

OORSPRONKELIJKE BIJDRAGEN

ANALYSE DER KAAKBEWEGINGEN (I)

HISTORISCH OVERZICHT

DOOR A. A. D. DERKSEN

De bewegingen van de onderkaak hebben reeds vele jaren de geesten van talloze onderzoekers bezig gehouden. In de aanvang waren het vooral de anatomen Ferrein (1744) Monro (1750) Ribes (1803) en vele anderen, die zich voor dit onderwerp interesseerden. Nadat echter de Duitser Schrott in 1684 als eerste op de betekenis van een goede articulatie gewezen had en na hem Bonwill (1899) de belangstelling van de tandartsen voor het z.g. articulatie-probleem had opgewekt, begon ook in deze kringen het zoeken naar des Rätsels Lösung, waarvan Max Müller (1925) in zijn standaardwerk „Grundlagen und Aufbau des Artikulationsproblems” zegt:

Des Rätsels Lösung liegt uns fern
Wir raten's nicht, doch rieten's gern,
Und seh'n uns stets verwundert an
Weil's jeder möcht und keiner kann.

Afgezien van het feit of raden de juiste weg is om des Rätsels Lösung te vinden, kunnen deze regels de huidige stand van ons weten nog goed karakteriseren. Immers ondanks uiterst fijne onderzoekingsmethoden, als de röntgen-kymografische van Hildebrand (1931), de stroboscopische van Kirth (1942), de photo-kymografische, de oscillografisch-kymografische methode van Strack (1949) en andere wijzen van onderzoek, als de kinematische onderzoekingen van Bakker (1923), Bergström (1950) e.a., is het vraagstuk van de beweging van de onderkaak nog steeds niet volledig opgelost.

Bij wijze van inleiding moge hier worden gerecapituleerd dat in principe twee bewegingstypen van de onderkaak kunnen worden onderscheiden, nl. een rotatie van het kopje, die plaats vindt in het onderste deel van het kaakgewricht en een translatie of verschuiving van kopje en discus langs het os temporale, plaats vindend in het bovenste deel (Fig. 1). Deze laatste beweging is of symmetrisch of asymmetrisch. Algemeen wordt de insertie van een deel van de mus. pterygoideus lat. aan de discus in hoofdzaak verantwoordelijk gesteld voor de gecombineerde verschuiving van condylus en discus.

Volgens Slicher (1949) heeft deze aanhechting echter een afwijkende en belangrijker functie daar, 1e de discus wel een protractor maar geen retractor bezit en 2e de functie van de buitenste vleugelspier veel-er gezien moet worden als fixatie-element voor behoud van evenwicht.

Wanneer immers de mond krachtig wordt gesloten terwijl een spijsbrok zich tussen de elementen bevindt, dan zullen condylus en discus zich op de achterste glooiing van het tuberculum art., d.w.z. op een hellend vlak bevinden. De actieve contractie van de mus. pterygoideus lat. voorkomt nu het naar achteren glijden van discus en condylus.

De normale openings-beweging (orthale beweging) van de onderkaak is een combinatie van de bovengenoemde bewegingen, waarbij in de aanvang de rotatie overheerst.

Over een verticale symphysis-baan van enkele millimeters, dus van centrale occlusie tot, of even voorbij de rustpositie, kan waarschijnlijk

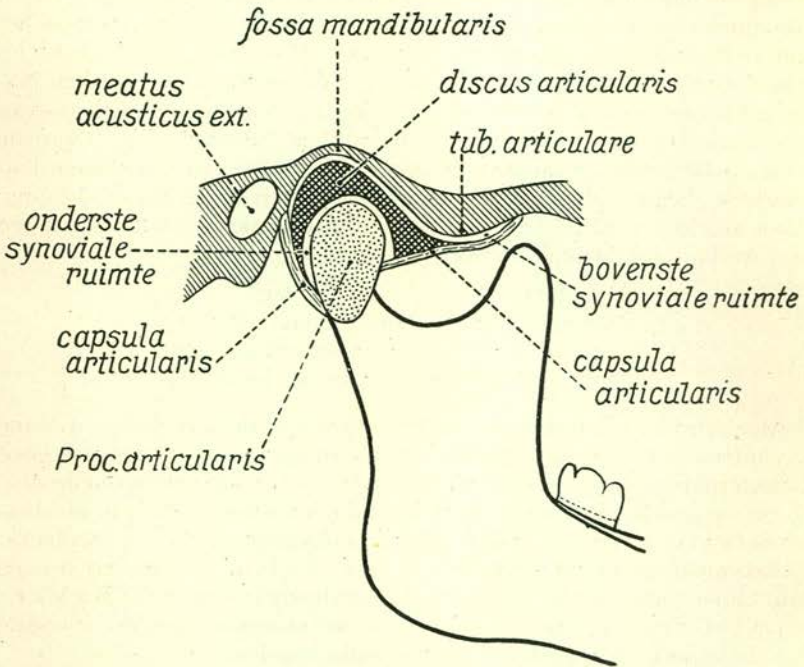


Fig. 1. Schema van het kaakgewricht. (volgens Schlosser 1948)

alleen van een rotatie worden gesproken, daarna wordt bij verdere opening een gecompliceerde beweging in het sagittale vlak uitgevoerd, die zowel in horizontale als in verticale zin bepaald wordt door de welving van de gewrichtskom in de richting van het tuberculum articulare.

De voorwaartse (propaline) beweging vanuit de rustpositie, waarbij dus geen contact tussen de elementen optreedt, kan weer als een verschuiving gezien worden als boven aangeduid.

Wanneer deze beweging echter van de centrale occlusie uit geschiedt, met behoud van knobbelcontact, treedt in combinatie met deze translatie meestal een rotatie op om de verticale overbeet te overwinnen. Verder zijn de meeste mensen in staat vanuit de centrale occlusie de onder-

kaak onder aanzienlijke spierkracht iets naar achteren te brengen (de retropulsieve beweging), alhoewel K ö h l e r (1950) van mening is dat in deze gevallen centrale occlusie en centrische relatie niet identiek zijn.

De maalbeweging, in wezen dus de zijwaartse verplaatsing van de onderkaak, staat eveneens onder invloed van de anatomische vorm van gewrichtskom en gewrichtskopje. De aan de laterale beweging inhaerente draaiing gaat gepaard met een overeenkomstige voorwaarts-verplaatsing van het capitulum aan de ene zijde langs de onderkant van de gewrichtskom in de richting van het tuberculum articulare.

Genoemde rotatie is overigens geen zuivere draaiing om een verticale as daar zij gepaard gaat met een geringe buitenwaartse verschuiving van het capitulum aan de andere zijde. Deze is geen zuiver horizontale maar wordt bepaald door de ook in transversale richting gewelfde gewrichtskom en is dus doorgaans naar boven gericht. Deze beweging staat bekend als die van B e n n e t t. Zij kan bijzonder goed worden waargenomen bij de herkauwers.

Bij dit alles moet rekening worden gehouden zowel met de kraakbeenbekleding van de gewrichtsvlakken als met vorm en afmeting van het gewrichtsschijfje, hetwelk o.m. dienst doet om de tijdens de kaakbewegingen steeds veranderende discongruentie tussen de aanrakingsvlakken van capitulum en cavitas glenoidalis te vereffenen. Hierbij verandert ook de meniscus zelve van plaats en vorm.

Wanneer in deze verhandeling een poging wordt ondernomen om een overzicht te geven van de stand van de huidige kennis op dit gebied van de bewegingen van de onderkaak, moet allereerst gesteld worden, dat het onderwerp te dezer plaatse alleen van theoretische zijde zal worden behandeld, m.a.w. dat de praktische toepassingen, dus de mogelijkheid tot het in praktijk brengen van de verschillende theorieën onbesproken blijven, eveneens het vraagstuk van de articulator.

Vervolgens moet uit de omvangrijke hoeveelheid publicaties, waarover H i l d e b r a n d (1931) in zijn „Studies in the masticatory movement of the human lower jaw” opmerkt, dat M ü l l e r in zijn boek van 1925 al zeshonderd bijdragen van meer dan driehonderd auteurs vermeldde, een greep gedaan worden, die uiteraard subjectief is, d.w.z. door persoonlijke waardebeoordeling wordt beheerst, terwijl schrijver dezes gaarne vooropstelt, dat zijn literatuur-kennis geenszins op volledigheid aanspraak kan maken.

Alhoewel, zoals B a k k e r heeft aangetoond, het onmogelijk is om uitsluitend aan de hand van de ontleedkundige gegevens, t.w. het kaakgewricht, de tandstand en het onderling verband tussen beide, de bewegingen van de onderkaak te doorgronden, komt speciaal de anatomen de eer toe althans in den beginne de overige onderzoekers ver vooruit te zijn geweest.

Zo vond F e r r e i n in 1744, dat bij zijwaartse beweging de ene condylus naar voren ging en daalde, terwijl de andere condylus ongeveer op zijn plaats bleef. Deze laatste vormde n.l. het centrum waarom alle punten van de onderkaak gedurende de beweging cirkelvormige

banen beschrijven. Wanneer nu de zijwaartse beweging van rechts overgaat in die naar links, zal de denkbeeldige verticale as, waarom de beweging tot stand komt, zich verplaatsen en dus tijdelijk tussen de gewrichtskopjes komen te liggen. Deze as, waarover Ferrein verder geen mededelingen deed werd later door Humphry (1858) nader gedefinieerd, als gaande door het buitenste deel van de „stilstaande” condylus, terwijl het mediane deel gedurende de zijwaartse beweging wat omhoog zou gaan. Volgens Max Müller was het Meyer (1865), die deze verticale as beschreef als „loodrecht” staand, maar doorlopend van plaats veranderend.

Wat de openingsbeweging betreft, wees Ferrein erop dat hij aan de hand van zijn onderzoekingen aan cadavers, met intact kaakgewricht, tot de overtuiging was gekomen, dat beide condyli gedurende deze beweging daalden, waarbij de denkbeeldige as van plaats veranderde („les poles de cet axe s’approchent des condyles et montent sensible.”) Volgens Ferrein was van een scharniergewricht dus geen sprake.

Meyer beschreef de openingsbeweging als een draaiing van de gewrichtskopjes op de meniscus, met een gelijktijdige verschuiving van deze laatste langs het tuberculum articulare.

Het was Bonwill, de man, die nog steeds een belangrijke plaats in de prothetische literatuur wordt toegekend en van wiens persoonlijkheid werd gezegd, dat hij beweeglijk, agressief, onbegrijpelijk, ijdel, verwaand, excentriek, vriendelijk, onverzoenlijk en impulsief zou zijn geweest, die in 1890 voor het eerst een articulator introduceerde, welke laterale bewegingen toestond en waarbij de „bewegende” condylus horizontaal naar voren ging. Dit laatste niettegenstaande het feit, dat hij in de betreffende publicatie schreef, dat „the right (dit is de heen en weer gaande of „schwingende”) condyle moves forward and downward”, gedurende de zijwaartse beweging.

Men had tot die tijd in tandheelkundige kringen aangenomen, dat het kaakgewricht een zuiver scharniergewricht was, althans men had hiernaar gehandeld.

Het is gewenst op deze plaats langer bij het werk van William Gibson Arlington Bonwill te blijven stilstaan, daar er in de loop van dit overzicht herhaaldelijk naar zal worden verwezen. Zo stelde Bonwill de begrippen articulatie en occlusie tegenover elkaar, „one is active the other passive”. Hierbij vond hij gelegenheid, de z.g. „balanced occlusion” nader te omschrijven en zijn inzichten omtrent de kauwbeweging uiteen te zetten en wel in het bijzonder die phase ervan, waarbij contact tussen onder- en bovinelementen plaats vindt. Merkwaardigerwijze stemmen zijn denkbeelden voor een zeer groot deel overeen met die van Gysi, hoewel deze de naam Bonwill in dit verband niet noemt.

Beiden zijn van mening, dat aan de kauwzijde de buccale knobbels van de onderelementen de buccale kroonheuvels van de bovinelementen het eerst raken, waarna de eerste, onder werking van de kauwspieren, langs de palatinale helling van de laatsten in centrale occlusie glijden.

Bonwill (Gysi e.a. eveneens) verlangt nu in deze „Höcker auf Höcker Stellung“ (Gysi), dat aan de balans-zijde de buccale kroonheuvels van de onderkiezen contact maken met de palatinale van de bovenelementen, althans bij de volledige prothese om kantelen van de prothese te voorkomen.

Hoewel Bonwill verklaarde dat „the inner cusps of the upper (teeth) should as a rule be longer or higher than the other,” hield hij toch in zijn diagrammen geen rekening met dit verschil in hoogte. (Niveaudifferentie (Müller)).

Het blijft dus een open vraag hoe hij met een articulator met horizontale condylusbaan dit contact aan de balanszijde bij de patiënt bewerkstelligde, temeer daar, zoals we gezien hebben, Bonwill erkende dat de heen en weer gaande condylus bij zijwaartse beweging o.m. daalde.

Vervolgens wees hij, wat de voorwaartse beweging betreft, op de relatie die zou bestaan tussen overbeet en knobbelhoogte.

Hij was de eerste die een driepunt contact bij de propaline beweging eiste, welke verkregen kan worden door de beide molaren boven iets om hun transversale as te draaien.

Door Bonwill werd de benaming „compensatiecurve” ingevoerd, voor de curve die door deze rotatie ontstaat en welke bij de eerste molaar kan beginnen, welks kromming afhankelijk van de overbeet zou zijn.

Voorts ontwierp hij een mathematische constructie waaraan volgens zijn betoog de onderkaak zou beantwoorden.

Na een beweerd onderzoek aan 4.000 schedels (!) en 6.000 levende individuen (!!!) kwam hij tot de conclusie, „voor welke hij zou willen sterven”, en die in het kort hierop neerkomt dat in de gemiddelde onderkaak een gelijkzijdige driehoek zou passen welks zijden „about” vier inch (10.16 cm) lang zijn en waarvan de hoekpunten gelegen zijn in de centra der beide condyli en in het contactpunt van de mediane onderincisivi.

De lengte der zijden varieert: „maar nooit meer dan een vierde inch.” De beide basisuiteinden van deze gelijkzijdige driehoek zijn de rotatiecentra waarom de laterale beweging beurteelings plaats vindt.

De verdere constructie van de tandboog en de plaats die elk element daarin toekomt doet in dit verband niet ter zake.

Terugkerend tot ons onderwerp, de beweging van de onderkaak, moet allereerst worden opgemerkt, dat de meeste onderzoekers zich, al dan niet bewust op het standpunt plaatsten, dat de eigenlijke kauwbeweging is samengesteld uit drie (grond) bewegingen n.l. de *orthale*- of openingsbeweging, die in het sagittale vlak geregistreerd kan worden; de *propaline*- of voorwaartse beweging, eveneens in dit vlak verlopend; en de *ectale*-, *entale*- of zijwaartse bewegingen, die in een horizontaal vlak plaats vinden. (Nomenclatuur ingevoerd door Bernhard Frank).

Hoewel deze zienswijze niet geheel juist is, zullen we haar om praktische redenen overnemen en nagaan op welke manier getracht is deze bewegingstypen te analyseren en tot welke conclusies de verschillende auteurs hierbij kwamen.

Alvorens in te gaan op de daarbij gevolgde methodiek, bij welke zoals *Balker* (1923) opmerkte, „de hulpmiddelen variëren van een stompe potlood met een stukje carton tot inductie- en kinoapparaat met fotografische plaat en film”, moge worden opgemerkt dat de bewegende onderkaak moet worden gezien als een in de ruimte bewegend lichaam.

Om de beweging van een dergelijk lichaam te leren kennen, is het noodzakelijk de veranderingen van stand van drie met dit lichaam vast verbonden punten te kennen. Het eenvoudigst kan dit geschieden door de opeenvolgende standen van deze punten op twee vlakken te projecteren.

Aanbeveling verdient het echter ook een derde vlak te gebruiken, daar hiermede een contrôle wordt verkregen op de projecties op de beide eerste vlakken. In het oog moet worden gehouden dat het projecteren van de drie punten op het zelfde tijdstip zal dienen te geschieden.

In hoeverre de talrijke onderzoekers met het bovenstaande *bekend waren*, althans rekening hebben gehouden, moge hieronder blijken. Opgemerkt zij dat deze methode van onderzoek al in 1891 door *Fischer* en *Braun* bij hun analyse van de bewegingen van het kniegewricht werd toegepast.

Tot de eersten die zich afvroegen welke baan de kauwvlakken van de onderkaak gedurende de laterale beweging beschrijven behoorden *Hesse* (1897) en *Warnekros* (1898).

Bij een aantal proefpersonen met een gemutileerd gebit bevestigde *Hesse* in de aanwezige diastemen verende grafietstiften, die dus de beweging tegen de bovenelementen konden registreren. Steeds bleek de volledige baan van de ondermolaar een stompe hoek te bevatten, welke naar het palatum was gekeerd. Het dorsaal gerichte been verliep transversaal, het andere meer sagittaal naar voren en naar binnen.

Hesse concludeerde hieruit, dat ieder been bij een *andere* phase van de kauwbeweging behoorde en wel met dien verstande, dat het sagittale been tot stand kwam bij de draaiing die om het er tegenoverliggende gewricht plaats vond. Ieder punt van de onderkaak heeft dus zijn rustpunt bij normaal gesloten tandenrij op het bovenkauwvlak. Beide kopjes liggen dan in hun gewrichtskom.

Het merkwaardige van dit onderzoek is dat *Hesse*, hoewel hem het werk van *Balkwill* (1866) onbekend was, ook de z.g. pijlpuntregistratie bleek te kennen. In tegenstelling tot wat *Gysi* naderhand zou doen, registreerde hij de z.g. „seagull”, (*Bergström* 1950) waarbij de schrijfstift aan de onderkaak bevestigd was, terwijl *Gysi* de stift aan de bovenkaak fixeerde en dus de Gothische boog verkreeg. Daarbij mag worden aangenomen dat hem reeds voor ogen stond dat wanneer de stift in het hoekpunt stond, de onderkaak zich in centrische relatie bevindt.

Tot 1896 stelde men zich in de tandheelkundige literatuur op het standpunt dat de condylus aan de kant waarnaar de zijwaartse beweging gericht was, op zijn plaats bleef, derhalve dat hij om zijn as draaide. Het was *Waker* die in dat jaar schreef: „This statement is not quite

exact, as this condyle moves, though very slightly, both upward and backward.”

Met behulp van een ingewikkeld metalen apparaat, de clinometer, dat enigszins doet denken aan een bouwsel uit een meccanodoos en dat om het hoofd van de proefpersoon werd geplaatst, bepaalde hij de bewegingen die de onderkaak uitvoerde. Wat de heen- en weergaande condylus betreft was *Walker* van oordeel, dat deze zich gedurende de zijwaartse beweging naar voren en beneden bewoog. Aan de hand van de gegevens, die het apparaat hem verschafte, construeerde de schrijver vervolgens het centrum waarom de laterale beweging plaats vond (fig. 2).

Bij het bestuderen van de openings-beweging vond hij een punt achter de opgaande tak van de onderkaak ongeveer vijftien mm onder de bovenrand van de condylus dat niet van plaats veranderde.

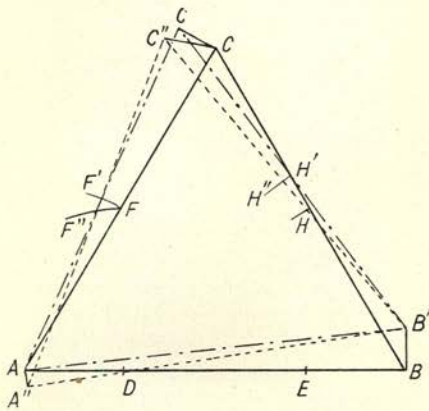


Fig. 2. Constructie van de as om welke de laterale beweging plaats vindt. (volgens *Walker* 1896)

Ieder hieronder gelegen punt van de mandibula bewoog naar beneden en naar voren, terwijl alle daarboven gelegen punten, dus ook de condylus, zich naar voren bewogen. Dit leidde hem tot de conclusie, dat de onderkaak gedurende de openingsbeweging om een denkbeeldige as draait die \pm vijftien mm onder de condylus moet worden gedacht.

Om een ogenblik bij deze openingsas te blijven: *Bonwill* was vóór de publicatie van *Walker* de mening toegedaan, dat deze as in het vlak van occlusie lag achter de laatste molaren.

Constant (\pm 1900) was van mening dat de as zich loodrecht onder het kaakgewricht bevindt: „at the junction of the middle and lower thirds of a line drawn vertically downwards from the glenoid cavity to meet a line drawn horizontally from the angle of the jaw.” *Kerr* (1901) en *Spencer* (1907) daarentegen zochten hem ter hoogte van het vlak van occlusie en *Breuer* (1910) bij de aanhechting van de lig. lateralia en de achterste kapselbanden.

Onwillekeurig rijst de vraag hoe het mogelijk is dat deze auteurs en de

vele niet genoemde, voor deze virtuele openingsas een andere plaats aanwezen en daarover onderling zo nu en dan in een heftig twist-geschrift geraakten.

Alvorens hierop een antwoord te geven is het gewenst enig inzicht te verwerven in de methodiek van enige onderzoekers uit deze periode.

Als voorbeeld kiezen we de publicatie van T o m e s en D o l a m o r e: „Some observations on the motions of the mandible,” (1900).

Na een eerste poging om deze bewegingen uit het anatomische pre-

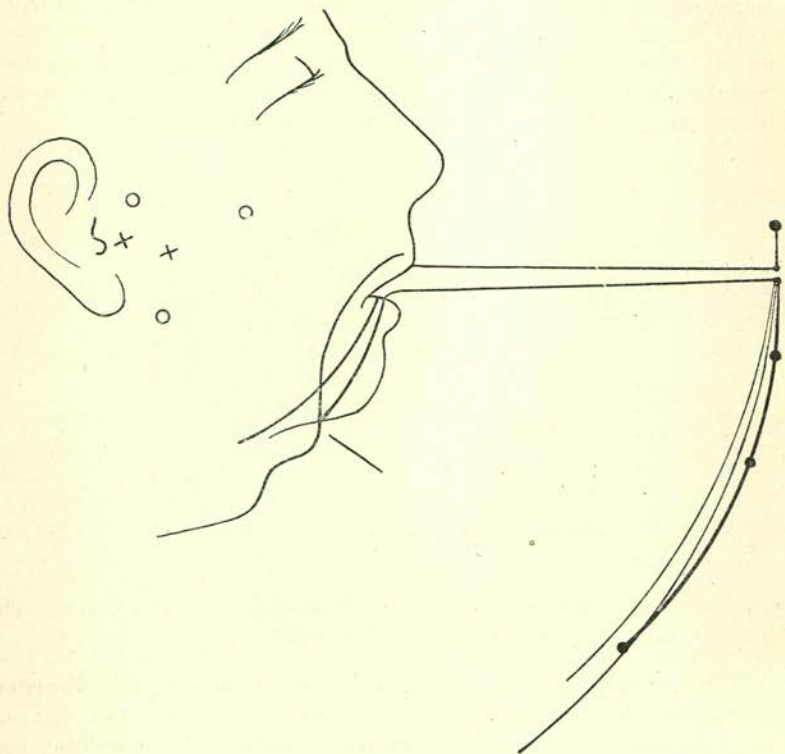


Fig. 3. Schema van het experiment volgens T o m e s en D o l a m o r e (1900)

paraat af te leiden, gingen de schrijvers tot andere methoden over n.l. de grafische en de fotografische.

De proefpersonen kregen aan de fronttanden van boven- en onderkaak een in het mediane vlak verlopende metaaldraad bevestigd, welke bij gesloten mond evenwijdig liepen. Op een der wangen werden drie punten aangetekend. (Fig. 3).

De patiënt werd nu gefotografeerd met zijn kaken in vier standen, n.l. in centrale oclusie en drie verschillende geopende posities. Door de vier verkregen foto's, aan de hand van de bovenste draad en het voorste merkteken op de wang met behulp van een projectielantaarn te oriën-

teren, vonden de auteurs vier punten die door een kromme werden verbonden.

Deze openingscurve zou dan tot stand komen, door de glij- en scharnierbeweging, die in het kaakgewricht plaats vindt. (Fig. 4).

De genummerde punten geven de opeenvolgende standen van de condylus weer gedurende de openingsbeweging. De dunne cirkelboog ter linkerzijde geeft de baan weer die beschreven zou worden wanneer de onderkaak om punt 1 een scharnierbeweging zou uitvoeren. De kleine bogen 2, 3, 4 en 5 zijn cirkelbogen om de punten 2, 3, 4 en 5. Al deze bogen snijden de openingscurve, waarmee volgens genoemde onderzoekers aangetoond zou zijn dat in het kaakgewricht geen zuivere rotatie

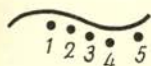


Fig. 4. Diagram van de openingsbeweging. (volgens Tomes en Dolamore 1900)

plaats vindt, maar dat deze voortdurend gecombineerd is met een glijdende beweging. Elk van de cirkelbogen snijdt de werkelijk doorlopen weg op één punt.

De op de hierboven aangegeven wijze verkregen openingskromme meenden zij te mogen opvatten als een deel van een cirkel welks middelpunt zij trachtten op te sporen. Dit punt nu moest de plaats aangeven van de denkbeeldige openingsas.

In de genoemde proef werd dus de plaats van een punt van de onderkaak, althans van een punt dat er vast mee verbonden was, (i.c. het uiteinde van de draad) in vier standen bepaald.

Anderen registreerden de banen van twee punten, sommigen van drie, o.a. L u c e, die overigens het eerst van de fotografie gebruik maakte (1889).

De vastgelegde standen varieerden van begin- tot eindstand eventueel met één of meer tussenstanden. In het algemeen werden — enigszins speculatief — de gevonden punten door een kromme verbonden

die als deel van een cirkel werd gedacht, waarvan het middelpunt cirkel werd bepaald.

De eerste die met deze methode van onderzoek brak was *Chissin*, (1906). Hij maakte gebruik van het voorste punt van de driehoek volgens *Bonwill*, (Fig. 5) en de protuberantia mentalis.

In vier standen werd de plaats van deze punten vastgelegd, waarna hij de rotatie-centra D_1 D_2 D_3 bepaalde waarom deze drie bewegingen hadden plaats gevonden. Deze punten bleken nu op een zekere afstand van elkaar te liggen.

Chissin was dus de eerste die aantoonde dat er geen vast rotatie-centrum voor de openingsbeweging bestaat, maar dat het steeds van

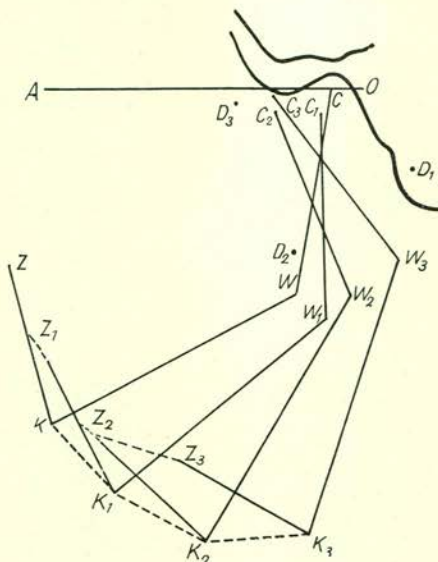


Fig. 5. Constructie van de rotatie-centra der openingsbeweging. (volgens *Chissin* 1906)

plaats verandert. Twee jaar later leverde *Norman G. Bennett*, (1908) samen met zijn broer, een mathematicus, langs wiskundige weg het bewijs, dat de openingsbeweging plaats vindt om een zich in de ruimte verplaatsende as.

Bennett vervaardigde met zichzelf als proefpersoon een metalen plaat op de onderkaak die met ankers aan de elementen gefixeerd kon worden, zonder de occlusie te storen. Aan weerszijden van deze plaat waren twee draden bevestigd, die in de mediaanlijn samen kwamen, waarbij de lipbewegingen ongestoord verlopen konden.

Vanuit het punt waar beide draden aan elkaar waren gesoldeerd liep een extra-orale metalen draad, die ter plaatse van de rechter condylus eindigde. Het geheel werd van twee kleine elektrische lampjes

voorzien, één ter hoogte van het centrum van de rechter condylus en de ander tegenover de sulcus onder de onderlip. Tot de uitrusting behoorde verder een stoel waartegen het hoofd gefixeerd kon worden zonder dat de bewegingen van de onderkaak werden belemmerd. Bij de analyse van de openingsbeweging werd de rechterkant van de stoel evenwijdig geplaatst aan een met wit papier bespannen muur, terwijl bij het onderzoek van de zijwaartse beweging de stoel naar de muur toe gekeerd werd. Tussen stoel en muur bevond zich een verplaatsbare biconvexe lens.

Werd de kamer verduisterd en werden de lampjes ingeschakeld dan verschenen — uiteraard omgekeerd — de beelden van de lampjes op het papier. Terwijl *Bennett* zijn mond opende en sloot, resp. zij-

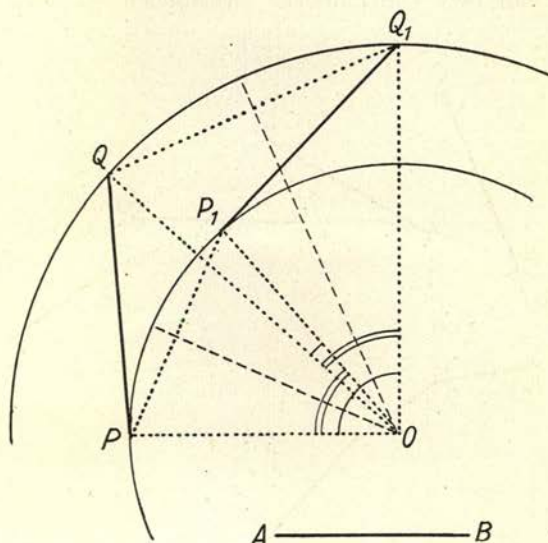


Fig. 6. Constructie van een rotatie-centrum. (volgens *Fick* 1911)

waartse bewegingen uitvoerde tekende zijn broer achtereenvolgens de aldus verkregen opeenvolgende standen op de muur aan.

Op deze wijze verkreeg hij een aantal diagrammen, die een tot nu toe ongekend inzicht betreffende de bewegingen van de onderkaak verschaften.

Alvorens deze diagrammen te kunnen bespreken is het noodzakelijk eerst de „geometrische en mechanische theorie van een rotatie-centrum” zoals *Bennett* het noemde, te behandelen. Dit zal hier geschieden aan de hand van *Rudolf Fick's* „Handbuch der Anatomie und Mechanik der Gelenke”, *Bakker's* publicaties op dit gebied en het „Leerboek der theoretische mechanica” van *Schuh*.

En nu wij eenmaal de kinematica hebben binnen gehaald, kan naderhand eventueel tevens met meer vrucht het werk van *Jeppener Haltenhoff*, *Bakker* en *Bergström* worden besproken.

Bovendien zal dan duidelijk worden waarom de onderzoekers, die trachtten aan de hand van ontleedkundige gegevens de bewegingen van de onderkaak te analyseren, nooit tot dit doel konden geraken.

Wanneer de rechte PQ ten opzichte van AB beweegt (Fig. 6) in het vlak van tekening, tot hij in de stand P_1Q_1 komt, dan kan men zich deze beweging denken als een draaiing van de rechte PQ om een as die loodrecht op het vlak van beweging staat. Deze as zal het vlak in het punt O snijden dat het rotatiecentrum van de beweging is. De plaats van O kan op de volgende wijze gevonden worden.

Verbindt men P met P_1 en Q met Q_1 dan zullen de middelloodlijnen van PP_1 en QQ_1 elkaar in O snijden. De rechten PP_1 en QQ_1 zijn nu de koorden van twee concentrische cirkelbogen op welke de punten

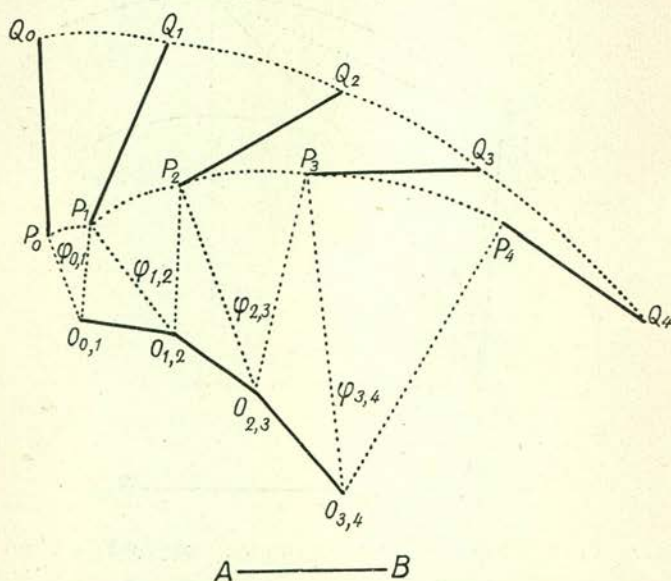


Fig. 7. Het ontstaan van de poolveelhoek. (volgens Fick 1911)

P en Q zich gedurende de draaiing hebben bewogen. O is dan het gezochte draaipunt, hetgeen ook met behulp van onderstaande redenering gemakkelijk valt in te zien.

$\triangle OPQ \cong \triangle OP_1Q_1$ (drie zijden gelijk) dus $\angle POQ = \angle P_1OQ_1$.

Hieruit volgt dat $\angle POP_1 = \angle QOQ_1$ is, daar $\angle POP_1 = \angle POQ + \angle QOP_1$ en $\angle QOQ_1 = \angle P_1OQ_1 + \angle QOP_1$ is. De punten P en Q hebben dus dezelfde draaiings-hoek doorlopen, of m.a.w. wanneer PQ om O over de hoek POP_1 draait, komt PQ in P_1Q_1 .

Als dus de lijn P_0Q_0 beweegt in het vlak van tekening en achtereenvolgens, gelijk in fig. 7, de standen P_1Q_1 , P_2Q_2 , P_3Q_3 , P_4Q_4 inneemt, dan kunnen op de hierboven aangegeven wijze de momentane rotatie centra („zeitweilige Drehpunkte”), of de polen, zoals Reulaux

ze noemde, voor de opeenvolgende overgangen van de ene in de andere stand, gevonden worden. In fig. 7 zijn $O_{0,1}$, $O_{1,2}$, $O_{2,3}$, $O_{3,4}$ de polen voor de achtereenvolgende draaiingen van P_0Q_0 naar P_1Q_1 , van P_1Q_1 naar P_2Q_2 , enz. terwijl de hoeken $P_0O_{0,1}P_1$, $P_1O_{1,2}P_2$ enz. de draaiingshoeken aangeven.

Verbindt men deze polen, $O_{0,1}$, $O_{1,2}$, $O_{2,3}$, $O_{3,4}$ met elkaar, dan krijgt men een gebroken lijn, die als een deel van een veelhoek beschouwd kan worden en die in de literatuur het „Drehpunkt Vieleck,” of de z.g. poolveelhoek genoemd wordt. Wanneer P_0Q_0 na verloop van een zeker aantal rotaties weer in zijn oorspronkelijke stand is teruggekeerd is de poolveelhoek dus gesloten.

In deze beschouwing denkt men zich twee verschillende standen

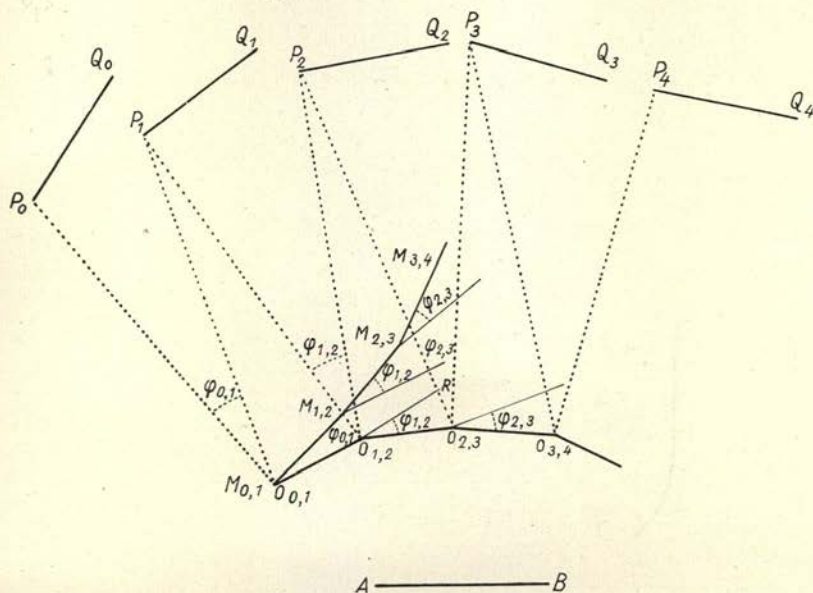


Fig. 8. Constructie van de poolveelhoek. (volgens Bakker 1923)

van een lijn ontstaan, door een eindige draaiing om een vast punt. Laat men de beide standen steeds dichter tot elkaar naderen, dan zal het betreffende „zeitweiliger Drehpunkt” in een „augenblicklichen Drehpunkt” overgaan.

We kunnen dan dus spreken van een momentane as. Deze redenering toegepast op het geval van fig. 7 doet de poolveelhoek overgaan in een kromme, de *poolbaan*. Deze poolbaan, is dus de kromme, langs welke de pool zich verplaatst, als de lijn P_0Q_0 door voortdurende kleine draaiingen in de standen P_1Q_1 , P_2Q_2 enz. overgaat.

Terugkerend tot de poolveelhoek brengen we in herinnering dat de middelpuntshoeken $P_0O_{0,1}P_1$, $P_1O_{1,2}P_2$ enz. de draaiingshoeken zijn waarover P_0Q_0 achtereenvolgens draait om in de standen P_1Q_1 , P_2Q_2 enz. te geraken. We kunnen, ons voorlopig tot de eerste rotatie beper-

kend, de draaiingshoek $\varphi_{0,1}$ (fig. 8) overbrengen zo, dat $O_{0,1} O_{1,2}$ een der benen wordt, terwijl het andere been $O_{0,1} M_{1,2}$ even lang als $O_{0,1} O_{1,2}$ gemaakt wordt. Dan zal — wanneer we ons $O_{0,1} M_{1,2}$ vast verbonden denken met $P_0 O_{0,1} - M_{1,2}$ samen vallen met $O_{1,2}$ wanneer $P_0 O_{0,1}$ de stand $P_1 O_{0,1}$ bereikt heeft.

Op analoge wijze kan nu met $O_{1,2}$ als hoekpunt de tweede draaiingshoek $\varphi_{1,2}$ overgebracht worden, waarbij het been $O_{1,2} R$ gelijk $O_{1,2} O_{2,3}$ wordt gemaakt. Zouden wij $P_1 Q_1$ door draaiing om $O_{1,2}$ in de stand $P_2 Q_2$ brengen, dan zou R samen vallen met $O_{2,3}$.

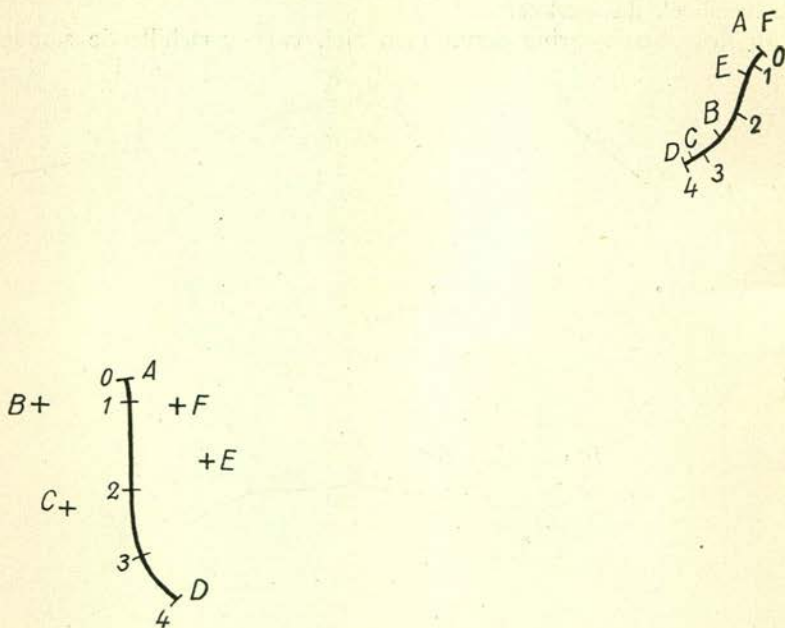


Fig. 9. Condylus- en symphysebaan tijdens de orthale beweging. (volgens Bennett 1908)

Wanneer $P_0 Q_0$ de stand $P_1 Q_1$ bereikt heeft valt $M_{0,1} M_{1,2}$ dus samen met $O_{0,1} O_{1,2}$. Denken we ons nu $M_{1,2} R$ ($O_{1,2} R$) vast verbonden met $M_{0,1} M_{1,2}$ en draaien we $P_1 Q_1$ om $O_{0,1}$ terug in stand $P_0 Q_0$ dan is het lijnstuk $M_{1,2} R$ in de stand $M_{1,2} M_{2,3}$ gekomen.

Op deze wijze ontstaat een tweede gebroken lijn die in fig. 8 weer-gegeven is in de beginstand.

Als op de gebroken lijn $O_{0,1} O_{1,2} O_{2,3} \dots$ de redenering wordt toegepast als gebezigd om de poolhoek in de poolkromme te doen overgaan, dan zal ook de gebroken lijn $M_{0,1} M_{1,2} M_{2,3} \dots$ in een kromme, de z.g. *poolkromme* veranderen.

Hiermede is de werkelijke beweging van $P_0 Q_0$ ten opzichte van AB bepaald. Immers wanneer de poolkromme zich op de poolbaan afrolt,

dan voltrekt zich de beweging geheel en is de willekeurige beweging tot een rolbeweging herleid.

In het algemeen kan samenvattend worden gesteld: Raakt de bewegende kromme a_1 aan de vaste kromme k en is op ieder tijdstip de snelheid van het raakpunt langs k dezelfde als langs a_1 , dan zegt men, dat a_1 over k rolt. Bij verplaatsing van een stand I naar een stand II heeft het raakpunt dan op het vaste vlak een boog van k doorlopen, die dezelfde lengte heeft als de door het raakpunt op het bewegende vlak doorlopen boog van a_1 .

In het beschouwde geval is k de meetkundige plaats der polen, zoals die zich aftekenen op het vaste vlak; deze wordt de *poolbaan* genoemd. Verder is a_1 de meetkundige plaats der polen, zoals die zich aftekenen op het bewegende vlak; deze heet de *poolkromme*.

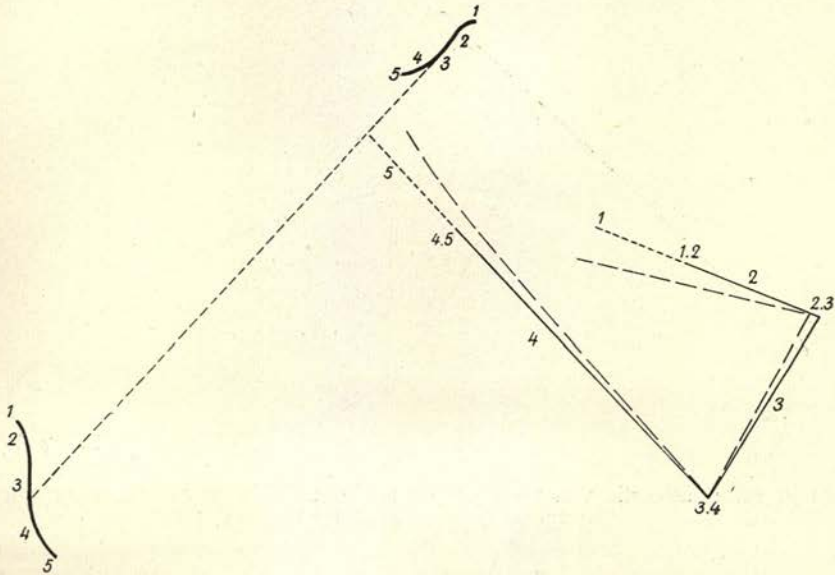


Fig. 10. Constructie van de „polygonen” behorend bij de orthale beweging. (volgens Bennett 1908)

We kunnen ons nu afvragen wat de betekenis van poolbaan en poolkromme is. B a k k e r beantwoordde deze vraag als volgt: dat wij in plaats van de anatomische gewrichtsvlakken, welker vorm moeilijk *nauwkeurig* bekend kan zijn en waaruit zelfs bij volkomen nauwkeurige bekendheid nooit de beweging is af te leiden, hebben gesteld twee mathematische vlakken, die op elkaar afrollen, aldus de gehele beweging bepalen en haar bovendien overzichtelijk en gemakkelijk reproduceerbaar maken. In plaats van het voor bewegingsstudie onbruikbare *anatomisch* stelden wij een uiterst bruikbaar *virtueel* gewricht.

Terugkomend op de diagrammen van B e n n e t t doen we het best enige van zijn figuren nader te bezien. Figuur 9 geeft de banen door

condylus en symphyse, afgelegd gedurende de openings- en sluitbeweging.

De letters en cijfers bij de condylus- en symphysebaan duiden de corresponderende standen van beide aan. De kruisjes geven de extreme bewegingen weer naar voren en achteren van de symphyse. B en F kunnen dus als de „vordere- und hintere Grenzlage” van L o o s (1946) beschouwd worden.

Opvallend is dat in het begin van de openingsbeweging de rotatie overheerst, zoals ook later o.a. door T h o m s o n, (1946), M c C o l l u m (\pm 1926) en anderen beschreven zou worden.

In fig. 10, die dezelfde openingsbanen als de vorige figuur weergeeft, zijn de polen getekend, en door een rotatie om deze kan dus de stand

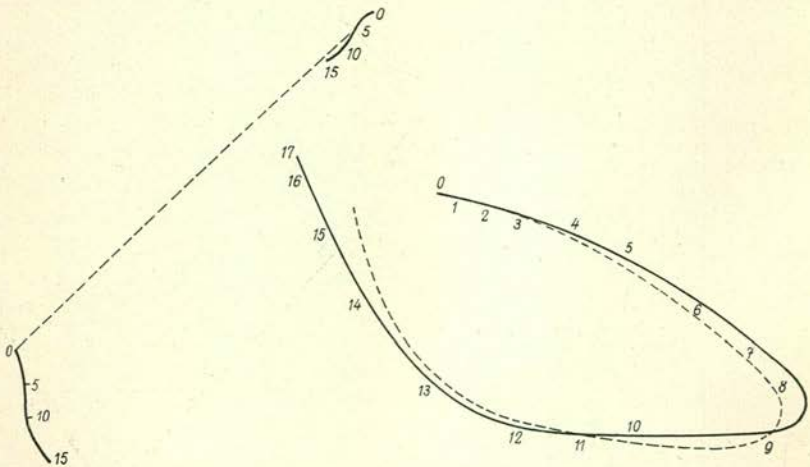


Fig. 11. Constructie van poolbaan en poolkromme behorend bij de orthale beweging. (volgens B e n n e t t 1908)

van de kaak van de ene in de volgende worden gebracht. De stippellijn, die van condylus- naar symphysebaan loopt, is de projectie van een zijde van de driehoek van B o n w i l l op het sagittale vlak.

De beide polygonen, zoals B e n n e t t ze noemde, tonen de vaste en beweglijke centrede op het moment dat de onderkaak van stand 3 naar stand 4 roteert.

De volgende figuur (11) geeft de poolbaan en poolkromme gelijk B e n n e t t ze publiceerde; beide polygonen zijn dus door een kromme vervangen.

Terloops zij hier opgemerkt dat „de heersende erfzondige begeerte naar continue krommen” zoals B a k k e r schreef, B e n n e t t parten heeft gespeeld; er ontstaat n.l. niet één maar er vormen zich drie poolbanen. Dit neemt echter niet weg dat B e n n e t t onloochenbaar aantoonde dat de openingsas zich voortdurend in de ruimte verplaatst en van een stilstaande as geen sprake is.

Maar zijn publicatie heeft nog in ander opzicht verhelderend gewerkt, zoals fig. 12 duidelijk laat zien. In deze figuur zijn de bewegingen van de rechter condylus gedurende de openings- en de ectale-entalebeweging, geprojecteerd op het transversale vlak, weergegeven.

A, toont de beweging bij maximaal openen zonder zijwaartse beweging. De condylus blijft dus blijkbaar niet in het sagittale vlak.

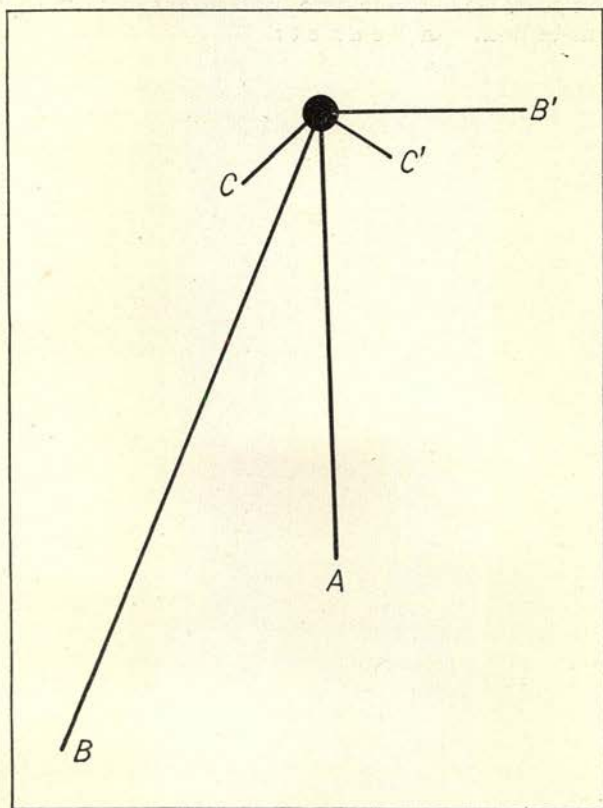


Fig. 12. De banen van de rechter condylus tijdens orthale- en lateralebewegingen geprojecteerd op het transversale vlak. (volgens Bennett 1908)

B, extreme opening, gecombineerd met extreme zijwaartse beweging naar links.

B₁, idem met verschuiving naar rechts.

C, extreme zijwaartse beweging naar links waarbij de onder- en boven-elementen contact behouden.

C₁, idem naar rechts.

Ten aanzien van de belangrijkste resultaten van Bennett's onderzoek kan samenvattend dus worden opgemerkt:

re, dat de openingsbeweging plaats vindt om een in de ruimte zich

verplaatsende as; hoogstens kan voor een zeer kleine beweging van een momentane as gesproken worden.

2e, dat de „stilstaande” condylus zich gedurende de zijwaartse beweging naar buiten en naar beneden beweegt, dit is de z.g. *laterale beweging* van B e n n e t t.

3e, dat de bewegende condylus gedurende de zijwaartse beweging naar binnen gaat. De hoek die deze baan maakt met het sagittale vlak noemt men de hoek van B e n n e t t.

Wordt vervolgd