

Kauwspieren

Deel I. Functionele anatomie van de kauwspieren

Samenvatting. De krachten en de verkortingen van de kauwspieren worden in belangrijke mate bepaald door hun anatomische bouw. Het werkingsgebied van elke spier is afhankelijk van de lengteveranderingen van de sarcomeren. De maximaal geleverde arbeid, kracht en verkorting zijn evenredig met respectievelijk spiervolume, fysiologische dwarsdoorsnede en spiervezellengte. Er blijken grote verschillen te bestaan in de bouw en de functionele mogelijkheden van de kaakopeners en -sluiters. In vergelijking met de kaakopeners worden de kaaksluiters gekenmerkt door kortere sarcomeren bij een gesloten onderkaak, grotere hoeveelheden contractiel en peesweefsel, grotere fysiologische dwarsdoorsnedes, kortere momentarmen en kortere spiervezels. Ook binnen elke spiergroep en tussen de delen van een spier kunnen er grote verschillen bestaan. Door hun architectuur zijn de kaaksluiters vooral geschikt voor het produceren van krachten, terwijl de bouw van de openers meer is toegesneden op het produceren van verkortingen.

EIJDEN TMGJ VAN. Kauwspieren. Deel I. Functionele anatomie van de kauwspieren. Ned Tijdschr Tandheelkd 1997; 104: 175-77.

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

Trefwoorden: Kauwspieren
Spierkracht – Spierverkorting

Datum van acceptatie: 27 maart 1997.

Adres: Prof.dr. T.M.G.J. van Eijden,
ACTA, Meibergdreef 15,
1105 AZ Amsterdam.

1 Inleiding

De kauwspieren worden meestal verdeeld in twee groepen: de kaakopeners en de kaaksluiters. Tot de kaaksluiters worden gerekend de *m. temporalis*, de *m. masseter* en de *m. pterygoideus medialis*. Tot de groep kaakopeners behoren de *m. pterygoideus lateralis*, de *m. digastricus*, de *m. mylohyoideus* en de *m. geniohyoideus*. Een belangrijke functie van de kauwspieren is het genereren van krachten en verkortingen waardoor de onderkaak complexe driedimensionale bewegingen kan maken en gelijktijdig bijt- en kauwkrachten kan produceren. De geleverde krachten en verkortingen hangen nauw samen met de bouw van de spieren. In dit artikel wordt duidelijk gemaakt hoe de bouw en de functie van de kauwspieren met elkaar samenhangen en welke consequenties dat heeft voor het functioneren van het kauwstelsel.

2 Relatie tussen spierbouw en spierfunctie

Een spier is opgebouwd uit duizenden spiervezels, volgepakt met in de lengterichting lopende myofibrillen, die bestaan uit in serie gerangschikte sarcomeren. Deze laatste worden op hun beurt weer gevormd door dunne en dikke eiwitketens, actine- en myosinefilamenten, die onderling een chemische reactie kunnen aangaan. Als gevolg van deze interactie van actine en myosine kunnen de sarcomeren – en dus de spiervezels – krachten produceren en zich actief verkorten. De grootte van de door een sarcomeer geproduceerde kracht en de mate waarin hij zich kan verkorten, worden bepaald door de hoeveelheid overlap tussen de actine- en myosinefilamenten, en dus door de lengte van de sarcomeren.¹ De relatie tussen sarcomeerlengte en kracht wordt in een lengte-krachtdiagram weergegeven (afb. 1). Deze is min of meer parabolvormig, met een optimum sarcomeerlengte bij ongeveer 2,7 μm . Bij deze lengte is de sarcomeerkracht en dus ook de spierkracht maximaal (100%). Bij langere en kortere lengten neemt de kracht af en als de sarcomeren korter worden dan circa 1,9 μm of langer dan 4 μm dan kan de spier helemaal geen kracht meer produceren.

Een andere factor van belang voor de mate van krachttwikkeling is de verkortingsnelheid. Deze relatie wordt weergegeven in een kracht-snelheidsdiagram. In het algemeen geldt

dat de kracht die een spier kan leveren, afneemt met de verkortingsnelheid. Als een spier op lengte wordt gehouden (bijv. tijdens klemmen), kan hij meer kracht produceren dan wanneer hij bezig is te verkorten. De meeste kracht kan een spier produceren als hij wordt uitgerekt tijdens een contractie.

De absolute kracht die een spier bij een bepaalde lengte kan produceren, hangt ook samen met het aantal sarcomeren dat binnen de spiervezels naast elkaar ligt. Voor de gehele spier is dit aantal evenredig met de gezamenlijke doorsnede van alle spiervezels samen. Deze doorsnede wordt de fysiologische dwarsdoorsnede genoemd. Een spier met een doorsnede van 1 cm^2 blijkt bij optimale sarcomeerlengte een maximale kracht van circa 30 Newton te kunnen produceren, een spier van 2 cm^2 60 Newton, enzovoorts. Via anatomische technieken kan van elke spier de fysiologische dwarsdoorsnede bepaald worden en zo kan een schatting worden gemaakt van de maximale kracht die een spier kan leveren.

De maximale absolute afstand waarover een spiervezel zich kan verkorten wordt niet door het aantal naast elkaar (parallel) gelegen sarcomeren bepaald, maar juist door het aantal sarcomeren dat in de lengterichting van de spiervezel achter elkaar (in serie) ligt. Hoe langer de spiervezel, hoe groter dit aantal. Dus langere spiervezels kunnen zich over een grotere afstand verkorten dan korte spiervezels. Met betrekking tot de grootte van de maximaal mogelijke verkorting blijkt uit het lengte-krachtdiagram dat een sarcomeer zich van circa 4 μm tot 2 μm kan verkorten. Als vuistregel kan dus gesteld worden dat een spiervezel zich tot circa 50% van zijn maximale actieve lengte kan verkorten.

Een andere belangrijke functionele parameter is de hoeveelheid arbeid die geleverd kan worden. Deze is gelijk aan het product van spierkracht en verkortingsafstand (arbeid = kracht \times weg). Omdat de maximale spierkracht evenredig is met de fysiologische dwarsdoorsnede en de verkorting met de vezellengte, is het volume (= doorsnede \times lengte) van een spier een maat voor de hoeveelheid arbeid die hij kan leveren. Door verschillen in aantal en lengte van spiervezels kunnen spieren met eenzelfde volume toch qua mogelijke kracht en verkorting van elkaar verschillen. Dit wordt duidelijk uit afbeelding 2 waar drie schematische spieren met eenzelfde volume (= arbeid) met elkaar worden vergeleken. Spier B bestaat uit relatief veel korte spiervezels, spier C uit relatief weinig lange spiervezels,

terwijl spier A tussen beide uitersten in ligt. De drie spieren kunnen in principe eenzelfde hoeveelheid arbeid leveren, maar bij spier B gaat het produceren van kracht (meer spiervezels) ten koste van het produceren van verkorting, terwijl bij spier C het produceren van verkorting ten koste gaat van het produceren van kracht; bij spier A is er sprake van een compromis tussen kracht en verkorting. Door de anatomische bouw van spieren te vergelijken kunnen we dus uitmaken of ze een architectuur hebben met een prioriteit voor het leveren van kracht dan wel voor verkorting.

3 Architectuur van de kauwspieren en functionele consequenties

Sarcomeerlengte, fysiologische dwarsdoorsnede en vezellengte zijn dus belangrijke parameters voor het functioneren van spieren. De krachten en de verkortingen die de kauwspieren op een bepaald moment tijdens de kauwcyclus kunnen produceren, hangen er nauw mee samen. Wat voor betekenis heeft het bovenstaande nu voor het functioneren van de kaaksluiters en de openers, vooral voor de hoeveelheid kracht en verkorting die ze kunnen produceren bij verschillende posities van de onderkaak?

De positie die de sarcomeren tijdens open- en sluitbewegingen op het lengte-krachtdiagram innemen, is van belang voor de hoeveelheid kracht die spieren op een bepaald moment tijdens de bewegingen kunnen produceren. We moeten dus weten hoe lang de sarcomeren van de verschillende spieren bij verschillende onderkaakposities zijn. De sarcomeren van de kaaksluiters zijn het langst als de kaak wijd geopend is en het kortst bij een gesloten kaak.³ De sarcomeren van de openers bereiken daarentegen hun grootste lengte bij een gesloten kaak en hun kleinste lengte bij een geopende kaak (afb. 1). Een sluiting van de kaak komt tot stand door een actieve verkorting van de sarcomeren van de sluiters. Gelijktijdig zullen de sarcomeren van de openers passief uitgerekt worden en dus tijdens de sluitbeweging steeds langer worden. Tijdens een kaakopening vindt het omgekeerde plaats: de sarcomeren van de openers verkorten zich, terwijl die van de sluiters passief worden uitgerekt. Het blijkt dat zowel de sluiters als de openers hun optimale sarcomeerlengte bereiken bij een lichte (10°) kaakopening. Voor de sluiters betekent dit dat tijdens een sluitbeweging vanuit maximale opening hun kracht kan toenemen, totdat ze hun maximale kracht bereiken bij circa 10° opening; bij verdere sluiting tot occlusie neemt de kracht weer af. De grootste bij- en kauwkrachten worden dus niet bij een gesloten, maar bij een licht geopende kaak geproduceerd. Ook voor de openers geldt een dergelijke relatie tussen openingshoek en spierkracht.

Om een indruk te krijgen over de absolute grootte van de krachten, moet de fysiologische dwarsdoorsnede van sluiters en openers worden vergeleken (tab. I).³ Hieruit blijkt dat de gezamenlijke sluiters totaal circa 3,5 keer meer kracht kunnen produceren dan de openers. De spieren verschillen ook onderling in potentiële kracht. De m. temporalis is de sterkste sluiters, de m. pterygoideus medialis de zwakste. Van de openers is de m. pterygoideus lateralis het sterkst en de m. geniohyoideus het zwakst. Opvallend is ook dat verschillende delen van eenzelfde spier niet eenzelfde maximale kracht leveren. Het oppervlakkige deel van de m. masseter produceert bijvoorbeeld bijna twee keer zoveel kracht als het diepe deel en de onderste kop van m. pterygoideus lateralis is drie keer sterker dan de bovenste kop.

De sluiters hebben in het algemeen kortere vezels dan de openers. Vergelijk bijvoorbeeld de vezels van de m. pterygoideus medialis (1,3 cm) met die van de m. pterygoideus latera-

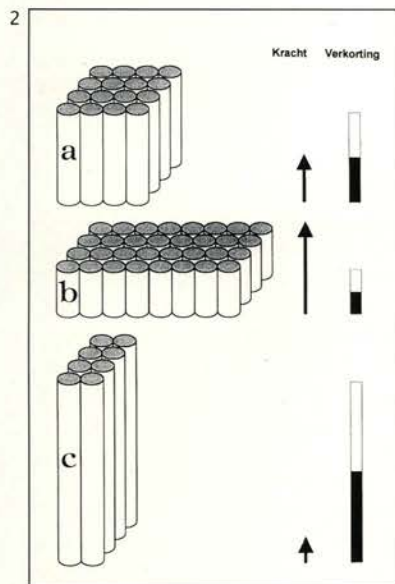
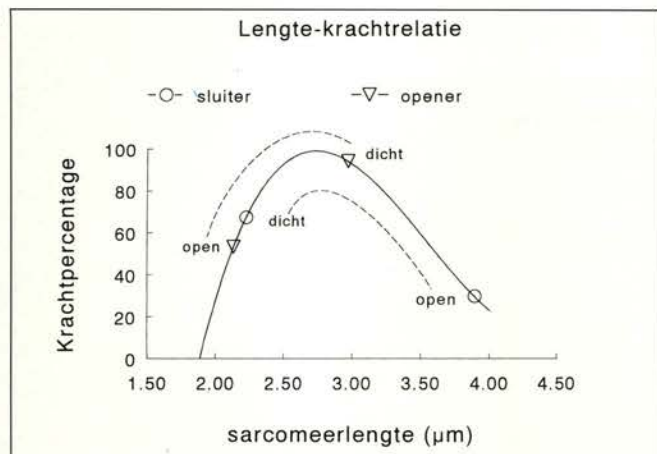
Tabel 1. Fysiologische dwarsdoorsnede, maximale kracht, spiervezellengte en momentarm van de kaakopeners en sluiters; gemiddelde waarden bepaald aan de rechter kant van het hoofd (n = 8).

		Doorsnede (cm ²)	Kracht (Newton)	Vezellengte (cm)	Momentarm (cm)
Masseter	pars superficialis	6,8	204	2,4	3,3
	pars profunda	3,5	105	1,8	2,9
	totaal*	10,3	309	2,1	
Temporalis	pars anterior	7,7	231	2,7	2,7
	pars posterior	5,6	168	2,5	1,3
	totaal	13,3	399	2,6	
Pterygoideus medialis		6	180	1,3	2,5
Pterygoideus lateralis	caput inferius	2,8	84	2,3	0,4
	caput superius	0,9	27	2,1	0,2
	totaal	3,7	111	2,2	
Digastricus	venter posterior	1,2	36	2,1	3,3
	venter anterior	1,2	36	2,1	7,6
	totaal**	1,2	36	4,2	
Geniohyoideus		1	30	3,4	8,2
Mylohyoideus		2,1	63	2,8	4,3
Totaal sluiters		29,6	888	2	
Totaal openers		8,0	240	3,2	

*Gemiddelde voor de spiervezellengten
 **Omdat de twee buiken van de m. digastricus in serie liggen, het gemiddelde van de dwarsdoorsnedes en de som van de spiervezellengten

lis (2,2 cm). Functioneel betekent dit verschil in lengte dat de openers over grotere afstanden kunnen verkorten en grotere contractiesnelheden kunnen bereiken dan de sluiters.

Uit de vergelijking van de spiervolumina blijkt dat de kaaksluiters drie keer zoveel arbeid kunnen leveren als de openers. In het algemeen geldt dat de architectuur van de sluiters hen in staat stelt om veel kracht te produceren, terwijl bij de openers het accent meer op het produceren van grote verkortingen ligt. Wat dit betreft valt de bouw van de kaaksluiters het beste te vergelijken met die van spier B in afbeelding 2 en van de openers met spier C. Bij de sluiters worden zoveel mogelijk relatief korte spiervezels binnen een bepaald volume gestapeld. Bij de kaakopeners is het aantal spiervezels minder van belang dan hun lengte. De kaaksluiters hebben dan ook veel grotere aanhechtingsgebieden nodig om alle spiervezels te laten aanhechten dan de kaakopeners. Bij de sluiters hechten de vezels dan ook via relatief lange peesplaten aan het bot en ze hebben in lengtedoorsnede een min of meer gevederd aspect. De lengte van hun spiervezels is relatief kort ten opzichte van de totale spierlengte die tussen de aanhechtingen aan de schedel (origo) en onderkaak (insertie) wordt overbrugd (bijv. bij de m. pterygoideus medialis is de lengte van de spiervezels 30% van de totale spierlengte). Bij de sluiters maken de vezels een hoek, dit is de vederingshoek, ten opzichte van de gemiddelde trekrichting van de spier. Bij de openers lopen de spiervezels juist parallel aan elkaar tussen origo en insertie en hechten of rechtstreeks (bijv. de m. mylohyoideus en de m. geniohyoideus) of via een korte strengetjes peesweefsel aan het bot. Bij de openers wordt de origo-insertieafstand grotendeels ingenomen door de



Afb. 1. Lengte-krachtrelatie van een sarcomeer en de veranderingen in sarcomeerlengte van een sluiters en opener tijdens een open-sluitbeweging; open: kaak 25° geopend, dicht: kaak gesloten in occlusie.

Afb. 2. Drie schematische spieren met een gelijk volume. Aantal en lengte van de spiervezels zijn niet gelijk en daardoor verschillen de spieren in geproduceerde kracht en verkorting.

relatief lange spiervezels (bijv. bij de *m. pterygoideus lateralis* wordt 70% van de totale spierlengte door spiervezels ingenomen).

4 Positie van de spieren in het kauwstelsel

Voor het mechanisch functioneren van het kauwstelsel is niet alleen de grootte van de spierkrachten van belang maar ook hun positie en trekrichting, het zijn immers vectoren. De trekrichting bepaalt onder meer of een bepaalde spier een open dan wel sluitbeweging geeft, protrusie of retrusie, en laterotrusie naar rechts of naar links. De sluiters hebben grote aanhech-

tingsgebieden waardoor er binnen deze spieren een grote diversiteit aan posities en richtingen van de spiervezels is. Hierdoor kunnen verschillende delen van een spier tegengestelde functies uitoefenen. Zo geeft bijvoorbeeld het voorste deel van de *m. temporalis* een protrusie en het achterste deel een retrusie. Het is daarom ook zinvol om verschillende delen aan dergelijke spieren te onderscheiden. Er bestaan niet alleen mechanische verschillen tussen de spierdelen. Ze blijken vaak ook te verschillen in de fysiologische eigenschappen van de motoreenheden (zie deel II in deze serie) en kunnen door het zenuwstelsel min of meer onafhankelijk van elkaar worden ingezet (zie deel IV in deze serie).^{4,5}

Het kauwstelsel is op te vatten als een hefboomsysteem en hefboomverhoudingen bepalen onder meer de hoeveelheid spierkracht die wordt omgezet in bijt-, kauw- en gewrichtskrachten (zie deel III in deze serie).⁶ Het moment (het product van kracht en moment-arm) dat een spier kan produceren bepaalt uiteindelijk zijn bijdrage aan de geleverde en/of kauwkracht. In tabel I worden de momentarmen van de verschillende spieren of spierdelen gegeven. De momentarm is hier gedefinieerd als de loodrechte afstand tussen kaakgewricht en spierwerklijn. Opvallend is dat, behalve de *m. pterygoideus lateralis*, de openers langere momentarmen hebben dan de sluiters. Deze spieren lijken dus mechanisch gezien in het voordeel ten opzichte met de sluiters. Als we bijvoorbeeld de *m. digastricus* (doorsnede 1,2 cm²) vergelijken met de *m. pterygoideus medialis* (doorsnede 6 cm²) dan is er een vijfvoudig verschil in de geschatte maximale kracht tussen beide spieren. Omdat de momentarm van de *m. digastricus* circa drie keer langer is dan die van de *m. pterygoideus medialis*, is het verschil in geproduceerd moment tussen beide spieren toch minder dan een factor 2. De langere momentarmen van de openers compenseren dus gedeeltelijk voor hun relatief kleine fysiologische dwarsdoorsnede.

Literatuur

- 1 Gordon AM, Huxley AF, Julian FJ. The variation in isometric tension with sarcomere length in vertebrate muscle fibers. *J Physiol* 1966; 184: 170-92.
- 2 Eijden TMGJ van, Koolstra JH, Brugman P. Architecture of the human pterygoid muscles. *J Dent Res* 1995; 74: 1489-95.
- 3 Eijden TMGJ van, Korfage JH, Brugman P. Architecture of the human jaw-closing and jaw-opening muscles. *Anat Record* 1997; in press.
- 4 Weijts WA. Kauwspieren. Deel II. De functionele eigenschappen van kauwspiervezels. *Ned Tijdschr Tandheelkd* 1997; 104: in press
- 5 Eijden TMGJ van, Blanksma NG. Kauwspieren. Deel IV. De kauwspieren werken niet homogeen. *Ned Tijdschr Tandheelkd* 1997; 104: in press.
- 6 Koolstra JH. Kauwspieren. Deel III. Mechanische werking van de kauwspieren. *Ned Tijdschr Tandheelkd* 1997; 104: in press.

Summary

FUNCTIONAL ANATOMY OF THE MASTICATORY MUSCLES

Key words: Masticatory muscles – Muscle force – Shortening range

The anatomical design of the jaw-closing and jaw-opening muscles is of importance for their capability to produce forces and displacements. The length of the sarcomeres is a major determinant for both force and shortening range. The maximal work, force and shortening range each muscle is capable of producing, are proportional to the architectural parameters volume, physiological cross-sectional area and fiber length, respectively. Compared to the jaw openers, the jaw closers are characterized by shorter sarcomeres at the closed jaw, larger masses of contractile and tendinous tissue, larger physiological cross-sectional areas, shorter fibers and shorter moment arms. In addition, architectural features vary across the muscles of the same functional group and in some muscles significant intramuscular differences are found. In general, the jaw closing-muscles have architectural features that suit them for force production, whereas the jaw-opening muscles are better designed to produce velocity and displacement.