

STRUCTUUR EN BOUW VAN HET KRAAKBEEN VAN HET KAAKGEWRICT

L. G. M. DE BONT
P. DE HAAN
G. BOERING

*Uit de Orofacial Research Group
van de rijksuniversiteit te Groningen.*

Trefwoorden: Gnathologie – Kaakgewricht – Kraakbeen – Arthrosis

Inleiding

Stoornissen in het kaakgewricht manifesteren zich doorgaans als een symptomencomplex, bestaande uit pijn, knappen en bewegingsbeperking.¹ Publikaties over het kaakgewricht hebben doorgaans betrekking op wat wordt genoemd dysfunctie, 'internal derangement' of arthrosis, met de daarbij behorende klinische symptomen en röntgenologische kenmerken. Het aantal publikaties waarin het microscopische beeld van het kraakbeen met de daarin opgetreden veranderingen wordt beschreven is beperkt, terwijl beschrijvingen van het submicroscopische beeld zeldzaam zijn. In het algemeen spelen degeneratieve veranderingen in synoviale gewrichten, in de literatuur bekend als 'regressive remodelling', osteoarthrosis, arthrosis deformans, degeneratieve arthritis, etc., zich af in het gewrichtskraakbeen en het onderliggende bot en wel op submicroscopisch niveau.² In het gewrichtskraakbeen worden zij gekenmerkt door een desintegratie van het collageen vlechtwerk en een vermindering van de hoeveelheid tussenstof.^{3,4}

De kennis van de structuur en bouw van het articulaire kraakbeen van het kaakgewricht (afb. 1) met zijn verschillende componenten zoals die uit de kaakgewrichtsliteratuur blijkt is nog gebrekkig.⁵ Een duidelijke consensus ontbreekt. Wel is duidelijk dat het kraakbeen van het kaakgewricht op microscopisch en submicroscopisch niveau tal van overeenkomsten vertoont met dat van andere synoviale gewrichten zoals de heup en de knie.

Het doel van dit artikel is een overzicht te geven van de hedendaagse opvattingen over structuur en bouw van het kraakbeen van het kaakgewricht van de mens.

Gewrichtskraakbeen in het algemeen

Het kraakbeen van synoviale gewrichten bestaat globaal uit kraakbeencellen, collageen vezels, proteoglycanen en water. De collageen vezels en de proteoglycanen vormen de extracellulaire matrix. Daarnaast worden glycoproteïnen en, zij het in kleine fracties, lipiden en anorganische stoffen aangetroffen. De vezels vormen een driedimensionaal vlechtwerk waarin de homogene tussenstof, bestaande uit de hydrofiele proteoglycanen is opgenomen. Deze proteoglycanen liggen niet alleen ruimtelijk gezien opgesloten in het vezel-vlechtwerk, maar gaan bovendien een vermoedelijk chemische interactie aan met bepaalde onderdelen van de collageen vezels. Ten gevolge van het hydrofiele karakter van de proteoglycanen is de tussenstof zeer waterrijk. Hij heeft een karakter van een hydrofiele gel die de eigenschap heeft te zwellen door via osmose water aan te trekken vanuit de synoviale vloeistof. De gel kan echter nauwelijks expanderen doordat hij is opgesloten in het hechte vlechtwerk van collageen vezels die hierdoor voortdurend onder spanning staan. Op deze wijze is de hydrostratische druk in het inwendige van (onbelast) articulaire kraakbeen te verklaren.⁴ Als het gewrichtsoppervlak wordt belast neemt de druk in het articulaire kraakbeen toe en

Samenvatting:

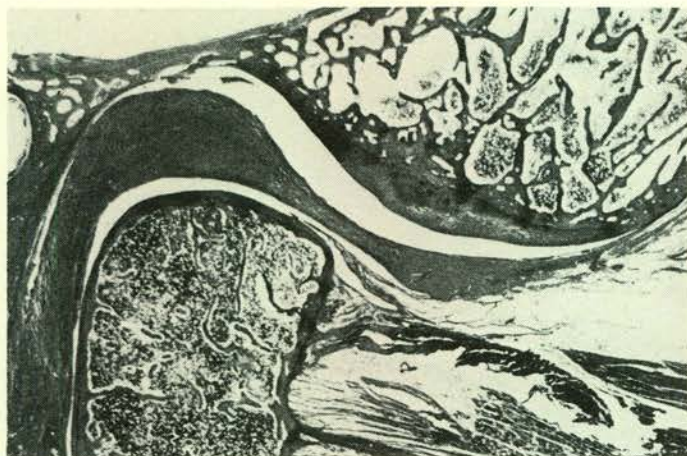
Degeneratieve veranderingen in gewrichtskraakbeen worden gekenmerkt door een desintegratie van het collageen netwerk en een depletie van de tussenstof.

In dit artikel wordt een overzicht gegeven van de hedendaagse nog gebrekkige kennis over de structuur en de bouw van het kraakbeen van het menselijk kaakgewricht. De samenstellende kraakbeencomponenten – cellen, collageen vezels en proteoglycanen – worden besproken.

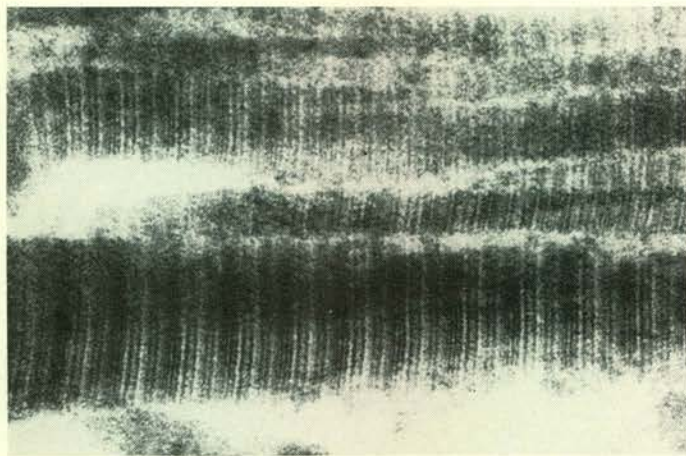
De te onderscheiden kraakbeenlagen van het kaakopje worden apart toegelicht. De relatie tussen vorm en functie, als ook de rol van 'remodelling' daarin, wordt benadrukt.

komt er meer spanning op de collageen vezels te staan.⁶ Op deze wijze wordt, evenals bij een fietsband, kracht op het oppervlak omgezet in trek op de wanden van de compartimenten. Wanneer de externe belasting zo groot wordt dat de in de matrix aanwezige osmotische druk wordt overschreden, zal water worden uitgeperst. Als de externe belasting afneemt, wordt weer water opgenomen en herkrijgt de matrix zijn oorspronkelijke vorm en volume. De kraakbeenbekleding van een gewrichtskop of -kom ontleent aan het boven beschreven mechanisme zijn mechanische eigenschappen.⁷ Articulaire kraakbeen heeft het vermogen:

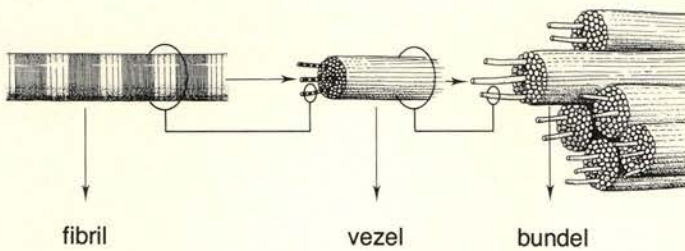
- een grote externe belasting op te vangen en te verdelen over het onderliggende bot;
- aanhoudende krachten, lokaal uitgeoefend op het oppervlak, om te zetten in trek op de collageen vezels en de belasting te verspreiden en zo de druk te reduceren;
- gewrichtsoppervlakken zonder veel



Afb. 1. Midsagittale doorsnede van het kaakgewricht. De kraakbeenbekleding van de kaakkop en het tuberculum articulare alsook het kraakbeen van de discus zijn duidelijk waarneembaar.



Afb. 2. Transmissie-elektronenmicroscopische opname van collageen fibrillen. De karakteristieke periodieke dwarsstreping is fraai waarneembaar (X 133.000).



Afb. 3. Diagram. De organisatie van het collageen, van fibril tot bundel, wordt weergegeven.

frictie over elkaar te laten glijden;
– schokken te absorberen.

Gewrichtskraakbeen bevat geen bloed- of lymfevaten en ook geen zenuwen. Het is dus gevoelloos. Het is niet bedekt door een perichondrium en het wordt gevoed vanuit de synoviale vloeistof langs de weg van diffusie. De dikte van de kraakbeenbekleding van grote gewrichten, zoals van heup en knie, varieert van 2-4 mm,⁸ op de kaak-kop is hij doorgaans niet meer dan 0,5 mm.⁹

Het articulaire kraakbeen van synoviale gewrichten kan in twee typen worden onderscheiden, namelijk: hyalien kraakbeen en vezelig kraakbeen. Dit onderscheid zou berusten op een grotere dichtheid van collageene vezels in vezelig kraakbeen waarbij bovendien het collageen van een andere type is dan in hyalien kraakbeen. De niet-vezelige componenten van de matrix in hyalien en vezelig kraakbeen verschillen niet van elkaar. Alleen het kaakgewricht en het sternoclaviculaire gewricht hebben een bekleding met vezelig kraakbeen. De oppervlakken van alle overige synoviale gewrichten zijn bekleed met hyalien kraakbeen.⁸

In het kraakbeen van het kaakgewricht zijn verschillende lagen of zones te onderscheiden.¹⁰ Iedere zone heeft zijn specifieke kenmerken wat betreft structuur en samenstelling; het aantal en de soort cellen, het collageene vlechtwerk en waarschijnlijk ook de samenstelling van de tussenstof verschillen per laag.¹¹

Cellen

De kraakbeencellen (chondrocyten) nemen slechts 0,01 tot 0,1% van het weefsel-volume in, maar zij vervullen een essentiële rol in de stofwisseling van het kraakbeen met name als producenten van de collageenmoleculen (het tropocollageen) en de tussenstof (de proteoglycanen) van de matrix.⁷

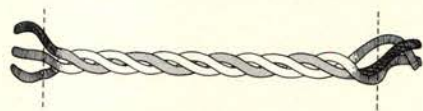
In de oppervlakkige, vezelige laag van het gewrichtskraakbeen van de kaakkop worden vooral op fibrocyten gelijkende cellen aangetroffen. De functie van de fibrocyt op deze plaats is vergelijkbaar met die van de chondrocyt. Zowel chondrocyten als fibrocyten worden aangetroffen als jonge cel, met de kenmerken van het blastensta-

dium maar ook als duidelijk verouderde cellen, veelal met kenmerken van necrose. Delende cellen worden microscopisch zelden waargenomen.¹²

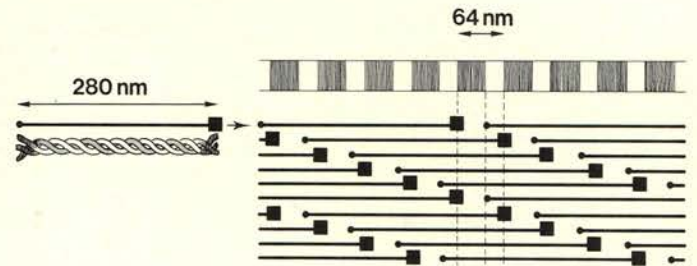
Collageen

Articulair kraakbeen bestaat voor het grootste deel uit collageen (meer dan 50% van het droge gewicht). De collageene vezels vormen een vlechtwerk.⁷ De organisatie van de individuele vezels in bundels of lamellen is per kraakbeenlaag verschillend. Het dunste met de elektronenmicroscopie te onderscheiden individuele collageenvezeltje heet een filament. Wanneer het transmissie-elektronenmicroscopische beeld van een collageenvezeltje een karakteristieke dwarse streping om de 54 tot 64 nm vertoont spreekt men van een fibril (afb. 2).⁷ De doorsnede van een fibril in articulaire kraakbeen varieert van 30 tot 110 nm. De meeste fibrillen zijn dunner dan 100 nm. Een aantal fibrillen bundelen zich tot een vezel of tot een lamel van fibrillen. Een vezel kan dus gedefinieerd worden als een verzameling van fibrillen. Een bundel is een verzameling van vezels. De organisatie van de collageene fibrillen tot vezels en bundels is vergelijkbaar met de organisatie van de vezels in een dik touw (afb. 3).⁷ Het zijn deze bundels van collageene fibrillen die met de lichtmicroscopie goed zijn waar te nemen.

De vorming van de collageenmoleculen, het tropocollageen, vindt volgens de algemene principes van de eiwitssynthese plaats. In een chondrocyt (of fibrocyt) wordt in het granulaire endoplasmatische reticulum een peptideketen plus extensie



Afb. 4. Diagram. De helixvorm van het procollageenmolecule, dat samengesteld is uit drie pro- α -ketens. In collageen type I wijkt één pro- α -keten af, de overige twee zijn identiek. De extensies worden extracellulair afgesplitst zoals weergegeven.



Afb. 5. Diagram. Registratievorming van de tropocollageenmoleculen, die zich systematisch naast en achter elkaar rangschikken. In de transmissie-elektronenmicroscopie is daar een witte band zichtbaar waar de aan de tropocollageenmoleculen gebonden contraststoffen maximaal over elkaar heen geprojecteerd worden.

gevormd van totaal ongeveer 1200 aminozuren, de zogenaamde pro- α -keten. Gedurende de biosynthese van de pro- α -keten vindt hydroxylering plaats van specifieke prolyl- en lysyl-residuen, alsook glycosylering van een deel van de gevormde hydroxylysyl-residuen. De extensiepeptiden die zich bevinden aan zowel het C- als N-terminale deel van de keten bevatten zwavelhoudende aminozuren en zijn betrokken bij de assemblage van het procollageen. Hierbij winden zich drie pro- α -ketens om elkaar heen, daarbij een schroefvormig gevormde streng, de 'triple helix' vormend. De aldus gevormde streng wordt het procollageen genoemd (afb. 4). Het procollageen wordt getransporteerd naar het Golgi-apparaat en vandaaruit via secretieblaasjes naar het celoppervlak waar extrusie plaatsvindt. Extracellulair vindt afsplitsing plaats van de extensies met behulp van procollageenpeptidasen en ontstaat het tropocollageen.¹³

Tropocollageen, de moleculaire bouweenheid van het collageen, heeft een lengte van ca. 280 nm en een middellijn van ca. 1,4 nm. Een intrinsieke eigenschap van het tropocollageenmolecule is dat het gemakkelijk associeert onder vorming van aggregaten. Afhankelijk van de milieu-omstandigheden leggen de tropocollageenmoleculen zich aan een regelmatig patroon van overlappingsen (afb. 5).

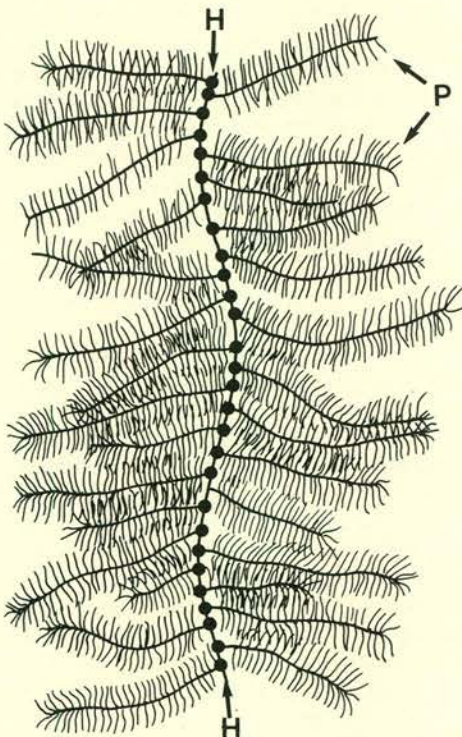
Het ontstaan van de dwarse streping kan volgens sommige auteurs verklaard worden uit het alternerend voorkomen van polaire en apolaire gebieden in de aldus gerangschikte tropocollageenmoleculen. Polaire gebieden binden zich gemakkelijker met zware metalen dan de apolaire en vormen op deze wijze het contrast in het elektronenmicroscopische preparaat.

Collageene fibrillen bestaan uit vele naast en achter elkaar gerangschikte tropocollageenmoleculen. Tussen de moleculen die naast elkaar liggen ontstaan covalente bindingen, zogenaamde intermoleculaire 'cross-links'. Hieraan ontleent het collageen zijn sterkte. De factoren die de lengte en dikte bepalen van de te vormen collageene vezels zijn grotendeels onbegrepen.

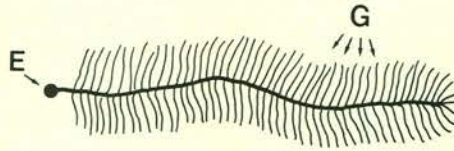
In zoogdieren komt het collageen, voor zover tot op heden bekend, in vier typen (I, II, III en IV) voor. Deze typering van collageen berust op verschillen in aminozuursamenstelling, aminozuurvolgorde en de mate van glycosylering van hydroxylysine in de pro- α -keten. Hyalien kraakbeen bevat type II-collageen. De collageenmoleculen daarin bestaan uit drie identieke α_1 II-ketens. Vezelig kraakbeen bevat type I-collageen waarvan de collageenmoleculen uit 2 α_1 I-ketens en 1 α_2 -keten bestaan.⁸

Proteoglycanen

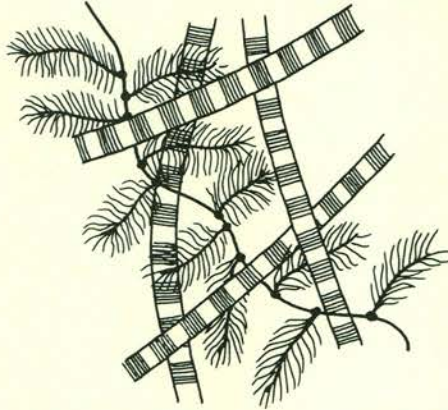
De tussenstof van de kraakbeenmatrix bestaat voornamelijk uit aggregaten van proteoglycaanmoleculen, die gebonden zijn aan een hyaluronzuurfilament (afb. 6). Deze grote molecuulcomplexen zijn zeer hydrofiel. Een hyaluronzuurfilament heeft een lengte van ongeveer 1200 nm. De hieraan als zijketens gekoppelde proteoglycaanmoleculen variëren in lengte van 300-400 nm.¹⁵ Een proteoglycaanmolecule bestaat uit een eiwitkern waaraan gekoppeld een groot aantal uit gesulfateerde glycosaminoglycanen bestaande zijketens (afb. 7). Glycosaminoglycanen zijn lange, onvertakte ketens van zich herhalende disacchariden, zoals het chondroitine-4-sulfaat, chondroitine-6-sulfaat, kerataansulfaat en



Afb. 6. Diagram. Aggregaat van proteoglycaanmoleculen (P) gebonden aan een hyaluronzuurfilament (H).



Afb. 7. Diagram. Detail van afbeelding 6: een proteoglycaanmolecule. De glycosaminoglycanen (G) zijn gebonden aan een eiwitkern (E).



Afb. 8. Diagram. De proteoglycaanmoleculen slingeren zich tussen de collagene fibrillen.

hyaluronzuur. Het hyaluronzuur is een niet-gesulfateerd glucosaminoglycaan.¹⁵ De proteoglycanen, georganiseerd in de hierboven genoemde complexen, vullen de ruimten tussen de collagene fibrillen in de matrix geheel op en slingeren zich hierbij tussen de collagene fibrillen (afb. 8).¹⁶ Een binding tussen de proteoglycanen en collageen is biochemisch nog niet aangetoond. Er zijn echter duidelijke aanwijzingen dat er tijdens de matrixsynthese een wisselwerking is tussen de collagene vezels en de proteoglycanen.⁴ De vorming van de proteoglycanen vindt plaats in de chondrocyten. Het proces start met de synthese van de eiwitten in het granulaire endoplasmatische reticulum. Terwijl de eiwitkern nog wordt gevormd, wordt reeds een begin gemaakt met het binden van oligosacchariden. Vanuit het endoplasmatische reticulum bewegen de zich vormende moleculen naar het Golgi-apparaat. Hier vindt de voltooiing plaats van de aan de eiwitkern gekoppelde polysaccharideketens alsook de sulfatering. Waarschijnlijk vinden vorming en koppeling van chondroitine- en kerataansulfaat op overeenkomstige wijze plaats. De complete moleculen worden verzameld in secretieblaasjes en vervolgens door de cel uitgestort in de extracellulaire ruimte.¹⁶

De kraakbeenbekleding van het kaakoppje

Het kaakoppje is bedekt met een dun laagje kraakbeen van doorgaans 0,5 mm dik. De te onderscheiden lagen zijn:¹⁰

- articulaire zone,
- proliferatieve zone,



Afb. 9. Lichtmicroscopische opname van het kraakbeen van een volwassen kaakoppje. De onderscheiden lagen zijn goed te zien (X 200). Articulare zone (AZ), proliferatieve zone (PZ), vezelkraakbeen-zone (VZ), gecalcificeerde kraakbeen-zone (GZ), subchondraal bot (SB).

- vezelkraakbeen-zone,
- gecalcificeerde kraakbeen-zone,
- subchondraal bot (afb. 9).

De laagsgewijze bouw van het articulaire kraakbeen van de volwassen kaakoppje onderscheidt zich voornamelijk op twee punten van die van bijvoorbeeld de heupkop.

a. De bovenste zone grenzend aan de gewrichtsruimte, gewoonlijk *articulaire zone* genoemd, is in het kaakgewricht meer vezelrijk. Hij bestaat uit een bijzonder dicht weefsel en bevat weinig cellen. De zone imponeert dan ook meer als een stevige bindweefsellaag dan als een kraakbeenlaag.

b. Tussen de articulaire zone en de diepere lagen is in het kaakgewricht een zeer celrijke laag te onderscheiden. Deze zogenaamde *proliferatieve zone*,¹⁰ ook wel ongedifferentieerde mesenchymlaag geheten,⁹ is slechts enkele cellen dik en bevat multi-potentiële cellen. Deze cellen kunnen zich via het blastenstadium differentiëren tot chondrocyten of tot fibrocyten. Op grond van de aanwezigheid van deze cellaag, die in andere gewrichten ontbreekt, wordt het kaakgewricht enig reparatief vermogen toebedacht ('progressive remodelling').^{10 17} In de groeiende kaakoppje bevindt zich in deze proliferatieve zone het zogenaamde *groeicentrum*. De cellen prolifereren tot chondroblasten en chondrocyten en vormen de zogenaamde hypertrofische zone. Nadat de matrix is gevormd door de daarbij hypertrofisch geworden



Afb. 10 Scanningelektronenmicroscopische opname van het oppervlak van de kaakkop. De collage fibrillen vormen een duidelijk vlechtwerk (X 4000).

chondrocyten, vindt verkalking en enchondrale beenvorming plaats.

De diepere lagen van het kraakbeen van de kaakkop, inclusief het subchondrale bot, vertonen grote gelijkenis met de overeenkomstige lagen in het articulaire kraakbeen van bijvoorbeeld de heupkop of de knie.

De articulaire zone

Deze oppervlakkige kraakbeenlaag wordt gekenmerkt door een hecht vlechtwerk van collage fibrillen die voornamelijk georganiseerd zijn in lagen evenwijdig aan het oppervlak. De collage fibrillen vormen per laag een vlechtwerk, samengesteld uit lamellen van fibrillen die elkaar kruisen. De individuele fibrillen, fraai waarneembaar met behulp van de elektronenmicroscopie,¹⁸ hebben een verschillende diameter (afb. 2 en 10). De bovenste laag van de articulaire zone, met een dikte van ongeveer 25 μm en grenzend aan het gewrichtsoppervlak, heeft een dichtere pakking van collageen dan de rest van de articulaire zone.

Het oppervlak van het normale gezonde kaakkopje is glad. De veelal beschreven ruwheid, in de vorm van ribbels, bobbel en putjes, berust op artefacten veroorzaakt door het prepareren van de weefsels ten behoeve van de elektronenmicroscopie.¹⁹

De cellen in de articulaire zone lijken op fibrocyten. Ze zijn langwerpig en plat. De proteoglycanen manifesteren zich als partikels in het transmissie-elektronenmicroscopische beeld. Met behulp van basische

kleurstoffen kunnen zij zichtbaar gemaakt worden in de lichtmicroscopische coupes.¹³

De proliferatieve zone

Deze voor het gewrichtskraakbeen van de kaakkop zo kenmerkende zone heeft hoofdzakelijk een cellulair karakter.^{9 10 17} De mesenchymale cellen zijn ovaal van vorm en daarmee te onderscheiden van de platte fibrocyten en van de meer gedifferentieerde chondrocyten.¹² In de groeiende kaakkop is fraai te zien hoe de mesenchymale cellen prolifereren en tot chondroblasten worden.²⁰ In de volwassen kaakkop is de proliferatieve zone veelal niet goed waarneembaar. In het gebied van de kaakkop dat wordt belast, is veelal enige hypertrofie van zowel de articulaire zone als de eronder liggende vezelkraakbeen-zone te zien. De mesenchymale cellen lijken in het volgroeide gewricht dan verdwenen en de oorspronkelijke zone van ongeveer 3 cellagen dik, is met de lichtmicroscopie niet meer waarneembaar. Dit fenomeen wordt als een vorm van progressieve 'remodelling' gezien.¹⁷

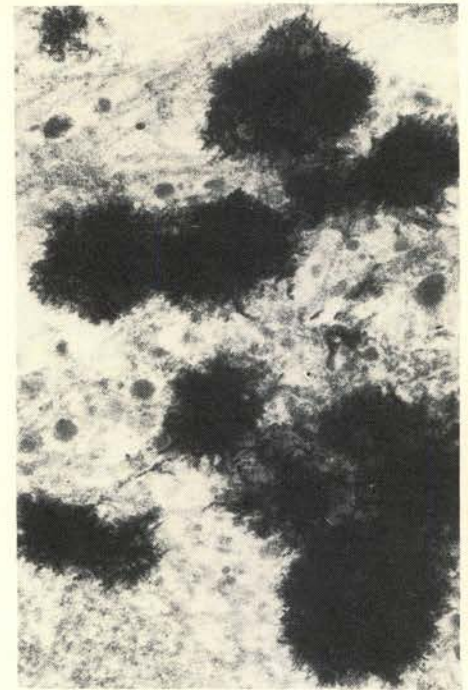
De vezelkraakbeen-zone

De collage fibrillen in deze diepere kraakbeenlaag zijn minder laagsgewijs georganiseerd dan in de articulaire zone. De fibrillen hebben de neiging zich te bundelen tot vezels in plaats van tot lamellen. De vezels, met de scanningelektronenmicroscopie te zien als bundeltjes fibrillen, lopen kris kras door het weefsel.¹¹ De diameter van de individuele fibrillen zou gemiddeld wat groter zijn dan die in de articulaire zone.⁷

De chondrocyten in deze laag zijn actieve, matrix synthetiserende cellen. De door de cellen uitgestorte tropocollageenmoleculen aggregeren in de directe omgeving van de celwand tot filamenten en fibrillen. Deze fibrillen zijn binnen een afstand van 1 μm van de celmembranen reeds waarneembaar met behulp van de elektronenmicroscopie. De pericellulaire matrix is dus geen lacune zoals op grond van de lichtmicroscopie wordt gesuggereerd.^{7 8} Veelvuldig kan echter ook afsterven van oudere chondrocyten worden waargenomen, gepaard gaand met de vorming van vetpartikels. De proteoglycanen onderscheiden zich in hun verschijningsvorm niet van die in de articulaire zone.

De verkalkte kraakbeen-zone

Het meest kenmerkende van deze laag, gelegen tegen het subchondrale bot, is de afzetting van kristallen bestaande uit calciumzouten. Deze kristallen liggen tussen de collage fibrillen als bolvormige structuren met sprietjes bezet (afb. 11).



Afb. 11. Transmissie-elektronenmicroscopische opname van calcificatiekernen in het verkalkte kraakbeen van de kaakkop (X 45.000).

De organisatie van de collage fibrillen komt overeen met die in de erboven gelegen vezelkraakbeen-zone. Het aantal aanwezige chondrocyten is geringer dan in het niet-verkalkte kraakbeen. Als een chondrocyt omgeven raakt door gecalcificeerd materiaal treden veelal degeneratieve veranderingen op. Om elke cel blijft een smalle zone niet-verkalkte matrix waarneembaar.⁷ Het verkalkingsfront heeft doorgaans een regelmatig verloop. De grens tussen verkalkt kraakbeen en het subchondrale bot is daarentegen onregelmatig. De in hyalien kraakbeen met de lichtmicroscopie duidelijk waarneembare basofiele lijn verkalkt en niet-verkalkt kraakbeen is in het articulaire kraakbeen van de kaakkop niet zo geprononceerd aanwezig.

Het kraakbeen van de discus articularis

De discus articularis volgt enerzijds de contour van het tuberculum articulare en de fossa, anderzijds die van de condylus. Hierdoor krijgt de discus zijn kenmerkende vorm: een voorste en achterste band met daartussen een relatief dun biconcaaf deel.²¹

Het centrale deel van de discus articularis, gelegen tussen condylus en tuberculum articulare, bestaat uit vezelig kraakbeen. Het exacte verloop en de organisatie van de collage fibrillen in de discus van het humane kaakgewricht is tot nu toe niet duidelijk beschreven. Waarschijnlijk vormen ze een driedimensionaal vlechtwerk, zoals de collage fibrillen in de discus van de rhesusaap.²² Over de chondrocyten en

de proteoglycanen in de discus is weinig bekend.'

Het kraakbeen van het tuberculum articulare

Het kraakbeen van het tuberculum articulare is, evenals dat van de kaakkop en de discus, van het vezelige type. Er is een laagsgewijze opbouw waarneembaar. Het verloop en de organisatie van de collageen fibrillen is niet beschreven. De dikte van de kraakbeenlaag is aan de dorsale zijde van het tuberculum het grootste (0,5-1 mm).

De fossa is bekleed met een meer periostachtige bindweefsellaag van $\pm 0,1$ mm dik.⁹

Over de celmorfologie en proteoglycanen-samenstelling en -verdeling van het kraakbeen van het tuberculum articulare is tot op heden niets gepubliceerd.

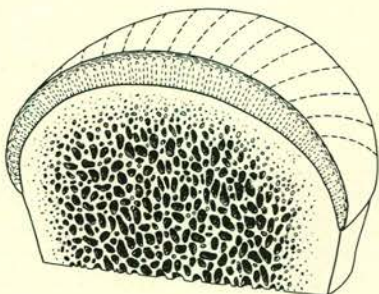
Discussie

Het is bekend dat degeneratieve veranderingen in synoviale gewrichten gepaard gaan met een verlies van articulair gewrichtskraakbeen. Er treedt een verval van kraakbeen op, berustend op een desintegratie van het collageen vlechtwerk en een vermindering van de hoeveelheid proteoglycanen.³

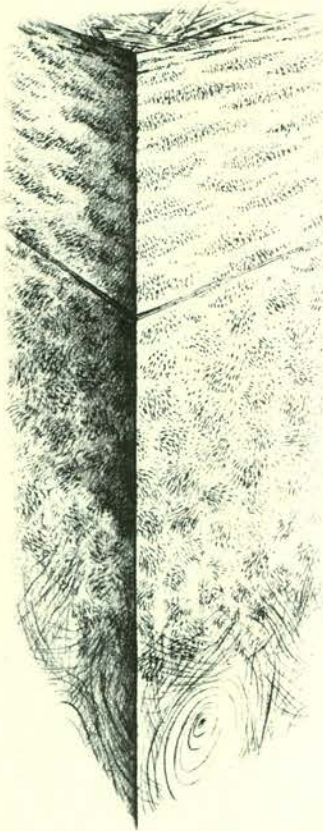
Op grond van een geconstateerde toename van het watergehalte in arthrotisch gewrichtskraakbeen kan geconcludeerd worden dat het de desintegratie van het collageen vlechtwerk is waardoor het kraakbeenverval wordt ingeluid.⁴⁻⁶ De proteoglycanen krijgen daardoor blijkbaar de kans te zwellen door meer water aan te trekken, het collageen vlechtwerk desintegreert hierdoor steeds verder waardoor de proteoglycanen uiteindelijk het netwerk verlaten.

Een nadere analyse van de structuur van het collageen vlechtwerk van het gezonde kaakgewricht en de veranderingen die daarin kunnen optreden is daarom gewenst.

Benninghoff concludeerde op grond van waarnemingen met behulp van microsco-



Afb. 12. Diagram. Het verloop van de collageen fibrillen volgens een arcadensysteem (naar Benninghoff²³).



Afb. 13. Diagram. Het collageen vlechtwerk van het kraakbeen van de kaakkop. De organisatie van de collageen fibrillen is in elke te onderscheiden laag verschillend van die in de andere; a: articulair oppervlak; b: articulaire zone; c: proliferatieve zone; d: vezelkraakbeenzone; e: gecalcificeerde kraakbeenzone; f: subchondraal bot.

pie met gepolariseerd licht dat de collageen vezelbundels zodanig gebogen verlopen dat een arcadensysteem wordt gevormd.²³ Tot voor kort werd aangenomen dat ook de individuele fibril als een boog verliep. De fibril zou, komend uit het gecalcificeerde kraakbeen, recht naar het oppervlak verlopen, daar afbuigen en over korte afstand parallel verlopen aan het gewrichtsoppervlak, om vervolgens weer af te buigen en regelrecht terug te keren naar het verkalkte kraakbeen (afb. 12).²⁴ Voor het kaakgewricht werd een dergelijk bogensysteem beschreven door Steinhart.²⁵

Op grond van beelden verkregen met behulp van de scanningelektronenmicroscoop moet ons inziens geconcludeerd worden dat de organisatie van de collageen fibrillen ingewikkelder is en dat zij een driedimensionaal vlechtwerk vormen dat voor de te onderscheiden kraakbeenlagen specifiek is (afb. 13).¹¹

Deze specificiteit in de structuur van de matrix in elke te onderscheiden zone is, naar men mag verwachten, gekoppeld aan de eisen die aan elke laag worden gesteld. Immers, tussen vorm en functie bestaat als regel een evenwicht, zowel macroscopisch als microscopisch. Het mechanisme dat dit

- a biologische evenwicht in stand houdt, wordt 'remodelling' genoemd. Dit proces is een fysiologische, niet-pathologische reactie op wijzigingen in de mechanische stimuli, resulterend in een aanmaak en afbraak van articulair weefsel zonder dat een defect optreedt. Het vindt zowel in het articulaire kraakbeen als in het onderliggende bot plaats.¹⁷
- b
- = c
- d
-
- e
-
- f

Wij delen Moffet's zienswijze dat arthrosis deformans beschouwd dient te worden als een pathologische situatie, waarin de functionele aanpassingscapaciteit van een gewricht wordt overschreden en de 'regressieve remodelling' het karakter krijgt van een destructief proces.²⁶ Het zou daarom juist zijn om te spreken van arthrosis re-formans.

De invloed die de synoviale vloeistof heeft op deze processen in het gewrichtskraakbeen is nog geheel onduidelijk. Aangezien dit kraakbeen gevoed wordt vanuit de synoviale vloeistof, lijkt de hypothese 'veranderingen in de synoviale vloeistof veroorzaken veranderingen in het articulaire kraakbeen' valide. Nader onderzoek hiernaar is noodzakelijk om de veranderingen in de gewrichtsoppervlakken te kunnen begrijpen.

De auteurs danken Dr. H. W. B. Jansen en Prof. Dr. E. J. 's-Gravenmade voor het kritisch doornemen van het manuscript, de heer E. van Ommen voor het maken van de diagrammen en de heer D. Huizinga voor het afdrukken van de foto's.

Summary:

Title: Structure of cartilage of the temporomandibular joint.

Keywords: Gnathology - Temporomandibular joint - Articular cartilage - Osteoarthritis

Knowledge about the structure of articular cartilage is of basic interest since collagen network disintegration and proteoglycan depletion are most likely the causes of degenerative changes in the articular cartilage of synovial joints.

The aim of this article is to describe the components of the human and temporomandibular joint articular cartilage - cells, collagen fibrils and proteoglycans - and their interrelationships in the different zones of the articular cartilage. The relationship between form, function and remodelling is emphasized.

Literatuur:

1. Boering G. Arthrosis deformans van het kaakgewricht. Een klinisch en röntgenologisch onderzoek. Dissertatie rijksuniversiteit te Groningen, 1966.
2. Sokoloff L. The pathology of osteoarthritis and the role of ageing. In: Nuki G, ed. The aetiopathogenesis of osteoarthritis. London: Pitman Medical, 1980: 1-15.
3. Freeman MAR, Meachim G. Ageing and degene-

- ration. In: Freeman MAR, ed. Adult articular cartilage. 2nd. ed. London: Pitman Medical, 1979: 487-540.
4. *Maroudas A.* Physicochemical properties of articular cartilage. In: Freeman MAR, ed. Adult articular cartilage, 2nd. ed. London: Pitman Medical, 1979: 215-90.
 5. *Boering G.* Anatomical and physiological considerations regarding the temporomandibular joint. Int Dent J 1979; 29: 245-51.
 6. *Hukins DWL.* Biomechanical properties of collagen. In: Weiss JB et al, eds. Collagen in health and disease. Edinburgh: Churchill Livingstone, 1982: 49-72.
 7. *Ghadially FN.* Fine structure of synovial joints. A text and atlas of the ultrastructure of normal and pathological articular tissues. London: Butterworths, 1983.
 8. *Meachim G, Stockwell RA.* The matrix. In: Freeman MAR, ed. Adult articular cartilage. 2nd. ed. London: Pitman Medical, 1979: 1-67.
 9. *Hansson T, Öberg T, Carlsson GE, Kopp S.* Thickness of the soft tissue layers and the articular disk in the temporomandibular joint. Acta Odontol Scand 1977; 35: 77-8.
 10. *Blackwood HJJ.* The temporomandibular joint: development, structure and function. In: Cohen B et al, eds. Scientific Foundations of Dentistry. London: Heinemann, 1976: 590-5.
 11. *De Bont LGM, Boering G, Havinga P, Liem RSB.* Spatial arrangement of collagen fibrils in the articular cartilage of the mandibular condyle; a light microscopic and scanning electron microscopic study. J Oral Maxillofac Surg 1984; 42: 306-13.
 12. *Toller PA.* Ultrastructure of the condylar articular surface in severe mandibular pain-dysfunction syndrome. Int J Oral Surg 1977; 6: 297-312.
 13. *Junqueira LC, Carneiro J.* Funcionele histologie. 2e dr. (Vert. J James et al.) Utrecht: Bunge, 1982.
 14. *Weiss JB, Ayad S.* An introduction to collagen. In: Weiss JB et al, eds. Collagen in health and disease. Edinburgh: Churchill Livingstone, 1982: 1-17.
 15. *Muir IHM.* The chemistry of the ground substance of joint cartilage. In: Sokoloff, ed. The joints and synovial fluid. Vol 11. New York: Academic Press, 1980.
 16. *Hascall VC, Hascall GH.* Proteoglycans. In: Hay ED, ed. Cell biology of extracellular matrix. New York: Plenum Press, 1981: 39-63.
 17. *Moffet BC, Johnson LC, McCabe JB, Askes HC.* Articular remodelling in the adult human temporomandibular joint. Am J Anat 1961; 115: 119-42.
 18. *De Bont LGM, Havinga P, Liem RSB, Boering G.* Fibrous component of the articular cartilage matrix of the mandibular condyle: a combined light-microscopic, scanning electronmicroscopic and transmission electronmicroscopic study. J Oral Rehabil 1983; 10: 451.
 19. *Ghadially FN, Yong NK, Lalonde JMA.* A transmission electron microscopic comparison of the articular surface of cartilage processed attached to bone and detached from bone. J Anat 1982; 135: 685-706.
 20. *Durkin JF, Heeley JD, Irving JT.* Cartilage of the mandibular condyle. In: Zarb GA et al, eds. Temporomandibular joint function and dysfunction. St. Louis: The C.V. Mosby Co., 1979: 43-100.
 21. *De Bont LGM, Blankestijn J, Van der Kuijl B, Boering G.* De rol van de discus articularis bij kaakgewrichtsklachten. Ned Tijdschr Tandheelkd (aangeboden ter publikatie).
 22. *Taguchi N, Nakata S, Oka T.* Three-dimensional observation of the temporomandibular joint disk in the rhesus monkey. J Oral Surg 1980; 38: 11-5.
 23. *Benninghoff A.* Form und Bau der Gelenkknorpel in ihren Beziehungen zur Funktion. II. Der Aufbau des Gelenkknorpels in seinen Beziehungen zur Funktion. Z Zellforsch Mikrosk Anat 1925; 2: 783-862.
 24. *Stockwell RA.* Biology of cartilage cells. Cambridge: Cambridge University Press, 1979.
 25. *Steinhardt G.* Funktion und strukturelle Veränderungen der Kiefergelenke. In: Schön F et al, eds. Europäische Prothetik heute. Berlin: Quintessenz, 1978: 515-25.
 26. *Moffet BC.* Persoonlijke mededeling, 1981.

Augustus 1984.

Ant. Deusinglaan 1,
9713 AV Groningen.

Boekbesprekingen

F. Gasser, H. U. Künzi, G. Henning: *Metalle im Mund*. 267 pag., 273 afb. Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin, Chicago, London, Rio de Janeiro, Tokyo 1984. Prijs DM 289,—. ISBN 3 87652 139 4.

Dit boek, dat rijk is geïllustreerd met zwart-wit- en kleurenfoto's, geeft eerst een metaalkundige inleiding, waarin de structuur en de opbouw van de legeringen uitgebreid en de mechanische eigenschappen in beperkter mate worden behandeld. Pas in het derde hoofdstuk, als men inmiddels tot pagina 67 is gevorderd, komen de (conventionele) tandheelkundige gietlegeringen aan de orde.

Interessanter wordt het met hoofdstuk 4, waarin de legeringen bedoeld voor het opbakken van porselein worden behandeld. Er wordt o.a. aandacht gegeven aan de groenverkleuring van het porselein door zilveraanslag in de oven, aan de problemen rond het gieten van palladiumlegeringen en aan de aard van de binding tussen legering en porselein.

De invloed van de thermische expansiecoëfficiënten op de hechting tussen legering en porselein wordt echter nauwelijks behandeld. De voor- en nadelen van goudlegeringen ten opzichte van de onedele legeringen (Cr-Ni; Cr-Co) zijn op een rijtje gezet.

Hoofdstuk 5 behandelt de kobaltchroomlegeringen voor uitneembare apparatuur. Zowel op de structuur als op de giettechniek wordt nader ingegaan. Het zesde hoofdstuk, dat aandacht aan amalgaam

besteedt, heeft weinig technologische diepgang. Mogelijke invloeden van kwik op de gezondheid worden breder belicht. Enige gevallen van kwikallergie worden beschreven.

Hoofdstuk 7 gaat over corrosie: ook hier het bekende verhaal resulterend in de conclusie dat amalgaamvullingen niet in contact mogen komen met gouden restauraties.

In hoofdstuk 8 wordt het overstapje gemaakt van corrosie via galvanische stroom naar intoxicatie en allergische reacties. Enige casuïstiek wordt beschreven waarbij een relatie wordt gelegd tussen de inhomogeniteit van de legeringen en de huiduitslag. De illustrering van het hoofdstuk doet meer vermoeden dan het werkelijk inhoudt.

Hoofdstuk 9 handelt over de biocompatibiliteit van de tandheelkundige legeringen. Eerst wordt aandacht gegeven aan de voorzorgen die getroffen moeten worden bij het verwerken van beryllium- en nikkelhoudende legeringen. Vervolgens komen implantaten aan de orde waarbij de aandacht gevraagd wordt voor het biotolerante titaan als ook voor implantaten die voorzien zijn van een (mogelijk bioactieve) tricalciumfosfaatlaag.

Het laatste hoofdstuk gaat over de tandtechnische verwerking van de gietlegeringen. Onderwerpen als smelten, gieten, soorten inbedmassa's en inbedtechniek komen aan de orde. Ook het solderen krijgt aandacht. Al met al een aardig hoofdstuk dat 45 pagina's beslaat.

Als conclusie mag worden gesteld dat het boek een goed overzicht geeft van de toe-

passing van tandheelkundige legeringen, waarbij gepoogd is een verband tussen theorie en praktijk te leggen. Na elk hoofdstuk is een literatuurlijstje gegeven dat echter niet verder gaat dan 1981.

Voor de tandarts en de tandtechnicus, die zich nog weinig in de onderhavige problematiek heeft verdiept, is het de moeite waard om het boek aan te schaffen. Het leest gemakkelijk en daarna is het een sieraad in de kast.

H. P. L. Schoenmakers

H. T. Schillingburg, E. L. Wilson, J. T. Morrison: *Guido to occlusal waxing*. Tweede druk, 58 pag., 181 afb. Quintessence Publishing Co., Inc., Chicago, Berlin, London, Rio de Janeiro, Tokyo 1984. Prijs \$ 24,00. ISBN 0 86715 147 1.

Het betreft hier een geïllustreerde handleiding over de functie en vormgeving van gegoten restauraties. Alhoewel de titel suggereert dat het alleen om opwassen en occlusale vormgeving gaat, wordt tevens ruimschoots aandacht gegeven aan de buccale, linguale en proximale contour.

Begonnen wordt met een uiteenzetting over de achtergronden van de occlusale vormgeving in was. De illustraties zijn sober maar zeer duidelijk. Vervolgens wordt ingegaan op de systematische opbouw van het occlusale vlak met behulp van de opwasmethode. De auteurs volgen hierbij de door Peter K. Thomas ontwikkelde volgorde van opwassen.

Tenslotte wordt van elk element de bucca-