

2 Toegepaste anatomie van het houdings- en bewegingssysteem

G.J. Kleinrensink en R. Stoeckart

Inhoud

- 2.1 Inleiding 23
- 2.2 Gewrichten 23
- 2.3 Botten 26
- 2.4 Spieren 30
- 2.5 Doorbloeding van de bovenste en onderste extremiteit 34
- 2.6 Innervatie van de bovenste en onderste extremiteit 35

2.1 Inleiding

Grondige kennis van de anatomie is van oudsher een voorwaarde voor de beoefening van de genees- en heekunde. In de tijd van Vesalius (1514-1564) was de anatomie de 'mainstream' van de geneeskunde, maar ook aan het begin van de 21e eeuw heeft ze nog niets ingeboet aan relevantie. Sterker, het vak heeft nieuwe dimensies gekregen door geavanceerde afbeeldingstechnieken als CT en MRI en door nieuwe benaderingswijzen als de endoscopische chirurgie. Voor een juiste interpretatie van de verkregen beelden is driedimensionale kennis van het lichaam onontbeerlijk.

Binnen de anatomie zijn grosso modo twee richtingen te onderscheiden: de descriptieve, topografische anatomie en de functionele anatomie. De functionele anatomie is nauw gerelateerd aan de biomechanica en probeert een bijdrage te leveren aan de verklaring van klachten aan het houdings- en bewegingssysteem. Voor operatieve behandelingen is topografische kennis natuurlijk van groot belang.

2.2 Gewrichten

In een gewricht (de 'junctura') komen twee of meer botten samen. Het verbindende element wordt gevormd door het gewrichtskapsel; de beweging en (minstens zo belangrijk) de stabiliteit van het gewricht worden gegarandeerd door de combinatie van benige architectuur, ligamenten en spieren. Beweging en stabiliteit zijn onlosmakelijk verbonden met het begrip 'sturing' en derhalve vervullen het centrale en het perifere zenuwstelsel een essentiële rol bij houding en beweging.

2.2.1 Soorten gewrichten

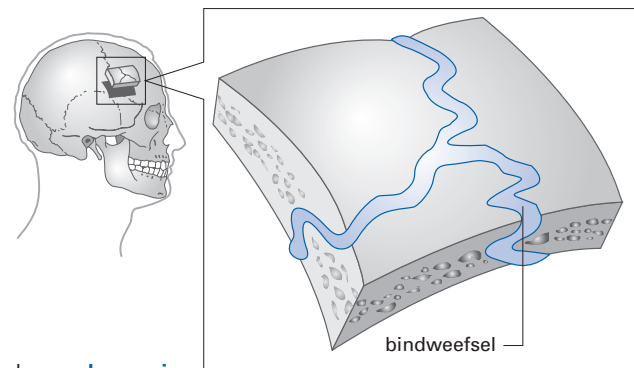
Gewrichten worden ingedeeld op basis van structuur en op basis van functie. De structurele classificatie berust voornamelijk op het materiaal of het weefsel dat zich tussen de botten bevindt. Er worden drie typen juncturae onderscheiden.

Junctura fibrosa

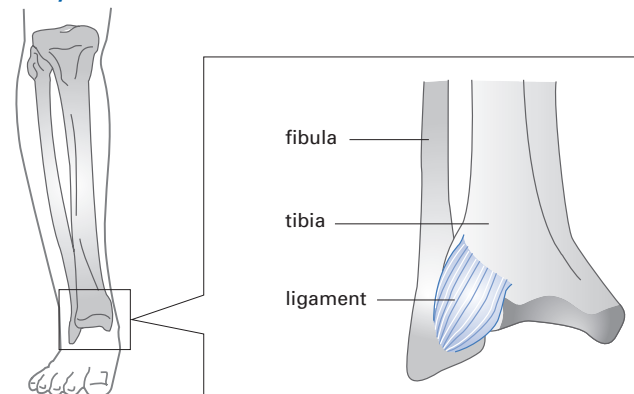
Bij de junctura fibrosa (figuur 2.1) bestaat het verbindende materiaal/weefsel uit bindweefsel. Dit type wordt verder onderverdeeld in:

- de *syndesmosis*: tussen de botten bevindt zich ofwel *collageen* bindweefsel in de vorm van een ligament (syndesmos = ligament) of een *membrana interossea* (tussen de botten van onderarm en onderbeen), ofwel *elastisch* bindweefsel (bijvoorbeeld de *ligg.flava* tussen de wervelbogen);

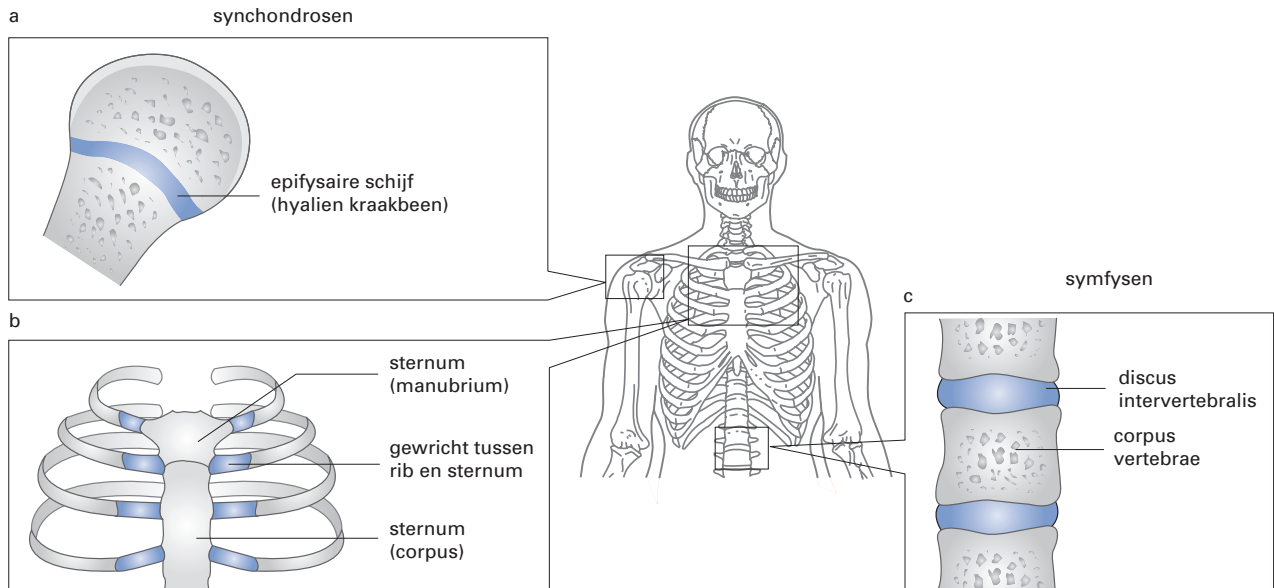
a naadverbinding



b syndesmosis



Figuur 2.1 Voorbeelden van een naadverbinding (*sutura*, a) en een syndesmosis (b).



Figuur 2.2 Voorbeelden van een synchondrosis (a, b) en een symphysis (c).

- de *sutura* of *synostosis* (naadverbinding): bij deze junctura, die uitsluitend in de schedel voorkomt, bevindt zich een dunne laag bindweefsel tussen de botten;
- de *gomphosis*: tussen tand en tandkas bevindt zich verbindend collageenweefsel.

Junctura cartilaginea

Bij de junctura cartilaginea (figuur 2.2) bestaat het verbindende weefsel uit kraakbeen. Er zijn twee typen:

- de *synchondrosis*: tussen de botten bevindt zich hyalien kraakbeen (bijvoorbeeld de epifysaire schijven als tijdelijke juncturae en de verbinding tussen manubrium en corpus sterni);
- de *symphysis*: tussen de botten bevindt zich vezelig kraakbeen (bijvoorbeeld de symphysis pubica en de symphysis intervertebralis, meestal discus intervertebralis genoemd).

Junctura synovialis

Het synoviale gewricht (figuur 2.3) heeft de volgende kenmerkende eigenschappen:

- een gewrichtsholte, waarin
- synovia (de gewrichtsvloeistof),
- gewrichtsvlakken (bekleed met hyalien kraakbeen),
- een gewrichtskapsel, lokaal versterkt met
- ligamenten.

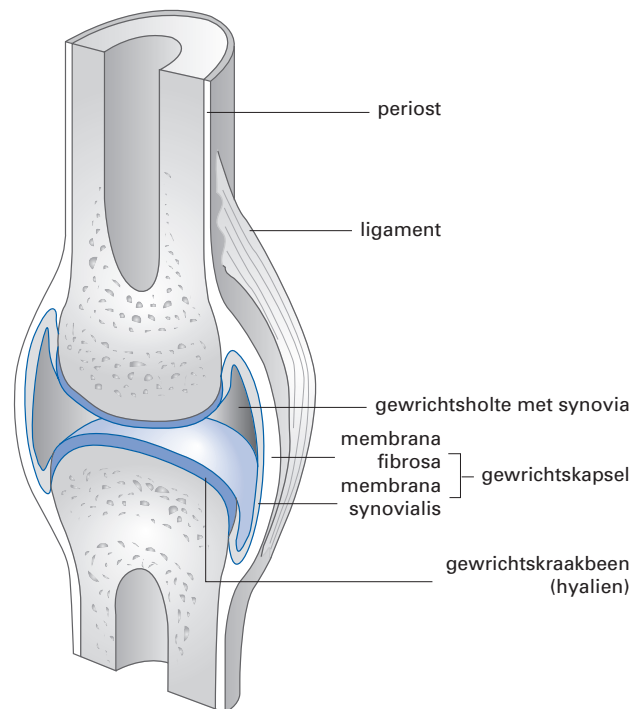
De gewrichtsholte is veelal een virtuele ruimte tussen spiegelgladde botoppervlakken. De hoeveelheid synovia is miniem; vaak gaat het slechts om een vloeistoflaagje ter dikte van enkele moleculen. De synovia is een dialysaat van bloed met verscheidene functies: vermindering van de wrijving tussen de gewrichtsvlakken, voeding van het gewrichtskraakbeen en schokdemping.

Het gewrichtskapsel bestaat uit:

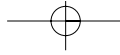
- een binnenwand: de membrana synovialis die zowel synovia

- produceert als de met metabolieten ‘vervuilde’ synovia resorbeert;
- een buitenwand: de membrana fibrosa, een laag collageen bindweefsel die zich versterkt tot ligamenten op plaatsen waar grote trekkrachten inwerken.

Op basis van hun beweeglijkheid worden de synoviale gewrichten, het meest voorkomende type gewricht in de extremiteiten, *diartrose* genoemd.



Figuur 2.3 Schematische weergave van een synoviaal gewricht.



2.2.2 Factoren die de stabiliteit van een gewricht bepalen

De stabiliteit van een gewricht onder belasting wordt voornamelijk bepaald door drie factoren: de benige architectuur van de gewrichtskop en -kom, de ligamenten en de spieren.

- *De benige architectuur van gewrichtskop en -kom.* Vergelijk het schouder- en het heupgewricht.
- *De ligamenten.* Een ligament is een versterking van het gewrichtskapsel en maakt er deel van uit. Bij onderzoek naar de verhouding tussen belasting en belastbaarheid van ligamenten blijkt dat de berekende belasting vaak groter is dan de belastbaarheid van de ligamenten. Dit betekent dat reeds bij een fysiologische belasting van een gewricht de trekkracht van de ligamenten vaak niet groot genoeg is om stabiliteit te garanderen. Dan is dus spierkracht nodig om de betreffende ligamenten te ‘beschermen’.
- *De spieren.* Bij de meeste gewrichten van de extremiteiten zijn de spieren de belangrijkste stabiliserende factor. Zelfs in rust is de spiertonus van belang voor het handhaven van de integriteit van gewrichten. Essentieel voor deze ‘actieve stabiliteit’ is de artrokinetische of artrokinematische reflex. Vanuit de sensoren (mechanoreceptoren) in het gewrichtskapsel en in de spieren wordt de positie van de gewrichten permanent gecontroleerd. Rek op deze sensoren leidt via het perifere zenuwstelsel en ruggenmerg tot reflectoire activiteit van de relevante spieren. Zo leidt bijvoorbeeld passieve dorsale flexie van de enkel tot reactieve EMG-activiteit van de plantaire flexoren van de enkel.

2.2.3 Beweging in gewrichten

Omdat in de extremiteiten de meeste gewrichten van het synoviale type zijn, beperken wij ons hier tot beweging in deze gewrichten. In principe zijn de factoren die de stabiliteit waarborgen ook bepalend voor de beweging. De belangrijkste factor voor de bewegingsmogelijkheid is echter de benige architectuur. Bij beweging in een gewricht zijn *translatie* en *rotatie* te onderscheiden.

Translaties komen voor in gewrichten waarbij twee (bijna) vlakke botstukken als het ware langs elkaar ‘glijden’.

Bij rotatie (angulaire verplaatsing) wordt de hoek tussen de twee betrokken botstukken groter en kleiner. Rotatie vindt plaats rond een (denkbeeldige) as of rond meerdere assen. Bij onderzoek is gebleken dat in veel gewrichten (bijvoorbeeld het enkelgewricht) de ligging van de assen tijdens beweging verandert, zodat gesproken moet worden van *momentane* rotatieassen. Om praktische redenen wordt het aantal assen gereduceerd tot een maximum van drie. Hiermee zijn alle bewegingen in gewrichten redelijk goed te beschrijven. Als voorbeeld wordt het schoudergewricht besproken. Het schoudergewricht is een multiaxiaal (lees: drieclassig) gewricht. Het heeft een:

- *sagittale as* (als het ware als een sagitta (= pijl) van ventraal in de schouder geschoten); bewegingen: abductie (van het lichaam af bewegen) en adductie (naar het lichaam toe bewegen) van de arm;

- *transversale as* (van lateraal in de schouder geschoten); bewegingen: anteflexie (naar voren) en retroflexie (naar achteren); vergelijkbare termen zijn respectievelijk flexie en extensie;
- *longitudinale as* (van craniaal ingeschoten); bewegingen: endorotatie (naar binnen draaien) en exorotatie (naar buiten draaien).

In de meest voorkomende praktische situaties werkt dit uitstekend. In complexere situaties (bijvoorbeeld het ontwerp van kunstgewrichten) is een precieze analyse van de positie van de rotatieassen noodzakelijk.

Een meer gedetailleerde bespreking van bewegingen, vrijheidsgraden, assen en vlakken in gewrichten valt buiten het kader van dit hoofdstuk. Hiervoor wordt verwezen naar de relevante anatomische leerboeken.

2.2.4 Typen synoviale gewrichten

Het is praktisch de synoviale gewrichten in te delen op basis van hun bewegingsmogelijkheid, dus op het aantal gewrichtsassen, in combinatie met de vorm van kop en kom (figuur 2.4). Zo ontstaat de volgende indeling.

Non-axiale gewrichten

- *Vlakke gewrichten (art.plana)*: in essentie zijn de gewrichtsvlakken vlak; de bewegingsmogelijkheden zijn beperkt tot translaties. Voorbeelden zijn intercarpale en intertarsale gewrichten en de zygapofyseale of facetgewrichten van de verbindingen tussen de wervels.

Uniaxiale gewrichten

Rotatie vindt plaats rond één as. Translatie is in principe wel mogelijk, maar wordt gewoonlijk door ligamenten sterk beperkt.

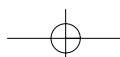
In combinatie met de gewrichtsvorm zijn twee soorten te onderscheiden.

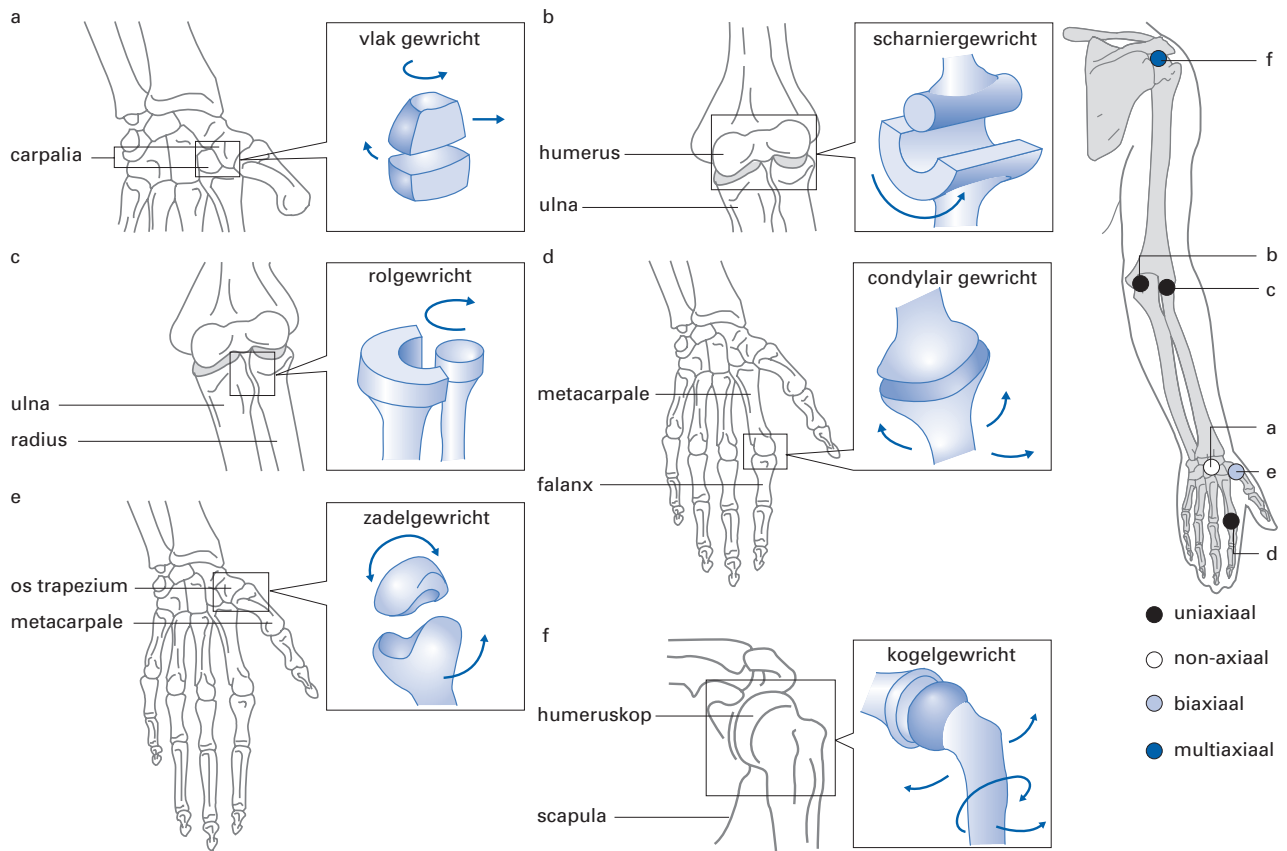
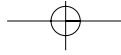
- *Scharniergewricht (ginglymus)*: een convex/cilindrisch botdeel (kop) past in een concaaf gewrichtsvlak (kom). De beweging lijkt op die van een scharnier. Voorbeelden zijn de interfalangeale gewrichten van vingers en tenen en het humero-ulnaire gewricht. De bewegingen worden flexie (buigen) en extensie (strekken) genoemd.
- *Rolgewricht (art.trochoidea)*: de as van rotatie valt (nagenoeg) samen met de lengteas van een van de deelnemende botten. Voorbeelden zijn de art.radioulnaris proximalis en distalis (bewegingen: pro- en supinatie) en de art.atlantoaxialis mediana (beweging: nee schudden).

Biaxiale gewrichten

Rotatie vindt plaats rond twee assen. Er worden twee soorten onderscheiden.

- *Ellipsoïd gewricht (art.ellipsoidea)*. De vorm van de kop is die van een ei: in twee richtingen convex. De vorm van de kom sluit hierop aan. Voorbeelden zijn de art.atlantooccipitalis (beweging: ja knikken en laterale flexie naar beide zijden).





Figuur 2.4 Typen synoviale gewrichten.

- *Zadelgewricht (art.sellaris)*. Het gewrichtsvlak van de kop is in één richting convex, in de andere concaaf. Vergelijk een zadel. Een voorbeeld is de art.carpometacarpale I. Er zijn twee hoofdbewegingen mogelijk: flexie – extensie en (palmair) abductie – adductie. Aangezien het gewrichtskapsel hier los is, zijn ook nog andere bewegingen mogelijk: oppositie (een combinatie van abductie, flexie en endorotatie) en repositie.

Multiaxiale gewrichten

Kogelgewricht (art.spherioidea). De kop heeft een bol-/kogelvorm. In werkelijkheid wordt bewogen rond een ontelbaar aantal assen. In de praktijk worden de bewegingen benoemd rond drie assen. Voorbeelden zijn schouder- en heupgewricht (bewegingen: zie bij beweging gewrichten).

2.3 Botten

Hoewel het skelet vaak wordt voorgesteld als een symbool van de dood (getuige de piratenvlag), is bot een zeer levend en dynamisch weefsel. De taak is omvangrijk:

- *ondersteuning*; de lichaamsvorm wordt in belangrijke mate bepaald door botten;
- *opslag* van mineralen als calcium en fosfor;

- *beweging* van de botten door middel van spieren die aan het bot zijn vastgehecht;
- *bescherming* van de kwetsbare organen in bijvoorbeeld thorax en bekken;
- *aanmaak van bloedcellen*.

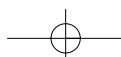
Het skelet, verdeeld in axiaal (wervelkolom, ribben en schedel) en appendiculair skelet (extremiteiten en gordels), is opgebouwd uit zo'n tweehonderd botten van zeer uiteenlopende vorm: lange pijpbeenderen, korte pijpbeenderen, onregelmatige beenderen en platte beenderen (figuur 2.5).

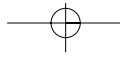
Botten bestaan uit *compact bot* (massief en met een homogeen uiterlijk) en *spongies of trabeculair bot* (sponsachtig, uit balkjes [trabeculae] opgebouwd bot met veel ruimte tussen de balkjes). De verhouding tussen compact en spongies bot verschilt sterk.

2.3.1 De macroscopische bouw van een pijpbeen

Op een paar uitzonderingen na hebben alle pijpbeenderen dezelfde opbouw (figuur 2.6).

De schacht of *diafyse* wordt aan de uiteinden begrensd door de proximale en distale *epifyse*. Het relatief brede deel van de dia-

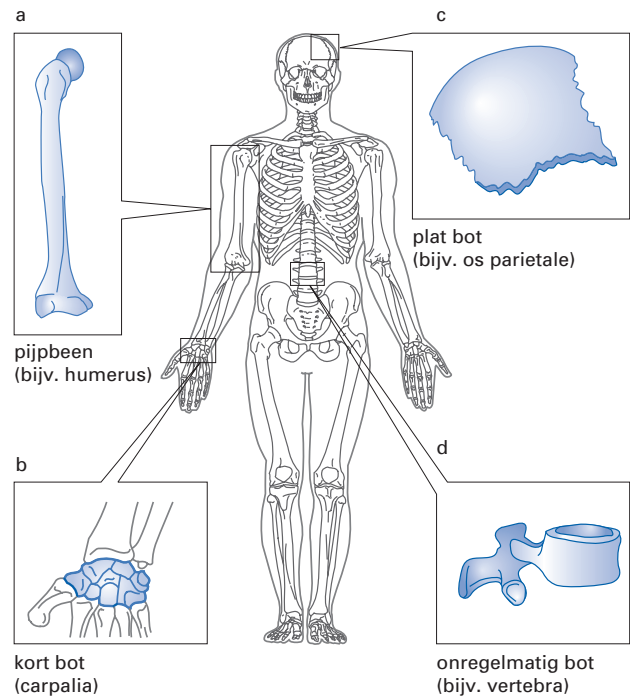




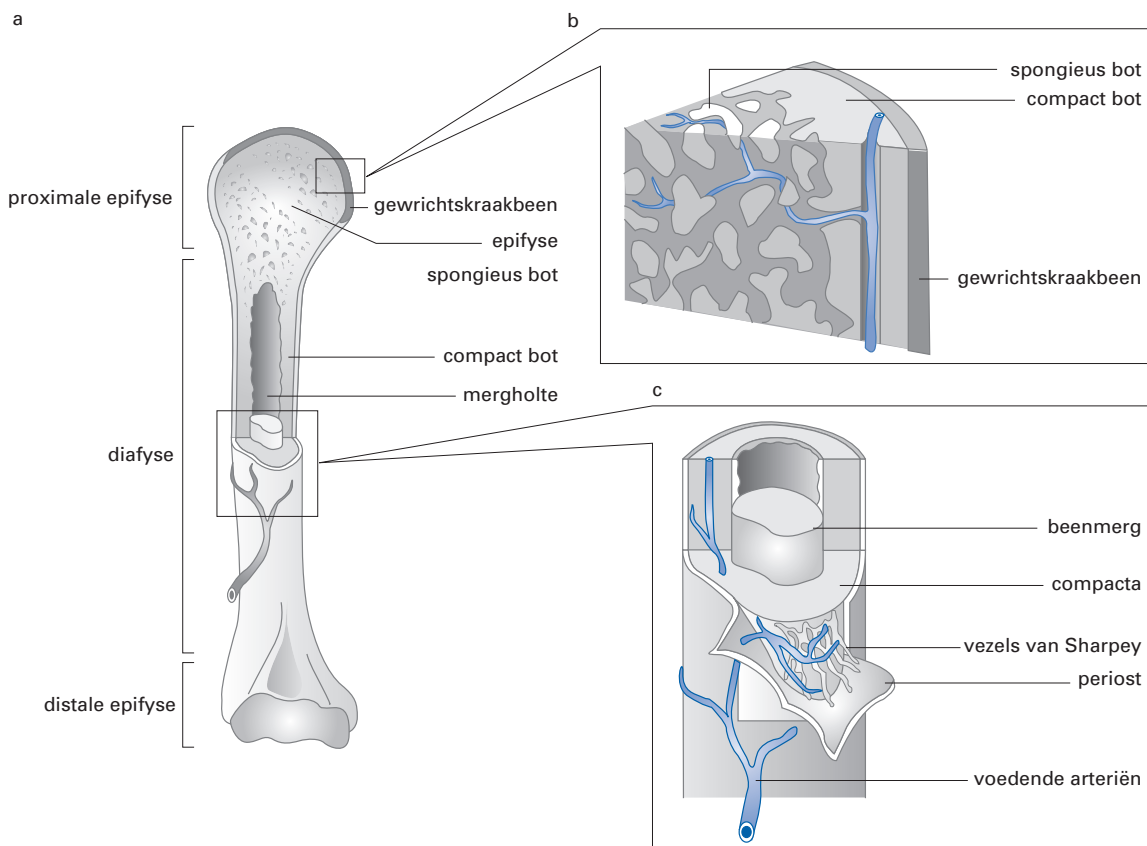
fyse dat aan de epifyse grenst wordt de *metafyse* genoemd. Epifyse en metafyse bestaan uit spongieus bot. Op de grens tussen epifyse en metafyse bevinden zich *epifysaire lijnen*, resten van de kraakbenige groei- of *epifysaire schijven*. Vanuit de groeischijven vindt lengtegroei van het bot plaats. Rond de puberteit 'sluiten' deze schijven zich door verbening van het kraakbeen, waarna de groei stopt. Het tijdstip waarop de groei stopt, varieert per type bot en is ook kenmerkend voor een bepaald (type) bot.

De schacht bestaat uit een mergholte (*cavitas medullaris*) waarin zich beenmerg (*reticulair bindweefsel*) bevindt, omgeven door een relatief dikke laag *compacta*. Het beenmerg is bij de geboorte rood; het is dan een belangrijke producent van bloedcellen. Vanaf ongeveer het zevende levensjaar wordt het beenmerg geel door de steeds toenemende hoeveelheid vet. In het beenmerg van een volwassen pijpbeen worden geen bloedcellen meer aangemaakt.

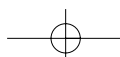
Been wordt omgeven door het beenvlies of *periost*. Het periost bestaat uit twee lagen; de buitenste laag bestaat uit bindweefsel, de binnenste bevat botvormende cellen (*osteoblasten*) en botafbrekende cellen (*osteoclasten*). Periost is met botweefsel verbonden via de *vezels van Sharpey* die uitzonderlijk stevig zijn op plaatsen waar spieren in het periost verankerd zijn. Waar bot articuleert met andere botdelen bevindt zich *hyalien kraakbeen*. De voeding van het bot vindt plaats via een of twee *aa.nutriciae*

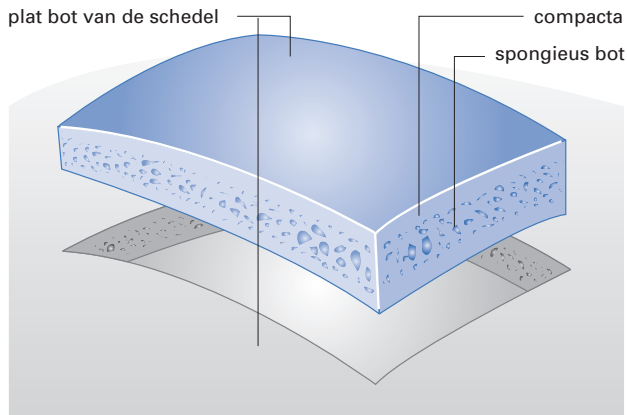


Figuur 2.5 Indeling van botten op basis van vorm.



Figuur 2.6 Structuur van een pijpbeen.





Figuur 2.7 Structuur van schedelbot.

die het periost en het bot binnenkomen via foramina nutricia, in het middendeel van de diafyse. Naast bloed- en lymfevaten bevat het periost een rijke innervatie.

Bij de korte, onregelmatige en platte botten wordt spongieus bot (hier diploe genoemd) omgeven door een dunne laag compacta. Zie figuur 2.7 (structuur van schedelbot).

2.3.2 Microscopische structuur van bot

Compacta

Compacta heeft op het eerste gezicht (met het blote oog) een compacte structuur. Door een microscoop bekeken heeft het echter een poreus aspect. Het bestaat uit buisjes die in de leng-

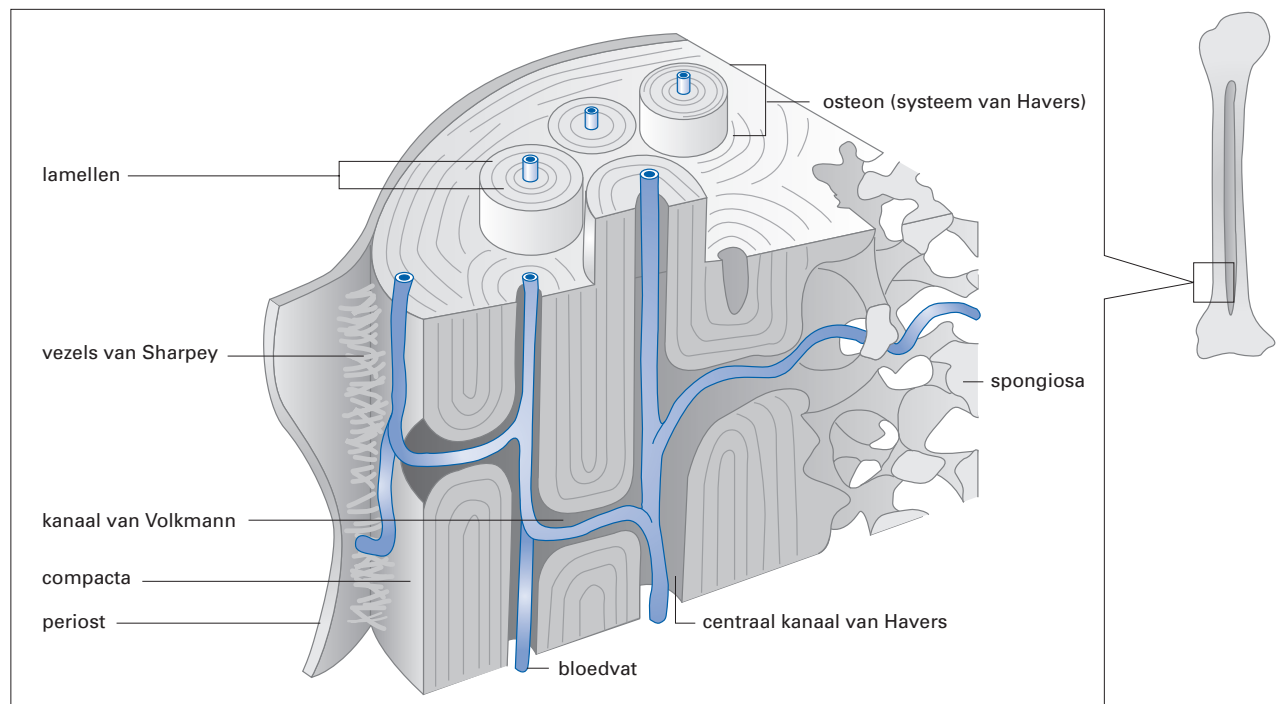
Intermezzo 2.1

Doorbloeding van het caput femoris

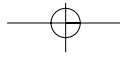
De doorbloeding van het bot is een bepalende factor bij het welslagen van veel orthopedische operaties. Het in de orthopedische chirurgie geldende chirurgisch-anatomische credo 'go to the bone and stay to the bone' is een nuttig uitgangspunt om de vaat- en zenuwvoorziening van de extremiteit te sparen. Eenmaal bij het bot 'aangekomen' geldt: het periost, met de belangrijke aa.nutriciae, moet zo veel als mogelijk worden ontzien/gespaard.

Bij een nieuwe en veelbelovende techniek als de 'resurfacing' operatie bij coxartrose op jonge leeftijd, wordt het nog 'gezonde' collum femoris gespaard, maar moet het periost tot op zekere hoogte 'gestript' worden. Het verdient aanbeveling twee grote aa.nutriciae van het collum en caput femoris (de aa.circumflexa femoris medialis en lateralis), die ongeveer halverwege het collum een anastomose vormen, zo veel mogelijk intact te laten. Hiermee wordt een effectieve doorbloeding van het collum en (bewerkte) caput femoris intact gelaten en zodoende kan worden bijgedragen aan een efficiënt herstel na deze chirurgische ingreep.

terichting van het bot verlopen. Deze buizen worden *osteonen* of *systemen van Havers* genoemd. In het centrum van het osteon bevindt zich een *kanaal van Havers* waarin zich bloedvaten en zenuwen bevinden. De botcellen (osteocyten) met de – door hen gevormde – matrix liggen in lamellen rondom het centrale kanaal (figuur 2.8).



Figuur 2.8 Microscopische structuur van compact been.



De botmatrix bevat anorganische botzouten die voornamelijk verantwoordelijk zijn voor de hardheid van het bot. In de matrix bevinden zich ook collageenvezels (type I). Zij bepalen in grote mate de treksterkte van het bot.

De kanalen van Havers zijn door middel van horizontale kanalen (*kanalen van Volkmann*) met elkaar verbonden, waardoor ook de verschillende lamellen met elkaar in verbinding staan. Door een uitgebreid netwerk van buisjes (canaliculi) staan ook de osteocyten direct met elkaar in verbinding. De osteonen zijn via cementlijnen met elkaar verbonden.

Spongiosa

Het bot is georganiseerd in *trabeculae* (botbalkjes). Deze balkjes liggen met grote tussenruimten (ongeveer 70% van spongiosa bestaat uit holten) op een ogenschijnlijk willekeurige wijze in een dun laagje compacta (corticalis). Deze constructie blijkt echter een grote mate van organisatie te bezitten. De botbalkjes gehoorzamen aan de *wet van Wolff*: doorsnede en richting van de botbalkjes zijn bepaald door respectievelijk grootte en richting van de op het spongieuze bot inwerkende krachten.

Verbening

Tijdens de ontwikkeling van het benige skelet (vanaf ongeveer week 6/7 in utero) worden bindweefsel en kraakbeen omgezet in bot. Er wordt onderscheid gemaakt tussen *intramembraneuze desmale* verbening (platte botten, zoals schedelbot) en *enchondrale* verbening (pijpbenederen).

Intramembraneuze desmale verbening. In een fibreuze membraan differentiëren mesenchymcellen tot osteoblasten die botmatrix gaan produceren. Er is sprake van een *ossificatiekern* die zich in het algemeen in het centrum van de membraan bevindt. *Enchondrale verbening.* Een voorstadium van hyalien kraakbeen wordt vanaf ongeveer de derde maand omgebouwd tot bot. Dit proces is ingewikkelder dan de intramembraneuze verbening, onder andere omdat het oorspronkelijke kraakbeen eerst afgebroken moet worden. De verbening vindt plaats vanuit een botrand die om het hyaliene kraakbeen wordt gevormd. Via een proces van opbouw (door osteoblasten) en afbraak (door osteoclasten) vindt holtevorming en modellering van het pijpbeen plaats. Voor gedetailleerde informatie wordt verwezen naar de leerboeken anatomie en embryologie.

2.3.3 Groei, remodelering en herstel van bot

Een pijpbeen groeit in de lengte (longitudinale groei) en in de breedte (appositionele groei). De groei van de meeste botten stopt op jongvolwassen leeftijd (vrouwen circa 18 jaar, mannen circa 21 jaar).

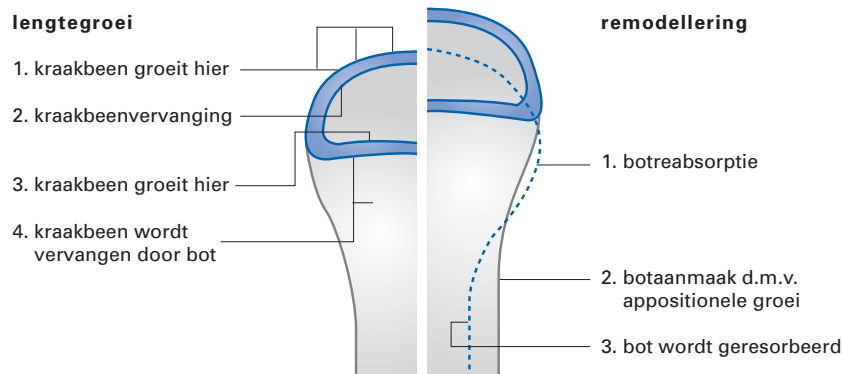
Lengtegroei vindt plaats vanuit de *epifysaire schijven*, groeischijven van kraakbeen op de grens van epifyse en diafyse. In deze kraakbeenschijven liggen de chondrocyten in kolommen boven elkaar. De bovenste chondrocyten vertonen mitosen, zodat de epifysaire schijf dikker wordt. In de onderste lagen slaat calcium neer in de matrix, de chondrocyten sterven af en er wordt een soort overgangswaefsel ('benig kraakbeen') gevormd. Door de osteoblasten die in de buurt van de mergholte liggen wordt dit kraakbeen vervangen door echt (spongieus) bot.

Door appositionele groei wordt het bot dikker. Vanuit de botkraag en het periost wordt aan de buitenzijde steeds een laagje bot aan het bestaande bot 'geplakt'. Appositionele groei en remodelering van het bot zijn nauw aan elkaar gerelateerd (figuur 2.9).

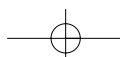
Modelleren van bot berust op selectieve groei en afbraak. De remodelering van bot wordt gereguleerd door hormonale feedback en belasting.

Hormonale feedback. Het parathyreoïdaal hormoon (PTH) uit de bijnieren en het calcitonine uit de schildklier bepalen door negatieve feedback in onderlinge interactie de calciumconcentratie van het bloed. Wanneer de calciumconcentratie laag is, stimuleert het PTH de calciumresorptie uit botmatrix. Calcitonine remt de botafbraak als de calciumconcentratie in het bloed stijgt. Het gaat bij de hormonale regelmechanismen dus overwegend om de calciumspiegel en niet om de kwaliteit van het bot zelf. De botkwaliteit wordt bepaald door mechanische en belastingsfactoren.

Belasting. Hierbij speelt de al eerder genoemde wet van Wolff een rol. Bot wordt gevormd onder invloed van druk en rek. Een kracht kan worden voorgesteld als een vector met een grootte en een richting. Het bot zal reageren op beide: een grotere krachtinwerking leidt tot dikker bot, de richting van de krachtinwerking bepaalt de plaats van botverdikking. Zo is het bot bijvoorbeeld dikker op plaatsen waar grote spieren aanhechten en is een pijpbeen relatief dik in het midden van de schacht, waar de grootste buigkrachten bestaan.



Figuur 2.9 Groei en remodelering van een pijpbeen.



Belangrijke begrippen bij de belasting van bot zijn *stress* (spanning) en *strain* (rek). Stress is de belasting in een structuur per oppervlakte-eenheid (Nm^{-2}) als reactie op een belasting van buitenaf. Strain is de vervorming die zich op de belaste plaats voordoet ten gevolge van deze belasting. Strain wordt meestal uitgedrukt in een percentage van de oorspronkelijke lengte (of hoek, als de vervorming een hoekverdraaiing betreft) en is dimensieloos.

2.3.4 Herstel van botbreuken

Ongecompliceerde fracturen van pijpbeenderen worden op stevotiepe wijze gerepareerd. Vier fasen zijn meer of minder duidelijk te onderscheiden (figuur 2.10).

- *Hematoomvorming*: na een fractuur zijn de regionale bloedvaten beschadigd; er ontstaat een hematoom (de *ontstekingsreactie*).
- *Ontstaan van zachte callus*. Fagocyten beginnen met de opruiming van het hematoom; er ontstaat granulatiweefsel. Fibroblasten en osteoblasten migreren in het fractuurgebied uit het nabijgelegen periost. Revascularisatie zorgt voor de vorming van callus van fibreuze kwaliteit die de fractuur overbrugt. In deze fase wordt door middel van enchondrale verbening spongieus bot gevormd.
- *Ontstaan van harde callus*. Osteoblasten en osteoclasten migreren naar de fractuurplaats en delen zich snel. Er ontstaat nu harde, benige callus. Ter hoogte van de (voormalige) fractuur is een overmatige hoeveelheid callus aanwezig.
- De laatste fase wordt gekenmerkt door *remodellering van het bot* en duurt een paar jaar. De overtollige callus wordt afgebroken en het bot neemt zijn oorspronkelijke vorm weer aan: het staat immers weer bloot aan dezelfde combinatie van druk- en rekrachten als voorheen.

2.4 Spieren

2.4.1 Algemene eigenschappen van spieren en spierweefsel

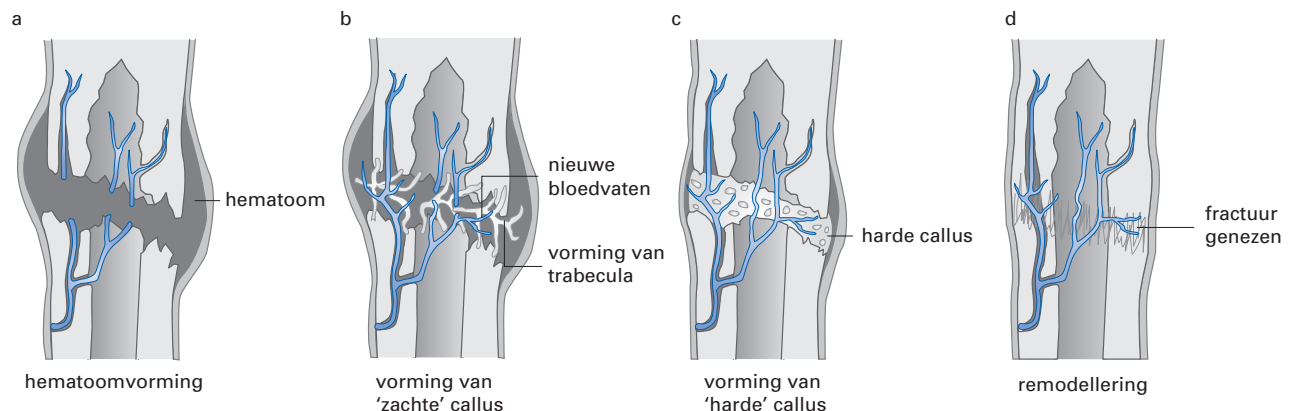
In het menselijk lichaam komen drie soorten spierweefsel voor: glad spierweefsel, hartspierweefsel en skeletspierweefsel. *Glad spierweefsel* bevindt zich in de wanden van holle organen (darm, urinewegen e.d.) en wordt ook wel ‘onwillekeurig’ spierweefsel genoemd, omdat bewuste controle over dit soort spierweefsel niet mogelijk is. Er vinden langzame en in het algemeen langdurige contracties plaats.

Hartspierweefsel bevindt zich uitsluitend in het hart. Het heeft de uiterlijke kenmerken van dwarsgestreept/skeletspierweefsel, maar heeft functionele eigenschappen van zowel glad spierweefsel (onwillekeurig, contractie over een langere tijd) als skeletspierweefsel (explosieve, krachtige contracties). Een gedetailleerde bespreking van deze twee soorten spierweefsel valt buiten het kader van dit hoofdstuk.

De derde soort spierweefsel is *skelet- of dwarsgestreept spierweefsel*. De spiervezels, buisvormige multinucleaire cellen, bevatten staafvormige organellen, de *myofibrillen* die de contractiele elementen van de spiercel vormen. De myofibrillen vullen het grootste deel op van het volume van de spiervezel. Onder de microscoop vertonen de myofibrillen een streping, dwars op de lengterichting van de vezel, vandaar de naam ‘dwarsgestreept’ spierweefsel.

Een skeletspier bestaat uit een groot aantal langwerpige spiervezels en uit georganiseerd bindweefsel. Iedere spiervezel wordt omgeven door bindweefsel: het *endomysium*. Een aantal vezels vormt een *fasciculus*, omgeven door *perimysium*. De fasciculi samen vormen de spier, die omgeven wordt door het *epimysium* of de *fascia* (figuur 2.11).

De spieren zijn via pezen aan het bot aangehecht. Bij de ‘directe’ aanhechting loopt het epimysium als het ware over in het periost van het bot. Bij de ‘indirecte’ aanhechting vormt het epimysium aan de uiteinden van de spier een koordvormige of plaatvormige (aponeurose) pees.



Figuur 2.10 Fasen van botherstel.