændigheds Skyld maa det bemærkes, at Led i videste Betydning ikke forudsætter Tilstedeværelsen af Skelet; et Led kan betegne en hvilkensomhelst Forbindelse mellem Legemets enkelte Afsnit. Saaledes taler man som bekendt om Led hos en Bændelorm. I visse Tilfælde træffer man et leddelt Skelet af en ganske anden Art end Hvirveldyrenes saaledes f. Ex. Insekternes Hudskelet. Endelig maa det erindres, at Led ikke altid er ensbetydende med Bevægelighed; man har ubevægelige Led som f. Ex. mange af Hovedets Suturer, og man kan paa den anden Side finde Bevægelighed, hvor der ikke er Tale om Ledforbindelse; som Exempel kan nævnes Tungen eller Elefantens Snabel.)

Leddene inddeles sædvanligt i to Hovedgrupper: Synarthroser og Diarthroser.

I. SYNARTHROSER.

I Synarthrosen er to Knogler forbundne med hinanden ved et mellemliggende Væv, der ikke danner noget særlig differentieret Organ. Bevægeligheden kommer i Stand ved det forbindende Vævs Bøjelighed. Herhen hører

1. Synostose, hvor de to Knogler er forbundne ved Knoglevæv, d. v. s. sammenvoxede. Denne Forbindelse træffer man mellem flere af Kraniets og Ansigtets Knogler. Synostosens Bevægelighed er naturligvis lig Nul.

2. *Sutur* (Fig. 2) er ligeledes en Ledform, der tilhører Hovedets Skelet. I Suturen er det forbindende Medium en yderst ringe Mængde Bindevæv; den dannes i sin typiske Form af to bugtede og takkede Knoglerande, hvis Uregelmæsigheder griber ind i hinanden som en Sinkning; saaledes findes den i Sutura coronaria og S. sagittalis. Man træffer dog ogsaa Suturen i flere atypiske Former saaledes i S. squamosa, hvor de to Knoglerande er kileformet tilskærpede og skudte over hinanden, og i Forbindelsen mellem Kilebenet og Plovbenet, hvor Rostrum sphenoidei er kilet ind mellem Alæ vomeris. Saturen tillader ikke Bevægelse i egentlig Forstand, men den muliggør en vis Grad af Fjedren, der ofte vil kunne afværge Faren for Brud paa de paagældende Knogler.

3. *Syndesmose* er en ligamentøs Forbindelse mellem to Knogler. Denne Forbindelses Bevægelighed afhænger af Baandenes Længde og Retning. Er Baandet kort, bliver Bevægeligheden meget ringe, er det langt, kan den derimod være ret betydelig; den er dog altid ubetydelig i Baandets Længderetning. Syndesmoser findes mellem de nedre Ender af Knoglerne i Crus, mellem Clavicula og 1'Costa, samt mellem Clavicula og Processus coracoideus. En ejendommelig Form for Syndesmose dannes af de saakaldte interossøse Membraner mellem Knoglerne i Antibrachium og Crus; disse Forbindelser tillader ikke, at de to Knogler fjærnes fra hinanden, men giver i andre Retninger en ret udstrakt Bevægelsesfrihed saaledes som Bevægelsen af Radius omkring Ulna ved Pronation viser. Syndesmosen kan undtagelsesvis dannes af elastisk Væv, saaledes Ligamenta flava mellem Hvirvelbuerne. I

4. *Synchondrosen,* der meget ligner den foregaaende Form, er det forbindende Medium Hyalinbrusk. Synchondrosens Bevægelighed er ligesom Syndemosens i det væsentlige afhængig af Forbindelsens Længde. Bevægeligheden kan, naar Brusken er lang, blive ret betydelig; men Brusken vil altid i Modsætning til Baandet stræbe efter at indtage en

bestemt Ligevægtsstilling Som Exempel kan nævnes Forbindelsen mellem 1'Costa og Manubrium sterni. Synchondroser findes tillige under Opvæxten mellem Rørknoglernes Diafyse og Epifyser, mellem Nakkeben og Kileben osv. Alle Synchondroser har stor Tilbøjelighed til at forkalke eller til at forbene, d. v. s. at gaa over til Synostoser.

Som en Overgangsform mellem denne og den følgende Gruppe træffer man endelig

Symfysen. Symfysen (Fig. 3) dannes af fibrøs Brusk; denne er ikke homogen men indeholder et centralt, blødere Parti, hvori der efterhaanden udvikles et Spalterum, fyldt med en klar synovialignende Vædske. Heraf Betegnelsen »Halvled« for disse Forbindelser. I Symfysen er de forbundne Knogleender ligesom i de egentlige Led beklædte med Hyalinbrusk, og den er som Regel forsynet med Forstærkningsbaand, derimod har den ingen Ledkapsel. Bevægeligheden er, saavel hvad Form som hvad Udstrækning angaar, i ret høj Grad bestemt ved Baandapparatet. Bortset fra Baandene er Bevægelsesformen en Vaklen eller Rokken omkring et centralt Punkt, Neutralpunktet; — en Bevægelse af denne Form har man i Haandens Bevægelse mod Bordpladen, naar den flade Haand hviler paa en lille Gummibold. — Bevægelsens Udstrækning er ligefrem proportional med Kvadratet paa Symfysens Højde og omvendt proportional med Kvadratet paa dens Tværsnitsareal. Symfyser findes mellem Hvirvellegemerne og mellem Bækkenknoglerne, dog maa det bemærkes, at adskillige Forfattere henfører Symfysis sacro iliaca til den følgende Hovedgruppe.

II. DIARTHROSER.

Ved Diarthrose forstaar man en Forbindelse mellem to Knogler ved Hjælp af en særegen Bevægelsesmekanisme, et Led i egentlig Forstand, der tillader Bevægelighed efter visse bestemte Love.

Diarthrosernes Bygning.

I Diarthrosen, der er fremstillet skematisk i Fig. 4, er to Knogleender i direkte Berøring med hinanden og holdes i Stilling af omgivende Bløddele; kun i sjældnere Tilfælde sikrer overgribende Knoglerande Sammenhængen (lukkede Led). De frie Knogleender er paa Berøringsfladerne beklædte med Hyalinbrusk, undtagelsesvis med fibrøs Brusk, og har en mere eller mindre regelmæssig geometrisk Form, Ledflader. Som Regel er den ene Ledflade (oftest den proximale) konkav, Ledskaal, den anden (distale) konvex, Ledhoved. Bruskbeklædningen varierer ret betydeligt i Tykkelse; men der gælder den almindelige Lov, at den er tynd, hvor de to Ledflader nærmer sig til at være kongruente af Form, hvorimod den er tyk, naar Fladeformen frembyder større Forskelligheder.

Fra Knoglerne nær Ledfladernes Rande udgaar fibrøst Væv, der som en sammenhængende Kapsel omslutter de to Knogleender og det mellemliggende Rum. Denne Ledkapsel er af meget forskellig Tykkelse og Stramhed; paa de Steder, hvor der stilles de største Fordringer til dens Styrke, findes ofte særlig stærkt udviklede Strøg, der kan have Karaktér af Ligamenter; i Kapslen er Fibrenes Forløb oftest parallelt med Leddets Længdeaxe.

Den fibrøse Kapsel er paa sin Indside beklædt med en tynd Bindevævsmenbran, Synovialhinden. Denne følger dog ikke nøjagtigt den fibrøse Kapsel men er ofte adskilt fra den ved Fedtaflejringer; dens Indside danner ofte uregelmæssige Fremspring eller Tjavser, Villi articulares. Synovialmembranen er beklædt med et mere eller mindre sammenhængende Lag af flade Celler, der frembyder en vis Lighed med et enlaget Epithel; den afsondrer den klare, seige Ledvæske, Synovia, der udfylder Rummet mellem Ledflader og Kapsel og sikrer en friktionsløs Glidning mellem Led-

fladerne. Selv ved den stærkeste Belastning er Gnidningsmodstanden i Diarthroserne praktisk talt lig Nul.

Foruden disse normale Bestanddele af Diarthrosen finder man af og til accessoriske Dannelser saasom Labrum glenoidale, en Ring af stærkt, fibrøst Væv anbragt paa Ledskaalens Rand saaledes, at den tjener til at fordybe denne, eventuelt medvirker til at fastholde Ledhovedet. Labrum glenoidale er trekantet paa Tværsnit, dens ene Flade vender mod Ledhulen, den anden hviler paa Knoglen og den tredie er fastvoxet til Kapslen.

Meniscus articularis er en Dannelse af fibrøs Brusk sammenvoxet med den fibrøse Kapsel og indskudt mellem de to Ledflader saaledes, at den frembringer en mere eller mindre fuldstændig Adskillelse af Ledhulen i de to Rum. Menisker er ikke beklædte med Synovialis; de findes navnligt i Led, hvor de to Ledfladers Form er meget forskellig, og tjener altsaa ligesom den tykkere Bruskbeklædnig af Knogleenderne til at bøde paa en mangefuld Tilslutning mellem disse.

Til Diarthrosernes Hjælpeapparater hører endelig Ledbaandene. De egentlige Ligamenter er fibrøse, meget lidt elastiske Baand, der er anbragte fra Knogle til Knogle som Regel i Leddets umiddelbare Nærhed men uden Forbindelse med Ledkapslen. Ligamenterne hører til Leddenes Hemningsapparat og har ofte en betydelig Indflydelse paa Bevægelsesbanens Form, muligvis ogsaa paa dens Udstrækning. I nogle Tilfælde overtages Ligamenternes Rolle af Muskelsener (»ligament actif«), der forløber umiddelbart paa Kapslen, og som snarere synes bestemte til at støtte Leddet end til at bevæge det. I andre Tilfælde kan Sener være forbundne med Kapslen og tjene til at udspænde den i bestemte Retninger (»Kapselspændere«), hvorved man undgaar, at den bekniber sig mellem Ledenderne under Leddets Bevægelser.

De sammenholdende Kræfter.

Blandt de Kræfter, der sikrer Forbindelsen mellem Ledenderne, maa først og fremmest nævnes Muskeltrækket. I det levende Legeme er Musklerne aldrig helt slappe men befinder sig i en vis Irritationstilstand, Tonus; og da Trækretningen af de Muskler, der i egentlig Forstand udgør det paagældende Leds Muskulatur, som Regel ikke afviger særlig stærkt fra den Knogles Længderetning, paa hvilken de virker, naar Leddet er i sin habituelle Hvilestilling, vil de med en forholdsvis betydelig Komponent komme til at virke sammenholdende paa Leddet. Den sammenholdende Komponent bliver vel ofte mindre, naar den foregaar Bevægelse i Leddet, men samtidig bliver paa Grund af den aktive Innervation den totale Muskelkraft større, og Muskler, der ligger paa Leddets modsatte Side, bliver passivt spændte — rimeligvis ogsaa til en vis Grad kontraherede — og kommer saaledes til at trykke Ledenderne mod hinanden. Spændingen i de øvrige Bløddele vil virke i samme Retning. Saaledes spiller Ligamenterne utvivlsomt en Rolle i denne Forbindelse om end mindre, end ofte antaget; en effectiv sammenholdende Virkning af Baandene vilde i al for høj Grad være en Hindring for Bevægeligheden; hvor dette Forhold som ved Hængselledenes Sideligamenter ikke kommer i Betragtning, kan Baandene naturligvis repræsentere en betydelig sammenholdende Kraft. Endvidere har Hudens og Fasciernes Spænding utvivlsomt Betydning som sammenholdende Kraft, men hvor stor denne i det konkrete Tilfælde kan blive, vil det være meget vanskeligt at danne sig et Skøn over og endnu vanskeligere at udmaale. Hvor Ledfladerne er kongruente kommer endelig Kohæsionen mellem de fugtige Flader til at spille en Rolle.

En Faktor, der i denne Forbindelse har været meget stærkt diskuteret er Lufttrykket. Man har indtil den seneste Tid, støttende sig til Brdr. Weber's Forsøg med Hofte-

leddet, antaget, at Lufttrykket var den Kraft, der fremfor nogen anden bidrog til at holde Leddene i Stilling. Brdr. Weber viste, at naar man gennemskar Muskulaturen mellem Kroppen og Underextremiteten, og naar man endvidere fjærnede Hofteleddets Kapsel og Ligamenter, da forblev Caput femoris paa sin Plads i Acetabulum; borede man derefter indvendig fra et Hul i Acetabulum, saa indtraadte der øjeblikkeligt Luxation af Leddet. Herimod er der naturligvis intet at indvende; men naar Brdr. Weber af dette Experiment slutter ikke blot, at Lufttrykket for Diarthrosernes Vedkommende er den væsentligste sammenholdende Kraft, men tillige, at Underextremitetens Ophængning til Bækkenet er en »æquilibrirter Aufhängung«, d. v. s. Extremitetens Vægt og Ledfladens Størrelse skulde være saaledes afpassede, at Atmosfæretrykket paa Ledfladen netop blev lig Extremitetens Vægt, da er disse Slutninger ganske uberettigede. Det er fra et fysiologisk Synspunkt set en paa Forhaand mere end usandsynlig Antagelse, at Organismen paa et saa væsentligt Punkt, som Leddenes Integritet repræsenterer, skulde være afhængig af en stærkt varierende ydre Kraft som Lufttrykket; og Læren om den æquilibrerede Ophængning har da heller ikke faaet Lov til at staa uanfægtet. Man har indvendt, at Extremitetens Vægt er en ganske ubestemt Størrelse. at f. Ex. en stor Del af Muskulaturen bæres af Bækkenet, endvidere, at man ved stærkt Barometerfald, f. Ex. ved Bjærgvandringer, skulde være udsat for at tabe sine Underextremiteter, naar man blev træt; man har haft forskellige Meninger om, hvorledes Ledfladens Størrelse bør udmaales osv. Det væsentligste er dog Spørgsmaalet om, hvorvidt Brdr. Weber's Forsøgsbetingelser mekanisk set kan siges at være tilstede ogsaa i det levende Led, og dette Spørgsmaal maa sikkert besvares ubetinget benægtende. For at Lufttrykket skal kunne presse Ledhovedet imod Skaalen, maa der være Undertryk i Ledhulen; skal dette Pres naa op til 1 kg pr. cm^2, da maa der endog være absolut Vacuum. Et saadant

Undertryk er imidlertid ikke paavist i det normale, hvilende Led, og der er ydermere Iagttagelser, der tyder paa, at det ikke kan findes. Patienter med Laarbensbrud anbringes som Regel i Extensionsbandage, d. v. s., man lader en Vægt anbragt i en Snor, der forløber over en Tridse i fast Forbindelse med Lejets Fodende, stadigt virke paa den nedre Brudende. Hvis nu Vægten er saaledes forbundet med Underextremiteten, at den kommer til at angribe nedenfor Knæleddet, vil der meget hurtigt udvikle sig en Vædskeansamling i dette, selv om den paahængte Vægt ingenlunde er større end Vægten af Crus og Fod. Lægen sørger derfor altid for, at Vægten ved saadanne Bandager kommer til at angribe ovenfor Knæet. Men naar saa er, bliver det en urimelig Antagelse, at der under normale Forhold skulde herske permanent Undertryk i Ledhullen fremkaldt ved Extremitetens Vægt; ogsaa dette maatte nødvendig give Anledning til Vædskeansamling i Kapslen. — Normalt bæres Underextremiteten af Muskulaturen: de store Muskelmasser, der forløber fra Krop til Underextremitet, har Tonus, og denne er mere end tilstrækkelig til at modvirke det Træk, der ellers vilde fremkomme i Leddet paa Grund af Extremitetens Vægt. At det virkeligt forholder sig saaledes, fremgaar af, at et Brud paa Laarbenshalsen altid medfører en Forkortning af Extremiteten fremkaldt derved, at Muskeltonus, der er i Stand til at bære mere end Extremitetens Vægt, trækker denne tilvejrs. Den anden Mulighed, den, at Forkortningen kunde skyldes en reflektorisk Kontraktion af de paagældende Muskler, kan man se bort fra, da Fænomenet ikke er forbigaaende men permanent; det er denne Optrækning af den nedre Brudende, der nødvendiggør Anlæggelsen af Extensionsbandagen. Det permanente Træk paa Bandagen overvinder nemlig Muskeltrækket; Musklen vil, naar den stadig udspændes passivt, efterhaanden opnaa en større habituel Længde (se senere), og Extensionsvægten, der i Begyndelsen kun virkede paa Musklen, kommer da til at virke paa Led- resp.

Brudfladerne. Resultatet af det permanente Træk paa Leddet er allerede berørt. Man kunde maaske hertil bemærke, at selv om nu Lufttrykket ikke under sædvanlige Forhold virker sammenholdende paa Leddet, saa kunde det komme til at vise sig virksomt, naar der stilledes særlige Fordringer til Leddenes Sammenhæng, f. Ex. naar de paavirkedes at andre ydre Kræfter. Heller ikke denne Betragtning vil dog kunne opretholdes undtagen maaske i ganske exceptionelle Tilfælde. Enhver, der har prøvet at reponere et luxeret Led, vil vide, at den første Bevægelse, der smærter Patienten, fremkalder en voldsom reflektorisk Muskelkontraktion; ganske det samme viser sig ved Undersøgelsen af et ikke luxeret, sygt Led. Endnu er vi paa patologisk Omraade; men har man først faaet Øje for dette Forhold, vil det være meget let at forfølge det ogsaa over paa fysiologisk Grund. Det viser sig da, at enhver passiv Bevægelse i et Led fremkalder reflektoriske Muskelkontraktioner, d. v. s., ethvert udefra kommende Indgreb mødes øjeblikkeligt med passende Sikkerhedsforanstaltninger fra Organismens Side. Der fordres en vis Grad af Intelligens, en bevidst reflexhemmende Virksomhed fra det paagældende Individs Side, hvis han skal kunne forholde sig passiv, naar hans Led bevæges af ydre Kræfter. Hvis man er i Stand til at afspænde sine Underarmsmuskler fuldstændigt og at undertrykke Reflexbevægelser, da kan man, hvis Interphalangealleddenes Sideligamenter ikke er for stramme, trække Ledfladerne i disse Led fra hinanden, og man kan da se Kapslen trykkes ind af Lufttrykket. Men dette betyder naturligvis ikke, at Lufttrykket har nogensomhelst Virkning paa det hvilende eller det under normale Forhold functionerende Led. Ved Kontraktion af Musklerne, der altid ledsages af en forøget Spænding ogsaa af de Muskler, der ligger paa modsat Side af Leddet af den, hvortil Bevægelsen sker, vil ogsaa de sammenholdende Kræfter tiltage, og der foreligger intetsomhelst, der tyder paa, at disse ikke holder Skridt med de be-

vægende Komponenter; da endvidere ikke hele Muskelkraften men kun den Del af denne, der virker i Bevægelsens Retning, er i Stand til at præstere ydre Arbejde, vil der under ingen Omstændigheder kunne blive Tale om en forøget Arbejdspræstation, selv om Lufttrykket traadte til som sammenholdende Kraft. Kun naar det drejer sig om ydre Vold af en saadan Styrke, at den overvinder Muskelkraften og truer med at afrive Extremiteten, vil Lufttrykket blive en Hjælpekraft for de sammenholdende Kræfter; men der er da saa stærke Kræfter i Bevægelse, at de faa Kilogram, som Lufttrykket selv i de store Led repræsenterer, praktisk talt vil være en ganske betydningsløs Hjælp.

Det synes derfor efter det foreliggende Iagttagelsesmateriale berettiget at resummere saaledes: Under sædvanlige Forhold holdes Ledenderne sammen af Muskeltonus eller af Musklernes sammenholdende Komponenter; Organismen reagerer paa ethvert ydre Angreb paa Leddene med reflektorisk Muskelkontraktion. Undertryk i Ledhulen taales ikke, det medfører i Løbet af ganske kort Tid Udtrædning af Vædske i Ledkapslen. Brdr. Weber's Forsøg er et rent fysisk Experiment, der intet siger om Forholdene i det levende Led, — absolut intetsomhelst.

Man kunde maaske mene, at dette Spørgsmaal ikke var den Strid værd, der har staaet om det. Spørgsmaalet er imidlertid af en ikke ringe principiel Interesse, fordi det drejer sig om, hvorvidt Organismen paa et væsentligt Punkt er givet ydre Kræfter i Vold, eller om den ogsaa paa dette Omraade er selvregulerende. Og Discussionen synes at vise, at man hér som overalt i Fysiologien ikke ustraffet kan tabe Forholdene i den levende Organisme af Syne, naar man behandler biologiske Spørgsmaal.

Leddenes Hemningsapparat.

Formen for et Leds Bevægelser er i Hovedsagen bestemt ved Ledfladernes Form og ved de omgivende Bløddeles Anordning. Denne sidstnævnte Faktors Betydning fremgaar deraf, at Led med samme Fladeform kan have ganske forskellig Bevægelsesform. Bevægelsens Omfang, d. v. s. den størst mulige Forandring i Knoglernes indbyrdes Stilling, der angives i Vinkelmaal, er begrændset af de samme Faktorer; disse benævnes i denne Forbindelse Leddets Hemningsapparat.

Eftersom Hemningen sker hovedsageligt ved Hjælp af Knoglefremspring eller følger af Baandenes eller Musklernes Anbringelsesmaade, taler man om ossøs, ligamentøs eller muskuløs Hemning. Det er klart, at den virksomste Hemning er den, der angriber saa langt som muligt fra Leddets Drejningsaxe; derfor er den øssøse Hemning ofte mindre effektiv, end man efter det paagældende Vævs Soliditet maatte formode. Hvis den ossøse Hemning undtagelsesvis kommer til at bestaa i Sammenstød mellem større Knogler, saaledes som Tilfældet er i Underarmen ved Pronationsbevægelsen, er den dog naturligvis meget virksom; men i mange Tilfælde vil den være svagere end den ligamentøse Hemning; det hænder ikke helt sjældent, at det Knoglefremspring eller den Knogle, hvortil et Ligament fæster sig (Malleolus externus, Tuberositas tibiæ, Patella) overrives, forinden der sker en Bristning af selve Baandet. Den ligamentøse Hemning er altsaa forholdsvis stærk, saa stærkt, at den under sædvanlige Forhold vistnok kun bliver effektiv i saadanne Tilfælde, hvor Opgaven bestaar i at hindre Bevægelse overhovedet, — dette gælder saaledes Hængselleddenes Sideligamenter, — altsaa ikke, naar Talen er om at begrændse Udslaget af en fysiologisk Bevægelse.

Man finder imidlertid hos forskellige Forfattere ret afvigende Opfattelser paa dette Punkt. Fra én Side gøres det

i al Almindelighed gældende, at de meget stærke Ligamenter som f. Ex. Lig. Bertini ikke vilde naa en saa kraftig Udvikling, som Tilfældet er, med mindre de stadig — eller dog under sædvanlige Forhold meget jævnligt — var udsatte for stærke Spændinger. Paa den anden Side hævder Forskere af Braune & Fischer's Rang, at det nævnte Ligament paa Kadaver ikke lader sig bringe i Spænding, med mindre Ilio-psoas'Sene gennemskæres; Hemningen er muskuløs.

Man støtter den første Paastand paa det velkendte Faktum, at et Organ udvikles ved Brug, og at der derfor efter al Rimelighed maa bestaa et vist Forhold mellem de permanente Fordringer, der stilles til et Organ, og dettes Masse. Denne Synsmaade lader sig dog næppe opretholde i den Udstrækning, som Anvendelsen paa det hér omhandlede Tilfælde maatte fordre. Den stærke Udvikling af Hængselleddenes Sideligamenter kan ganske sikkert ikke forklares som en Følge af, at de stadig er udsatte for store Spændinger; noget saadant er vistnok kun undtagelsesvis Tilfældet. Hyppigst bunder dog maaske Betragtningen af Ligamenterne som Leddenes normale hemmende Kræfter i et teleologisk Princip. Det er fra flere Sider med stor Styrke blevet hævdet, at Organismen anvender sine Bevægelsesorganer efter Princípet: Den videst muligt drevne Økonomi. Iflg. dette Princip skulde f. Ex. i Grundstillingen de store Led holdes i deres habituelle Stilling af Ligamenter, eller de bevægelige Legemsafsnits Tyngdepunkter skulde være anbragte i samme frontale Plan saaledes, at Muskelarbejdet kunde indskrænkes til korrektive Bevægelser, naar den labile Ligevægt kom i Fare. Hele denne Betragtningsmaade, der endnu ikke helt har udspillet sin Rolle, er ganske sikkert forfejlet. Dels er det notorisk, at et saadant Besparelsesprincip ikke kan paavises paa andre Omraader indenfor Organismen, hvor det tværtimod i adskillige Tilfælde er givet, at helt andre Principer maa være raadende. Det er saaledes givet, at Knoglerne som oftest er langt mere massive, end

de behøvede at være for at møde de Fordringer, der under sædvanlige Forhold stilles til dem, — Tibia f. E. taaler som allerede omtalt en Belastning i Længderetning paa ca. 1000 kg., — hvilket maa medføre, at Organismen ikke blot maa producere »overflødig« Knoglesubstans, men tillige, at Skeletmuskulaturen stadig maa præstere »overflødigt« Arbejde med at flytte disse tunge Knogler. Endogsaa Hjærtet maa udføre Arbejde, der ikke er strængt nødvendigt, for saa vidt som Udnytningen af Ilten i det arterielle Blod under sædvanlige Forhold er meget ufuldstændigt. Allerede den Omstændighed, at hele Skeletmuskulaturen permanent befinder sig i tonisk Spænding, taler saa afgørende mod Besparelsesprincipet, at dette forlængst burde være skrinlagt. Dels er det dernæst givet, at den hér omhandlede Betragtningsmaade i alt Fald paa visse Punkter hviler paa paa urigtige Iagttagelser. Legemsdelenes Tyngdepunkter falder ikke alle i samme frontale Plan og er ikke i labil Ligevægt over Omdrejningsaxerne. F. Ex. ligger Hovedets Tyngdepunkt utvivlsomt foran Nakkeleddets Tværaxe. De store Leds Stilling er i Grundstillingen ikke bestemt af Ligamentapparatet, da de i saa Tilfælde maatte være Grændsestillinger. Hvis saaledes Lig. Bertini var spændt i Grundstillingen, da maatte Extensionsbevægelsen i Hofteleddet være umulig i denne Stilling; men Iagttagelse viser, at Extension er mulig, om end ikke i stor Udstrækning saa dog i langt større Udstrækning, end Ligamentets meget ringe Elasticitet vilde tillade, hvis dette var spændt. Dels, endelig, maa det stærkt betones, at Besparelsesprincippet som teleologisk Princip betragtet er en Misforstaaelse. Det ledende Princip maa fra et teleologisk Synspunkt være Hensynet til Organismens Sikkerhed, dens Evne til Angreb og Forsvar, og hvis den selvregulerende Organisme skal være blot nogenlunde i Stand til at møde ydre Vanskeligheder fremkaldte ved uforudsete Situationer, da maa Besparelsesprincipet være bandlyst. Det Energiforbrug udover det i Øjeblikket nødvendige, — i Form af

Muskelspændinger eller under anden Form, — der stadigt finder Sted i Organismen, maa fra et teleologisk Synspunkt betragtes som »Forsikringspræmie«, der medfører en betydelig Formindskelse af Risikoen under Forhold, der ellers kunde blive farlige for Organismen. Det vilde utvivlsomt være meget uhensigtsmæsigt, hvis Legemet var i labil Ligevægt over Talo-cruralleddene, selv om en saadan Stilling kunde holdes uden nævneværdigt Muskelarbejde. Risikoen ved et Fald bagover er for Organismen ulige meget større end ved et Fald forover; men i den omtalte labile Ligevægtsstilling er Chancen for et Fald bagover meget stor, dels fordi Tyngdeliniens Fodpunkt kommer til at ligge foruroligende nær ved Understøttelsesfladens bageste Kant, dels fordi den dorsale Muskelgruppe, der bevæger Talo-cruralleddet er mange Gange svagere end den plantare. Organismens Tarv kræver, at den sikres mod at falde bagover, og denne Sikring foregaar ved, at Tyngdepunktet forlægges fremad saaledes, at Tyngdeliniens Fodpunkt træffer Understøttelsesfladen foran Fodleddenes Fællesaxe. Tyngdekraften kommer saaledes til at understøtte den svagere Muskelgruppe og formindsker derved Risikoen for et Fald bagover; men denne forøgede Sikkerhed maa betales med en forøget Spænding af Lægmusklerne. — Det synes saaledes det naturligste at opfatte Baandene som Reservekræfter, der træder i Virksomhed, naar Musklerne »overraskes« eller innerveres fejlagtigt, eller naar de virkende ydre Kræfter optræder med en saadan Intensitet, at Muskelkraften bliver utilstrækkelig til at sikre Leddets Integritet. De særligt stærke Ligamenter findes da dér, hvor Musklerne iflg. deres Anbringelse ikke kan gribe ind (Sideligamenterne), eller hvor en extra Sikring er hensigtsmæsig, fordi en Overskriden af den fysiologiske Bevægelsesbane let vilde medføre farlige Følger som f. Ex. en Hyperextension i Hofteleddene (Lig. Bertini). Den almindelige Opfattelse synes da ogsaa mere og mere at gaa i den Retning, at Muskelhemningen i alle

fysiologiske Tilfælde betragtes som den væsentligste. Musklerne har som hemmende Kræfter betragtet den Fordel, at de som Regel angriber længere fra Ledlinien end Baandene og Ledendernes Knoglefremspring. Endvidere er Musklernes Elasticitetskoefficient langt mindre end Baandenes, og deres Elasticitet er meget fuldstændig og har udprægede Eftervirkninger; særligt naar det drejer sig om meget pludselige Bevægelser, vil denne Hemningsform være at foretrække, da Ligamenter og Knoglefremspring i saa Tilfælde lettere kan blive udsatte for Ruptur.

Under Betegnelsen Muskelhemning sammenfatter man imidlertid i Almindelighed to ganske forskellige Former for Hemning: dels en mere aktiv, den overfor karakteriserede, beroende paa Musklernes Modstand mod passiv Udspænding, dels en mere passiv, idet Bevægelsen standses ved, at Muskalaturen paa det relativt bevægelige Legemsafsnit presses mod den relativt fastliggende Legemsdels Muskler, saaledes ved Bøjning af Albu eller Knæ. Denne sidste Form for Hemning er selvfølgelig overmaade effektiv og giver ikke Anledning til Læsioner.

Et Leds Bevægelsesbane er imidlertid ikke en for hvert enkelt Individ endeligt fastslaaet Størrelse. Hemningsapparatet er, for saa vidt som det drejer sig om ligamentøs eller muskuløs Hemning, ikke absolut ueftergiveligt, ja, end ikke Ledfladernes Udstrækning er endelig bestemt. Ledfladen kan forøges, naar Leddets Bevægelse systematisk føres til Grændsen, og den vil kunne formindskes, idet Brusken delvis resorberes, naar Leddet sættes ud af Funktion eller kun bevæges i visse begrændsede Baner. Ethvert Leds Bevægelsesbane kan derfor forøges ved maalbevidst Øvelse.

Diarthrosernes Kinematik.[1])

A. Bevægelsen bestemt ved Ledfladernes Form.

Undersøgelsen af de organiske Leds Bevægelser adskiller sig i flere Henseender fra tilsvarende Undersøgelser i Tekniken. Dels har Leddene i en Maskine som Regel kun et ringe Maal af Bevægelsesfrihed, det drejer sig saa godt som overalt om Hængselled, medens de organiske Led ofte tillader en meget udstrakt Bevægelsesfrihed, — Haandens Bevægelser i Forhold til Kroppen er saaledes kun begrændset af Armens Længde, den bevæger sig iøvrigt saa frit, som om der ingen fast Forbindelse existerede, — dels og især kommer Forskellen mellem de to Slags Led frem, naar man betragter Ledfladernes Beskaffenhed, idet de organiske Ledflader er beklædt med et tykkere eller tyndere Lag af Hyalinbrusk og derfor til en vis Grad lader sig omforme, medens Leddene i en Maskine som oftest netop dannes af særlig ueftergiveligt Materiale. Den organiske Kinematik er derfor langt mere omfattende end den tekniske og frembyder paa forskellige Punkter meget store Vanskeligheder. De organiske Ledflader har aldrig nogen exakt Form; i visse Tilfælde er Afvigelserne fra de rene geometriske Former ganske vist ret ubetydelige, men i andre Tilfælde kan Formen være temmelig uregelmæssig, og man har da tillige at regne med Fladernes Omformning paa Grund af det i det levende Led herskende Tryk, hvilket er saa meget vanskeligere, som Formforandringerne ikke lader sig forudberegne; man kan derfor ikke ved Undersøgelser paa Præparat skaffe sig paalidelige Oplysninger om Forholdene i det levende, intakte Led.

Man skelner som Regel ved Undersøgelser over Leddenes Bevægelser mellem to Grupper af Led. Til den første Gruppe

[1]) Indholdet af dette Kapitel slutter sig ret nøje til O. Fischer's Fremstilling i: Kinematik organischer Gelenke, Braunschweig 1907.

regner man saadanne, hvis Flader er tilnærmelsesvis kongruente og passer til hinanden som Støbemassen til Formen, eller hvor en saadan Tilpasning paa Grund af Bruskens Eftergivelighed kan komme i Stand, naar Ledfladerne trykkes mod hinanden. I saadanne Led er der altsaa ret udbredt Fladekontakt. Den anden Gruppe omfatter Led, hvis Flader er inkongruente i saa høj Grad, at de, selv naar Bruskens Formforandring tages i Betragtning, endog i det belastede Led kun i ganske ringe Udstrækning kommer til at berøre hinanden. Det maa dog bemærkes, at man aldrig i organiske Led træffer en ren lineær eller punktuel Berøring; selv det tyndeste Brusklag vil bevirke, at man faar at gøre med Berøringsflader af en vis Udstrækning. Imellem Yderpunkterne i de to Grupper findes naturligvis talrige Overgangsformer.

1. LED MED UDBREDT FLADEKONTAKT

tillader kun en Form for Bevægelse mellem Ledfladerne nemlig Glidebevægelse. I saadanne Led er, hvis Fladerne er ueftergivelige, Bevægelse kun mulig, naar Ledfladerne har en bestemt geometrisk Form. Kongruente Flader kan vel altid bringes til at berøre hinanden i stor Udstrækning, men de kan i Almindelighed ikke bevæges imod hinanden, uden at Fladekontakten ophæves. Kun Rotationsflader, Cylinderflader og Skrueflader danner i saa Henseende en Undtagelse.

En Rotationsflade er en Flade, der fremkommer ved Drejning af en plan Kurve om en Axe i Planet. Hvis en uregelmæsigt formet Kurve drejer sig om en fast Axe, antager den derved fremkomne Flade forskellige Former, som man kender dem fra Overfladen af drejede Legemer som Stoleben etc. Hvis Kurven, der drejer, er en ret Linie, bliver Fladen en Kegle, eventuelt en Keglestub; i det specielle Tilfælde, da Linien er parallel med Omdrejningsaxen, fremkommer en cirkulær Cylinderflade. Er endelig den roterende

Kurve en Halvcirkel, der drejer sig om en Diameter, da bliver Omdrejningsfladen en Kugleflade.

I Almindelighed tillader Rotationsfladen kun Bevægelse i én bestemt Retning nemlig Drejning om Rotationsaxen, men et Par af de nævnte specielle Tilfælde danner dog Undtagelser fra denne Regel. Den cirkulære Cylinderflade er saaledes bevægelig om to Axer, idet den dels kan dreje sig om Rotationsaxen, dels kan forskydes parallelt med denne, d. v. s. dreje sig om en uendelig fjærn paa denne vinkelret Axe, uden at Fladekontakten ophæves. Kuglefladen kan dreje sig om en hvilkensomhelst Diameter, uden at Fladekontakten berøres deraf; et Led med Kuglefladen er altsaa bevægeligt omkring uendelig mange Axer; da imidlertid enhver Stilling af Leddet kan tænkes fremkommet ved successive Drejninger om 3 paa hinanden vinkelrette Axer, kaldes Kugleleddet i Almindelighed for et treaxet Led.

Cylinderflader er Flader, der fremkommer, naar en ret Linie, Frembringeren, parallelt med sig selv forskydes langs en vilkaarlig plan Kurve, Ledekurven; hvis Ledekurven er sammensat af retliniede Stykker, taler man om en Prismeflade. Cylinder- og Prismeflader er i Almindelighed bevægelige mod hinanden, uden at Fladekontakten ophæves, ved Drejning om en uendelig fjern Axe vinkelret paa Frembringeren, d. v. s., de kan parallelforskydes mod hinanden langs denne. Ogsaa for disse Fladers Vedkommende gives der dog Undtagelser, der tillader større Bevægelighed, saaledes den tidligere omtalte cirkulære Cylinder, der tillige er en Rotationsflade, endvidere Planet, der dels kan opfattes som en Prismeflade, dels som en cirkulær Cylinder- resp. Kugleflade med Radius ∞. To plane Flader kan bevæges mod hinanden ved Drejning om 3 paa hinanden vinkelrette Axer; de kan forskydes mod hinanden i alle Retninger i Planet, men da en hvilkensomhelst Forskydning i dette kan tænkes frembragt ved Forskydning parallelt med to paa hinanden vinkelrette Axer, betyder fri Forskydelighed i Planet kun

2-axet Bevægelighed, den tredie Axe, hvorom Bevægelse kan foregaa uden at Fladekontakten ophæves, er Fladernes Normal; denne er vinkelret paa alle Axer i Fladernes Plan, altsaa ogsaa paa de to først omtalte Drejningsaxer.

En Skrueflade opstaar, naar en vilkaarlig Kurve drejer sig om en fast Axe, idet den samtidig proportionalt med Drejningen forskydes parallelt med Axen. Fig. 5 og 6 viser Skrueflader, hvor den bevægede Kurve er henholdsvis et begrændset Stykke af en ret Linie og en ligesidet Trekant. Foruden ved den bevægede Kurves Form er Skruefladen karakteriseret ved Forholdet mellem Vinkelbevægelsen og Parallelforskydningen, der er en for hver enkelt Flade konstant Størrelse. Hvis h er Skruegangens Højde, d. v. s. det Stykke, som den bevægede Kurve er forskudt langs Axen under en Vinkelbevægelse paa 360^0, og hvis man udtrykker den rene Drejning af et Punkt i Afstanden 1 fra Axen i absolut Maal, har man altsaa Fladen karakteriseret ved Størrelsen $h/2\pi$, der kaldes Skruefladens Parameter. Skrueflader med samme Parameter kan naturligvis være forskellige med Hensyn til den bevægede Kurves Form; der gives derfor uendelig mange Former for Skrueflader. Parameteren kan have en hvilkensomhelst Værdi For de Værdier af denne, der ligger mellem 0 og ∞, er Bevægelsen begrændset til den ovenfor definerede Skruebevægelse; i de Grændsetilfælde, hvor Parameteren er 0 resp. ∞, gaar Skruefladen over til at blive Rotationsflade resp. Cylinderflade, og man har da som allerede nævnt i særlige Tilfælde en større Bevægelsesfrihed. Betragter man disse Fladeformer som specielle Tilfælde af Skrueflader, da gælder den Regel, at ethvert Led med ueftergivelige Ledflader og med udbredt Fladekontakt er et Skrueled.

Betragter man de organiske Led med udbredt Fladekontakt, da finder man en Mangfoldighed af Former, af hvike ingen nøje svarer til en bestemt Type, men af hvilke mange dog i Hovedtræk ligner en af de ovenfor karakteriserede

Flader. Hvorvidt Ligheden rækker, ved man ganske vist ikke med Bestemthed, fordi man som allerede omtalt ikke kan bestemme Fladeform i det levende, belastede Led, men i grove Træk er en Sammenligning dog mulig.

Man deler de organiske Led med udbredt Fladekontakt i to Grupper, af hvilke den første omfatter Led, hvis Flader tilnærmelsesvis har de under Led med ueftergivelige Ledflader nævnte Former. Ledbrusken tjener i saadanne Led til at udjævne mindre Uensartetheder i Fladeformen, men dens Formforandringer er uden Betydning for Leddets Bevægelighed, bidrager ikke til at forøge denne. Til en anden Gruppe hører de Led, hvis Bevægelsesfrihed i kendelig Grad forøges paa Grund af Ledbruskens Eftergivelighed.

Et concret Exempel paa Led hørende til den første Gruppe er Art. humero-ulnaris. Saavel Trochlea humeri som Incisura semilunaris ulnæ har tilnærmelsesvis Skrueflader, hvis Parameter imidlertid er saa lille, at man uden at begaa nogen væsentlig Fejl kan betragte dem som Omdrejningsflader. De to Flader er ikke ganske kongruente, idet den konvexe Flade er lidt stærkere krummet end den konkave, men Trykket i det normale Led maa anses for tilstrækkeligt stort til at sikre en ret udbredt Fladekontakt. Leddets Bevægelse bliver dog hverken en ren Skruebevægelse eller en ren Rotation, idet Drejningsaxen under Bevægelsen forandrer sit Leje. Endvidere kan nævnes Art. talo-cruralis, hvis Fladeform er mere regelmæsig og nærmer sig stærkt til en Omdrejningscylinder. Sidebevægelser hindres i dette Led af Malleoli, der tjener som en Slags Slutskiver for Leddet. Større Bevægelsesfrihed end i disse Led træffer man i Hofte- og Skulderleddene, hvis Kugleflader tillader Bevægelse omkring 3 paa hinanden vinkelrette Axer, samt i forskellige Led med samme Fladeform, i hvilke Bevægelsen imidlertid er indskrænket paa forskellig Maade enten derved, at den relativt bevægelige Knogle er hindret i sine frie Bevægelser ved Forbindelse med en anden Knogle, saaledes som Tilfældet er for Radius'

Vedkommende i Art. humero-radialis, eller fordi Leddets Bevægelighed er indskrænket ved Sideligamenter som i Art. metacarpo-phalangea i den bøjede Stilling, eller endelig hvor — som i de samme Led i strakt Stilling — Bevægelse om en bestemt Axe, her Rotationsaxen, er uudførlig, fordi Rotationsmuskler mangler.

I de nævnte Led vil altsaa Ledbruskens Eftergivelighed kun betinge en mere udbredt Kontakt mellem Fladerne, ikke nogen forøget Bevægelsesfrihed; anderledes i de følgende til den anden Gruppe hørende Former: Saddelled og Ægled. Disse to Ledformer kan tænkes opstaaede paa følgende Maade: Naar en Cirkel roterer om en fast Axe beliggende udenfor denne men i samme Plan, opstaar en Ringflade med cirkulært Tværsnit, Fig. 7. En udenom denne anbragt Ring, hvis indre Flade er kongruent med Ringfladen, vil kunne forskydes langs denne, d. v. s. dreje sig om Ringfladens Axe (AB i Fig.); den kan derimod ikke dreje om en paa denne vinkelret Axe gennem den oprindelige Cirkels Centrum (CD i Fig.). Tænker man sig en Ledflade, s, af ganske ringe Udstrækning med oval Kontur beliggende paa Ringfladens mod Axen vendende Side og kongruent med denne, vil en saadan Flade altsaa kunne bevæge sig paa Ringfladen om Axen AB, uden at Fladekontakten ophæves, den kan derimod ikke dreje om den fælles Normal gennem Ledfladens Midtpunkt, uden at Kontakten ophæves i saa høj Grad, at selv en stor Eftergivelighed af Ledbrusken ikke vil kunne kompensere den manglende Tilpasning; den vil imidlertid ogsaa kunne bevæges mere eller mindre omkring andre, vindskæve Axer, naar Ledbrusken tillader en ikke alt for lille Formforandring af Fladen, vanskeligst bliver Tilpasningen ved Bevægelser om Axen CD, der staar vinkelret saavel paa AB som paa Normalen til Midtpunktet af s. Lader man den inderste Cirkel i Ringfladen rotere om Axen CD, fremkommer en Omdrejningsflade som Fig. viser, der ogsaa vil indeholde Ledfladen s. Paa denne sidste Flade kan s bevæges omkring Axen CD,

uden at Kontakten ophæves, den kan derimod nu ikke længere rotere om AB, medmindre Ledbrusken lader sig deformere meget stærkt; ligesom i forrige Tilfælde vil Drejning om Normalen til Fladens Midtpunkt kun være mulig i forsvindende lille Udstrækning. Hvis man nu mellem Ringfladen og den sidst omtalte Omdrejningsflade tænker sig indskudt en ny Flade, som indeholder de to Cirkelbuer, der skærer hinanden under rette Vinkler i Ledfladens Centrum, men forøvrigt ligger midt imellem de to omhandlede Flader, da vil Ledfladen s, hvis den er ueftergivelig, hverken kunne dreje om Axen AC eller om CD, uden at Fladekontakten glipper; hvis Ledbrusken derimod lader sig deformere, da er en Drejning om bægge de nævnte Axer mulig i en vis Udstrækning, medens Drejningen om Normalen stadig vil være forsvindende. En Fladeform som den sidst omtalte træffer man i de organiske Saddelled, der maa betragtes som 2-axede Led, idet man ser bort fra den minimale Bevægelsesfrihed omkring den tredie Axe. Da et Saddelled med ueftergivelige Flader iflg. det ovenfor anførte altid kun kan bevæges omkring én Axe, har man altsaa i det organiske Saddelled et Exempel paa, at Bevægeligheden i et Led tiltager paa Grund af Bruskbeklædningens Eftergivelighed.

Iflg. et ganske tilsvarende Raisonnement vil man, naar man gaar ud fra en Ledflade o beliggende symmetrisk omkring Ringfladens største Cirkel, kunne finde en Flade, der under Forudsætning af, at Ledbrusken lader sig deformere, kan bevæges om Axerne AB og CD, hvorimod en Drejning om Normalen til Fladens Midtpunkt ogsaa i dette Tilfælde praktisk talt vil være udelukket. En saadan Fladeform findes i de saakaldte Sphæroid-, Ellipsoid- eller Ægled.

Saddelled og Ægled er altsaa 2-axede organiske Led; den tredie Ledtype, der, hvad Fladeformen angaar, er 2-axet, nemlig det frie Cylinderled, forekommer næppe i Organismen. Som et typisk Saddelled kan nævnes Art. carpo-metacarpea prima, som Exempel paa Ægled Art. atlanto-

occipitalis og Art. radio-carpea. I det sidstnævnte Led er Fladernes Eftergivelighed ualmindelig stor, idet den proximale Flade dannes saavel af Radius som af den forholdsvis eftergivelige Cartilago triangularis, den anden af den øvre Række Haandrodsknogler, der ikke er fastere forbundne med hinanden, end at indbyrdes Forskydninger kan foregaa i en vis Udstrækning. I et saadant Led kan Ægfladen naturligvis undergaa ret betydelige Formforandringer, og en Drejning om den fælles Normal til Fladernes Midtpunkt er derfor i dette Tilfælde mulig i større Udstrækning end sædvanligt. Naar denne Mulighed ikke kan udnyttes i Haandleddet, skyldes det Anordningen af Muskulaturen; der findes ingen Rotationsmuskler til dette Led.

2. LED MED STÆRKT BEGRÆNDSET FLADEKONTAKT.

Hvis Fladerne i et Led ikke er kongruente og ikke trods Ledbruskens Eftergivelighed kan bringes til at berøre hinanden i større Udstrækning, da vil der foruden den Glidebevægelse, der er den eneste mulige Form for Bevægelse i Leddene med udbredt Fladekontakt, ogsaa kunne foregaa Rulle- og Drejebevægelser. Forskellen mellem disse Grundformer for Ledbevægelse opfattes lettest, naar man betragter Forholdene i en grafisk Fremstilling. I Fig. 8 berører to konvexe Ledender hinanden i et Punkt eller med en Flade af yderst ringe Udstrækning; den øvre Ledende, der i denne og alle følgende Figurer af lignende Art betegnes med I, har Røringspunktet A, den nedre Ledende, II, har Røringspunktet A′. Fig. viser tillige det fælles Tangentplan til Røringspunkterne og den fælles Normal gennem disse ZZ′.

De elementære Bevægelser, der er mulige i et saadant Led, er altsaa Gliden, Rullen og Drejen eller Rotation.

Gliden er karakteriseret derved, at den ene Flades Røringspunkt ligger fast i Forhold til denne, medens det andet Røringspunkt under Bevægelsen beskriver en eller anden

Kurve. Bevægelsens Spor, paa den anden Ledflade. To instantante Røringspunkter, fjærner sig altsaa stadigt fra hinanden med en vis Hastighed i det fælles Tangentplans Retning. I Almindelighed er det ligegyldigt, om det faste Røringspunkt ligger paa den ene Ledende eller paa den anden; men hvis man vil undersøge den ene Ledendes Relativbevægelse i Forhold til den anden, som da tænkes fastliggende, maa det faste Røringspunkts Beliggenhed tages i Betragtning, og man skelner da mellem en Gliden af første Form, hvor dette er beliggende paa den bevægede Ledende, og en Gliden af anden Form, hvor det ligger paa den relativt faste Ledflade.

Rullen er Summen af uendelig mange smaa Drejninger omkring instantane Axer i det fælles Tangentplan gennem de skiftende Røringspunkter. Til ethvert Punkt i den ene Ledendes Spor vil der svare et Punkt i Sporet paa den anden Ledende saaledes beliggende, at den indbyrdes Afstand AB mellem to successive instantane Røringspunkter i det ene Spor er lig Afstanden mellem de to tilsvarende Punkter A'B' i det andet. I Modsætning til, hvad der finder Sted ved Gliden, kommer under Rullen et Punkt i den ene Flade altid kun i Berøring med ét Punkt i den anden Flade, og de instantane Røringspunkter bevæger sig ikke i Forhold til hinanden i det fælles Tangentplan men fjærner sig fra hinanden i en Retning vinkelret paa dette. Foregaar Bevægelsen omkring en Axe vinkelret paa Sportangenten, Sporets Tværaxe, AY i Fig. 8, taler man om direkte Rullen; Drejning ning om selve Sportangenten, AX i Fig. 8, betegnes af O. Fischer som »Seitwärtsneigen«; man kunde maaske kalde den Siderullen.

Drejen, Rotation, er en Bevægelse omkring de to Fladers fælles Normal til Røringspunktet; under Drejen er altsaa bægge Røringspunkter fastliggende paa de resp. Ledflader.

Rullen og Drejen kan være kombinerede; i saa Til-

fælde vil den instantane Drejningsaxe danne en vis Vinkel, der ikke er lig 90^0, med Normalen til Røringspunktet, og Afvigelsen fra den rette Vinkel vil være forskellig alt efter de to Elementærdrejningers Andel i den samlede Bevægelse. I de to Grændsetilfælde da den instantane Axes Vinkel med Normalen er henholdsvis 90^0 og 0^0 har man ren Rullen resp. Rotation.

(Hvis Vinkelhastigheden, d: den Hastighed, hvormed et Punkt i Afstanden 1 fra Axen bevæger sig, omkring den instantane Drejningsaxe er w, da vil Vinkelhastigheden for Drejen være $w \cos \alpha$, for Rullen $w \sin \alpha$, naar α er Vinklen mellem den instantane Axe og Normalen til Røringspunktet. Hvis den instantane Axes Projektion paa det fælles Tangentplan danner Vinklen β med Sportangenten, da er endvidere Vinkelhastighederne for direkte Rullen og Siderullen henholdsvis $w \sin \alpha \sin \beta$ og $w \sin \alpha \cos \beta$.)

Ligeledes kan Gliden og Rullen kombineres. I saa Tilfælde er Afstandene mellem Punkterne A,B,C i det ene Spor ikke af samme Længde som Afstandene mellem de tilsvarende Punkter A′, B′, C′ i det andet. Hvis Afstandene mellem A, B, C er kortere end mellem A′, B′, C′ har man ved I's Relativbevægelse at gøre med en Gliden af første Form af I mod II i samme Retning som Rullebevægelsen; er derimod de førstnævnte Afstande større end de sidstnævnte, da foregaar Glidebevægelsen i modsat Retning af Rullebevægelsen. Omvendt, hvis man betragter II's relative Bevægelse. Bliver Punkterne A, B, C sammenfaldende, har man, naar man betragter I's Relativbevægelse, ren Gliden af første Form; ligeledes vil Bevægelsen blive ren Gliden, naar Punkterne A′, B′, C′ rykker uendelig tæt sammen, men dette bliver Gliden af anden Form. Denne Glidebevægelse, hvor Punkterne A, B, C efterhaanden kommer i Berøring med samme Punkt A′ paa den anden Flade, kan altsaa opfattes som Kombination af Rullen og Bagudgliden.

Kender man de samhørende Punkter af Sporene, kan man altsaa danne sig en Forestilling om, hvilken Andel hver af de to Elementærbevægelser, Gliden og Rullen, har i den samlede Bevægelse. Skal man tillige kunne beregne Rota-

tionen og gøre Rede for de forskellige Former for Rullen, maa man for hvert enkelt Punkt i Sporene desuden kende det fælles Tangentplan og Sportangentens Retning. Naar alle disse Størrelser er bekendte, kan man beregne Bevægelsen i Detailler.

Da imidlertid Forholdene i Led med vilkaarlig Fladeform og vilkaarligt forløbende Spor er vanskelige at overse, vil det være hensigtsmæsigt først at undersøge et Led, hvor Forholdene er saa enkle som muligt, for derigennem at vinde et Indblik i Bevægelsesmekanismen, der kan tjene som Ledetraad i de mere komplicerede Tilfælde. Det vil da være formaalstjenligt at begynde med

Cylinderled.

I disse Led berører de to Flader hinanden langs en Frembringer eller, hvis Fladerne lader sig deformere, langs en smal Stribe. Naar Bevægelse i Frembringerens Retning hindres af Baand eller lignende Hemningsforanstaltninger, er i Cylinderleddet kun to Bevægelsesformer mulige, nemlig Gliden og direkte Rullen, og da ethvert Punkt under Bevægelsen maa beskrive plane, parallele Kurver, der paa samtlige Snit ligesom Ledfladernes Profilkurver er vinkelrette paa Frembringeren og kongruente, kan man nøjes med at undersøge et enkelt Tværsnit.

a. Vi betragter da først det Tilfælde, hvor den øvre Ledflade er en cirkulær Cylinder, den nedre et Plan. I et saadant Led er ganske vist Rotation ikke paa Forhaand udelukket, idet Planet kan betragtes som en Cylinderflade med vilkaarlig Retning af Frembringeren; men denne Mulighed ser vi i det følgende bort fra.

Fig. 9, der ligesom de følgende Figurer maa betragtes som et Tværsnit vinkelret paa Cylinderfladens Frembringer, viser direkte Rullen af Cylindren mod Planet. Punkterne A, B, C kommer successive i Berøring med A′, B′, C′, der alle har samme indbyrdes Afstand. De sammenfaldende Punkter AA′,

BB′ osv. angiver Beliggenheden af de instantane Axer, omkring hvilke de uendelig smaa Drejninger foregaar. Bevægelsen kan ogsaa opfattes som en Forskydning af Cylinderaxen ≠ Planet, idet Cylindren samtidig drejer sig om sin egen Axe i Uhrviserens Retning. Forskydningen af Axen er lig Afstanden AC, idet Punktet M i Axen stadig ligger paa Normalen til Røringspunktet. Cylindrens cirkulære Profilkurve kommer altsaa til at bevæge sig, som et Vognhjul bevæger sig mod Underlaget. Betragter man en fastliggende ret Linie i den første Ledende f. Ex. dennes Længdeaxe, PQ i Fig , ser man, at denne under Bevægelsen forandrer sin Retning i Forhold til den anden Ledendes Længdeaxe, og at Vinklen mellem disse to Axer netop er lig Centervinklen AMC (idet følgende forkortet til ∠ AC, naar Misforstaaelse er udelukket), naar Røringspunktet flyttes fra A til C.

Tænker man sig nu den plane Ledflade bevæge sig mod den hvilende Cylinder, vil fremdeles Punkterne A′, B′, C′ successive komme i Berøring med A, B, C, og Vinkelbevægelsen af II's Længdeaxe er atter = Centervinklen AC; men Bevægelsen foregaar i en Retning modsat Uhrviserens (Fig. 10).

De følgende Figurer viser ren Gliden mellem to Ledflader. Man ser let, at i de Tilfælde, hvor det faste Røringspunkt ligger paa den cylindriske Ledflade, vil der ikke foregaa nogen Vinkelbevægelse mellem de to Ledenders Længdeaxer men kun en Parallelforskydning af disse. Den første Relativbevægelse, der er lig den Bevægelse, som et hemmet Hjul udfører mod Underlaget, er en Gliden af første Form (Fig. 11); den anden Relativbevægelse er en Gliden af anden Form i modsat Retning (Fig. 12). Hvis derimod det faste Røringspunkt er beliggende paa Planet, vil der i bægge de mulige Tilfælde foregaa en Vinkelbevægelse mellem Længdeaxerne. I Fig. 13, der viser Gliden af anden Form, er Cylinderaxen fast, medens Punkterne A, B, C drejer sig om denne; Længdeaxen PQ udfører en Vinkelbevægelse i Uhrviserens Retning mod P′ Q′ = Centervinklen mellem det første og det sidste

Røringspunkt. I Fig. 14 ser man en Relativbevægelse, der er en Gliden af første Form, idet A′ successive kommer i Kontakt med A, B, C paa Cylindren. Længdeaxen P′Q′ foretager en Vinkelbevægelse mod PQ modsat Uhrviserens Retning, hvis Størrelse atter er bestemt ved ∠ AC.

Ren Rullen og ren Gliden repræsenterer Yderpunkterne for Bevægelsesmulighederne i det betragtede Led; de kan findes, og findes som Regel, kombinerede paa mangfoldige Maader; hvilken Andel, der tilkommer hver af de to Grundformer i den kombinerede Bevægelse, lader sig som tidligere omtalt bestemme, naar man kender Sporene og de samhørende Røringspunkter.

b. Hvis de to Ledflader bægge er cirkulære Cylindre, men Betingelserne for den indbyrdes Bevægelighed mellem Ledfladerne for øvrigt som antaget under *a.*, da vil de mulige Bevægelser ogsaa i dette Tilfælde være Gliden og Rullen samt de mere sammensatte Bevægelser, der kan opstaa ved Kombination af disse Elementer.

Forudsætter man Ledfladen paa I konvex, da kan II være enten konkav eller konvex. Ved ren Rullen vil som i de under a. omtalte Tilfælde Punkterne A, B, C efterhaanden komme i Berøring med Punkterne A′, B′, C′, og Afstandene AB, A′B′, osv. er da lige store; men for Længdeaxens Vedkommende bliver Retningsforandringen ikke længere lig Centervinklen AC, den bliver, hvis II er konkav, mindre, hvis II er konvex, større end denne, nemlig henholdsvis AC ∓ A′C′. (Figg. 15 og 16).

Betragter man II's Relativbevægelse, ser man, at Længdeaxens Drejning er den samme som i første Tilfælde men foregaar i modsat Retning.

Glidebevægelsen har som i det tidligere betragtede Tilfælde af Bevægelse mellem Cylinder og Plan to Former; men medens man i det sidstnævnte Tilfælde, naar det faste Røringspunkt var beliggende paa Cylindren, kun opnaaede Parallelforskydning af Længdeaxerne, vil man, naar ogsaa

II er cylindrisk, altid faa en Vinkelbevægelse mellem disse. Hvis Fladen paa II er konkav, gaar denne Vinkelbevægelse i modsat Retning af Glidebevægelsen, (Fig. 17), hvis den derimod er konvex, vil, som Fig. 18 viser, Lændeaxens Bevægelse faa samme Retning som Glidebevægelsen. Vinkelbevægelsens Størrelse maales ved Centervinklen A′C′. Ligger det faste Berøringspunkt paa II, maales derimod Længdeaxens Vinkelbevægelse ved Centervinklen AC; den anden Ledflades Form er i saa Tilfælde uden Betydning (jfr. Fig. 14).

Naar Talen er om en Bevægelse sammensat af Gliden og Rullen, da maales Retningsforandringen af Længdeaxen ved Differensen mellem Centervinklerne AC og A′C′, som ved den rene Rullen. I Fig. 19 er Afstanden mellem Røringspunkterne A og C betydelig mindre end mellem A′ og C′, hvoraf fremgaar, at der maa finde en Gliden Sted i samme Retning som den direkte Rullen. Radierne MA i den første Stilling og MC i den anden skærer hinanden i M′; Radien MA i den anden Stilling skærer M′A′ i D under den søgte Drejningsvinkel v; Centervinklen AC bliver altsaa udvendig Vinkel i △ DMM′, hvoraf ∠ AC = A′C′ + v, eller v = AC — A′C′. Hvis AC = A′C′, bliver v = 0, d. v. s., PQ forskydes parallelt med sig selv. Er som vist paa Fig. 20 A′C′ > AC, da bliver ∠ v negativ, hvilket betyder, at Drejningen af PQ har skiftet Retning. Forøgelsen af ∠ A′C′ skyldes, som Fig. viser, i dette Tilfælde en stærkere Krumning af den nedre Ledflade; denne Vinkel vilde imidlertid ogsaa kunne bringes til at voxe uden en saadan Forandring af Fladens Krumning, nemlig ved en Forøgelse af Afstanden A′C′, ɔ: ved en Tilvækst af Bevægelsens Glidekomponent. Naar ∠ A′C′ aftager, da voxer ∠ v; dette Tilfælde indtræder, naar Bevægelsens Rullekomponent tiltager, eller naar den anden Ledflades Krumning tager af. Hvis Bevægelsen gaar over til ren Rullen, vil A′C′ dog ikke forsvinde, men Buerne AC og A′C′ vil blive lige store; gaar nu Glidebevægelsen i modsat Retning af Rullebevægelsen, vil

A′C′ stadig formindskes, og naar Bagudglidningen bliver lig Forskydningen af M ved ren Rullen, bliver ∠ A′C′ = 0, og Bevægelsen er da en ren Gliden af anden Form. Længdeaxens Vinkelbevægelse er i saa Tilfælde = AC. Bliver Bagudglidningen endnu større, da skifter A′C′ Fortegn.

Hvis Forholdet mellem Rullen og Gliden forbliver uforandret, da varierer ∠ A′C′ som allerede nævnt med den anden Ledflades Krumning saaledes, at den aftager, naar Krumningen formindskes, og omvendt. Længdeaxens Vinkelbevægelse vil derimod forholde sig modsat; naar II's Krumning bliver = 0, d. v. s., naar Ledfladen bliver plan, har man atter i ∠ AC et Maal for denne Vinkel. Skifter endelig den anden Ledflades Krumning Fortegn, bliver konvex, da er PQ's Vinkelbevægelse lig Summen af de absolutte Værdier af AC og A′C′ (Fig. 21).

Naar den anden Ledflades konkave Krumning tiltager, indtil den bliver lig I's Krumning, har man et Led med udbredt Fladekontakt. I dette er ved ren Rullen Centervinklerne AC og A′C′ lige store, og PQ's Vinkelbevægelse er altsaa = 0, hvilket betyder, at ren Rullen i dette Tilfælde er umulig. Dette fremgaar for øvrigt umiddelbart af Fig. 22, idet Punkterne A, B, C samtidig er i Kontakt med A′, B′, C′. Bevægelsen i et saadant Led er begrændset til Gliden, og denne kan kun have én Form, da der ikke mere kan være Tale om et enkelt Røringspunkt. Bægge Længdeaxers Relativbevægelse er den samme i Omfang men foregaar i modsat Retning.

c. Der har hidtil kun været Tale om cirkulære Cylinderflader med forskellig Krumning; hvis Ledfladerne bliver vilkaarlige Cylinderflader, gælder imidlertid under de givne Forudsætninger de samme Love, som ovenfor er omtalt for de specielle Tilfældes Vedkommende. Ogsaa Vinklen mellem Længdeaxerne, ∠ v, maales som i de tidligere omhandlede Tilfælde ved Summen af eller Differensen mellem Vinklerne AC og A′C′; disse Vinkler er dog nu ikke Center-

vinkler men Vinkler mellem Normalerne til de paagældende Røringspunkter. Hvis Drejningen af Normalen fra A til C foregaar i samme Retning som Drejningen fra A′ til C′, maales ∠ v ved Differensen, gaar Drejningerne i modsat Retning ved Summen af de to Vinkler, saaledes som Fig. 23 viser. Bliver én af de nævnte Vinkler = 0, har man ren Gliden, og Længdeaxens Retningsforandring maales da ved Vinklen mellem Normalerne til det første og det sidste Røringspunkt paa den anden Ledflade.

(De i det foregaaende ved geometrisk Konstruktion vundne Resultater kan ogsaa naaes ad matematisk Vej. Man maa da erindre, at enhver Elementærbevægelse i et Led bestaar i en uendelig lille Drejning omkring en instantan Drejningsaxe. Den endelige Drejning mellem de to Ledender er Summen af alle de uendelige smaa Bevægelser.

Fig. 24 er et Profil af et Led med Cylinderflader; de to Flader berører hinanden i A,A′, og den instantane Drejningsaxe er Vinkelret paa Papirets Plan. Ved en uendelig lille Rullebevægelse $d\vartheta$ kommer Punkterne B og B′, der er fjærnede fra A resp. A′ ved de uendelig smaa Buer ds og ds', i Kontakt. Buerne ds og ds' kan med stor Tilnærmelse betragtes som Cirkelbuer, hvis Centre, M og M′, ligger paa den fælles Normal til A,A′, saaledes at AM = r og A′M′ = r′. Naar det drejer sig om cirkulære Cylinderflader, er M og M′ faste Punkter; har man derimod at gøre med vilkaarlige Cylinderflader, da veksler Krumningscentrenes Beliggenhed under Leddets Bevægelser saaledes, at man kun ved uendelig smaa Drejninger kan tale om en bestemt Værdi for de paagældende Krumningsradier.

Mellem Buen ds, Krumningsradien r, og Vinklen $d\varphi$ mellem MA og MB har man Ligningen

$$ds = r\,d\varphi,$$

naar Vinklen maales i absolut Maal; den tilsvarende Ligning mellem de til den anden Ledende hørende Størrelser bliver altsaa

$$ds' = r'\,d\varphi'.$$

Da nu $d\vartheta = d\varphi + d\varphi'$ og $ds = ds'$ har man videre

$$d\vartheta = \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'}\right) ds \qquad (1),$$

der gælder for bægge Relativbevægelser, saalænge man holder sig til Drejningens absolute Størrelse; hvis man tillige vil indføre Drejningsretningen, maa man erindre, at denne foregaar i modsat Retning i de to Tilfælde. Forudsætter vi, at de ovenstaaende Formler er rigtige for den relative Be-

vægelse af I, naar Rullebevægelsen foregaar fra venstre til højre, d. v. s., naar Længdeaxens Bevægelse foregaar i Uhrviserens Retning, da vil de komme til at gælde for II's Relativbevægelse, naar Fortegnet paa højre Side af Lighedstegnet forandres, idet man har $d\vartheta' = -d\vartheta$. Det vil saaledes i Almindelighed være tilstrækkeligt at betragte den ene Relativbevægelse.

Indfører man i (1) de respektive Profilkurvers Krumningsmaal, der som bekendt er lig de reciproke Værdier af Krumningsradierne faar Ligningen følgende Udseende

$$d\vartheta = (k + k')\, ds.$$

Naar Fladens Krumning som i Planet og den cirkulære Cylinder er konstant, kan man i Stedet for den uendelig lille Vinkel $d\vartheta$ indføre den endelige Centervinkel ϑ, hvorved Formlen simplificeres til

$$\vartheta = (k + k')\, s;$$

denne Formel svarer til den tidligere paa Side 34 udledede Sætning, idet $\frac{s}{r}$ og $\frac{s}{r'}$ netop er lig Centervinklerne AC og A'C'.

I en vilkaarlig Cylinderflade varierer k og k' efter Røringspunkternes Beliggenhed; man kan da betragte Krumningerne som Funktioner af de Buer, der indeholder de to Profilkurvers successive Røringspunkter under Bevægelsen ud fra en given Begyndelsesstilling. Er ϑ Vinklen mellem Røringspunkterne s_1 og s_2 ved ren Rullen, hvilken Vinkel svarer til Vinklen mellem Længdeaxerne, da faar man for den endelige Vinkel ϑ Udtrykket

$$\vartheta = \int_{s_1}^{s_2} (k + k')\, ds.$$

Ved ren Gliden er enten ds eller ds' lig 0, svarende til Gliden af henholdsvis første og anden Form; man har da i første Tilfælde

$$d\vartheta = k'\, ds';\quad \vartheta = \int_{s'_1}^{s'_2} k'\, ds',$$

og i andet

$$d\vartheta = k\, ds;\quad \vartheta = \int_{s_1}^{s_2} k\, ds$$

eller, naar Krumningen er konstant

$$\vartheta = k' (s'_2 - s'_1) \text{ resp. } \vartheta = k (s_2 - s_1).$$

I Stedet for Differenserne $s'_2 - s'_1$ og $s_2 - s_1$ kan man skrive s' og s, idet man tænker sig Buerne maalt ud fra Begyndelsesstillingen.

Naar Rullen og Gliden forekommer kombinerede i en uendelig lille Bevægelse, en Elementærbevægelse, da er hverken som i Rullen $ds = ds'$

eller som i Gliden den ene eller den anden af disse Størrelser = o. Bevægelsesformlen bliver derfor

$$d\vartheta = k\,ds + k'\,ds' \qquad (2)$$

eller for den endelige Vinkel

$$\vartheta = \int_{s_1}^{s_2} k\,ds + \int_{s_1}^{s_2} k'\,ds',$$

hvilken sidste Ligning ved konstant Krumning gaar over til

$$\vartheta = k\,(s_2 - s_1) + k'\,(s'_2 - s'_1).$$

Man ser af disse Formler, at enhver uendelig lille Ledbevægelse kan opfattes som Resultat af to uendelig smaa Glidebevægelser af første og anden Form, hvilket ogsaa er umiddelbart forstaaeligt. Er Røringspunkterne ved Bevægelsens Begyndelse og Slutning henholdsvis A,A′ og C,C′, da kan Bevægelsen fuldbyrdes derved, at A ved en Gliden af første Form bringes i Kontakt med C′, hvorefter C ved en Gliden af anden Form bringes til at berøre C′.

Hvis man i en almindelig Formel vil udtrykke, at en uendelig lille Bevægelse er sammensat af Gliden og Rullen, maa Formlen skrives saaledes:

$$d\vartheta = (k + k')\,ds + k'\,(ds' - ds) \qquad (3),$$

hvilken Formel for l's Relativbevægelse betyder en Kombination af ren Rullen med Gliden over en Strækning $ds' - ds$. Sætter man i denne Formel $ds' = o$, hvilket svarer til ren Gliden af anden Form, da antager den Formen

$$d\vartheta = (k + k')\,ds - k'\,ds,$$

der viser, at Gliden af anden Form kan opfattes som en Kombination af Rullen og Bagudgliden af første Form i en saadan Udstrækning, at den netop kompenserer den af Rullebevægelsen bevirkede Fremadbevægelse af Røringspunktet.

De anførte Formler gælder ogsaa for de Tilfælde, hvor Ledflade II er konkav, naar man erindrer, at dennes Krumningsnaal da indgaar med modsat Fortegn. Hvis i dette Tilfælde Ledfladerne er kongruente, har man $k = -k'$ og Krumningscentrene M og M′ sammenfaldende. Den almindelige Formel bliver da

$$d\vartheta = k\,(ds - ds'),$$

hvilket atter viser, at Rullen i et saadant Led er udelukket, fordi man ved denne Bevægelse har $ds = ds'$ og altsaa $d\vartheta = o$.

Er endelig den ene eller bægge Ledflader plane, da er den ene eller bægge Krumningsmaal = o; i sidste Tilfælde er naturligvis ogsaa $d\vartheta = o$.

Under Elementærbevægelsen skrider Røringspunkterne frem paa de resp. Ledflader med Hastighederne v og v', medens Længdeaxernes Vinkelhastighederne er henholdsvis ω og ω'. Betegner dt den uendelig lille Tid, i hvilken Røringspunkterne gennemløber Buerne ds og ds', medens Vinkelbevægelserne er $d\vartheta$ og $d\vartheta' = -d\vartheta$, har man følgende Formler:

$$v = \frac{ds}{dt},\ v' = \frac{ds'}{dt},\ \omega = \frac{d\vartheta}{dt},\ \omega' = -\frac{d\vartheta}{dt} \qquad (4).$$

Iflg. det foregaaende har man for en kombineret Rulle- og Glidebevægelse

$$d\vartheta = k\,ds + k'ds',$$

indføres v og v' i denne Ligning faar man

$$\omega = k\,v + k'v' \qquad (5).$$

Ved ren Rullen er $v = v'$, altsaa $\omega = (k + k')\,v$, ved ren Gliden er v eller $v' = 0$, altsaa $\omega = k'v'$ eller kv. De samme Formler gælder med modsatte Fortegn for ω'. Indføres Tidsforholdet i Formlen (3), faar man for den relative Bevægelse af I:

$$\omega = (k + k')\,v + k'(v' - v)$$

og for II:

$$\omega' = -(k + k')\,v' - k(v - v').$$

I den første Formel betyder altsaa $(k + k')\,v$ Vinkelhastigheden ved Rullen, $k'(v' - v)$ Vinkelhastigheden for den samtidige Gliden af første Form; disse to Størrelser betegnes i den første Formel ved ϱ og σ, i den anden ved ϱ' og σ'. Man har da:

$$\varrho = (k + k')\,v;\ \sigma = k'(v' - v)$$
$$\varrho' = -(k' + k)\,v';\ \sigma' = k(v - v').$$

Det fortjener at bemærkes, at Rullekomponenten i Formlerne for de to Relativbevægelser er forskellig. Under den første Relativbevægelse skrider Røringspunktet frem paa II med Hastigheden v, den resterende Hastighed $v' - v$ tilhører den samtidige Glidebevægelse; under den anden Relativbevægelse skrider Berøringspunktet ved Rullen frem paa I med Hastigheden v', medens Glidekomponenten i Bevægelsen af Hastigheden $v - v'$. Glidekomponenterne er altsaa lige store med modsatte Fortegn; derimod er Rullekomponenterne kun lige store i det særlige Tilfælde, da $v = v'$, d. v. s. ved ren Rullen. Bliver den ene af Hastighederne $= 0$, da forsvinder Rullekomponenten i den ene Relativbevægelse, og den anden bliver en Gliden af anden Form, der imidlertid ogsaa kan opfattes som en Kombination af Rullen og Bagudgliden af første Form.

Hastighederne v og v' varierer som Regel med Tiden; hvis de kan udtrykkes som en Funktion af denne, faar man af (4) og (5) for den i Tiden t gennemløbne Drejningsvinkel

$$\vartheta = \int_0^t (k\,v + k'v')\,dt.$$

Axeflader. En uendelig lille Rullebevægelse er en Elementærbevægelse omkring to Fladers fælles Frembringer gennem Røringspunkterne; en uendelig lille Glidebevægelse er en elementær Drejning omkring en instantan Axe $\neq$ Frembringeren. Denne Axe gaar ved Glden af første Form gennem M', ved Gliden af anden Form gennem M. Da Axerne for de to Elementærbevægelser altsaa er parallele, kan Bevægelsen sammensættes til en enkelt Elementærdrejning om en med bægge parallel Axe; det instantane Drejningscentrum er i Profilkurven beliggende paa den fælles Normal til Røringspunkterne, altsaa paa Linien mellem disse og Krumningscentrene M og M'. Under den første Relativbevægelse drejer den øvre Profilkurve i Fig. 25 sig om A' med Vinkelhastigheden ϱ og samtidig om M' med Vinkelhastigheden σ; det instantane Drejningscentrum R' deler derfor A'M' i Forholdet

$$\frac{\sigma}{\varrho} = \frac{k'(v' - v)}{(k + k')\,v},$$

hvoraf, idet $\varrho + \sigma = \omega$,

$$R'A' = \frac{\sigma}{\omega}\,r' = \frac{(v' - v)\,rr'}{v\,r' + v'r}; \quad R'M' = \frac{\varrho}{\omega}\,r' = \frac{v\,(r + r')\,r'}{v\,r' + v'r}.$$

Ved ren Rullen er $v' = v$, hvoraf $R'A' = 0$ og altsaa $R'M' = r'$; ved Gliden af første Form er $v = 0$, hvoraf $R'A' = r'$; ved Gliden af anden Form, endelig, er $v' - 0$, hvilket giver $R'A' = -r$ og $R'M' = r + r'$, d. v. s. R' falder sammen med M. I Almindelighed maa R' ligge paa A'M' eller paa dennes Forlængelse, eftersom v' er større eller mindre end v, d. v. s., eftersom man har at gøre med en Fremad- eller Bagudgliden. Hvis Fremadgliden er kombineret med Bagudrullen falder R' paa Forlængelsen af A'M' udover M'. Det instantane Drejningscentrum ligger altsaa fast i Forhold til den anden Profilkurve.

Betragter man den anden Relativbevægelse, vil man ved en tilsvarende Fremgangsmaade komme til Formler, der viser $RA = R'A'$, hvilket betyder, at R og R' er sammenfaldende Punkter; dog er R at betragte som fastliggende i Forhold til den første Profilkurve.

Under Bevægelsen forandrer de instantane Drejningsaxer stadig Beliggenhed; og ved disse successive Forskydninger opstaar to retliniede Flader, af

hvilke den ene svarer til den første Relativbevægelse og er fastliggende i Forhold til den anden Ledflade, den anden svarer til den anden Relativbevægelse og er fastliggende i Forhold til den første Ledflade. Da Axefladernes Frembringere, de instantane Drejningsaxer, stadig er parallele med de cylindriske Ledfladers Frembringere, maa Axefladerne selv være Cylinderflader. Under Bevægelsen berører de to Axeflader stadig hinanden langs en Frembringer og udfører om denne uendelig smaa Drejninger; Axefladernes indbyrdes Bevægelse bliver altsaa ren Rullen.

I en Profil af Leddet ser man som vist paa Fig. 26 Axefladernes Profilkurver, de saakaldte Polkurver, der altsaa er de geometriske Steder for de instantane Drejningscentre. Under den første Relativbevægelse ruller L mod den fastliggende L′ og omvendt. Axefladernes Form og Beliggenhed retter sig efter den forhaandenværende Kombination af Gliden og Rullen i Elementærbevægelsen. Bestaar denne i ren Rullen, da falder Axefladerne sammen med Ledfladerne; ved ren Gliden derimod gaar den ene Polkurve over til at blive Kurven for den tilsvarende Ledflades Krumningscentre, Evoluten for denne Ledflades Profilkurve, medens den anden Polkurve bliver en ret Linie, Normalen til det faste Røringspunkt (Fig. 27); denne tilhører altsaa den bevægede Ledende. Naar den rette Linie ruller paa Evoluten beskriver et af dens Punkter, nemlig Røringspunktet, den anden Profilkurve som Evolvente.

Ser man paa den anden Relativbevægelse, der altsaa bliver Gliden af anden Form, da ruller Evoluten paa den fastliggende Normal til Røringspunktet, Cylinderfladen ruller mod Planet.)

Led med vilkaarlig Fladeform.

For at kunne bestemme Bevægelsen i et Led som det i Fig. 8 afbildede, maa man som allerede nævnt kende Sporene og de samhørende Røringspunkter samt de til disse svarende fælles Tangentplaner.

I Fig. 8 er da Begyndelsesstillingen saaledes, at Sporene falder sammen i Punkterne A,A′, hvis Tangenter saavelsom Tangentplaner ligeledes er sammenfaldende. Drejer man nu fra denne Stilling I omkring Sporenes Tværaxe (direkte Rullen), da vil Punktet B paa I afløse A som Røringspunkt, men det vil ikke dermed være bragt i Berøring med B′ paa II undtagen i de Tilfælde, hvor ingen Gliden finder Sted i Leddet; i Almindelighed vil B bringes i Berøring med et

andet Punkt B″. Naar Sporene er dobbeltkrummede Kurver, bringer den direkte Rullen i Almindelighed heller ikke Tangentplanerne til B og B″ til at falde sammen; hertil fordres som Regel tillige en Bevægelse om Sportangenten altsaa en Siderullen; endelig vil ved sammenfaldende Tangentplaner Sportangenterne kun undtagelsesvis dække hinanden, og disse Linier maa da bringes til Dækning ved en Rotation. Naar dette er sket, kan B bringes i Berøring med B′ ved Gliden. Som flere Gange fremhævet i det foregaaende kan Gliden imidlertid opfattes som en sammensat Bevægelse; i det hér betragtede Tilfælde maa man foruden en Drejning om den hvilende Flades Krumningsaxe under Glidebevægelsen tillige havde en Drejning omkring Sportangenten, altsaa en Siderullen, samt en Drejning om Normalen, hvis Tangentplaner og Sportangenter vedblivende skal falde sammen. Man faar altsaa paa denne Maade Elementærbevægelsen fra A,A′ til B,B′ opløst i 6 Komponenter. Axerne for direkte Rullen, Siderullen og Drejen gaar nu alle gennem et fælles Punkt nemlig det instantane Røringspunkt, og disse Bevægelser kan derfor sammensættes til en enkelt Bevægelse omkring en Axe gennem dette Punkt, hvorved Elementærbevægelsen bliver opløst til to Bevægelser omkring vindskæve Axer nemlig en Drejning om den sidstnævnte fælles Axe og en Drejning om den hvilende Flades Krumningsaxe. Endelig kan ogsaa disse to Bevægelser sammensættes til én, der da bliver en Skruebevægelse, hvis Axe gaar gennem et Punkt i den korteste Afstand mellem de to instantane Axer og staar vinkelret paa denne; Skrueaxen kommer altsaa til at ligge i et Plan parallelt med bægge de nævnte Axer og nærmest ved den af disse, hvorom den største Drejning foregaar.

Naar Skruebevægelsen er givet, d. v. s., naar man kender Skrueaxens Beliggenhed, Skruens Parameter og Bevægelsens Størrelse, kan man ogsaa gaa den omvendte Vej og opløse denne i sine Komponenter.

Det ovenfor anførte gælder Elementærbevægelser i Led-

det; en Bevægelse af endelig Størrelse er sammensat af uendelig mange saadanne, der alle er forskellige med Hensyn til Axernes Beliggenhed osv. Da Axerne ligger uendelig tæt ved hinanden opstaar saaledes en retliniet Flade, der kan bestemmes med tilstrækkelig Nøjagtighed ved Hjælp af et endeligt Antal af Drejningsaxer og desto nøjagtigere, jo større dette Antal er.

Tænker man sig de successive Skrueaxer fastliggende saavel i Forhold til den hvilende som til den bevægede Ledende, vil man faa to vindskæve Axeflader, der berører hinanden langs den instantane Axe, og som under Leddets Bevægelse, skrænser mod hinanden, d. v. s., de udfører en Bevægelse mod hinanden, der bestaar i en Drejning om den instantane Axe i Forbindelse med en Forskydning langs denne. Hvis Skruebevægelsens Parameter er = 0, bliver Bevægelsen mellem Axefladerne ren Rullen som i det tidligere omtalte specielle Tilfælde af Bevægelse i Led med cylindriske Flader. De to vindskæve Axeflader kan have forskellig Form; for at de skal kunne udføre den ovenfor omtalte Bevægelse mod hinanden, maa de imidlertid opfylde visse Betingelser.

I en vindskæv Flade har to Nabofrembringere en vis korteste Afstand fra hinanden og skærer hinanden under en vis Vinkel. Hvis som i Fig. 28 to saadanne Flader berører hinanden langs den fælles Frembringer 1,1′, medens det ene Endepunkt for de korteste Afstande mellem disse og de to Nabofrembringere, 2 og 2′, falder sammen i Punkterne A_1,A'_1, da vil ved Drejning om den instantane Axe de korteste Afstandes andet Endepunkt, A_2, og A'_2, komme til at dække hinanden. Herom er imidlertid ikke givet, at Linierne 2 og 2′ bliver sammenfaldende; dette vil kun kunne ske, hvis Vinklen mellem 1 og 2 er den samme som mellem 1′ og 2′. Er dette Tilfældet, da kan atter Endepunkterne for de korteste Afstande mellem 2, resp. 2′, og 3, resp. 3′ nemlig B_2 og

B'_2 bringes til Dækning ved Forskygning langs de sammenfaldende Linier 2 og 2′, o. s. fr.

Betingelsen for, at de to Flader kan skrænse mod hinanden, er derfor den, at Forholdet mellem de korteste Afstande mellem to Nabofrembringere og disses Forskel i Retning skal være det samme i de to Flader. Under Bevægelsen opstaar der, som Fig. 29 viser, en trappeformet Berøringslinie paa hver af de to Flader; naar de korteste Afstande mellem Frembringerne er uendelig smaa bliver Kurven jævn og danner en saakaldet Striktionslinie. De samhørende Punkter i Striktionslinien har i Almindelighed forskellig indbyrdes Afstande; i det specielle Tilfælde, da disse Afstande er lige store, har man en ren Rullen af de to Flader mod hinanden.

I Flader, hvor Frembringerne skærer hinanden, er de korteste Afstande og altsaa ogsaa det ovenfor omtalte Forhold = 0; i Cylinderflader, hvor Frembringerne er parallele, er det ∞. Saadanne Flader kan altsaa altid bringes til at skrænse mod hinanden.

Ogsaa for Led med vilkaarlig Fladeform kan man beregne Vinkelhastighederne svarende til de forskellige Komponenter i Elementærbevægelsen; dette skal imidlertid forbigaaes hér.

De i det foregaaende omtalte Love for Bevægelsen i Led med begrændset Fladekontakt er udledede under den Forudsætning, at Ledfladernes Form ikke væsentligt er ændret paa Grund af Trykket i Leddet. I de organiske Led er imidlertid Fladerne ikke ueftergivelige, og det er derfor paa Forhaand ikke udelukket, at de Ændringer i Fladeformen, der betinges af Ledbruskens Tykkelse og Elasticitet, vil kunne faa Indflydelse paa Bevægelsens Form og i forskellig Grad paa de forskellige elementære Drejninger.

Gliden er en Drejning om en Axe gennem den hvilende

Flades Krumningscentrum. Dette kan nu forrykkes ganske betydeligt, naar Ledbrusken sammentrykkes. To konvexe Ledender kan, hvis Brusken er tilstrækkelig tyk, sammentrykkes saaledes, at Fladerne i ret stor Udstrækning bliver plane Krumningsradien altsaa ∞, hvis den ene Ledbrusk er særlig tyk og eftergivelig endog saaledes. at der paa denne dannes en honkav Berørøringsflade, hvorved Krumningsradien altsaa skifter Fortegn. Vender en konvex Ledflade mod en konkav, kan Deformeringen af Ledbrusken føre til en formindsket Krumning af den førstnævnte, en forøget Krumning af den sidstnævnte. Det synes imidlertid sikkert, at saadanne Forhold ikke øver nogen betydende Indflydelse paa Glidebevægelsen i Leddet, men at denne vil foregaa, som om Fladerne var ueftergivelige; højst kan der blive Tale om en Forkortning af Krumningsradien som en umiddelbar Følge af Bruskens Sammentrykning.

Den direkte Rullen vil paa tilsvarende Maade komme til at foregaa om en Axe, der ligger lidt dybere end de paa Præparatet bestemte Spor; men heller ikke i dette Tilfælde kan det antages, at Bevægelsen i øvrigt skifter Karakter; det samme gælder for Siderullen. Derimod kan Rotationen forandres forholdsvis betydeligt, naar Berøringen mellem Fladerne i Stedet for at være punktuel bliver udbredt over et større Stykke af disse. De fleste af de Punkter, der i en given Stilling er sammenfaldende, maa nemlig under Drejningen forskyde sig i Forhold til hinanden, altsaa udføre en Glidebevægelse; kun ét Punkt, nemlig Berøringsfladens Midtpunkt, forbliver under Bevægelsen fastliggende. Jo mere udbredt Berøringsfladen er, desto mindre Forskel vil der blive paa Gliden og Drejen.

B. Forskellige Grader af Bevægelsesfrihed.

Der har i det foregaaende flere Gange være Tale om den forskellige Grad af Bevægelsesfrihed, der iflg. Fladeformens

Ejendommeligheder kan findes i de organiske Led. Man kan imidlertid netop i disse ikke slutte fra Fladeform til Bevægelsesfrihed, fordi man ofte dér finder den Bevægelighed, der kan udledes af Fladeformen paa et Præparat, indskrænket af Leddets Hemningsapparaters særlige Anordning. Man kan paa Grund af dette Forhold ofte træffe en mindre Bevægelighed i Leddet end paa Præparatet, derimod aldrig en større; hvis Bevægelsen paa Præparatet viser sig at være bunden (»zwangläufig«), da vil den ogsaa være det i det intakte Led.

Et fast Legeme, der bevæger sig frit i Rummet, har 6 Grader af Bevægelsesfrihed. Et Massepunkt i Legemet kan nemlig bevæge sig i Rummet med 3 Grader af Frihed, idet enhver af dets Elementærbevægelser vil kunne tænkes at foregaa ved Forskydning parallelt med 3 faste Axer; de Atstande, Punktet maa gennemløbe, findes ved Projection paa de tre Axer, og man vil let ved Konstruktion kunne overbevise sig om, at dets Plads paa denne Maade er bestemt ogsaa i Forhold til en fjerde eller femte Axe. Lægges nu dette Massepunkt fast, da vil Legemet endnu have 3 Frihedsgrader tilbage, idet enhver Bevægelse af dette omkring det faste Punkt kan tænkes at foregaa ved successive Drejninger omkring 3 faste Axer herigennem. — En saa stor Bevægelsesfrihed findes ikke i noget organisk Led. I Led med udbredt Fladekontakt, naaer man højst til 3 Grader af Frihed; betragter man et Punkt i den bevægede Ledflade, da kan dette bevæge sig i Forhold til den hvilende Ledflade eller ligge fast. Punktets Bevægelse paa den hvilende Flade foregaar ikke med mere end 2 Grader af Frihed, thi enhver Bevægelse kan tænkes sammensat af 2 Bevægelser, der foregaar i bestemte Retninger, dertil kommer som en tredie Frihedsgrad Punktets Drejning omkring Fladernes fælles Normal til det fastliggende Røringspunkt. Dette gælder for Led med ueftergivelige Ledflader; men selv om Brusken i nogen Maade lader sig deformere, vil Resultatet ikke i væsentlig Grad paavirkes heraf. I Led med punktuel Fladekontakt er

Bevægelsesmulighederne flere, idet saavel Gliden som Rullen kan tænkes i Relation til hver to faste Axer; hertil kommer endelig Drejen omkring en femte Axe. Bevægelsesfrihed i 5 Grader forekommer dog heller ikke i noget Led i den menneskelige Organisme. Er Rullen eller Gliden i et saadant Led udelukket, har man kun 3 Frihedsgrader tilbage, er Drejen udelukket, har man 4 Grader af Frihed. Hvis Bevægelsen foregaar langs et bestemt Spor, og hvis Rotation er udelukket, da har man, selv om Bevægelsen er sammensat af Gliden og Rullen, bunden Bevægelse i Leddet, d. v. s., kun 1 Grad af Frihed; hvis Rotation er mulig, har man i et saadant Tilfælde 2 Frihedsgrader. Hvis Berøring mellem de to Ledflader udvides til en ret Linie, vil et saadant Led i denne Forbindelse danne en Mellemform mellem Led med udbredt Fladekontakt og saadanne med punktuel Berøring. En Cylinder, der bevæger sig mod et Plan, har saaledes højst 4 Grader af Frihed; under Gliden, der kan foregaa i alle Retninger, har man 2 Grader af Frihed, da en hvilkensomhelst Stilling kan tænkes opstaaet ved Kombination af en Forskydning langs Berøringsfrembringeren og langs en Frembringer vinkelret paa denne, desuden kan Drejen foregaa, uden at den oprindelige Liniekontakt ophæves, og endelig kommer hertil Rullen, der imidlertid ikke som i Led med punktuel Berøring er 2-axet men bunden, idet den bestaar i en Drejning om Berøringsfrembringeren. Mere end 4 Frihedsgrader findes ikke i noget Led med Liniekontakt eller, hvad der i denne Forbindelse er det samme, i Led med 2 Berøringspunkter, men vel i de fleste Tilfælde færre.

Man finder imidlertid i den dyriske Organisme intet enkelt Led med mere end 3 Grader af Frihed, idet Bevægelsesmulighederne i alle Tilfælde, hvor Fladeformen i sig selv vilde tillade en større Bevægelsesfrihed, er indskrænkede enten af fysiologiske eller af anatomiske Grunde. Større Bevægelsesfrihed træffer man derimod i Ledsystemer, »kinematiske Kæder«, der enten kan være aabne eller lukkede, efter-

som de enkelte Led er indskudt efter hinanden, eller disse paa flere Maader er indbyrdes forbundne.

I aabne Kæder finder man et Afsnits Bevægelsesfrihed i Forhold til et foregaaende ved Addition af de mellemliggende Leds Frihedsgrader; saaledes har tredie Fingerfalanx 2 Grader af Frihed i Forhold til første, 4 Grader af Frihed i Forhold til sin Mellemhaandsknogle osv. I helt eller delvis lukkede Kæder vil man derimod paa denne Maade komme til urigtige Resultater; Radius har i Forhold til Humerus 2 Frihedsgrader, Ulna i Forhold til Radius 1, heraf kan man ikke slutte, at Bevægelsen mellem Ulna og Humerus foregaar med 3 Grader af Frihed; Bevægelsen er i dette Led bunden paa Grund af Ledfladernes Form. Gaar man den omvendte Vej og slutter fra den bundne Bevægelse mellem Humerus og Ulna og mellem denne og Radius til Bevægelsesfriheden i Humero-radialleddet, finder man for dette 2 Grader af Frihed; som isoleret Forbindelse betragtet har dette Led imidlertid efter sin Fladeform 3 Grader af Frihed, men den ene af disse kan paa Grund af Forbindelsen mellem Radius og Ulna ikke udnyttes. Ogsaa paa den anden Maade kan Kædens Bevægelsesmuligheder være indskrænkede. Betragter man Haandens Bevægelse i Forhold til Kroppen, da har denne, selv naar Skulderbladet er fixeret, 7 Grader af Frihed, idet Humerus i Forhold til Kroppen har 3, Radius i Forhold til Humerus 2 og Haanden i Forhold til denne atter 2 Frihedsgrader; Haanden kan altsaa indenfor en Afstand, der er bestemt ved Armknoglernes Dimensioner, bevæge sig saa frit, som om der ingen fast Forbindelse mellem denne og Kroppen existerede. Man skulde nu kunne holde sin Haand i en bestemt Stilling i Rummet og samtidig være i Stand til at bevæge Overextremiteten i de ovenfor liggende Led; dette er imidlertid umuligt, fordi man ikke kan innervere sine Muskler saaledes, at Haanden fixeres samtidig med, at Leddene bevæges. At Hindringen for Bevægelsen er af fysiologisk Art, fremgaar af den Omstændighed, at Bevægelsen

bliver mulig, naar Haanden fixeres ved, at man støtter den mod en fast Genstand.

Betragter man hele Armen som stiv, da har den i Forhold til Kroppen 3 Grader af Bevægelsesfrihed, og disse er afgørende for dens Plads i Rummet; den Bevægelsesfrihed, som herudover findes, angaar da Armens Formforandringer; man har derfor skelnet mellem Frihed til Pladsforandring og Frihed til Formforandring. Den sidste er, som man let kan tænke sig, for hele Legemets Vedkommende overmaade stor. Bevægelsesfrihedens Grad er derfor ikke noget Udtryk for Bevægelsens Form; denne vil blive ganske forskellig alt efter Leddenes indbyrdes Orden i Kæden, selv om Summen af Frihedsgrader bliver den samme, hvilket man let kan overbevise sig om ved forsøgsvis at stille et Kugle- og et Hængselled i Serie i forskellig Orden.

I konkrete Tilfælde betinger Leddenes Bygning og Anordning en bestemt Andel for hvert enkelt Led ved Udførelsen af en given Bevægelse; det afgørende for denne Andel er imidlertid ikke Bevægelsesresultatet men den Kombination af Pladsforandring og Formforandring der bringes til Anvendelse.

Diarthrosernes Inddeling.

Det vil formentlig af det i det foregaaende Afsnit udviklede være klart, at man ikke ved Betragtning af Ledfladernes Form kan naa til en rationel Inddeling af de organiske Led; men heller ikke Bevægelsesfriheden i dens forskellige Grader er anvendelig som Inddelingsgrund, thi ét og samme Led kan i forskellige Stillinger have forskellig Grad af Bevægelsesfrihed. Da man saaledes ikke har kunnet finde nogen exakt Inddeling af Leddene, har man ladet sig nøje med at opstille visse Typer, hvortil et Flertal af de organiske Led kan henregnes, naar man betragter dem i store

Træk. I det følgende skal disse klassiske Ledformer nærmere karakteriseres.

1. *Amfiarthrosis*, Glideled. Denne Ledform danner Overgangen mellem Synarthoser og Diarthroser, idet den med Hensyn til Bevægelsesform nærmest ligner Symfysen, medens den med Hensyn til Bygning er et ægte Led. Amfiarthrosens Fladeform kan ikke henføres til nogen bestemt Type; Fladerne, der som Regel er af temmelig ringe Udstrækning, kan enten være tilnærmelsesvis plane, eller de kan i Form nærme sig til en af de følgende Ledtyper. Bevægelsen, der foregaar om ubestemte Axer, er en Gliden eller Vaklen, hvis Udstrækning er bestemt af de omgivende Bløddeles Spænding. Leddets Ligevægtsstilling er den Stilling, i hvilken Kapsel og Ligamenter er mindst muligt strammede.

Som Exempler paa Amfiarthroser kan nævnes Leddene mellem Hvirvlernes Ledtappe, Leddet mellem Clavicula og Acromion samt forskellige af Fodrodens Ledforbindelser.

2. *Ginglymus*, Charnière, **Hængselled,** er et Led, hvis Flader er Rotationsflader, hvis Axe forløber vinkelret paa de forbundne Knoglers Længdeaxer, og hvis Bevægelse ved Hjælp af stramme Sideligamenter er begrændset til en Drejning om denne Axe. Hængselleddet er altsaa et enaxet Led. Ledfladens geometriske Form kan være forskellig; man træffer dog sjældent de rene Former som Kegle eller circulær Cylinder (Fig. 22), oftest er den konvexe Flade dannet ved Rotation af en mod Axen konvex Kurve, hvorved Fladeformen kan komme til at nærme sig en Dobbeltkegle eller en Saddelflade (Fig. 30); man bruger ogsaa Udtrykket »furet Cylinderflade« om saadanne Ledflader; Furen kaldes da Leddets Ledefure, medens den tilsvarende fremspringende Liste paa den anden Flade kaldes Ledelinie. Bevægelsens Omfang er bestemt ved Ledfladernes Udstrækning og ved Leddets Hemningsapparat; brede Sideligamenter vil som Regel hemme Bevægeligheden, jo smallere disse Ligamenter er, og jo nøj-

agtigere deres Tilheftning finder Sted netop i Drejningsaxens Endepunkter, desto friere foregaar under i øvrigt lige Forhold Leddets Bevægelser.

Rene Hængselled finder man i Haandens og Fodens Interfalangealled.

3. ***Articulatio trochoides,*** Tapled, **Drejeled** er et Led med Rotationsflader, hvis Axe ligger i de forbundne Knoglers Længderetning. Tapleddet adskiller sig altsaa fra Hængselleddet ved Omdrejningsaxens Retning og ved Manglen af Sideligamenter. Ogsaa Tapleddet kan være forsynet med Ledefure.

Exempler paa Tapled er Radio-ulnarleddene og Leddet mellem Atlas og Dens epistrofei.

4. ***Art. cochlearis,*** **Skrueled,** ligesom de to foregaaende et enaxet Led, der imidlertid ikke findes i særlig typisk Form i det menneskelige Legeme men kun som Varietet af Hængselled, Skrueled med tværstillet Axe, eller Tapled. Naar i et Hængselled med Ledefure denne ikke forløber vinkelret paa Leddets Axe men danner en Skruelinie, har man et Skrueled med tværstillet Axe. Som Regel er Skruens Parameter meget lille, idet Bevægelsen langs Skrueaxen vil hemmes af Leddets Sideligamenter; men man kender dog flere Led med Skruebevægelse, saaledes Leddet mellem Humerus og Ulna og Talo cruralleddet; dette sidste er hos Hesten et udpræget Skrueled.

5. ***Art. ellipsoidea,*** Ellipsoidled, **Ægled.** Geometrisk set opstaar en ellipsoidisk Flade ved, at en Ellipse drejer sig om en af sine Axer; Fladerne i de organiske Led er imidlertid aldrig rene Omdrejningsellipsoider men har nærmere den paa S. 28 omtalte »ideale« Form. Ægleddet er bevægeligt om to paa hinanden vinkelrette Axer, der bægge ligger paa samme Side af Ledlinien; da imidlertid den 2-axede Bevægelighed er betinget af Bruskens Eftergivelighed, har man altid tillige om end i ringe Grad Bevægelighed om en tredie paa de to første vinkelret Axe. Jo mere de til

Leddets Bevægelsesaxer svarende Krumningsradier nærmer sig til at blive lige store, d. s. v., jo mere Ellipsoiden nærmer sig Kugleform, desto tydeligere bliver Bevægelsen om den tredie Axe; jo større Forskel der bliver paa de to Krumninger, desto mindre vil denne Bevægelsesmulighed gøre sig gældende. Naar den ene af de to Krumningsradier bliver $= \infty$, gaar Ægleddet over til Gynglymus eller, hvis Sideligamenter mangler, til et frit Cylinderled. Bevægelsens Omfang er naturligvis altid størst svarende til Fladens stærkeste Krumning.

Exempel: Atlanto-occipitalleddet.

6. *Art. sellaris*, Saddelled (Fig. 31). Saddelleddet er ligesom Ægleddet et 2-axet Led, hvis 2-axede Bevægelighed er betinget af Ledbruskens Eftergivelighed. Ogsaa i dette Led er derfor Mulighed for en ringe Bevægelse omkring en tredie Axe. Med Hensyn til Axernes Beliggenhed adskiller Saddelleddet sig fra Ægleddet derved, at de to paa hinanden vinkelrette Axer ikke som i dette ligger paa samme Side af Leddet men derimod paa hver sin Side af Ledlinien. Saddelleddets Ejendommeligheder er for øvrigt tidligere omtalte (S. 28).

Art. carpo-metacarpea prima er et smukt Exempel paa et Saddelled.

7. *Arthrodia*, Kugleled, er et Led med Kugleflader, der er bevægeligt omkring 3 paa hinanden vinkelrette Axer. Bevægelsens Omfang er bestemt dels af Forholdet mellem de to Ledfladers Udstrækning, idet et stort Ledhoved og en lille Ledskaal betinger en stor Bevægelighed, stor Ledskaal derimod en lille Bevægelighed, dels, hvor Forholdet mellem Fladernes Udstrækning er det samme, af Ledhovedets Vinkelmaal. Den større Bevægelighed er som Regel forbundet med en mindre Fasthed af Leddet.

Legemets Kugleled er Hofte- og Skulderleddene.

8. *Ginglymarthrodia* er et Led med Kugleflader, hvis Bevægelse i visse Stillinger er begrændset til en Hæng-

selbevægelse paa Grund af Sideligamenter saaledes anbragte, at de er stramme i én Stilling af Leddet men forholdsvis afspændte i en anden. Denne Ledform findes i Artt. metacarpo-falangeæ, hvor Sideligamenternes proximale Fæste er beliggende dorsalt for den radio-ulnare Drejningsaxe saaledes, at Ligamenterne spændes i Flexionsstilling, afspændes i Extensionsstilling (Fig. 32). Kun i denne Stilling kommer altsaa Kuglefladens 3-axede Bevægelighed til at gøre sig gældende.

9. *Art. spiralis*, Spiralled. I Spiralleddet er den ene Flade tilnærmelsesvis plan, medens den anden i Profil danner en Planspiral. Leddet er forsynet med Sideligamenter, og disse vil paa Grund af Spiralfladens skiftende Krumningsradier blive stramme i én Stilling af Leddet, mindre stramme i en anden (Fig. 33). Spiralleddet har derfor ligesom Ginglymarthrodien omend af andre Grunde forskellig Bevægelsesfrihed i forskellige Stillinger.

Exempel: Knæleddet.

I de hidtil omtalte Ledformer har der kun været Tale om en enkelt Bevægelsesmekanisme, i de følgende Former er denne mere kompliceret.

(**10. Dobbeltled.** Denne Betegnelse anvendes undertiden om Led, hvis Ledhule er adskilt i to ved en indskudt Menisk, eller om to Led, der findes i Serie, naar det mellem disse liggende bevægelige Afsnit ikke kan bevæges ved Hjælp af særegne Muskler. Betegnelsen Dobbeltled er sikkert undværlig.

Som Exempel paa Dobbeltled kan nævnes Art. sterno-clavicularis.)

11. Kombineret Led. To anatomisk adskilte Led, der tilhører samme Bevægelsesmekanisme, danner et kombineret Led.

Exempler: Radio-ulnarleddene, Kæbeleddene, Artt. costocentrales & costo-transversales.

Der bestaar i de fleste Tilfælde en nærmere Forbindelse mellem Legemets symmetrisk beliggende Led, der anatomisk giver sig til Kende derved, at Leddenes Bevægelsesbane er størst i den fælles Bevægelsesretning. Saadanne Led kom-

mer ofte i konkrete Tilfælde til at optræde som kombinerede Led, — dette gælder f. Ex. de to Hofteled med Hensyn til Bækkenhældingen, — man taler imidlertid kun om Kombineret Led, naar den funktionelle Forbindelse mellem de paagældende Led er absolut. — Endelig taler man om

12. Sammensat Led i saadanne Tilfælde, hvor flere af hinanden uafhængige Bevægelsesmekanismer er indeslutte i samme anatomisk definerede Led.

Et Exempel paa sammensatte Led har man i Albuleddet.

B. Speciel Ledlære.

De i den menneskelige Organisme forekommende Ledforbindelser lader sig dog kun, naar de betragtes i meget store Træk, henføre til den ene eller den anden af de ovenfor omtalte Typer; hvis man ønsker et mere indgaaende Kendskab til Leddenes Mekanik, maa man undersøge hvert enkelt Led for sig.

Terminologi og Metoder.

For at kunne angive en Bevægelses Retning har man indført forskellige Betegnelser, der alle gaar ud paa at bestemme de bevægede Afsnits Forskydning i Forhold til bestemte, relativt fastliggende Planer. Som Grundstilling regner man den oprejste, symmetriske Stilling med bægge Overextremiteter hængende frit ned langs Legemets Sider med fremadvendte Haandflader. Rummets 3 Dimensioner kan da udtrykkes ved op-ned, højre-venstre, for-bag eller, i sidste Tilfælde, bedre ventral-dorsal. Det er imidlertid ved skiftende Legemsstillinger lettere at anvende enkelte Udtryk, derfor har man indført de tre Planretninger, der bestemmes ved to og to af de ovenfor nævnte Dobbeltudtryk. Man faar da tre paa hinanden vinkelrette Planer nemlig Legemets Symmetriplan, Median- eller Sagittalplanet (Som Regel benyttes Udtrykket Sagittalplan om ethvert Plan parallelt

med Medianplanet), det derpaa vinkelrette, lodrette Plan, Frontalplanet, og endelig Transversal- eller Horizontalplanet.

Af to Punkter, der ligger i ulige Afstand fra Medianplanet, kaldes det nærmeste medialt i Forhold til det fjærneste, laterale, Punkt. Betegnelserne ydre og indre bør som Regel kun benyttes i Betydningen overfladig og dyb. For Extremiteternes Vedkommende anvendes med Fordel særlige Udtryk, for Haanden saaledes dorsal-volar og radial-ulnar, endelig for Retningen op ned: proximal-distal, idet man da gaar ud fra et centralt beliggende Organ som f. Ex. Hjærtet; denne sidste Betegnelse kan ligeledes anvendes paa Underextremiteten. For Fodens Vedkommende bruges sædvanligt Betegnelserne dorsal-plantar og tibial-fibular, dog kan hér ogsaa Udtrykkene indre-ydre benyttes uden at give Anledning til Misforstaaelse.

De hidtil omtalte Betegnelser gælder alene Retningerne, i hvilke Bevægelserne foregaar; men ogsaa visse typiske Bevægelsesformer har faaet faste Navne. Et Led er strakt, naar de forbundne Knogler ligger i hinandens Forlængelse; denne Stilling, Extensionsstillingen, betragtes sædvanligt som Leddets Grundstilling. Denne Terminologi lader sig imidlertid ikke gennemføre i alle Tilfælde; for Skulderens Vedkommende er Grundstillingen den Stilling, hvori Armen hænger lodret ned langs Kroppen; for Hofteleddets Vedkommende gaar man ud fra den Stilling, hvor Femora staar lodrette i Frontalplanet, medens øvre Bækkenindgangs Plan danner en Vinkel paa 55^0 med Horizontalplanet.

Naar et Led fra Grundstillingen bevæges omkring en horizontal Axe i Frontalplanet, taler man om Flexion eller Extension, eftersom Bevægelsen foregaar i ventral eller dorsal Retning. For Haandens Vedkommende anvender man dog Betegnelserne Volarflexion og Dorsalflexion for Bevægelsen om den radio-ulnare Axe; de tilsvarende Bevægelser af Foden om den tibio-fibulare Axe kaldes Plantar- resp. Dor-

salflexion, uanset at Plantarflexionen kun i de færreste Tilfælde bliver andet end en mindre Grad af Hyperextension.

Bevægelsen om en horizontal Axe i Sagittalplanet kaldes Abduction eller Adduction, eftersom den foregaar bort fra eller ind imod Medianplanet. For Haandleddets Vedkommende kaldes Drejningen om den dorso-volare Axe Radial- resp. Ulnarflexion. Ligeledes bruges Betegnelserne Ab- og Adduction — lidt uheldigt for øvrigt — om Fingrenes og Tæernes Spredning resp. Samling med Hensyn til Haandens eller Fodens Midtplan.

Circumduction er en Terminus, der vistnok helst burde forsvinde; den betegner successive Drejninger om den frontale og sagittale Axe og er saaledes ikke nogen særlig Bevægelsesform; deuden giver den ofte Anledning til Misforstaaelser og Forvexlinger med Rotation, med hvilken den netop intet har fælles.

Rotation er en Drejning af den bevægede Knogle om dens Længdeaxe; Rotationen forandrer altsaa ikke Vinklen mellem de forbundne Knogler.

Enkelte ejendommelige Bevægelser har imidlertid ikke kunnet indordnes under disse Rammer, og man har derfor maattet udvide Terminologien noget. Saaledes betegner Pronation en Bevægelse i det kombinerede Radio-ulnarled, hvorved den distale Ende af Radius kommer til at ligge ventralt og medialt for Ulna; Bevægelsen fra den pronerede Stilling tilbage til Grundstillingen kaldes Supination[1]). Pronation og Supination maa ikke anvendes om Fodens Bevægelser, da Mekanismen for disse er væsensforskellig fra den i Haanden eller rettere i Underarmen; Fodens saakaldte supinatoriske Drejning bør kaldes Inversion, Bevægelsen tilbage til Grundstillingen Eversion. Den Bevægelse, hvorved Tommelen

[1]) Udtrykkene Pronation og Supination anvendes i Almindelighed om Bevægelser i de paagældende — fra Haandens Drejning kendte — Retninger. Det forekommer mig imidlertid mest hensigtsmæsigt at begrændse deres Anvendelse til Radio-ulnarleddene.

modstilles de andre Fingre, naar man griber om en Genstand, hedder Opposition; den bestaar i en samtidig Flexion, Adduction og Rotation i det første Carpo-metacarpal- og Metacarpo-falangealled.

I Stedet for at angive Legemets Stillinger og Bevægelser i Forhold til en Grundstilling kan man som O. Fischer benytte sig af retvinklede rumlige Koordinater. Fischer anvender som Koordinataxer Skæringslinierne mellem Legemets Medianplan, et Frontalplan gennem Hofteleddenes Midtpunkter og Underlaget. Venstre Fodleds Midtpunkt bliver efter denne Methode angivet ved: $x = -5$, $y = -4{,}5$, $z = 6$, d. v. s., Fodleddets Midtpunkt ligger 5 cm bag Frontalplanet, 4,5 cm til venstre for Medianplanet og 6 cm over Gulvet (Fig. 34).

Bevægelsen udtrykkes ved en Ligning mellem disse Koordinater. Føres saaledes venstre Haand fremad i Sagittalplanet, har man Ligningerne $r^2 = x^2 + (b-z)^2$ og $y = c$, hvor r betyder Afstanden mellem Skulderleddets og Haandleddets Midtpunkter, b det førstnævnte Punkts Højde over Gulvet, medens x, y og z er Koordinaterne til det sidstnævnte Punkt. Til hver Værdi af x svarer altsaa en bestemt Værdi af z, medens y, naar Bevægelsen foregaar i Sagittalplanet, er konstant. Sker Bevægelsen ikke i dette Plan, men beskriver Haanden f. Fx. en Skruelinie, faar man en variabel Værdi for y, der kan bestemmes ved en Ligning mellem y og $b-z$ samt Vinklen mellem r og Koordinataxerne.

Vil man undersøge den relative Bevægelse af et Punkt i Legemet, medens dette selv er i Bevægelse, f. Ex. Haandens Relativbevægelse under Gang, da er det upraktisk at projicere paa tre fastliggende Planer; man tænker sig da Koordinatplanerne bevægede fremad med Legemets Middelhastighed og undersøger det betragtede Punkts Bevægelse i Forhold til de saaledes bevægede Planer.

Ved Undersøgelsen af Ledformerne har man betjent sig af forskellige Metoder; man har studeret Fladerne paa

Snit eller Aftryk i plastisk Ler; man har, hvor det særlig gjaldt om at udfinde de to Fladers indbyrdes Tilpasning, taget Gibsafstøbninger af Ledhulen, eller man har ladet Leddet fryse og paa denne Maade skaffet sig et Isaftryk.

For at bestemme Bevægelsens Spor paa Ledfladerne har man i den ene anbragt en lille Stift, der rager saa langt frem, at den ridser en netop synlig Fure i den anden. Endelig har man kombineret forskellige Metoder. Man har saaledes ladet et Lem fryse i forskellige Stillinger, derpaa afskrællet Bløddelene og omstøbt Knoglerne i Gibs; i Gibsformen kunde man da senere anbringe de løse Knoglepræparater og nærmere bestemme deres Berøringsflader.

Undersøgelser paa Præparater vil imidlertid af tidligere anførte Grunde kun kunne give tilnærmede Resultater, og det samme gælder i endnu højere Grad Undersøgelser paa Model; exakte Resultater naaes kun gennem Undersøgelser paa det levende Led.

Undersøgelser paa Levende er altid vanskelige at gennemføre og vel som Regel kun mulige i særlige Tilfælde Undertiden kan man dog danne sig et ret paalideligt Skøn over en Bevægelses Omfang ved simpel Iagttagelse; saaledes kan man skønne over Rotationen i Skulderleddet ved at bestemme Haandens Vinkelbevægelse, naar Rotationen foregaar med retvinklet flekteret Albu. Undertiden kan Fixation af ovenfor liggende Afsnit ved Hjælp af Gibsbandager gøre Nytte. Som Regel maa man imidlertid tage sin Tilflugt til mere komplicerede Metoder, blandt hvilke kan nævnes Undersøgelse ved Hjælp af Røntgenstraaler. Denne Undersøgelsesmetode kan ofte, navnlig naar den kombineres med andre Metoder, give gode Oplysninger, men exakt er den ikke. Billederne er ikke som ved de fotografiske Metoder klare og skarpe, og man kan i Almindelighed ikke tage Momentbilleder eller Seriebilleder; Størrelsesforhold og Vinkler kan, da det drejer sig om Centralprojection, ikke udmaales direkte paa Billedet men maa beregnes, og det er for dette Formaal nødvendigt

at kende ikke blot Objectplanets men ogsaa Billedplanets Afstand fra Røntgenlampen. Jo mindre Lampens Afstand fra Objektet er og jo større dettes Afstand fra Billedplanet, desto stærkere bliver Fortegningen af Billedet; Fortegningen varierer desuden fra Billedets Centrum til dets Periferi, idet man ved Billedets Centrum forstaar Fodpunktet af en paa Billedplanet vinkelret Straale (Fig. 35).

Braune og Fischer har bestemt Bevægelserne geometrisk og ud fra den fundne Bevægelsesform draget Slutninger med Hensyn til Leddenes Funktion. I Praxis begynder man med at bestemme visse i Forhold til den bevægede Knogle fastliggende Punkters Bane. Det gælder da først og fremmest at skaffe sig markerede Sigtepunkter og at vælge deres Beliggenhed saaledes, at de kommer til at beskrive den størst mulige Bane, hvorved de uundgaaelige Maalefejl faar den mindst mulige Indflydelse paa Resultaterne. Findes der ikke i den paagældende Region tilstrækkelig markante Knoglefremspring eller lignende, maa man ved Hjælp af Gibsbind etc. fastgøre tydelige Mærker. Det gælder dernæst om at faa tilstrækkelig mange Enkeltmaalinger. Disse kan udføres ved at man i en Række af Stillinger direkte maaler Mærkepunkternes Afstande fra tre faste Planer; men denne Fremgangsmaade er uheldig, dels fordi den tager for lang Tid, dels fordi det er vanskeligt eller umuligt at udføre en Bevægelse paa naturlig Maade, naar den hvert Øjeblik skal standses af Hensyn til Maalingen. Bevægelsen bør altsaa være kontinuerlig, og Maalingerne bør foregaa paa en saadan Maade, at denne Fordring kan ske fyldest. Dette kan man opnaa ved at fotografere Bevægelsen. Braune og Fischer indrettede sig ved deres Undersøgelser af Knæleddet paa den Maade, at de med passende Mellemrum lod elektriske Gnister slaa over i tre Maalepunkter; de fik da et Punkt paa den fotografiske Plade for hver Gnist og — naar Værelset var mørkt — intet andet. Optagelsen foregik samtidig med to Kameraer der var stillede i ret Vinkel til hinanden. En ganske tilsvarende blot mere kompliceret

Fremgangsmaade blev af de nævnte Forfattere bragt til Anvendelse ved deres Studier over Gangen. Da det fotografiske Kamera giver perspektiviske Billeder, maa de af Fotogrammerne beregnede Koordinater omregnes til retvinklede Koordinater for at kunne give den virkelige Bevægelse af Mærkepunkterne i Rummet; naar disse Punkter er fastliggende i Forhold til de bevægede Legemsafsnit, kan man af deres Baner beregne Banen for et hvilketsomhelst Punkt i den bevægede Knogle, og ved Konstruktion finde de paagældende Drejningsaxer.

Saa længe det drejer sig om Bevægelse i et Plan, er Opgaven forholdsvis simpel. Hvis et Punkt, der er i fast Forbindelse med det bevægede Led, under Bevægelsen beskriver en Cirkel, da vil Leddets Drejningsaxe gaa gennem denne Cirkels Centrum, eller i Almindelighed: Enhver Forskydning af et plant System i Planet kan tænkes at foregaa ved Drejning af Systemet omkring et fast Punkt, og dette Punkts Beliggenhed kan bestemmes ved geometrisk Konstruktion. Skal Linien AB i Fig. 36 forskydes til Stillingen A′B′, da findes Drejningspunktet ved Skæring mellem de Vinkelrette gennem Midtpunkterne af AA′ og BB′, idet disse Linier bliver Korder i to concentriske Cirkler med det søgte Drejningspunkt som Centrum. Man er herefter i Stand til at bestemme en Bevægelse i Planet uden at kende de bevægede Leds Form eller Axe, naar man kender Beliggenheden af to med den bevægede Knogle fast forbundne Punkter for en Række Stillinger, idet Drejningspunktet for to og to Stillinger lader sig konstruere. Falder alle Drejningspunkterne sammen, har man at gøre med en simpel Hængselmekanisme, er Drejningspunkterne derimod forskelligt beliggende, da er Leddets Axe foranderlig; de fundne Drejningspunkter repræsenterer da instantane Axer.

Naar Talen er om en Bevægelse i Rummet bliver Forholdene naturligvis mere komplicerede. Et Legemes Plads i Rummet er bestemt, naar man kender Beliggenheden af

tre af dets Punkter, som ikke falder paa samme rette Linie. Hvis kun to Punkter er bestemte, vil Legemet kunne dreje sig om en ret Linie gennem disse, men fastlægges blot ét Punkt til, da er kun én Stilling mulig. Opgaven bliver altsaa at bestemme Bevægelsen af 3 af Legemets Punkter. Et Legeme kan bringes fra en vilkaarlig Stilling i Rummet til en hvilkensomhelst anden Stilling ved en Skruebevægelse Drejer Legemet sig om et fast Punkt, da kommer alle dets Punkter til at beskrive Kurver paa koncentriske Kugleflader, og enhver sfærisk Figur kan ved Drejning om en Diameter bringes i hvilkensomhelst anden Stilling paa Kuglen. Dette følger af ovennævnte Sætning om plane Figurer, idet Planet kan betragtes som en Kugle med Radius ∞. Tænker man sig nu et Legeme saavel i Begyndelsesstillingen som i Slutningsstillingen af den omspurgte Bevægelse indesluttet i en Kugle af en vis Størrelse, da vil Bevægelsen mellem de to Stillinger kunne foregaa ved, at man forskyder den første Kugle langs Centerlinien til de to Centre falder sammen og derpaa drejer den om en eller anden Diameter, indtil de indskrevne Legemer bringes til Dækning. Da Forudsætningen er den, at de to Kugler skal være lige store, medens der intet er fastslaaet med Hensyn til Centrenes Beliggenhed i Forhold til det indesluttede Legeme, vil man kunne vælge Radien saaledes, at Centerlinien bliver parallel med den Diameter i den anden Kugle, hvorom den efterfølgende Drejning maa finde Sted; og den samlede Bevægelse bliver da en Skruebevægelse.

Vil man konstruere Skruebevægelsens Axe og Skruens Stigning, giver man Opgaven følgende Form: Konstruer den Skrueaxe, ved Drejning om hvilken man kan bringe en vilkaarlig Trekant i Rummet til at dække en anden med denne kongruent Trekant. Ved Løsningen af denne Opgave benytter man sig af en Sætning om Skruebevægelsen, der siger, at Projectionen paa Skrueaxen af et Punkts Bane er konstant og afhængig af Skruehøjden. Kender man nu to

Trekanters Beliggenhed, da kender man ogsaa Længden og Retningen af Forbindelseslinierne mellem deres Vinkelspidser; afsættes disse Linier ud fra et vilkaarligt Punkt O, da vil Normalen gennem O til et Plan bestemt ved de tre Liniers Endepunkter netop angive Længden af alle tre Liniers Projection paa en med Normalen $\neq$ Linie altsaa ogsaa paa den søgte Skrueaxe, hvis Retning saaledes er bestemt (se Fig. 37). De tre ved Konstruktion anvendte Linier er vel ikke selve Bevægelsesbanerne men Korderne til de Buer, som Punkterne beskriver; dette er imidlertid i denne Forbindelse uden Betydning. Der staar da endnu tilbage at finde Skrueaxens Plads. Under Bevægelsen vil Trekantplanet stadig danne samme Vinkel med Drejningsaxen; naar Trekanten derfor projiceres paa det fundne paa Axen vinkelrette Plan, vil Projectionerne i de forskellige Stillinger blive kongruente, og man kan da iflg. det foregaaende altid finde det Punkt i Planet, ved Dreining om hvilket to kongruente plane Systemer kan bringes til Dækning. Bestemmer man Drejningspunktet for to af de projicerede Trekanter da har man altsaa i en Linie vinkelret paa Planet i dette Punkt den søgte Skrueaxe. Man finder dernæst Skruens Parameter ved Hjælp af Punkternes Vinkelbevægelse og den kendte Længde af Bevægelsesbanernes Projektion paa Skrueaxen.

Man er altsaa i Stand til at konstruere den Skruebevægelse, ved hvilken et Legeme kan bringes til en hvilkensomhelst anden Stilling i Rummet. Er de to Stillinger langt fra hinanden, da ved man naturligvis ikke, om den virkelige Bevægelse falder sammen med den tænkte Skruebevægelse; men hvis man har bestemt et tilstrækkeligt stort Antal Stillinger og altsaa opløst den hele Bevægelse i en Række meget smaa Bevægelser, da vil disse Enkeltbevægelser kun komme til at afvige lidt fra de beregnede, og man vil saaledes kunne opnaa et tilstrækkelig nøjagtigt Billede af den hele Bevægelse, derunder indbefattet eventuelle Forskydninger af Skrueaxen. — Den hér skizzerede Fremgangsmaade har den Mangel, at

den i Praxis er meget omstændelig og meget vanskelig at udføre, saavel hvad selve Forsøget som de efterfølgende Regninger angaar; selv Metodens Ophavsmænd har for at kunne gennemføre en Undersøgelse maattet betjene sig af professionelle Beregnere; dens Fremtidsmuligheder er derfor sikkert ret begrændsede; det bør dog erindres, at den er den eneste exakte Metode, der hidtil er fremkommet indenfor Bevægelseslæren, selv om teknisk set lignende Metoder tidligere har været fremme; saaledes har Marey og hans Skole længe før Braune og Fischer undersøgt Legemets Bevægelser ved Hjælp af Serier af Øjebliksbilleder; disse Undersøgelser var imidlertid ikke nøjagtige nok til at tillade en detailleret Beregning af Forsøgsresultaterne.

Legemets enkelte Led.

HOVEDETS LED.

***Art. cranio-mandibularis*, Kæbeleddet.** Kæbeleddene danner et kombineret Dobbeltled; de kan ikke bevæges uafhængigt af hinanden, og ethvert af dem er ved en mellem Kæben og Tindingebenet indskudt Menisk delt i to Ledhuler.

Ledfladen paa Os temporale bestaar af to Afsnit, Cavitas glenoidalis, hvis sfæroidale Form svarer til Underkæbens Condylus, og Tuberculum articulare, den forreste ved Roden af Proc. zygomaticus beliggende Del, der nærmest er valseformet men har en svagt udpræget Ledefure. Disse Ledflader konvergerer ligesom den tenformede Ledflade paa Condylus mandibulæ henimod Forkanten af Foramen magnum. Paa Kraniet er kun Tuberculum articulare beklædt med Brusk; Cavitas glenoidalis er beklædt med fibrøst Bindevæv, der gaar umiddelbart over i Periost, og som indvendig er beklædt med Synovialis. Condylus mandibularis er bruskklædt. Menisken er dannet af fibrøs Brusk; dens øverste Flade svarer i Hovedtræk til Ledfladen paa Kraniet, dens nederste Flade er konkav; den er tyndest i Midten og tykkere bagtil end fortil. Ledkapslen er meget løs og Baandene relativt svage.

Man skelner mellem 3 Former for Bevægelse i Kæbeleddet. 1. Charniére Bevægelse i bægge Led, Aabning og Lukning af Munden, der foregaar om en Axe, hvis Retning er frontal, og som omtrentlig gaar gennem de to Lingulæ, denne Axe er dog ikke helt fastliggende. Ved Aabning af Munden glider Menisken frem paa Tuberculum articulare medens Condylus samtidig drejer sig mod Menisken. Ved smaa Bevægelser er Meniskens Fremadgliden mindre markeret end ved store, men den foregaar i alle Tilfælde og kan føles paa det levende Led under Mundaabningen. 2. En Fremskydning og Tilbageføring af Underkæben med sluttede Tandrækker. Denne Bevægelse forekommer sjældent isoleret men som en Fase af den første. Under Fremskydningen til »Underbid« glider bægge Condyli op paa de tilsvarende Tubercula, men der foregaar ikke nogen Drejning om den førstnævnte Axe. 3. En ensidig Fremadskyden og Tilbagegliden af Condylus, Malebevægelse. Under Malebevægelsen glider den ene Condylus frem paa Tuberculum, medens Kæben roterer om en lodret Axe gennem den anden Condylus, der bliver liggende i Fossa glenoidalis. De to Condyli findes altsaa i forskellig Højde, hvoraf fremgaar, at der tillige maa have fundet en Drejning Sted om en sagittal Axe. Naar Leddet er i Hvile, ligger bægge Condyli i Fossa glenoidalis. — Kæbeleddet er hos flere Pattedyr et lukket Led.

De følgende to Led adskiller sig i saa høj Grad fra Hvirvelsøjlens øvrige Ledforbindelser og er funktionelt saa nøje knyttede til Hovedets Bevægelser, at det vil være det naturligste at omtale dem paa dette Sted.

Art. atlanto-occipitalis, **Nakkeleddet,** er Leddet mellem Atlas og Condyli occipitales. Ledfladerne er tilnærmelsesvis kongruente, konkave paa Atlas; de er krummede over to paa hinanden vinkelrette Axer og danner tilnærmelsesvis en Rotationsellipsoide med transversel Længdeaxe. De to Led bør derfor ikke, skønt anatomisk adskilte,

betragtes som et kombineret Led men som Dele af samme Ægled. Fladernes Tilpasning skal forøvrigt, naar Leddet er i Middelstilling, være mindre god, end naar der foregaar en ganske ringe Sidebevægelse til den ene eller den anden Side. Kapsler og Baand er ret slappe. Leddets Bevægelser hemmes af Halsmusklerne, eventuelt tillige af Lig. nuchæ. Bevægelserne bestaar i en Drejning om en frontal Axe samt i mindre Grad om en sagittal; paa Grund af den store Forskel paa Axernes Længde er Rotation praktisk talt udelukket. Bevægelsens Omfang i det levende Led kan ikke angives, da det er umuligt at skelne mellem Bevægelser, der udelukkende foregaar i dette, og saadanne, hvor ogsaa andre af Halssøjlens Led er medvirkende.

Art. atlanto-epistrofea er tredelt; det bestaar af 1. det egentlige Tapled, Art. atlanto-odontoidea, samt 2. Leddene mellem de nedre Ledtappe paa Atlas og Ledfladerne paa Corpus epistrofei.

1. Tapleddet dannes af to adskilte Smaaled, nemlig Leddet mellem Forfladen af Dens epistrofei og Bagfladen af Arcus anterior atlantis og det mindre Led mellem Bagfladen af Dens og Lig. transversum atlantis, der forbinder denne Hvirvels to Massæ laterales; Fladerne i de to smaa Led, der hvert for sig maa betragtes som Amfiarthroser, ligger paa samme Omdrejningsflade, og Leddet maa derfor som Helhed betragtes som et Drejeled. Med Hensyn til Baandapparatet, da holdes Lig. transversum paa Plads af to lodrette Baandflige, der forløber henholdsvis til Corpus epistrofei og til Randen af Foramen magnum, og som sammen med Tværbaandet danner det saakaldte Lig. cruciatum; Dens er endvidere forbundet med Nakkebenet ved Lig. apicum og Ligg. alaria, hvilke sidste er kraftige Baand, der fæster sig paa Indsiden af Condyli. Hele Ledmekanismen er dækket af de membranøse Baand, der danner Fortsættelsen af Hvirvelsøjlens lange fælles Ligamenter. Bevægelsen i Tapleddet er alene Rotation, der er mulig i en Udstrækning af ca. 30°

til hver Side af Midtlinien. Bevægelsen hemmes dels og især af Halsmusklerne, dels af Forbindelserne mellem de to Hvirvlers Buer og af Kapselbaandene, i sidste Instans rimeligvis ogsaa af Ligg. alaria.

2. De to sidstnævnte Led er Amfiarthroser, hvis Flader i ret høj Grad er inkongruente, idet den nedre Flade er konvex i dorso-ventral Retning, medens der ikke findes nogen tilsvarende Konkavitet paa den øvre Flade, der snarest maa betegnes som konvex i samme Retning som den nedre. Disse Led er omgivne af Kapsler og støttede af Ligg. accessoria, der forløber paa Leddenes Bagside i Retning ovenfra-udefra, nedad-indad. I Midtstillingen er Tilslutningen mellem Ledfladerne ikke god, Leddet kommer i denne Stilling til at gabe; naar Hovedet derimod drejes, da vil den bageste Del af Ledfladen paa Atlas komme i mere udbredt Kontakt med den forreste Del af Fladen paa Epistrofeus eller omvendt, og Stillingen bliver da mere stabil. Denne Ledform maa betinge, at Legemshøjden bliver mindre, naar Hovedet er drejet, end naar det staar symmetrisk, og dette kan da ogsaa direkte iagttages ved Hjælp af et Sessionsmaal. Man finder undertiden dette Led betegnet som et Skrueled, hvilket næppe er hensigtsmæsigt. Den teleologiske Betydning af Hovedets Sænkning ved Drejning skal være dén, at man paa denne Maade undgaar en Strækning af Medulla oblongata.

HVIRVELSØJLEN OG DENS LEDFORBINDELSER.

Medens man ved Behandlingen af Legemets Led som oftest kan lade sig nøje med at omtale Bevægelsesmulighederne i det foreliggende Tilfælde, er Forholdet for Hvirvelsøjlens Vedkommende dét, at dens Statik i gymnastisk Henseende er et Spørgsmaal af meget stor Interesse; det vil derfor være paa sin Plads at ofre denne Side af Sagen et særligt Kapitel.

Hvirvelsøjlens Form.

Hvirvelsøjlen bestaar af to Afsnit, et øvre, den egentlige Hvirvelsøjle, der strækker sig fra Bækkenet til Nakken, et nedre, bestaaende af ufuldstændige Hvirvler, der danner en Del af Bækkenets Skelet.

Hvirvelsøjlens Form er ret ubestemt og kan kun beskrives i store Træk, idet den ikke blot varierer betydeligt individuelt men ogsaa spontant antager forskellig Form hos det samme Individ under forskellige Betingelser, ligesom den som bekendt vilkaarligt kan omformes i stor Udstrækning. Endelig maa det fremhæves, at Hvirvelsøjlepræparater forholder sig anderledes end den levende Hvirvelsøjle; man tør derfor ikke uden videre slutte fra Forholdene paa Præparatet til Forholdene hos det levende Individ; dette gælder for øvrigt i Almindelighed, men det gælder i særlig Grad for Hvirvelsøjlens Vedkommende.

Hvirvelsøjlen er, naar man betragter Hvirvellegemerne, der udgør det egentlige bærende Parti, sværest i den nederste Del af Lumbalregionen og aftager nogenlunde regelmæsigt opefter; denne Form er i Overensstemmelse med Mekanikens Fordringer, idet det mest truende Sted af en i den ene Ende fastspændt Stav eller Bjælke, naar den paavirkes af bøjende Kræfter, er selve Spændingsstedet. Hvirvelsøjlen er desuden dobbelt S-formigt krummet i Sapittalplanet; de to ventralkonvexe, lordotiske, Krumninger findes i Hals- og Lænderegionen; de to dorsalkonvexe, kyfotiske, i Bryst- og Bækkenregionen; desuden findes ofte en ganske svag, scoliotisk Krumning i Brystsøjlen. Hvirvelsøjlen bestaar saaledes af 4 Buer, hvis Toppunktet er noget individuelt forskelligt beliggende; hvis man ved Buens Toppunkt forstaar det ventralt eller dorsalt stærkest prominerende Hvirvellegeme, da ligger dette gennemsnitligt i Halssøjlen ved 4' Hvirvel, i Brystsøjlen ved 6' Hvirvel, i Lændesøjlen ved 4' og i Bækkendelen ved 3' Hvirvel. Der synes at være nogen Forskel med

Hensyn til Kønnet saaledes, at saavel Dorsal- som Lumbalkrumningens Toppunkt ligger lidt højere hos Kvinder end hos Mænd.

Overgangen mellem Hvirvelsøjlens Buer, Kurvens Vendepunkter, hvis Beliggenhed synes at variere noget, naar man betragter Hvirvelsøjlens forreste Kontur, men som synes at ligge ret fast i Forhold til den geometriske Axe, findes mellem 2' og 3' Dorsalhvirvel og i Centrum af 12' Dorsalhvirvel (Kvinder) eller mellem 12' Dorsal- og 1' Lumbalhvirvel (Mænd). Lændelordosen er stærkest udtalt hos Kvinden saavel naar man betragter Krumningen under ét som med Hensyn til Vinklen mellem de enkelte Hvirvler (Cunningham).

Krumningernes Form kan ikke gengives ved simple geometriske Figurer og kan derfor ligesaalidt som deres Vinkeludstrækning angives nøjagtigt. Følgende Maal kan give en Forestilling om disse Størrelser, naar man — hvad dog kun er muligt som grov Tilnærmelse — betragter de enkelte Krumninger som Cirkelbuer: Cervicallordosen 18°, Krumningsradius 18 cm., Dorsalkyfosen 42°, Krumningsradius 33 cm., Lumballordosen 80°, Krumningsradius 14 cm. og Sacralkyfosen 125° med en Krumningsradius paa 7 cm. Den fra Cirkelperiferien stærkest afvigende Bue er vistnok Lændekrumningen; denne gaar opad ret jævnt over i Dorsalkrumningen medens den nedad i en markeret Vinkel, Lumbosacralvinklen, gaar over i Os sacrums Krumning. Ogsaa hér træder Kønsforskellen frem, idet Lumbosacralvinklen er 133° 6′ hos Mænd men 137° 40′ hos Kvinder (Cunningham).

Hvorledes Hvirvelsøjlens Krumninger opstaar, er endnu et aabent Spørgsmaal; det sandsynligste er dog, at de i Hovedsagen fremkommer som Følge af de statistiske Forhold ved den oprejste Stilling, dels ogsaa som Følge af Træk af Muskler og Baand; men tillige er utvivlsomt andre Aarsager medvirkende, saaledes medfødt Kileform af Hvirvellegemerne. Det er derimod ikke sandsynligt, at Murk

Jansen[1]) har Ret, naar han betragter Respirationsbevægelserne som Hovedaarsagen til Krumningerne.

I den intra-uterine Tilværelse er Krumningernes Form en anden end senere, navnlig findes paa dette Stadium ingen Lændelordose; Krumningen af Os sacrum er dog tydelig allerede i 5' Fostermaaned. Hos den Nyfødte finder man de samme Krumninger som senere men meget svagere udtalte især i Lænden; dog er Kileformen af de nedre Lændehvirvler tydelig. Saa snart Barnet begynder at indtage den siddende Stilling, har man Betingelserne for den videre Udvikling af de øvre Krumninger, idet Tyngden vil bringe Krop og Hoved til at falde forover og danne en dorso-cervical Kyfose. Den Stilling af Hovedet, som herved fremkommer, er imidlertid uheldig for Synsorienteringen; og Barnet vil derfor bestræbe sig for at løfte Hovedet, hvilket medfører en Udvikling af Halslordosen. Ogsaa med Hensyn til Bækkenkrumningen har man tilskrevet den siddende Stilling Betydning, idet et Tryk mod Korsbenets nederste Ende skulde bidrage til at uddanne denne Knogles blivende Form. Lændekrumningen er endnu i Hovedsagen dorsalkonvex; Lændelordosen uddannes først, naar Barnet begynder at indtage den staaende Stilling, muligvis til dels som Følge af M.ilio-psoas' Træk. Lændelordosen er den af alle Hvirvelsøjlens Krumninger, der sidst naar sin blivende Form, idet den først under Puberteten synes at blive forholdsvis stabil.

Muskeltrækkets Betydning for Krumningernes Opstaaen kan ikke direkte bevises, men adskilligt tyder dog paa, at Muskulaturens Anordning er en medbestemmende Faktor med Hensyn til Hvirvelsøjlens Form; de lordotiske Krumninger er saaledes »fyldte« med Muskulatur, hvis Tonus maa bidrage til at forøge dem; Bugmusklerne vil gennem et Træk i Sternum kunne faa Indflydelse paa Dorsalkrumningen; at M. iliopsoas kan have Betydning for Lændesvejningens Opstaaen,

[1]) Einthoven's Onderzoekingen 1912.

er allerede antydet, og det samme skal være Tilfældet med Diaphragma; maaske tør man ogsaa tilskrive M. glutæus maximus en vis Betydning for Uddannelsen af Korsbenets Krumning. Det er i denne Forbindelse af Interesse at lægge Mærke til, at Krumningerne som Regel er stærkt udtalte hos Athleter. Ogsaa Ligamenterne, særligt Ligg. flava, har Indflydelse paa Hvirvelsøjlens Form; hvis man løsner Hvirvelbuerne fra Corpora, vil Rækken af Buer paa Grund af de gule Ligamenters elastiske Træk forkortes med omtrent $^1/_7$ af Hvirvelsøjlens Længde, og der fordres da en vis Kraft for atter at forlænge denne. Hos Firefødde virker Lig. nuchæ paa lignende Maade, medens dette hos Mennesket paa Grund af sin ringe Elasticitet næppe kan tilskrives større Betydning.

Man maa nu ikke af den ovenfor antydede Forklaring paa Krumningernes Opstaaen lade sig forlede til at tro, at de kun er at opfatte som et nødvendigt Onde; Hvirvelsøjlens sagittale Krumninger har tværtimod en betydelig mekanisk Interesse. For det første maa man lægge Mærke til, at de dorsalkonvexe Krumninger findes udfor de Legemshulheder, der i særlig Grad er beskyttede af Skelettet, nemlig Bryst- og Bækkenhule, og de bidrager paa Grund af deres Form og relative Ubevægelighed ikke blot til at give disses Vægge større Modstandsdygtighed men ogsaa til at forøge de paagældende Kaviteters Rumfang. Dernæst forøger de sagittale Krumninger Hvirvelsøjlens Evne til at fjedre, og de vil saaledes ved Fald paa Fødderne eller paa Sædet bidrage til at afværge Rystelser af Centralnervesystemet. Endelig er disse Krumninger vistnok ikke uden Betydning for Hvirvelsøjlens Bæreevne. Det er ganske vist (iflg. mundtlig Meddelelse fra Prof. A. Ostenfeld) ikke rigtigt, naar man har hævdet, at en bugtet Søjle ceteris paribus har større Bæreevne end en ret; men det forholder sig derimod saaledes, at naar en Søjle, idet den overbelastes, tvinges til at »slaa ud« i S-form, da skal der en betydeligt større Belastning til for at frembringe et Udslag af given Størrelse, end hvis Søjlen faar Lov til at krumme sig i C-form.

Hos Pattedyrene træffer man som Regel en stærkt udtalt Halslordose; Halssøjlen er hos de forskellige Former meget forskelligt udviklet, men Lordosen er fælles for dem alle (Hvaler maaske undtagne). Fra et teleologisk Synspunkt maa en saadan Krumning betragtes som hensigtsmæsig, dels fordi Munden derved bliver mere fremadrettet, dels fordi Synsorienteringen paa denne Maade vil lettes. Dorsalkyfosen er i de fleste Tilfælde vel udtalt; dens Toppunkt ligger, naar visse Aber undtages, lavere end hos Mennesket; ofte danner hele Hvirvelsøjlen en fortsat dorsalkonvex Bue, — hvis Toppunkt da ligger paa Overgangen mellem Bryst og Lænd, — udspændt mellem For- og Baglemmerne; men paa den anden Side ser man ikke sjældent en svagere Krumning i Lumbaldelen, endog en Antydning til Lordose. Lændelordosen er dog i særlig Grad knyttet til den oprejste Stilling. Den fuldt udviklede Lændelordose er særegen for Mennesket og enkelte af de anthropoide Aber; den findes imidlertid ogsaa — men svagere udtalt — hos flere mindre Aber samt Bjørne, altsaa hos Dyr, der vel ikke indtager nogen staaende Stilling, men som dog ikke sjældent sidder med Kroppen oprejst uden at støtte paa Forlemmerne. Paa den anden Side maa det fremhæves, at selv hos Dyr, hvis Hvirvelsøjle danner en enkelt opad konvex Bue, som f. Ex. hos Rotten, vil (ifig. mundtlig Meddelelse fra Mag. H. Winge) den med sit Baandapparat udpræparerede Hvirvelsøjle ved begyndende Indtørring antage S-form, idet den krummer sig lordotisk i Lændedelen og kyfotisk i Brystdelen.

Den fysiologiske Betydning af Hvirvelsøjlens habituelle Form, dens »Holdning«, forstaaes bedst, naar man gaar ud fra den almindelige Pattedyrtype. Det for denne karakteristiske er en i store Træk horizontal Hvirvelsøjle og en vertikal øvre Bækkenaabning; hos Mennesket derimod hælder øvre Bækkenindgangs Plan 55—60° mod Horizontalplanet, medens Hvirvelsøjlens Hovedretning er lodret. Heraf følger Lændelordosen med Nødvendighed; men dens Krumning er

ikke bestemt alene heraf, idet den foruden af Bækkenhældningen er afhængig af flere andre Faktorer, af de Kræfter, der tilsammen udgør det, man kalder Hvirvelsøjlens Fixationsapparat, Muskler og Baand. Da Bækkenhældningen er større hos Kvinder end hos Mænd, ca. 60° mod 55° hos disse, er Lændesvejningen gennemgaaende lidt større hos Kvinden end hos Manden; den skal ligeledes variere med Hensyn til Race, ligesom ogsaa en afvigende Form for Lændesvejningen skal kunne optræde som Slægtsejendommelighed. Hos det enkelte Individ er det især det relative Styrkeforhold mellem Rygmusklernes Lumbalportion og Bugmusklerne, der bliver afgørende for Lordosen; jo svagere Bugmuskler desto stærkere Lændesvejning og omvendt; dog kan Lordosen — bortset fra de anatomiske Forhold — aldrig helt udrettes end sige gaa over til Kyfose, naar Kroppen skal kunne bevare sin oprejste Stilling, idet, som Duchenne har vist, endog en Paralyse af Rygmusklernes Lumbalportion, der er ledsaget af den størst mulige Formindskelse af Bækkenheldningen, for Ligevægtens Skyld maa være ledsaget af Lændelordose; denne har dog i dette Tilfælde en anden Form end i det andet extreme Tilfælde: Paralyse af Bugmusklerne med forøget Bækkeninklination, idet den i første Tilfælde efter en meget skarp Bøjning i den nederste Del af Lændesøjlen er meget flad saaledes, at Ryglinien forløber næsten retliniet til Dorsalkyfosens Toppunkt, medens den i sidste Tilfælde danner en jævn Bue, der giver sig til Kende som en saddelformet Indsænkning af Lænden.

Skønt Lændesvejningen er den sidst opstaaede af Hvirvelsøjlens Krumninger, medens de kyfotiske er de primært anlagte, maa den dog med Hensyn til den oprejste Stilling betragtes som den fundamentale, den, hvorefter de øvrige Krumninger efterhaanden tilpasser sig og, hvis den forandres, maa omforme sig efter. Saavel Dorsal- som Cervicalkrumningen er opstaaede, førend Individet var i Stand til at ind-

tage den oprejste Stilling men disse Krumninger er for øvrigt en naturlig Følge af Lændesvejningen, naar Fordringen om det lodrette fremadvendte Ansigt skal opretholdes, og deres tidligere Opstaaen forhindrer ikke, at Lændelordosen bliver bestemmende for deres endelige Form. Hermed er naturligvis ikke sagt, at ikke lejlighedsvis opstaaede primære Forandringer i et ovenforliggende Afsnit kan virke tilbage paa et lavereliggende af de før nævnte Grunde; man kender navnlig fra Patologien talrige Exempler paa noget saadant; men det er ikke Reglen.

Hvirvelsøjlens habituelle Form er et af de væsentligste Momenter i Menneskets »Holdning«; det kan derfor være passende paa dette Sted at gaa lidt nærmere ind paa denne. Holdningen er, naar Individet overlades til sig selv, individuelt forskellig, den er tillige vexlende under vexlende Betingelser. Det lader sig ikke gøre at opstille en enkelt Norm for denne; med større Ret kan man tale om flere Normer, der da er bestemte ved et forskelligt Sammenspil mellem de ovenfor nævnte Faktorer. Enhver Holdningsnorm er imidlertid et Kunstprodukt, bestemt først og fremmest af æsthetiske Hensyn; Holdningen er, naar man ser bort fra den individuelt habituelle, som allerede fremhævet af Henke, en Smagssag eller en Modesag. Og Smag og Behag er ikke konstante Størrelser. Fig. 38 a viser Hvirvelsøjlens Form i en fri staaende Stilling, Fig. 38 b Hvirvelsøjlen hos det samme Individ med den stramme, militære Holdning, der bruges i Tyskland. Som man ser, er Hvirvelsøjlens Krumninger i sidste Tilfælde forøgede, og Lodlinien gennem Nakkeleddet har et ganske forskelligt Forløb; Individet er kendeligt lavere i Retstillingen, men dette beror dog især paa en Sænkning af Promontorium. I Gymnastiken — i alt Fald i vor Gymnastik — gaar man den modsatte Vej, søger at formindske Hvirvelsøjlens Krumninger; man forlanger, at Individet i den gymnastiske Grundstilling skal have sin største Højde. Særlig Opmærksomhed har man i denne

Forbindelse skænket Dorsalkyfosen, der indtager en ubestridelig Førsteplads i den populære Gymnastikteori. Hertil er intet at sige, naar man blot erkender, at det eneste holdbare Motiv til at rette paa Kyfosen er dét, at en mindre fremtrædende Kyfose end den, som man finder hos hos et Flertal af Individer, efter Ens Smag vil være at foretrække, og naar man tillige forstaar, at Vejen til paa virksom Maade at angribe denne som Regel gaar over Lændesøjlen. Men man kan ikke tilskrive nogen bestemt Holdningsform en særlig fysiologisk eller hygieinisk Værdi. Man tør dog maaske i Henhold til Duchennes Erfaringer hævde, at en stærk Lændelordose kan være uheldig navnlig for Kvinder, da det har vist sig, at forreste Bugvæg i saadanne Tilfælde ikke paa tilfredsstillende Maade er i Stand til at løse sin Opgave som Støtte for Bugorganerne, navnlig ikke, naar den gentagne Gange ved Svangerskab har været stærkt udspilet. Man har her et Tilfælde, hvor der synes at bestaa en Konflinkt mellem de hygieiniske Krav og de gængse Skønhedsbegreber, idet en udpræget Svejning af Lænden betragtes som en integrerende Bestanddel af Begrebet kvindelig Skønhed; hos de for deres Skønhed berømte Andalusierinder skal Lændesvejningen være endog meget stærkt udtalt. Vil man ad gymnastisk Vej søge at modvirke en for stor Svejning af Lænden, da sker det iflg. det foregaaende ved at udvikle Bugmusklerne gennem dertil egnede Øvelser (se den specielle Gymnastikteori). Ved at formindske Lændelordosen opnaar man tillige at paavirke Dorsalkyfosen. Med Hensyn til denne maa det erindres, at Rygsøjlen repræsenterer et relativt ubevægeligt Afsnit af Hvirvelsøjlen, og at Muskulaturen i denne Region er langt svagere end i Lænde- eller Halsregionen. Dette Forhold kan ikke og skal ikke ændres. Endvidere er det givet, at man, naar man ser bort fra de svære Kyfo-scolioser, der gør Indehaveren uegnet til Deltagelse i Gymnastik sammen med sunde Mennesker, kun sjældent træffer Kyfoser, der gaar ud over, hvad man al-

mindeligt betegner som Rundryg, og denne kan efter alt, hvad der foreligger, ikke antages at indebære nogen som helst Fare, hygieinisk set, men maa anses for at være en blot og bar Skønhedsanomali. Det er utvivlsomt absolut fejlagtigt, naar man har paastaaet, at en Udretning af Dorsalkyfosen skulde bevirke bedre Pladsforhold i Brystkassen. Under i øvrigt lige Forhold maa Kyfosens Udretning nødvendigvis betyde netop det modsatte. Nu har man vistnok tænkt sig, at med Kyfosens Formindskelse maatte der følge en Løftning af Costæ og Fremdrivning af Sternum eller omvendt; de foreliggende Erfaringer taler imidlertid i modsat Retning (Duchenne, Murk Jansen). Man kender Tilfælde af Parese af Rygmusklernes Cervialportion, der har ført til en kompensatorisk Udretning af Dorsalkyfosen, og i saadanne Tilfælde har man uvægerligt fundet en, endogsaa meget stærk, Formindskelse af Brystkassens sagittale Diameter; tillige har det vist sig, at hos muskelsvage eller sovende Individer medfører den inspiratoriske Udvidning af Brystkassen en forøget Kyfose. Gymnastikens Opgave med Hensyn til Hvirvelsøjlens Form er altsaa blot en æstetisk, dén, at holde en eventuel Tilbøjelighed til Rundryg indenfor passende Grændser. Maaden, hvorpaa dette Maal i adskillige Tilfælde kan naaes, er allerede antydet. Forudsætningen for at Dorsalkyfosen lader sig paavirke af en forandret Holdning af Lændesøjlen er dog naturligvis dén, at den til en vis Grad er bevægelig, og det kan derfor ofte være nødvendigt at paavirke Kyfosen direkte for at opnaa en saadan Bevægelighed; man maa da paa den anden Side erindre, at Mobilisation alene er ikke nok, og man maa frem for alt huske paa, at hvis de Øvelser, som man bringer til Anvendelse for at mobilisere Kyfosen, samtidig bevirker en Forøgelse af Lændesvejningen, da tager man med den ene Haand, hvad man giver med den anden; en saadan Fremgangsmaade er ganske irrationel. Endelig er det i den senere Tid fremhævet af Haglund, og det fortjener at understreges,

at Mobilisation af Hvirvelsøjlen i sig selv rummer en Fare for at fremkalde de Deformiteter, som det er Gymnastikens Opgave at bekæmpe, idet disse opstaar som Følge af et Misforhold mellem Hvirvelsøjlens Mobilitet og dens Fixationsapparat. Hvirvelsøjlen maa derfor ikke mobiliseres stærkere, end at Muskler og Baand automatisk er i Stand til at holde den i en normal Stilling.

Halslordosen er ikke i samme Grad afhængig af Dorsalkyfosen som denne af Lændesvejningen, idet Halssøjlen i Henseende til Bevægelighed har en vis relativ Selvstændighed; dog vil Halslordosen være udpræget i alle Tilfælde, hvor Kyfosen i Brystdelen er stærkt udviklet; men ogsaa hvor denne er moderat, kan man træffe en betydelig Halslordose, nemlig i de Tilfælde, hvor der findes en markeret Fremadbøjning paa Overgangen mellem Hals- og Brystsøjlen (ludende Hoved). Den Fordring, at Ansigtet skal staa lodret og fremadvendt, maa da føre til en forøget Halskrumning.

Hvirvelsøjlen har som allerede nævnt i Reglen en ganske let, i de fleste Tilfælde dextrokonvex, scoliotisk Krumning i Dorsalregionen; det er dog maaske tvivlsomt, om denne er fysiologisk; i hvert Fald har man ikke kunnet finde nogen rimelig Forklaring paa dens Opstaaen, der ogsaa er anvendelig i de Tilfælde, da Krumningen er sinistrokonvex. Det kan næppe betragtes som udelukket, at denne Krumning er en Følge af en eller anden Vanestilling.

Hvirvelsøjlens Ledforbindelser.

Columna vertebralis bestaar som bekendt af en Række uregelmæsigt formede Knogler, Hvirvlerne, der er indbyrdes forbundne ved Hjælp af en ret kompliceret Ledmekanisme. Den Del af Hvirvelsøjlen, der i denne Sammenhæng har Interesse, dannes af de 5 nedre Halshvirvler, Bryst- og Lændehvirvlerne; de to øverste Halshvirvlers særlige Ledforbindelser er allerede omtalte; Os sacrum er prak-

tisk talt ubevægeligt, og Forbindelsen mellem Sacrum og Coccyx har, hvor vigtig den iøvrigt kan være, ingen Betydning for Spørgsmaalet om Hvirvelsøjlens Bevægelighed.

Hvirvellegemerne er indbyrdes forbundne ved Symfyser, der er forstærkede ved et fortløbende forreste og bageste Ligament, Lig. commune anterius & posterius. Selve Symfysen bestaar af en Skive af fibrøs Brusk, hvis perifere Parti, Annulus fibrosus, indeholder stærke Fibre, der i indbyrdes krydsende Retninger forløber i flade Spiraler fra det ene Hvirvellegeme til det andet; det centrale Parti dannes af en blødere, halvflydende Masse, Nucleus pulposus, der er ret elastisk og befinder sig under en vis Spænding saaledes, at den stadig udøver et Tryk, der tenderer mod en Fjærnelse af Hvirvellegemerne fra hinanden; i Nucleus pulposus udvikles den for Symfysen karakteristiske, rudimentære Ledhule.

Forbindelserne mellem Hvirvelbuerne bestaar i to Amfiarthroser, hvis Ledkapsler er ret løse og uden særlige Forstærkningsbaand; desuden findes flere ligamentøse Forbindelser, saaledes de meget elastiske Ligg. flava, Ligg. supra- og interspinosa samt Ligg. intertransversaria.

Denne komplicerede Forbindelse mellem de enkelte Hvirvler medfører paa den ene Side en mindre Bevægelighed, end de forekommende Ledformer i sig selv vilde betinge, paa den anden Side medfører den en forskellig Bevægelsesform i de forskellige Afsnit af Hvirvelsøjlen.

Betragter man Forbindelserne mellem Hvirvellegemerne for sig, da ser man let, at Bevægelsens Omfang maa variere i de forskellige Afsnit af Hvirvelsøjlen. Symfysens Bevægelighed afhænger som omtalt paa S. 9 dels af dens Højde, dels af dens Tværsnitsareal, og disse Størrelser varierer ret betydeligt; i Hals-, Bryst- og Lænderegionen forholder Symfysernes samlede Højde sig som 20,7 : 34,9 : 42,85, medens Forholdet mellem de tilsvarende Tværsnitsarealer er som 225 : 640 : 784, disse Tal giver for den relative Bevægelighed i de tre Afsnit Forholdet 846 : 297 : 298. Herefter vil

den samme bøjende Kraft bevirke en lige stor Vinkelbevægelse i Bryst- og i Lændesøjlen, medens Bevægelsen i Halssøjlen bliver næsten 3 Gange saa stor. For at kunne bedømme disse Tal maa man imidlertid ogsaa kende Forholdet mellem Hvirvellegemernes og Symfysernes Højde og de enkelte Afsnits relative Længde; disse Størrelser fremgaar af følgende Maal: I den 11 cm lange Halssøjle findes 6 Led eller et Led for hver 1,8 cm, i den 28 cm lange Brystsøjle findes 11 Led eller et Led for hver 2,5 cm, i den 19 cm lange Lændesøjle, endelig, findes 4 Led eller et Led for hver 4,7 cm. Sammenholdes Forholdet 11 : 28 : 19 med det ovenfor givne Forhold mellem Symfysernes Højde, ser man, at disse i Forhold til Hvirvellegemerne er størst i Lænderegionen og mindst i Brystregionen; naar Bevægeligheden dog er størst i Halssøjlen, beror det paa Symfysernes ringe Tværsnitsareal i denne Region; sammenholdes Længdeforholdet mellem Tallene for den relative Bevægelighed, vil man endvidere finde, at Lændesøjlen giver samme Bevægelsesudslag, som den meget længere Brystsøjle; dens Bevægelighed er altsaa betydeligt større. Den isolerede Søjle af Hvirvellegemer har et meget stort Bevægelsesomfang, i Sagittalplanet omtrent 400°; og Dorsalkyfosen lader sig ved Bagudbøjning næsten fuldstændigt udrette. Skønt Symfysen kun har én Bevægelsesform, betinger dog den forskellige Form af Hvirvellegemerne og deres Ledflader, at Bevægelsesformen i de forskellige Afsnit af Hvirvelsøjlen ikke bliver ganske den samme, selv naar Hvirvelbuerne er fjærnede.

Betragter man den isolerede Række af Hvirvelbuer, finder man Bevægelsens Omfang endnu større end for de isolerede Legemers Vedkommende; Udslaget er forskelligt i de forskellige Retninger og hemmes dels af Ledfladernes Form, dels af Ligg. flava; disse, der i den samlede Hvirvelsøjle er elastisk spændte, og som derfor bevirker en ret anselig Forkortning af Rækken af de isolerede Buer, virker som Hemning saavel ved Bagudbøjning som ved Sidebøjning.

I det samlede Hvirvelsøjlepræparat er Bevægelsernes Omfang betydeligt mindre end i Rækken af isolerede Hvirvellegemer trods Buernes meget store Bevægelighed; Bevægelserne er tillige mere formbestemte. Skønt Amfiarthrosernes Ledflader er smaa, skønt deres Form ikke er særlig udpræget, og skønt Kapslerne er ret slappe, vil Bevægelserne dog i visse Retninger blive relativt hemmede, medens de i andre Retninger vil foregaa forholdsvis let, og da Leddene af de forskellige Typer ikke forekommer isolerede men i Serier, faar Amfiarthrosernes smaa Ejendommeligheder en afgørende Indflydelse paa Bevægelsesformen i Hvirvelsøjlens enkelte Afsnit. Man antager som Hovedregel, at Bevægelsens Omfang er bestemt af Symfyserne, Bevægelsens Form derimod af Amfiarthroserne.

I det følgende skal Hvirvelsøjlens enkelte Afsnit undersøges nærmere hvert for sig.

I Lændesøjlen er saavel Hvirvellegemerne med Undtagelse af den første, hos Mænd tillige den anden, som Symfyserne kileformede med størst Højde fortil; Lordosen dannes af selve Skelettet, idet den samlede Højde af Hvirvellegemerne er større fortil end bagtil. Dette gælder dog kun Europæere; hos lavere Folkeslag saavel som hos de anthropoide Aber betinges Lordosen alene af Disci intervertebrales (Cunningham). Glideleddenes Flader er næsten lodrette og danner tilnærmelsesvis Dele af samme Omdrejningscylinder, hvis Axe omtrentlig gaar gennem Roden af Prosessus spinosi; de øvre Ledflader er konkave og vender medialt og lidt bagtil, de nedre har dertil svarende Form.

Bevægelsen i Sagittalplanet sker ved Drejning om en frontal Axe, der ligger lidt bagved Symfysernes Midtpunkter; Amfiarthroserne kommer, idet de forskydes i Fladernes Længderetning, til at danne Styrekulisser for Bevægelsen. Bevægelsens Omfang er ret anseligt og skal være størst i ventral Retning, selv om Lordosen af den sidste Lændehvir-

vel ikke helt lader sig udrette. Opgivelserne er imidlertid ret forskellige hos forskellige Forfattere, antageligt fordi de individuelle Variationer er meget store.

Ogsaa Sidebøjning, Bevægelse om en sagittal Axe, er mulig men i langt mindre Omfang; da Bevægelsen foregaar om radiære Axer, vil der ske en Forskydning af Hvirvelcorpora saaledes, at de kommer til at vende noget til den konvexe Side.

Paa Grund af Amfiarthrosernes Bygning er Rotation i denne Del af Hvirvelsøjlen praktisk talt udelukket.

Brystsøjlen faar sit Særpræg derved, at Hvirvlerne er forbundne med Ribbenene og derigennem atter med Sternum og Skulderbæltet; man maa derfor paa Forhaand vente, at Bevægeligheden er mindre i denne end i de øvrige bevægelige Afsnit af Hvirvelsøjlen. Hvirvellegemerne er ubetydeligt lavere fortil end bagtil, og Symfyserne er forholdsvis lave. De øvre Ledtappes Flader staar omtrent i Frontalplanet men vender dog lidt lateralt og helder ubetydeligt fremad med deres øverste Ender; de er endvidere svagt konvexe fra Side til Side og kan med Tilnærmelse regnes for at ligge paa en Omdrejningsflade, hvis Axe forløber omtrent vertikalt. Axen gaar dog ikke, som man har paastaaet, gennem Hvirvellegemernes Centre men ligger noget foran disse.

Bevægeligheden i Sagitalplanet er forholdsvis ringe navnlig i dorsal Retning, man har endogsaa regnet Partiet fra 2' til 9' Brysthvirvel for ubevægeligt. Dette sidste er dog ikke rigtigt, Ventralflexion er i alt Fald mulig i ikke helt ringe Udstrækning; Dorsalflexionen er imidlertid meget stærkt begrændset; det er umuligt at udrette Dorsalkyfosen.

Da Axerne for Bevægelsen i Frontalplanet i det mest bevægelige Parti af Brystsøjlen forløber næsten horizontalt, er en ren Sidebøjning mulig, og denne foregaar tilmed i betydeligt Omfang; den er trods den Modstand, som navnlig Brystkassen yder, større i Brystregionen end i noget andet Afsnit.

Fremdeles er Brystsøjlen det eneste Afsnit af Hvirvelsøjlen, der tillader ren Rotation i større Omfang. Da Drejningen maa foregaa om Axer, der ligger foran Hvirvellegemerne, og altsaa er betinget af en Parallelforskydning mellem disse, er Bevægelserne mellem de enkelte Hvirvler kun smaa; men det samlede Resultat bliver dog en Drejning paa henved 30° til hver Side.

Halssøjlen er Hvirvelsøjlens friest bevægelige Afsnit. Hvirvellegemerne er smaa, Konturen er ovenfra set en Tværoval, Ledfladerne er saddelformede, den øvre konkav i frontal, konvex i sagittal Retning, og Symfyserne har altsaa en dertil svarende Form. Mellem de laterale Partier af Ledfladerne findes desuden ganske smaa ægte Led, homologe med Leddet mellem Atlas og Corpus epistrofei. Ledtappenes Flader ligger meget nær i samme Plan, der hælder omtrent ligeligt mellem Horizontal- og Frontalplanet; de øvre Ledtappes Flader vender bagtil og opad. Ledkapslerne er i denne Region meget slappe.

Bevægelse i Sagittalplanet saavel fremad som bagud er mulig i ret stor Udstrækning, idet denne Bevægelse begunstiges baade af Symfysernes Saddelflader og Amfiarthrosernes plane Flader, der let forskydes mod hinanden i Retning opad-fremad eller nedad-bagud.

Den anden Bevægelse, der i Halssøjlen er mulig i stor Udstrækning, er en Kombination af Sidebøjning og Rotation (»Neigungskreiseln«), der karakteriseres ved, at Forskydningen i de to Amfiarthroser foregaar i modsat Retning. Ren Sidebøjning og ren Rotation, derimod, er kun mulige i begrænset Omfang; Rotationsmuligheden tiltager, naar Ledfladerne paa Processus articulares nærmer sig til Horizontalplanet.

Ser man paa Hvirvelsøjlen som Helhed, vil man finde, at Formforandringen ved de ovenfor omtalte Bevægelser foregaar jævnt saavel ved Rotation som ved Sidebøjning og Fremadbøjning om end naturligvis Kurvens Krum-

ning er forskellig i de enkelte Afsnit. Ved Bevægelsen bagud i Sagittalplanet, derimod, bliver Kurven ikke jævn men danner 3 Buer, svarende ret nøje til de tre omtalte Regioner, af hvilke den dorsale er fremad eller opad konkav. De Steder, hvor Krumningen skifter fra konvex til konkav eller omvendt, er Partiet omkring 1' Lumbalhvirvel og Partiet ved 7' Halshvirvel. Den sidstnævnte Region har i gymnastisk Henseende underordnet Interesse, derimod er den førstnævnte Region gymnastisk set overmaade vigtig; fra ortopædisk Side (Haglund) har man betegnet Partiet paa Overgangen mellem Bryst og Lænd som Hvirvelsøjlens kritiske Region med Hensyn til Rygradsdeformiteternes Opstaaen; sikkert er det, at dette Parti er det letteste at mobilisere i større Udstrækning. Det kommer næppe ved en Gennemgang af Bevægelsesmulighederne indenfor de enkelte Afsnit med tilstrækkelig Tydelighed frem, i hvor høj Grad netop Overgangen mellem Bryst og Lænd er bevægelig ikke blot i Sagittalplanet men ogsaa i de øvrige Bevægelsesretninger, mindst udpræget er Forholdet, naar det gælder Fremadbøjning, mest markeret er det under Bagudbøjning; for Rotationens Vedkommende ligger det mest bevægelige Parti lidt højere, nemlig fra 8'—11' Brysthvirvel.

Naar man skal angive Bevægelsens Omfang, sker dette som Regel ved, at man bestemmer Vinkelbevægelsen mellem to i Forhold til den første og den sidste Hvirvel i det undersøgte Afsnit fastliggende Linier; man har paa denne Maade fundet, at den samlede Bevægelse i Sagittalplanet i Lænde- og Brystsøjlen hos Levende er ca. 90°, medens Rotationen som nævnt er ca. 30° til hver Side. Disse Gennemsnitstal har imidlertid forholdsvis ringe Interesse paa Grund af de overordentlige Variationer, som man træffer paa, saa snart Undersøgelserne udvides til et større Antal Personer, og dette saa meget mere, som Variationerne i alt Fald hidtil ikke har vist Tendens til at følge bestemte Love; Löhr angiver saaledes Bevægelsesomfanget i Sagittalplanet

hos en 12-aarig Arbejderdatter til 38,
11 — Bondedreng - 51,
11 — Arbejderdatter - 66 og
11 — — - 74°

Det er vel næppe rimeligt at antage, at en saa forskellig Bevægelighed skulde skyldes en tilsvarende forskellig Bygning af selve Hvirvelsøjlen; det sandsynligste er, at Hemningsapparatet kan virke forskelligt, hvilket især kan ventes at være Tilfældet, naar Hemningen er muskuløs. Og den muskuløse Hemning spiller for Hvirvelsøjlens Bevægelser utvivlsomt en meget stor Rolle; det maa vel antages, at saavel Knoglefremspring, f. Ex. Proc. spinosi, som ogsaa Ligamenter har Betydning som hemmende Faktorer, men det er dog sikkert Muskelhemningen, der er det væsentligste, idet en stærk passiv Udspænding af de paa konvexiteterne forløbende Muskler er ledsaget af Smertefornemmelse. Hvis det forholder sig saaledes, at Hemningen under sædvanlige Forhold er muskuløs, da forstaar man lettere de stærkt vexlende Talangivelser for Bevægelsesomfanget, og man forstaar, at en tidlig begyndt og energisk gennemført Mobilisation af Hvirvelsøjlen kan føre til saa barokke Resultater som dem, de saakaldte »Slangemennesker« frembyder. Det fortjener paa dette Sted endnu en Gang at fremhæves, at selv saadanne Artister dog ikke formaar helt at udrette deres Dorsalkyfose; men Udretningen af denne er altsaa ogsaa selv for et Slangemenneske ganske overflødig.

BRYSTKASSENS LEDFORBINDELSER.

Art. costo-centralis, Leddet mellem Ribbenshovedet og Hvirvelsøjlen, er en Amfiarthrose. Ledfladen paa Columna dannes af to Facetter, en paa hver af to Nabohvirvler, adskilte ved en Symfyse; den enkelte Facet har ikke nogen udpræget Form. Ledfladen paa Capitulum costæ er ligeledes

delt i to Facetter, adskilte ved en ru Kam, hvorfra et intraarticulært Ligament, hvis Fibre gaar over i den til Leddet svarende Symfyse, udspringer. Ledkapslen er forstærket ved et Baand, Lig. stellatum, der udspringer fra Ribbenshovedet og breder sig vifteformet ud paa Columna.

Art. costo-transversalis er en lille Amfiarthrose, der forbinder Tuberculum costæ paa de 10 øvre Ribben med Proc. transversus af de tilsvarende Hvirvler; Ledfladen er paa Tuberculum konvex, paa Proc. transversus konkav, men denne Form er kun udpræget i de 6 øvre Forbindelser, i de nedre Led nærmer Fladerne sig til at være plane. Ledfladerne paa Tværtappene ligger paa disses ventrale Flade men rykker efterhaanden opad saaledes, at de for de nedre Forbindelsers Vedkommende delvis indtager Tværtappens Overkant. Dette Led forstærkes af Lig. costo-transversale posterius, der forløber fra Spidsen af Tværtappen til Bagsiden af Ribbenet, samt Lig. costo-transversale interosseum fra Tværtappens Forflade til Bagfladen af Collum costæ. Disse to Baand danner i Forbindelse med Lig. stellatum en meget stærk Sikring mod en Afrivning af Ribbenet uden at hindre dettes Bevægelser.

De to sidstnævnte Led kan opfattes som beliggende paa samme Omdrejningskegle, hvis Toppunkt ligger i Costocentralleddet, og hvis Axe forløber horizontalt i en noget forskellig Retning. For øverste Ribbenspars Vedkommende er de to Axer omtrent sammenfaldende i Frontalplanet; ser man derimod paa de lange mellemste Ribben som f. Ex. 7' Par. da danner Axerne en Vinkel paa 45—50° med Frontalplanet; Overgangen er dog ikke jævn, allerede 2' Ribbens Axe devierer stærkt bagud, hvorefter Vinklen langsomt voxer til den før nævnte Værdi, som bliver ret uforandret for de nedre Ribbens Vedkommende.

Art. sterno-costalis I er en Synchondrose, der har stærk Tilbøjelighed til Forbening. Derimod er de følgende Ribbens Forbindelser med Sternum ikke rene Synchondroser,

idet Bruskenes forreste Ender er forbundne med Sternum ved ægte Led,

Artt. chondro-sternales. Disse er Amfiarthroser byggede som Costocentralleddene, idet de ligesom disse er delte ved et intraarticulært Ligament; de er desuden forsynede med ret stærke forreste og bageste Kapselligamenter. Forbindelserne mellem de nedre Ribbensbruske,

Artt. interchondrales er alle simple Amfiarthroser.

Chondrosternalleddenes Bevægelse er en Drejning om en Axe gennem Leddet, vinkelret paa Sternum; naar Ribbenet og Ribbensbrusken samtidig løftes, vil der ske en Udretning af Vinklen mellem Ribben og Brusk.

Brystkassens Led kan ikke vilkaarligt bevæges enkeltvis, men ved de Formforandringer af denne, som er en Følge af skiftende Legemsstillinger, bevæges de uvilkaarligt i forskellige Kombinationer. Brystkassens typiske vilkaarlige Bevægelse er Respirationsbevægelsen, der bestaar af to Faser, Inspirationsbevægelsen, som foregaar ud fra Brystkassens Ligevægtsstilling, og Expirationsbevægelsen, som er Bevægelsen fra Inspirationsstillingen tilbage til Ligevægtsstillingen eller under særlige Forhold udover denne i modsat Retning af Inspirationsbevægelsen.

Brystkassen er uregelmæsigt kegleformet eller svagt tøndeformet, noget fladtrykt forfra-bagtil. Ribbenene er fra deres Fæste rettede stærkt bagud saaledes, at Brystrummet paa Horizontalsnit viser sig nyreformet. Den sagittale Diameter er altsaa betydeligt kortere end den transverselle. — Naar man har sat denne Brystform i Forbindelse med den oprejste Gang, da er dette næppe helt korrekt for saa vidt som man træffer en lignende Brystform hos en hel Række af Pattedyr (flyvende, klatrende, svømmende Former), der aldrig bevæger sig i oprejst Gang, og som ikke har noget positivt Fællespræg, der kan antages at betinge Brystformen. Paa den anden Side synes saadanne Firføddede, der anvender alle fire Extremiteter til Gang og Løb maaske paa Grund af

Skulderbladenes Anbringelse at have en fælles Brystform for saa vidt som Diametra sagittalis hos disse er længere end D. frantalis. — For Menneskets Vedkommende findes den ovennævnte Brystform kun hos det voxne Individ; i Fosterlivet er den sagittale Diameter længere end den frontale, og endnu ved Fødslen er de to Diametre næsten lige lange, dog med en ubetydelig Overvægt for D. transversa. Først naar Barnet begynder at gaa udvikles den karakteristiske Brystform. Som tidligere omtalt er hos Nyfødte tillige Hvirvelsøjlens Krumninger svagt udtalte, ligesom Ribbenenes Hældning er mindre. Denne infantile Type bevares ofte under Opvæxten, saaledes at man ikke sjældent træffer Folk med meget rette Rygge og med en »dyb« Brystkasse, d. v. s., med en forholdsvis lang Diametra antero-posterior, ligesom omvendt en stærkt udtalt Dorsalkyfose ikke sjældent er forbundet med en stærk Hældning af Ribbenene og altsaa med en relativt kort sagittal Diameter. Heraf følger imidlertid ikke, hvad man ofte fejlagtigt har antaget, at Udretningen af en bestaaende Dorsalkyfose medfører en dybere Brystkasse (jfr. Duchennes ovenfor anførte Erfaringer). Det hvælvede Bryst er ligesom den rette Ryg blevet et Led i den »mandige« Holdning, der søges opnaaet gennem Gymnastik; denne er, som flere Gange fremhævet, et æstetisk Begreb; om den derimod i funktionel Henseender betinger en større Ydeevne, kan vistnok for nærværende ikke afgøres; det turde maaske være tvivlsomt, om der overhovedet lader sig opstille alméngyldige Regler paa dette Punkt.

Naar Brystkassen befinder sig i sin naturlige Ligevægtsstilling, d. v. s. i den sædvanlige Exspirationsstilling, da vil i Grundstillingen Ribbenene hælde ca. 45° mod Horizontalplanet. Hældningen er noget forskellig for de enkelte Ribbenspars Vedkommende, men kun de nedre, frie Ribben, Costæ fluctuantes, afviger nævneværdigt fra de øvrige, idet de ofte er meget stærkt nedadrettede.

Ved Inspirationsbevægelsen foregaar der en opadgaaende

Drejning af Ribben og Ribbensbruske om de ovenfor nævnte Axer, og denne Bevægelse medfører en Forøgelse af Brystkassens Rumfang, idet saavel den sagittale som den frontale og den verticale Diameter forlænges. Da Tilvæxten ikke er den samme i alle tre Retninger, og da den frontale og sagittale Diameters relative Længde varierer for hvert enkelt Ribbenspar, maa ogsaa Brystkassens Form i nogen Maade forandres ved Inspirationen. Det enkelte Ribbenspars Bevægelse er bestemt af Axernes Retning og af Forbindelsen med Sternum (Fig. 39). Under Bevægelsen vil ethvert Punkt i et Ribben bevæge sig paa en Cirkel med Centrum i Axen og beliggende i et Plan vinkelret paa denne; i en horizontal Projection vil et givet Punkt altsaa bevæge sig paa en ret Linie, vinkelret paa Axen og, da selv ved den voldsomste Respirationsbevægelse intet Ribbenspar vil naa den horizontale Stilling, altid bort fra denne. Betragter man et Punkt i den forreste Ende af Ribbenet, vil det altsaa bevæge sig bort fra Hvirvelsøjlen, hvilket atter vil sige, at Brystkassens sagittale Diameter vil blive forøget. Kun de to sidste Ribben følger ikke denne Regel, idet 11' Costa ved Inspirationsbevægelsen næppe forandrer sin Stilling, medens 12' snarest sænkes ganske lidt. Da 1' Ribbenspars Axer omtrent er sammenfaldende i Frontalplanet, kommer samtlige Punkter i disse til at bevæge sig i sagittale Planer, og der fremkommer saaledes ikke nogen Udvidning i Tværretning af øverste Thoraxapertur; en saadan Udvidelse vilde for øvrigt ogsaa af anden Grund være umulig: første Costa er nemlig ved en Synchondrose forbundet med Manubrium Sterni, og denne Ledform er som tidligere omtalt praktisk talt ubevægelig i Bruskens Længderetning. Betragter man derimod et af de lange, mellemste Ribbenspar, f. Ex. 7', da stiller Sagen sig anderledes. Dette Ribbens Axe afviger omtrent 45^0 fra Frontalplanet, og to symmetrisk beliggende Punkter vil altsaa i Horizontalprojection bevæge sig fremad paa divergerende Linier, hvilket betyder, at der i dette Ribbens Plan maa fore-

gaa en Udvidning af Brystkassen saavel i sagittal som i frontal Retning. Udvidelse i Tværretning er i dette Tilfælde mulig som Følge af Ribbensbruskens Retning og bevægelige Forbindelse med Sternum. Bruskens Forløb er ikke horizontalt men ret stejlt opad-medialt saaledes, at den danner en spids Vinkel med Sternalranden og en markeret Vinkel med den forreste Ende af Ribbenet; naar Brusken bevæger sig opad ved en Drejning i Chondro-sternalleddet, da vil bægge de nævnte Vinkler voxe, og Resultatet heraf bliver en Forøgelse af den samlede Længde af Ribben og Brusk, desto større, jo større Vinkelbevægelsen er. For 7' Ribbens Vedkommende vil der til en Løftning af Ribbensenden paa 1 cm svare en Vinkelbevægelse mod Sternum paa ca. 10^0, medens Vinklen mellem Ribben og Brusk derimod kun forandres nogle faa Grader. En saadan Bevægelighed mellem Ribben, Brusk og Sternum er altsaa en Forudsætning for, at Udvidelsen af Brystkassen i Tværretning kan finde Sted; uden en saadan vilde et Ribbenspar overhovedet ikke kunne drejes omkring divergerende Axer.

Medens Ribbenenes Løftning, Elevationen, er størst for de øvre Pars Vedkommende, er Udvidningen i Tværretning, Expansionen, størst for de lange mellemste Ribbens Verkommende.

Foruden de hidtil omtalte Bevægelser sker der under Inspirationen en Bagudgliden i Costo-transversalleddet, og endelig foregaar der en Løftning af den nedre Ribbensrand i Forhold til den øvre, en Vridning af Ribbenet om en Længdeaxe, hvilket medfører en Snoning af Ribbensbrusken; Sternum bevæger sig opad og bort fra Hvirvelsøjlen, men desuden foregaar der en Vinkelbevægelse mellem Corpus og Manubrium sterni saaledes, at Sternum under Inspirationen spændes i en fortil konvex Bue.

Den sædvanlige Exspirationsbevægelse er en Bevægelse fra Inspirationsstillingen tilbage til Ligevægtsstillingen. Naar der som f. Ex. under strængt Muskelarbejde stilles store For-

dringer til Lungeventilationen, vil Exspirationsbevægelsen dog fortsættes udover Ligevægtsstillingen, idet der sker en yderligere Sænkning af Ribbenene med de deraf flydende Følger; men desuden foregaar der en Forsnævring af den nedre Thoraxapertur, der synes at bero paa en direkte Spænding af de elastiske Ribben mere end paa en Bevægelse i Brystkassens Led.

Brystkassens Form og Bevægelighed har i Gymnastiken været Genstand for megen Opmærksomhed, der for saa vidt er berettiget, som Brystkassens Form er et væsentligt Moment i Holdningen. Med Hensyn til Bevægeligheden maa det erindres, at Brystkassens vilkaarlige Bevægelse er Respirationsbevægelsen, og denne opøves ved Anvendelse af Øvelser, der fordrer en forstærket Lungeventilation; adskillige gymnastiske Øvelser medfører betydelige passive Forandringer af Thoraxformen, under hvilke Lungerne maa tillempe sig efter de forandrede Pladsforhold; i alle saadanne Tilfælde maa det indtil videre bestemt fraraades samtidigt at foretage forcerede Inspirationsbevægelser, fordi disse kan vanskeliggøre Lungernes Tilpasning, muligvis give Anledning til Opstaaen af Emfysem, medens det, saa vidt vor nuværende Viden rækker, ikke er muligt at paavise, at de paa nogetsomhelst Punkt skulde være i Stand til at gøre Nytte.

BÆKKENETS LEDFORBINDELSER.

Symfysis sacro-iliaca betragtes efter nyere Undersøgelser af anatomiske, navnlig histologiske, Grunde som en Diarthrose; da dette Led imidlertid i funktionel Henseende ganske har Karaktér af en lidet bevægelig Symfyse, bibeholdes hér den gamle Betegnelse. Facies articularis paa Os sacrum er bruskklædt med uregelmæsig, buklet Overflade; i øvrigt er Fladens typiske Form saavel som dens Hovedretning noget forskellig; i de fleste Tilfælde konvergerer dog de

to Flader bagtil saaledes, at Os sacrum bliver indkilet imellem de to Ossa coxæ forfra; som Følge heraf vil Legemets Vægt, der hviler paa Promontorium, have Tendens til at trykke Korsbenet ind i Bækkenhulen. Denne Tendens modvirkes om end i ringe Grad af Ledfladernes Form, idet Ledfladen paa Os ilium har mere eller mindre fremtrædende Bukler svarende til Fordybninger paa Korsbenets Flade og omvendt, men først og fremmest dog af den mægtige Baandmasse, der under ét kan kaldes Ligg. sacro-iliaca posteriora. Denne Baandmasse udfylder det hele kileformede Mellemrum mellem Ilium og Sacrum bagved Facies auricularis; de dybeste ganske korte Fibre har alle Retning omtrent vinkelret paa Os sacrums Længdeaxe, de mere overfladige faar efterhanden et mere og mere skraat Forløb, de mest overfladige udspringer fra Spina ilei posterior superior, hvorfra de forløber nedad parallelt med Os sacrums Længdeaxe; paa Leddets Forside findes desuden et svagere Ligament, Lig. sacro-iliacum anterius, hvis Retning er vinkelret paa Sacrum.

Bevægeligheden i dette Led er naturligvis meget lille; den bestaar i en Drejning omkring en horizontal, transversel Axe, der gaar gennem Sacralkanalen udfor 2' Sacralhvirvel, og viser sig som en ringe Forøgelse resp. Formindskelse af de to Bækkenaabningers sagittale Diameter. Bevægelsen hemmes foruden af Ledbaandene i snævrere Forstand ogsaa af de to stærke Ligg. sacro-spinosum & tuberosum, der tillige danner en Del af Bækkenhulens Væg. I andre Retninger bestaar Leddets Bevægelse kun i en vis Fjedren. — De to Ossa coxæ er fortil forbudne ved

Symfysis ossium pubis, »Symfysen«, der er Prototypen paa denne Form for Ledforbindelse. Symfysen er oval paa Tværsnit; dens lange Axe, der er forholdsvis længere hos Mænd end hos Kvinder, danner med Horizontalplannt en Vinkel paa 30^0, naar Bækkenet er i normal Stilling; Symfysen er paa alle Sider forsynet med kraftige Baand, af hvilke det paa Forsiden er det solideste, idet det Træk,

som Legemsvægtens Tryk paa Promontorium udøver paa de bageste Ligamenter, tenderer til at fjærne de to Ossa coxæ fra hinanden fortil.

Med Hensyn til Bevægeligheden i Bækkenets Ledforbindelser vil særlig for det kvindelige Bækkens Vedkommende to modstridende Interesser gøre sig gældende. Paa den ene Side fordrer en kraftig Brug af Underextremiteterne, at Bækkenets Skelet er fast og solidt, og Forbindelsen mellem de enkelte Knogler saa ueftergivelig som muligt; dog vil en vis Fjedren i alle Tilfælde være af Betydning, da en saadan tjener til at afværge Brud paa Skelettet, naar dette udsættes for ydre Vold. I Oversensstemmelse med denne Fordring er som omtalt Hemningen ligamentøs ikke muskuløs. Paa den anden Side vil en friere Bevægelighed kunne faa en meget stor Betydning ved Fødselsakten; man finder da ogsaa i Overensstemmelse hermed det kvindelige Bækkens Skelet mindre stærkt og dets Ledforbindelser løsere end det mandlige Bækkens; den større Bevægelighed skyldes dels, at Ligamenterne er mindre solide, dels, at de primitive Ledhuler i Symfyserne er forholdsvis mere udviklede, saaledes at det navnlig i Iliosacralleddene kan komme til en virkelig Gliden mellem Fladerne, men desuden træffer man efter de fleste Forfatteres Mening i Svangerskabets sidste Periode en forøget Eftergivelighed af selve det fibrøse Bindevæv, en Eftergivelighed, der for øvrigt ikke er indskrænket til Ligamenterne men gælder Bækkenets Bindevæv overhovedet. Ved Gennemskæring af Symfysen paa dette Tidspunkt kan de to Snitflader fjærnes flere Centimeter fra hinanden. Ogsaa for Udviklingen af den normale Bækkenform har disse Ledforbindelser Betydning; en tidlig Sammenvoxning, Ankylose, af Symfysis sacro-illiaca medfører et misdannet Bækken. Den forskellige Bækkenform hos de to Køn findes nærmere omtalt i Indledningen til den specielle Gymnastikteori.

Art. sterno-clavicularis, Leddet mellem Brystben og Nøgleben, er et Led, hvis Flader er meget uregelmæsigt formede, og hvis Bevægelser foregaar i ret uregelmæsige Baner. Som oftest nærmer Ledfladerne sig dog mere eller mindre til Saddelflader; den sternale Flade, der kan strække sig noget ud paa 1' Ribbensbrusk, er da konkav i sin Længderetning, konvex i en Retning vinkelret paa Manubrium, medens den langt bredere claviculære Flade er krummet paa tilsvarende Maade. Den store Forskel i Fladernes Udstrækning udlignes til dels af en indskudt fibrocartilaginøs Menisk, der er tykkere opadtil end nedadtil og tykkere i Randen end i Centrum; Menisken er opad fæstet til Clavicula nedad til Sternum eller 1' Ribbensbrusk, dens Rand er overalt forbundet med Kapslen, der er ret Løs men meget stærk navnlig fortil og bagtil. Saavel fortil som bagtil findes desuden stærke Ligamenter; de to Claviculæ er endelig forbundne med hinanden ved Lig. interclaviculare. — Leddet er altsaa et saakaldet Dobbeltled, og dets Bevægelsesfrihed er større, end Fladernes Form i et enkelt Led vilde tillade. Bevægelsen foregaar imidlertid ikke omkring Axer gennem Leddet men omkring Tilheftningsstedet for Lig. costo-claviculare som Drejepunkt, saaledes at hele Nøglebenet, naar det følger Yderpunkterne for sin Bevægelsesbane, kommer til at beskrive en Dobbeltkegle, hvis Toppunkt ligger i det nævnte Ligament. Den acromiale Ende kan beskrive en Ellipse, hvis lange Axe ligger omtrent horizontalt i Sagittalplanet og maaler omtrent 12 cm, medens den lille Axe maaler ca. 10 cm. I Hvilestillingen ligger Nøglebenet omtrent horizontalt; det har, regnet fra Sternum, Retning udadbagud saaledes, at det danner en Vinkel paa 25—45° med Frontalplanet; i denne Stilling træffer Knoglens acromiale Ende omtrent 1 cm over det nedre Endepunkt af Bevægel-

sesellipsens lille Axe. Rotation om Længdeaxen er kun mulig i meget begrændset Udstrækning, den hemmes af Lig. costo-claviculare. Bevægelsen nedad begrændses stærkt af første Ribben; for øvrigt er Hemningen i stor Udstrækning muskuløs og skyldes da de store Muskler fra Kroppen til Skulderbladet.

Art. claviculo-acromialis. Den acromiale Ende af Clavicula er forbundet med Scapula ved en lille Amfiarthrose, hvis acromiale Flade er svagt koncav med sin længste Udstrækning i sagittal Retning, medens den claviculære Flade er tilsvarende konvex. Kapslen forstærkes ved et solidt øvre og et svagt nedre Baand. Leddet er ofte halvvejs delt af en kileformet Menisk, der fra den øvre Del af Kapslen skyder sig ned i Leddet. Forbindelsen mellem de to Knogler styrkes yderligere af det meget stærke Lig. coraco-claviculare. — Ogsaa dette Leds Bevægelsesfrihed er paafaldende stor, idet man i Almindelighed tilskriver det 3 Grader af Frihed; Bevægelsens Udslag i Vinkelmaal er imidlertid ret ringe. — Dette lille Led forøger i høj Grad Skulderbladets Bevæge lighed i Forhold til Sternum og herigennem atter Armens Bevægelsesfrihed.

Art. humeri, **Skulderleddet,** er et meget frit bevægeligt Kugleled, hvis Ledskaal, Fossa glenoidalis, er beliggende paa Skulderbladet. Ledskaalens Kontur er som en skæv Pære med Stilken vendende opad, dens Udstrækning er i vertical Retning ca. 90°, i horizontal Retning derimod kun 50° paa det bredeste Sted. Ledskaalen fordybes noget af den langs hele Omkredsen forløbende fibrocartilaginøse Ring, Labrum glenoidale; denne er paa Tværsnit trekantet, og den ene Flade, der er svagt konkav, danner en Fortsættelse af Ledskaalens Kugleflade; dens Fibre gaar ved Tuberositas supraglenoidalis for største Delen over i Bicepssenen. Overarmsknoglens Ledhoved, Caput humeri, er meget nær halvkugleformet; den vertikale Diameter er dog lidt længere end den horizontale; Ledfladens Udstrækning er

omtrent $^2/_5$ af en Kugle og Diameteren gennem Fladens Toppunkt danner med Humerusaxen en Vinkel paa 135°. Kapslen er vid og slap, paa flere Punkter navnlig nedad og bagtil ret svag, paa andre Partier styrket ved ligamentagtige Strøg; af extrakapsulære Ligamenter findes kun det fra Basis af Proc. coracoideus til Tuberositeterne forløbende Lig. coraco-humerale. Til Gengæld støttes Skulderleddet af flere Muskelsener, der dels tjener til at holde Ledhovedet paa Plads, dels virker som »Kapselspændere«; i sidstnævnte Egenskab virker navnlig Mm. supra- & infraspinatus, M. subscapularis og den lange Bicepssene; til at holde Ledfladerne sammen tjener endvidere Cap. longum tricipitis, Coraco-brachialis og Deltoideus. Ledhovedet er yderligere beskyttet af en Slags Halvtag dannet af Acromion, Proc. coracoideus og Lig. Coraco-acromiale; yderst er endelig hele Leddet dækket af M. deltoideus. Trods disse Sikkerhedsforanstaltninger er dog Skulderleddet det Led, der lettest luxerer; omtrent Halvdelen af samtlige Luxationer falder paa dette Led. Grunden hertil maa søges i Ledskaalens ringe Udstrækning og Kapslens Vidde.

Naar Skulderbladet er frit bevægeligt, kan Armen svinges saaledes, at den beskriver en Cirkel i Sagittalplanet; den kan endog i fremadført Stilling naa betydelig længere medialt. Er Skulderbladet fixeret, bliver Armens Bevægelsesbane stærkt indskrænket men er dog endnu meget betydelig. Selve Skulderleddets Bevægelsesomfang er i Frontalplanet ca. 150°, hvoraf henved 80° falder paa Abductionen; Adductionen kan ikke foregaa i nævneværdig Udstrækning, saa længe Armen er i Grundstilling, den kan derimod demonstreres, naar man fixerer Scapula i en udadroteret Stilling. Bevægelsen i Sagittalplanet anslaas ligeledes til at strække sig over 150°, idet Flexionsbevægelsen er ca. 90, Extensionen henved 60°. Størst er Bevægelsesomfanget i et lodret Plan, hvis Retning er udefra-bagfra fremad-indad. Rotation er mulig i alle Stillinger af Leddet og naaer i de fleste

en Udstrækning af omtrent 90°. Man danner sig bedst et Skøn over Rotationens Størrelse ved at benytte den retvinklet flekterede Underarm som en Viser for Bevægelsen; da Sidebevægelser i Albuleddet er udelukkede, maa en Vinkelbevægelse af Underarmen i den nævnte Stilling skyldes Rotation i Skulderen. I stærkt bagudført og i eleveret Stilling af Armen er Rotationsmuligheden formindsket; den forøges i alle Stillinger, naar Scapula ikke er fixeret.

Naar Armen bevæges ud over de anførte Grændser, da maa der foruden Bevægelsen i Skulderleddet foregaa en Bevægelse af Scapula i »Muskelleddet«; dette er imidlertid ikke saaledes at forstaa, at sædvanlige Bevægelser først foregaar i Skulderleddet, indtil Grændsen for dettes Bevægelighed er naaet, hvorefter Skulderbladet begynder at bevæge sig; under normale Forhold indledes Bevægelsen samtidig i de to Led, og hvert Leds Andel i det samlede Resultat vexler med Bevægelsens Form og Udstrækning. Man har paastaaet, at den lodret eleverede Stilling af Armen skulde være forbundet med en uvilkaarlig, tvangsmæsig Udadrotation af Humerus. Dette er dog ikke rigtigt; i Strækstillingen vender, som R. Fick har gjort opmærksom paa, Condylus externus humeri altid bagud; men den Rotationsbevægelse, som er nødvendig for at naa til denne Stilling, er forskellig, eftersom Stillingen indtages gennem en Flexions- eller en Abductionsbevægelse, hvad man let kan overbevise sig om ved at anstille Prøven med Underarmen som Viser, idet man erindrer, at Udadrotation er en Rotation i Tommelens Retning, medens Indadrotationen foregaar til Lillefingersiden.

Abductionsbevægelsen hemmes i sidste Instans ved, at Humerus støder an mod Acromion og Lig. coraco-acromiale, men for øvrigt er Leddets Hemning væsentlig muskuløs. Da Hemningen for Bevægelsen af Skulderbladet ligeledes i overvejende Grad er Muskelhemning, er den samlede Bevægelsesmulighed i Skulderen stærkt varierende individuelt, og Be-

vægelsesomfanget kan ofte forøges meget betydeligt ved Øvelse.

Art. cubiti, **Albuleddet,** er et sammensat Led, idet Ledkapslen indeslutter forskellige Bevægelsesmekanismer. Den distale Humerusende, der er noget fremadvendt og affladet i dorso-ventral Retning, har to Ledflader, hvis Bruskklædning dog uden Afbrydelse gaar over i hinanden. Den mediale Ledflade, Trochlea, er en furet Cylinderflade, der lateralt ender med en fremspringende Kant; dens Vinkeludstrækning er henved 330°; lateralt for denne findes en mindre, halvkugleformet, konvex Flade, Capitellum humeri, hvis Toppunkt vender næsten ventralt. Tilsammen danner disse to Flader en Rotationsflade, hvis Ledelinie er den laterale Kant af Trochlea. Den proximale Ende af Radius bærer en Ledflade af ejendommelig Form; den proximale Flade er en konkav Kugleflade svarende til Ledfladen paa Capitellum humeri; Kuglefladens Periferi gaar over i en smal ringformet Flade, der er i Kontakt med den laterale Side af Kanten paa Trochlea, og denne Flade gaar atter over i en næsten circulær Kegleflade med Spidsen vendende distalt, som articulerer med Lig. annulare og Incisura semilunaris minor paa Ulna. Den øvre Ende af Ulna har fortil en stor Ledflade, Incisura semilunaris major, der opad er begrændset af Olecranon, nedad af Proc. coronoideus; denne Ledflade, hvis Udstrækning er ca. 160°, svarer i Hovedsagen til Trochlea humeri, om end de to Flader ikke helt er kongruente; Fladen gaar radialt umiddelbart over i den før nævnte Ledflade for Radius. Den fælles fibrøse Ledkapsel fæster sig paa Ulna langs Ledfladens Rand, kun paa Olecranon fæster den sig længere bagtil, saaledes at Spidsen af denne bliver intrakapsulær; lateralt gaar den over i Ringbaandet. Paa Humerus følger Tilheftningslinien ikke Ledfladens Rand men forløber højere oppe saaledes, at Kapslen kommer til at indeslutte de to svage Fordybninger Fossa radialis og Fossa coronoidea samt, paa Bagfladen, det meste af Fossa olecrani. Synovial-

hinden følger den fibrøse Kapsel; kun paa Collum radii gaar den længere ned, idet den danner en Poche ned under Ringbaandet. Kapslen er slap for og bag men stram paa Siderne, hvor den er forstærket med to solide Ligamenter, Ligg. collateralia mediale & laterale, af hvilket det indre er bredt og breder sig vifteformigt ud paa Ulna, medens det laterale er smallere og perifert gaar over i Ringbaandet.

Der findes altsaa i Albuleddet tre enkelte Led nemlig Humero ulnarleddet, som er et Hængselled om end ikke et ganske regelret, Humero-radialleddet, som er et Kugleled, hvis Bevægelser imidlertid paa Grund af Forbindelsen mellem Radius og Ulna er indskrænkede til Flexion-Extension og Rotation, endelig Radio-ulnarleddet, som er et Drejeled. Disse tre Led danner to Bevægelsesmekanismer, af hvilke den ene, det egentlige Albuled, er Forbindelsen mellem Over- og Underarm, den anden tilhører det kombinerede Radio-ulnarled og skal nærmere behandles i det følgende Afsnit.

Det egentlige Albuled dannes altsaa af den samlede nedre Ledflade paa Humerus som Ledhoved og af Incisura semilunaris major og den proximale Ledflade paa Radius som Ledskaal. Dette Led er i store Træk betragtet et Hængselled men frembyder dog visse Afvigelser fra den rene Type. For det første er Ledaxen ikke vinkelret paa de to forbundne Afsnits Længdeaxer, men Humerusaxen danner med Ulnas Længdeaxe en udad aaben Vinkel, Cubitalvinklen, der gennemsnitligt er 10—18° mindre end den lige Vinkel og noget mindre hos Kvinder end hos Mænd. Da de to Længdeaxer omtrentligt danner samme Vinkel med Ledaxen vil Over- og Underarm ved Bøjning i Albuleddet komme til at ligge i samme »Plan«. For det andet er Leddets før omtalte Ledelinie ikke plan men danner en Del af en Skruelinie, hvis Parameter imidlertid er saa lille, at dette Forhold ikke væsentligt berører Bevægelsen i Leddet. Endelig for det tredie er Leddets Axe ikke fastliggende men beskriver under Bevægelsen en Kegleflade med

uregelmæsig bugtet Ledekurve; dette hidrører fra, at Ledfladerne ikke er kongruente; kun den midterste Del af Fladerne er stadig i Berøring med hinanden. Leddet har dog trods alt udpræget Ginglymuskarakter. Hvis Armen kan strækkes saaledes, at Overarm og Underarm falder i hinandens Forlængelse, da er Flexionens Omfang ca. 160°; foruden denne Bevægelse er en ganske ringe Ab- og Abductionsbevægelse mulig; denne kan maaske spille en Rolle for Pronationsbevægelsen men er for det egentlige Albuled uden Betydning.

Albuleddets Hemning er dels passivt muskuløs, saaledes hemmes Flexionen ved at Musklerne paa Over- og Underarm støder sammen, dels ogsaa til en vis Grad ligamentøs, idet det brede Lig. collaterale internum strammes saavel ved Flexion (bageste Rand) som ved Extension (forreste Rand), dels endelig ved extreme Bevægelser ossøs, idet Proc coronoideus eller Olecranon kommer til at støde an mod Humerus.

Forbindelsen mellem de to Underarmsknogler bestaar dels af en Syndesmose, Membrana interossea, dels af det kombinerede Radioulnarled, der atter er dannet af to Drejeled, af hvilket det øvre allerede er omtalt i Forbindelse med Albuleddet; det nedre,

Art. radio-ulnaris inferior, adskiller sig fra det øvre derved, at den konvexe Ledflade ligger paa Ulna, medens den konkave dannes af Radius. Fladerne er Omdrejningsflader. Leddets Axe er parallel med Ulnas Længdeaxe og rammer nær Basis af Proc. styloideus. Dette Led er skilt fra Haandleddet ved en Bruskskive, hvis Basis er fæstet til Radius langs den nederste Rand af Incisura semilunaris, og hvis Spids ved Hjælp af et Ligament er fæstet til Proc. styloideus ulnæ.

Axen for det kombinerede Led ligger skraat i Forhold til Underarmens Længdeaxe, idet den har Retning fra Midten af den proximale Ledflade paa Radius til Basis af Proc. sty-

loideus ulnæ, den falder altsaa ikke sammen med Axerne for de isolerede Led, og Bevægelsen om denne Axe maa derfor forudsætte en vis Eftergivelighed i disse. Bevægelsen i Leddet er den saakaldte Pronations- og Supinationsbevægelse. I Grundstillingen ligger de to Underarmsknogler parallelt med hinanden, Supinationsstillingen; herfra foregaar Pronationen ved en Drejning om den ovenfor omtalte Axe saaledes, at den distale Ende af Radius kommer til at ligge foran og medialt for Ulna, Pronationsstillingen; da Haanden følger med Radius vender Haandfladen i Supinationsstillingen fremad, i Pronationsstillingen vender derimod Haandryggen fremad. Naar Bevægelsen foregaar alene i Radio-ulnarleddet, er dens Omfang ca. 120^0; i Almindelighed sker der imidlertid samtidig Bevægelse i Skulderleddet, maaske ogsaa Bevægelse af Skulderbladet, og Haandens Drejning kan da blive betydeligt større. Samtidig med Bevægelsen i Radioulnarleddet maa der naturligvis foregaa en Bevægelse i Art. humero-radialis; men da Fladerne i dette Led har samme Krumning i alle Retninger, er Pronationen mulig i alle Stillinger af Albuleddet. I Supinationsstillingen virker Membrana interossea og navnlig Corda obliqua som Hemning; Pronationsbevægelsen hemmes af Ledkapslerne og Muskulaturen navnlig af Bicepssenen i sidste Instans ved Knoglernes Krydsning. — Pronationsstillingen er homolog med Underextremitetens Stilling.

Art. manus, **Haandleddet,** omfatter to Led: Art. radio-carpea og Art. intercarpea, desuden findes et lille isoleret Glideled mellem Os pisiforme og Os triquetrum; dette skal imidlertid ikke omtales nærmere.

I Radiocarpalleddet dannes den proximale, konkave Flade af den distale Ledflade paa Radius i Forbindelse med Cartilago triangularis; Fladen er ellipsoidisk, og dens lange Axe forløber i radioulnar Retning. Den distale, konvexe Flade dannes af de tre øvre Haandrodsknogler, der er indbyrdes forbundne ved interossøse Ligamenter; den er i Form meget

nær kongruent med den øvre Flade. Leddet er altsaa et Ægled, der tillader Bevægelse saavel om en radioulnar som om en dorsovolar Axe, desuden finder man en ikke ringe Bevægelighed omkring en tredie, paa de to første vinkelret Axe, Rotationsaxen, grundet paa, at den distale Flade i ret høj Grad lader sig deformere.

I Intercarpalleddet, der dannes af de to Rækker af Haandrodsknogler, er Ledfladerne nærmest at betragte som stærkt furede Cylinderflader, navnlig skal Forbindelsen mellem Os lunatum paa den ene Side og Os. capitatum & hamatum paa den anden danne en udpræget Ginglymus; ogsaa den distale Række af Knogler er indbyrdes forbundne ved interossøse Ligamenter, der tillader en vis indbyrdes Bevægelsesfrihed, men Leddet maa dog i Hovedsagen betragtes som et 1-axet Led.

Medens Ledhulen i Radiocarpalleddet danner en isoleret Hule af en ret enkel Form svarende til Leddets, er Ledhulen i Intercarpalleddet meget uregelmæsig, idet den sender Udløbere ind mellem de enkelte Knogler; den staar som Regel tillige i Forbindelse med Carpometacarpalleddet. Til hvert Led hører en fibrøs Kapsel beklædt med Synovialhinde, hvis Form er som omtalt for Ledhulernes Vedkommende; desuden findes talrige Forstærkningsbaand, blandt hvilke maa nævnes de to collaterale Ligamenter, der fra de to Processus styloidei strækker sig ned til bægge Rækker af Haandrodsknogler, Ligg. radiocarpea dorsale & volare, af hvilke det sidste er meget stærkt, endvidere findes talrige saavel dorsale som volare Ligamenter mellem de enkelte Knogler, i store Træk saaledes anordnede, at de danner en stjærneformet Figur med Centrum i Os capitatum. Endelig er hele Haandroden spændt i en dorsalkonvex Bue af det meget solide Lig. carpi volare proprium, hvorved der dannes en Kanal for Flexorsenerne.

Haandleddets Bevægelser er ret komplicerede, idet nyere Undersøgelser, navnlig ved Hjælp af Røntgenstraaler, har vist, at der i ikke ringe Udstrækning foregaar Bevægelser

mellem de enkelte Knogler saaledes, at Ledfladerne til Stadighed undergaar betydelige Formforandringer; man har sammenlignet den hele Mekanisme med et Kugleled med Centrum i Capitulum ossis capitati. Der findes imidlertid ikke fri tredimensional Bevægelighed, idet Rotationsmuskler i egentlig Forstand ikke findes; men Haandens Orientering antages at foregaa efter den Listing'ske Lov (Sml. Bevægelsen af Bulbus oculi). Efter Henke kan samtlige Bevægelser tænkes at foregaa om to vindskæve Axer, der skærer hinanden i Spidsen af Os capitatum; den ene af disse Axer gaar gennem den radiale-proximale-dorsale Kant af Os naviculare i ulnar-distal-volar Retning til Midten af Leddet mellem Triquetrum og Pisiforme, den anden forløber transverselt radial-volart ulnar-dorsalt; Undersøgelser af Braune & O. Fischer synes at retfærdiggøre denne Opfattelse.

Ser man paa Bevægelsens ydre Form, da foregaar denne i to Hovedretninger, hvorefter den benævnes Dorsal- og Volarflexion, Radial- og Ulnarflexion. Den første af disse Bevægelser, hvis Omfang er ca. 170°, bestaar i en Extension resp. Flexion i saavel Radiocarpal- som Intercarpalleddet; Bevægelsen i dorsal Retning foregaar hovedsagelig i sidstnævnte Led, medens Volarflexionen navnlig foregaar i Radiocarpalleddet. Ved Radialflexion foregaar der en Flexion i Radiocarpalleddet, en Extension i Intercarpalleddet, ved Ulnarflexion foregaar Bevægelsen i bægge Led i modsat Retning; det samlede Bevægelsesomfang er i Gennemsnit 54°. Det Plan, hvori Radioulnarflexionen foregaar, er ikke parallelt med Underarmens radio-ulnare Plan men danner en til Radialsiden aaben Vinkel paa ca. 16° med dette, idet Haandens Volarplan paa Radialsiden afviger i dorsal Retning.

Art. carpo-metacarpea, Leddet mellem Haandrod og Mellemhaand, er, naar Leddet mellem Metacarpus I og Multangulum majus undtages, en meget lidt bevægelig Forbindelse. De 4 ulnare Led har som Regel en fælles kom-

pliceret Ledhule, der som omtalt oftest kommunicerer med Intercarpalleddet; undertiden findes der dog en isoleret Ledhule for de to mest ulnare Led. Mellemhaandsknoglernes proximale Ender er fast sammenbundne saavel indbyrdes som med de distale Haandrodsknogler ved stramme dorsale, volare og interossøse Ligamenter og danner et ret ubevægeligt Hele med en til Haandrodens Hvælving svarende Konvexitet. Paa Grund af den svagt saddelformede Ledflade paa Os hamatum har dog Metacarp. V en vis Bevægelsesfrihed i volar-radial Retning; Bevægelsen i dorsal og ulnar Retning hindres af det stærke volare Lig. capitulorum transversum. Denne Bevægelighed har Betydning ved 5' Fingers Oppositionsbevægelse og ved Huling af Haanden. En særlig Omtale kræver

Art. carpo-metacarpea I. Dette Led er et Saddelled, hvis proximale Ledflade er konvex i dorso-volar Retning, konkav i radioulnar Retning (Man erindre, at de forskellige Planretninger for Tommelens Vedkommende afviger 45° fra de dermed ensbenævnte Retninger i Haanden). Den distale Flade har en tilsvarende Form, men dens konkave Krumning er væsentlig svagere, den konvexe derimod stærkere end den øvre Flades tilsvarende Krumninger, hvilket bevirker, at Ledfladerne kun kommer til at berøre hinanden i Leddets Midte; heraf resulterer atter en forholdsvis betydelig Rotationsfrihed i Leddet. Bevægelsens Omfang er forskellig i forskellige Retninger: Flexion-Extensionen er ca. 60°, Ab-Adductionen er ca. 40° og Rotationen ca. 30°; denne sidste Bevægelse kan ikke foretages vilkaarligt, den er dels passiv, dels en bunden Bevægelse ledsagende andre sammensatte Bevægelser i Leddet, blandt hvilke den bekendte Oppositionsbevægelse, der er sammensat af Flexion, Adduction og Rotation.

Art. metacarpo-phalangea, **Knoleddet,** er som tidligere nævnt en Ginglymarthrodi. Ledfladen paa Mellemkaandsknoglen danner omtrent en Halvkugle med afskaarne

Sidepartier; Radien til Toppunktet er rettet volar-distalt. Den distale Ledflade er lidt svagere krummet og meget mindre i Udstrækning; kun Tommelens Led afviger noget fra Kugleformen. Kapslen er ret vid men forsynet med stærke Sideligamenter, der i Hovedsagen forløber skraat distalt-volart, hvorved de spændes stærkt i Flexionsstillingen, afslappes i Extensionsstillingen; men for øvrigt er de ret brede og spredes vifteformigt paa Fingerknoglen, saaledes at en af Randene altid vil være noget strammet i extreme Stillinger af Leddet; desuden findes et meget stærkt volart Ligament, og endelig er Leddet forstærket af Senerne fra Mm. interossei & lumbricales. Bevægelsesomfanget i dorso-volar Retning er 90—100°. I Bøjestilling, hvor Sideligamenterne er spændte, er denne Bevægelse den eneste mulige; i den strakte Stilling af Leddet derimod, kan der tillige foregaa Bevægelser om andre Axer navnlig i radio-ulnar Retning, Sprede- og Samlebevægelser; disse referere sig til en Axe gennem 3' Finger, der danner en Forlængelse af Underarmens Længdeaxe. Sprede- og Samlebevægelser er ledsagede af bunden Rotation, der dog i de fleste Tilfælde er ringe, for Pegefingerens Vedkommende indtil 11°. Kun Tommelens Led danner ogsaa i denne Henseende en Undtagelse; i dette naaer Rotationen 30° og bidrager i væsentlig Grad til Oppositonsbevægelsen. — Hemningen er i disse Led først og fremmest muskuløs, hvorfor Bevægelsens Omfang kan forøges meget ved Øvelse.

Artt. interphlangeæ, Fingerleddene, er udprægede Hængselled. Den proximale Ledflade, der er noget volart rettet, er en konvex furet Cylinderflade, omtrent 180° i Udstrækning; den distale dermed kongruente Flade er derimod kun henved 90°; Leddets Axe er radio-ulnar, Kapslen er i Bevægelsens Retning vid, den er forstærket med stramme Side ligamenter og meget solide volare Ligamenter. Vinkelbevægelsen er lidt mere end 90° og foregaar alene i Flexionsretningen.

***Art. coxæ*, Hofteleddet.** Den bruskklædte Del af Caput femoris udgør omtrent $^2/_3$ af en Kugle; i Fladens centrale Parti findes en svag Fordybning, Fovea capitis, til Fæste for det intrakapsulære Ligamentum teres. Ledskaalen, Acetabulum, er en halvkugleformet Fordybning paa Os coxæ, hvis Rand nedad og fortil har en dyb Indskæring, Incisura acetabuli, der som en rendeformet Fure, Fossa acetabuli, fortsætter sig ind til Ledskaalens Centrum; den bruskklædte Del af Acetabulum er bredt hesteskoformet. Et fibrøst Baand, Lig. transversum, danner Bro over Incisura acetabuli; fra dette og fra Bunden af Fossa acetabuli udspringer Lig. teres. Acetabulum fordybes af en paa Gennemsnit trekantet, fibrøs eller fibrocartilaginøs Ring, Labrum glenoidale, der fæster sig langs Randen af Acetabulum og Lig. transversum. Synovialhinden udgaar fra Ledhovedets Bruskrand og fæster sig paa Labrum glenoidale saaledes, at der dannes en lille Omslagsfold; den beklæder ligeledes Lig. teres. Den fibrøse Kapsel udspringer fra Randen af Acetabulum og de tilgrændsende Dele af Os coxæ, den fæster sig paa Forfladen langs Linea intertrochanterica, paa Bagfladen langs Furen for Obturator externus Senen; i selve Kapslen findes flere fortykkede Strøg, hvorimellem tyndere Partier; i det Hele er Kapslen ret vid. Det stærkest udviklede Kapselbaand er Lig. ilio-femorale s. Bertini, der udspringer fra Os ilium helt hen imod Spina anterior inferior, og som deler sig i to stærke Crura med et mellemliggende svagere Parti; det øvre af disse forløber omtrent horizontalt, det nedre næsten vertikalt til henholdsvis øverste og nederste Ende af Linea intertrochanterica. Foruden dette Baand skal nævnes et Strøg i den indvendige Del af Kapslen, Zona orbicularis, der fra den øverste mediale Del af Kapslen som en Slynge gaar ned omkring Collum femoris. Leddet er yderligere forstærket af de forbiløbende Muskelsener, af hvilke flere ved Bindevævsstrøg er fæstede til Kapslen (Rectus, Ilio-psoas).

Leddets Bevægelser er Flexion-Extension, Ab-Adduction og Rotation. Ser man bort fra den sidste, kan Bevægelsen tegnes ind paa et sfærisk Gradnet, hvis Centrum findes i Ledhovedets Midtpunkt, hvis Æquator er beliggende i Sagittalplanet, og hvis 1' Meridian ligger i Frontalplanet. Den distale Ende af Femur vil da beskrive en elliptisk Figur, hvis lange Axe ligger lateralt paa 10' Breddeparallel og strækker sig fra ÷ 20 til + 120°; den korte Axe er ca. 90°, hvoraf 55 falder lateralt for Udgangsstillingen. Som Grundstilling regner man som tidligere omtalt den staaende symmetriske Stilling med en Bækkenhældning paa ca. 55°. Man faar da i Grundstillingen et Bevægelsesomfang for Flexionen paa henved 120°, for Extensionen paa lidt mindre end 20°, idet det største Bevægelsesomfang i Sagittalplanet findes ved en ringe Abduction, for Abductionen paa 55°, for Adductionen paa 35°; denne sidste Bevægelse kan demonstreres, naar man foretager en samtidig Abduction i det andet Hofteled. Ab-Adductionen er selv ved stærkeste Flexion mulig i et Omfang af henved 20°, den er derimod udelukket ved extrem Extension. Rotationsmuligheden er størst ved en Flexion paa omtrent 60°, den er da ca. 30° til hver Side; i extrem Bøjestilling er Rotation udelukket, extrem Bøjning kan derfor kun udføres i visse Rotationsstillinger. Det bemærkes at Leddets Rotationsaxe er en Linie gennem Hofteleddets og Knæleddets Midtpunkter, den mekaniske Laarbensaxe, hvilken Axe altsaa ikke er sammenfaldende med Laarknoglens Længdeaxe.

Hemningen af Hofteleddets Bevægelser er overvejende muskuløs, hvorfor Bevægelsens Omfang kan forøges meget betydeligt ved Øvelse. I Yderstillinger vil dog utvivlsomt ogsaa de stærke Kapselbaand virke hemmende, derimod kommer Lig. teres næppe nogensinde til at danne nogen nævneværdig Hindring for Bevægelsen. Med Hensyn særlig til Betydningen af Lig. Bertini er Meningerne stærkt delte, idet nogle Forfattere tilskriver dette Ligament en meget stor Ind-

flydelse som Hemningsapparat, medens andre (Braune & Fischer) hævder, at dette Baand overhovedet ikke kan strammes, før Psoassenen gennemskæres. Saa meget synes imidlertid givet, at Ligamentet i Grundstillingen ikke kan være spændt. Den staaende symmetriske Stilling er ikke nogen Grændsestilling og kan derfor ikke være betinget af ligamentøs Hemning. Selv om Extensionsmuligheden i Grundstillingen er forholdsvis lille, er den dog efter den almindelige Opfattelse betydeligt større, end det vilde være muligt, hvis det svære Lig. Bertini i denne Stilling var spændt. Det turde derimod ikke være udelukket, at Bertini's Baand i nogen Grad er spændt i visse asymmetriske Vanestillinger, hvor Legemets Vægt hviler paa den ene Underextremitet, og hvor Støttebenets Hofteled er noget adduceret og extenderet.

***Art. genu,* Knæleddet,** der hos visse Pattedyr bestaar af fuldstændig adskilte Led, er hos Mennesket ufuldstændig delt i tre Led, som dog alle tilhører samme Bevægelsesmekanisme. De i Knæleddet forbundne Knogler er Femur, Tibia og det i Quadricepssenen udviklede Sesamben, Patella.

I den oprejste symmetriske Stilling med samlede Hæle er Laarbenet rettet skraat nedad-indad saaledes, at dets Længdeaxe danner en Vinkel paa ca. 6^0 med Linien gennem Hofteleddets og Knæleddets Midtpunkter, den mekaniske Laarbensaxe, der er meget nær vertikal; Knæets Ledlinie er horizontal. Stilles Laarbenets anatomiske Længdeaxe lodret, maa altsaa Condylus medialis femoris naa længere ned end den laterale Condyl, hvorved Crus kommer til at vise lidt udad.

Den samlede Ledflade paa Femur er hesteskoformet; dens forreste og øverste Parti, Facies patellaris, minder i Form om Trochlea humeri; den laterale Side er bredest og mest prominerende; Bruskklædningen gaar uden Afbrydelse over i de to Ledflader for Tibia, Overgangen er markeret ved en svag, nærmest tværløbende Fure. Ledfladerne paa

de to Condyli er ikke ganske symmetrisk beliggende, ligesaa lidt som de er kongruente af Form. Ledfladen paa den laterale Condyl er lidt bredere men til Gengæld kendelig kortere end den mediale Flade, der fortil ligesom svinger rundt om Fossa intercondyloidea; fortil og lateralt findes paa Condylus medialis en lille halvmaaneformet Facet, mod hvilken Patella hviler i extrem Flexionsstilling. I Hovedtræk er forøvrigt bægge Flader konvexe fra Side til anden og danner i Profil en Spirallinie med bagtil voxende Krumning.

Ledfladen paa Patella svarer omtrent i Form til Facies patellaris; den er ved en længdeløbende Ledelinie delt i to ulige store Facetter, der atter ved svage tværløbende Lister er delt hver i tre mindre Facetter; desuden findes langs den mediale Rand en 7' halvmaaneformet Facet, der i yderste Bøjestilling er i Kontakt med den ovenfor omtalte Facet paa Condylus internus femoris.

De to Ledflader paa Tibia er paa en Bræmme i Periferien næsten plane, den centrale Del af Fladen er paa Condylus medialis en svagt konkav Kugleflade, paa Condylus lateralis er den oftest svagt konvex forfra-bagtil og danner en Del af en stumpvinklet Kegle med Toppunkt i Eminentia intercondyloidea.

Den paa Grund af Fladeformen mangelfulde Kontakt mellem Femur og Tibia udlignes dels ved Hjælp af det meget tykke Lag af Hyalinbrusk, der beklæder Knogleenderne, — Bruskens Tykkelse er paa Femur indtil 3, paa Tibia indtil 5 mm, — dels af to fibrocartilaginøse, inkomplete Menisker, der deler Leddet ufuldstændigt i et øvre og et nedre Kammer. Leddet mellem Femur og Tibia bestaar altsaa i Virkeligheden af 4 kommuniserende Ledhuler. Meniskerne er paa Tværsnit skarpt kileformede med Basis fæstet til den fibrøse Kapsel; set ovenfra er den indre halvcirkelformet, den ydre C-formet; de fæster sig ved Hjælp af fibrøse Baand til Eminentia intercondyloidea, den indre foran og bagved den ydre.

Fortil er de to Menisker forbundne ved et tangentialt forløbende Ligament, Lig. transversum.

Den fibrøse Kapsel, der fortil er inkomplet svarende til Patella, er stærkest paa Siderne svagest for og bag; den udspringer fra Tibia langs hele Knoglens Omkreds, paa Femur følger den paa Siderne Bruskranden i ca. 1 cm's Afstand, bagtil gaar Udspringslinien fra den ene Condylus til den anden, gaar altsaa ikke ind i Fossa intercondyloidea; fortil fortsætter Kapslen sig op i Bursa suprapatellaris. Kapslen forstærkes af talrige Fiberstrøg fra de forbipasserende Muskelsener, saaledes fortil fra Insertionerne af Vastus medialis & lateralis, hvorfra Senefibre dels forløber nedad langs Randene af Patella, dels krydser foran denne; fra Randene af Patella udgaar desuden de saakaldte Ligg. alaria, der forløber udad og indad til Condyli femoris. Ved Hjælp af disse Senestrøg kan Knæet strækkes, selv om Patella er fraktureret. Bagtil er Kapslen forstærket af flere Fiberstrøg fra Semimembranosussenen hvoriblandt Lig. obliquum, der forløber skraat opad-lateralt; desuden er Gastrocnemiernes Udspringssener indvævede i Kapslen. Af accessoriske Ligamenter findes Ligg. collateralia, af hvilke det ydre er strængformet og gaar til Capitulum fibulæ, det indre, baandformet, fæster sig bredt til Condylus internus tibiæ; desuden findes det stærke, intrakapsulære Ligament, Korsbaandet, Lig. cruciatum, der bestaar af to Flige, af hvilke den forreste udspringer fra Eminentia intercondyloidea bag den interne Menisk og fæster sig bagtil og lateralt i Fossa intercondyloidea, den bageste udspringer bag Eminentia og fæster sig fortil og medialt i Fossa. De to Flige repræsenterer henholdsvis et indre og et ydre Sideligament i et dobbelt Knæled.

Synovialis følger i Modsætning til den fibrøse Kapsel Ledfladens Rande; Korsbaandet kommer saaledes til at ligge udenfor Synovialhulen; denne er tillige delt i horizontal Retning, idet Meniskerne ikke er synovialklædte. Under Patella er Synovialis fjærnet fra den fibrøse Kapsel ved et Fedt-

polster, og herfra gaar en Duplikatur, Lig. mucosum, til den forreste Del af Fossa intercondyloidea, hvorved der dannes en forreste ufuldstændig sagittal Skillevæg.

Ledhulen kommuniserer med talrige Bursæ undertiden ogsaa med det øvre Tibio-fibularled.

Knæleddets Grundstilling er den strakte Stilling; det er ved forceret Kontraktion af Strækkemusklerne muligt — navnlig ved fortsatte Bestræbelser i denne Retning — at »overstrække« Leddet til en vis Grad saaledes, at Femur og Tibia danner en fortil aaben Vinkel med hinanden. I Extensionsstillingen er Leddets Sideligamenter strammede ligesom de bageste Kapselbaand og den forreste Korsbaandsflig; i denne Stilling er saavel Ab-Adduction som vilkaarlig Rotation udelukket, den eneste mulige Bevægelse er en Hængselbevægelse, der imidlertid ikke maa forvexles med Glidebevægelsen i et Hængselled med udbrudt Fladekontakt. Flexionsbevægelsen i Knæleddet er en sammensat Bevægelse bestaaende af Gliden, Rullen og Rotation, og disse Elementer er i Bevægelsens skiftende Faser tilstede i forskellig Kombination. Heraf følger, at Leddets Axe ikke er fastliggende men skifter Plads under hele Bevægelsen; den instantane Axe for Rullen ligger i Ledfladen paa Tibia, medens den dermed parallele Axe for Gliden gaar gennem Condyli femoris, disse to Bevægelser kan altsaa tænkes at foregaa om en tredie med de to førstnævnte parallel Axe; Drejningen om denne i Forbindelse med Drejningen om Skinnebenets Længdeaxe kan atter sammenfattes til en Drejning om en Axe, hvis Heldning mod Leddets Plan er bestemt ved det indbyrdes Forhold mellem de to sidstnævnte Bevægelser. Den første Del af Flexionsbevægelsen bestaar i overvejende Grad af Rullen og Rotation; man finder i Begyndelsen en bunden Indadrotation af Crus paa omtrent 30 Bueminutter for hver Grad Flexion; Rotationskomponenten formindskes dog hurtigt, allerede ved en Flexion paa 20^0 bliver den Nul, gaar derefter over til en Udadrotation for ved Flexion paa 90^0 atter

at blive = 0, hvorpaa denne Komponent under Resten af Bevægelsen er ret ubetydelig. Allerede forinden Rotationsbevægelsen første Gang skifter Retning, er Rullebevægelsen gaaet over til en Gliden af anden Form, hvilken Bevægelsesform under Resten af Flexionsbevægelsen bliver den overvejende. Ved Knæets Strækning foregaar naturligvis den bundne Rotation i modsat Retning; man har altsaa under de sidste 20° Strækning en Udadrotation af Crus, som man har givet Navn af »Slutningsrotationen«. Den bundne Rotations Omfang er ca. 6° til hver Side, Omfanget af Hængselbevægelsen er 140—150°; denne hemmes ved at Lægmuskler og Hasemuskler støder sammen. Under Flexion og Extension, der foregaar i bægge »Ledkamre«, glider Meniskerne frem og tilbage saaledes, at de har deres forreste Stilling i Extension, deres bageste i Flexion. I fuld Extension staar bægge Menisker i den før omtalte Fure mellem Facies Patellaris og Ledfladerne paa Condyli femoris; denne Fure, der som omtalt ligger længere fremme paa den mediale Condyl end paa den laterale, bringes ved Slutningsrotationen i Forbindelse med sin Menisk. Slutningsrotationen hemmes af »Kapselspænderen«, M. poplitæus. Da Knæleddets Sideligamenter er fæstede omtrent i Flexionsaxens Endepunkter, og da denne som Følge af de proximale Ledfladers Spiralform ligger lavere i flekteret end i extenderet Stilling af Leddet, vil Sideligamenterne afspændes under Flexionen; i extrem Bøjestilling er kun Korsbaandets bageste Flig strammet. Leddets Bevægelsesfrihed er altsaa større i bøjet end i strakt Tilstand, det tillader i Flexionsstilling vilkaarlig Rotation om en Axe, der er parallel med Skinnebenets Længdeaxe og gaar gennem Ledfladen paa den mediale Condyl; den laterale Condyl kommer saaledes til at dreje sig om den mediale. Rotationsbevægelsens Omfang angives forskelligt fra ca. 27 til over 50°, i Gennemsnit kan den vistnok anslaaes til ca. 35°. Ab-Adduction er ogsaa i Flexionsstilling udelukket.

Samtidig med den beskrevne Bevægelse mellem Femur

og Tibia foregaar der en Bevægelse mellem den førstnævnte Knogle og Patella. Naar Knæet er strakt, staar Knæskallen højt, omtrent saaledes, at den nedre Spids er i Højde med Ledlinien; den er med sine to nederste Facetter i Kontakt med Facies patellaris og støtter navnlig mod dennes fremspringende ydre Kant; naar Knæet bøjes, glider Patella saaledes, at den i Middelstilling af Leddet berører Femur med de to mellemste Facetter, i stærk Bøjestilling derimod med de to øvre; i extrem Flexionsstilling støtter som allerede omtalt den halvmaaneformede mediale Facet paa Patella mod den dertil svarende Flade paa Condylus medialis femoris. Man kommer dog i knæstaaende Stilling ikke til at hvile paa Patella men paa Tuberositas tibiæ.

Art. tibio-fibularis bestaar af tre Dele, der dog hører til samme lidet bevægelige Ledmekanisme. Først det øvre tibio-fibularled, en Amfiarthrose, hvis tibiale Flade er svagt konkav, medens den fibulare er tilsvarende konvex; Leddet er omgivet af en stram Kapsel forstærket ved Baand. Dernæst er de to Knoglers Skaft forbundet ved en meget stram interossøs Membran, og endelig gaar denne nedad over i i den solide Syndesmosis tibio-fibularis interosseum. Syndesmosen er forstærket ved et forreste og et bageste Ligament. Bevægeligheden i den hele Mekanisme indskrænker sig til en ringe Fjedren.

Art. talo-cruralis, **Ankelleddet,** har i Modsætning til Haandleddet en meget ringe Bevægelsesfrihed; det er et enaxet Led, hvis bundne Bevægelse er sikret ved særlige Støtteknogler, de saakaldte Ankelknuder, Malleoli.

Ledfladen paa Talus er en svagt furet Cylinderflade, hvis Udstrækning er henved 120^0. Fladens laterale Rand er omtrent parallel med Fodens Længdeaxe, hvorimod den mediale Rand devierer indad saaledes, at Ledfladen fortil bliver $1^1/_2$ Gang saa bred som bagtil; Bruskbeklædningen gaar paa bægge Sider jævnt over i en Facies malleolaris, af hvilke

den ydre gaar betydeligt længere ned end den indre. Ledfladen paa den distale Tibiaende har en til Trochlea tali svarende Form, men dens Udstrækning er mindre, gennemsnitlig 67°, denne Flade gaar medialt over i Ledfladen paa Malleolus internus, lateralt fortsætter den sig lidt op paa den fibulare Flade af Tibia. Denne Del af Ledfladen glider mod en tilsvarende Flade paa Fibula, der nedad direkte fortsættes i den til Facies malleolaris lateralis svarende Flade; Talo-cruralleddet har altsaa en lille Poche opad mellem de to Knogler i Crus.

Synovialhinden følger den fibrøse Kapsel, der er ret vid og slap fortil og bagtil derimod stram paa Siderne. Kapslen er forstærket ved Hjælp af Sideligamenter, af hvilke det indre er bredt vifteformet og forløber fra Malleolus medialis til Sustentaculum tali, medens det ydre udspringer med tre Flige fra Malleolus lateralis; af disse gaar Midterfligen til Calcaneus, den forreste og bageste Flig til Talus; særlig den sidstnævnte er overordentlig solid.

Leddets Bevægelse er Dorsal- og Plantarflexion i en Udstrækning af 50—60°, undertiden dog noget mere; paa Grund af Talusrullens forskellige Bredde for og bag er Tilslutningen mellem Ledfladerne kraftigst i dorsalflekteret Stilling af Leddet; i Plantarflexion er der Mulighed for en ringe Vaklebevægelse i andre Retninger; denne er dog uden Betydning for Leddets Bevægelsesform. Leddets Axe er horizontal og transversel, den gaar gennem den nederste Ende af Malleolus lateralis og rammer altsaa lidt nedenfor Spidsen af Malleolus medialis. Bevægelsen hemmes i bægge Retninger ved, at den tibiale Ledflades Rand støder mod Talus, dog hemmes Dorsalflexionen i de fleste Tilfælde tidligere nemlig paa Grund af Spænding i Lægmusklerne.

Medens Fodens Stilling til Crus bestemmes ved Bevægelserne i Talo-cruralleddet, foregaar Fodens Formforandringer

i Leddene under og foran Talus, blandt hvilke følgende regnes for de væsentligste:

Art. talo-calcanea posterior. Ledfladen paa Calcaneus er en konvex Omdrejningsflade, hvis Axe har Retningen ovenfra-udefra-bagfra fremad-nedad-indad (Sml. dog Bevægelsen i Torsionsarticulationen); Fladen paa Talus er konkav og kongruent med denne; Leddet er forsynet med en isoleret Kapsel med flere Forstærkningsbaand.

Art. talo-calcaneo-navicularis. Det proximale Ledhoved dannes af Talus, hvis forreste, nærmest sfæriske Ledflade articulerer med Os naviculare; denne Flade gaar uden Afbrydelse over i en af flere Facetter bestaaende, i Hovedsagen cylindrisk Ledflade paa Collum tali. Den distale Ledskaal dannes dels af den bagtilvendende sfæriske Ledflade paa Naviculare, dels af den forreste enkelte eller delte Ledflade paa Calcaneus, en Omdrejningsflade, hvis Axe er parallel med Axen for Art. talo-calcanea posterior, dels af Lig. calcaneo-naviculare plantare, det stærke Baand, der udfylder Rummet mellem Sustentaculum tali og Os naviculare, og som paa sin mod Leddet vendende Side er bruskklædt. Ledkapslen forstærkes af den mediale Flig af Y-Baandet, Lig. bifurcatum, samt af det dorsale Lig. talo-naviculare.

Art. calcaneo-cuboidea er et Saddelled. Ledfladen paa Calcaneus er konkav i Retningen ovenfra-medialt nedad-lateralt og konvex i en derpaa vinkelret Retning; Ledfladen paa Cuboideum har en hertil svarende Form. Leddet støttes af den laterale Flig af Y-Baandet, af Lig. calcaneo-cuboideum externum og navnlig af Lig. plantare.

Efter nogle Forfatteres Mening danner disse Led to Bevægelsesmekanismer nemlig Art. talo-calcanea og Art. tarsi transversa eller det Chopart'ske Led.

Art. talo-calcanea dannes af Art. talo-calcanea posterior & anterior, hvilket sidste udgør en Del af Art. talo-calcaneo-navicularis, samt af det overordentlig solide Lig. interosseum, der udfylder Sinus tarsi. Bevægelserne, der

foregaar samtidigt med Bevægelserne i det følgende Led, maa nærmest betegnes som Vaklebevægelser, idet de er betingede af nogen Dehiscens især i det bageste Led.

Art. tarsi transversa, det **Chopart'ske Led,** dannes af Art talo-navicularis og Art. calcaneo-cuboidea; disse to Led kan bevæges samtidigt om en Axe, der svarer til Axen for den konvexe Krumning af Ledfladen paa Calcaneus i det sidstnævnte Led, hvilken Axe er omtrent transversel med Retning ovenfra-medialt nedad-lateralt.

Iflg. en anden Opfattelse, som synes at skulle blive den herskende, sammenfattes Artt. talo-calcaneo-navicularis & talo-calcanea posterior til én Bevægelsesmekanisme:

Torsionsarticulationen. Efter denne Opfattelse er Fladerne i de to Talo-calcanealled beliggende hver paa sit Net af en stumpvinklet Omdrejningskegle med Toppunktet i Sinus tarsi. Denne Kegles Axe, der er hele Leddets Omdrejningsaxe, forløber ovenfra-forfra-medialt nedad-bagud-lateralt, idet den fortil skærer Collum tali, bagtil den nederste laterale Del af Calcaneus.

Bevægelserne i denne Bevægelsesmekanisme foregaar samtidigt med Bevægelser i Art. calcaneo-cuboidea og resulterer i de Formforandringer af Foden, som kaldes Inversion og Eversion. Den første af disse bestaar i en Adduction, supinatorisk Rotation og Plantarflexion, den anden i Abduction, pronatorisk Rotation og Dorsalflexion; Abductionsmomentet i den sidste Bevægelse er dog meget ringe, idet Fodens normale Stilling i denne Retning næsten maa betegnes som en Grændsestilling.

Fodrodens øvrige Led, d. v. s. Leddene mellem Naviculare og Cuneiformia samt mellem disse og Cuboideum, er smaa Amfiarthroser forstærkede ved dorsale, plantare og interossøse Ligamenter; Bevægelserne i disse Led indskrænker sig til en Fjedren, naar Foden belastes. Det samme gælder Art. tarso-metatarsea, det Lisfranc'ske Led, hvis enkelte Ledforbindelser er af ganske lignende Art.

Art. metatarso-phalangea er en Ginglymarthrodi bygget som det tilsvarende Led i Haanden, dog med den Forskel, at den proximale Ledflade i Foden er mere fremadrettet, og at Leddet i sin Hvilestilling er noget dorsalflekteret. Med Hensyn til Sprede- og Samlebevægelsen maa det erindres, at Symmetriplanet for denne i Foden gaar gennem 2' Taa.

Artt. interphalangeæ er byggede som Fingrenes Led.

Fodens Skelet er saaledes formet, at det danner to markerede Buer mellem de tre Støttepunkter: Tuberositas calcanei, Caput ossis metarsi I og Tuberositas ossis metatarsi V.

Den ene af disse Buer, Fodens Længdebue, forløber mellem de to førstnævnte Støttepunkter og dannes af Calcaneus, Talus, Naviculare, Cuneiforme I og Metatarsus I; Buens Spændvidde er 17—22 cm, dens Højde $5^1/_2$—7 cm. Længdebuen er dog ikke begrændset til denne Knoglerække, tilsvarende Buer dannes af de øvrige Fodrods- og Mellemfodsknogler, af hvilke dén, der svarer til 2' Metatars, oftest er af lidt større Dimensioner end den førstnævnte, medens de laterale Buer aftager saavel i Spændvidde som i Højde indtil 5', der er meget svagt udtalt. Skeletdelenes Udvikling viser imidlertid med tilstrækkelig Tydelighed, at det er den første Bue der i mekanisk Henseende har den alt overvejende Betydning. Længdebuen skyldes dels Knoglernes Form og Anordning, dels de stærke plantare Ligamenter; men dertil kommer yderligere dels Plantaraponeurosen, dels de korte, længdeløbende Muskler i Fodsaalen, dels og ikke mindst M. tibialis posticus, hvis Sene netop fæster sig i Længdebuens Toppunkt, samt M. peronæus longus, der drager Buens forreste Ben bagtil. Skønt Bevægelserne i hele den Del af Foden, der ligger under Talus, som allerede nævnt alene bestaar i en Fjedren mellem de enkelte Knogler, vil en Hemning, der udelukkende er ligamentøs, ikke kunne løse den Opgave at bevare Fodens Form, idet Ligamenterne ved den stadigt gentagne stærke Belastning af Foden efter-

haanden vilde forlænges. Fodens Form kan kun bevares, naar Hemningen under sædvanlige Forhold i væsentlig Grad er muskuløs. Det har da ogsaa vist sig i Kliniken, at Paralyse af Fodens Muskler ikke blot medfører Funktionsforstyrrelser men ogsaa Deformiteter af Foden. En Affladning af Længdebuen, der i alt Fald ofte skyldes Insufficiens af Tibialis posticus, giver saaledes Anledning til den Foddeformitet, der er vel kendt under Navn af Platfod (Fig. 40); dennes mekaniske Virkninger er foruden Trykning af de plantare Kar og Nerver et forøget Arbejde for Lægmusklerne i alle Tilfælde, hvor Hælen skal løftes fra Gulvet[1]).

Fodens anden Hvælving, Tværbuen, er stærkest udtalt paa Grændsen mellem Fodrod og Mellemfod, hvor den dannes af Ossa cuneiformia og Os cuboideum; herfra taber den sig i bægge Retninger, den er praktisk talt udslettet ved den forreste Ende af Mellemfoden; dog maa det antages at den belastede Fods Støttepunkter som allerede nævnt er 1' og 5' Metatars. Ogsaa Tværbuen er betinget af Knoglernes Form og Anbringelse samt af de plantare Ligamenter og Plantaraponeurosen; den støttes desuden af M. peronæus longus, hvis Sene løber tværs henover Planta netop paa det Sted, hvor Tværbuen er stærkest udtalt, maaske ogsaa om end i forholdsvis ringe Grad af M. adductor hallucis transversus. Endelig støttes Tværbuen indirekte af M. tibialis posticus, idet den normale Længdebue betinger en mindre stærk Belastning af Tværbuen.

Som Følge af de hér omtalte Forhold har Fodens Understøttelsesflade ikke samme Form som Fodens Konturlinie men danner en uregelmæsig Figur saaledes som vist paa Fig. 40.

---

[1]) Se Skand. Arch. f. Physiol. 1912, Bd. 27, S. 295.

B. MUSKLERNE.

Musklerne er det sidste Led i den neuro-muskulære Reflexbue, hvis andet Endepunkt er at søge i et Sanseorgan, og som betragtet under ét udgør det aktive Bevægelsesapparat, medens Knogler og Led danner den passive Del af dette. Det vilde for saa vidt være naturligt at behandle Muskelfysiologien under Hovedafsnittet: Nervefysiologi; da imidlertid den specielle Muskelfysiologi ikke kan skilles fra Leddenes Fysiologi, har jeg fundet, at den hér valgte Inddeling vilde være at foretrække.

I. Almindelig Muskelfysiologi.

Man skelner mellem to Former af Muskulatur: Skeletmuskler og Indvoldsmuskler. Den gamle Inddeling i tværstribede eller vilkaarlige og glatte eller uvilkaarlige Muskler er uheldig, fordi man derved skiller Hjærtemuskulaturen fra den øvrige Indvoldsmuskulatur, og fordi Tværstribethed og Vilkaarlighed i mange Tilfælde ikke hører sammen; den sidst nævnte Terminus kan i det Hele taget kun anvendes med meget stærkt Forbehold. Musklerne bringes i Virksomhed ad nervøs Vej; Muskelarbejde forudsætter altsaa Nervearbejde. Dette Nervearbejde foregaar for de glatte, uvilkaarlige Musklers Vedkommende altid i underordnede Centre, og det samme kan være Tilfældet for Skeletmusklernes, de vilkaarlige Musklers Vedkommende; men disse kan ogsaa, og heri skulde altsaa den betydningsfulde Forkel ligge, dirigeres fra de højeste Hjærnecentre. Dette foregaar imidlertid ikke paa den Maade, at man bevidst bringer denne eller hin Extremitetmuskel til at trække sig sammen. Hjærnebarkens Centre er Sæde for Bevægelsesforestillinger; naar

disse Centre træder i Virksomhed, da udsender de koordinerede Impulser til underordnede Centre, hvorfra de paagældende Muskler beherskes, og Resultatet bliver den Bevægelse, som svarer til Bevægelsesforestillingen, eller dog noget mere eller mindre i denne Retning. Som bekendt kan man nemlig ikke eftergøre en Bevægelse, som man kun har set eller hørt om en enkelt Gang, hvis den er blot noget kompliceret; man maa da øve sig for at naa Maalet. Øvelsen forudsætter Hjærnevirksomhed af psykisk Natur; men ogsaa denne er rettet mod Bevægelsens Form; først naar man ser eller føler Resultatet af den nervøse Proces, ved man, om dette er i Overensstemmelse med den til Grund liggende Bevægelsesforestilling eller ikke. »Hjærnen kender ikke Biceps og Triceps men blot Bøjning og Strækning«. Alt, hvad der foregaar, fra Processen er sat i Gang, indtil Resultatet foreligger, det foregaar under Bevidsthedens Tærskel. Med fornødent Forbehold kan man naturligvis alligevel anvende Betegnelsen »vilkaarlig« om Skeletmusklerne som Gruppebetegnelse; helt meningsløs bliver den derimod altid, naar den anvendes paa den enkelte, anatomisk definerede Muskel.

Allerede i 1846 protesterede E. Weber mod at anvende Viljesmomentet som Skelnemærke mellem, hvad man den Gang kaldte animalske og organiske Muskler; han karakteriserede de to Grupper paa følgende Maade: De animalske Muskler kontraherer sig i samme Øjeblik, som de eller deres Nerve irriteres, og forbliver kontraherede, saa længe irritationen varer, hvorpaa de strax afslappes. Naar de organiske Muskler irriteres, forløber der en maalelig Tid, før Virkningen viser sig, men denne vedvarer til Gengæld efter, at Irritamentet har ophørt at virke, og kan efterhaanden gribe over paa ikke irriterede Dele af Musklen. Denne Karakteristik er, som det vil fremgaa af det følgende, i det Store og Hele rigtig og svarer til den først nævnte Inddeling i Skeletmuskler og Indvoldsmuskler; denne funktionelle Inddeling vil, selv

om der naturligvis forekommer Overgangs- og Blandingsformer, aldrig som den histologisk-psychologiske kunne afstedkomme Begrebsforvirring.

I. Skeletmusklerne.

Bygning.

Hvis man uddissekerer en Muskel, vil man se, at denne er omgivet af et Bindehvævshylster, Perimysium, der som Septa strækker sig ind i Musklen og deler denne i flere Bundter, om hvilke der atter dannes Bindevævsskeder. Muskelbundtet er bygget op af Fibre, der er indlejrede i Bindevæv af noget finere Struktur, Endomysium, der staar i Forbindelse med det hele Bundtet omgivende Bindevæv. Muskelfibrene, Muskelvævets Celler, bestaar af en strukturløs, protoplasmatisk Hinde, Sarcolemma, paa hvis Indside findes talrige Kerner omgivne af en ringe Mængde Protoplasma, samt af den egentlige Muskelsubstans, der under Mikroskopet viser sig tværstribet, idet den bestaar af afvexlende lysere og mørkere Lag. Stribningen skyldes ikke Pigmentaflejringer men derimod en Forskel i optisk Henseende, idet de lyse Lag er enkelt-, de mørke dobbeltbrydende. Muskelfibrene er traadformede eller piskeformede af ulige Længde og Tykkelse; man har isoleret Fibre paa indtil 12 cm.'s Længde, sædvanligt er de dog kun ca. 5 cm; de tykkeste er hos Mennesket 0,1, de tyndeste 0,01 mm. Den kontraktile Substans i Muskeltraaden er atter bygget op af Muskelfibriller, der enten findes ligeligt fordelte indenfor Sarcolemma eller samlede til Bundter, Sarcostyler. I bægge Tilfælde er de indlejrede i en homogén eller svagt kornet Masse, Sarcoplasma. Ved dertil egnede Præparationsmetoder kan Muskelfibrene deles i skiveformede Segmenter; betragtes disse fra Fladen, ser man talrige smaa polygonale Arealer (Cohnheim'ske Felter), der er Tværsnit af Sarcostylerne. Fibrillerne indeholder Musklens egentlige kontraktile Elementer,

»sarcous Elements«, smaa prismatiske Dannelser af dobbeltbrydende Substans, der igennem hele Musklen danner længdeløbende Rækker. Da de enkelte Elementer ligger paa samme Højde i alle Fibriller, fremkommer den ovenfor omtalte Tværstribning af hele Muskeltraaden. Forholdet mellem Fibriller og Sarcoplasma er forskelligt; i nogle Fibre findes kun lidt Sarcoplasma, disse er blege, irriteres let og trættes hurtigt; i andre Fibre findes rigeligt Sarcoplasma, disse reagerer mere trægt paa Irritamenter men trættes senere end de førstnævnte. Hos nogle Dyrearter findes de to Slags Fibre adskilte i forskellige Muskler, hos andre, saaledes hos Mennesket, findes de blandede indenfor samme Muskel. Muskler, der arbejder stadigt, som f. Ex. Aandedrætsmusklerne, er som Regel sarcoplasmarige.

Kemisk Sammensætning.

Muskelvævet, Legemets Kød, indeholder ca. 75 % Vand. Hovedmassen af de faste Bestanddele er Proteinstoffer; gennemskyller man en Muskel, indtil alt Blod er fjærnet, og lader man den dernæst fryse og pulverisere, vil der kunne udpresses en »Saft«, Muskelplasma, der ved Henstand koagulerer. Koagulationen skyldes Proteinstofferne Myosin og Myogen; efter at Koaglet har samlet sig, kan der i Muskelserum paavises opløselige Proteinstoffer, der dog vistnok maa antages at hidrøre fra Musklens Lymfe, som aldrig helt vil kunne fjærnes ved Gennemskylningen. Desuden findes i Musklen uopløselige Proteinstoffer, navnlig hidrørende fra dens Bindevævsstroma, og endelig træffer man Muskelhæmoglobin, et Stof, der staar Blodfarvestoffet nær, og som navnlig er bundet til Sarcoplasmaet. Af kvælstofholdige Stoffer findes desuden Kreatin m. fl. Blandt de kvælstoffrie, normale Bestanddele af Musklen maa nævnes Fedt i vexlende Mængde, desuden Kulhydrater, navnlig Glycogen samt smaa Mængder af Druesukker; endvidere finder man Paramælkesyre, der dannes i større Mængder under Kontraktionen, og

Inosit, »Muskelsukker«, der dog ikke er noget Kulhydrat men en cyklisk Forbindelse. Endelig indeholder Musklen uorganiske Salte, blandt hvilke Kaliumsalte findes i større Mængder end Natriumsaltene.

FYSISKE EGENSKABER.

Musklerne er røde, af en halvblød Konsistens; deres Vægtfylde er kun ubetydeligt større end Vandets (1058); de er elastiske for Træk og besidder tillige den ejendommelige Egenskab under Paavirkning af Irritamenter at kunne forandre deres Elasticitetskonstanter; denne sidstnævnte Egenskab kaldes Kontraktilitet. Muskelvævet er foruden det elastiske Bindevæv det eneste af Organismens Væv, der besidder Elasticitet i dette Ords dagligdags Betydning. Musklerne har en ret lav Elasticitetskoefficient, der behøves kun en forholdsvis ringe Vægt for at udspænde dem kendeligt; Elasticitetsgrændsen er derimod relativt høj, Musklen genvinder selv efter en betydelig Udspænding sin oprindelige Længde. Det synes dog som om man ved hyppigt gentagne stærke og navnligt længerevarende Udspændinger kan forandre en Muskels Hvilelængde, et Forhold, der i den formgivende Gymnastik spiller en ikke ringe Rolle. Saavel Udspændingen som den derpaa følgende Sammentrækning er forbundet med udprægede Eftervirkninger, d. v. s., Formforandringen foregaar i Begyndelsen rask men derpaa meget langsomt, indtil Ligevægtstillingen er naaet. Denne elastiske Eftervirkning har Betydning derved, at den tjener til at forhindre skadelige Følger af pludselige stærke Belastninger. Naar en Muskel udspændes passivt, er dens Længdetilvæxt ikke proportional med Belastningen; forøger man denne successive med lige store Vægte, vil Længdetilvæxten hver Gang blive mindre og mindre, indtil man naaer et næsten konstant Niveau; afsætter man Belastningerne som Abscisser og de tilsvarende Længdetilvæxter som Ordinater, viser den saaledes fremkomne Elasticitetskurve sig — i alt Fald inden-

for visse Grændser — at være en Hyperbel (Fig. 41). Musklen forholder sig paa dette Punkt anderledes end elastiske Legemer i Almindelighed; en Gummisnor f. Ex. vil, naar den udspændes, forlænges proportionalt med den virkende Vægt. Hvis en Muskel irriteres, aftager dens Elasticitetskoefficient; en kontraheret Muskel vil altsaa forlænges mere end en hvilende ved Belastning med samme Vægt. Ligeledes skal den nævnte Størrelse aftage ved begyndende Træthed; E. Weber har under disse Forhold iagttaget det ejendommelige Fænomén, at en Muskel forlænges under Irritationen for derefter at forkortes, naar Irritationen ophører. Ogsaa denne Egenskab tjener til at sikre Bevægelsesapparatet mod Overlast, naar Fordringerne til Muskelkraften stiger ud over visse Grændser.

Naar en Muskel irriteres, forandres tillige dens Hvilelængde, der formindskes mere eller mindre efter Love, som senere skal omtales nærmere; hvis ikke ydre Kræfter træder hindrende i Vejen, vil Musklen altsaa som Følge af Irritamentet forkorte sig, kontraheres. Den kontraherede Muskel er altsaa kortere end den hvilende, den er tillige af fastere Konsistens; men dens Rumfang er uforandret. Forhindrer man Musklen i at kontrahere sig, vil den komme i en vis Spænding; den vil udvikle potentiel Energi, svarende til den Kraft, hvormed et elastisk Legeme, der er spændt udover sin Ligevægtsstilling, søger at vende tilbage til denne. Den saaledes opstaaede potentielle Energi kan omsættes til Arbejde; hvis dette ikke sker, degenererer den til Varme. Musklen er en Maskine der producerer potentiel Energi; hvorledes denne Maskine virker, skal vi i det følgende undersøge nærmere, idet vi begynder med Igangsætningen,

IRRITAMENTET.

Musklens adæquate Irritament er Nerveimpulsen; ved Forsøg med Muskler er man imidlertid henvist til at anvende inadquate Irritamenter, som kan være mekaniske, kemiske,

thermiske eller elektriske. I Almindelighed anvender man de sidstnævnte, da disse skader Musklen mindst, og da de kan graderes overmaade fint

Den galvaniske Strøms Virkninger beror paa dens Tæthed, d. v. s. Strømstyrken paa Tværsnitsenheden; Tætheden er altsaa for den samme Leder direkte proportional med Strømstyrken. Naar den galvaniske Strøm anvendes som Irritament for et Muskelpræparat, er det imidlertid ikke Strømstyrken i sig selv, der virker irriterende, men derimod Forandringer i denne, Intensitetssvingninger, hvis Virkning atter afhænger dels af deres Amplitude, dels af deres Hastighed. Jo større Svingninger i Strømstyrke, desto større Virkning under i øvrigt lige Forhold; den kraftigste Virkning opnaar man altsaa ved at slutte og bryde Strømmen gennem Musklen. Endvidere stiger Virkningen med Intensitetssvingningens Hastighed; paa dette Punkt gælder imidlertid visse Indskrænkninger, idet Irritamentet maa vare en vis Tid, desto kortere, jo kraftigere det er, for at fremkalde Reaktion fra Musklens Side. Strømslutningen virker stærkere end Strømbrydningen; hvis denne kommer saa hurtigt efter Strømslutningen, at Irritamentet træffer Musklen i dennes refraktære Periode (se nedenfor), fremkommer der overhovedet ingen Reaktion. Saalænge Strømmen gaar gennem Musklen, reagerer denne ikke synligt; men den befinder sig paa den anden Side heller ikke i normal Hviletilstand. — Foruden Intensitetssvingningen har ogsaa Strømmens Retning Betydning; Virkningen er stærkest, naar Strømmen løber parallelt med Musklens (eller Nervens) Fibre, medens den udebliver, naar Strømretningen er vinkelret paa disse. — Den elektriske Strøm vil under sin Passage gennem organiske Væv foraarsage elektrolytiske Forandringer i disse; derved bliver Virkningen forskellig, eftersom Kathoden eller Anoden anbringes paa Musklen, ligesom den bliver forskellig ved Slutning og Brydning af Strømmen, idet den forskellige elektriske Tilstand betinger Forandringer saavel i Musklens (eller Nervens) Led-

ningsevne som i dens Følsomhed for Irritamentet. Forsøg viser, at Irritationen ved Strømslutning udgaar fra Kathoden, ved Strømbrydning fra Anoden. Musklen reagerer derfor ikke momentant med Kontraktion af alle Fibre, men der opstaar en Kontraktionsbølge, der skrider frem med en Hastighed, som for Menneskemusklers Vedkommende er omtrent 6 m pr. Sec.

Ogsaa Induktionsstrømme kan anvendes som Irritamenter. Naar en primær Strømkreds sluttes eller brydes, vil der i en lukket Ledning i dens Nærhed opstaa og forsvinde en elektrisk Strøm, Inductionsstrømmen, hvis Styrke afhænger af Størrelsen af Intensitetssvingningen i den primære Strøm og af dennes Hastighed, endvidere af Vinklen mellem de primære og secundære Vindinger saaledes, at den inducerede Strøm bliver stærkest, naar disse er parallele, Nul, naar de staar vinkelret paa hinanden. Inductionsstrømmen er endelig afhængig af de to Strømkredses indbyrdes Afstand; disse er som bekendt i de almindelige Inductionsapparater dannet af Traadruller, der kan skydes hen over hinanden eller fjærnes fra hinanden, eftersom man ønsker at forstærke eller svække Inductionsstrømmen. For hver Slutning eller Brydning af den primære Strøm vil altsaa en Inductionsstrøm opstaa og forsvinde; det er imidlertid kun Inductionsstrømmens »Slutning«, der virker irriterende paa Musklen, fordi »Brydningen« følger saa hurtigt derefter, at den af før nævnte Grunde er uvirksom. Inductionsstrømmen virker stærkest ved Brydning af den primære Strøm; naar Primærstrømmen sluttes, vil der nemlig opstaa modsatrettede Inductionsstrømme i selve den primære Rulle, og denne »Selvinduction« foraarsager, at Strømstyrken forholdsvis langsomt naar sit Maximum, hvad der ifølge det foregaaende atter bevirker en mindre kraftig Induction; Selvinductionen kan endog blive saa stærk, at Inductionsstrømmen praktisk talt udebliver. Naar Primærstrømmen brydes, opstaar der ligeledes Selvinduction; denne lader sig paavise ved Forsøg;

men da den primære Ledning samtidig aabnes, bliver den uden Betydning, og Aabningsinductionsstrømmen virker derfor kraftigt. Hvis man i Stedet for at bryde den primære Strøm kortslutter denne, vil Selvinductionen kunne gøre sin Virkning gældende, og man kan da faa samme Virkning ved Brydning som ved Slutning af Primærstrømmen. Inductionsstømmen er det hyppigst anvendte Irritament, bl. a. fordi den let kan appliceres rhytmisk i et hvilketsomhelst Tempo.

Det elektriske Irritament har som alle andre Irritamenter en »Tærskelværdi«, det minimale Irritament, under hvilken det viser sig uvirksomt; dog kan ogsaa et subminimalt Irritament give Reaktion, naar det gentages rhytmisk med en passende Frekvens. Et Irritament, der giver den kraftigste Reaktion, som den paagældende Muskel er i Stand til at præstere, kaldes et maximalt Irritament; alle Irritamenter, hvis Styrke ligger mellem det minimale og det maximale Irritament, kaldes submaximale.

MUSKLENS REAKTION.

Naar en Muskel irriteres med et virksomt Irritament, vil den svare med en Række Forandringer af kemisk, mekanisk, thermisk og elektrisk Natur.

1. Kemiske Forandringer. Under Muskelvirksomheden forandres Musklens Reaktion paa Lakmus fra svagt alkalisk eller amphotér til sur; dette beror paa Dannelsen af Mælkesyre i den arbejdende Muskel; tillige dannes under normale Forhold CO_2, men Forsøg har vist, at Kulsyredannelsen er betinget af Tilstedeværelsen af Ilt; hvis Musklen kontraherer sig i en iltfri Atmosfære, udebliver altsaa Kulsyredannelsen. Endvidere formindskes under Arbejdet Musklens Glycogénindhold.

2. Mekaniske Forandringer. Hvis en frit ophængt Muskel irriteres med

et enkelt Induktionsslag, vil den forkortes og derpaa

atter forlænges til sin oprindelige Længde. Den hele Forandring foregaar saa hurtigt, at man kun i grove Træk er i Stand til at opfatte den uden særlige Hjælpemidler; hvis man ønsker at kende Processen i Detailler, maa man anvende en særlig Forsøgsopstilling, hvorved man faar Bevægelsen optegnet grafisk i forstørret Maalestok. Man ophænger da Musklen i dens Udspringssene eller i et Stykke af den Knogle, hvorfra den udspringer; dens anden Sene befæstes ved Hjælp af en Snor til en »vægtløs« Vægtstang, hvis ene Ende kan dreje sig om en fast Axe, medens den anden er forsynet med en fin Skrivestift. Musklen (eller dens Nerve) er i Forbindelse med de to Poler fra en Inductionsrulle. Fører man et Stykke sodet Papir forbi Skrivestiften, vil denne skrive en Grundlinie, der angiver Musklens Hvilestilling; hvis man herefter atter fører Papiret meget hurtigt forbi Skrivestiften, idet man giver Musklen et Inductionsslag, faar man optegnet en Kontraktionskurve, hvis Ordinater, maalt fra Grundlinien, angiver Skrivestiftens Bevægelse i lodret Retning, og hvoraf Musklens Forkortning kan beregnes. Kurven giver tillige Tidsforholdet mellem Bevægelsens Faser, forudsat, at Papirets Bevægelse har været jævn. Lader man en Stemmegaffel med kendt Svingningstal opskrive sine Svingninger paa det samme Papir og samtidigt med Musklen, da vil man kunne faa absolute Tidsbestemmelser for Musklens Bevægelser. Fig. 42 viser den Kurve, som Musklen under de nævnte Betingelser beskriver, naar den irriteres med et enkelt, kortvarigt Irritament; man kalder denne Kontraktionskurven for en Enkelttrækning. Af Kurven fremgaar, at Enkelttrækningen bestaar af tre Faser, en første, Latenstiden, under hvilken Kurven falder sammen med Grundlinien, hvilket altsaa betyder, at Musklens Længde forbliver uforandret, et andet Afsnit, Forkortningsstadiet, under hvilket Kurven mere og mere fjærner sig fra Grundlinien, og endelig et tredie Afsnit, Forlængelsesstadiet, hvorunder Musklen successive vender tilbage til sin oprindelige

Længde, hvilket viser sig ved, at Kurven paany naaer Grundlinien. Den samlede Tid, der medgaar til en Enkelttrækning, er meget forskellig; som Exempler kan nævnes, at M. pectoralis major hos en Skildpadde bruger 1,8 Sec., medens en Vingemuskel hos en Flue kun bruger 0,003 Sec. til en Enkelttrækning. Denne Forskel afhænger hovedsageligt af Muskelfibrenes Bygning, idet de blege, sarcoplasmafattige Fibre er hurtigere end de røde, sarcoplasmarige. Til Muskelforsøg anvendes som Regel Frømuskler, der ligesom Menneskemuskler indeholder en Blanding af bægge Slags Fibre. Hvis en Frømuskel irriteres gennem sin Nerve, varer Enkelttrækningen omtrent 0,12 Sec., hvoraf 0,01 Sec. falder paa Latenstiden; heraf medgaar atter 0,002 Sec. til Ledningen i Nerven og 0,003 Sec. til Irritamentets Udbredning i Musklen, tilbage bliver 0,005 Sec. som den egentlige Latenstid, hvoraf atter en Del vil medgaa til at overvinde de bevægede Deles Inerti. Forkortningsperioden varer 0,05 Sec. og den efterfølgende Forlængelse 0,06 Sec. Forkortningen kan naa til ca. 25 % af Hvilelængden. Saavel Muskelkurvens Form og Varighed som Forholdet mellem de enkelte Faser kan imidlertid bringes til at variere under Paavirkning af forskellige Faktorer.

(a) ***Irritamentets Styrke.*** Hvis man begynder med et ganske svagt Irritament og derpaa lidt efter lidt forstærker dette, vil Musklens Forkortning tiltage, i Begyndelsen stærkt senere mindre, saaledes, at en Kurve, der forbinder Kontraktionskurvernes Toppunkter, meget hurtigt bliver nogenlunde parallel med Grundlinien. Forskellige Undersøgelser tyder paa, at denne Forskel i Virkning skyldes den Omstændighed, at Musklen ved de svage Irritamenter kun irriteres partielt. Ledningen er saavel i Muskel som i Nerve isoleret, d. v. s., kun de Muskelfibre, der direkte træffes af Irritamentet, vil kontrahere sig: saalænge derfor Irritamentet ikke er stærkt nok til at udbrede sig gennem hele Nervens

eller Musklens Tykkelse, maa Kontraktionen blive partiel og derfor mindre effektiv.

(b) ***Belastningen.*** Idet man gaar ud fra konstante, maximale Irritamenter, har man forsøgt at bestemme Virkningen af Musklens Belastning paa to forskellige Maader; dels har man holdt Belastningen og altsaa Musklens Spænding konstant, isotonisk Kontraktion, dels har man ladet Musklen spænde sig mod en stærk Fjeder saaledes, at dens Længde under Kontraktionen praktisk talt forblev konstant isometrisk Kontraktion.

Ved isotonisk Kontraktion vil Musklens Forkortning, Kontraktionshøjden, aftage med voxende Belastning; samtidigt forlænges Latenstiden i ringe Grad, og Forkortningskurven bliver mindre stejl. Under Kontraktionen udfører Musklen et Arbejde, hvis Størrelse er bestemt ved Formlen $A = (p + \frac{m}{2})\,h$, hvor p er Belastningen, h Kontraktionshøjden og m Musklens Vægt. Forsøg har vist, at Arbejdet voxer med Belastningen, indtil man ved en vis middelstor Belastning naaer en optimal Værdi; herefter aftager Arbejdet atter, indtil det, naar Belastningen har naaet en saadan Størrelse, at Musklen ikke mere er i Stand til at forkorte sig, bliver $= 0$. Man vil dog aldrig ved konstant Belastning kunne opnaa en blot nogenlunde fuldstændig Udnytning af Musklens Arbejdsevne, som det vil fremgaa af det følgende. Den Vægt, som netop er i Stand til at hindre Musklen i at forkorte sig, repræsenterer den maximale Muskelkraft under de givne Betingelser; denne varierer meget betydeligt med Musklens Udspændingsgrad saaledes, at den tiltager, naar Musklen i det Øjeblik, da Belastningen angriber, er spændt udover sin Hvilelængde, men aftager, naar Belastningen først begynder at virke, efter at Musklens Forkortning er begyndt, indtil den ved maximal Forkortning bliver Nul. Det ovenfor anførte gælder for Musklen i Hvilelængde, d. v. s., naar den Vægt, som Musklen skal løfte, er understøttet og saaledes forbundet

med Musklen, at Belastningen først angriber i det Øjeblik, da Kontraktionen begynder; hvis Musklen, før Kontraktionen begynder, bærer den paahængte Vægt, da vil den blive elastisk spændt, og dette betinger en Forkortning af Latenstiden og en Forøgelse af Kontraktionshøjden; hvis omvendt Belastningen angriber efter at Forkortningen er begyndt, maa Kontraktionshøjden aftage. For at man skal opnaa den størst mulige Arbejdspræstation, maa Musklen i et givet Øjeblik være saaledes belastet, at den netop er i Stand til at forkorte sig, og dette kan kun opnaaes, naar Belastningen varierer med Forkortningsgraden, aldrig ved konstant Belastning, fordi Musklen da ved Kontraktionens Begyndelse kunde have løftet en større Vægt, medens den ved Kontraktionens Slutning vil være overbelastet og kunde have forkortet sig yderligere, hvis Belastningen havde været mindre.

Ved den isometriske Fremgangsmaade lader man Musklen ved Hjælp af en meget kort Vægtstangsarm snoe en Staalfjeder, til hvilken der er befæstet en lang Skrivestift saaledes, at selv ganske smaa Drejninger af Fjedren giver et tydeligt Udslag Naar Musklen irriteres, vil man faa optegnet en Spændingskurve, hvis Form meget nær er den samme som i foregaaende Tilfælde; dog vil Spændingskurven som Regel naa sit Maximum tidligere end den isotoniske Forkortningskurve. Naar den maximale Spænding er naaet, er Musklen som allerede omtalt et nyt elastisk Legeme med en mindre Hvilelængde og en lavere Elasticitetskoefficient end den hvilende Muskel. Jo stærkere et elastisk Legeme er strakt udover sin Ligevægtsstilling, desto stærkere er dets Spænding; den maximale Spænding, der opstaar i en Muskel ved et givet Irritament, maa derfor være desto større, jo mere Musklen er udspændt i det Øjeblik, da den irriteres. Et elastisk Legeme, der er spændt udover sin Ligevægtsstilling, besidder potentiel Energi, og denne er bestemt ved Formlen $^1/_2$ T (l—l'), hvor T betyder Spændingen, l Længden og l' Hvilelængden; for Musklens Vedkommende er den potentielle

Energi bestemt empirisk til $^1/_6$ Tl, naar l er Længden, T den maximale Spænding, som Musklen er i Stand til at udvikle, naar den ikke faar Lov til at forkorte sig.

At producere potentiel Energi maa betragtes som Musklens egentlige Funktion; Musklen er først i anden Linie en Arbejdsmaskine, idet den potentielle Energi kan omsættes til Arbejde, naar Musklen forkorter sig; man opnaar i et givet Tilfælde den største Arbejdspræstation, naar Kontraktionen først begynder, efter at Spændingen har naaet sit Maximum, og naar Belastningen varieres saaledes, at Spændingen under Forkortningen stadig er saa nær som muligt maximal; man vil under disse Forhold kunne opnaa et Arbejde, der er omtrent 4 Gange saa stort som det, man kan opnaa ved optimal, isotonisk Belastning.

I den levende Organisme er Musklerne altid spændte noget udover deres Ligevægtsstilling; de er tillige i nogen Grad belastede paa Grund af Antagonisternes Tonus, men i Hovedsagen kommer Belastningen dog først til at angribe, naar Forkortningen begynder. Fordringen om varieret Belastning er til dels opfyldt i Organismen; selve den Vægt, der skal bevæges, varierer vel ikke, men Forholdet mellem denne og Muskelkraften forandres under Bevægelsen eller rettere i forskellige Stillinger af det Led, som Musklen bevæger, derved, at den Vægtstangsarm, paa hvilken Musklen virker, varierer under Kontraktionen.

(c) ***Temperaturen***. Hvis man undersøger en Muskel ved forskellige Temperaturer, viser det sig, at med stigende Temperaturer tiltager Kontraktionshøjden, og den samlede Kontraktionstid formindskes, idet saavel Latenstiden som Forkortningsperioden aftager; ved lave Temperaturer gaar Forandringerne i modsat Retning (Fig. 43). Man finder tillige, at Musklen er mere elastisk i Varme end i Kulde. Opvarmer man Musklen til omtrent 40^0, vil den pludseligt forkortes meget voldsomt og forblive i denne kontraherede Tilstand, Varmerigor. Musklen bliver fast, uelastisk og har

for bestandig mistet sin Irritabilitet; denne Tilstand beror paa Koagulation af visse af Musklens Proteinstoffer.

(d) ***Forskellige Salte.*** Hvis en Muskel behandles med forskellige Saltopløsninger, kan Kontraktionskurven bringes til at forandre Form i meget betydelig Grad; selv et Salt som Natriumchlorid, der normalt til Stadighed er i Berøring med Musklen, kan forandre dens Reaktion. En Opløsning af 0,6 % NaCl i destilleret Vand bevirker, at Musklen paa et enkelt Inductionsslag reagerer med en meget stærk og langvarig Kontraktion; denne Virkning ophæves imidlertid ved Tilsætning af en ringe Mængde af et Kalksalt. Lignende Virkninger har forskellige organiske Giftstoffer.

(e) ***Træthed.*** Den trætte Muskel frembyder en karakteristisk Kontraktionskurve, hvis Kendemærker er en forlænget Latenstid, en langsom Stigning til en ringe Kontraktionshøjde og navnlig en meget protraheret Forlængelsesperiode (Fig. 44); naar en vis Grad af Træthed er naaet, vil Musklen overhovedet ikke mere naa til at indtage sin oprindelige Hvilelængde mellem de enkelte Kontraktioner, men denne vil stadig formindskes saaledes, at Kontraktionshøjden for hver ny Kontraktion maa maales ud fra en ny Grundlinie.

Virkningen af flere Irritamenter. Der har i det foregaaende stadig været Tale om Virkningen af et enkelt, kortvarigt Irritament; hvis et saadant gentages, da vil Virkningen vise sig forskellig alt efter den Tid, der er forløbet mellem de to Irritamenter (Fig. 45 A). Hvis det andet Irritament træffer Musklen paa et saadant Tidspunkt, at Virkningen af det første er afløbet, inden Latenstiden svarende til det sidste er tilendebragt, eller endog senere, da bliver Virkningen af det andet Irritament simpelthen en Gentagelse af Virkningen af det første; man faar en ny Enkelttrækning. Hvis det andet Irritament træffer Musklen i Begyndelsen af den til det første Irritament svarende Latensperiode, har det overhovedet ingen synlig Virkning; denne Periode kaldes derfor Musklens refraktære

Periode eller Refraktærstadiet. Mellem disse to Ydergrændser findes en uafbrudt Række af Mellemtilfælde, hvor Virkningen af de to Irritamenter bliver kombineret, og der gælder for disse den Regel, at den samlede Virkning altid er lig Summen af de Virkninger, som hvert enkelt Irritament, hvis det virkede isoleret, vilde foraarsage. Begynder Virkningen af det andet Irritament først at vise sig, naar Musklen er i Færd med at afslappes efter den første Kontraktion, faar man totoppet Kurve, hvis den derimod sætter ind under Musklens Forkortningsstadium, vil man faa en fortsat Kontraktion til en større Kontraktionshøjde, hvorfra Musklens Forlængelse vil foregaa ganske jævnt som efter en enkelt Irritation. Fortsættes Irritationen rhytmisk, vil man i første Tilfælde faa en bølgeformet Kontraktionskurve, hvis Bølgedale vil nærme sig mere eller mindre til Grundlinien men aldrig naaer denne; i andet Tilfælde faar man en jævn Kontraktionskurve, der hurtigt bliver tilnærmelsesvis parallel med Grundlinien, og hvis Afstand fra denne er betydeligt større end Afstanden fra Enkeltkontraktionskurvens Toppunkt til samme. Kurvens Beliggenhed forbliver uforandret, indtil Irritationen ophører, eller indtil Musklen bliver træt. Denne Kontraktionsform kaldes tetanisk, Musklen siges at være i Tetanus (Fig. 45 B). Iflg. det foregaaende kan en Muskel altsaa bringes i tetanisk Kontraktion, naar den irriteres med et rhytmisk Irritament, hvis Intervaller er kortere end eller højst af samme Længde som den paagældende Muskels Forkortningsstadium; er Intervallet længere, da vil Kontraktionskurven blive en Bølgelinie. Den maximale Forkortning er ved Tetanus betydeligt større end ved Enkelttrækningen; den kan naa til omtrent 80 % af Musklens Hvilelængde i ikke irriteret Tilstand.

Vilkaarlig Innervation. Den levende Menneskemuskel skal ved vilkaarlig Irritation kunne udføre en Kontraktion i Løbet af 0,1 Sec.; dette skal dog kun være muligt, naar det drejer sig om veløvede Individer; som Regel varer en

vilkaarlig Kontraktion betydeligt længere. Man antager imidlertid, at det vilkaarlige Irritament, Nerveimpulsen, i alle Tilfælde er et rhytmisk Irritament, altsaa ogsaa hvor det drejer sig om meget kortvarige Kontraktioner. Nerveimpulsen maa altsaa være en diskontinuerlig Proces; dens Rhytme anslaas for Menneskets Vedkommende til 48—50 i Secundet, den skal dog ved meget stærk Irritation være langsommere. Nerveimpulsens rhytmiske Natur fremgaar af de den ledsagende elektriske Fænomener, der senere skal nærmere omtales; at der ogsaa i selve Musklen foregaar en rhytmisk Proces, synes at fremgaa af det Fænomén, som kaldes Muskeltonen. Hvis man anbringer et Stethoscop paa en tetanisk kontraheret Muskel, kan man høre en dyb, summende Tone, Muskeltonen; denne kan dog ogsaa iagttages uden Apparat; hvis man tillukker ydre Øregang og »bider Tænderne sammen«, kan man høre Muskeltonen fra Masseter; med en Finger i ydre Øregang, vil man kunne høre Kontraktionen af samme Sides Biceps. Den Tone, man hører, er dog ikke selve Musklens Grundtone men en Overtone, der forstærkes af Trommehulen som Resonator. — Musklerne befinder sig i den levende Organisme altid i en vis Irritationstilstand, Tonus, som giver sig til Kende derved, at de forlænges, naar Forbindelsen med Centralnervesystemet afbrydes. Tonus, der opretholdes ved Impulser gennem det autonome Nervesystem, kan forstærkes eller formindskes saavel ad reflektorisk som ad central Vej, saaledes ved Sindsbevægelser, ved Anspændelse af Opmærksomheden, hos enkelte Individer utvivlsomt ogsaa ved direkte psychisk Virksomhed (Vilje).

Saaledes som Musklerne er anbragte, er det kun en mindre Del af den Bevægelsesbane, som de, frit ophængte, vilde gennemløbe ved tetanisk Kontraktion, der udnyttes; dette Afsnit er imidlertid ret gunstigt beliggende, saaledes at man opnaar en betydelig Spænding. Man regner, at den

maximale Muskelkraft ved vilkaarlig Innervation kan naa indtil 10 kg. pr. cm^2.

3. Thermiske Forandringer. Naar en Muskel irriteres udvikler den Varme; Irritationsprocessen udløser bunden kemisk Energi, der omformes dels til mekanisk, potentiel Energi dels til Varme. Man antog tidligere, at Musklen virkede som en Varmemaskine, at den kemiske Energi omdannedes til Varme, der atter omformedes til mekanisk Arbejde; dette er imidlertid umuligt; de Varmemængder, der under saadanne Forhold maatte være til Stede i Musklen, vilde foraarsage en Temperaturstigning i denne, der er absolut utænkelig i levende Væv. Nyere Undersøgelser har da ogsaa vist, at det forholder sig ganske anderledes.

A. V. Hill har paavist, at Musklens Varmeproduction ikke udelukkende er knyttet til Kontraktionsprocessen, idet en Del — undertiden den største Del — af denne foregaar efter Forkortningsperioden, ja, endog efter det paafølgende Forlængelsesstadium. Efter en Kontraktion, der varer en Brøkdel af et Secund, kan Varmeproductionen fortsættes i 1—2 Minutter. Lader man Musklen kontrahere sig i en Kvælstofatmosfære, da udebliver denne sidste Del af Varmeproductionen, medens den første Fase, den, der ledsager Forkortningen, er uforandret til Stede. Et ganske tilsvarende Resultat kan man opnaa ved at lade Musklen arbejde saa stærkt, at dens Iltforsyning bliver mangelfuld. Disse Iagttagelser forklarer det tidligere saa gaadefulde Fænomen, at Varmeudviklingen i trætte Muskler aftager hurtigere end Arbejdsevnen saaledes, at disse simulerer en større Nyttevirkning end friske Muskler. Den første Fase i Varmetoningen er ikke ledsaget af Kulsyredannelse men af Mælkesyreproduction, den forudsætter ikke Tilstedeværelsen af Ilt og skyldes altsaa ikke nogen Oxydationsproces. Varmetoningens anden Fase kræver derimod Tilstedeværelsen af Ilt; under denne produceres der CO_2, og Mælkesyren forsvinder; men den udviklede Varme udgør kun omtrent Halvdelen af den for-

svundne Mælkesyres Forbrændingsvarme. Musklens Varmeproduction er proportional med den udviklede maximale Spænding; naar denne Spænding er naaet, da er Varmetoningen uafhængig af, om Musklen faar Lov til at forkorte sig eller ikke; hvis derimod Musklen faar Lov til at forkorte sig, forinden den maximale Spænding er naaet, da vil Varmeproductionen blive 20—30 % mindre end ved maximal Spænding.

Da Musklens Funktion er at producere Spændingsenergi, maa dens mekaniske Nyttevirkning defineres som Forholdet mellem den udviklede potentielle Energi og den totale Varmeudvikling; Nyttevirkningen er altsaa, naar den sidstnævnte Størrelse er H, bestemt ved Formlen: $N = T\,l : 6H$ (sml. S. 131). N kan have en ret forskellig Værdi; A. V. Hill, der arbejdede med isolerede Frømuskler fandt for Sartorius en Nyttevirkning paa 91 %, naar alene den første Del af Varmeproductionen toges i Betragtning, dog kun under Forudsætning af, at Musklens Begyndelsesspænding var forholdsvis lav, og at Irritamentet var moderat; ved stærke Begyndelsesspændinger og kraftige Irritamenter var den kun 40—60 %. Hvis den protraherede Varmeudvikling efter Kontraktionen medregnedes, gik Nyttevirkningen ned til omtrent det halve. For Semimembranosus' Vedkommende var Nyttevirkningen selv i gunstigste Tilfælde meget betydeligt lavere end for Sartorius. Hill har endvidere fundet, at Varmeudviklingen ved Tetanus er mindre, naar Musklen faar Lov til at forkorte sig, end ved en isometrisk Tetanus, og at Formindskelsen er proportional med Forkortningen, endvidere, at Varmeproductionen ved inkomplet Tetanus tiltager, naar Irritamentets Rhytme forøges, medens den ved komplet, isometrisk Tetanus er uafhængig af Rhytmen, endelig, at der til Vedligeholdelse af en vis Spænding i Sartorius fordres omtrent 6 Gange saa stor en Energiudvikling som den, der er nødvendig for Opnaaelsen af den samme Spænding i en Enkeltkontraktion. — De anførte Tal viser for det første, at man skal være varsom med at generalisere

ud fra de foreliggende Undersøgelser, for det andet, at Nyttevirkningen er en saa variabel Størrelse, at den næppe i Almindelighed lader sig udtrykke ved et enkelt Tal.

4. Elektriske Forandringer. Naar Musklen irriteres, opstaar der elektriske Strømme i denne, de saakaldte Actionsstrømme, idet ethvert irriteret Sted bliver negativt elektrisk i Forhold til et hvilende. Actionsstrømmen kan paavises ved Hjælp af forskellige Metoder: Hvis Musklens Ender forbindes med et Galvanometer vil dette gøre et Udslag, naar man bibringer Musklen et Irritament, uanset om dette Irritament er af elektrisk, mekanisk eller anden Art; Actionsstrømmen maa altsaa skyldes Musklen og kan ikke direkte være foraarsaget af Irritamentet. Anbringer man et Nerve Muskelpræparat i Forbindelse med den Muskel, man undersøger, saaledes, at Nerven berører denne paa to Steder, da vil Actionsstrømmen bevirke, at ogsaa den anden Muskel kontraherer sig, naar den første irriteres; bibringer man den første Muskel et tetanisk Irritament, da vil ogsaa den anden kontrahere sig tetanisk (Secundær Tetanus). Paa denne Maade har man paavist, at saavel den vilkaarlige Muskelkontraktion som den kunstige Tetanus er en rhytmisk Proces.

Kontraktionsprocessens Natur.

Det er allerede omtalt, at Forestillingen om Musklen som en Varmemaskine ikke lader sig opretholde; Musklen maatte i saa Tilfælde opvarmes til over 100°, for at Varmen, naar Temperaturen faldt til Legemstemperatur, skulde kunne udrette saa meget Arbejde, som svarer til en rimelig Nyttevirkning. Hvis kun den anisotrope Substans blev opvarmet, maatte man endog antage et Temperaturfald paa flere Tusind Grader pr. mm, hvilket selvsagt er ganske umuligt. Allerede A. Fick udtalte da ogsaa, at Musklen maatte betragtes som en chemodynamisk Maskine; i den nyeste Tid har Hill i Overensstemmelse med sine tidligere omtalte Re-

sultater sammenlignet Musklen med et elektrisk Kraftanlæg. Musklen oplades under Oxydationsprocessen i Restitutionsperioden, som en Accumulator oplades af en Forbrændingsmotor, for derefter i Kontraktionsfasen at udlade sin latente, kemiske Energi som Spænding, der atter kan omsættes i Arbejde. Den sidste Del af Processen kan som omtalt i gunstigste Tilfælde have en Nyttevirkning paa nær op imod 100 %. Man maa altsaa antage, at et eller andet ubekendt Stof under Kontraktionen danner Mælkesyre under en vis, ret ringe, Varmeudvikling, at derpaa i Restitutionsfasen Mælkesyren forbrænder under en Varmeproduction, der er langt mindre end dens Forbrændingsvarme, idet den resterende Del af den frigjorte Energi medgaar til Dannelsen af Mælkesyrens Modersubstans. Selve den Proces, der er den umiddelbare Aarsag til Spændingsenergien, kendes endnu ikke, man er dog nogenlunde enig i den Antagelse, at det er de mindste kontraktile Elementer, sarcous elements, der forandrer Form enten paa Grund af forandrede Overfladespændinger eller paa Grund af et forandret osmotisk Tryk. I sidste Tilfælde vil Processen kunne tænkes indledet ved Dannelsen af nye Molekyler, f. Ex. Mælkesyremolekyler, i de smaa, prismatiske anisotrope Legemer; derved vil deres osmotiske Tryk stige, og de vil optage Vand fra den omgivende isotrope Substans; det enkelte Element maa da paa Grund af sit forøgede Rumfang stræbe at antage Kugleform, og dette maa atter bevirke, at hele Muskelfibren forkortes, hvis ikke ydre Kræfter træder hindrende i Vejen; da Vandet tages fra den isotrope Substans, vil hele Musklens Rumfang imidlertid forblive uforandret. Naar det osmotiske Tryk atter formindskes, enten ved at Mælkesyren forbrænder eller paa anden Maade, vil den anisotrope Substans paany afgive det optagne Vand. De Beregninger, som man forsøgsvis har udført med Hensyn til de paagældende Overfladers Størrelse, de osmotiske Kræfter osv., har givet som Resultat, at Muskelkontraktionen, saa vel hvad Udstrækning som hvad

Hastighed angaar, meget vel lader sig forklare udfra Antagelsen af osmotiske Kræfter som Aarsag. Men hermed er naturligvis ikke bevist, at dette er Sagens faktiske Sammenhæng.

Muskeltrætheden.

En Muskel kan kun under visse Betingelser arbejde uafbrudt; som Regel vil den efter kortere eller længere Tids Forløb trættes; naar dette Punkt er naaet, maa den udhvile for paany at kunne arbejde, men Hvilen behøver kun at være ganske kortvarig. Som nærmere omtalt paa S. 132 influerer Trætheden paa Kontraktionskurvens Form; hér skal de Momenter omtales, der har Betydning for Tidspunktet for Træthedens Indtræden.

(a) Hvis man irriterer en isoleret Frømuskel rhytmisk med maximale Irritamenter, vil Kontraktionshøjden aftage kontinuerligt og i samme Grad for den enkelte Trækning saaledes, at Kurvernes Toppunkter kommer til at ligge paa samme rette Linie. Anvender man derimod submaximale Irritamenter, vil Kontraktionshøjden i Begyndelsen tiltage, derefter paa en kortere eller længere Strækning holde sig konstant, for tilsidst at aftage efter en stærkere Skala, end naar man anvender maximale Irritamenter.

(b) Foruden Irritamentets Størrelse spiller dets Frekvens en vigtig Rolle; jo hurtigere Irritamenterne følger efter hinanden, desto hurtigere trættes Musklen. For normale blodgennemstrømmede Muskler gives der dog i saa Henseende en nedre Grændse for Frekvensen; følger Irritamenterne efter hinanden med længere Mellemrum, trættes Musklen ikke selv ved timelang fortsat Irritation (Fig. 46). Denne Grændse er højst forskelligt beliggende, dels efter Individets Art, dels efter Musklens Natur; hos det samme Individ trættes de sarcoplasmafattige Muskler hurtigere end de sarcoplasmarige; for Menneskets Vedkommende ligger Grændsen ved en Frekvens paa omtrent 6 Irritamenter i Minuttet.

(c) Ogsaa Musklens Belastning har i denne Forbindelse Interesse; det har vist sig, at naar et lige stort mekanisk Arbejde udføres under i øvrigt samme Betingelser, da trættes Musklen desto hurtigere, jo større Belastningen er; tillige maa Hvilepavserne i saa Tilfælde gøres længere. Naar ved konstant Arbejde den samlede Arbejdspræstation ved en Belastning paa 30 kg sættes til 100, gaar den ved 40 kg Belastning ned til 65, ved 50 kg til 42 og ved 60 kg Belastning til kun 23.

De Hensyn, som disse Betingelser kræver, vil den øvede Arbejder og den trænede Sportsmand uvilkaarligt opfylde, og paa en Tilpasning i denne Retning beror det, at f. Ex. Respirationsmuskulaturen kan præstere et gennem Aar fortsat Arbejde uden at trættes. Man kan paa forskellige Maade forhale Tidspunktet for den absolute Trætheds Indtræden; man kan saaledes ved begyndende Træthed formindske Belastningen; i Praxis vil dette sige, at man f. Ex. i Løb formindsker Tempo eller Skridtlængde; en anden men mindre heldig Fremgangsmaade er den at forøge Irritamentet, d. v. s., man kan »tage sig sammen«. Da der paa denne Maade trækkes forøgede Vexler paa Centralnervesystemet, bør denne Udvej dog vælges med fornøden Hensyntagen navnlig overfor Børn; men ogsaa Voxne kan komme til at lide under Følgerne, hvis deres Nervesystem trættes for meget og for hyppigt; den nervøse Træthed er velbekendt under Navn af »Overtræning«, og enhver Sportmand ved, at denne Tilstand kun langsomt lader sig reparere. Det er utvivlsomt Forsyndelser paa det hér nævnte Omraade, der er Skyld i, at saa mange Athleter tillige er Neurasthenikere.

Det er særligt de sidste Kontraktioner, der, naar Musklen drives til fuldstændig Træthed, virker skadeligt; alt for lang Indøven af en bestemt Bevægelse er derfor ikke hensigtsmæsig, Udbyttet af Øvelsen bliver ringere, naar man fortsætter trods begyndende Træthed, og fortsætter man,

indtil de højere Grader af Træthed er naaet, kan man forspilde de i Forvejen vundne Resultater.

Det eneste rationelle Middel mod Træthed er Hvile; jo stærkere Træthed, desto længere Hvile. Genoptages Arbejdet, før end Musklen er udhvilet, da vil den trættes hurtigere end første Gang, og dens samlede Arbejdspræstation beregnet fra modsvarende Punkter paa Træthedskurven vil være formindsket.

Maalbevidst Øvelse til en passende Grændse med fornødne Hviletider, særlig i Forbindelse med kraftig Ernæring, kan forskyde Træthedsgrændsen og kan tillige udvikle Musklens Ydeevne betydeligt, idet Musklens Masse forøges; Forøgelsen beror paa en Volumenforøgelse af den enkelte Fiber, ikke paa en Forøgelse af Fibrenes Antal. Omvendt skal Musklen for at kunne bevare sin Ydeevne nogenlunde regelmæsigt holdes i Virksomhed; sker dette ikke, vil den formindskes i Rumfang og hurtigere trættes (Inaktivitetsatrofi); Formindskelsen af Musklen skyldes ikke Svind af Fibre men formindsket Rumfang af den enkelte Fiber. Atrofien er dog ikke ensbetydende med Musklens Død, denne kan, naar den paany regelmæsigt tages i Brug, atter genvinde sin tidligere Styrke, ja endog udvikle denne videre.

Træthedens Angrebspunkt er de motoriske Endeplader i Musklen. Det viser sig nemlig, at hvis man har irriteret en Muskel til absolut Træthed gennem dens Nerve, da kan den endnu bringes til at kontrahere sig ved direkte Irritation; da nu selve Nerven ikke trættes selv ved timelang fortsat Irritation, maa Træthedens Sæde være de nervøse Terminalorganer.

Træthedens Aarsager er maaske flere, men i Hovedsagen skyldes den vistnok Syredannelse i Musklen, altsaa særligt Mælkesyre. Ophobning af Kulsyre virker lammende paa Musklen, men denne kan atter kontrahere sig, saasnart Kulsyren fjærnes; ogsaa Iltmangel virker lammende; hvis Musklen afskæres fra Ilttilførsel udover en ganske kort Tid, kan

den ikke mere restitueres, men degenererer og dør. Sammentrykker man Aorta abdominalis paa en Kanin, vil Underextremiteterne hurtigt lammes; men Musklerne vil atter reagere, naar Blodcirculationen gives fri (Steno's Forsøg); dette Resultat beror paa, at det arterielle Blod ilter den dannede Mælkesyre.

For nogle Aar siden har man paa Grundlag af talrige Undersøgelser, der senene er blevet forøget i Antal, fremsat den Hypotese, at Trætheden skulde bero paa et Toxin (Kenotoxin), som man har fremstillet ved Udpresning af Muskler, der var bragte til absolut Træthed. Samme Toxin skulde endvidere findes i forskellige Stoffer fra Dyre- og Planteriget (Slangegift, Curare f. Ex.) samt Menneskets Exspirationsluft og i forskellige patologiske Produkter. Kenotoxin giver som andre lignende Stoffer Anledning til Dannelsen af Antistoffer (Antikenotoxin) i Organismen, Stoffer, der ved at neutralisere Toxinet kan forsinke Træthedens Indtræden eller endog ophæve allerede indtraadt Træthed. Virkningen af Træning skulde herefter først og fremmest bestaa i en forøget Dannelse af disse Antistoffer. — Hele denne Teori staar dog endnu paa for svage Fødder, til at man tør fæste Lid til den.

I den allerseneste Tid har man gjort en Opdagelse, der, hvis den finder Bekræftelse, har en ikke ringe Interesse, idet Muskeltrætheden herved bringes ind under Omraadet for Organismens kemiske Regulation. Det har nemlig vist sig, at Injection af Thymusextrakt er i Stand til i ikke ringe Grad at forhale Tidspunktet for den absolute Træthed Indtræden forudsat, at Trætheden i det Øjeblik, da Injectionen foretages, ikke er for vidt fremskredet. Man formoder, at det ubekendte Stof i Tymussekretet virker paa de motoriske Endeplader.

Forholdet mellem Musklen og dens Nerve.

En Muskel kan irriteres paa en af de tidligere anførte Maader enten gennem sin Nerve eller direkte; det sidste er ikke umiddelbart indlysende men kan godtgøres ved Forsøg. Naar Musklen kontraherer sig for et direkte appliceret Irritament, kan dette nemlig bero paa, enten at Muskelfibrene direkte irriteres, eller at Irritamentet træffer Nervens Endeforgreninger i Musklen og gennem disse overføres paa dennes Substans, ligesom naar Nerven irriteres i sit extramuskulære Forløb. Det har imidlertid vist sig, at en Muskel kan irriteres ved et direkte Irritament, naar det motoriske Endeapparat er trættet (se ovenfor), og det samme er Tilfældet naar dette er lammet, hvilket kan ske ved Forgiftning med den indianske Pilegift, Curare. Et curariseret Dyr kan ikke vilkaarligt bevæge sine Muskler, skønt dets Nerveledning er intakt, men Musklerne kan bringes til at kontrahere sig ved direkte Irritation. Det er imidlertid tvivlsomt om disse Forsøg er bevisende, da Curare ikke eller dog kun i ringe Grad paavirker de antonome Nerver. Det viser sig imidlertid, at et Muskelafsnit, der overhovedet ikke indeholder Nerveender, kan bringes til at kontrahere sig ved direkte Irritation, saaledes den nedre Ende af M. sartorius hos en Frø. At nervøse Elementer mangler i denne Del af Musklen, kan man vise ved Hjælp af Glycerin, der virker som Irritament for Nerven men ikke for Musklen; afskærer man smaa Stykker af den nedre Ende af Sartorius og bringer Snitfladerne i Berøring med Glycerin, vil dette i Begyndelsen vise sig uden Virkning, saasnart man derimod naar til den Del af Musklen, der indeholder Nervefibre. d. v. s , omtrent til Grændsen mellem midterste og nederste Trediedel, da vil Musklen kontrahere sig, naar Glycerin anbringes paa Snitfladen.

Normalt ledes de motoriske Nerveimpulser til Musklen gennem Nerven; denne har imidlertid ogsaa paa anden Maade indgribende Betydning for Musklen og dens Livspro-

cesser; gennem Nerven reguleres Musklens Ernæring. Afbryder man Forbindelsen mellem Centralnervesystemet og Musklen, vil denne degenerere, d. v. s., den vil efter kortere eller længere Tids Forløb miste sin Irritabilitet, hvorpaa den egentlige Muskelsubstans resorberes, og kun Bindevævsstromaet bliver tilbage. Degenerationsprocessen foregaar som Regel gennem skiftende Faser; efter et første Stadium paa omtrent et Par Dage, under hvilket Musklens Følsomhed for Irritamenter er nedsat, følger et andet, oftest flere Uger varende, Excitationsstadium, i hvilket Musklen er overfølsom og synes at befinde sig i stadig Uro; der viser sig ofte, tilsyneladende spontant, partielle Kontraktioner og fibrillære Trækninger. Herefter gaar Degenerationsprocessen over i sit tredie og sidste Stadium, under hvilket Musklens Følsomhed for Irritamenter efterhaanden fuldstændigt forsvinder, og den kontraktile Substans resorberes.

Dødsstivheden.

Degenerationen er altsaa local Muskeldød; hvis Individet dør, da dør naturligvis ogsaa Musklerne, men Processen faar i saa Tilfælde et ganske andet Forløb end Degenerationsprocessen. Efter Individets Død mister Musklerne i Løbet af meget kort Tid deres Elasticitet og Kontraktionsevne, tillige vil de forkortes og faa en ejendommelig og fast, deigagtig Konsistens. Denne Tilstand, den saakaldte Dødsstivhed, ligner i nogen Maade den naturlige Kontraktion; Musklen forkortes, og Sammentrækningen sker med en ikke ringe Kraft. Stivheden indtræder hurtigere ved høj Temperatur end ved lav, den indtræder næsten momentant, hvis Individet umiddelbart før Dødens Indtræden har været i stærk Aktivitet, men udebliver, hvis Musklen i Dødsøjeblikket var særlig vel forsynet med Ilt; den indtræder først sent, hvis Musklen skilles fra Centralnervesystemet. Ved Dødsstivhedens Indtræden udskiller Musklen endvidere CO_2, og dens Reac-

tion bliver sur. Dødsstivheden viser sig som Regel i Løbet af de første 12 Timer efter Dødens Indtræden; den begynder i Nakkemuskulaturen og breder sig derfra efterhaanden til den øvrige Muskulatur, sidst til Underextremiteterne; den forsvinder spontant i det følgende Døgn. Dødsstivhedens egentlige Væsen er endnu ubekendt.

2. Indvoldsmusklerne.

Bygning.

Den saakaldte glatte Muskelcelle er tenformet med en enkelt stavformet Kærne, der sædvanligt er anbragt centralt i Cellen; denne er fint længdestribet, beroende paa Tilstedeværelsen af meget tynde Fibriller af anisotrop Substans, der paa Tværsnit viser sig ordnede i radiære Rækker. Den glatte Muskelcelle er betydelig mindre end den tværstribede Muskeltraad; Tykkelsen er ca. 5 μ, Længden stærkt varierende; undtagelsesvis har man (i Uterinmuskulaturen) fundet Celler paa 0,5 mm's Længde.

En noget afvigende Bygning har Hjærtemuskulaturen, hvis Celler typisk er prismatiske, ofte grenede og forbundne med hinanden til en sammenhængende Masse. Fibrillerne, der for øvrigt er ordnede som i de tenformede Celler, viser Tværstribning af samme Art som Skeletmusklernes Celler, idet de bestaar saavel af enkelt- som af dobbeltbrydende Substans.

Egenskaber.

Undersøgelsen af Indvoldsmusklerne er overmaade vanskelig, da disse forekommer som sammenhængende Lag, i hvilke Cellerne kun undtagelsesvis alle har samme Retning, oftest derimod danner indbyrdes krydsende Strøg; desuden indeholder saadanne Muskellag som Regel Ganglier og et rigt Netværk af Nervefibre saaledes, at det er meget usik-

kert, om den stedfindende Reaktion beror paa Musklerne eller paa Nerverne.

De glatte Muskler udmærker sig ved en overordentlig Eftergivelighed; Forlængelsen er uafhængig af Belastningens Størrelse men foregaar hurtigere, naar de belastes stærkt, end ved svag Belastning. Indvoldsmusklerne paavirkes af de samme Irritamenter som Skeletmusklerne, dog maa disse være af længere Varighed; derfor er Inductionsslag mindre anvendelige; ofte kan et enkelt kraftigt Inductionsslag være virkningsløst, medens et langsommere, langt svagere Irritament kan vise sig virksomt. Disse Muskler besidder desuden i høj Grad Evnen til at opsummere subminimale Stimuli. Indvoldsmusklerne irriteres ofte i Modsætning til Skeletmusklerne direkte; et saadant direkte Irritament er den passive Udspænding, hvis den foregaar tilstrækkelig hurtigt; sker den langsomt, kan Musklerne taale en betydelig Udspænding, inden Kontraktionen udløses. Hvis et Hulorgan langsomt fyldes, kan man se krydsede Fiberstrøg ordne sig parallelt, hvorved Spændingen i Væggen holdes forholdsvis lav. Ledningen er i Indvoldsmusklerne ikke isoleret, dette viser sig tydeligst for Hjærtemusklens Vedkommende, idet Hjærtet, naar det irriteres med et Irritament, der er over Tærskelværdien, altid kontraherer sig in toto og altid maximalt, det viser sig tillige ved, at et enkelt Irritament, f. Ex. et mekanisk Irritament, kan fremkalde en hel Serie af Kontraktionsbølger i et Muskellag.

Indvoldsmusklerne frembyder i Almindelighed de samme Kontraktionsformer som Skeletmusklerne, men hele Kontraktionsprocessen har et meget mere protraheret Forløb; dette gælder for alle Faser; den refraktære Periode er meget udtalt, for Hjærtets Vedkommende strækker den sig over næsten hele Kontraktionstiden; Hjærtet kan derfor ikke bringes i Tetanus. Hvis man ved et kunstigt Irritament fremkalder en extra Systole, vil den følgende Diastole blive saa lang, at den næste Kontraktion falder paa normalt Sted

i Kurven. Den absolute Kraft er meget betydelig (Uterinmuskulaturen); Forkortningen kan ved tetanisk Kontraktion naa til omtrent 60 % af Længden.

Indvoldsmusklerne er relativt selvstændige overfor Centralnervesystemet; de vil ikke som Skeletmusklerne degenerere og dø, fordi de skilles fra dette. Paa Grund af deres træge Reaktion og langsomme Kontraktionsmaade er de vanskelige at beherske effektivt gennem Nervesystemet; men denne Vanskelighed ophæves dog til dels gennem deres ejendommelige Innervation. Disse Muskler er forsynede med to Slags efferente Nerver, nemlig foruden med motoriske Nerver i dette Ords sædvanlige Betydning tillige med Nerver, gennem hvilke de modtager Impulser, der foraarsager Standsning af en allerede begyndt Kontraktionsproces eller Afslapning af Musklen; begge Slags Nerver tilhører det autonome System.

II. Speciel Muskelfysiologi.

Bevægelseslære.

Medens den almindelige Muskelfysiologi behandler Musklernes almindelige Egenskaber, beskæftiger den specielle Muskelfysiologi sig med de Bevægelser, som Organismen er i Stand til at udføre ved Musklernes Hjælp. Bevægelseslæren er anvendt Mekanik, hvis Opgave imidlertid er forskellig fra den, der stilles den tekniske Mekanik, idet man i denne gaar ud fra givne Kræfter og søger at udfinde den resulterende Bevægelse, medens man i den fysiologiske Bevægelseslære gaar ud fra Bevægelsen og søger at finde de virkende Kræfter. Denne sidste Opgave er utvivlsomt den vanskeligste, og Vanskelighederne forøges yderligere derved, at Leddenes Bevægelser som omtalt i Reglen ikke foregaar i mathematisk bestemte Baner, og at Bløddelene, der er knyttede til Skelettets forskellige bevægelige Afsnit, gaar ganske jævnt over i hinanden. Naar man tillige erindrer,

at Legemets Bevægelser er mangfoldige og ofte meget komplicerede, da forstaar man, hvorfor hele denne Disciplin indenfor Fysiologien ikke endnu kan siges at være naaet udover Begyndelsesstadiet. Bevægelseslærens Maal: for hver enkelt Bevægelse at kunne bestemme hvilke Muskler, der virker, og hvilket Arbejde, hver enkelt af disse har at udføre, dette Maal kan man derfor først vente at naa i en fjærn Fremtid. Det lader sig endnu ikke gøre at inddele Stoffet efter Mekanikens Fordringer, man maa ligesom for Leddenes Vedkommende holde sig til den anatomiske Inddeling og i hvert enkelt Tilfælde søge at klare sig de mekaniske og fysiologiske Forhold.

Bevægelseslæren bestaar af to Afdelinger:

A. Almindelig Muskelmekanik.

Den almindelige Muskelmekanik beskæftiger sig med de mekaniske Grundsætninger, hvorefter Musklerne virker uden Hensyn til deres Plads i Legemet, idet man regner med Muskelkraften som en given Kraft uden at spørge om dens Væsen og Oprindelse.

Muskeltrækkets Størrelse og Retning.

Som omtalt i det foregaaende bestaar Musklen af Fibre, der innerveres selvstændigt og danner de egentlige funktionelle Enheder; følgelig maa den Spænding, som en given Muskel er i Stand til at præstere, være proportional med Antallet af dens Fibre under Forudsætning af, at disse har samme Tykkelse. Da denne Forudsætning ikke helt slaar til, og da Antallet af Fibre ikke er let at tælle, bestemmer man Musklens relative Styrke ved Hjælp af dens samlede Tværsnitsareal maalt vinkelret paa samtlige Fibre, det fysiologiske Tværsnit. Den samlede Kraft, som alle de enkelte Muskelfibre er i Stand til at udfolde, Muskelresultanten,

er altsaa proportional med Musklens fysiologiske Tværsnit. Man ser let, at naar Fiberretningen i en Muskel er parallel med Endesenernes Retning, da falder det anatomiske og det fysiologiske Tværsnit sammen; er Fiberretningen derimod en anden, kan de to Størrelser være ret forskellige, idet det fysiologiske Tværsnit da altid forøges. Tænker man sig en tenformet Muskels Endesener forlængede som flade Seneblade langs Musklens Sider og Fibrene forløbende mellem disse, da vil det anatomiske Tværsnit forblive uforandret men det fysiologiske vil blive omtrent saa stort som det anatomiske Længdesnit; en særlig stor Forøgelse af det fysiologiske Tværsnit har man i de fjerformede og sammensat fjerformede Muskler, hvor Fibrene forløber mellem Senestrøg, der fra Udspring og Fæste strækker sig ind i Muskelbugen. Størrelsen af det fysiologiske Tværsnit kan med Tilnærmelse bestemmes direkte, naar man trykker Musklen ind i et Udsnit i et Brædt ved Hjælp af et Slags Stempel, eller ved at Musklens Snitflade stryges over med Farve og derefter trykkes mod et Stykke Papir eller Metalblik, hvis Areal derpaa kan bestemmes ved Hjælp af et Planimeter eller ved Vejning. Indirekte kan Tværsnittet bestemmes ved Beregning, naar man kender Musklens Rumfang og Fibrenes Længde; den første af disse Størrelser kan bestemmes ved Vejning, idet $R = V : vf.$, hvor vf. er Muskelvævets Vægtfylde, 1058. Fiberlængden, eller rettere Muskelbundtets Længde maa bestemmes direkte ved Maaling paa Dissektionspræparat, er denne gennemsnitligt M, har man altsaa Tværsnittet, $T = \frac{V}{M \cdot 1{,}058}$ cm², naar V angives i gram og M i cm; vil man nøjes med en meget grov Tilnærmelse, kan man i mange Tilfælde slippe med at bestemme det anatomiske Tværsnit; disse Størrelser varierer saa stærkt individuelt, at Forsøg paa nøjagtige Maalinger ofte vil være meget lidt lønnende.

Hvad angaar den absolute Muskelkraft, d. v. s. den

maximale Spænding paa Tværsnitsenheden (cm²), da tyder de nyere Undersøgelser paa, at denne næppe er meget mindre end ca. 10 kg. E. Weber angiver et meget afvigende Tal nemlig som Maximum 1,087 kg. Weber regner imidlertid med et tre Gange saa stort fysiologisk Tværsnit for de paagældende Muskler (Lægmusklerne) som andre Forfattere, endvidere regner han med, at Lægmusklernes Spænding, naar Hælen netop løftes fra Gulvet, er lig Legemsvægten, medens den i Virkeligheden er henved 3 Gange saa stor[1]); tages disse Forhold i Betragtning, da ser man, at Webers tilsyneladende stærkt afvigende Tal dog harmonerer ret godt med andres Resultater. Det maa udtrykkeligt bemærkes, at det hér anførte Tal kun gælder, naar Musklen, idet den træffes af Irritamentet, har sin sædvanlige Hvilelængde; som tidligere omtalt vil den maximale Spænding forøges stærkt, hvis Musklen i det Øjeblik, da den irriteres, er spændt udover sin Ligevægtsstilling, medens Spændingen vil blive mindre efterhaanden som Forkortningen skrider frem.

Det Træk, som Musklen udøver gennem sin Sene, er imidlertid ikke alene bestemt af den absolute Muskelkraft men tillige af Fibrenes Retning; kun hvis disse forløber parallelt med Senen, kan Musklen komme til at virke med sin fulde Styrke, i modsat Fald vil kun en Del af Muskelkraften komme til Anvendelse. Man ser let af en skematisk Figur, at den virksomme Komponent bliver K cos v, naar K er Musklens Kraft og v den spidse Vinkel mellem Fibrenes og Senens Retning.

Hvis en Muskel forløber frit mellem sit øvre og nedre Fæstepunkt, da er Muskelresultantens Retning bestemt ved en Linie, der forbinder de geometriske Midtpunkter af Udsprings- og Tilheftningsfladen; hvis den derimod under sit Forløb lider en Afbøjning paa Grund af Knoglefremspring, Baand el. lign., da forandres dens Trækretning saaledes, at

[1]) Se Skand. Arch. f. Physiol. 1912, Bd. 27, S. 295.

denne, hvis Afbøjningsstedet er beliggende paa den relativt faste Knogle, bliver at regne fra Afbøjningsstedet til det nedre Fæste, medens omvendt Trækretningen maa regnes fra det øvre Fæste til Afbøjningsstedet, hvis dette er beliggende paa den bevægede Knogle. Naar Ilio-psoas virker fra sit øvre Fæste som Fixpunkt, er altsaa dens Trækretning bestemt ved en Linie fra Bækkenranden til Trochanter minor, medens den lange Bicepssenes Trækretning, hvad dens Virkning paa Skulderleddet angaar, er en Linie fra dens øvre Fæste til Begyndelsen af Sulcus bisipitis. En Muskel, der forløber over flere Led, en Flerledsmuskel, kan naturligvis have flere Trækretninger, men dens Spænding er overalt den samme. For enkelte Musklers Vedkommende kan man ikke tale om Trækretning i den sædvanlige Betydning af Ordet; dette gælder saaledes de saakaldte Snøremuskler, hvis Kontraktion bevirker en Forsnævring af den Aabning, omkring hvilken de er anbragte, og hvis »Trækretning« altsaa er radiær i Forhold til denne og i Hovedtræk vinkelret paa Fiberretningen, ligeledes de brede Bugmuskler, naar disse virker som Bugpresse eller som Exspirationsmuskler; de virker da ved et Fladetryk vinkelret paa Musklernes Plan.

Hvilelængde og Bevægelsesbane.

Et Spørgsmaal, der har været en Del omstridt, er dette: Hvad skal man forstaa ved en Muskels »naturlige Længde«? Som Resultat af Diskussionen kan man vistnok slaa fast, at den nævnte Størrelse ikke er en Konstant for hver enkelt Muskel men en Variabel, der retter sig efter de forhaandenværende Forhold og da først og fremmest efter Innervationen. Enhver Muskel har imidlertid, hvadenten den er innerveret eller ikke, en Ligevægtsstilling, d. v. s. en Stilling, hvori dens Spænding er = 0; tager man denne Betragtning som Udgangspunkt, hvad der kan være saa meget mere Anledning til, som det netop er Musklens Funktion at udvikle Spænding,

da kan man definere Musklens Hvilelængde (naturlig Længde er et uheldigt Udtryk, fordi en spændt Muskel ingenlunde er unaturlig) som den største Længde Musklen kan have, naar dens Spænding er Nul.

I den levende Organisme er Musklerne som oftest spændte udover deres Hvilelængde, først og fremmest paa Grund af den uvilkaarlige Innervation, Tonus; men selv om Tonus vilkaarligt bringes ned til et Minimum, er Musklen ikke derfor i Ligevægt, idet den i de fleste vanemæsige Stillinger af det eller de Led, henover hvilke den forløber, vil være i nogen Grad passivt udspændt af de paagældende bevægelige Legemsafsnits Vægt. Der findes dog Undtagelser fra Reglen; man kan saaledes som bekendt i visse staaende Stillinger frit forskyde Patella fra Side til anden, hviket viser, at Quadriceps maa være »afspændt«, og denne Muskel maa da i alt Fald meget nær indtage sin Ligevægtsstilling i afspændt (men dog rimeligvis svagt tonisk innerveret) Tilstand. Paa den anden Side naaer den passive Udspænding af den hvilende Muskel i Organismen som Regel ikke Maximum; Reglen gælder vistnok ubetinget for Enledsmuskler, derimod gives der, hvad Flerledsmusklerne angaar, Undtagelser, saaledes f. Ex. Hasemusklerne. Den maximale Udspænding af en Muskel fremkommer, naar det eller de Led, over hvilke den forløber, bringes i den modsatte Yderstilling af den, i hvilken den paagældende Muskel ved sin Kontraktion vilde bringe dem; da Hasemusklerne er Hofteledstrækkere og Knæbøjere, vil disse Muskler altsaa naa den stærkeste Udspænding ved en samtidig Hoftebøjning og Knæstrækning. Som bekendt er Bøjning i Hofteleddet ikke mulig i fuld Udstrækning, naar Knæet holdes strakt, hvilket netop beror paa, at Hasemusklerne forinden naaer maximal Udspænding. Saadanne Muskler, der altsaa danner en Hindring for den fulde Udnytning af de paagældende Leds Bevægelsesbane, kaldes passivt insufficiente. Den passive Insufficiens er aldrig absolut men kan i alt Fald til dels overvindes ved Øvelse,

d. v. s. ved, at man systematisk driver Udspændingen saa vidt som muligt; det Resultat, man ad denne Vej kan opnaa, er individuelt forskelligt, og hvorpaa det beror, ved man ikke; det er dog sandsynligt, at det beror paa en Forandring af Musklernes Hvilelængde, der muligvis atter er betinget af en større Eftergivelighed af Musklens Bindevæv. Maximal Udspænding af en Muskel er ledsaget af Smærtefornemmelse; den Mulighed er derfor ogsaa til Stede, at den forøgede Eftergivelighed som Følge af fortsat stærk Udspænding kunde bero paa en Slags Tilpasning af Smærtenerverne til de forandrede Forhold. Erfaringen synes tillige at vise, at man ved stadig at lade en Muskel arbejde i stærk Forkortning kan fremkalde Forandringer i modsat Retning af de ovenfor omtalte, altsaa en mindre Hvilelængde eller en mindre Eftergivelighed muligvis beroende paa en Slags Skrumpning af Bindevævet. Forholdene er imidlertid vanskelige at overse, navnlig vil Forandringer i Muskeltonus kunne bidrage til at komplicere Billedet, og alt, hvad man har at holde sig til, er et erfaringsmæsigt Skøn, der som bekendt ofte kan være vildledende. Det er saaledes ikke udelukket, at den mindre Hvilelængde eller habituelle Længde, der skulde blive Resultatet af, at Musklen jævnligt arbejder i stærk Forkortning, kunde være secundær, en Følge af den samtidige passive Udspænding af Antagonisterne. Hvis det nemlig er givet, at Muskler ved gentagne passive Udspændinger giver efter, — og paa dette Punkt synes de fleste Iagttagere enige, — da maa Tonus alene bevirke, at de forlængede Musklers Antagonister forkortes.[1])

[1]) Der kunde maaske i denne Forbindelse være Anledning til at erindre om en Iagttagelse, der viser, hvor meget vi endnu mangler i at være naaet til Klarhed med Hensyn til den motoriske Innervation og dens Virkninger:

Hvis man stiller sig i en smal Døraabning og presser Armene mod Karmen i omtrent et Minut, eller indtil man bliver dygtig træt, og dernæst træder et Skridt frem, da vil Armene spontant abduceres mere eller mindre alt efter den forudgaaede Anstrængelses Grad. En kraftig og vedvarende

Musklerne vil i den levende Organisme som Regel heller ikke kunne naa Maximum af Forkortning, fordi Musklernes maximale Kontraktionsbane er større end den, der svarer til Leddenes Bevægelsesbane; ogsaa fra denne Regel skal der dog gives Undtagelser, de saakaldte aktivt insufficiente Muskler, Muskler altsaa, der ikke skulde være i Stand til at føre den Bevægelse, som de selv foranlediger, saa langt, som det paagældende Leds Bevægelsesbane vilde tillade. Bortset fra, at et saa »uhensigtsmæsigt« Arrangement paa Forhaand synes lidet sandsynligt, gør man sikkert vel i at optage den aktive Insufficiens med Varsomhed; det er næppe udelukket, at man har overset visse Omstændigheder, der netop i denne Forbindelse har Interesse. Blandt de aktivt insufficiente Muskler nævnes Triceps suræ; ved extrem passiv Plantarflexion af Foden skulde Achillessenen »slaa Folder« (R. Fick), selv om Triceps innerveres maximalt. Maaske er dette rigtigt i visse Tilfælde, nogen almengyldig Regel er det ikke; hvis Iagttagelsen er rigtig, kunde Forklaringen maaske være den, at man reflektorisk afspænder Plantarflexorerne, naar Fodleddet passivt bringes til at indtage sin Grændsestilling.[1])

Med Hensyn til Forholdet mellem Muskelfibrenes Længde og Musklens Bevægelsesbane da har man opstillet den Lov (Weber, Fick), at Fiberlængden i den levende Muskel in situ er dobbelt saa stor ved maximal Udspænding som ved

---

isometrisk Kontraktion af Skulderleddets Abductorer (det samme gælder for øvrigt naturligvis ogsaa for andre Muskelgruppers Vedkommende) har altsaa en Eftervirkning af indtil videre ubekendt Natur, der medfører en Forkortning af Musklen. Hvis man derimod abducerer den belastede Arm, holder Abductionsstillingen indtil Træthed under kraftig Kontraction af Abductorerne, og derefter lader Armen synke ned i Grundstillingen, da vil der, naar Armen aflastes, ikke vise sig nogen Tilbøjelighed til spontan Abduction.

[1]) Jeg har personlig gjort den Iagttagelse, at naar man ved aktiv, maximal Plantarflexion tager et haardt Tag i Foden i Bevægelsens Retning, da afspændes Triceps momentant, selv om Leddets Stilling ikke kendeligt forandres; søger man derpaa at kontrahere Musklen, bliver Kontraktionen uregelmæsig, rykvis og ufuldstændig. Som jeg tidligere (S. 15) har gjort op-

maximal Forkortning (Fig. 47). Loven skal dog kun gælde ubetinget for Enledsmuskler, for Flerledsmusklernes Vedkommende er Forholdet det, at Fibrene ved maximal Forkortning er halvt saa lange som ved den stærkeste habituelle Udspænding. Flerledmuskler har altsaa relativt kortere Fibre end Enledsmuskler.

Man kan maale en Muskels Bevægelsesbane paa Præparat, idet man fastspænder den ene Knogle, medens den anden kan bevæges frit og erstatter Musklen med en Snor, hvis ene Ende er fæstet i Musklens nedre Fæste, medens den anden føres gennem et Øsken svarende til det øvre Fæste og derpaa over en Tridse; til denne Ende er befæstet et lille Lod, der glider langs en inddelt Opstander, naar Snoren bevæges. Loddets Bevægelse paa Skalaen angiver da direkte Musklens Forkortning under en given Bevægelse i Leddet.

Muskelkraft og Arbejde.

Det Arbejde, som en given Kraft er i Stand til at udføre, er Produktet af Kraften og den Vej, gennem hvilken den virker. Dette Produkt kan fremstilles grafisk, naar man afsætter Musklens Forkortning som Abscisse og Spændingen som Ordinat i et retvinklet Koordinatsystem saaledes, som vist paa Fig. 48. Den størst mulige Arbejdsydelse faar man som allerede nævnt, naar Musklen før Kontraktionen er maximalt udspændt, naar den ikke faar Lov til at forkorte sig, før Maximum af Spænding er naaet, og naar Belastningen varierer under Kontraktionen saaledes, at Spændingen stadig holdes saa nær som

---

mærksom paa, maa det betragtes som en af Musklernes Opgaver at bevare Leddenes Integritet, og denne Virksomhed foregaar rent reflektorisk; der fordres en betydelig Agtpaagivenhed fra Individets Side, hvis man skal kunne beherske disse Reflexbevægelser. Det forekommer mig derfor ikke helt usandsynligt, at den aktive Insufficiens af Triceps er at opfatte som en Del af en saadan Afværgebevægelse, hvis aktive Side altsaa skulde være en Kontraktion af Dorsalflexorerne; hvor vidt en saadan finder Sted eller ikke, har jeg dog ikke kunnet konstatere.

muligt maximal, samt naar Musklen faar Lov til at arbejde, indtil maximal Forkortning er naaet. Disse Betingelser er aldrig opfyldte i den levende Organisme; dels er Musklens passive Udspænding som Regel ikke maximal, dels naaer den ikke maximal Spænding før Kontraktionen begynder, dels angriber Belastningen successive, idet den ikke innerverede Muskel kun er belastet med Antagonisternes Tonus, medens den egentlige Vægt først angriber i det Øjeblik, da Kontraktionen begynder, dels endelig, varierer Belastningen ikke med Spændingen. I adskillige Tilfælde har man dog at gøre med aftagende Belastning, dels direkte, idet den bevægede Masses Vægtstangsarm formindskes, som naar man løfter den paa Bordet hvilende Underarm ved en Bøjning i Albuen, dels indirekte, idet Musklens Vægtstangsarm tiltager. Endelig naaer Musklen som Regel ikke Maximum af Forkortning, idet dens Bevægelsesbane iflg. den Weber-Fick'ske Lov kun er Halvdelen af Musklens største Længde, medens den maximalt forkortede Muskels Hvilelængde kun er omtrent en Femtedel af den ikke innerverede Muskels.

Et Udtryk for Musklens Arbejdsevne har man i det af R. Fick foreslaaede Arbejdsmaal. Dette er Produktet af Musklens Spænding udtrykt i Kilo og dens maximale Bevægelsesbane i Meter. Den sidste Størrelse bestemmes paa den tidligere (S. 155) angivne Maade; Spændingen beregnes som den maximale Muskelkraft paa Tværsnitsenheden, altsaa 10 kg, Gange det fysiologiske Tværsnit maalt i cm^2. Dette Arbejdsmaal er uafhængigt af Musklens Vægtstangsarm og dens Fibres Retning; Bestemmelsens svage Punkt er Beregningen af Spændingen, hvis Størrelse er afhængig dels af Begyndelsesspændingen dels af Forkortningen, idet den som tidligere omtalt aftager stærkt med denne. Som en foreløbig Orientering med Hensyn til en Muskels relative Virkning er dette Maal dog vistnok anvendeligt.

Der har hidtil kun været Tale om Arbejde i fysisk Forstand, det Arbejde, som en Muskel udfører under sin For-

kortning, det »concentriske« Arbejde, som det ofte kaldes i det gymnastiske Sprog. Musklen har imidlertid ogsaa andre »Arbejdsformer«, som det, fra et gymnastisk, d. v. s. bevægelsesfysiologisk, Standpunkt maa anses for berettiget at omtale under denne Betegnelse, selv om der ikke er Tale om Arbejde i dette Ords fysiske Betydning[1]).

Den hyppigst forekommende Arbejdsform er den statiske. Under statisk Arbejde kontraherer Musklen sig isometrisk, og dens Spænding tjener til at fixere et eller andet af Legemets bevægelige Afsnit. Maalet for det statiske Arbejde er Drejningsmomentet (hvorom senere). Hvis en Muskel arbejder statisk, altsaa saaledes, at den netop holder Ligevægt mod en given ydre Kraft, der, hvis den virkede alene, vilde bevirke en Bevægelse af det paagældende Legemsafsnit i modsat Retning af den, som Musklen ved sin Kontraktion vilde foraarsage, og hvis man under disse Betingelser successive forøger Innervationen til Musklen, da vil der, hvis den ydre Kraft ikke er for stor, foregaa en Bevægelse i Muskeltrækkets Retning, Musklen vil udføre et concentrisk Arbejde. Hvis man derimod formindsker Innervationen til Musklen saaledes, at dens Spænding lidt efter lidt bliver mindre, da vil der foregaa en Bevægelse i den ydre Krafts Retning; men denne Bevægelse vil blive langsommere, end hvis Musklens Spænding var Nul. Musklen virker altsaa som Hemning for den Bevægelse,

[1]) I Fysiologien anvendes Ordet Arbejde sædvanligt om alle Livsytringer, hvorved bunden kemisk Energi frigøres. Musklens fysiologiske Arbejde bestaar alene i at producere Spænding; men denne Spændingsenergi kan i Organismen anvendes paa flere Maader, og herved fremkommer det, som man kalder Musklens forskellige Arbejdsformer. Det heldigste vilde sikkert være, om Fysikens og Fysiologiens Definitioner kunde bringes i Overensstemmelse med hinanden; men naar Talen er om Muskelfunktionen lader dette sig næppe gøre for Øjeblikket, da man ikke uden at afstedkomme Begrebsforvirring kan opføre Musklens »Ardejdsformer« under ganske forskellige Betegnelser. Ordet Arbejde anvendes for øvrigt i Forvejen flertydigt, idet den almindelige Sprogbrug vel nærmest maa siges at være den at tale om Arbejde i alle Tilfælde, hvor Individet præsterer en Anstrængelse, ligegyldigt i hvilken Retning.

som den ydre Kraft vilde foraarsage. Naar Musklen udvikler Spænding, medens der foregaar en Bevægelse i modsat Retning af dens egen Trækretning, da arbejder Musklen under Forlængelse, »excentrisk«, som det hedder i det gymnastiske Sprog. Udtrykket excentrisk er for saa vidt uheldigt, som det hverken refererer sig til Legemets eller til Musklens Centrum men til Musklens Fixpunkt, der ligesaa godt kan være det nedre som det øvre Fæstepunkt. I Fysiologien har man lejlighedsvis anvendt et endnu uheldigere Udtryk for Arbejde under Forlængelse nemlig negativt Arbejde; man opnaar ikke herved at tilvejebringe Overensstemmelse mellem den fysiologiske og den fysiske Definition paa Arbejde, men man kommer i Strid med Muskelfysiologien, idet Musklens Virksomhed under excentrisk Arbejde ikke fra noget Synspunkt kan betegnes som negativ. Det excentriske Arbejde har været omgivet med en vis Mystik; man har hævdet, at det er »lettere« end det concentriske, at det repræsenterer en større mekanisk Nyttevirkning, ja, man har endog tænkt sig, at det skulde være Resultatet af en fra den sædvanlige Muskelkontraktion forskellig fysiologisk Proces. Alt dette beror vistnok udelukkende paa en uklar Opfattelse saavel af mekaniske Forhold som af Muskelfunktionens Væsen.

Naar et Legeme, hvis Vægt er P, bevæger sig gennem Vejen V, da udføres der et Arbejde = PV; denne Størrelse betegner en Arbejdsmængde, den siger intet om de virkende Kræfter; en mindre Kraft kan udrette det samme Arbejde som en større, naar den virker gennem en længere Vej. Hvis Legemets Tyngdepunkt hæves og derefter atter sænkes et vist Stykke i Løbet af den samme Tid, da maa Arbejdsmængden i de to Tilfælde være den samme, og da Arbejdet er udført i den samme Tid, maa ogsaa de virkende Kræfter i bægge Tilfælde have været lige store. Men den virkende Kraft er saavel under Hævning som under Sænkning en Resultant, hvis Komponenter er Tyngdekraften og Muskeltrækket, og disse Komponenter behøver ikke altid at

have samme Størrelse, den samme Resultant kan opstaa paa uendelig mange Maader. Naar to Kræfter virker i hinandens Forlængelse men i modsat Retning, da er Resultanten lig Kræfternes Differens, tillige er den som enhver anden Kraft proportional med den Acceleration, som den meddeler et frit bevægeligt Legeme, der bevæger sig i Kraftretningen. Nu er den Kraft, der under en gymnastisk Øvelse hæver eller sænker Legemets Tyngdepunkt, vel ikke nogen konstant Kraft, men hvis man betragter Forholdene indenfor et tilstrækkeligt kort Tidsrum, kan man uden at begaa større Fejl betragte den, som om den var det. Er da i et givet Øjeblik under Legemets Hævning den virkende Kraft K, dens Acceleration v, maa man have $K = M - T$, naar M er Muskeltrækket og T Tyngdekraften, hvoraf atter Muskelkomponenten $M = m (g + v)$, idet g som sædvanlig betyder Tyngdens Acceleration. I den hertil svarende Fase under Legemets Sænkning har Resultanten skiftet Retning, medens de to Komponenters Retninger er uforandrede, man faar da Muskelkomponenten bestemt ved: $M' = m (g - v)$. M betyder altsaa den concentriske Muskelkraft, M′ den excentriske, og deres indbyrdes Forhold er givet ved Ligningen: $M' = M \frac{g - v}{g + v}$. Sættes i denne Ligning $v = 0$, da er ogsaa $K = 0$, og man faar da $M' = M$ og $M = T$, d. v. s. Musklen arbejder statisk; er $0 < v < g$, da er altid $M' < M$; $v = g$ giver $M' = 0$; Legemets Sænkning foregaar da med det frie Falds Hastighed; hvis endelig $v > g$ da skifter M′ Fortegn, hviket betyder, at Muskeltrækket maa foregaa i Tyngdens Retning, hvis Bevægelsen skal kunne foregaa hurtigere end det frie Fald.

I Praxis vil M′ altid være mindre end M, hvoraf ganske naturligt følger, at det er lettere at sænke Legemet end at hæve det gennem den samme Højde i den samme Tid, idet den Spænding, som Musklen i første Tilfælde skal præstere, er mindre end i andet, og Spændingen maales subjektivt ved

den Fornemmelse af Anstrængelse, som ledsager den centrale Innervation; om Spændingen omsættes til Arbejde eller ikke, er i denne Forbindelse som oftere nævnt uden Betydning. Dette berettiger En imidlertid ikke til i al Almindelighed at karakterisere det excentriske Arbejde som lettere end det concentriske. Det er paa Forhaand klart, at det er lettere at præstere en mindre Spænding end en større, skal den nævnte Paastand betyde noget, da maa Meningen være den, at det er lettere at præstere den samme Spænding, naar Musklen arbejder excentrisk, end naar den arbejder concentrisk; men herom foreligger der intetsomhelst. Da det endvidere maa betragtes som givet, at det er Muskelspændingen, der omsættes til Arbejde, og at denne Omsæning kan finde Sted i det Omfang, som Forholdene tillader, uden at dette berører Musklens Økonomi, da er det ligeledes rimeligt at antage, at Muskelarbejdet maa blive mindre, naar en given Vægt sænkes gennem en vis Højde i en vis Tid, end naar den samme Vægt hæves under de samme Betingelser. Bevæger Legemet sig opad med Hastigheden u, da udfører Resultanten K i Tiden $\triangle t$ et Arbejde, der som allerede nævnt er $P \times V$ eller $mv \times u \triangle t$; hvis Muskelkraften var den eneste virkende Kraft vilde dens Arbejde under disse Omstændigheder være $(mg + mv)\, u \triangle t$, medens Tyngdens Andel bliver $— mg \times u \triangle t$, idet denne virker i modsat Retning. Foregaar Bevægelsen nedad ligeledes med Hastigheden u, da er det Arbejde, som Resultanten udfører, det samme som i første Tilfælde; Tyngden vilde da, om den virkede alene udføre Arbejdet $mg \times u \triangle t$, hvilket for Musklen giver $— (mg — mv)\, u \triangle t$. Det numeriske Forhold mellem Muskelspændingens Arbejdsværdi ved excentrisk (A′) og ved concentrisk (A) Arbejde bliver altsaa $A' = A\frac{g - v}{g + v}$. Formlens Betydning fremgaar af Discussionen paa S. 159.

Der foreligger intet, der berettiger til den Antagelse, at Omsætningen fra Spænding til Arbejde i det ene Tilfælde

principielt skulde foregaa i større Udstrækning end i det andet; men selv om saa var, vilde dette ikke berøre Musklens mekaniske Nyttevirkning, da denne fra et fysiologisk Synspunkt betragtet maa referere sig til den af Musklen udviklede potentielle Energi.

Desværre er de Forsøg, som direkte tager Sigte paa dette i gymnastisk Henseende saa interessante Spørgsmaal, meget faa og desuden foretagne ud fra saa uklare Forudsætninger, at de næppe vil kunne bidrage til Spørgsmaalets Belysning.

MUSKLERNES VIRKNING PAA LEDDENE.

Den Virkning, som en Muskel udøver paa et Led, er afhængig af Muskelresultantens Størrelse og Retning samt dens Afstand fra Omdrejningsaxen desuden af de bevægede Deles Masse og dennes Fordeling i Forhold til Axen, endelig spiller naturligvis, hvor det drejer sig om Led med bunden Bevægelse, Leddets Bevægelsesbane en afgørende Rolle.

Knoglerne kan betragtes som Vægtstænger, paa hvilke Musklerne virker efter de fra Fysiken kendte Love; det maa dog erindres, at denne Betragtning kun lader sig gennemføre under visse Forudsætninger. Knoglerne maa repræsenteres ved rette Linier, hvis Drejninger foregaar om faste Axer i bestemte Baner; ligeledes maa Muskeltrækket tænkes af foregaa efter en ret Linie mellem faste Punkter. Paa de saaledes simplificerede Forhold lader de mekaniske Love sig anvende; det Resultat, som man kommer til, vil imidlertid i det Hele og Store kunne overføres paa de virkelige Forhold; hvor stor Nøjagtighed, man i et givet Tilfælde opnaar, beror paa, i hvor høj Grad de concrete anatomiske Forhold afviger fra de teoretiske Antagelser. Afvigelser findes altid. De anatomiske Ledaxer er ikke helt nøje bestemte og ofte, om end ikke i større Udstrækning, foranderlige. Maalepunkterne ligger paa Grund af Knoglernes Tykkelse og forskellige Krumninger

ikke altid paa en ret Linie. Musklernes Angrebspunkter lader sig ikke bestemme nøjagtigt, da Senerne ofte har et ret bredt Fæste, hvoraf følger, at snart den ene, snart den anden Side af Senen bliver forholdsvis stærkt spændt; Muskeltrækket kan derfor ikke altid paa tilfredsstillende Maade gengives ved en enkelt Linie. Trækretningen kan paavirkes af Knoglefremspring eller lignende, og Muskelkraften varierer som oftere nævnt med Kontraktionsgraden. Hvor meget alle disse concrete Forhold betyder for Resultaterne, maa afgøres i hvert enkelt Tilfælde.

Forinden de mekaniske Forhold, der i denne Forbindelse har Interesse, omtales nærmere, vil det være hensigtsmæsigt at forudskikke enkelte orienterende Bemærkninger om

Kræfters Sammensætning og Opløsning.

Flere Kræfter, der virker i samme Plan, og som har samme Angrebspunkt, kan tænkes erstattede med en enkelt Kraft, Resultanten, hvis Størrelse og Retning kan bestemmes grafisk, naar man erindrer, at hver enkelt Kraft virker, som om den virkede alene. Afsætter man derfor udfra Angrebspunktet først én af de virkende Kræfter, repræsenteret ved en Linie, hvis Retning er Kraftens Retning, og hvis Længde i en eller anden Maalestok svarer til Kraftens Størrelse, og udfra denne Linies Endepunkt paa samme Maade den næste Kraft osv., da vil en Linie fra Angrebspunktet til den saaledes fremkomne brudte Linies Endepunkt svare til Kræfternes Resultant. Danner den brudte Linie en lukket Polygon, da er Resultanten = 0, d. v. s., hele Systemet er i Hvile eller jævn Bevægelse. Drejer det sig kun om 2 Kræfter, da bliver Resultanten Diagonal i et Parallelogram, hvis Sider er de to Kræfter. Falder de to Kræfter i hinandens Forlængelse, vil de to af Parallelogrammets Vinkler svinde ind til Nul, og man ser da let, at Resultanten bliver lig Kræfternes Sum eller Differens, eftersom disse virker i samme

eller i modsat Retning. Har de to Kræfter ikke samme Angrebspunkt, bliver Konstruktionen for øvrigt at udføre paa samme Maade, idet man erindrer, at Kraftens Virkning bliver uforandret, naar Angrebspunktet forskydes i Kraftretningen; man kan da forskyde de to Kræfter, til de angriber i deres Retningers Skæringspunkt, og herfra konstruere Resultanten. Er de to oprindelige Kræfters Retninger parallele, maa man tilføje et Par »Hjælpekræfter«, hvis Resultant er Nul, for at kunne udføre Konstruktionen.

Ligesom altsaa flere Kræfter kan tænkes erstattede ved en enkelt Kraft, saaledes kan ogsaa en enkelt Kraft tænkes opløst i flere, der da kaldes Komponenter; men medens Opgaven, som det vil fremgaa af det foregaaende, kun har én Løsning, naar det gælder om at finde Resultanten, da bliver Resultatet, naar man gaar den omvendte Vej, for saa vidt ubestemt, som man kan danne uendelig mange Parallelogrammer, der har samme Diagonal; hvis imidlertid den ene Komponent er givet, da er ogsaa den anden bestemt, og Opgaven har atter kun én Løsning. Man finder den Komponent, hvormed en Kraft i Bevægelsesplanet virker i en vilkaarlig Retning i dette ved retvinklet Projection af Kraften paa den givne Retningslinie. En skematisk Figur viser, at denne Komponent er k cos u, naar u er Vinklen mellem Kraftretningen og Kraftens Projection; den anden Side i det retvinklede Parallelogram bliver da k sin u. Heraf følger atter, at en Kraft, der falder udenfor Bevægelsesplanet, kan sammensættes med andre beliggende i dette, naar man i Stedet for med selve Kraften regner med dens Komponent i det givne Plan; denne Komponent er lig k cos v, naar k er Kraften og v Kraftretningens Vinkel med Bevægelsesplanet. Den anden Komponent, k sin v, faar, hvis Bevægelsen kun er mulig i ét Plan, ingen Betydning.

Hvis et bevægeligt fast Legeme paavirkes af en Kraft, hvis Retning gaar igennem Legemets Tyngdepunkt, vil det bevæge sig i Kraftens Retning men ikke foretage nogen

Drejning; det samme gælder naturligvis et Legeme, der paa virkes af flere Kræfter, idet Legemet da vil bevæge sig efter Resultanten. Der gives imidlertid ét Tilfælde, hvor to Kræfter ikke har nogen Resultant, nemlig, hvor de to Kræfter er lige store, parallele og modsat rettede men ikke falder i hinandens Forlængelse, i hvilket sidste Tilfælde Resultanten iflg. det foregaaende er = 0. To saadanne parallele, lige store og modsat rettede Kræfter kaldes et Kraftpar eller en Svingkraft. Kraftparrets drejende Virkning er lig Produktet af den ene Kraft og Kræfternes indbyrdes Afstand; denne Størrelse kaldes Parrets Drejningsmoment eller kortere Moment. Da Produktet bliver uforandret, naar den ene Faktor formindskes i samme Forhold som den anden forøges, kan en Svingkraft altsaa erstattes med en anden, i hvilken den enkelte Kraft er mindre, naar Kræfternes indbyrdes Afstand forøges i samme Forhold, eller omvendt. Naar en bevægelig fast Linie paavirkes af en Kraft, vil den forskydes i Kraftens Retning; er Linien ikke frit bevægelig men drejelig om en Axe vinkelret paa Kraftens Plan, vil Kraften foraarsage en Drejning om denne Axe, idet Axens Modtryk, — iflg. den fysiske Lov, der siger, at Tryk og Modtryk altid er lige store —, i Forbindelse med den givne Kraft danner et Kraftpar, hvis Moment er Kraften Gange dens Afstand fra Omdrejningsaxen. I almindelig Sprogbrug underforstaar man Axens Modtryk og det derved opstaaede Kraftpar og siger, at en Kraft drejer et Legeme, der er bevægeligt om en fast Axe, med et Drejningsmoment, der er Produktet af Kraften og dens Afstand fra Axen. En Vægtstang er i Ligevægt, naar Summen af alle de Drejningsmomenter, der virker paa den, er lig Nul. Bevægelsesretningen regnes positiv, naar Drejningen foregaar i Uhrviserens Retning, medens den modsatte Retning regnes negativ Virker et Kraftpar paa et frit bevægeligt Legeme, vil dette dreje sig om en Axe gennem Tyngdepunktet.

DREJNINGSMOMENT.

Ved Betragtningen af Leddenes Bevægelser gaar man ud fra de mest enkle Forhold og søger herfra at naa til en Forstaaelse ogsaa af de mere komplicerede.

Fig. 49 forestiller to Knogler, repræsenterede ved Linierne OF_1 og OF_2, der er forbundne ved et Hængselled, hvis Axe er vinkelret paa Papirets Plan i O. F_1 og F_2 er henholdsvis øvre og nedre Fæste for en Muskel, der virker i Trækretningen, $F_1 F_2$, med Resultanten m. Musklens Moment med Hensyn til Axen gennem O er da m. OD, naar OD er Afstanden fra Axen til $F_1 F_2$. Vi tænker os foreløbig OF_1 fastliggende, OF_2 bevægelig. — Hvis m forudsættes konstant, da vil Musklens Moment altsaa variere med Afstanden OD. Naar Punkterne $F_1 O F_2$ ligger paa en ret Linie, d. v. s., naar Leddet er fuldt extenderet, Flexionsvinklen, $\angle$ v, altsaa 180^0, da er OD = 0, men fra denne Stilling voxer OD, idet Flexionsvinklen aftager, og naaer et Maximum, naar $F_1 F_2$ er vinkelret paa OF_2 eller $OF_2 = OF_1 \cos v$. Betingelsen for, at dette skal være muligt, er imidlertid dén, at man har $OF_1 > OF_2$; hvis omvendt $OF_2 > OF_1$, da naaer OD Maximum naar $OF_1 = OF_2 \cos v$. OD faar altsaa sin største Værdi, naar $F_1 F_2$ bliver Tangent til en Cirkel, hvis Centrum ligger i O, og hvis Radius er Afstanden fra O til det nærmeste Muskelfæste. Herefter aftager OD atter og bliver 0 for $\angle v = 0$. For en given Flexionsvinkel er Drejningsmomentet naturligvis det samme, hvad enten man betragter OF_1 som fastliggende og OF_2 som bevægelig eller omvendt, idet Momentet refererer sig til Omdrejningsaxen; men Musklens Virkning paa Leddet bliver dog forskellig, eftersom Afstanden fra Axen til Musklens Fixpunkt er større eller mindre end Afstanden til det bevægelige Fæste. Vi tænker os atter OF_1 fastliggende. Naar Linien OF_2 drejer sig om en Axe gennem O, da vil ethvert af dens Punkter — altsaa ogsaa F_2 — beskrive en Cirkel med O som Centrum, og

Bevægelsesretningen er i et vilkaarligt Punkt af Periferien Tangent til Cirklen. Da Musklens Trækretning som Regel ikke falder sammen med Fæstepunktets Bevægelsesretning, vil ikke hele Muskelresultanten men kun dens Komponent i Bevægelsesretningen, altsaa vinkelret paa OF_2 i F_2, komme til at virke drejende paa Leddet. Denne Komponents Størrelse bliver $a = m \sin u$, naar $\angle u = \angle O F_2 F_1$, medens den anden Komponent, der falder i Retningen OF_2, bliver $b = m \cos u$. Musklens Moment er altsaa $OF_2 \, m \sin u$. Man ser let, at dette Udtryk er identisk med det ovenfor givne, idet man har $OD = OF_2 \sin u$. Forskellen mellem de to Betragtningsmaader er den, at vi i første Tilfælde betragtede Muskelkraften som konstant, dens Arm som variabel, medens vi i sidste Tilfælde har betragtet Vægtstangsarmen som konstant og Muskelkomponenten som variabel. Da Muskelresultantens drejende Komponent er $m \sin u$, maa den voxe med $\angle u$ i første Kvadrant og naa sit Maximum for $\angle u = 90^0$; man har da $a = m$; samtidig bliver Muskelresultantens Komponent i den bevægede Knogles Længderetning, $b = 0$. Fortsættes Bevægelsen; vil $\angle u$ og dermed Drejningsmomentet atter formindskes, medens $b = m \cos u$ skifter Fortegn. Medens altsaa Muskelresultanten, før Drejningsmomentet naaer sit Maximum, har en Komponent, der virker sammenholdende paa Ledenderne, vil den herefter faa en Komponent, der drager Ledenderne bort fra hinanden, og denne Komponent bliver $= m$ for $\angle u = 180^0$, altsaa naar OF_2 falder ud ad OF_1. Tænker vi os OF_2 fast, OF_1 bevægelig (eller, hvad der har samme Virkning: hvis vi sætter $OF_2 > OF_1$ som vist paa Fig. 50) da voxer den drejende Komponent ligeledes med $\angle u$, men den naaer sit Maximum naar $F_1 F_2 = OF_2 \cos u$, man har altid $a < m$. Momentet med Hensyn til Omdrejningsaxen er som ovenfor nævnt det samme, hvadenten man betragter den ene eller den anden Knogle som fastliggende; den mindre Muskelkomponent kommer i sidste Tilfælde til at virke paa en længere Arm. Forskellen mellem

de to Tilfælde bliver altsaa den, at naar (i Fig. 49) OF_2 er fast, da kan Muskelresultanten aldrig virke med sin fulde Styrke i Bevægelsesretningen men faar altid en betydelig Komponent i den bevægede Knogles Længderetning, og denne er stadig rettet mod Omdrejningsaxen; naar derimod OF_1 er fastliggende, da vil i en eller anden Stilling af Leddet ($\angle u = 90^0$) Muskelresultanten helt og holdent falde i Bevægelsesretningen, og Musklens Komponent i den bevægede Knogles Længderetning, der i denne Stilling er = 0, vil ved større Flexionsvinkler være rettet mod Omdrejningsaxen ved mindre Flexionsvinkler bort fra denne.

Hvorvidt den paapegede Forskel har fysiologisk Interesse saaledes, at Muskelresultanten kommer til at indgaa med en forskellig Andel i det Muskelkomplex, der bevæger Leddet, eftersom Musklens øvre eller nedre Fæste er fixeret, maa foreløbigt staa hen.

Har man at gøre med flere Muskler med forskellige Retninger, der angriber i forskellige Punkter paa OF_2, da kan deres samlede Virkning ikke direkte bestemmes, men man kan iflg. det foregaaende altid erstatte en Muskel med en anden, der angriber i et bestemt Punkt, uden at Drejningsmomentet forandres, og har man ved en saadan Omformning bragt samtlige Kræfter til at angribe i samme Punkt, kan deres Resultant dannes paa sædvanlig Maade. Falder Musklens Trækretning udenfor Bevægelsesplanet, da vil kun den Komponent, der ligger i dette, bevirke Bevægelse i Leddet. Er Muskelresultantens Vinkel med Bevægelsesplanet x, medens dens Projektion i dette Plan danner Vinklen y med den bevægede Knogle, da bliver dens drejende Komponent altsaa $m \cos x \sin y$. Komponenten $m \sin x$ virker blot spændende paa Leddets Sideligamenter. Tænker man sig i Stedet for et Hængselled et alsidigt bevægeligt Led, da vil en vilkaarligt rettet Muskelresultant altid frembringe Bevægelse i et Plan, der er bestemt af Leddets Midtpunkt og Musklens Fæstepunkter.

Den praktiske Bestemmelse af Drejningsmomentet maa altid blive meget omtrentlig; forskellige Metoder har været bragt til Anvendelse, men man synes efterhaanden mere og mere at gaa over til de simpleste og lettest haandtérlige, fordi de mere komplicerede paa Grund af Forholdenes indviklede Natur ikke giver saa meget større Nøjagtighed, at de lønner Umagen. O. Fischer har, hvor Undersøgelsen gælder Hængselled, indført en meget bekvem Maalemetode, hvis Princip fremgaar af Fig. 51. Figuren forestiller en Armmodel af Pap, hvorpaa Knoglerne er indtegnede, og som er bevægelig i Hængselleddet G. Alle Maal i Modellen er halv virkelig Størrelse; i G er anbragt en drejelig Maalestok med Millimeterinddeling. Man anbringer nu i en Muskels Fæstepunkter A og B to Kartonstrimler, hvis Længde er henholdsvis AG og GB, disse forenes i C ved Hjælp af en Stift, der glider i en Slidse i Maalestokken; AGBC danner da en Firkant, hvis ene Diagonal er Muskelresultanten, medens den anden, der er Maalestokken, angiver dennes dobbelte Vægtstangsarm. Stiften ved C angiver altsaa den dobbelte Længde af Musklens Vægtstangsarm paa Modellen; da denne imidlertid er konstrueret i halv Størrelse, vil det paa Skalaen ved C aflæste Tal direkte angive den paagældende Muskels virkelige Vægtstangsarm i Millimeter. Da Drejningsmomentet varierer med Leddets Stilling, vil en længere Række Maalinger i forskellige Stillinger være nødvendig for at give et fuldstændigt Billede af Musklens Virkning. En Række af direkte aflæste Tal giver imidlertid kun et mangelfuldt Overblik over Variationen, især naar den skal sammenholdes med andre Rækker. O. Fischer har derfor indført en grafisk Fremstilling af Drejningsmomentets Variationer i de saakaldte Momentkurver. Naar Talen er om en Enledsmuskel, der forløber over et Led med bunden Bevægelse, kan Momentkurven fremstilles som en plan Kurve, idet man afsætter Leddets Bøjningsvinkel som Abscisse, Momentet som Ordinat, dette sidste afsættes i en vilkaarlig

Maalestok med kgcm som Enhed; det fremkommer ved Multiplikation af den fundne Vægtstangsarm med Musklens fysiologiske Tværsnit, idet Fischer har regnet den gennemsnitlige Muskelkraft paa Tværsnitsenheden = 1; da denne Størrelse imidlertid i Almindelighed antages at være 10 Gange saa stor, betyder altsaa et Drejningsmoment i Kurven paa 5 kgcm, at den paagældende Muskel er i Stand til at holde Ligevægt mod en Kraft paa 50 kg angribende i 1 cm's Afstand fra Axen. Hvis man undersøger en Toledsmuskel, bliver Forholdene mere komplicerede; Momentkurven bliver da en Momentflade, der konstrueres paa følgende Maade: Paa et retvinklet Koordinatsystem i Planet afsættes Bøjningsvinklerne i de to Led henholdsvis som Abscisser og Ordinater; enhver samhørende Stilling af Leddene kan da bestemmes som et Punkt i Planet. Naar man derpaa i de saaledes bestemte Punkter oprejser Vinkelrette svarende til Musklens Moment med Hensyn til det ene eller det andet af de bevægelige Afsnit, opad, hvis Omdrejningsretningen er positiv, nedad, hvis den er negativ, da vil de Vinkelrettes Toppunkter danne en Flade, der er den søgte Momentflade (Fig. 52). Momentfladen giver et let overskueligt Billede af Musklens Virkning paa Leddet; det maa dog erindres, at Drejningsmomentet kun er et Maal for det statiske Muskelarbejde.

Hvis i Fig. 49 OF_1 ikke er fastliggende men kan drejes om en Axe gennem O' parallel med O, da vil der, naar Musklen kontraherer sig, foregaa en Bevægelse i bægge Led, en Bevægelse med Uhrviseren i O og i modsat Retning i O'. Dette lader sig eftervise paa Model og med fornøden Opmærksomhed overfor de talrige Fejlkilder ogsaa paa Levende. Naar en Enledsmuskel, f. Ex. Brachialis anticus, irriteres elektrisk, da vil den kunne foraarsage en Bøjning i Albuen og en Strækning i Skulderen (Fig. 55). Enledsmusklen virker altsaa ikke blot paa det Led, henover hvilket den forløber, men ogsaa paa Naboleddene. Denne Virkning

skyldes naturligvis ikke direkte Muskelkontraktionen; den skyldes heller ikke Tyngdekraften, idet den ligesaa vel findes, naar Bevægelsen foregaar i et horizontalt Plan, som naar Bevægelsesplanet er vertikalt; men den skyldes de bevægede Afsnits indbyrdes Masseforhold. At dette Forhold er afgørende fremgaar deraf, at Bevægelsen om O′ bliver ringe, hvis OF_1's Masse er meget stor i Forhold til OF_2, medens Drejningen om O′ bliver stor, naar det omvendte er Tilfældet. Heraf fremgaar, at det ved Undersøgelsen af Musklernes Virkning paa Leddene ikke er tilstrækkeligt at tage Hensyn til Drejningsmomenterne, ogsaa de bevægede Afsnits Masser og disses Fordeling har Indflydelse paa Resultatet. O. Fischer har udtrykt dette ved at sige, at Musklernes Virkning i første Linie er dén at bevæge de paagældende Legemsafsnit, medens deres Virkning paa Leddene er secundær. En Flerledsmuskel kan meget vel bevæge to Legemsafsnit i Forhold til et tredie, uden at disses indbyrdes Stilling forandres.

Hvis endelig bægge Knogler er frit bevægelige, da vil Musklen, idet den ved sin Kontraktion stræber at nærme sine to Fæstepunkter til hinanden, bevirke, at der opstaar to lige store men modsat rettede Svingkræfter, der bevæger Leddet. Da disse er lige store, er altaa Summen af Drejningsmomenterne = 0. For Toledsmusklens Vedkommende er Forholdene, som Fig. 54 viser, ganske analoge; der opstaar i dette Tilfælde tre Drejningsmomenter, af hvilke det ene er lig Summen af de to andre, d. v. s., Drejningsmomenternes algebraiske Sum er atter i dette Tilfælde = 0. Det samlede Systems Tyngdepunkt vil altsaa ikke bevæges.

MASSE OG TYNGDEPUNKT.

Et fast Legeme er i mekanisk Henseende bestemt, naar man kender dets Masse, dets Tyngdepunkts Beliggenhed, og dets Træghedsmoment for enhver Drejningsaxe.

Braune og Fischer har bestemt de enkelte bevægelige Legemsafsnits Vægt og Masse paa Kadaver, idet de udfra mekaniske Synspunkter har parteret dette. De fandt da følgende:

Legemsdel	Vægt
Hoved	4,14
Krop	25,06
Overextremitet	3,81
Overarm	1,98
Underarm	1,34
Haand	0,49
Underextremitet	10,94
Laar	6,80
Underben	3,09
Fod	1,05
Hele Legemet	58,70

Heraf findes Massetallene ved Division med 981,11, idet man som Enhed vælger den Masse, der, naar den paavirkes af Kraften 1 kg, faar en Acceleration af 1 cm i 1 Sec. Beregningen giver:

Legemsdel	Masse
Hoved	0,00422
Krop	0,02554
Overarm	0,00202
Underarm	0,00136
Laar	0,00693
Underben	0,00315

De nævnte Forfattere konstaterede endvidere, at Forholdet mellem det enkelte bevægelige Afsnits Masse og den samlede Masse, $m/M = \mu$, er en tilnærmelsesvis konstant Størrelse hos forskellige Individer.

Beliggenheden af hele Legemets Tyngdepunkt kan bestemmes direkte. Man bringer en Planke i Ligevægt over en skarp Kant, lægger derefter det Individ, man vil under-

søge, udstrakt paa Planken med Armene langs Siden og forskyder ham saaledes mod Underlaget, at der atter er Ligevægt; man ved da, at Tyngdepunktet maa ligge i et lodret Plan gennem Legemet og den understøttende Kant. Man anbringer dernæst Forsøgspersonen staaende paa Planken med samlede Hæle, Armene langs Siderne og Ansigtet i Plankens Længderetning og afbalancerer ham ved Hjælp af en kendt Vægt i kendt Afstand fra Omdrejningsaxen; man kan da, naar man tillige kender hans Legemsvægt, beregne, hvor Tyngdelinien træffer Planken og dermed det Frontalplan, i hvilket Tyngdepunktet maa ligge; da dette tillige maa ligge i Legemets Symmetriplan, maa det altsaa ligge i Skæringspunktet for de tre nævnte Planer. Man har paa denne Maade fundet, at Tyngdepunktet ligger i Midtlinien lidt foran Promontorium. Det fælles Tyngdepunkt kan imidlertid ogsaa bestemmes ved Regning, naar man kender Tyngdepunkternes Beliggenhed i alle de enkelte bevægelige Afsnit, idet man ved, at to Massers fælles Tyngdepunkt ligger paa Forbindelseslinien mellem de enkelte Tyngdepunkter og deler denne i Stykker, der forholder sig omvendt som Masserne (Fig. 53). Braune og Fischer har bestemt Tyngdepunktets Beliggenhed indenfor samtlige Legemets bevægelige Afsnit paa parteret Kadaver ved Hjælp af fysiske Metoder og har fundet, at Tyngdepunktet altid er beliggende paa Længdeaxen, d. v. s. paa Linien, der forbinder Leddenes Midtpunkter, og nærmest dennes proximale Ende, saaledes, at den deles i Forholdet 4 : 5.

Da man ved Beregningen af et flerleddet Systems Bevægelser maa tage Hensyn ikke alene til det Afsnit, paa hvilket en given Muskel fæster sig, men ogsaa til de andre med dette forbundne Afsnit, bliver den hele Undersøgelse meget kompliceret. Fischer har imidlertid udtænkt en Metode, der i ikke ringe Grad simplificerer Beregningerne; han opstillede og beviste den Sætning, at ethvert Afsnit i et flerleddet System forholder sig overfor de Kræfter, der virker paa det, som om samtlige

med hvert af dets Led forbundne Masser var samlede i disse. Tænker man sig en saadan Forskydning af Masserne bragt til Udførelse, saa reduceres det flerleddede System til et enkelt Legeme med samme Masse som hele Systemet. Fremgangsmaaden kan illustreres som følger: Hvis man f. Ex. vil undersøge Virkningen af en Muskel paa et 4-leddet Systems tredie Afsnit, da tænker man sig de to første Afsnits Masser anbragte i Leddet mellem Afsnit 2 og 3, 4' og 5' Afsnits Masser paa samme Maade i Leddet mellem 3 og 4 (Se Fig. 56), selve det tredie Afsnits Tyngdepunkt er i T_3, der ligger paa de to Ledpunkters Forbindelseslinie. Paa denne Linie ligger ligeledes det fælles Tynddepunkt for T_3 og de i det øvre Ledpunkt samlede Masser; det være i $T_{1\cdot2\cdot3}$; endvidere det fælles Tyngdepunkt for dette og Masserne 4 og 5, samlede i det nedre Ledpunkt; dette sidste Tyngdepunkt er betegnet med H og kaldes Systemets Hovedpunkt (Hauptpunkt). I Stedet for det 4-leddede System har man nu et enkelt bevægeligt Afsnit, hvis Masse, der er samlet i Hovedpunktet, er lig Summen af de 5 oprindelige Masser: det »reducerede System«. Paa denne Maade kan samtlige Legemets bevægelige Afsnit »reduceres« til et enkelt, usammensat System med et hvilketsomhelst Afsnit som »Kerne«. Hovedpunkternes Beliggenhed kan iflg. det foregaaende beregnes en Gang for alle.

Enhver Kraft der virker paa et flerleddet System forholder sig altsaa, som om den virkede paa det til Kraftens Angrebssted reducerede System. Et flerleddet Systems Bevægelse kan opløses i en Forskydning af det fælles Tyngdepunkt og en Bevægelse af de enkelte Afsnit i Forhold til dette. Paa det enkelte Afsnit virker en given Kraft, som om den virkede paa det reducerede System; den kan hér frembringe en Bevægelse af dets Tyngdepunkt eller en Drejning af Systemet omkring dette. En Bevægelse af det reducerede Systems Tyngdepunkt vil imidlertid betinge en Forskydning af det fælles Tyngdepunkt, følgelig kan Kraftens

Virkning paa det enkelte Led i Systemet kun bestaa i en Drejning af dette omkring det reducerede Systems Tyngdepunkt, altsaa om Hovedpunktet. Af Tyngdepunktets Bevægelse og de enkelte bevægelige Afsnits Drejninger kan de virkende Kræfter beregnes. Det Arbejde, der fordres for at bevæge Tyngdepunktet, er for Massen m og Hastigheden v udtrykt i Ligningen: $A = {}^1/_2\, m v^2$.

TRÆGHEDSMOMENT.

For at kunne bestemme det Arbejde, der medgaar til Drejningen af et fast Legeme om en given Axe, maa man tillige kende det paagældende Afsnits Træghedsmoment (Inertimoment). Træghedsmomentet for en given Axe er den Modstand, som et fast Legeme yder mod en Drejning om denne Axe. Træghedsmomentet, T, er lig Mr^2, hvor M er Legemets Masse og r dets Træghedsradius, d. v. s. den Afstand fra Axen, i hvilken Legemets samlede Masse maa tænkes anbragt for at yde netop den Modstand mod Bevægelsen, som alle de enkelte Massedele i deres forskellige Afstande tilsammen udøver. Træghedsradien bestemmes, idet man bringer det paagældende Legeme til at svinge om en fast Axe og bestemmer Svingningstiden; af denne kan Legemets reducerede Pendullængde beregnes, og man har da Ligningen $r^2 = a \cdot l$, hvor a er Tyngdepunktets Afstand fra Omdrejningsaxen, og l er den reducerede Pendullængde. Er Træghedsmomentet for en Axe gennem Tyngdepunktet $T_0 = Mr^2$, da er det for en dermed parallel Axe i Afstanden a fra dette $T = M(r^2 + a^2)$.

Braune og Fischer har bestemt Træghedsmomenterne for alle Legemets bevægelige Afsnit og fundet, at for en Axe gennem Tyngdepunktet, vinkelret paa det paagældende Afsnits Længdeaxe, er $T'_0 = 0{,}30^2\, \mu\, Ml^2$, medens man for Længdeaxen har $T''_0 = 0{,}35^2\, \mu\, Md^2$, hvor μ er Forholdet

mellem det betragtede Afsnits Masse og Legemets samlede Masse, l er Længdeaxen og d Middeltykkelsen.

Man kan nu ved Hjælp af disse Formler bestemme det Arbejde, der udfordres for at dreje det reducerede System om Hovedpunktet; naar Vinkelhastigheden er w, har man $A' = {}^1/_2 \, T w^2$.

Ved Hjælp af de Metoder, hvis Grundtræk hér kort er skizzerede, har Fischer beregnet, hvad han kalder det kinetiske Maal for Muskelvirkningen.

Denne Størrelse angiver, hvor stor en Vinkelacceleration en Muskel vilde meddele det eller de Led, henover hvilke den forløber, hvis den virkede isoleret. Fischer opstiller paa Grundlag af ret indviklede Beregninger, der forudsætter et indgaaende fysisk Kendskab til de bevægede Legemsafsnit, en Bevægelsesligning for den enkelte Muskel. Beregningen er dog kun udført for forholdsvis faa Musklers Vedkommende og gælder kun under særlige Betingelser, som vanskeligt vil kunne opfyldes i Praxis; den hele Metode vil derfor trods sin store teoretiske Interesse næppe vinde nogen større Indgang i den praktiske Undersøgelse af Muskelvirkningen. Men selv om en exakt Undersøgelse for hver enkelt Muskels Vedkommende ikke lader sig gennemføre, kan man dog ved en mere summarisk Anvendelse af de fremdragne mekaniske Læresætninger paa dertil egnede gymnastiske Tilfælde vente sig Resultater af stor Interesse. Saaledes har Kroman[1]) gennemført en Analyse af det saakaldte »Kæmpesving« i Rek, der har givet værdifulde Oplysninger om denne Øvelses Mekanik.

---

[1]) Gymnastisk Selskabs Aarsskrift, 1912, S. 14. Professor Kroman har i den samme Artikel givet en letfattelig og overskuelig Fremstilling af den Del af Mekaniken, der vil komme til Anvendelse ved elementære Undersøgelser af de gymnastiske Øvelsers Mekanik.

B. Speciel Muskelmekanik.

De Opgaver, som den specielle Muskelmekanik søger at løse, kan sammenfattes i følgende Spørgsmaal:

Hvilke Muskler maa kontrahere sig for at fremkalde en given Bevægelse?

Hvor stort et Arbejde maa hver enkelt af de Muskler, der medvirker ved en given Bevægelse, præstere?

Hvilken Bevægelse foraarsager denne eller hin Muskel, naar den virker isoleret?

Vanskeligheder for Undersøgelsen.

Løsningen af disse Spørgsmaal frembyder overordentlig store Vanskeligheder, mindst maaske for det sidstes Vedkommende; dette er til Gengæld det i gymnastisk Henseende mindst interessante, fordi Musklerne i den levende Organisme aldrig virker isolererede.

En Vanskelighed for Undersøgelsen ligger deri, at de anatomisk definerede Muskler ikke er funktionelle Enheder. Da hver enkelt Muskelfiber som tidligere omtalt har selvstændig Innervation, maa Fibren betragtes som den egentlige funktionelle Enhed; i Praxis kan man imidlertid af nærliggende Grunde ikke gennemføre en Undersøgelse ud fra dette Synspunkt, og man maa derfor paa Forhaand gøre sig klart, at det overhovedet ikke er muligt at naa til exakte Resultater. Man er ved Undersøgelserne over Muskelvirkningen mere og mere gaaet i Retning af en Udstykning af de store anatomiske Enheder i »Portioner«, og man er paa denne Maade kommet udover en Del af de allergroveste Ulemper, der klæber ved den anatomiske Inddeling; men selve Inddelingen i Portioner er utilfredsstillende, bl. a. fordi den i Praxis er stærkt begrændset derved, at ogsaa Muskelportionen maa defineres anatomisk, og dette kan naturligvis

volde betydelige Vanskeligheder, saa snart man fjærner sig fra den descriptive Anatomis Inddelinger. For at nævne et konkret Exempel: Man kan inddele Deltoideus i tre Portioner svarende til dens Fæste paa Clavicula, Acromion og Spina scapulæ; disse Afdelinger er tilstrækkeligt adskilte indbyrdes til altid at kunne reproduceres af senere Undersøgere, og man opnaar ved denne Sondring at kunne danne sig et Billede af det store Komplex' vigtigste Funktioner; hvis man derimod, som en enkelt Undersøger har fundet det hensigtsmæsigt, deler Deltoideus i 7 Portioner, hvad i og for sig utvivlsomt er berettiget, — man kunde maaske, som Resultaterne synes at vise, med Fordel dele i endnu flere Afdelinger, — da møder man straks Vanskelighederne ved den indbyrdes Afgrændsning af Portionerne; det vil sikkert være meget vanskeligt for senere Undersøgere at reproducere disse med tilstrækkelig Sikkerhed. De samme Vanskeligheder møder En, naar man betragter de større Inddelinger, Muskelgrupperne; den descriptive Anatomis Grupper er ikke funktionelt sammenhørende, hvorimod Muskler og Muskelportioner hørende til forskellige anatomiske Grupper ofte har fælles Funktion. Vi kan paa Muskelmekanikens nuværende Standpunkt næppe naa videre end til en Inddeling i synergiske Muskelgrupper, hver bestaaende af et større eller mindre Antal Muskler og Muskelportioner. En saadan Inddeling er langt at foretrække for den descriptivt anatomiske, men tilfredsstillende er den ikke; dels fordi man vistnok tør gaa ud fra, at de anatomiske Grupper ikke er »tilfældige«, men at der ogsaa tilkommer disse en mekanisk Betydning, som man i funktionel Henseende ikke kan lade ude af Betragtning, selv om den paa vor Videns nuværende Standpunkt ikke er aabenbar, dels fordi en saadan Inddeling kun gælder for en bestemt Stilling af det paagældende Led, og denne sidste Vanskelighed er iflg. Sagens Natur uovervindelig; skal man en Gang naa til en funktionel Inddeling af Muskulaturen,

der er anvendelig under alle Forhold, da maa denne baseres paa helt nye Synspunkter.

Man finder som Regel i de sædvanlige anatomiske Haand- og Lærebøger efter Beskrivelsen af en Muskel en kort Angivelse af dens Virkning. Disse Angivelser er ofte af meget tvivlsom Værdi; de kan endog for de store, sammensatte Musklers Vedkommende være ligefrem vildledende, som f. Ex. naar det hedder om Deltoideus, at den »abducerer Armen«. Selv hvor imidlertid en saadan Angivelse i og for sig er uangribelig, er dens Værd dog paa flere Maader begrændset. Den første Begrændsning ligger i, at den anførte Virkning kun refererer sig til Grundstillingen; særlig fra et gymnastisk Synspunkt betragtet er dette en alvorlig Mangel, da som allerede nævnt enhver ny Udgangsstilling medfører en Omgruppering af de synergiske Grupper. Under Omtalen af Skulderleddets Muskler fremhæver R. Fick[1]), at vi for dette Leds Vedkommende er saa heldige at have en Undersøgelsesrække, »die sogar nicht nur[2]) die Wirkung der Muskeln in der »Ruhe«- oder »Grundstellung« des Gelenkes, sondern auch noch in einer zweiten, und zwar seitwärts erhobenen Lage des Armes berücksichtigt«. Resultaterne af denne Undersøgelse viser, at den ovenfor fremsatte Paastand er berettiget; den citerede Passus viser tillige, hvor langt vi paa dette Omraade er tilbage. En anden og — gymnastisk set — ligesaa væsentlig Begrændsning ligger deri, at saa godt som alle Opgivelser om Muskelvirkningen gaar ud fra, at Musklens Udspringspunkt[3]) tillige er dens Fixpunkt, hvad det som bekendt i overordentlig mange Tilfælde saavel

---

[1]) Handbuch der Anatomie und Mechanik der Gelenke III S. 274, Jena 1911.

[2]) Udhævet her.

[3]) Det vilde vistnok være heldigt, om Betegnelserne »Udspring« og «Fæste«, der hører hjemme i den descriptive Anatomi, i Muskelmekaniken blev erstattede med henholdsvis proximale og distale, resp. øvre og nedre, Fæste.

under gymnastiske Øvelser som under daglige Vanebevægelser ikke er. De to Fæstepunkter har mekanisk set i og for sig samme Værdi, men Virkningen af de paa Systemet angribende Muskelresultanter vil være forskellig, eftersom bægge de Afsnit, der i et givet Led er forbundne med hinanden, er frit bevægelige, eller eftersom det ene eller det andet kan betragtes som fastliggende. Hvad selve det bevægede Led angaar, da er dette Spørgsmaal tidligere omtalt (S. 167) og har maaske kun underordnet bevægelsesfysiologisk Interesse; men Musklen kan eventuelt ogsaa faa Indflydelse paa Naboleddenes Bevægelser (S. 169), og naar Talen er om Muskelarbejdet, da maa man naturligvis vide, hvilket af de to Fæstepunkter der tjener som Fixpunkt, idet de Masser, der skal sættes i Bevægelse, er højst ulige, eftersom øvre eller nedre Fæste er fixeret; ogsaa hvad disse Forhold angaar, er altsaa de foreliggende Undersøgelser ufuldstændige og meget ensidige.

Den specielle Muskelmekanik har endnu en Vanskelighed at kæmpe med, som ganske kort skal berøres; den hidrører fra Musklernes Forbindelse med Centralnervesystemet. Man er som tidligere omtalt som Regel ikke i Stand til vilkaarligt at innervere den enkelte Muskel eller Muskelportion, derimod er man i Stand til at udføre koordinerede Bevægelser, idet man ved Koordination forstaar et ordnet Sammenspil mellem Muskelelementer, hvis Formaal er en Bevægelse af given Form. Der findes altsaa foruden den mekaniske Sammenhæng mellem Muskler og Led mellem Musklerne indbyrdes en nervøs Forbindelse. Da Innervationen selvfølgelig ikke kan forandre Leddenes Bevægelsesbaner, kan de Bevægelsesmuligheder, der er bestemt af mekaniske Forhold, ikke ad nervøs Vej forøges, derimod kan den nervøse Koordination i mange Tilfælde begrændse disse Muligheder, og heri ligger dens Betydning for Muskelmekaniken. Allerede det ovenfor nævnte, velkendte Faktum, at man ikke kan innervere den enkelte Muskel eller Muskelportion, peger i denne Retning; det er

endvidere bekendt, at man ved kunstig Irritation af en Muskel kan frembringe Bevægelser i det paagældende Led, som er ukendte under naturlige Forhold, og som endog skal kunne true Leddets Integritet. Et smukt Exempel paa koordinatorisk Indskrænkning af Bevægelsesmulighederne har man endvidere i Øjets Bevægelser; Øjet maa i mekanisk Henseende betragtes som bevægeligt i et Kugleled, men det har langt fra Kugleleddets frie Bevægelighed (Se 1' Hefte S. 103 ff.).

Den nervøse Begrændsning af Bevægelsesmulighederne har til Følge, at man ikke ubetinget tør forlade sig paa de Resultater, som man vinder ved Undersøgelser paa Præparater og Modeller, naar det gælder konkrete Forhold, idet selv det mest exakte Resultat naturligvis har en meget begrændset biologisk Værdi, hvis det ikke kan overføres paa den levende Organisme.

Som almindelig bekendt er Koordinationsmekanismen ikke en én Gang for alle fastlagt Sammenhæng mellem Muskler; nye Konstellationer kan opstaa, og saadanne opøves, saa ofte Organismens Interesse kræver det. I denne Henseende synes Mulighedernes Antal ubegrændset. Men enhver ny Gruppering af de ved en Bevægelse virksomme Muskler medfører Ændringer i Organismens statiske Forhold, som maa mødes med passende Modforholdsregler fra de Musklers Side, som i det givne Tilfælde udgør de ikke bevægede Afsnits Fixationsapparat. Der maa altsaa uophørligt foregaa Forandringer i Legemets samlede Muskelvirksomhed, og disse Forandringer vil det næppe nogensinde blive muligt at følge i Detailler.

Det ligger i denne Forbindelse nær at henlede Opmærksomheden paa en formentlig uheldig Brug af Betegnelserne Antagonister og Synergister for Muskler, der fremkalder Bevægelse i modsat resp. samme Retning i et Led. De nævnte Betegnelser dækker over funktionelle ikke over anatomiske Begreber, og det følger umiddelbart af det ovenfor fremførte, at Muskler, der i et givet Øjeblik arebjder sam-

men, i næste Øjeblik kan have forskellige Opgaver, at altsaa det konkrete Grundlag for Begrebernes Indhold uophørligt maa vexle. To Muskler kan uden Forbehold betegnes som Antagonister, naar den ene i ethvert givet Tilfælde er i Stand til at ophæve den andens Virkning paa det eller de Led, henover hvilke de forløber, naar de med andre Ord er i Stand til at fixere det Legemsafsnit, paa hvilket de virker, i en hvilkensomhelst Stilling. Enledsmuskler, der forløber paa hver sin Side af et Led med bunden Bevægelse, er altsaa Antagonister, men man kan ikke, saaledes som det ofte er hændet, udenvidere betegne Muskler, der forløber paa hver sin Side af et vilkaarligt Led, paa denne Maade; det vil i Almindelighed være urigtigt, idet saadanne Muskler, hvis de er Flerledsmuskler, kan være Synergister med Hensyn til Bevægelsen i ét Led og samtidig Antagonister med Hensyn til et andet, eller, hvis Enledsmuskler knyttede til et 2-axet Led, kan arbejde synergisk ved Bevægelse om den ene Axe, antagonistisk ved Bevægelse om den anden. Naar Betegnelsen Antagonist anvendes i saadanne Tilfælde, maa man altsaa erindre, at den kun gælder for den øjeblikkelige Situation og ikke har noget anatomisk Grundlag; at underskyde anatomiske Definitioner medfører Begrebsforvirring (Pseudoantagonistisk Synergi).

Endelig maa man være opmærksom paa, at Muskelspændingen ikke er den eneste Kraft, som man i Bevægelseslæren har at regne med; ogsaa ydre Kræfter optræder og er nødvendige for den normale Funktion af Bevægelsesorganerne; saaledes spiller Gnidningsmodstanden mod Underlaget en vigtig Rolle ved Gang og Løb. Først og fremmest maa man dog tage Hensyn til Tyngdekraften; vi har allerede under Omtalen af det excentriske Muskelarbejde antydet, hvorledes man kan komme til Fejlslutninger, naar man overser denne Faktor; men ogsaa andre Kræfter maa man have in mente; Enledsmusklens Virkning paa fjærnere Led viser, at der under selve Bevægelsen opstaar Kræfter, som ikke kan lades ude af Betragtning.

Undersøgelsesmetoder.

Naar de virkelige Forhold er stærkt komplicerede, kan man ofte med Fordel benytte sig af en Model, der da maa konstrueres saaledes, at den netop gengiver Hovedpunkterne i den paagældende Bevægelsesmekanisme. De virksomme Muskler fremstilles ved Hjælp af Fjedre eller Gummislanger. Betingelsen for med Udbytte at kunne anvende saadanne Modeller er dén, at Opgaven lader sig formulere simpelt og klart; til Undersøgelse af finere Detailler egner Modeller sig ikke.

Naar det gælder den enkelte Muskels Virkning, kan man skaffe sig vigtige Oplysninger ved Hjælp af kunstigt Irritament. Denne Metode er sat i System af Duchenne, der anvendte elektrisk Irritament; han kombinerede for øvrigt den elektriske Undersøgelse med Iagttagelse af de Bevægelsesdefekter, der opstaar ved Paralyse af de paagældende Muskler. Duchennes omfangsrige og omhyggeligt udførte Undersøgelser danner endnu den Dag idag Grundlaget for vor Viden om de enkelte Musklers Virkninger. Metoden synes simpel og ligefrem; ikke desto mindre kan den dog give Anledning til adskillige Fejltagelser. Det er som allerede nævnt ikke udelukket, at den Bevægelse, der opstaar som Følge af det anvendte kunstige Irritament, ikke kan eftergøres vilkaarligt; i saa Tilfælde faar man ganske vist at vide, hvad Musklen kan bruges til, men ikke, hvori dens Funktion i den levende Organisme bestaar, og det er dog dette, der har Interesse. Endvidere fremkalder et kraftigt elektrisk Irritament ofte Smærtefornemmelse, hvilket kan give Anledning til reflektoriske Muskelkontraktioner, der forstyrrer Resultaterne, og paa den anden Side staar selv meget kraftige elektriske Irritamenter i Styrke langt tilbage for det naturlige, vilkaarlige Irritament. I alle Tilfælde maa det erindres, at Resultatet af Irritationen skyldes ikke Muskelkraften alene, men denne i Forbindelse med de oftere nævnte ydre Kræfter.

Hvad de patologiske Bevægelsesdefekter angaar, da kan det for det første volde Vanskelighed at bestemme Paralysens Grad, men for det andet er det som Regel umuligt at vide, om, eventuelt i hvor stor Udstrækning, de virkelige Defekter er kompenserede fra Organismens Side derved, at andre Muskler har overtaget de lammede Musklers Funktioner.

En Metode, der navnlig i den gymnastiske Verden har vundet Udbredelse, antageligt fordi den tilsyneladende er let at praktisere selv for Folk med ringe eller ingen Uddannelse i Undersøgelsesteknik, er den direkte Palpation. Ogsaa denne Metode kan give og har givet Resultater af Værdi, men dens Omraade bliver føleligt indskrænket derved, at kun en Del Muskler er tilgængelige for Palpation, og dertil kommer, at man i særlig Grad er udsat for Fejltagelser, fordi det er yderst vanskeligt at afgøre, om en Muskel i et givet Tilfælde er kontraheret, eller om den blot er passivt udspændt. En stærkt kontraheret Muskel kan, hvis dens Spænding er ringe, være forholdsvis blød, hvorimod en spændt men svagt innerveret Muskel kan være fast at føle paa. Fastheden er altsaa først og fremmest et Udtryk for Spændingen og ikke for Kontraktionsgraden. Den Undersøger, der ikke arbejder med fornøden Kritik, vil ved Anvendelsen af Palpationsmetoden let være udsat for at komme netop til de Resultater, som han paa Forhaand havde ventet.

Forskellige Undersøgere har taget Fotografien i deres Tjeneste, enten direkte eller i Forbindelse med andre Metoder. Marey har taget Serier af Øjebliksbilleder af et Dyr i Bevægelse, har derefter dræbt Dyret og skeletteret det, derpaa fotograferet Skelettet og udklippet Billederne af de enkelte Knogler, som han dernæst har passet ind i Billederne af Dyrets Bevægelser. Marey har paa denne Maade været i Stand til at skaffe sig en Række Oplysninger om hvilke Muskler, der maa have været forkortede under Bevægelsen, og desuden om paa hvilket Tidspunkt af denne, Forkortningen har fundet Sted. Bortset fra, at Metoden er meget

omstændelig og vanskelig at praktisere, faar man ved denne som ved de fotografiske Metoder overhovedet dog kun Oplysninger af Værdi om de for Undersøgelsen gunstigst beliggende Muskler. Resultaterne bliver ligesom ved den ovenfor omtalte Metode fragmentariske.

En Undersøgelsesmetode, der i mange Tilfælde har været bragt i Anvendelse, og som skal give Oplysning ikke blot om hvilke Muskler, der i det givne Tilfælde er virksomme, men tillige om disses relative Kraftudfoldelse, bestaar i paa et Ledpræparat at erstatte Musklerne med Snore, én eller flere, eftersom den paagældende Muskel er enkelt eller sammensat bygget, der er befæstede i Musklens nedre Fæstepunkt og derfra føres gennem et Øsken svarende til det øvre Fæste; den frie Ende af Snoren føres videre over en Tridse, saaledes anbragt, at alle Snorene kommer til at hænge i samme Plan; de frie Ender er forsynede med smaa Vægte, som netop holder Snorene udspændte, og disses Længde er saaledes afpassede, at alle Vægtene, naar Leddet er i sin Grundstilling, hænger i samme Højde og kan bevæges saavel opad som nedad. Parallelt med Snorenes Plan og saa nær dette som muligt anbringes en fælles Skala, bestaaende f. Ex. af et Stykke Millimeterpapir.

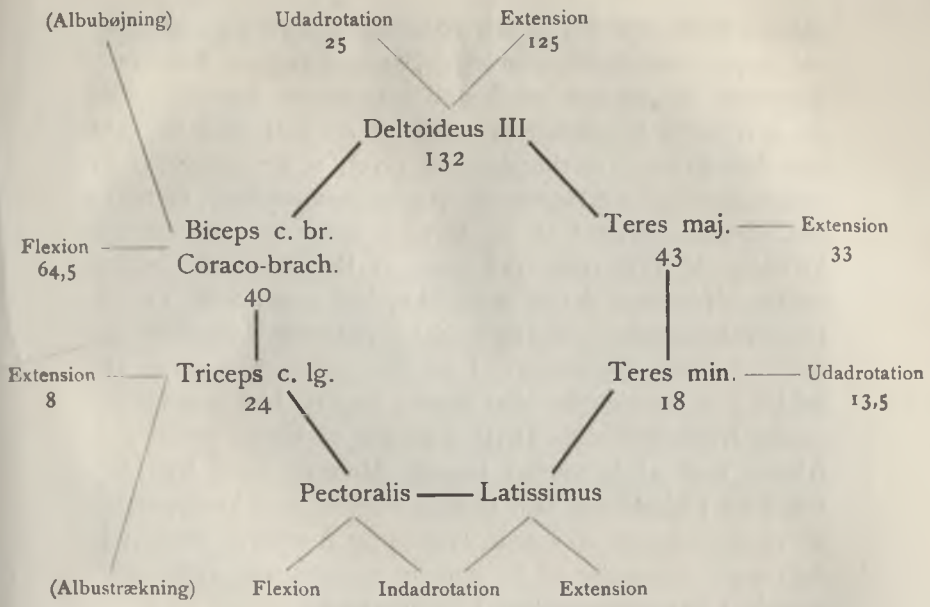
Udfører man nu en Bevægelse i Leddet, vil nogle af Vægtene hæves, andre sænkes, eftersom de paagældende Muskler ved Bevægelsen vilde blive udspændte eller forkortede, og man skulde da i Sænkningen af en Vægt have et Maal for den dertil svarende Muskels Kontraktionsbane. Hvis Millimeterskalaen føres forbi Vægtene med en passende Hastighed under Leddets Bevægelse, da vil man faa en Forkortningskurve for hver enkelt Muskel, og Kurvens Stejlhed, der kan maales ved Tangens til dens Vinkel med Abscisseaxen, giver da et relativt Udtryk for Forkortningen. Man bestemmer herefter hver enkelt Muskels Andel i det samlede Arbejde som Produktet af dens fysiologiske Tværsnit og Tangens til Forkortningskurvens Vinkel med Abscisseaxen.

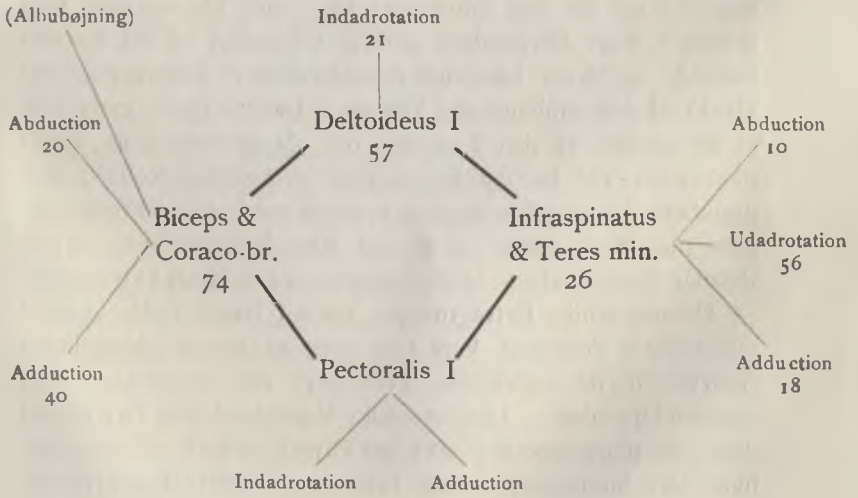
Forudsætningen for, at denne Beregning skal holde Stik, er imidlertid dén, at de samme Muskler er virksomme ved den vilkaarlige Bevægelse af det levende Led, og at alle de paagældende Muskler innerveres saaledes, at Spændingen paa Tværsnitsenheden overalt er den samme; da Musklerne i det levende Legeme som Regel er spændte udover deres Hvilelængde, kan man vistnok i al Almindelighed gaa ud fra, at enhver Muskel, hvis Fæstepunkter ved den givne Bevægelse nærmes til hinanden, vil forkorte sig; men den Kraft, hvormed Forkortningen sker, kan være højst forskellig alt efter Musklens Udspændingsgrad og Innervationens Styrke, og der er paa Forhaand intet, der paa afgørende Maade taler for, at Innervationen til samtlige Muskler skulde være den samme; der findes tværtimod Iagttagelser, som tyder paa, at ingen af de nævnte Betingelser behøver at være opfyldte. Det er en bekendt Sag, at naar en gymnastisk Øvelse udføres mod en Modstand, da vil Muskler, der under sædvanlige Forhold ikke kontraherer sig ved den paagældende Bevægelse, gribe ind. Hvis man foretager en sædvanlig Hovedbøjning fremad, da kan man ikke føle Sterno-cleido kontrahere sig; hvis Bevægelsen derimod udføres mod en ydre Modstand, vil man let baade se og føle Musklens Sammentrækning. Der findes endvidere som bekendt en Del Muskler, som man kalder auxiliære Respirationsmuskler, d. v. s. Muskler, der virker som Inspirationsmuskler, naar der stilles store Fordringer til Ventilationen, men som under sædvanlige Forhold tjener andre Formaal; disse Muskler træder successive i Virksomhed, eftersom Fordringerne til Respirationen stiger; enkelte, som Scaleni, skal virke svagt ved almindelig Respiration, stærkere, naar Ventilationen forøges. Heraf følger, at ikke alle Muskler, der paa Grund af deres anatomiske Anbringelse er i Stand til at medvirke ved en given Bevægelse, ogsaa maa kontrahere sig, hver Gang denne Bevægelse foregaar, og det synes tillige usandsynligt, at Innervationen til dem alle altid skulde være lige stærk; men hvis saa er, kan det relative Arbejde

ikke bestemmes paa den overfor omtalte Maade. Paa den anden Side giver det Arbejde, som i et givet Tilfælde er fornødent for at bevæge et Legemsafsnit, ikke noget Maal for, hvor stor en Kraftudfoldelse Organismen virkelig maa præstere. Naar en Muskel ikke forløber i Bevægelsesplanet, kan kun den Muskelkomponent, der falder i dette, komme til at medvirke ved Bevægelsen; Komponenter, der virker i andre Planer, maa enten, hvis Leddets Bevægelse er bunden, betyde et Kraftspild, eller, hvis Leddets Bevægelse er fri, optræde som skadelige Kræfter, der kræver en Modvægt af andre Kræfter, hvis ikke Bevægelsens Form skal forstyrres. M. latissimus dorsi virker paa Skulderleddet som Adductor — Extensor — Indadrotator; naar denne Muskel skal medvirke ved en Adduction i Skulderleddet, maa altsaa dens extenderende og indadroterende Virkning kompenseres ved Hjælp af andre Muskler, og den Kraft, som hertil anvendes, kommer ikke den ønskede Bevægelse i Skulderleddet til Gode. Naar det drejer sig om Led med mere end én Grad af Frihed, er saadanne »Bivirkninger« Reglen.

Vi skal som et konkret Exempel betragte Adductionsbevægelsen i Skulderleddet, der i Hovedsagen foregaar ved Hjælp af de i det vedføjede Skema (S. 187 øverst) nævnte Muskler. Udgangsstillingen er Grundstillingen; for hver Muskel er angivet de vigtigste Bivirkninger; de vedføjede Tal angiver Drejningsmomentet med Hensyn til den paagældende Bevægelse. Desværre mangler Oplysninger i saa Henseende for Pectoralis' og Latissimus' Vedkommende, og man er derfor afskaaret fra at drage bestemte Slutninger, hvad den kvantitative Side af Spørgsmaalet angaar; Skemaet synes dog at vise, at de aktive Muskler vil kunne kompensere hinandens Bivirkninger saaledes, at det ikke er nødvendigt at antage, at Muskler, der ikke har nogen Komponent i Adductionsretningen, behøver at kontrahere sig under denne Bevægelse.

Betragter man derimod et lignende Skema (S. 187 nederst) for Flexionsbevægelsen i Skulderleddet, da ser man let, at en


(Albubøjning)
Udadrotation
25
Extension
125
Deltoideus III
132
Flexion
64,5
Biceps c. br.
Coraco-brach.
40
Teres maj.
43
Extension
33
Extension
8
Triceps c. lg.
24
Teres min.
18
Udadrotation
13,5
Pectoralis
Latissimus
(Albustrækning)
Flexion
Indadrotation
Extension


(Albubøjning)
Indadrotation
21
Abduction
20
Deltoideus I
57
Abduction
10
Biceps &
Coraco-br.
74
Infraspinatus
& Teres min.
26
Udadrotation
56
Adduction
40
Pectoralis I
Adduction
18
Indadrotation
Adduction

saadan Kompensation overhovedet ikke er mulig. Det er vel næppe usandsynligt, at de i Skemaet anførte Rotationsmomenter nogenlunde vil kunne kompensere hinanden, idet der utvivlsomt tilkommer Pectoralis et ret betydeligt Moment som Indadrotator; derimod er det givet, at der maa blive et meget anseligt overskydende Adductionsmoment; dette er paa Skemaet omtrent 30, og hertil kommer den adducerende Virkning af Pectoralis, der efter al Rimelighed er endnu større. Man kan derfor med Sikkerhed paastaa, at en ren Flexionsbevægelse i Skulderleddet forudsætter Indgriben ogsaa af Leddets Abductorer, i alt Fald maa dette være Tilfældet, hvis Bevægelsen skal udføres med en blot nogenlunde anselig Kraftudfoldelse. Hertil kommer, at Biceps virker paa Albuen med et betydeligt bøjende Moment, som, hvis Bevægelsen i Skulderen skal foregaa isoleret, maa kompenseres af Albustrækkerne, d. v. s. af Triceps og Anconeus, rimeligvis dog med Undtagelse af C. longum triciptis, der vilde modarbejde Flexionsbevægelsen i Skulderleddet.

Det Arbejde, der iflg. Beregningerne fordres til at udføre en given Bevægelse, behøver altsaa aldeles ikke at være noget Maal for det Muskelarbejde, som Organismen maa præstere, naar Bevægelsen udføres vilkaarligt af det levende Individ, og dette kan end ikke kvalitativt bestemmes ved Hjælp af den omhandlede Metode. Det fortjener endvidere at bemærkes, at den Fordring om »Muskelisolation«, der i den sidste Tid har spillet en ikke uvæsentlig Rolle i den populære Gymnastikteori, maa opfattes med et vist Forbehold. Især maa man vogte sig for, at ikke Bestræbelser i denne Retning fører med sig, at der lægges for lidt Kraft i Øvelserne.

Ovenstaaende Betragtninger viser i hvert Fald, at selv det bedste Præparat kun kan give et meget mangelfuldt Indtryk af de indviklede Processer, der foregaar i den levende Organisme. Den specielle Muskelmekanik har endnu ikke paa noget eneste Punkt fast Grund under Fødderne; alt, hvad der foreligger, er kun tilfældige, spredte Brudstykker.

DE ENKELTE MUSKLER OG MUSKELGRUPPER.

KRANIETS OG ANSIGTETS MUSKLER.

Der findes paa Hovedet en Del smaa Muskler, som øjensynligt er paa Vej til at miste deres Betydning som aktive Bevægelserorganer, saaledes Musklerne til og paa det ydre Øre, der kun i de færreste Tilfælde kan bevæges vilkaarligt. Noget lignende gælder Musklerne, der bevæger Galea aponeurotica, dog med Undtagelse af Pandemuskulaturen, der nærmest maa henregnes til den mimiske Muskulatur. Denne sidste er i Modsætning til de først nævnte Muskler meget fint koordineret og staar som bekendt i intim Forbindelse med det højere Nerveliv. Nogle Ansigtsmuskler tjener dog ogsaa andre Formaal som f. Ex. de omkring Øjespalten anbragte Muskler, der maa regnes blandt Øjets Beskyttelsesorganer, og Mundens Muskler, hvis Funktion er knyttet saavel til Ernæringen som til Talemekanismen. Til den mimiske Muskulatur regnes ogsaa Halsens store Hudmuskel, *Platysma myoides*, der trækker Mundvigen stærkt udad-nedad og udvisker Vinklen mellem Hage og Hals; Platysma skal ligeledes være virksom ved Synkning, den har derimod ingen Virkning paa Underkæbens Bevægelser.

TYGGEMUSKLERNE.

M. masseter, *M. pterygoideus internus* og forreste Temporalisportion presser Tandrækkerne mod hinanden, virker altsaa ved Afbidning og Knusning af Føden. *M. pterygoideus externus* trækker Condylus mandibularis fremad og virker saaledes som Mundaabner, idet Axen for Kæbeleddets Hængselbevægelse som omtalt paa S. 65 gaar omtrent gennem Lingula; sammen med Masseter fører denne Muskel Underkæben frem til »Underbidstillingen« med sluttede Tandrækker. Fra den fremskudte Stilling føres Kæben tilbage til Grundstillingen, idet bageste Temporalisportion griber ind i Stedet for Pterygoideus externus. Ved Malebevægelsen virker de sidstnævnte Muskler alternerende.

TUNGEBENSMUSKLERNE.

Naar Tungebenet er fixeret, tjener de suprahyoide Muskler (*Mm. digastricus* (*venter auterior*), *genio-hyoideus* og *mylo-hyoideus*) som Mundaabnere; naar Kæben er fixeret, løfter de suprahyoide Muskler Tungebenet og den med dette forbundne Larynx som f. Ex. ved Synkebevægelsen. De infrahyoide Muskler har til Opgave at fixere Tungebenet for de førnævnte Musklers Træk; hvis de arbejder fra deres øvre Fæste som Fixpunkt, tjener de som Hjælpemuskler for Inspirationen.

Hvirvelsøjlens Muskler.

Som tidligere omtalt besidder Hvirvelsøjlens enkelte Afsnit en vis relativ Selvstændighed, navnlig gælder dette Halssøjlen; Forholdet træder tydeligt frem, ogsaa naar man betragter Muskulaturens Anordning, og det vil derfor være naturligt at gennemgaa hvert af de to Afsnit Halssøjlen — Bryst- og Lændesøjlen for sig.

HOVEDET OG HALSSØJLEN.

De Muskler, der bevæger Hoved og Hals, hører til flere forskellige Grupper; paa Dorsalsiden har man de dybe Rygmusklers Cervicalportion og de smaa Muskler, der med et fælles Navn betegnes som »Nakkestjærnen«, paa Ventralsiden Prævertebralmusklerne, Mm. scaleni og M. sterno-cleido-mastoideus. Hertil kommer under visse Omstændigheder Cucullaris I, M. levator scapulæ og Tungebensmusklerne.

De nævnte Muskler virker saavel paa Leddene mellem Hovedet og Hvirvelsøjlen som paa Leddene mellem de enkelte Halshvirvler; det er dog kun i de færreste Tilfælde muligt at localisere Virkningen til hvert enkelt Led, man er som Regel henvist til ret summariske Betragtninger. Med Hensyn til de enkelte Musklers isolerede Virkning skal kun følgende bemærkes:

Rygmusklerne. *Mm. multifidus* & *semispinalis cervicis* forøger, naar de virker dobbeltsidigt, Halslordosen[1]). Naar de virker ensidigt, bøjer de højresidige Muskler Halssøjlen til højre og roterer den samtidig til venstre Side.

M. complexus bøjer, naar den virker dobbeltsidigt, Hovedet og de øverste Halshvirvler bagud; ved ensidig Virkning drejer den højre Complexus Hovedet til venstre og bøjer det samtidig lidt til højre Side.

M. trachelo-mastoideus er ren Sidebøjer.

M. splenius bøjer ved dobbeltsidig Virkning Hovedet bagud og forøger Halslordosen; ved ensidig Virkning drejer højre Splenius Hovedet og de øvre Halshvirvler til højre, idet den samtidig bevirker en let Bøjning bagud og til højre Side.

»Nakkestjærnen«. *Mm. rectus minor* & *obliquus superior* bøjer Hovedet bagud; i samme Retning virker *Mm. rectus major* & *obliquus inferior;* naar de to sidstnævnte Muskler virker ensidigt, drejer de højresidige Muskler Hovedet og Atlas mod Epistrophæus til højre Side.

Prævertebralmusklerne. *M. longus colli* udretter Halslordosen, resp. bøjer Halsen fremad; *Mm. longus capitis* & *rectus auterior* bøjer Hovedet og den øverste Del af Halshvirvelsøjlen fremad.

Mm. scaleni bøjer fra deres distale Fæste som Fixpunkt Halshvirvelsøjlen fremad eller ved ensidig Virkning fremad og til Siden; de virker for øvrigt — i alt Fald ved anstrængt Respiration — som Inspirationsmuskler, idet de fra deres proximale Fæste som Fixpunkt løfter de øvre Ribben.

M. sterno-cleido-mastoideus har en ret kompliceret Virkning. Naar Musklen fra sit sternale Udspring som Fixpunkt arbejder dobbeltsidigt, bøjer den Halshvirvelsøjlen fremad; naar Halssøjlen er strakt og Hagen fremskudt, kan den bi-

---

[1]) Hvor intet andet er bemærket, er hér og i det følgende Musklens proximale Fæste betragtet som Fixpunkt.

drage til Bagudbøjning af Hovedet; løftes Kroppen i horizontal Stilling fra Underlaget, ser man Musklen kontrahere sig stærkt, men da Hovedet samtidig kan bevæges frit i Sagittalplanet, maa dens Virkning antages at være den at afstive Columna. Naar Sterno-cleido arbeider ensidigt, drejer den højre Muskel Hovedet til venstre og bøjer det samtidigt til højre Side; Drejningen skyldes navnlig det sternale Hoved, medens Bøjningen hovedsageligt maa tilskrives den clavicularе Portion. Naar Musklen arbejder fra sit proximale Fæste som Fixpunkt løfter den Sternum opad; den virker da under anstrængt Respiration som Hjælpemuskel ved Inspirationen.

En aktiv Fremadbøjning af Hoved og Hals maa altsaa antages at komme i Stand ved Hjælp af Prævertebralmusklerne, eventuelt tillige Mm. scaleni, derimod kontraherer Sterno cleido sig ikke under sædvanlige Forhold; hvis Bevægelsen foregaar mod en ydre Modstand, vil denne Muskel imidlertid medvirke.

Ved Bagudbøjning af Hovedet virker Rygmusklernes Cervicalportion; ved den gymnastiske Bagudbøjning eller rettere Bagudføring af Hoved og Hals er det særlig disse Musklers nedre Portioner beliggende paa Overgangen mellem Hals- og Brystsøjlen, der er virksomme, medens Halssøjlens rette Stilling sikres af Prævertebralmusklerne.

Bøjning af Hoved og Hals i Frontalplanet sker ved ensidig Kontraktion af Sterno-cleido, Splenius og Trachelo mastoideus paa den Side, til hvilken Bøjningen foregaar, desuden medvirker rimeligvis flere af de nævnte Smaamuskler; de store Musklers bagudbøjende Virkning bliver sandsynligvis kompenseret ved Hjælp af Prævertebralmusklerne.

Drejning af Hoved og Hals til højre Side foregaar ved Hjælp af højre Splenius, venstre Sterno-cleido og de venstresidige Semispinales cervicis & capitis, idet man ligesom i foregaaende Tilfælde maa antage, at Prævertebralmusklerne kompenserer de nævnte Musklers Bivirkninger. Som ovenfor

omtalt betragter man ogsaa de to nederste Muskler i »Nakkestjærnen« som Rotatorer; disse Muskler har samme Fiberretning som Spleniusgruppen.

BRYST- OG LÆNDESØJLEN.

De i disse Afsnit virksomme Muskler er de dybe Rygmusklers Thoracal- og Lumbalportioner samt Bugmusklerne og endelig M. psoas major, hvis vigtigste Funktion dog er knyttet til Hofteleddet.

Rygmusklerne, hvortil foruden de dybe Rygmuskler i snevrere Forstand regnes Mm. levatores costarum og M. quadratus lumborum, bøjer Hvirvelsøjlen bagud i Lænden og formindsker Dorsalkyfosen; de virker desuden i forskellige Kombinationer saavel ved Bøjning i Frontalplanet som ved Vridning. Det gængse Navn »Rygstrækkere« for disse Muskler er for saa vidt misvisende, som de kun virker udrettende paa Dorsalkrumningen, medens de bidrager til at forøge saavel Hals- som Lændelordosen. De enkelte Muskelgruppers Virkninger — for saa vidt som de er bekendte — vil fremgaa af nedenstaaende Oversigt over Hvirvelsøjlens Bevægelser.

Bugmusklerne, hvortil hører den i Anatomien saaledes benævnte Muskelgruppe med Undtagelse af M. quadratus lumborum, danner i Forbindelse med deres stærke Aponeuroser Størstedelen af Bughulens Vægge og tilvejebringer Forbindelsen mellem Brystets og Bækkenets Skelet. Disse Musklers vigtigste Funktioner kan sammenfattes i følgende Hovedpunkter:

1. Bugmusklerne holder paa Grund af deres Tonus forreste Bugvæg i en vis Spænding og sikrer derved Bugorganernes rette Lejeforhold.

2. Sammen med Diaphragma virker Bugmusklerne som Bugpresse, d. v. s., de tilvejebringer en Forøgelse af det intraabdominale Tryk og bidrager derved til Tømningen af

Bugens Hulorganer; de virker saaledes ved Urinering, ved Defæcation, ved Tømningen af Ventriklen under Brækning og ved Fødselsakten.

3. Naar Diaphragma er afspændt, virker Bugmusklerne som Exspirationsmuskler, idet Bughulens Indhold, der praktisk talt ikke lader sig komprimere, naar den muskuløse Bugvæg spændes, presser Mellemgulvet opad og derved formindsker Brysthulens Rumfang.

4. Naar Talen er om at bevæge Legemets Led, da arbejder Bugmusklerne i Almindelighed ud fra deres nedre Fæste som Fixpunkt; de bevirker da, naar de arbejder dobbeltsidigt, Fremadbøjning af Kroppen, idet de flekterer Hvirvelsøjlen særligt paa Overgangen mellem Bryst- og Lænderegionen.

5. Ved ensidig Virkning bidrager de til Hvirvelsøjlens Bøjning i Frontalplanet, og endelig

6. medvirker de i en ny Kombination ved Rotation.

7. Naar Bugmusklerne arbejder fra deres øvre Fæste som Fixpunkt, vil de ved dobbeltsidig Kontraktion dreje det bevægelige Bækken saaledes, at Bækkenhældningen formindskes; de foraarsager altsaa ligesom i det førstnævnte Tilfælde en Anteflexion af Hvirvelsøjlen navnlig af dennes nederste Partier.

Betragter man Hvirvelsøjlens Bevægelser maa man antage, at

Fremadbøjning foregaar ved Hjælp af Bugmusklerne og Ilio-psoas, naar disse Muskler arbejder dobbeltsidigt.

Bagudbøjningen sker ved dobbeltsidig Kontraktion af Rygmusklerne i den ovenfor angivne Gruppering maaske med Undtagelse af Intertransversarii og Rotatores dorsi. — Der bestaar altsaa med Hensyn til Hvirvelsøjlens Bevægelser i Sagittalplanet — i alt Fald indenfor visse Grændser — Antagonisme mellem Bug- og Rygmuskler; disse Gruppers relative Styrkeforhold er utvivlsomt bestemmende for Lændesøjlens Holdning og derigennem for Bækkenhældningen selv

om ogsaa denne under visse Omstændigheder kan paavirkes af Hofteleddets Muskulatur og da navnlig af Hasemusklerne og Rectus femoris, ligesom Tyngden under særlige Forhold kommer til at spille en betydelig Rolle. Duchenne har vist, at naar én af de hér omhandlede Muskelgrupper lammes, da kommer Ligevægten i den oprejste Stilling i Stand ved et Sammenspil mellem den bevarede Muskelgruppe og Tyngden, idet Lændelordosen altid vil blive bestaaende men vil antage forskellig Form i det enkelte Tilfælde saaledes, som allerede omtalt paa S. 73. I alle Tilfælde vil det fælles Tyngdepunkt for de Legemsafsnit, der ligger over Lændesøjlen, forlægges saaledes, at Vægten kommer til at »hænge« i de bevarede Muskler. De samme mekaniske Forhold, som findes ved Paralyse af den ene af de omtalte Muskelgrupper, maa naturligvis om end i mindre udpræget Grad være til Stede i alle Tilfælde, hvor den fysiologiske Ligevægt mellem de to Muskelgruppers Styrkeforhold er forrykket.

Sidebøjning kommer i Stand ved Hjælp af Rygmusklerne, med Undtagelse af Rotatores dorsi, Supra- & Interspinales, paa den Side, til hvilken Bøjningen foregaar, i Forbindelse med samme Sides Bugmuskler; muligvis virker ogsaa denne Sides Ilio-psoas. Det maa endvidere antages, at ogsaa Mm. intercostales kan være medvirkende, men de kan da selvfølgelig ikke samtidigt fungere som Respirationsmuskler.

Den mest komplicerede Bevægelse er Rotationen. Rotation til højre foregaar ved Hjælp af Mm. obliquus abdominis externus sin. & obliquus abdominis internus dext. i Forbindelse med venstre Sides Mm. semispinales, multifidus & rotatores dorsi. Hvis Bevægelsen ikke foregaar fra Grundstillingen men fra en Rotationsstilling til venstre, vil ligeledes højre Sides Ilio-costalis og Longissimus dorsi, muligvis ogsaa Quadratus lumborum kunne medvirke. Da Fiberretningen i Intercostalmusklerne ganske svarer til den i de skraa Bugmuskler, maa ogsaa disse antages at kunne bidrage til Kropvridningen, og det samme gælder Mm. serratus anticus &

rhomboideus, der i saa Tilfælde maa betragtes som en to buget Muskel, hvis Fiberretning svarer til Obl. abdominis externus. — Det er her forudsat, at enhver Hvirvel er relativt fixeret i Forhold til en ovenforliggende; dette er imidlertid ikke nogen direkte Følge af de anatomiske Forhold, da Bevægeligheden mellem de forskellige Hvirvler kan være ret varierende, men det maa antages, at Musklerne innerveres i Serier saaledes, at Bevægelsen foregaar i samme Retning i hele det bevægede Afsnit af Hvirvelsøjlen (synergiske Muskelspiraler).

Brystkassens Muskler.

Brystkassens Muskulatur tjener i Hovedsagen to Formaal, dels dét at fixere hele Brystpartiet saaledes, at dette danner den fastest mulige Basis for Overextremitetens Bevægelser, og saaledes, at det afgiver det fornødne Fixpunkt for Bugmusklerne med Hensyn til disses Virkning paa Bækkenet, dels dét at bevæge Brystkassens Led ved dennes egen Bevægelse, d. v. s., ved Respirationsbevægelsen.

Brystkassens Muskler er Mm. intercostales, triangularis sterni, serrati postici samt de dybe Rygmusklers Dorsalportion og Diaphragma; hertil kommer en hel Række Muskler hørende til de forskelligste Grupper, de saakaldte auxiliære Respirationsmuskler, der imidlertid ikke skal omtales nærmere paa dette Sted, de vil ligesom selve Respirationsbevægelsen finde Omtale i Kapitlet om Respirationen.

Mm. intercostales externi løfter Ribbenene, virker altsaa som Inspirationsmuskler; i Forbindelse med

Mm. intercartilaginei forøger de Vinklerne mellem Ribben og Ribbensbrusk samt mellem Ribbensbrusk og Sternum, hvilket er Betingelsen for Brystkassens Udvidelse i Tværretning (se S. 89 og Fig. 57).

Mm. intercostales interni sænker Ribbenene, tjener altsaa Exspirationen.

M. triangularis sterni maa antages at have en lignende Virkning.

M. serratus posticus superior antages at løfte de Ribben, hvortil den fæster sig; den er altsaa Inspirationsmuskel.

M. serratus posticus inferior sænker de nederste Ribben eller bidrager til at fixere disse for et opadgaaende Træk af Diaphragma; ogsaa denne maa derfor antages at virke under Inspirationen.

Diaphragma, der danner Skillevæggen mellem Bryst- og Bughule, har i afspændt Tilstand Form som en foroven fladtrykt Kuppel, hvis vertikale Sidepartier slutter sig nøje til Thoraxvæggen kun adskilte fra denne ved en kapillær Spalte, det komplementære Pleurarum. Naar Musklen kontraherer sig, sænkes Centrum tendineum, ved en kraftig Inspiration 2—3 cm, og samtidig antager Mellemgulvet en mere toppet Form saaledes, at det komplementære Pleurarum udvides og giver Plads for Lungen. Diaphragma virker altsaa som en kraftig Inspirationsmuskel. Naar det fixeres i Inspirationsstilling ved, at Glottis lukkes, virker Mellemgulvet sammen med Bugmusklerne som Bugpresse.

Overextremitetens Muskler.

Medens Kroppens Bevægelser foregaar i talrige smaa Led med ret ubestemte Bevægelsesbaner, og de virksomme Muskler danner store sammenhængende Masser, hvis enkelte Elementer kun i meget grove Træk kan holdes ude fra hinanden i funktionel Henseende, stiller Forholdene sig for Extremiteternes Vedkommende langt gunstigere for Undersøgelsen; dels er Bevægelserne i Extremiteternes Led i de fleste Tilfælde mere formbestemte og lettere overskuelige end i Kroppens, dels er Extremitetmusklernes Anordning en saadan, at den enkelte Muskel eller Muskelportion forholdsvis lettere kan gøres til Genstand for specielle Undersøgelser. Det er derfor rimeligt, at man er naaet forholdsvis vidt med Hensyn

til Studiet af Extremitetmusklerne og at man i Haand- og Lærebøgerne er i Stand til at give disse en udførligere Omtale end den, der bliver Kroppens Muskler til Del. — I det følgende vil først en Del enkelte Muskler blive omtalte, dernæst de synergiske Grupper, der maa antages at virke ved visse typiske Bevægelsesformer i de paagældende Led.

M. cucullaris s. trapezius, Kappemusklen, deles sædvanligt i 3 Portioner svarende til Fæstet paa Clavicula, Spina scapulæ og ovenfor Basis spinæ.

Cucullaris I løfter, naar den arbejder ud fra sit proximale Fæste som Fixpunkt, Skulderbæltet og kan altsaa, naar Respirationen er besværet, tjene som Inspirationsmuskel, hvilket antages at være denne Muskels væsentligste Funktion. Hvis nedre Fæste er fixeret, bøjer den ved dobbeltsidig Kontraktion Hoved og Hals bagud; ved ensidig Kontraktion kan den bidrage til Sidebøjning, idet den samtidig roterer Hovedet lidt til modsat Side

Cucullaris II adducerer Scapula og roterer den udad, medens

Cucullaris III sænker, adducerer og udadroterer Skulderbladet; 3' Portion virker som Rotator langt stærkere end anden.

M. levator scapulæ løfter Skulderbladets øvre mediale Vinkel, foraarsager derved en relativ Sænkning af Skulderen og altsaa en Indadrotation af Scapula. Hvis Skulderbladet er fixeret, bøjer den Halssøjlen i Frontalplanet.

Mm. rhomboidei adducerer Skulderbladet, idet dette samtidig løftes og roteres indad. Det er særlig de nederste Partier af Musklen, der virker roterende. Sammen med Serratus kan Rhomboideerne fixere Scapula i en hvilkensomhelst Stilling; ved Paralyse af disse Muskler formindskes den inspiratoriske Virkning af Serratus, og man har vanskeligt ved at føre Armen bagud—indad.

M. serratus anticus fixerer sammen med Rhomboideerne Scapula, roterer sammen med de to nedre Cucullarisportioner

Scapula udad og fører ved Stødbevægelsen hele Skulderpartiet fremad—udad. Naar Musklen virker fra sit distale Fæste som Fixpunkt er dens nedre Partier en kraftig Inspirationsmuskel, idet de virker løftende paa Ribbenene. I visse gymnastiske Stillinger som f. Ex. Haandliggning er det Serratus, der bærer Kroppens Vægt, idet denne er ophængt til de mod Armene fixerede Skulderblade.

M. pectoralis minor understøtter som Rotator Rhomboideerne, trækker desuden øverste Skulderbladsrand fremad og nedad og fører sammen med Serratus Scapula frem. Denne Muskel er for øvrigt paa Grund af sit dybe Leje vanskeligt tilgængelig for Undersøgelse.

M. subclavius maa betragtes som et »aktivt Ligament« til Sternoclaviculærleddet; dens Virkning paa Skulderens Stilling og Bevægelser er sikkert minimal.

M. latissimus dorsi, den brede Rygmuskel, fører fra alle Stillinger, med Undtagelse af de stærkest extenderede, Overarmen i Extensionsretning, virker i Grundstillingen tillige som Indadrotator og Adductor (Arskrazermäuslein). Naar Skulderleddet er fixeret, virker dens øverste Trediedel som Adductor af Skulderbladet; de to nederste Trediedele sænker Skulderpartiet. Ved dobbeltsidig Virkning giver Latissimus den soldatermæsige Holdning; man kan, naar denne Muskel er lammet, ikke bære Geværet »i Hvil«. Naar Musklen arbejder fra sit distale Fæste som Fixpunkt, fører den Kroppen frem mellem Armene; den virker saaledes ved Hævning af Kroppen fra hængende Stillinger, eller naar man bevæger sig ved Hjælp af Krykker.

M. pectoralis major, den store Brystmuskel, fører fra alle Stillinger Armen i ventral Retning kraftigst naar denne i Forvejen er ført tilbage. Den er altsaa i Grundstillingen Flexor, tillige er den Skulderleddets stærkeste Adductor og virker desuden som Indadrotator af dette Led. Den fører sammen med Latissimus den eleverede Arm tilbage til Grundstillingen. Naar Armen er fixeret i eleveret Stilling

virker Pectoralis ved Hævning af Kroppen, desuden virker den som Inspirationsmuskel ved at hæve Ribbenene; samme Virkning kan for øvrigt paavises — om end mindre udpræget — i alle Tilfælde, hvor det distale Fæste er fixeret. Naar Skulderleddet er fixeret, fører Pectoralis Skulderen fremad og opad (Udtryk for Frygt).

M. deltoideus, Deltamusklen, deles i 3 Portioner svarende til dens Fæste paa Clavicula, Acromion og Spina scapulæ.

Deltoideus I flekterer Skulderleddet og virker desuden som en svag Adductor og en ret stærk Indadrotator af dette Led. Denne Portion fører Armen fremad og indad; er den paralyseret, volder det Vanskelighed at føre Haanden til Munden. Paa den noget abducerede Arm virker den som Fremadfører og Abductor men har ingen roterende Virkning.

Deltoideus II virker som Abductor af Skulderleddet, kraftigst fra en noget abduceret Stilling; fra Grundstillingen har den tillige nogen udadroterende og extenderende Virkning.

Deltoideus III er en meget kraftig Extensor og Adductor, bidrager ligeledes til Udadrotation i Skulderleddet. Fra abduceret Stilling fører den Armen tilbage; dens forreste Bundter kan da tillige virke abducerende. Naar denne Muskel er lammet, kan man ikke knappe sine Seler bagpaa eller føre Haanden i Buxelommen.

M. supraspinatus virker saavel fra Grundstillingen som fra abduceret Stilling som Abductor og i forholdsvis ringe Grad tillige som Udadrotator; den støtter desuden Skulderleddet og bidrager til at give Leddets Bevægelser Præcision. — Naar denne Muskel er lammet, indtræder der forholdsvis let Subluxation af Skulderen ved en ubehersket Kontraktion af Deltoideus.

M. infraspinatus er Skulderleddets vigtigste Udadrotator, den medvirker desuden ved en Mængde finere koordinerede Bevægelser af Leddet; det er saaledes væsentligst Infra-

spinatus, der fører Haanden langs Linien ved Skrivning. Fra Grundstillingen medvirker denne Muskel ved Indledningen til Flexionsbevægelsen, fra en noget abduceret Stilling er den Abductor.

M. teres minor har i det Væsentlige samme Funktion som Infraspinatus; men den er fra Grundstillingen Adductor, og kommer til at virke svagt bagudførende paa den abducerede Arm.

M. teres major er, naar Skulderbladet er adduceret, vistnok ren Adductor; naar Scapula er noget udadført virker den tillige som Extensor og Indadrotator.

M, subscapularis er Skulderleddets kraftigste Indadrotator; fra Grundstillingen bidrager den til at indlede Extensions- og Abductionsbevægelsen, endelig virker den som Fremadfører og Adductor af den abducerede Arm.

M. coraco-brachialis virker ligesom det korte Bicepshoved, med hvilket den er nøje forbunden, som Flexor og Adductor af Skulderleddet, tillige som Fremadfører af den abducerede Arm.

M. biceps brachii s. flexor cubiti har to Udspringshoveder af hvilke

Caput longum virker som Abductor og svag Flexor af Skulderleddet og desuden tjener som »aktivt Ligament« for dette Led, som den navnlig støtter ved Løftning af større Byrder med bøjet Arm, medens

Caput breve sammen med Coraco brachialis virker som Flexor og Adductor.

Naar Skulderleddet er noget abduceret virker hele Musklen som Fremadfører og Abductor.

Paa Albuleddet virker Bisceps som Flexor, paa Radioulnarleddene som Supinator; naar Albuen bøjes i Pronationsstilling, maa den supinerende Virkning af Bisceps altsaa kompenseres af andre Muskler, antageligt først og fremmest af Pronator teres, der understøtter den bøjende Virkning.

M. brachialis anticus er ren Albubøjer.

M. triceps brachii strækker Albuleddet; dens lange Hoved er tillige Adductor og ganske svag Extensor af Skulderleddet, dette Hoved innerveres derfor ikke altid sammen med de to andre. Denne Muskels Virkning paa Albuleddet kan tildels erstattes af

M. anconeus quartus, der foruden at være Albustrækker virker abducerende paa Ulna og rimeligvis tjener som Støtte for Albuleddet. Naar bægge de sidstnævnte Muskler er lammede, kan man ikke aktivt strække Albuen, man kan f. Ex. ikke »tage Hatten af«.

Med Undtagelse af Brachialis anticus og Anconeus, hvis Virkning paa Skulderen er indirekte, bevæger de hidtil omtalte Muskler dels »Muskelleddet« mellem Scapula og Thorax dels Skulderleddet. I nedenstaaende Oversigter, der er en Bearbejdelse af R. Fick's Tabeller, er Musklerne ordnede med Hensyn til disse Leds Bevægelser om de tre Hovedaxer. Drejningsmomenterne er for Skulderleddets Vedkommende angivet i Kilogram—centimeter, idet Muskelspændingen paa Tværsnitsheden er sat = 1. Som Regel er kun Muskler, hvis Moment efter denne Beregning er 10 eller derover, medtagne i Oversigten.

SKULDERBLADETS BEVÆGELSER.

Det gælder som almindelig Regel, at ingen af de Muskler, der virker paa Skulderbladet, kan føre dette lige opad, nedad, udad eller indad, de har alle ved Siden af deres øvrige Virkning en drejende Komponent, der roterer Scapula omkring en nærmest sagittal Axe, der gaar gennem den øverste Del af Fossa infraspinata. Ved en Bevægelse i en af de nævnte Retninger maa altsaa mindst to Muskler eller Muskelportioner være virksomme.

Bevægelsen opad. Cucullaris (I &) II (navnlig Acromialportionen) samt Levator scapulæ; ogsaa Kombinationen

Rhomboideus & Serratus kan hæve Skulderbladet, men disse Muskler synes ikke at være virksomme, medmindre Bevægelsen møder Modstand.

Bevægelsen nedad: Cucullaris III, Serratus, Pectoralis minor samt i visse Tilfælde Pectoralis major og Latissimus.

Bevægelsen fremad-lateralt: Serratus, Pectoralis major.

Bevægelsen bagud-medialt: Cucullaris II & III, Rhomboidei, eventuelt tillige Latissimus.

Udadrotation: Cucullaris II & III, Serratus.

Indadrotation: Rhomboidei, Levator scapulæ, Pectoralis minor.

SKULDERLEDDETS BEVÆGELSER.

Fra Grundstillingen.

Flexion.		Extension.	
Deltoideus I	56,6	Deltoideus II & III	125,0
Biceps c. lg.	9,2	Teres major	33,3
Biceps c. br.	34,4	Subscapularis	26,7
Coraco brachialis	30,1	Latissimus	
Infraspinatus & Teres min.	25,8		
Pectoralis I			

Abduction.		Adduction.	
Deltoideus II	44,3	Deltoideus (I &) III	132,1
Supraspinatus	23,6	Teres major	43,1
Subscapularis	23,0	Coraco-br. & Biceps c. br.	40,0
Biceps c. lg.	20,4	Triceps c. lg.	23,6
Infraspinatus	10,6	Teres min.	18,4
		Pectoralis	
		Latissimus	

Udadrotation.		Indadrotation.	
Infraspin. & Teres min.	56,1	Subscapularis	62,0
Deltoideus II & III	36,5	Deltoideus I	20,7
Supraspinatus	10,3	Biceps c. lg. & br.	15,8
		Teres major	10,3
		Pectoralis	
		Latissimus	

Fra omtrent 60° abduceret Stilling.

Fremadføring.		Bagudføring.	
Deltoideus I	59,1	Deltoideus II & III	89,0
Subscapularis	49,0	Teres major	14,8
Biceps c. lg.	14,9	Triceps c. lg.	12,4
Biceps c. br.	33,0	Latissimus	
Coraco-brachialis	28,1		
Infraspinatus	11,3		
Pectoralis			

Abduction.		Adduction.	
Deltoideus I & II	97,6	Teres major	48,2
Infraspinatus	47,0	Triceps c. lg.	33,9
Supraspinatus	28,7	Subscapularis	23,3
Biceps c. lg.	15,8	Deltoideus III	11,1
Biceps c. br.	8,6	Pectoralis	
		Latissimus	

Udadrotation.		Indadrotation.	
Infraspin. & Teres min.	50,0	Subscapulares	50,0
Deltoideus II & III	12,7	Teres major	10,3

Som maximal Arbejdsmulighed anfører R. Fick følgende for:

Subscapularis	15,1 kgm.	Infraspin. & Ter. min.	10,4 kgm.
Deltoideus II	11,4 -	Biceps c. lg. & c. br.	3,4 -
Teres major	11,2 -		

M. brachio-radialis er en kraftig Albubøjer; den virker ved noget flekteret Albu tillige som Pronator fra Supinationsstillingen og som Supinator fra yderste Pronationsstilling; i Strækstilling er den ren Supinator, i maximal Bøjestilling derimod Pronator.

M. extensor carpi radialis longus virker ligeledes som Albubøjer, men dens Virkning bliver først af Betydning ved

en Bøjningsvinkel paa henved 40°; for øvrigt virker denne Muskel som Supinator i strakt og som Pronator i bøjet Stilling af Albuen.

M. pronator radii teres bøjer Albuleddet og pronerer Radius.

I de følgende Tabeller udtrykker Tallene det af R. Fick angivne Arbejdsmaal. (Se S. 156).

ALBULEDDETS BEVÆGELSER.

(Radio-Ulnarled i Middelstilling).

Flexion.		Extension.	
Biceps	4,6	Triceps	8,5
Brachialis	3,8	Anconeus	0,8
Brachio-radialis	2,2		
Extensor carpi radialis lg.	1,5		
Pronator teres	1,4		

Som man ser, er Bøjerne betydeligt stærkere end Strækkerne; hvis man medtager dem alle, er Forholdet omtrent som 14,4 : 9,3; sammenlignet med Forholdene hos andre Pattedyr betyder dette imidlertid en betydelig relativ Overvægt af Strækkemusklerne. Arbejdet ved Albubøjning fordeler sig i grove Træk til Brachialis, Biceps og de tre nævnte Underarmsmuskler i den anførte Orden med omtrent en Trediedel til hver Gruppe.

BEVÆGELSEN I RADIO-ULNARLEDDENE.

Ved strakt Albuled.

Pronation.		Supination.	
Pronator teres	0,32	Biceps	0,62
Flexor carpi radialis	0,28	Supinator brevis	0,33
Pronator quadratus	0,18	Brachio-radialis	0,16
		Ext. carpi rad. lg.	0,16

Ved retvinklet bøjet Albuled.

Pronation.		Supination.	
Pronator teres	0,68	Biceps	1,14
Flexor carpi radialis	0,24	Supinator brevis	0,33
Brachio-radialis	0,22		
Pronator quadratus	0,18		
Ext. carpi rad. lg.	0,16		

Supinatorerne har i Strækstilling en betydelig Overvægt over Pronatorerne, hvorfor man ogsaa i det praktiske Liv fortrinsvis anvender Supinationsbevægelsen: en Skrue skrues ind ved en Supinationsbevægelse, en Dør aabnes ved en Supinationsbevægelse osv. I bøjet Stilling af Albuen er Forskellen derimod ubetydelig.

De egentlige Haandledsmusklers Funktioner fremgaar af nedenstaaende Oversigt.

HAANDLEDDETS BEVÆGELSER.

Volarflexion.		Dorsalflexion.	
Flexor digit. subl. & prof.	9,4	Ext. carpi rad. lg. & br.	2,0
Flexor carpi ulnaris	1,95	Ext. digit. communis	1,7
Flexor pollicis longus	1,2	Extensor carpi ulnaris	1,1
Flexor carpi radialis.	0,8		

Radialflexion.		Ulnarflexion.	
Ext. carpi rad. lg. & br.	0,6	Extensor carpi ulnaris	0,7
Abductor pollicis longus	0,2	Flexor carpi ulnaris	0,6
Flexor carpi radialis			

Paa Knoleddet og Fingerleddene virker følgende Muskler:

FINGRENES BEVÆGELSER.

(Tommelen undtagen).

Flexion.	Extension.
Flexor digitor. subl. & prof.	Extensor digitorum communis
Interossei	Interossei
Lumbricales	Lumbricales
	Extensor indicis
	Extensor digiti quinti

Spredning.	Samling.
Interossei dorsales	Interossei volares
Extensor digitorum communis	Extensor indicis proprius
Extensor digiti quinti	

De lange Fingerbøjere virker kraftigt flekterende paa de to yderste Fingerled især paa det første af disse derimod svagere bøjende paa Grundleddet; Virkningen paa dette Led understøttes kraftigt af *Mm. interossei & lumbricales,* af hvilke de sidstnævnte virker stærkest. En kraftig Virkning navnlig af de lange Bøjere er imidlertid betinget af Haandleddets Strækkere; hvis disse er lammede, kan Haanden kun knyttes svagt. Man lukker ikke Haanden om en Genstand, f. Ex. en Stok, ved at anbringe denne i Hulhaanden og dernæst bøje Fingrene hen om den, men men lægger Stokken paa Fingrenes Grundfalanx og bøjer de to yderste Led for umiddelbart derefter at bøje Grundleddet under samtidig aktiv Dorsalflexion af Haandleddet. Forklaringen paa dette Forhold maa rimeligvis søges deri, at Bøjesenerne ved Dorsalflexionen spændes passivt, hvorved deres Kontraktionskraft forøges; herfor taler bl. a., at Kattenes Taaled, naar Kløerne ikke bruges, altid er hyperextenderede.

Medens de lange Bøjere altsaa fortrinsvis virker paa de yderste Led, virker *M. extensor digitorum communis* i første Linie paa Grundleddet, medens den kraftigste strækkende

Virkning paa Interfalangealleddene særlig det yderste udøves af de ovenfor nævnte korte Muskler i Haanden. Paa Grund af den indbyrdes Forbindelse mellem de lange Extensorsener kan de Fingre, der ikke har særlige Strækkemusker, ikke strækkes uafhængigt af hinanden; særlig kan 4' Fingers Grundled ikke strækkes naar det 3' Led er bøjet.

TOMMELENS BEVÆGELSER.

M. flexor pollicis longus bøjer Tommelens Interfalangealled. *Mm. extensor pollicis longus & brevis* samt *M. abductor pollicis longus* virker paa Haandleddet og fører Haanden i Retning af Os metacarp. I; naar de to sidstnævnte Muskler ar bejder sammen med Extensor carpi ulnaris kan Metacarp. I bevæges, uden at Haanden følger med; disse er tillige Antagonister til Oppositionsmusklerne Extensor longus strækker begge Tommelens Led mod Mellemhaandsknoglen og denne mod carpus; Extensor brevis strækker Grundleddet og bøjer samtidig Interfalangealleddet paa Grund af Stramning i Flexor longus Senen. Paralyse af denne Muskel giver den største Bevægelsesdefekt; er baade denne og Abductor lammede kan man ikke lukke Haanden, uden at Tommelen kommer i Klemme.

Thenarmuskulaturen. De smaa Muskler, der danner Thenar, kan deles i flere Grupper. *Abductor brevis* og det radiale Hoved af *Flexor brevis* frembringer Flexion, Abduction og Rotation af Metacarp. I, endvidere Flexion af Grundleddet og Extension af Interfalangealleddet. Den samme Virkning paa disse Led har *Adductor obliquus & transversus* samt det ulnare Hoved af *Flexor brevis;* denne Gruppe frembringer endvidere en Bevægelse af Mellemhaandsknoglen fremad og bort fra Metacarp. II. Skal Metacarp. I trykkes ind til Metacarp. II foregaar Bevægelsen ved Samarbejde mellem Extensorer og Adductorer. Endelig har man *Opponens,* der frembringer Flexion. Adduction og Rotation af

Mellemhaandsknoglen, denne Muskel kan dog højst bringe Tommelens Pulpa til at vende mod Ulnarsiden af Haanden, til den egentlige Oppositionsbevægelse kræves Samarbejde mellem Flexor brevis, Opponens og Adductorerne. De sidstnævnte synes at være de Muskler, der daarligst kan undværes ved den nævnte Bevægelse. Paralyse af Thenarmuskulaturen frembringer en karakteristisk Deformitet, den saakaldte »Abehaand«.

Ved Huling af Haanden (Fødselshjælperstilling) virker Thenar- og Hypothenarmuskulaturen sammen med Palmaris longus & brevis.

Underextremitetens Muskler.

M. ilio-psoas er Hofteleddets stærkeste Flexor; den virker tillige som Flexor af Columna lumbalis. Fra sit distale Fæste som Fixpunkt bidrager den, naar den virker ensidigt, til Sidebøjning af Columna. Ilio-psoas vil i Almindelighed bidrage til at forøge Lændesvejningen og Bækkenhældningen og altsaa hemme Bækkenets Baguddrejning og Hyperextension i Hofteleddet. Ved strakt eller svagt bøjet Hofte er Musklen Indadrotator, ved stærkt flekteret Hofte er den derimod Udadrotator; Overgangen, hvor den er ren Flexor, ligger omtrent ved en Flexionsvinkel paa 60^0.

M. glutæus maximus strækker Hofteleddet. Musklen virker navnlig fra sit distale Fæste som Fixpunkt, saaledes under Gang med Byrder eller Gang paa Trapper, ved Løb og Spring, ved Oprejsning fra siddende Stilling osv ; den virker derimod ikke eller dog kun svagt ved almindelig Gang og i staaende Stilling. Glutæus maximus er endvidere Adductor og Udadrotator af Hofteleddet. Fra en noget abduceret Stilling af Leddet kan vistnok den øverste Del af Musklen virke udadførende, ligesom Musklen i Flexionsstilling af Leddet kan virke som Indadrotator.

Mm. glutæus medius & minimus abducerer Hofteleddet; Glutæus medius virker desuden som Extensor, Glutæus minimus derimod som en svag Flexor af Hoften; endelig er de begge Indadrotatorer navnlig ved flekteret Hofteled.

M. piriformis, Mm. obturator externus & internus (med *Mm. gemelli*) samt *M. quadratus* er Udadrotatorer af det strakte Hofteled, de virker derimod som Udadførere paa det bøjede Led. Obturator externus er desuden Flexor og Adductor; det er denne Muskel, der er virksom, naar man lægger det ene Knæ over det andet. Quadratus virker tillige som Adductor og en yderst svag Flexor, hvorimod Piriformis er Abductor og svag Extensor.

Hasemusklerne. *Mm. biceps femoris* s. flexor cruris, *semimembranosus & semitendinosus* virker som Hofteledsstrækkere, særlig naar det gælder om at strække den frit bevægelige Underextremitet mod Kroppen; disse Muskler virker derfor som Strækkere under almindelig Gang og i staaende Stilling, i sidste Tilfælde dog blot ved deres toniske Spænding; de begrænser ved strakt Knæ Flexionen i Hofteleddet. Desuden virker Hasemusklerne som Adductorer af Hofteleddet særlig fra abduceret Stilling. Paa Knæleddet virker de som Flexorer; desuden virker Biceps som Udadrotator, de to andre som Indadrotatorer af det bøjede Knæ.

Mm. pectineus, adductor longus & brevis flekterer og adducerer Hofteleddet; den roterende Virkning er praktisk talt lig Nul.

M. adductor magnus er Hofteleddets stærkeste Adductor; dens øverste Del virker svagt bøjende, hvorimod den nederste (bageste) og stærkeste Del af Musklen er en meget kraftig Extensor af Hofteleddet. Den roterende Virkning er ret ubetydelig.

M. gracilis virker som Adductor, desuden som Flexor af det strakte, Extensor af det bøjede Hofteled. Paa Knæleddet virker den som Indadrotator.

M. tensor fasciæ spænder Fascia lata; den er desuden Bøjer af Hofteleddet og Strækker af Knæleddet.

M. sartorius bøjer i Hoften og er tillige en svag Abductor og Udadrotator af dette Led. Paa Knæleddet virker den som Bøjer.

M. quadriceps extensor cruris strækker Knæleddet. Rectus femoris er desuden en kraftig Hofteledsbøjer, der tillige virker abducerende og svagt udadroterende paa dette Led. Quadriceps, der virker under almindelig Gang, ved Oprejsning fra siddende Stilling og flere andre vanemæsige Bevægelser men derimod ikke er kontraheret i sædvanlig staaende Stilling, er vistnok Legemets stærkeste Muskel.

M. poplitæus virker som Hemningsmuskel for Knæleddet under Slutningsrotationen og ved kraftig Extension; dens flekterende Virkning er dog kun ringe. Denne Muskel har desuden en vis regulerende Virkning paa den ydre Menisk, med hvilken dens Sene er forbundet.

M. triceps suræ bestaar af to Dele, af hvilke kun den ene virker paa Knæleddet, hvorimod bægge bevæger Talocruralleddet og visse af Fodens Led.

Gastrocnemii er svage Knæbøjere og virker ved bøjet Knæ ligeledes ret svagt paa Ankelleddet, de er derimod, naar Knæet er strakt, stærke Plantarflexorer. Til disse slutter sig M. plantaris, der er uden mekanisk Betydning.

Soleus, Flyndermusklen, er ligeledes Plantarflexor af Foden, paa hvilken den tillige virker inverterende.

Triceps og navnlig Soleus arbejder mest fra det distale Fæste som Fixpunkt; i den staaende Stilling sikrer denne Muskel den strakte Stilling af Underextremiteten, og under almindelig Gang virker Soleus som Hemningsmuskel for Fremadfældningen af Crus. Ved Samvirken mellem Soleus og Hofteledsstrækkerne kan Knæleddet strækkes uden Hjælp af Quadriceps.

I omstaaende Tabel angiver Tallene Forholdet mellem Drejningsmomenterne for de vigtigste Hofteledsmuskler med Hensyn til Leddets tre Hovedaxer; Maalestokken er i dette

Tilfælde ikke Kilogram—centimeter men et vilkaarligt Tal bestemt af A. Fick.

HOFTELEDDETS BEVÆGELSER.

Flexion.		Extension.	
Ilio-psoas	76,6	Glutæus maximus	157,6
Rectus	46,2	Adductor magnus	42,7
Adductor longus	33,7	Biceps	32,7
Adductor brevis	26,5	Semitendinosus	20,85
Obturator externus	16,8	Semimembranosus	20,8
Tensor fasciæ	12,5	Glutæus medius	9,9
Pectineus	11,6		
Sartorius	11,2		
Abduction.		**Adduction.**	
Glutæus medius	114,2	Adductor magnus	84,6
Glutæus minimus	53,9	Glutæus maximus	66,6
Piriformis	15,1	Adductor brevis	42,2
Rectus	14,8	Adductor longus	40,6
		Quadratus	26,2
		Obturator externus	25,1
		Gracilis	17,6
		Pectineus	10,6
		Biceps	9,95
Udadrotation.		**Indadrotation.**	
Glutæus maximus	78,2	Glutæus medius	17,6
Quadratus	25,2	Glutæus minimus	15,8
Obturator internus	18,8	Ilio-psoas	12,2
Piriformis	15,9		

Til Sammenligning med Skuldermusklerne skal det maximale Arbejdsmaal for enkelte Hofteledsmuskler anføres:

Glutæus maximus	34,2	Rectus	17,3
Adductor magnus	32,1	Sartorius	5,0
Semimembranosus	19,5		

I de følgende Tabeller er Tallene de Fick'ske Arbejdsmaal i kgm.; saadanne mindre end 1 er som Regel udeladte.

KNÆLEDDETS BEVÆGELSER.

Flexion.		Extension.	
Semimembranosus	16,8	Quadriceps	142,0
Semitendinosus	13,2	Tensor fasciæ	0,8
Biceps	10,2		
Gastrocnemii			
Udadrotation.		**Indadrotation.**	
Biceps	4,9	Semimembranosus	3,4
		Semitendinosus	0,8
		Poplitæus	0,8

M. tibialis anticus er Dorsalflexor af Ankelleddet, medvirker desuden ved Inversion af Foden.

M. peronæus longus danner den vigtigste Støtte for Fodens Tværbue, men bidrager desuden til at støtte Længdebuen; den er en svag Plantarflexor; under Gangen fører den Legemets Vægt over paa 1' Mellemfodsknogle. Den medvirker desuden ved Eversion af Foden.

M. tibialis posticus er ligeledes kun svag som Plantarflexor; den virker ret kraftigt ved Inversion af Foden, men dens væsentligste Funktion er dog sikkert den at støtte Fodens Længdebue. Insufficiens af denne Muskel giver derfor Anledning til Platfod.

Fodens Stilling i Forhold til Crus er bestemt af de Muskler, der bevæger Ankelleddet.

ANKELLEDDETS BEVÆGELSER.

Plantarflexion.		Dorsalflexion.	
Gastrocnemii	9,0	Tibialis anticus	2,5
Soleus	7,4	Extensor digitorum lg.	0,8
Flexor hallucis lg.	0,85		

Derimod foregaar Fodens Formforandringer i de under Talus liggende Led, den saakaldte »Torsionsarticulation«. (Se S. 115). Bevægelserne i dette Led er Inversion, der bestaar i en Adduction, Rotation og Plantarflexion, og Eversion, der foregaar i modsatte Retninger. Det Moment af Plantar- resp. Dorsalflexion, der indgaar i disse Bevægelser af Foden, foregaar altsaa ikke i Ankelleddet og skyldes tildels andre Muskler end de tilsvarende Bevægelser i dette Led.

FODENS BEVÆGELSER.

Inversion.		Eversion.	
Triceps	4,85	Peronæus lg. & br.	1,91
Tibialis posticus	1,45	Extensor digitorum lg.	
Flexor hallucis lg.		Peronæus tertius	
Flexor digitorum lg.			
Tibialis anticus			

Tæernes Muskler har i Hovedsagen samme Virkning som de tilsvarende Muskler paa Overextremiteten; Musklerne i Planta — navnlig de superficielle Grupper — har desuden den særlige Funktion at støtte Fodens Buer, først og fremmest Længdebuen. Flere af dem medvirker ved Fodens »Afvikling« under Gang.

Virkningen af Fodens Muskler er hér kun angivet i de aller groveste Træk; den er i Virkeligheden yderst kompliceret, fordi disse Muskler saa godt som uden Undtagelse er Flerledsmuskler og derfor kommer til at indgaa i adskillige antagonistiske og synergiske Grupper. Nedenstaaende Skema — efter Abrahamsen[1]) — maa tjene som Exempel paa, hvor mangfoldigt en enkelt Muskels Funktion kan paavirke Fodens Bevægelser. Skemaet viser tillige, hvilke sygelige

[1]) Harald Abrahamsen: De polio-myelitiske Foddeformiteter. Kjbh. 1916, S. 118. Samme Forfatter har i »Akademisk Gymnastik« Hefte 3, Kjbh. 1918, givet en let tilgængelig Oversigt over Fodens bevægelsesfysiologiske Forhold.

Forandringer af Foden der kan opstaa ved Forstyrrelse af den paagældende Muskels normale Funktioner. Det fremgaar heraf, at Paralyse af en enkelt af Fodens Muskler kan medføre meget udtalte Funktionsforstyrrelser; man har endog (Duchenne) paastaaet, at det er bedre at miste alle Fodens Muskler end at bevare nogle af dem.

Oversigt over Virkningerne af *M. extensor digitorum longus:*

Antagonist	Led	Paralyse giver
med Triceps (og Peronæer)	i Talo-cruralleddet	Pes equinus
med Supinatorer[1])	i Torsionsarticulationen	Pes varus
med Plantarmuskler, Tibialis post. og Peron. long.	i de smaa Tarsalled	Pes excavatus
med Interosser og Lumbricaler	i Metatarso-falangealleddene	Plantarflekterede Hammertæer
Synergist	**Led**	**Overvægt giver**
med øvrige Dorsalflexorer	i Talo-cruralleddet	Pes calcaneus sursum flexus
med øvrige Pronatorer	i Torsionsarticulationen	Pes valgus
med øvrige Dorsalflexorer	i de smaa Tarsalled	Pes planus
	i Metatarso-falangealleddene	Dorsalflekterede Hammertæer

Omstaaende Oversigt (efter R. Fick) angiver den maximale Arbejdsmulighed for de lange Fodmuskler, naar samtlige Led er frit bevægelige.

[1]) Supinator = Invertor; Pronator = Evertor.

	Max. Forkortning cm	Max. Spænding kg	Max. Arbejde kgm
Gastrocnemius	5,3	230	11,7
Soleus	4,9	198	9,8
Tibialis ant.	6,1	77	4,7
Flexor hallucis lg.	7,1	45	3,2
Ext. digitorum lg.	8,5	25	2,1
Tibialis post.	3,0	58	1,7
Flexor digitorum lg.	6,1	28	1,7
Peronæus lg.	3,8	43	1,6
Peronæus br.	3,6	38	1,4
Peronæus tert.	6,6	17	1,1
Ext. hallucis lg.	7,8	13,5	1,05

I Tabel I og II er givet en Oversigt over nogle Musklers fysiologiske Tværsnit. I de første Kolonner findes anført Muskelsubstansens Vægt og Bundternes Middellængde efter Frohse & Fränkel, hvoraf Tværsnittet er beregnet uden Indførelse af nogen Korrektion. Til Sammenligning findes i sidste Kolonne de af R. Fick angivne Tværsnitsmaal. Som man ser, findes der betydelige Afvigelser mellem de to Rækker; Aarsagen til disse er paa den ene Side de meget betydelige individuelle Variationer (den første Kolonne i Tab. I hidrører fra Undersøgelse af et Par meget muskelstærke Mænd), paa den anden utvivlsomt ogsaa de meget store Afvigelser, der findes paa Opgivelserne af den samme Muskels Fiberlængde, Afvigelser, der kan beløbe sig til mere end 100 % af Gennemsnittet, og som vel tildels er reelle, idet navnlig de større Muskler kan have Bundter af ret forskellig Længde, men som tillige beror paa forskellig Maalemetode. Alle disse Angivelser maa derfor indtil videre betragtes som usikre.

TABEL I.

Musklens Navn	Vægt	Fiber-længde	Tværsnit	Tværsnit efter Fick
Deltoideus	999	9.3	107.5	
Subscapularis	611	6.4	95.5	25
Supraspinatus	193	6.6	29	8
Infraspinatus	336	8.7	39	16.5
Teres minor	111	6.4	17	
Teres major	480	10.8	44.5	10
Biceps brachii	394	13.6	29	6.5
Coraco-brachialis	104	7.4	14	6
Brachialis anticus	399	7.8	51	5.4
Triceps brachii + Anconeus	1054	7.7	137	20
Pronator teres	103	5.4	19	3
Flexor carpi radialis	71	5.8	12	2
Flexor carpi ulnaris	86	4.8	18	5
Flexor digitorum sublimis	199	4.9	40.5	11
Flexor digitorum profundus	244	6.6	37	11
Brachio-radialis	176	16.9	10.5	2
Extensor carpi radialis longus	104	7.6	14	3
Extensor carpi radialis brevis	97	5.6	17	2

TABEL II.

Musklens Navn	Vægt		Fiber-længde	Tværsnit		Tværsnit efter Fick
	Kvinder	Mænd		Kvinder	Mænd	
Quadriceps extensor cruris ..	1200	1870	8.4	134	223	177
Glutæus maximus.....	530	525	14.6	36	36	67
Adductor magnus.....	335	400	17.2	19.5	23	35
Biceps femoris	305	305	11.2	27	27	20
Soleus	290	400	3.4	85	118	20
Gastrocnemius	265	370	5.1	52	72.5	23
Iliopsoas	260	475	10.0	26	47.5	
Glutæus medius	230	325	7.7	30	42	31
Semimembranosus	190	320	8.0	24	40	26
Sartorius	110	157	52.7	2	3	4
Semitendinosus.....	100	200	19.9	5	10	8
Adductor longus.....	95	164	11.4	8	14	
Tibialis anticus.....	90	122	7.2	12.5	17	8
Glutæus minimus.....	90	168	4.0	22.5	42	
Tibialis posticus	75	78	2.4	31	32.5	6
Peronæus longus	70	88	5.0	14	18	4
Adductor brevis	65	103	9.8	7	10.5	
Gracilis	60	92	25.1	2	4	3
Adductor minimus	55	85	9.6	6	9	
Tensor fasciæ latæ.....	50	115	8.4	6	14	8
Obturator internus	42	100	3.1	14	32	
Obturator externus.....	40	70	4.3	9	16	

TAVLE I.

Fig. 1. Benlamellernes Forløb i den øvre Ende af Laarbenet (Skematisk).

Fig. 2. Forskellige Former af Sutur. a. sutura dentata. b. sutura squamosa (Snit).

Fig. 3. Skematisk Billede af en Symfyse.

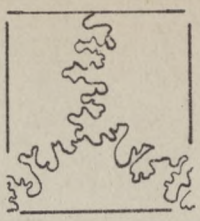
Fig. 4. Skema af en Diarthrose.

Figg. 5 og 6. Skrueflader.

Fig. 7. Ringflade, opstaaet ved at en Cirkel roterer om en i dens Plan beliggende Axe, AB. En lille Ledflade, s, beliggende symmetrisk omkring Ringfladens mindste Cirkel, kan bevæges paa denne omkring Axen AB, uden at Fladekontakten glipper; drejes den om Axen CD, vil der opstaa et nyt Omdrejningslegeme som vist paa Fig. Tænker man sig en Flade beliggende midt imellem Ringfladen og den sidst nævnte Flade, vil s, naar den i nogen Grad lader sig deformere, kunne bevæges paa denne saavel om Axen AB som ogsaa om CD. En saadan Flage kaldes en ideel Saddelflade.



Fig. 1



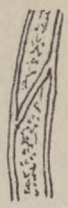


Fig. 2



Fig. 3

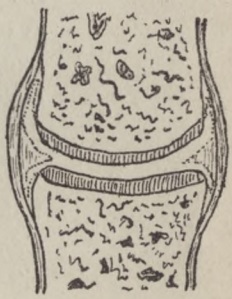


Fig. 4

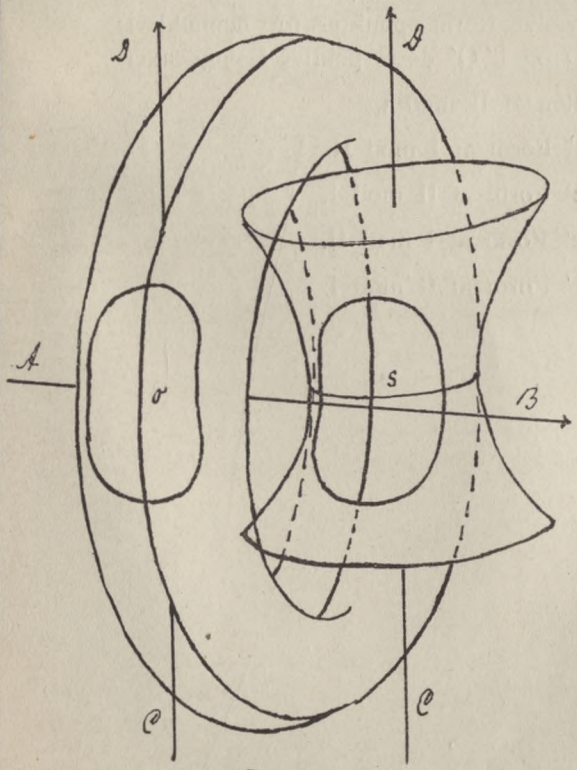


Fig. 7



Fig. 5

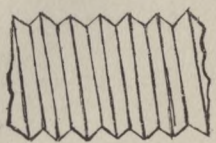


Fig. 6

TAVLE II.

Fig. 8. Et Led med punktuel Berøring.
ZZ′ den fælles Normal gennem Røringspunkterne A og A′; AX Sportangenten, AY Sporets Tværaxe, α Vinklen mellem en instantan Axe og Normalen, β Vinklen mellem Axens Projection paa det fælles Tangentplan og Sportangenten.

Fig. 9. Direkte Rullen af I (Cylinder) mod II (Plan).
I denne og de følgende Figurer betyder M og M′ Centrene for de to Profilkurver, A, B, C og A′, B′, C′ de successive Røringspunkter for henholdsvis I og II, PQ og P′Q′ de respektive Længdeaxer.

Fig. 10. Direkte Rullen af II mod I.

Fig. 11. Gliden af 1′ Form af I mod II.

Fig. 12. Gliden af 2′ Form af II mod I.

Fig. 13. Gliden af 2′ Form af I mod II.

Fig. 14. Gliden af 1′ Form af II mod I.

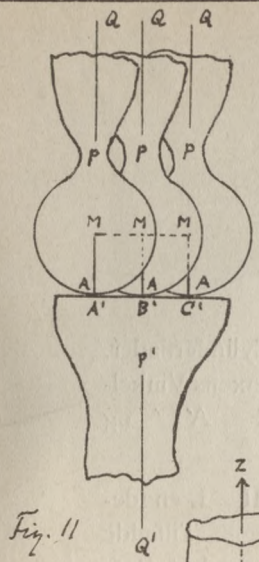


Fig. 11

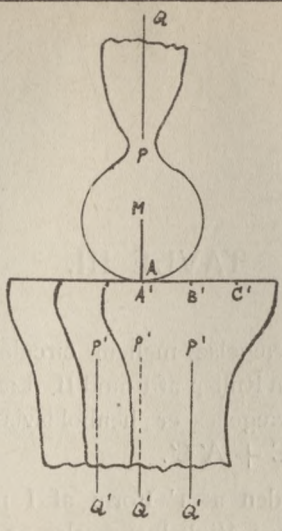


Fig. 12

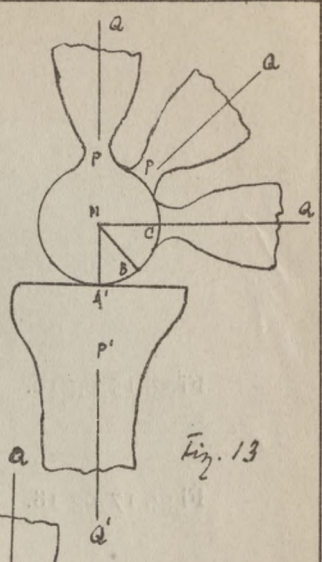


Fig. 13

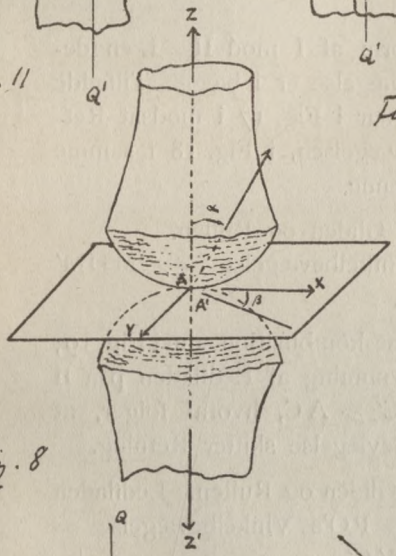


Fig. 8

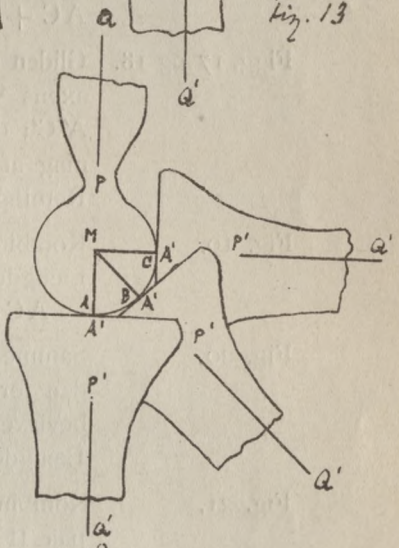


Fig. 14

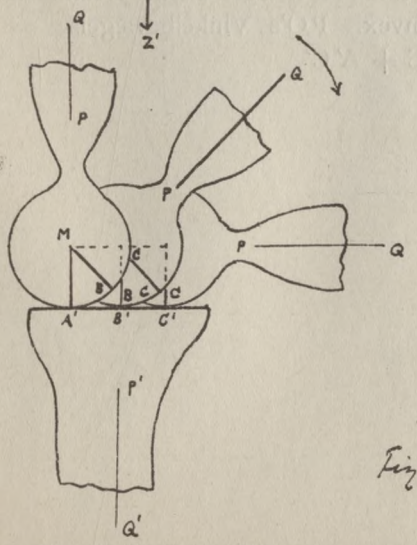


Fig. 9

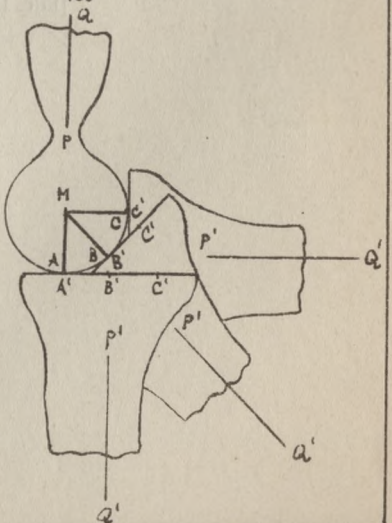


Fig. 10

TAVLE III.

Bevægelse mellem circulære Cylinderflader.

Figg. 15 og 16. Ren Rullen af I mod II. Længdeaxens Vinkelbevægelse er henholdsvis $AC - A'C'$ og $AC + A'C'$.

Figg. 17 og 18. Gliden af 1' Form af I mod II. Længdeaxens Vinkelbevægelse er i bægge Tilfælde $A'C'$; den foregaar i Fig. 17 i modsat Retning af Glidebevægelsen, i Fig. 18 i samme Retning som denne.

Fig. 19. Kombination af Gliden og Rullen. Længdeaxens Vinkelbevægelse $= \angle MDM' = AC - A'C'$.

Fig. 20. Samme Bevægelseskombination som i Fig. 19; den forøgede Krumning af Ledfladen paa II bevirker at $A'C' > AC$, hvoraf følger, at Længdeaxens Bevægelse skifter Retning.

Fig. 21. Kombination af Gliden og Rullen. Ledfladen paa II konvex. PQ's Vinkelbevægelse $= \angle v = AC + A'C'$.

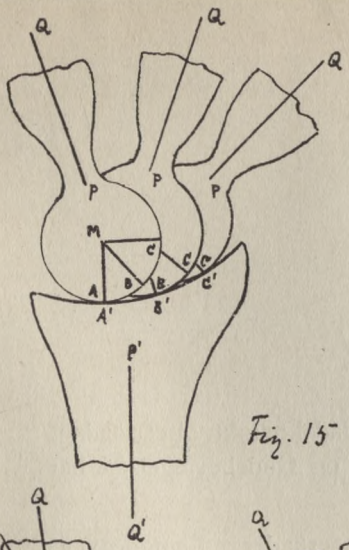


Fig. 15

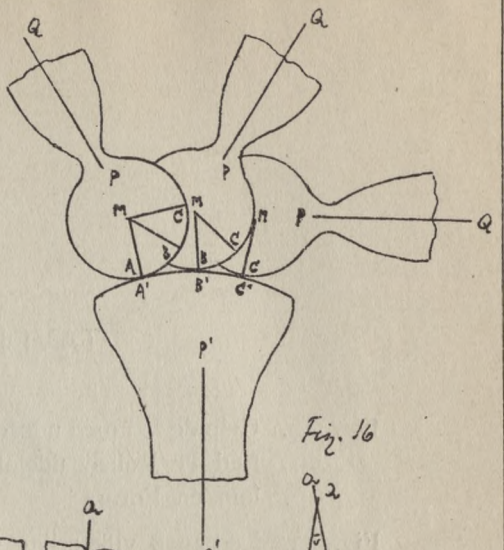


Fig. 16

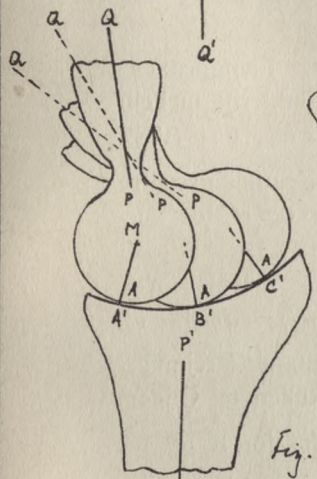


Fig. 17

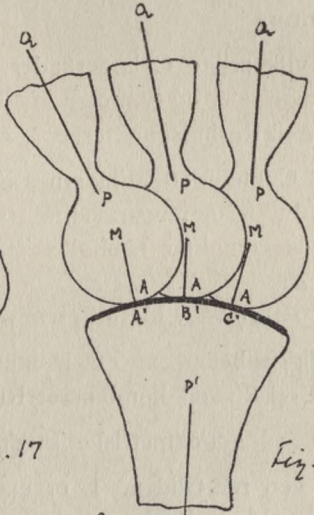


Fig. 18

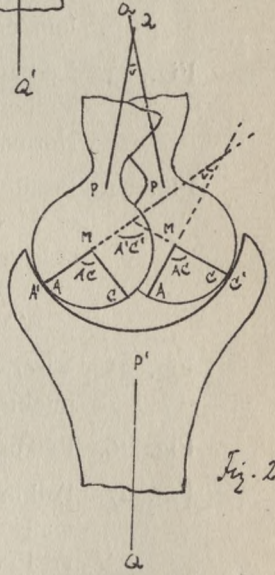


Fig. 20

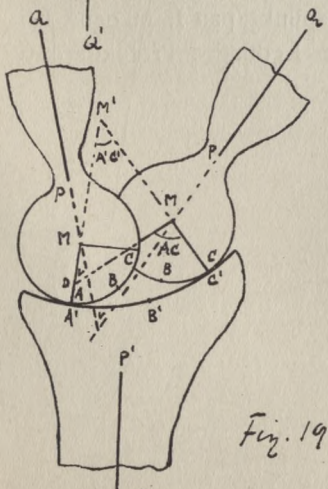


Fig. 19

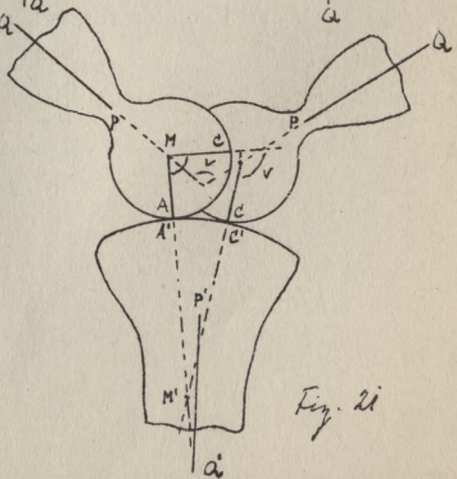


Fig. 21

TAVLE IV.

Fig. 22. Cylinderled med udbredt Fladekontakt. I et saadant Led er Rullen udelukket og Glidebevægelsen har kun én Form.

Fig. 23. Led med vilkaarlige Cylinderflader. Længdeaxens Vinkelbevægelse er lig Summen af Vinklerne mellem Normalerne til Røringspunkterne, $\angle v = AC + A'C'$.

Fig. 24. Profil af et Cylinderled. Fladernes Krumningscentre er M og M′, Krumningsradierne r og r′, de successive Røringspunkter henholdsvis A, B og A′, B′. $\frown AB = ds$, $\frown A'B' = ds'$. $\angle AMB = d\varphi$, $\angle A'M'B' = d\varphi'$. $\triangle MBM'$ giver $d\vartheta = d\varphi + d\varphi'$.

Fig. 25. Viser Beliggenheden af de instantane Drejningspunkter R og R′ ved kombineret Rullen og Gliden.

Fig. 26. Polkurver ɔ: de geometriske Steder for R og R′.

Fig. 27. Polkurver ved ren Gliden. L er en ret Linie, Normalen til det faste Røringspunkt paa I, medens L′ er Evoluten for den anden Ledflades Profilkurve.

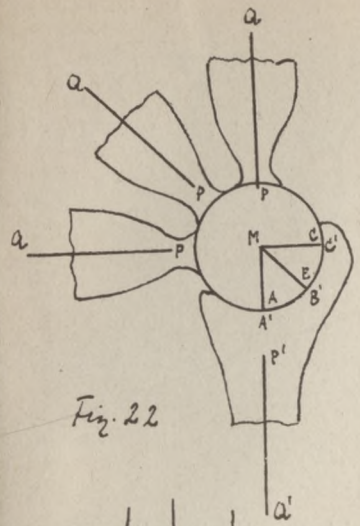


Fig. 22

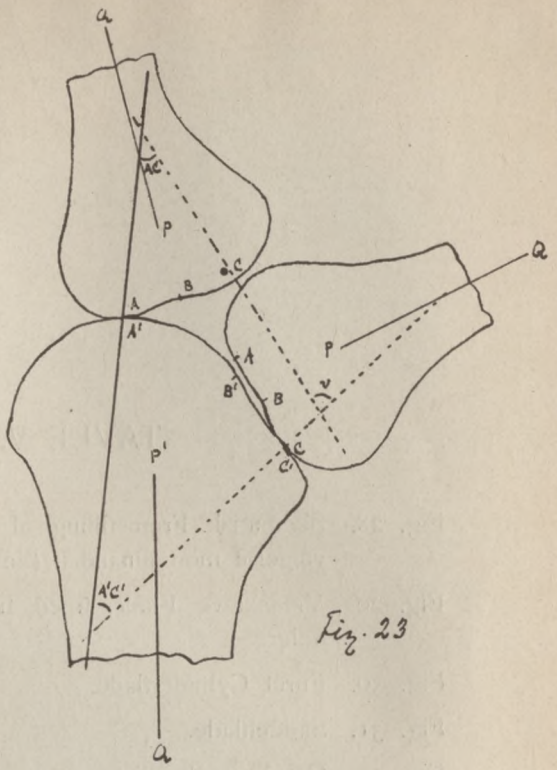


Fig. 23

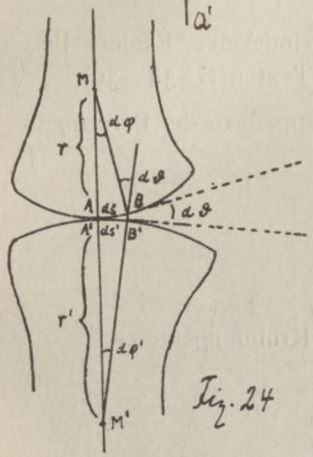


Fig. 24

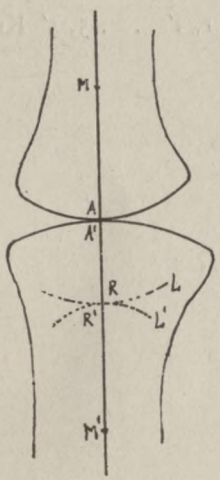


Fig. 26

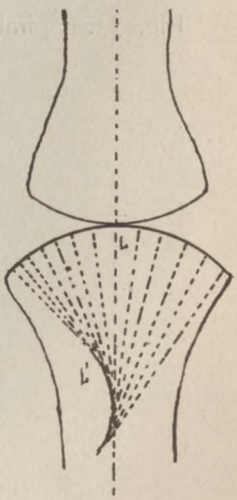


Fig. 27

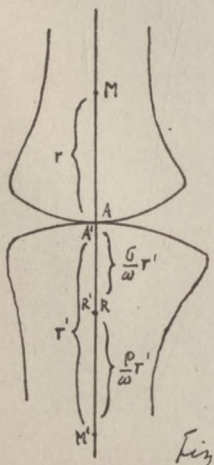


Fig. 25

TAVLE V.

Fig. 28. Skematisk Fremstilling af vindskæve Fladers Bevægelse mod hinanden (Se Texten S. 38—39).

Fig. 29. Vindskæve Flader med trappeformede Berørings linier.

Fig. 30. Furet Cylinderflade.

Fig. 31. Saddelflade.

Fig. 32. Ginglymarthrodi.

Fig. 33. Spiralflade. 1, 1′ . . . . 5, 5′ Krumningsradier.

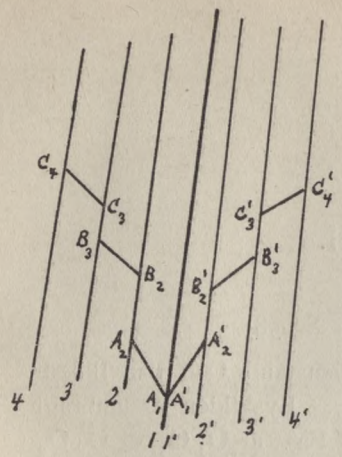


Fig. 28

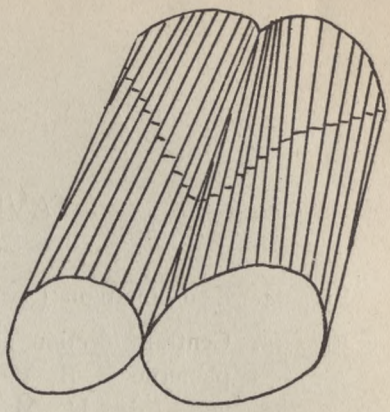


Fig. 29

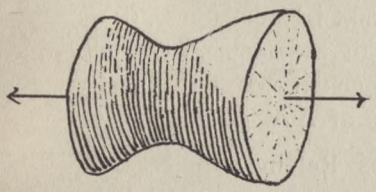


Fig. 30

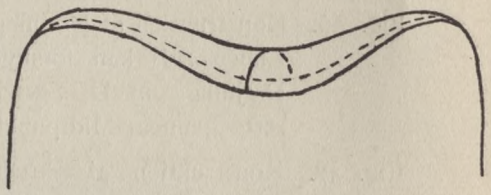


Fig. 31

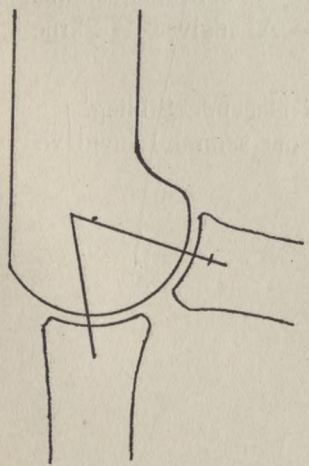


Fig. 32

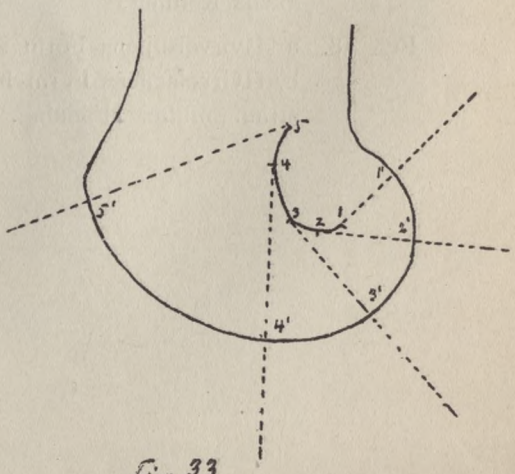


Fig. 33

TAVLE VI.

Fig. 34. Koordinatfigur (Se Texten S. 58).

Fig. 35. Centralprojection af en Genstand O O paa Billedplanerne $B_1 B_1$ og $B_2 B_2$. Lyskilden er anbragt ved L resp. L'. Man ser af Fig., at $O_1 O_1 < O_2 O_2 > O'_2 O'_2$, endvidere, at Fortegningen er mindst i den centrale Del af Feltet. $O_p O_p$ er Parallelprojectionen af O O paa $B_2 B_2$.

Fig. 36. Konstruktion af Drejningspunkt i Planet (Se S. 61). Linien A B kan forskydes til Stillingen A' B' ved Drejning om D, Skæringspunktet for de Vinkelrette gennem Midtpunkterne af A A' og B B'.

Fig. 37. Konstruktion af Skrueaxens Retning (Se S. 63) s s Skæringslinien mellem det vandrette og det lodrette Billedplan; dette sidste er lagt saaledes, at det er vinketret paa Planet P, bestemt af Endepunkterne af Linierne 1, 2 og 3, der løber sammen i O. Den punkterede Linie A angiver da Skrueaxens Retning.

Fig. 38. a. Hvirvelsøjlens Form i fri staaende Stilling.
b. Hvirvelsøjlens Form hos det samme Individ ved stram militær Holdning.

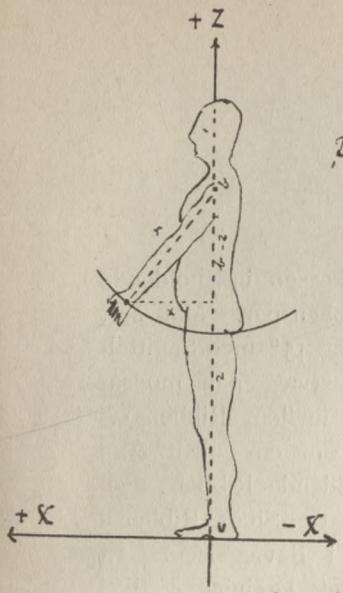


Fig. 34

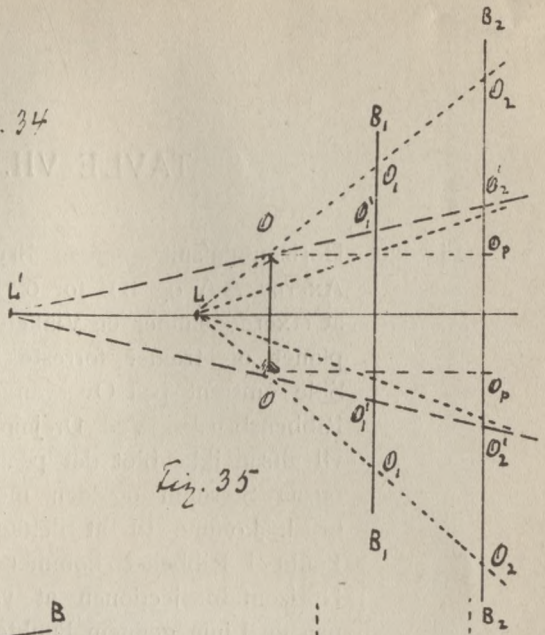


Fig. 35

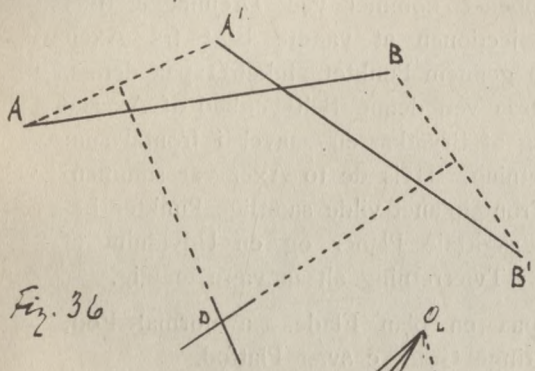


Fig. 36

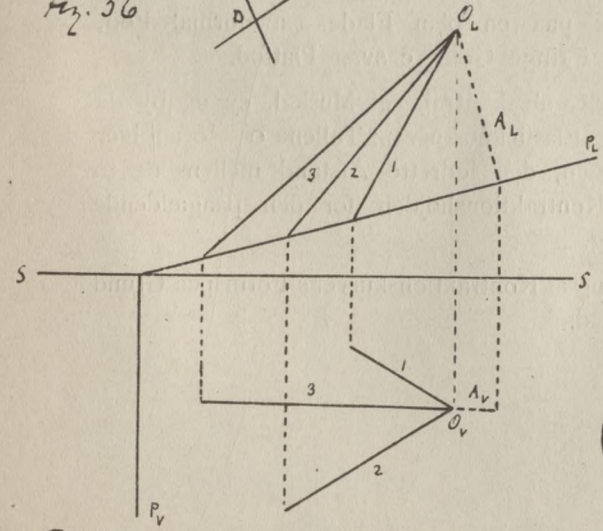


Fig. 37

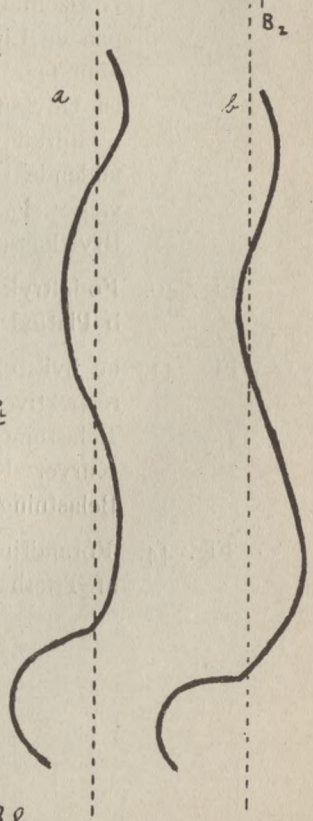


Fig. 38

TAVLE VII.

Fig. 39. Horizontalafsnit gennem Brystkassen indeholdende Axerne A A og B B for 6' Ribbenspar. Man ser, at Axerne danner en Vinkel paa 45^0 med Sagittalplanet og træffer forreste Brystvæg paa modsat Side omtrent paa Overgangen mellem Ribben og Ribbensbrusk. Ved Drejning om en enkelt Axe vil altsaa ikke blot det paagældende Ribben, men ogsaa Sternum og den modsatte Sides Ribbensbrusk komme til at deltage i Bevægelsen. Et Punkt i Ribbenet kommer ved Drejningen til i Horizontalprojectionen at vandre bort fra Axen paa en Linie gennem Punktet vinkelret paa denne. Man faar altsaa ved denne Beliggenhed af Axerne en Udvidning af Brystkassen saavel i frontal som i sagittal Retning. Hvis de to Axer var sammenfaldende i Frontalplanet vilde samtlige Punkter bevæge sig i sagittale Planer og en Udvidning af Brystkassen i Tværretning altsaa være umulig.

Fig. 40. Fodaftryk paa en plan Flade. a normal Fod, b Platfod i ringe Grad, c svær Platfod.

Fig. 41. ac hvilende, ab kontraheret Muskel, cy og by de respektive Elasticitetskurver; Tallene 0—50 angiver Belastningen, den lodrette Afstand mellem de to Kurver Kontraktionshøjden for den paagældende Belastning.

Fig. 44. Forandring af Kontraktionskurvens Form paa Grund af Træthed.

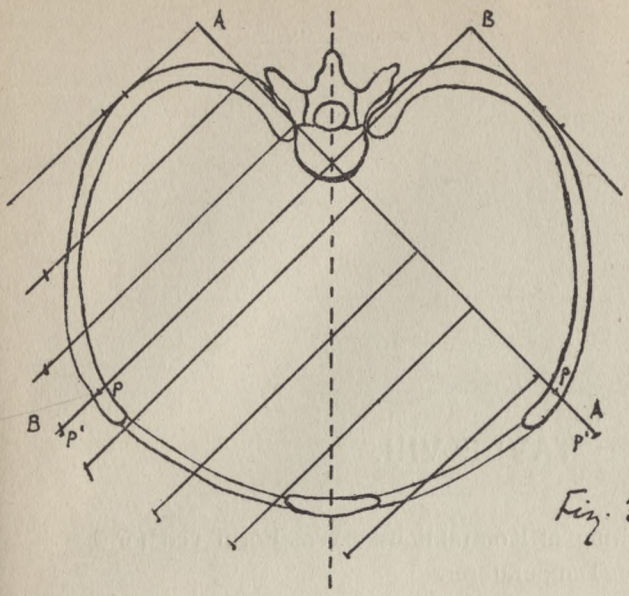


Fig. 39

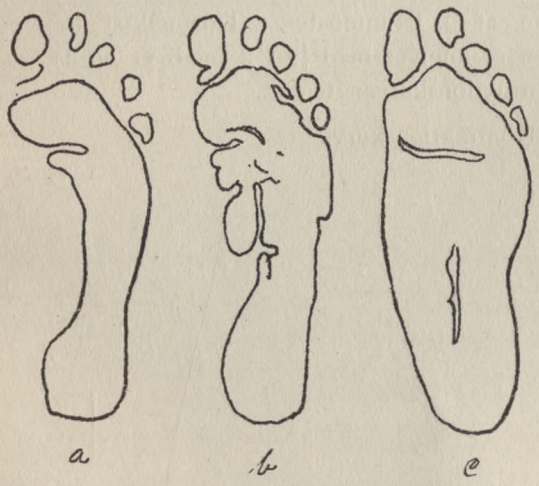


Fig. 40

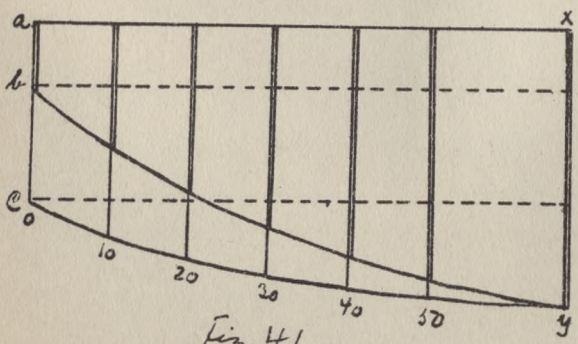


Fig. 41



Fig. 44

TAVLE VIII.

Fig. 43. Forandring af Kontraktionskurvens Form ved forskellige Temperaturer.

Fig. 45 A. Virkningen af 2 Irritamenter. Tidspunktet for Irritationen er angivet med |; i a og b er ogsaa Enkeltkontraktionskurven tegnet.

Fig. 45 B. Tetanisk Kontraktionskurve.

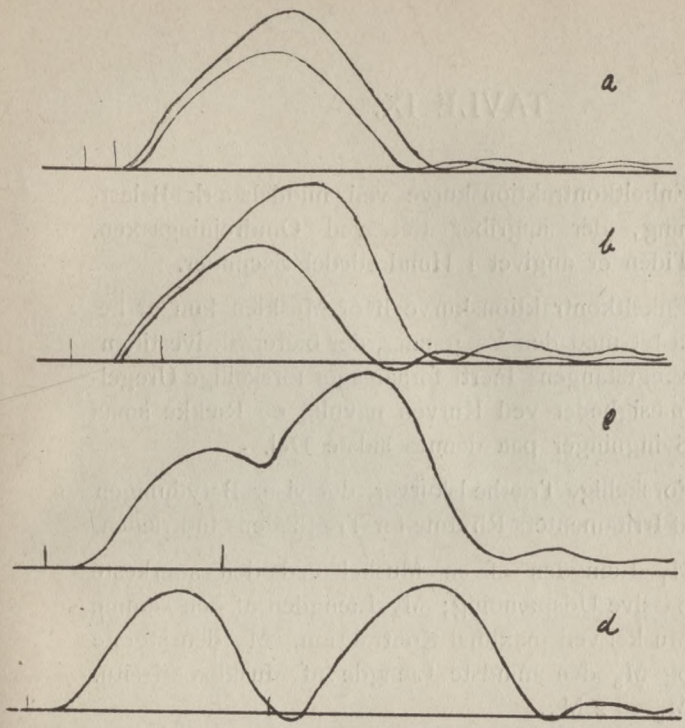


Fig. 45 A

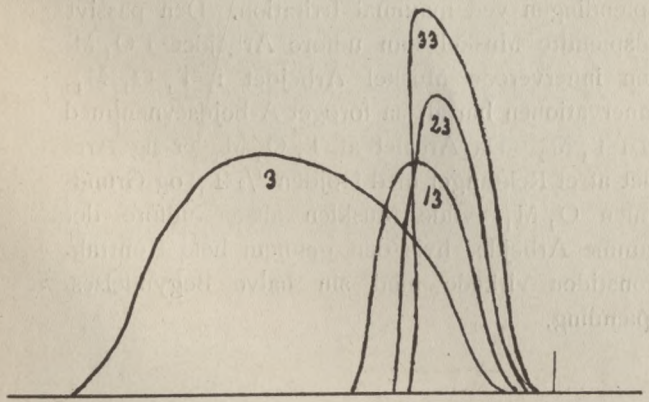


Fig. 43

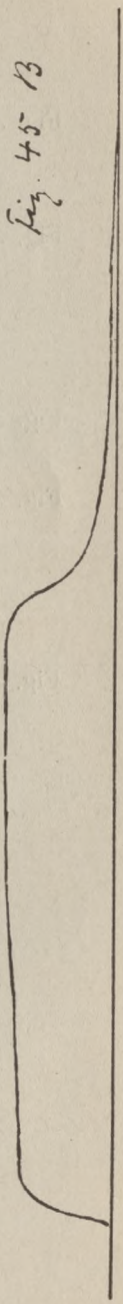


Fig. 45 B

TAVLE IX.

Fig. 42 a. Enkeltkontraktionskurve ved middelstærk Belastning, der angriber tæt ved Omdrejningsaxen. Tiden er angivet i Hundrededel Secunder.

Fig. 42 b. Enkeltkontraktionskurve hvor Musklen kun er belastet med den Vægtstang, der bærer Skrivestiften. Vægtstangens Inerti foraarsager forskellige Uregelmæsigheder ved Kurven navnlig en Række smaa Svingninger paa dennes sidste Del.

Fig. 46. Forskellige Træthedskurver, der viser Betydningen af Irritamentets Rhytme for Træthedens Indtræden.

Fig. 47. M_1 Længden af en Muskel ved den stærkeste passive Udspænding; M_4 Længden af den samme Muskel ved maximal Kontraktion. M_2 den største og M_3 den mindste Længde af Musklen in situ. $M_2 = 2\,M_3$.

Fig. 48. Arbejdsdiagram. OO_1 Musklens Længde, OM dens Hvilelængde i ikke innerveret Tilstand, OM_1 Hvilelængden ved maximal Irritation. O_1T Spændingen ved passiv Udspænding fra M til O_1, O_1T_1 Spændingen ved maximal Irritation. Den passivt udspændte Muskel kan udføre Arbejdet TO_1M, den innerverede Muskel Arbejdet i $T_1O_1M_1$. Innervationen har altsaa forøget Arbejdsevnen med MTT_1M_1. Da Arealet af $T_1O_1M_1$ er lig Arealet af et Rektangel med Højden $^1/_2\,T_1$ og Grundlinien O_1M_1, vilde Musklen altsaa udføre det samme Arbejde, hvis den gennem hele Kontraktionstiden virkede med sin halve Begyndelsesspænding.

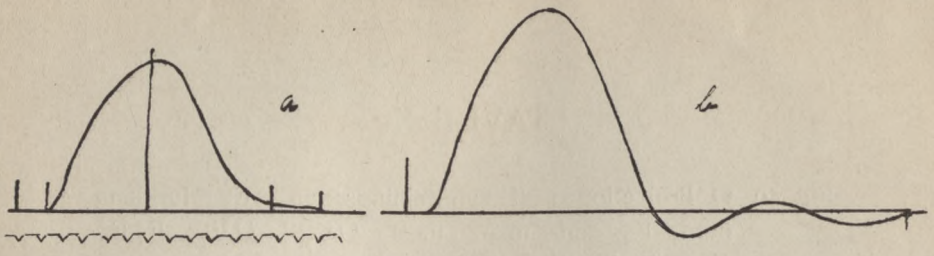


Fig. 42

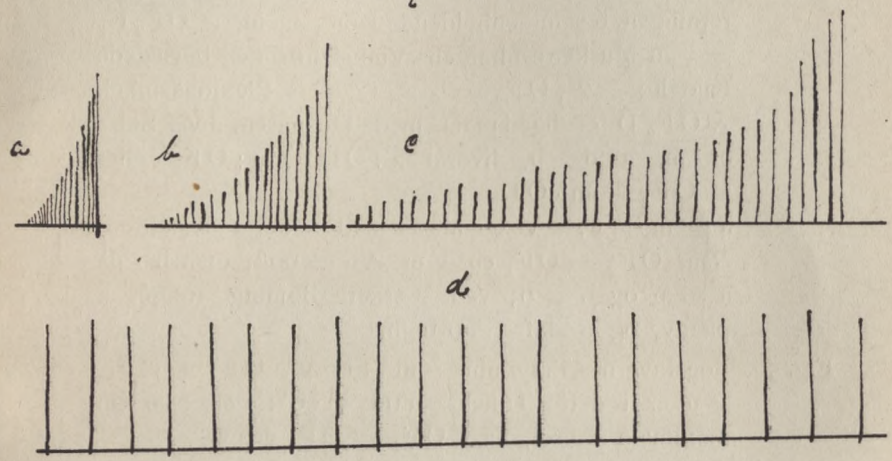


Fig. 46

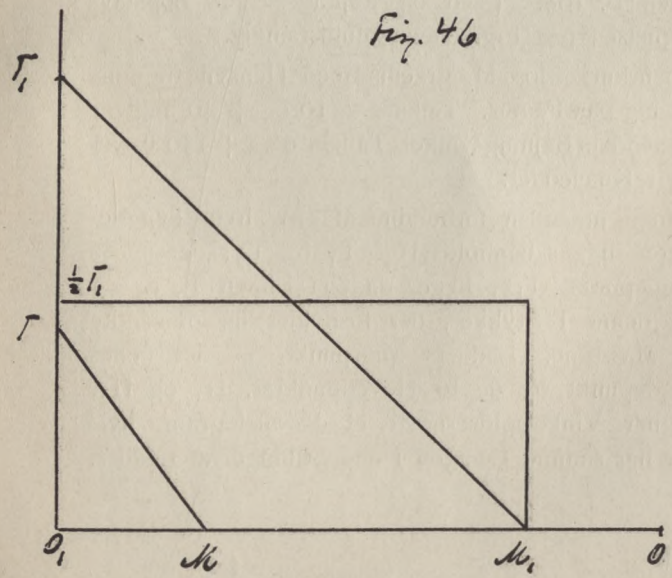


Fig. 48

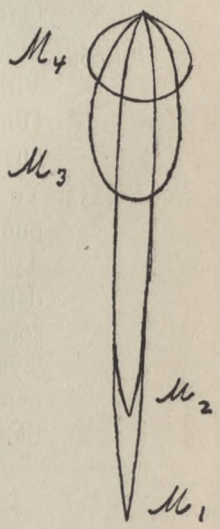


Fig. 47

TAVLE X.

Fig. 49. O Projectionen af Omdrejningsaxen. F_1 Musklens øvre, F_2 dens nedre Fæste $OF_1 > OF_2$; F_1F_2 Musklens Trækretning, OD dennes Afstand fra Axen. m Muskelresultanten, a dens Komponent i Bevægelsesretningen, b sammenholdende Komponent. $\angle OF_2F_1 = \angle u$ Muskelresultantens Vinkel med den bevægede Knogle; $\angle F_1OF_2 = \angle v$ Leddets Flexionsvinkel. $\triangle OF_2D$ er ligedannet med Trekanten, hvis Sider er m, a og b, hvoraf $a : OD = m : OF_2$ eller $a \cdot OF_2 = m \cdot OD$.
$a = m \sin u$; a voxer altsaa med $\angle u$ i 1' Kvadrant. Naar $OF_2 = OF_1 \cos v$ er $\angle u = 90^0$; man har da $a = m$ og $b = 0$; ved stærkere Bøjning aftager a paany, og b skifter Fortegn.

Fig. 50. Bogstavernes Betydning som i Fig. 49. $OF_1 < OF_2$. $\angle u$ er i dette Tilfælde altid $< 90^0$; den naar sin maximale Værdi, naar $OF_1 = OF_2 \cos v$.

Fig. 51. Armmodel til Bestemmelse af Drejningsmomenter. Se Texten S. 168. (Ved en Fejltagelse er Bogstavbetegnelsen paa Fig. blevet ufuldstændig.)

Fig. 52. Momentkurve for M. gracilis med Hensyn til dens Virkning paa Femur. Tallene $\div 10 - + 40$ angiver Hofteleddets Bøjningsvinkel, Tallene $0 - + 150$ Flexionen i Knæleddet.

Fig. 53. To med hinanden forbundne Masser, hvis Tyngdepunkter ligger henholdsvis i T_1 og T_2; det fælles Tyngdepunkt, $T_{1\text{-}2}$, ligger da paa Linien T_1T_2 og deler denne i Stykker, der forholder sig omvendte som Masserne. Leddets Midtpunkt, L, det fælles Tyngdepunkt og de to Hovedpunkter, H_1 og H_2, betegner Vinkelspidserne i et Parallelogram, hvis Sider har samme Længde i alle Stillinger af Leddet.

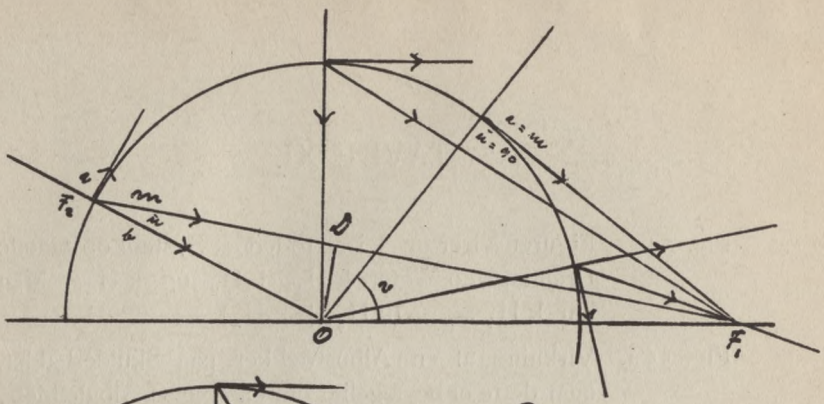


Fig. 49.

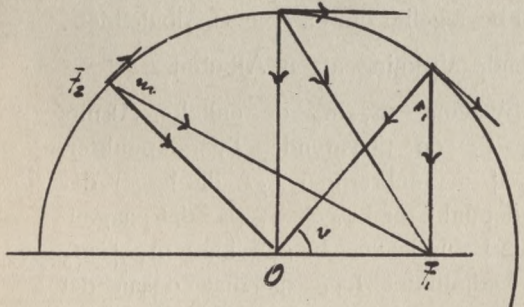


Fig. 50.

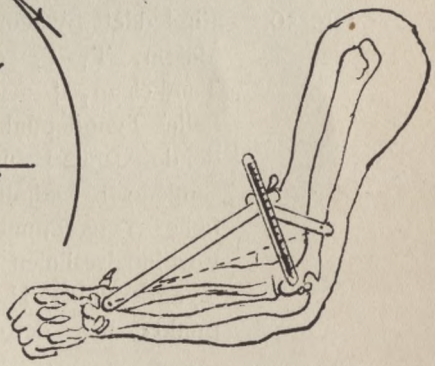


Fig. 51.

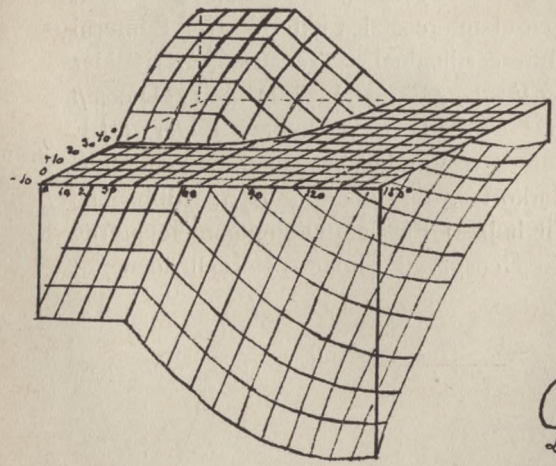


Fig. 52

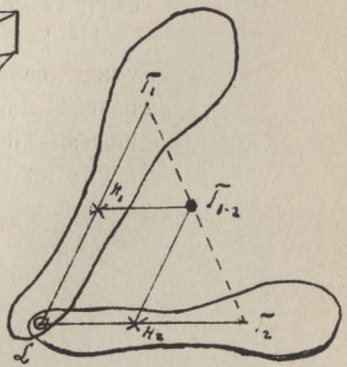


Fig. 53.

TAVLE XI.

Fig. 54. Figuren viser de 3 i et to-leddet System opstaaede Drejningsmomenter $k H_1$, $k H_2$ og $k H_3$. Man har $k H_1 = -(k H_2 + k H_3)$.

Fig. 55 a. Virkning af en Albustrækker paa Skulderleddet, naar dette er bevægeligt om en Axe ≠ Albuleddets.

Fig. 55 b. Den tilsvarende Virkning af en Albubøjer.

Fig. 56. Fireleddet System. m_1-m_5 de enkelte Afsnits Masser, T_1-T_5 de tilsvarende Tyngdepunkter. Tænkes $m_1 + m_2$ anbragte i $L_{2\cdot3}$, da ligger det fælles Tyngdepunkt for $L_{2\cdot3}$ og T_3 paa det paagældende Afsnits Længdeaxe. Er endvidere $m_4 + m_5$ samlede i Ledpunktet $L_{3\cdot4}$, da maa ogsaa det fælles Tyngdepunkt for dette og $T_{1\cdot2\,3}$ ligge paa Forbindelseslinien mellem de to Ledpunkter; dette Tyngdepunkt, H, er hele Systemets »Hovedpunkt«, naar dette er reduceret til Afsnittet m_3.

Fig. 57. Skema, der viser Intercostalmusklernes Virkning. H Hvirvelsøjle, B Brystben, Co Ribben, Ca Brusk, E Retningen af Intercostales externi, I af I. interni og Ic af Intercartilaginei. Trekanten, hvis Sider er H, D og E, giver $E^2 = H^2 + D^2 - 2\,H\,D\cos\beta = H^2 + D^2 + 2\,H\,D\cos\alpha$, hvoraf følger, at E voxer, naar $\angle\,\alpha$ formindskes, eller omvendt, at, naar E forkortes, da voxer $\angle\,\alpha$ ɔ: Ribbenene hæves. Til højre i Fig. ses Drejningsmomenterne for Ic med Hensyn til Chondro-sternalleddene.

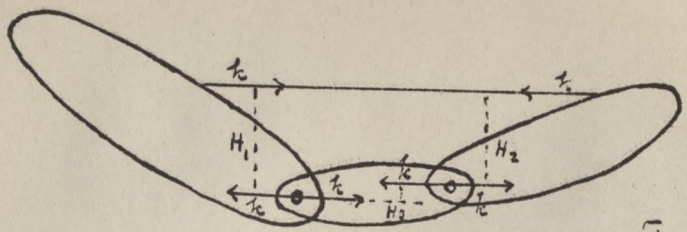


Fig. 54



Fig. 55 a

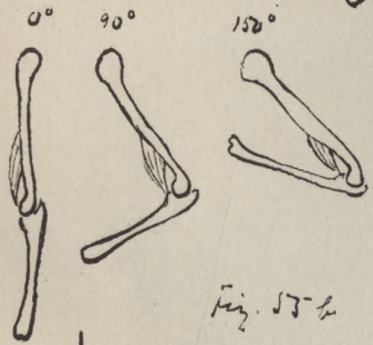


Fig. 55 b

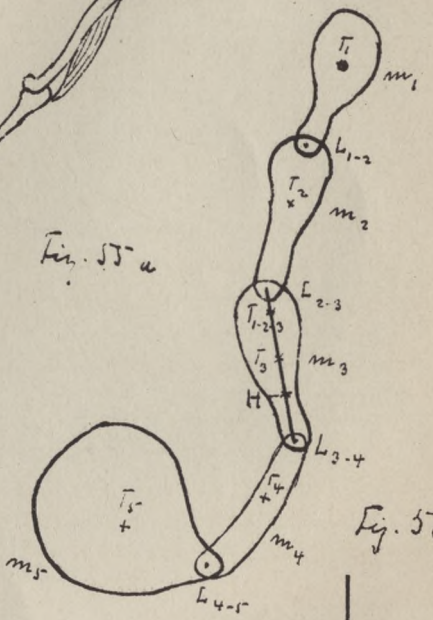


Fig. 56

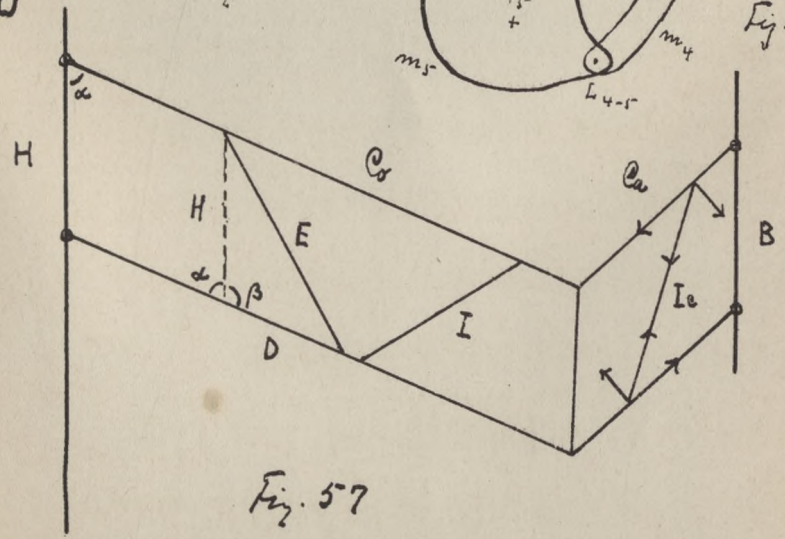


Fig. 57

AKADEMIA WYCHOWANIA FIZYCZNEGO · KRAKÓW · BIBLIOTEKA GŁÓWNA
5438

J. LINDHARD

Den almindelige Gymnastikteori.
I—III

(I. Udsolgt, ny Udgave under Forberedelse.)

Den specielle Gymnastikteori.
Anden omarbejdede Udgave.

Kr. 7,50.

— *CARL LARSENS BOGHANDEL* —

Biblioteka Gł. AWF w Krakowie
1800068572