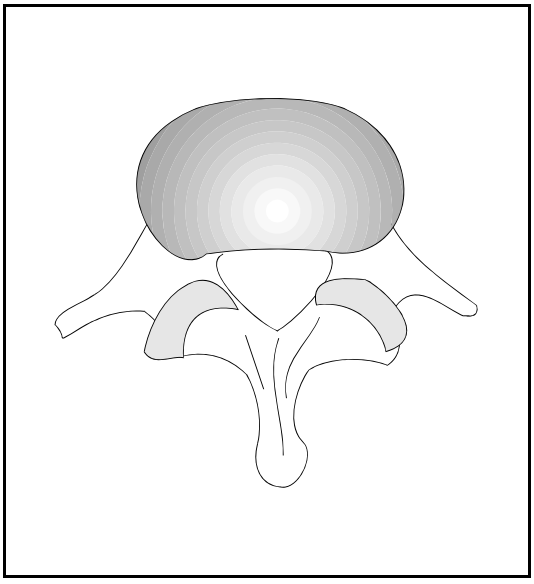
II. ARTHROKINEMATICA VAN DE WERVELKOLOM.

Inleiding.

Uit een osteokinematische beschrijving van een wervelbeweging is op te maken welke kantelingen van de gewrichtsvlakken optreden bij een bepaalde descriptief anatomische beweging. Hieruit is echter nog niet direct te herleiden op welke wijze het contactpunt in het gewricht verplaatst bij die kantelingen van de gewrichtsvlakken. Het traject dat het contactpunt in een gewricht aflegt tijdens een bepaalde beweging hangt af van de positie van de bewegingsassen (centrode) ten opzichte van de kromtemiddelpunten van het concave en convexe botstuk (evolute van convex en concaaf)[6]. Indien exact bekend zou zijn welke positie de centrode bezit ten opzichte van de beide evolutes, is alle informatie voorhanden om het arthrokinematische gedrag van het gewricht te beschrijven. De vragen die beantwoord moeten worden alvorens de arthrokinematica van de facetgewrichten kan worden beschreven zijn dus de volgende:

- hoe zijn de facetten in een sagittaal en transversaal aanzicht gekromd (concaaf of convex)?
- waar liggen de rotatiecentra van de wervelgewrichten?
- welke positie bezitten de rotatiecentra ten opzichte van de evolutes van concaaf en convex?

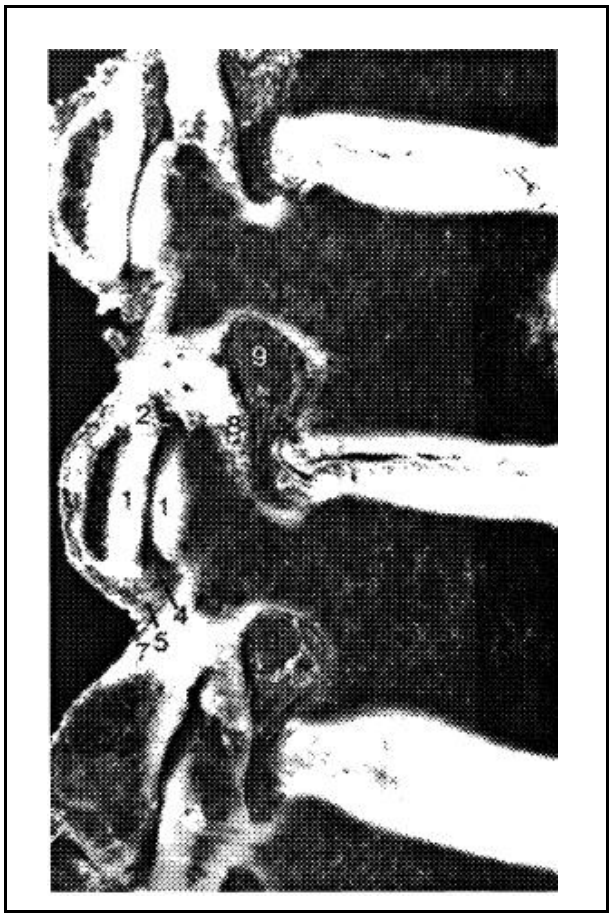
Zoals zal blijken uit onderstaande analyse is dat de noodzakelijke informatie niet op alle punten direct voorhanden is. Wel blijkt het mogelijk om langs afgeleide wegen de analyse te completeren. Op basis van deze analyse is het mogelijk om de kantelingen van de gewrichtsvlakken te vertalen naar trajecten van het contactpunt. Dergelijke informatie is onontbeerlijk voor de mobilisatietechnieken die in deze cursus worden gehanteerd.



Figuur 23.
Craniaal aanzicht op een lumbale wervel.

Kromming van de facetgewrichten.

In de literatuur bestaat weinig belangstelling voor de vormgeving van de gewrichtsvlakjes op de facetgewrichten. Meestal wordt er gesproken over vlakke gewrichten waar het gaat over de thoracale en cervicale facetten. Door Putz bijvoorbeeld wordt, in zijn boek *Funktionelle Anatomie der Wirbelgelenke*, vrijwel elk detail van de bouw van de wervels in kaart gebracht. Hij doet hier echter geen uitspraken over de kromming van de gewrichtsvlakken[9]. Ook bij ander anatomisch onderzoek van de wervelkolom ontbreken uitspraken over de vormgeving van



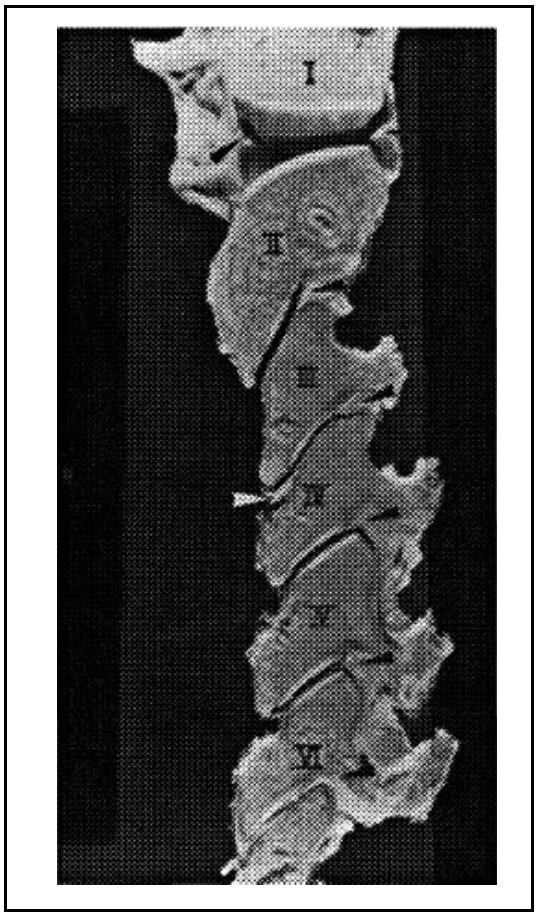
Figuur 24.
Sagittale snede door enkele lumbale facet-gewrichten (overgenomen uit Putz[9]).

de gewrichtsvlakken[7,8]. Het feit dat er zo weinig aandacht bij onderzoekers bestaat voor beschrijving van de vorm van de gewrichtsvlakken wordt waarschijnlijk veroorzaakt door onvoldoende kennis of interesse in de kinematica van de facetgewrichten. Een uitzondering in dit verband vormt de informatie over de kromming van de facetten in de lumbale wervelkolom[1,4,10,11,13.]. Dat het gewrichtsvlak op het processus articularis superior in dit aanzicht (craniaal) duidelijk concaaf is wordt in iedere bespreking wel genoemd (zie figuur 23). Op een sagittale doorsnede vertonen de gewrichtsvlakjes op de processus articularis superior daarentegen een convexe kromming (zie figuur 24). Dit laatste is weer veel minder algemeen bekend. De gewrichtsvlakken van de lumbale wervelkolom zijn dus *zadelvormig* gekromd. Daarnaast blijkt uit deze opname ook dat de lumbale wervelgewrichten frontaal georiënteerde delen op de gewrichtsvlakken bezitten. Later wordt nog ingegaan op de betekenis van dit frontaal gepositioneerde deel van de lumbale facetgewrichten.

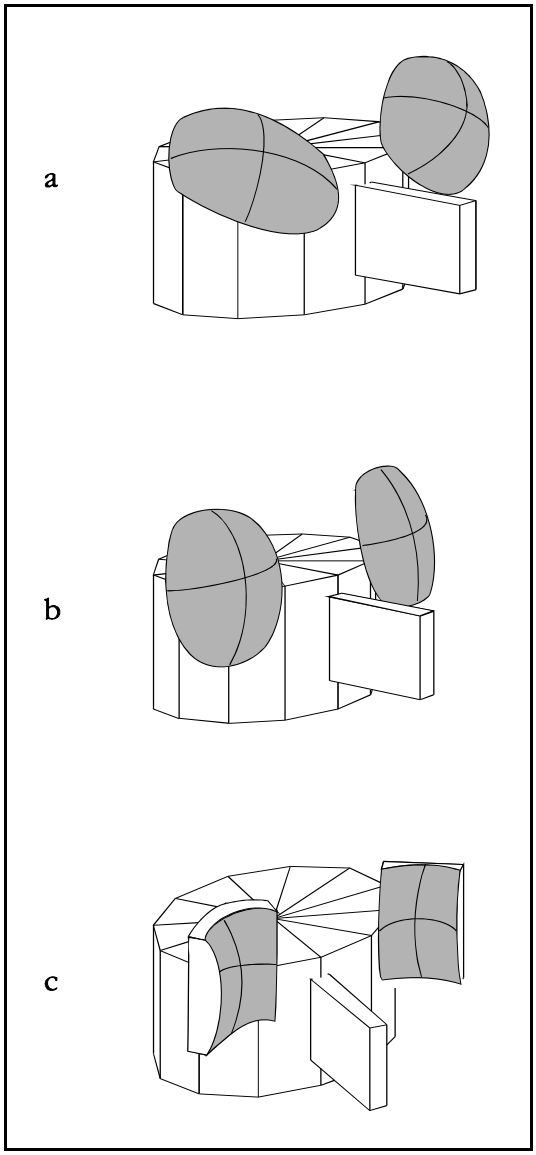
Figuur 25.
Sagittale snede door enkele thoracale facet-gewrichten (overgenomen uit Putz [9]).

Soortgelijke sagittale doorsneden door de cervicale en thoracale wervels (figuur 25 en 26) tonen duidelijk aan dat er in deze delen van de wervelkolom eveneens sprake is van convexe gewrichtsvlakken op de onderliggende wervel (processus articularis superior). Ook bij eigen onderzoek aan skeletpreparaten, voorzien van gewrichtskraakbeen, bleek dat in deze regio's de bovenliggende wervel, dus het achterliggende facet in beide hoofdrichtingen concaaf was. Zoals uit figuur 26 valt op te maken geldt dit laatste niet voor het niveau C1-C2. Op dit niveau is er sprake van bi-convexe profielen op de laterale gewrichtsvlakken. Met name het al dan niet aanwezig zijn van kraakbeen op de gewrichtsvlakken kan naar ons idee zeer verwarrend werken. Aan het subchondrale bot is de kromming veel minder duidelijk te herkennen. Binnen deze cursus gaan we uit van de volgende vormgeving: In de cervicale en thoracale wervelkolom is sprake van eivormige profielen waarbij de bovenliggende wervel ten opzichte van de onderliggende een kom vormt. Met andere woorden het gewrichtsvlak op de processus articularis inferior vormt de kom. Dit geldt zowel in het sagittale als het transversale vlak. In de

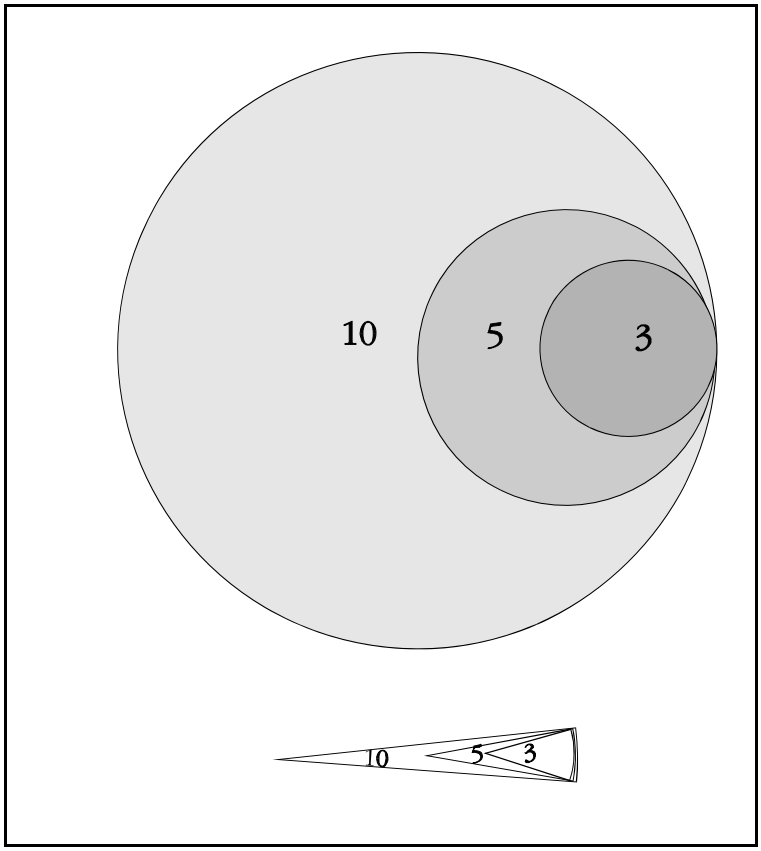
lumbale wervelkolom is er in het transversale vlak sprake van een kom op de onderliggende wervel (processus articularis superior). In het sagittale vlak is er sprake van een kromming welke tegengesteld is aan de kromming in het transversale vlak. De bovenliggende wervel is in dit aanzicht, net als cervicaal en thoracaal, concaaf gekromd. Een schematisch overzicht van deze vormgeving van de facetgewrichten wordt weergegeven in figuur 27.



Figuur 26.
Sagittale snede door de cervicale facetgewrichten (overgenomen uit Putz[9]).



Figuur 27.
Schematische weergave van de profielvormen op de proc. art. superior.
a. Cervicaal.
b. Thoracaal.
c. Lumbaal.

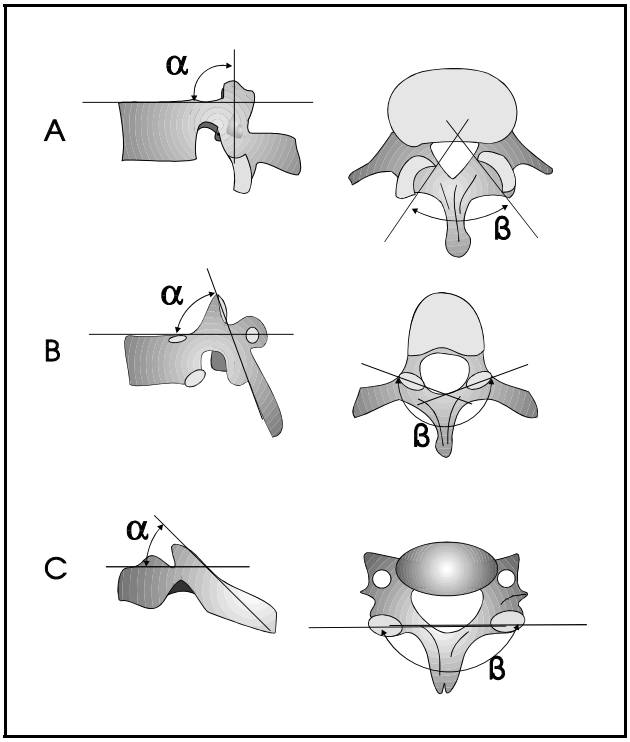


Figuur 28.
De verschillen in kromming tussen de drie getoonde cirkels worden minder duidelijk waarneembaar indien kleine segmenten uit de omtrek met elkaar worden vergeleken.

Uit de literatuur is ons geen informatie bekend over de *mate* van kromming van de gewrichtsvlakken (positie van de evolute ofwel de lengte van de kromtestralen). Meestal wordt gesproken van vrij vlakke gewrichtsvlakken. Uiteraard is op theoretische gronden te voorspellen dat de kromming van de kom minder uitgesproken zal moeten zijn dan die van de kop. Hooguit kan er in een van de beide eindstanden sprake zijn van een congruentie van kop en kom (close- packed position). Voor de positie van de evolutes betekent dit dat de evolute van concaaf verder van het gewrichtsvlak gelegen zal zijn dan die van convex. Het benaderen van de lengte van de kromtestralen wordt bemoeilijkt door het feit dat de facetgewrichten klein zijn. In figuur 28 wordt dit verduidelijkt. Bij de beschouwing van de daar getoonde hele cirkels is het niet moeilijk de verschillen in kromming te zien. Indien echter kleine booglengten van dergelijke cirkels over elkaar worden geprojecteerd zijn de verschillen in kromming op het oog zeer miniem. Dit maakt een grafische bepaling van de ligging van de evolutes zeer onbetrouwbaar.

Positie van de gewrichtsvlakken.

Diverse auteurs waaronder Putz en White & Panjabi[7,8,9,15] hebben bij grote aantallen preparaten de hoekstand bepaald van de facetten ten opzichte van het vlak door de bovenzijde van het corpus (hoek α in figuur 29). De hoek die de gewrichtsvlakken met elkaar maken in het transversale vlak wordt de openingshoek genoemd (hoek β in figuur 29). Een openingshoek β van 180° betekent dus een zuiver frontale stand van de facetten. Uit deze onderzoekingen blijkt dat er een aanzienlijke inter individuele spreiding bestaat voor wat betreft de hoekstand van de gewrichtsvlakken op hetzelfde wervelniveau.



Figuur 29.
Positie van de gewrichtsvlakken.
a.Lumbaal. b.Thoracaal. c.Cervicaal.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de gemiddelde positie van de gewrichtsvlakken zoals die in de literatuur vaak wordt gehanteerd. Om redenen die uiteengezet worden bij de bespreking van de rotaties in de wervelkolom wijken wij soms af van de hieronder genoemde gemiddelde waarden.

	CERVICAAL	THORACAAL	LUMBAAL
HOEK α	45°	70°	90°
HOEK β	180°	220°	90°

Positie van de rotatieassen

Onderzoek van Gertzbein en Seligman [2,14] naar de positie van de momentane rotatiecentra bij sagittale bewegingen van de lumbale wervelkolom (flexie en extensie) heeft aangetoond dat de rotatiecentra zich bevinden voor het wervelkanaal. Het gebied waar de rotatiecentra te vinden zijn ligt dorsaal in de discus komt overeen met de lokalisatie van de nucleus pulposus van de discus. Het feit dat de rotatieassen van de wervelkolom ventraal van het wervelkanaal moeten liggen blijkt niet alleen uit dit onderzoek

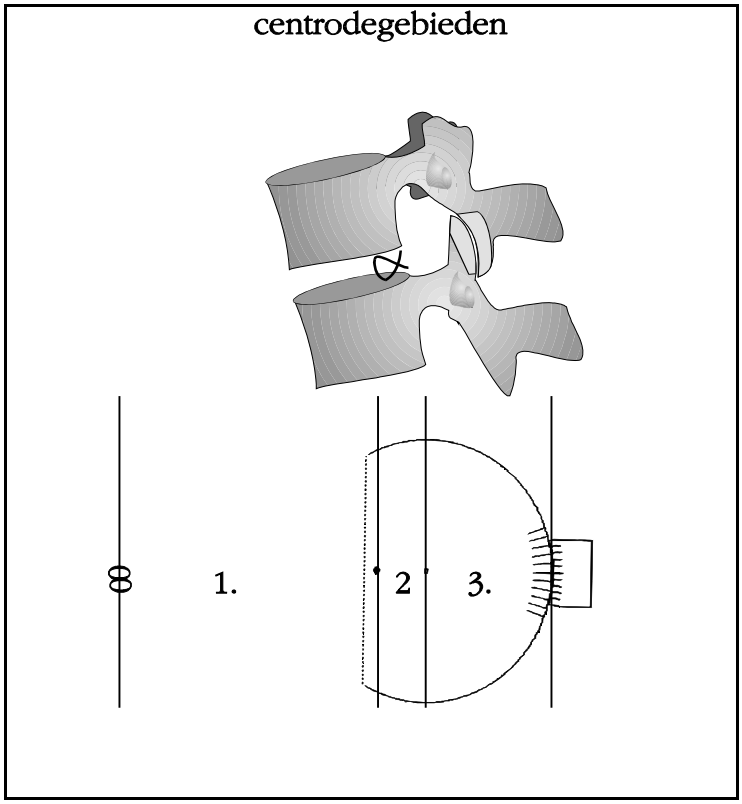
maar ook uit onderzoek naar de lengteverandering van structuren in het wervel-kanaal bij flexie en extensie. Tijdens flexie wordt het wervelkanaal langer en tijdens extensie korter. Dit is slechts mogelijk bij een ligging van de rotatieassen voor het wervelkanaal[12].

Centrodeligging en bewegingsgedrag

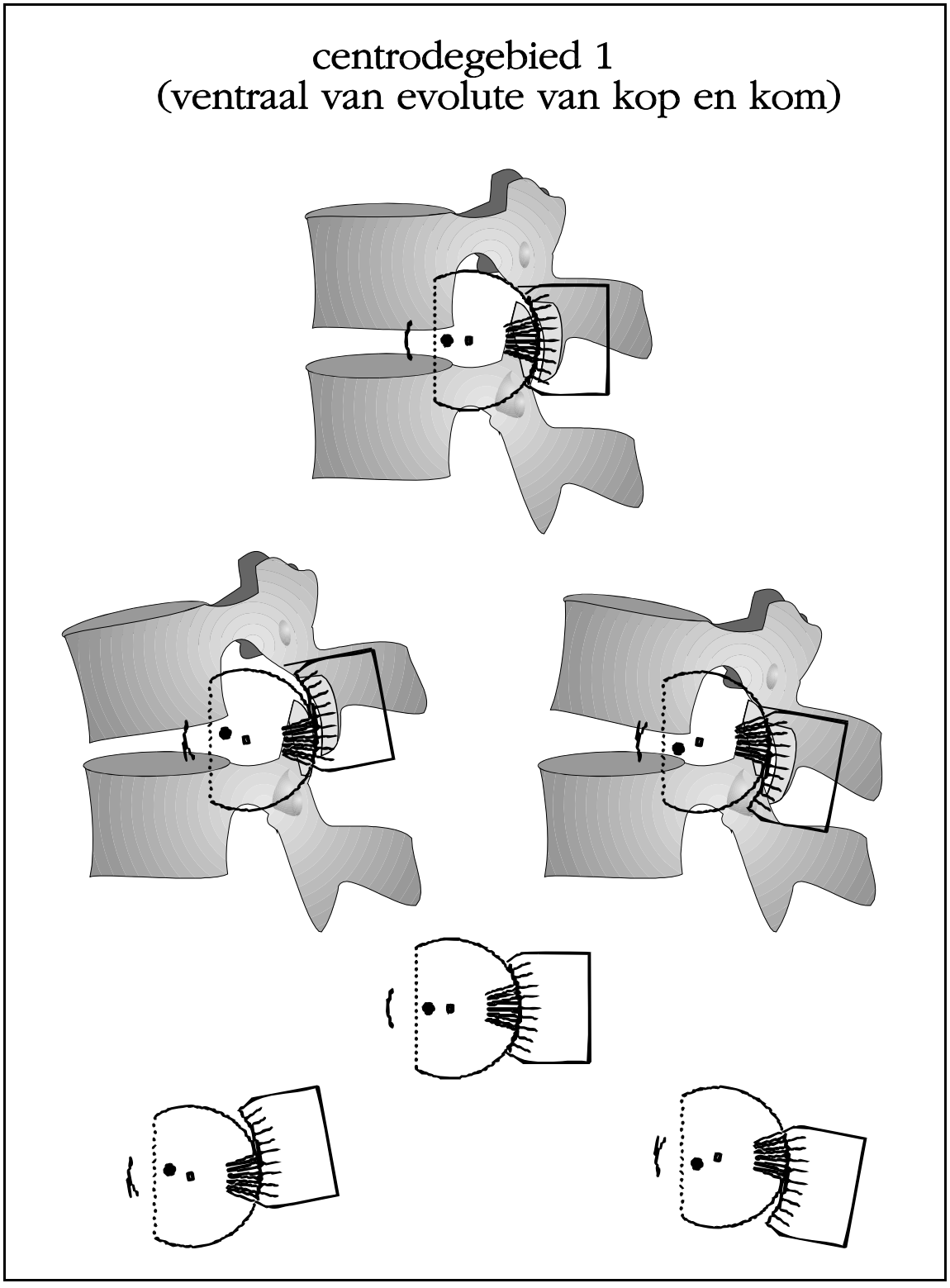
Op basis van de hierboven vermelde informatie kunnen een aantal uitspraken worden gedaan die van belang zijn voor het beschrijven van de arthrokinematica van de facetgewrichten. Zo is bekend dat bij een sagittaal aanzicht voor zowel de cervicale (met uitzondering van C0-C1 en C1-C2) als thoracale en lumbale wervelkolom de bovenliggende wervel als kom kan worden gezien. Ook is bekend dat de rotatiecentra ventraal van de gewrichtsvlakken gelegen zijn. In figuur 30 is een wervelpaar getekend met daarin verwerkt een met de computer vervaardigd gewrichtsmodel. In dit aanzicht hebben we duidelijk te maken met een ligging van de centrode in de convexiteit (figuur 30). Bij een ligging van de centrode in de convexiteit bestaan er een drietal principieel verschillende gebieden, te weten:

Centrodegebied 1: tussen oneindig en de evolute van concaaf.
Centrodegebied 2: tussen de evolute van convex en concaaf.
Centrodegebied 3: tussen de evolute van convex en het gewrichtsoppervlak.

De verschillende centrodegebieden worden hieronder na elkaar besproken.



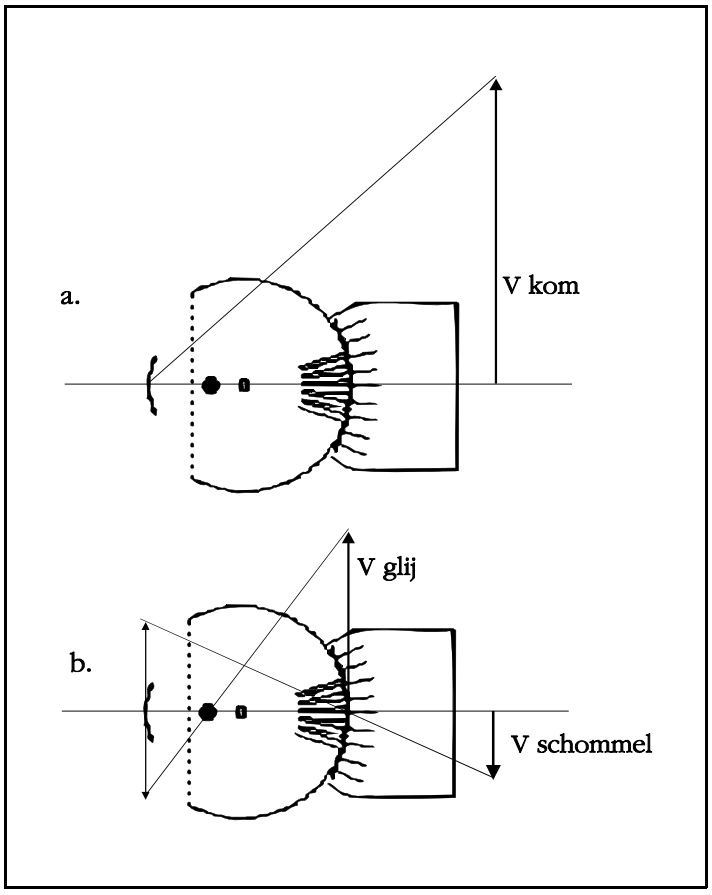
Figuur 30.
De centrode voor de flexie/extensie ligt dorsaal in de discus. Er zijn drie verschillende centrodegebieden te onderscheiden die elk een ander arthrokinematisch bewegingsgedrag opleveren.



Figuur 31.
Bewegingsgedrag bij ligging van de centrode in gebied 1.

Centrodegebied 1.

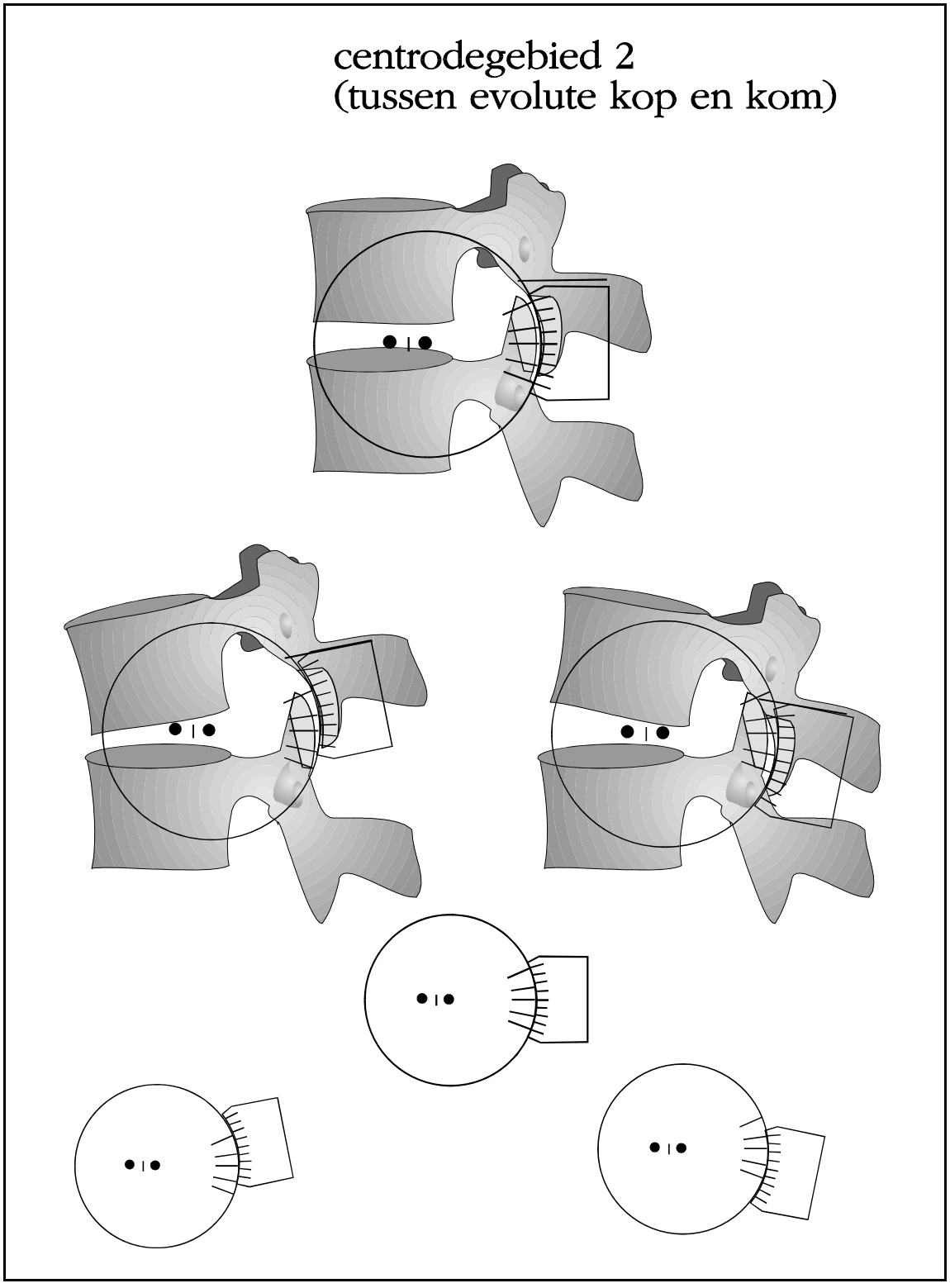
Een ligging van de centrode in gebied 1 zou betekenen dat de kromtemiddelpunten van de gewrichtsvlakken van kop en kom beide dorsaal liggen van het centrodegebied in de nucleus pulposus (zie figuur 31). Alhoewel de kromming van de gewrichtsvlakken om de eerder genoemde redenen moeilijk te bepalen is lijken dergelijke korte kromtestralen al direct onwaarschijnlijk. Het op het oog vrij vlakke aspect van de gewrichts-vlakken duidt op vrij grote kromtestralen. Bij het bewegen van de boven-liggende wervel (concaaf) naar flexie verloopt het contact op kop en kom naar caudaal. Het bewegen van de kom is hierbij te beschrijven als een glij-beweging in combinatie met een tegengesteld gerichte schommel[6]. Bij een extensie-beweging loopt het contact-punt naar craniaal op de pro-fielen. Opvallend is het boven de kop uitstijgen van de kom bij flexie en het onder de kop uitzakken van de kom bij extensie. In figuur 32 wordt de snelheidsverdeling ten gevolge van de schommel en glij weergegeven. De werkelijke snelheidsverdeling van het concave botstuk bij rotatie om het momentane rotatiecentrum wordt weergegeven in figuur 32a. De snelheidsverdeling is lineair met een snelheid nul ter hoogte van het rotatiecentrum. In figuur 32b is deze snelheidsverdeling opgebouwd uit de schommel en glijcomponent. Door de snelheden van schommel en glij op te tellen daar waar zij een gelijke richting hebben en af te trekken waar zij tegengesteld zijn gericht, ontstaat weer de snelheidsverdeling van figuur 32a. Uit deze voorstelling blijkt dat schommel en glij tegengesteld gericht zijn. Aangezien ze wel aan dezelfde zijde van het draaipunt gelegen zijn hebben beide invloeden een tegengestelde kantelingszin. Bij deze draaipuntsligging is de afgelegde weg op concaaf groter dan op convex.



Figuur 32.

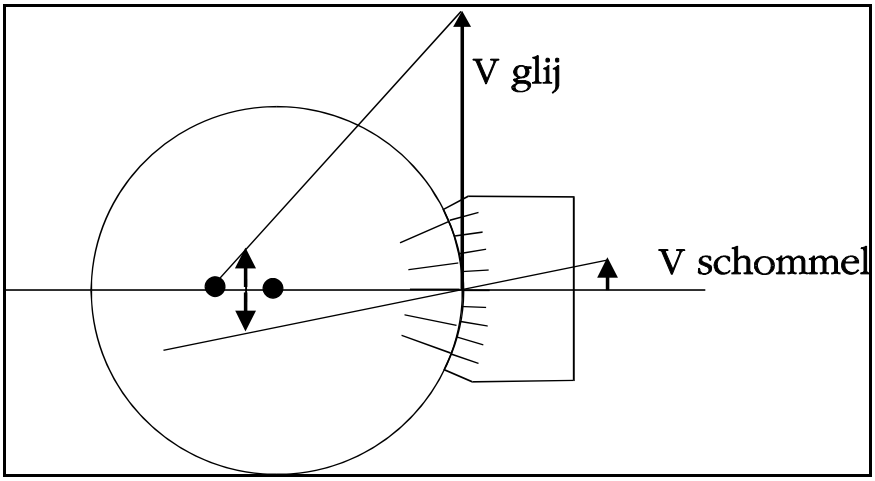
a. Snelheidsverdeling van de kom.

b. Snelheidsverdeling uitgedrukt in de bijdrage van schommel en glij.



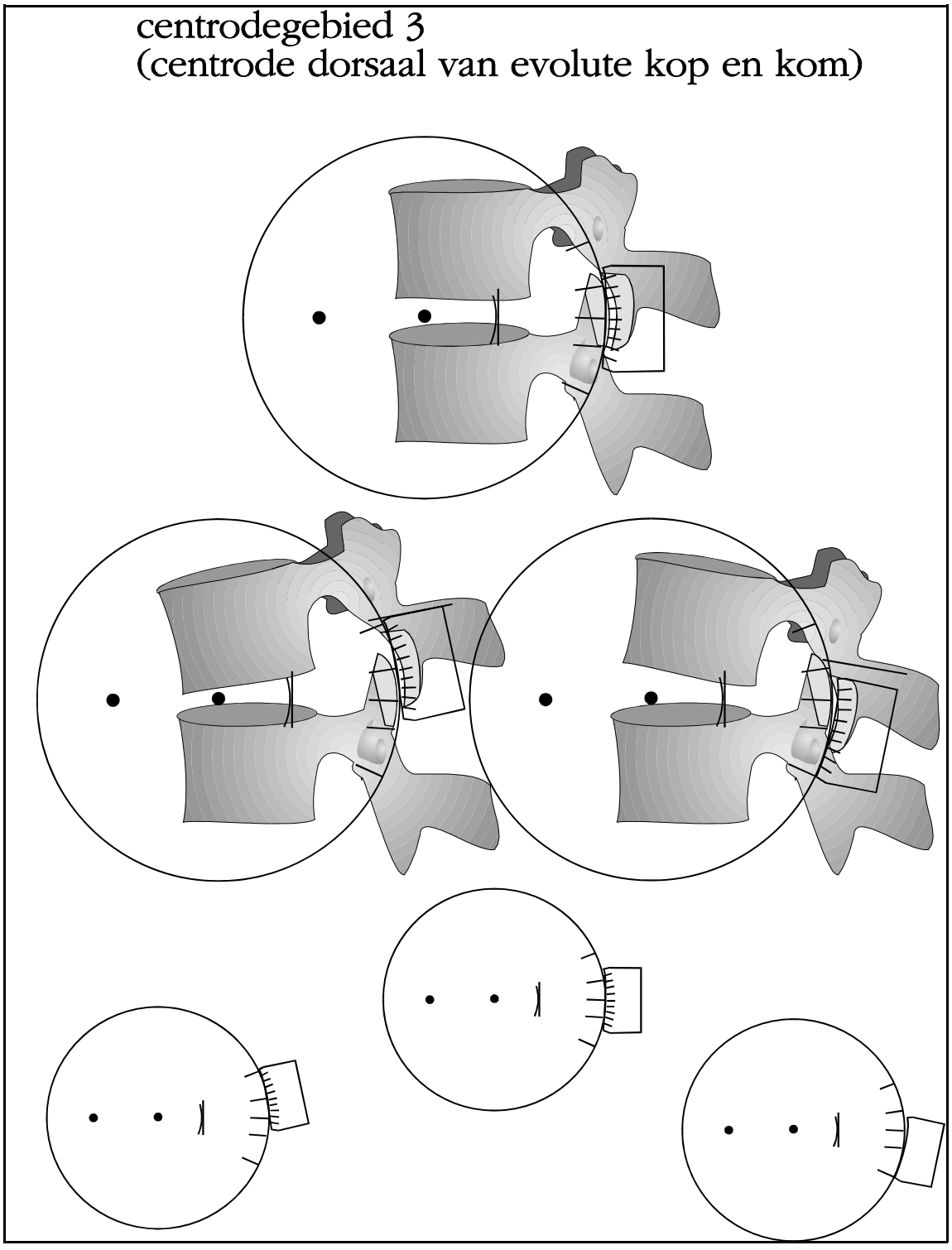
Figuur 33.
Bewegingsgedrag bij ligging van de centrode in gebied 2.

Centrodegebied 2.
Bij deze mogelijkheid ligt de centrode tussen de evolute van kop en kom in (figuur 33). Het bewegingsgedrag dat hierbij ontstaat wordt heterolateraal genoemd. Het contact op de kop loopt naar craniaal en op de kom naar caudaal bij flexie en omgekeerd bij extensie. Nog sterker dan bij het vorige centrodegebied stijgt de kom hierbij sterk boven de kop uit tijdens flexie en daalt ver onder de kop bij extensie. Afhankelijk van de exacte positie van de centrode tussen de beide evoluten kunnen de trajecten op kop en kom diverse verhoudingen vertonen. Indien de centrode nadert tot de evolute van convex gaat het bewegen het karakter krijgen van een slip. De afgelegde weg op de kop neemt daarbij sterk af. Indien het draaipunt echter naar de evolute van concaaf nadert krijgt het bewegen een meer schuivend karakter. Bij dergelijke posities van de draaipunten wordt de afgelegde weg op de kom zeer klein. In figuur 34 is verhouding tussen schommel en glij weergegeven. De beweging van de kom is te beschrijven met een schommel en een glij in gelijke richting en dus met een gelijke kantelingszin.

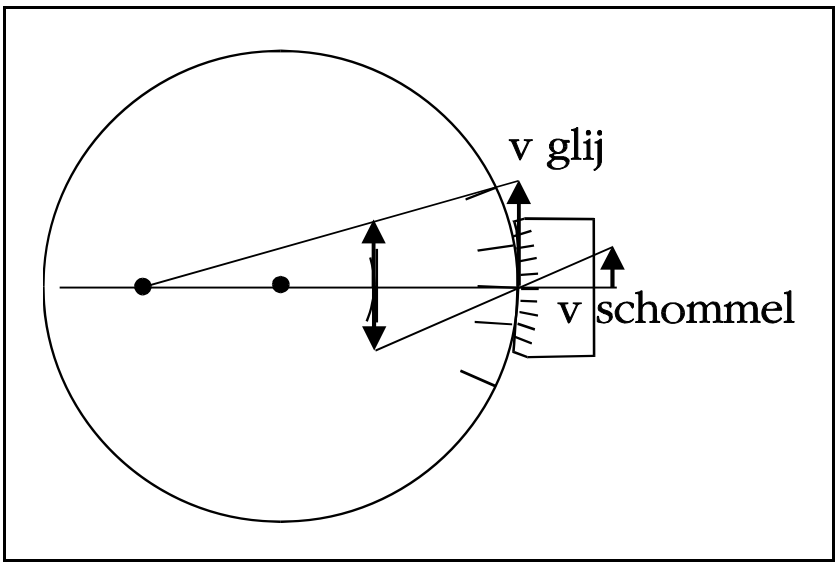


Figuur 34.
Verhouding tussen schommel en glij bij centrodegebied 2.

Centrodegebied 3.
Bij een ligging van de centrode in gebied 3 (figuur 35) liggen zowel de evolute van convex als concaaf ventraal van de centrode. Aangezien bekend is dat de centrode in het dorsale deel van de discus is gelegen, moeten de middelpunten van kop en kom bij deze keuzemogelijkheid dus het verst weg gelegen zijn. Van de tot nu toe besproken mogelijkheden levert deze keuze dus de minst gekromde gewrichtsvlakken op. Het bewegen van de profielen verloopt hier evenals in het geval van een ligging van de centrode in gebied 1 homolateraal. Het verschil is dat de contacten op kop en kom tijdens flexie nu naar craniaal lopen en bij extensie naar caudaal. De verhouding van afgelegde weg op kop en kom is zodanig dat de trajecten op de kop steeds groter zijn dan op de kom. De snelheidsverdeling van schommel en glij wordt weergegeven in figuur 36.



Figuur 35.
Bewegingsgedrag bij centrodeligging in gebied 3.



Figuur 36.
Snelheidsverdeling van schommel en glij bij een centrodeligging (gebied 3) tussen het contactpunt en de evolute van convex.

Bepaling van het centrodegebied van de facetgewrichten.

Na de bespreking van het bewegingsgedrag bij de diverse centrode-liggingen moet de vraag worden beantwoord welk van deze mogelijkheden past bij het gedrag van de facetgewrichten. Voor de volledigheid moet worden opgemerkt dat er bij een ligging van de centrode in de convexiteit, buiten de drie hier besproken centrode-gebieden, nog enkele andere bijzondere centrode-liggingen bestaan. Bij een ligging van de draaipunten in het oneindige treedt er geen rotatie maar slechts een translatie op van de wervels ten opzichte van elkaar. Draaipunten op de evolute van concaaf geven een zuiver glijdend bewegen van de kom. Hierbij lopen de opeenvolgende punten van het concave profiel langs slechts een punt van convex. Bij draaipuntpositie's op de evolute van convex treedt slippend bewegen op. Opeenvolgende punten van het convexe profiel lopen hierbij langs steeds hetzelfde punt van concaaf. Aangezien dergelijke profielverhoudingen in de natuur niet voorkomen en er in de wervelkolom duidelijk sprake is van hoekstands-veranderingen tussen de wervels kunnen deze mogelijkheden direct worden uitgesloten. De keuze kan zich dus beperken tot de drie eerder genoemde gebieden. Zowel bij een centrodeligging in gebied 1 als in gebied 2 is er bij flexie sprake van het uitstijgen van de kom boven de kop. Bij het centrodegebied 1 gaat de flexiebeweging gepaard met een contactpunt dat op kop en kom naar caudaal verloopt. In het geval van een heterolaterale beweging (gebied 2) verloopt het contact op de kop naar craniaal en op de kom naar caudaal. Bij een extensiebeweging is er in beide gevallen sprake van het onder de kop

dalen van het concave facet. Dit laatste kenmerk vormt het belangrijkste argument tegen deze twee gebieden. Gezien de bouw van de wervels is een dergelijk dalen van de kom tot onder de kop volkomen onmogelijk. De processus articularis inferior van de bovenliggende wervel zou door de onderliggende wervel moeten dringen. Uit figuur 37 en figuur 25 blijkt dat voor een dergelijk bewegingsgedrag geen ruimte beschikbaar is caudaal van de gewrichtsvlakken. Aan de positie van de corpora is duidelijk te zien dat er in dit preparaat sprake is van een extensiepositie. Het contactpunt ligt hierbij caudaal op de gewrichtsvlakken van zowel kop als kom. Bij een centrodeligging in gebied 1 (ventraal van de evolute van kop en kom) zou het contactpunt in een extensiepositie juist craniaal op de gewrichtsvlakken gelegen moeten zijn. Er is geen sprake van een onder de kop afgedaalde kom. Naar flexie is een dergelijke verplaatsing van de gewrichtsvlakken qua beschikbare ruimte nog voorstelbaar. Het kan echter niet zo zijn dat de flexiebeweging bijvoorbeeld heterolateraal verloopt en de extensie homolateraal. Aan het eind van een heterolaterale flexie staat immers de caudale grens van het gewrichtsvlak op de kom in contact met de craniale grens op de kop. Voor een homolaterale terugweg naar extensie ontbreekt dus het benodigde contactgebied op de kom. Figuur 37 toont een sagittale doorsnede door enkele lumbale facetgewrichten. De wervelkolom bevindt zich in extensie. Net als in figuur 25 ligt het contactpunt caudaal op de gewrichtsvlakken en is er geen sprake van het onder de kop dalen van de kom. Deze beide argumenten maken de centrodegebieden 1 en 2 onmogelijk. Het is daarmee duidelijk dat er sprake moet zijn van een positie van de centrode tussen het gewrichtsoppervlak en de evolute van convex (gebied 3). Dit betekent dat de schommel en glijcomponent van de beweging gelijk gericht is en de contactpunten bij flexie verplaatsen naar craniaal op convex en concaaf (homo-lateraal). Bij een extensie lopen de contactpunten op de beide facetten van kop en kom naar caudaal. Deze regel geldt voor alle facetgewrichten van de gehele wervelkolom (C0-C1 en C1-C2 uitgezonderd). Ten gevolge van de gekantelde positie van de facetten komt het descriptief anatomisch naar caudaal en craniaal verlopen van het contactpunt niet altijd overeen met een verplaatsing naar de onderzijde van de gewrichtsvlakken. Hierop wordt later nader ingegaan.

Figuur 37.
Sagittale snede door enkele lumbale facetgewrichten. Er is sprake van een geextendeerde positie (overgenomen uit Putz[9].