

# Kauwspieren

## Deel III. Mechanische werking van de kauwspieren

**Samenvatting.** De kauwspieren kunnen krachten produceren. Deze krachten kunnen kaakbewegingen veroorzaken. Verder kunnen deze krachten worden aangewend om bij de tanden en de kiezen te worden gebruikt als bijt- of kauwkrachten. Bij dit alles wordt ook het kaakgewricht belast. Het op zich complexe geheel van interacties tussen deze krachten en bewegingen verloopt volgens de relatief eenvoudige wetten van de mechanica. Door deze toe te passen kan inzicht worden verworven in onder andere gewrichtsbelastingen, krachten en bewegingspatronen tijdens functie en dysfunctie van het kauwstelsel. Dit wordt geïllustreerd aan de hand van een aantal voorbeelden waarbij zowel de statica als de dynamica aan de orde komen.

KOOLSTRA JH. Kauwspieren. Deel III. Mechanische werking van de kauwspieren. Ned Tijdschr Tandheelkd 1997; 104: 302-5.

Uit de vakgroep Functionele Anatomie van het Academisch Centrum Tandheelkunde Amsterdam (ACTA).

Trefwoorden: Kauwspieren – Spierkracht – Spiermoment

Datum van acceptatie: 1 april 1997.

Adres: Dr.ir. J.H. Koolstra, ACTA, Meibergdreef 15, 1105 AZ Amsterdam.

### 1 Inleiding

De kauwspieren zijn in staat om kaakbewegingen tot stand te brengen omdat ze met enige kracht kunnen contraheren (samentrekken). De hoeveelheid kracht kunnen we regelen. Zo zullen we bij het doorbijten van een noot onze kauwspieren aanzetten tot het produceren van een grotere kracht dan bij het doorbijten van een kers, waarin mogelijk een pit verstoppt zit. Het regelen van de spierkracht gebeurt meestal onbewust. Sterker nog, als iemand de opdracht krijgt om een van zijn kauwspieren aan te spannen en daarbij de overige te ontspannen, zal dat niet lukken. Door het ontbreken van een mogelijkheid om bewust onze kauwspieren volgens een willekeurig patroon in te schakelen is het erg moeilijk om de bijdrage van elke afzonderlijke spier aan het enorme scala van mogelijke kaakbewegingen te leren begrijpen.

In dit artikel zal worden uiteengezet hoe we door middel van de wetten van de mechanica, geformuleerd door Isaac Newton in 1686, inzicht kunnen krijgen in de werking van de kauwspieren binnen het complexe geheel van het kauwstelsel.

### 2 Spieren

Skeletspieren in het algemeen, en kauwspieren in het bijzonder, zitten meestal vast aan twee verschillende botten en wel zo dat de plaatsen waar de spier aan het bot is aangehecht (de aanhechtingspunten) in het verlengde van de spier zelf liggen. Als zo'n spier gaat contraheren worden die aanhechtingspunten, en daarmee de botten, naar elkaar toe getrokken. We moeten ons hierbij realiseren dat bij een dergelijke contractie de contractiekracht de oorzaak is en de contractiebeweging (meestal een verkorting) het gevolg. Soms worden bijvoorbeeld beide botten tegengehouden zodat er ondanks een grote contractiekracht toch geen beweging ontstaat, een situatie die bijvoorbeeld optreedt tijdens klemmen.

De opdracht tot contractie krijgt een spier van het centraal zenuwstelsel. Die opdracht wordt activatie genoemd en heeft een bepaalde intensiteit die kan variëren tussen 0% (geen contractie) en 100% (maximale contractie). De uiteindelijke spierkracht die daar het gevolg van is, is afhankelijk van een aantal factoren (zie deel I in deze serie van T.M.G.J. van Eijden<sup>1</sup>). De belangrijkste factor is uiteraard de grootte van de spier. Een grote spier die voor 100% wordt geactiveerd, zal meer kracht kunnen ontwikkelen dan een klein spiertje. Andere factoren die een rol spelen bij het bepalen van de uit-

eindelijke spierkracht zijn de momentane lengte en de verkortingsnelheid van de spier.

Het (mechanisch) effect van een contraherende spier op een botstuk waarmee hij verbonden is, is niet alleen afhankelijk van de grootte van de spierkracht maar ook van de plaats waar hij aanhecht aan dit botstuk (insertie) en de richting waarin hij trekt. Deze geometrische gegevens worden samengevat onder het begrip *werklijn*. De werklijn van een spier wordt gedefinieerd als de lijn die loopt tussen zijn insertie (aanhechtingspunt aan het beweeglijke botstuk) en zijn origo (aanhechtingspunt aan het onbeweeglijke botstuk). Als de onderkaak beweegt ten opzichte van de bovenkaak, verandert de positie van de insertie ten opzichte van de origo. Dit betekent dat de werklijn van een kauwspier niet constant is maar voortdurend zal veranderen. Daardoor zal bijvoorbeeld een bepaalde spier bij een geopende onderkaak wel eens een heel ander effect kunnen hebben dan bij een gesloten onderkaak. Verder moeten we ons realiseren dat de werklijn ook binnen een spier zelf kan variëren als deze maar voor een deel geactiveerd wordt (zie deel IV in deze serie van N.G. Blanksma en T.M.G.J. van Eijden<sup>2</sup>).

### 3 Mechanica

Nu we weten dat een spier een kracht kan uitoefenen langs zijn werklijn, kunnen we te weten komen welk (mechanisch) effect dit kan hebben op de onderkaak. Hiervoor kunnen we de wetten van de mechanica gebruiken.

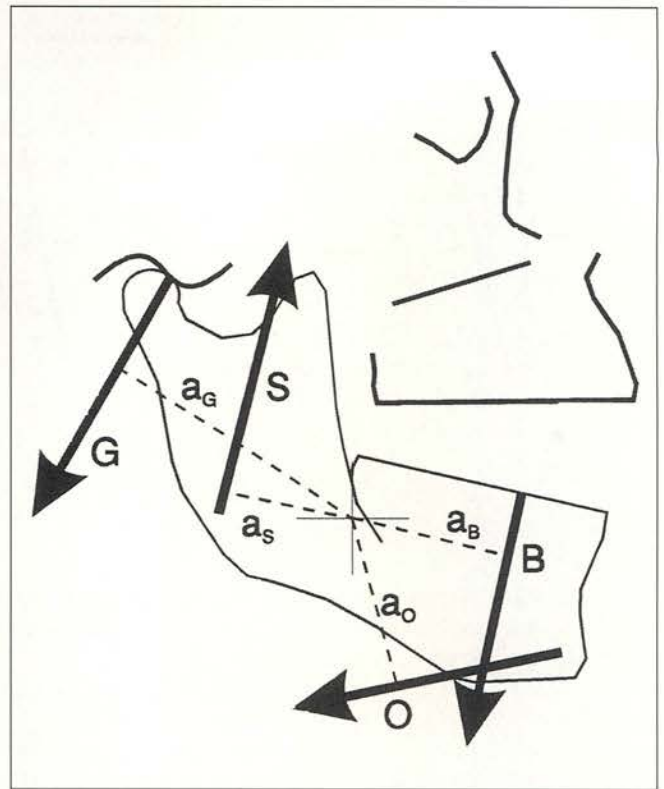
#### 3.1 Krachten en momenten

De tweede hoofdwet van de mechanica leert ons dat een zogenaamde puntmassa gaat bewegen als de som van de daarop werkende krachten ongelijk is aan nul en wel volgens  $=m \times$ . Zowel de kracht als de versnelling zijn vectorgrootheden (ze hebben een grootte en een richting). De massa  $m$  is een scalair grootheid. De richting waarin de puntmassa gaat bewegen is dezelfde als die van de kracht. Het begrip puntmassa bestaat alleen in onze fantasie. Het is nog het beste te vergelijken met een heel klein, zwaar kogeltje. In elk geval beantwoordt onze onderkaak niet aan dat beeld. Als een spier aan de onderkaak gaat trekken, zullen er ook punten in beweging komen die naast de insertie van de spier liggen. Op elk punt zal de contraherende spier behalve een kracht ook een moment uitoefenen. De grootte van dit moment is gelijk aan de kracht maal de



(kortste) afstand tussen de spierwerklijn en het desbetreffende punt. Deze afstand wordt de *momentarm* genoemd. Een dergelijk moment heeft de neiging een rotatie te bewerkstelligen om een as die door het punt loopt en loodrecht staat op de spierwerklijn en de momentarm. Dit geldt voor elk stukje onderkaak. Het netto effect van al deze momentjes kan worden samengevat als het moment ten opzichte van het zwaartepunt van de onderkaak. Als een kauwspier gaat contraheren, zal hij dus de onderkaak in de richting van zijn werklijn willen bewegen in combinatie met een draaibeweging om een as die door het zwaartepunt loopt.

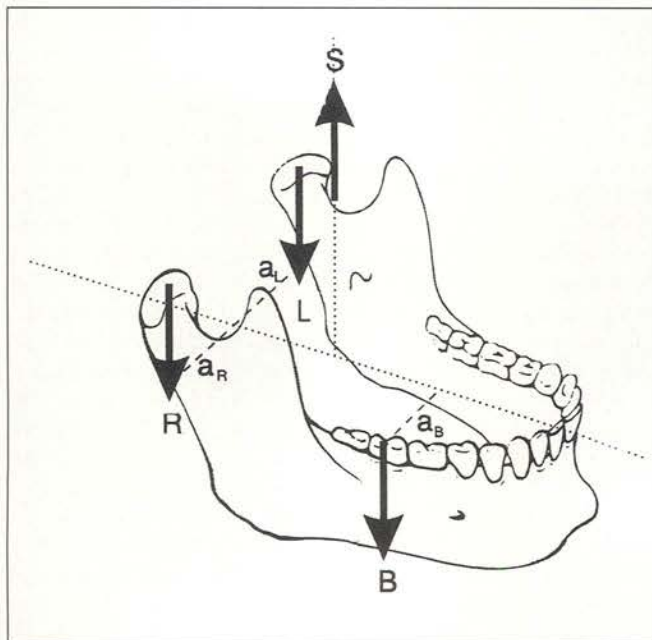
Het bovenstaande geldt niet alleen voor spierkrachten maar voor alle krachten die op de onderkaak werken. De belangrijkste zijn de bijt- of kauwkracht (het bovengebitt duwt tegen het ondergebit) en de gewrichtskracht. De beweging is het resultaat van al deze gezamenlijke krachten en momenten (afb. 1). Die som van krachten en momenten kan er steeds anders uitzien. Als de onderkaak beweegt, verandert bijvoorbeeld niet alleen de richting van de spierwerklijnen, maar ook de afstand tussen deze lijnen en het zwaartepunt (en daarmee de lengte van de momentarm). Ook is het zo dat de richting van de gewrichtskracht afhankelijk is van de stand van de onderkaak ten opzichte van de schedel. Dit betekent dat de som van krachten en momenten elke keer opnieuw door het centraal zenuwstelsel uitgerekend moeten worden om de gewenste krachten en bewegingen door de onderkaak te laten produceren.



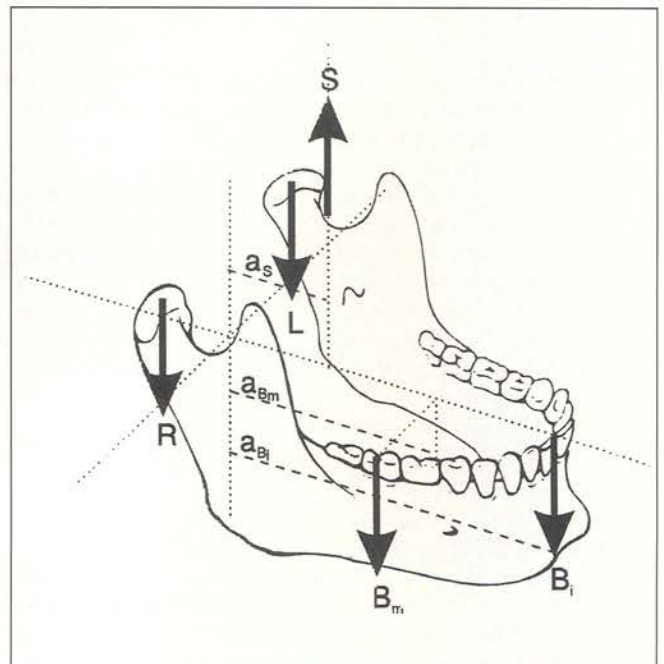
Afb. 1. Overzicht van de in het kauwstelsel werkende krachten (pijlen) met hun momentarm (streeplijnen) ten opzichte van het zwaartepunt (kruisje). G: resulterende gewrichtskrachten; S: resulterende kracht van gezamenlijke kaaksluiters; O: resulterende kracht van gezamenlijke kaakopeners; B: bijt- of kauwkracht;  $a_G$ : momentarm van G;  $a_S$ : momentarm van S;  $a_O$ : momentarm van O;  $a_B$ : momentarm van B.

### 3.2 Statica en dynamica

Uit ervaring weten we dat er situaties zijn waarbij, ondanks het feit dat de spieren worden aangezet tot het leveren van kracht, er geen kaakbeweging volgt. Denk hierbij aan een poging om een te harde noot door te bijten. De spieren contraheren dan zonder zich te verkorten. Als we in een dergelijke situatie alle krachten die op de onderkaak werken (vectoriëel) bij elkaar

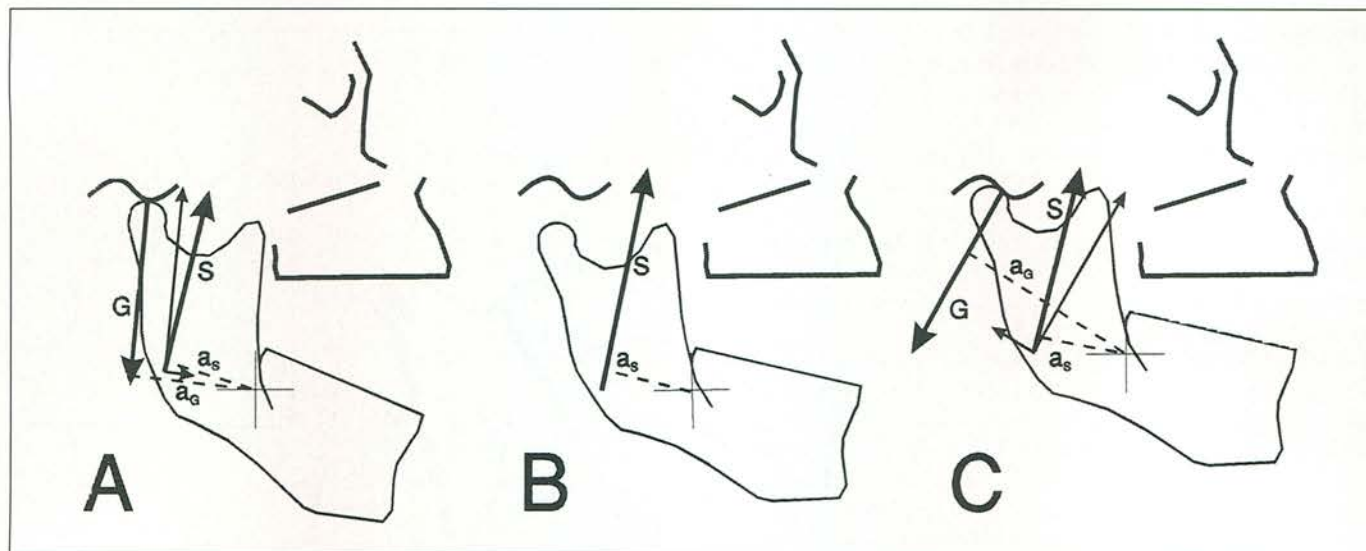


Afb. 2. Enkelzijdige beet (vereenvoudigd tot alleen verticaal werkende krachten). R: kracht op rechter kaakkopje; L: kracht op linker kaakkopje; S: kracht van de gezamenlijke kaaksluiters; B: bijt- of kauwkracht. Beschouw momenten ten opzichte van de voor-achterwaartse as met  $a_R$ : momentarm van kracht R;  $a_L$ : momentarm van kracht L;  $a_B$ : momentarm van B. Tijdens statisch evenwicht geldt:  $L \times a_L = R \times a_R + B \times a_B$ . Aangezien  $B \times a_B > 0$  en  $a_L = a_R$ , moet L groter zijn dan R, waardoor het rechter kaakkopje minder zwaar wordt belast dan het linker.



Afb. 3. Vergelijking molaarbeet met incisiefbeet.  $B_m$ : bijt- of kauwkracht bij molaarbeet;  $B_i$ : bijt- of kauwkracht bij incisiefbeet. Beschouw momenten ten opzichte van de links-rechts as met  $a_S$ : momentarm van S;  $a_{B_m}$ : momentarm van  $B_m$ ;  $a_{B_i}$ : momentarm van  $B_i$ . Tijdens statisch evenwicht geldt:  $S_{\text{incisiefbeet}} \times a_S = B_i \times a_{B_i}$  of  $S_{\text{molaarbeet}} \times a_S = B_m \times a_{B_m}$ . Aangezien  $a_{B_i} > a_{B_m}$  en  $B_i = B_m$  moet gelden dat  $S_{\text{molaarbeet}} < S_{\text{incisiefbeet}}$ .





optellen, zal het resultaat 0 zijn. Hetzelfde geldt voor de som van alle op de onderkaak werkende momenten. In een dergelijke situatie spreken we van een statisch evenwicht.

Als er geen sprake is van statisch evenwicht betekent dit dat de resultante (de vectorsom) van de krachten en/of de momenten niet gelijk is aan 0. De onderkaak zal dan gaan bewegen. Hoe die beweging er uiteindelijk uit zal gaan zien hangt niet alleen af van de werkende krachten en momenten, maar ook van de massa van de onderkaak en hoe deze over de onderkaak verdeeld is. Om deze reden zijn de berekeningen die nodig zijn voor een dynamische analyse ingewikkelder dan voor een statische analyse, waarbij de massa's geen rol spelen. Ook moet er rekening mee worden gehouden dat tijdens een beweging de spierkrachten voortdurend veranderen, zowel in grootte, door de kracht-lengterelatie en kracht-snelheidsrelatie, als in richting.

### 3.3 Mechanische modellen

Uit het voorgaande is duidelijk geworden dat de beweging die de onderkaak zal gaan maken als er een aantal kauwspieren contraheert, in principe kan worden voorspeld door het oplossen van een reeks sommen. Deze sommen vormen samen een rekenkundig (mechanisch) model van het kauwstelsel. Met dit model kunnen kaakbewegingen worden gesimuleerd. Dit behoeven niet uitsluitend natuurlijke bewegingen te zijn. De kracht van een dergelijk model is juist de mogelijkheid om afwijkende bewegingspatronen te kunnen bestuderen. Zo kan bijvoorbeeld de bijdrage van een bepaalde spier aan een beweging worden geanalyseerd door een beweging waarbij deze actief is, te vergelijken met één waarbij deze niet actief is. Verder is het mogelijk om schattingen te maken van onmeetbare grootheden zoals de belasting van het kaakgewricht.

## 4 Toepassingen

Door toepassing van rekenkundige modellen van het kauwstelsel hebben we inmiddels veel kunnen leren over de bijdrage van de verschillende kauwspieren aan (statische) bijtkrachten en (dynamische) kaakbewegingen.<sup>3-6</sup>

### 4.1 Bijtkrachten

Door de sommen op te lossen die gelden bij een statisch evenwicht kan duidelijk worden gemaakt waarom het kaakge-

Afb. 4. Krachten en momenten op achtereenvolgende tijdstippen tijdens een kaaksluitbeweging. G: gewrichtskracht; S: spierkracht;  $a_g$ : momentarm van G;  $a_s$ : momentarm van S. A: Situatie bij aanvang. B: situatie na rotatie van de onderkaak tegen de wijzers van de klok in. C: Situatie na translatie van de onderkaak in de richting van S.

wricht aan de kauwkant (werkzijde) minder zwaar wordt belast dan aan de andere kant (balanszijde). Dit kan worden afgeleid met behulp van afbeelding 2. We gaan ervan uit dat een aantal kaak-sluitspieren symmetrisch wordt geactiveerd, resulterend in een gezamenlijke spierkracht S. Hierdoor wordt de onderkaak tegen de schedel getrokken. In reactie duwt de schedel terug bij beide gewrichten (gewrichtskrachten R en L) en bij het bijtpunt (bijtkracht B). De bijtkracht kan worden benut om bijvoorbeeld een noot door te bijten. De gewrichtskrachten houden het geheel in evenwicht. Als de bijtkracht nog niet groot genoeg is om de noot uit dit voorbeeld door te bijten, is er sprake van statisch evenwicht. We weten dat dan de som van de werkende momenten ten opzichte van elke willekeurige as 0 moet zijn. In dit voorbeeld is het handig om de afgebeelde voor-achterwaartse as hiervoor te kiezen. De resulterende spierkracht S is symmetrisch, waardoor zijn werklijn door de gekozen as loopt. Hierdoor is de momentarm van de spierkracht 0 en daarmee ook het spiermoment. Het moment van de bijtkracht B en de rechter gewrichtskracht R tracht de onderkaak aan de rechterzijde naar beneden te roteren ten opzichte van de gekozen as. Deze rotatie wordt echter voorkomen door de linker gewrichtskracht L. Het moment van deze kracht moet even groot (maar tegengesteld) zijn als dat van R en B samen. Omdat de momentarmen  $a_R$  en  $a_L$  van respectievelijk R en L even groot zijn, moet L dus groter zijn dan R om het evenwicht te handhaven.

Ook kunnen we zo beredeneren waarom er voor het doorbijten van een noot ter hoogte van de molaren minder spierkracht nodig is dan voor dezelfde noot ter hoogte van de incisieven (afb. 3). We gaan ervan uit dat de benodigde bijtkracht  $B_m$  (voor een molaarbeet) of  $B_i$  (voor een incisiefbeet) niet verschillend is. Beschouw nu de momenten ten opzichte van de in afbeelding 3 afgebeelde links-rechts as. Als het bijtmoment ( $B_m \times a_{Bm}$  voor een molaarbeet of  $B_i \times a_{Bi}$  voor een incisiefbeet) gelijk maar tegengesteld is aan het spiermoment ( $S \times a_s$ ) staat de noot op het punt om doorgebeten te worden. Nu is de momentarm van  $B_m$  kleiner dan die van  $B_i$ . Omdat de momentarm van de spierkracht in beide gevallen hetzelfde is, geldt dus dat voor een molaarbeet de benodigde spierkracht S kleiner is dan voor een incisiefbeet. Een kleinere spierkracht



heeft weer tot gevolg dat de onderkaak in zijn geheel minder sterk tegen de schedel wordt getrokken, en dat heeft weer tot gevolg dat de gewrichten minder zwaar belast worden bij de molaarbeet.

## 4.2 Kaakbewegingen

Tijdens kaak-open en kaak-sluitbewegingen schuift het kaak-kopje langs en over het tuberculum articulare van de schedel. Tot voor kort konden we niet goed begrijpen hoe dit kan gebeuren. Dankzij modelsimulaties weten we inmiddels dat het de kauwspieren zelf zijn die de beweging in het gewricht in goede banen leiden en daarbij beide delen van het gewricht bij elkaar houden, zowel tijdens het openen als het sluiten van de kaak. Dit kan worden afgeleid uit afbeelding 1 waar zowel de gezamenlijke openers O als de gezamenlijke sluiters S een moment kunnen genereren dat ten opzichte van het zwaartepunt van de onderkaak met de klok mee is gericht.

In afbeelding 4 is dit voor een kaak-sluitbeweging nader uitgewerkt. Doordat de sluit-spiere een spierkracht  $S$  genereert, wordt de onderkaak tegen de schedel aan getrokken (afb. 4a). In reactie hierop wordt een ongeveer even grote gewrichtsreactiekracht  $G$  gegenereerd, loodrecht op de met elkaar in contact komende gewrichtsoppervlakken. In deze situatie is de momentarm  $a_G$  van de gewrichtskracht langer dan de momentarm  $a_S$  van de spierkracht. Hierdoor is het moment van de gewrichtskracht groter dan het moment van de spierkracht. Het gevolg is een draaibeweging van de kaak tegen de wijzers van de klok in. Doordat  $S$  en  $G$  niet parallel zijn is ook de vectoriële som van de krachten niet gelijk aan 0. Er blijft een kleine spierkrachtcomponent in voorwaartse richting over, waardoor de kaak een heel klein eindje naar voren beweegt. Het resultaat is schematisch en erg overdreven

weergegeven in afbeelding 4b. Het kaakkopje is nu los gekomen van de schedel waardoor de gewrichtskracht verdwijnt. De spierkracht is nog overgebleven en zal er voor zorgen dat de onderkaak weer tegen de schedel wordt aangetrokken (afb. 4c). De kaak is nu verder gesloten, het kaakkopje wat verder achter op het tuberculum articulare gekomen en er is een nieuwe configuratie van krachten en momenten ontstaan. Zolang de kaak niet helemaal gesloten is of wordt tegengehouden door een voorwerp tussen de tanden of de kiezen zal dit proces zich voortzetten. Uiteraard zal in werkelijkheid datgene wat hier in een paar grote stappen is weergegeven gelijkmatig verlopen.

Dit alles leert ons dat het op het eerste gezicht complex gebouwde menselijk kauwstelsel zodanig in elkaar zit dat het zijn meest elementaire bewegingen (symmetrisch open en dicht) in principe kan uitvoeren zonder ingewikkelde geleidingsmechanismen in het gewricht.

## Literatuur

- 1 Eijden TMGJ van. Kauwspieren. Deel I. Functionele anatomie van de kauwspieren. Ned Tijdschr Tandheelkd 1997; 104: 175-7.
- 2 Eijden TMGJ van, Blanksma NG. Kauwspieren. Deel IV. De kauwspieren werken niet homogeen. Ned Tijdschr Tandheelkd 1997; 104: in press.
- 3 Koolstra JH, Eijden TMGJ van, Weijs WA, Naeije M. A three-dimensional mathematical model of the human masticatory system predicting maximum possible bite forces. J Biomech 1988; 21: 563-76.
- 4 Koolstra JH, Eijden TMGJ van. Application and validation of a three-dimensional mathematical model of the human masticatory system in vivo. J Biomech 1992; 25: 175-87.
- 5 Koolstra JH, Eijden TMGJ van. Biomechanical analysis of jaw closing movements. J Dent Res 1995; 74: 1564-70.
- 6 Koolstra JH, Eijden TMGJ van. The jaw open-close movement predicted by biomechanical modelling. J Biomech 1997; in press.

## Summary

### BIOMECHANICS OF THE MASTICATORY MUSCLES

Key words: Masticatory muscles – Muscle force – Muscle torque

The masticatory muscles are able to produce forces. These forces may cause movements of the lower jaw. Furthermore, they can be applied by the teeth for the generation of bite or chewing forces. During these kind of processes the temporomandibular joints will be loaded also. The interaction between forces and movements in the masticatory system is complex but obeys the relatively simple laws of mechanics. By application of these laws the development of joint loading, force patterns and movements during masticatory function and dysfunction can be understood. This is illustrated by a few examples of both statical and dynamical masticatory performance.