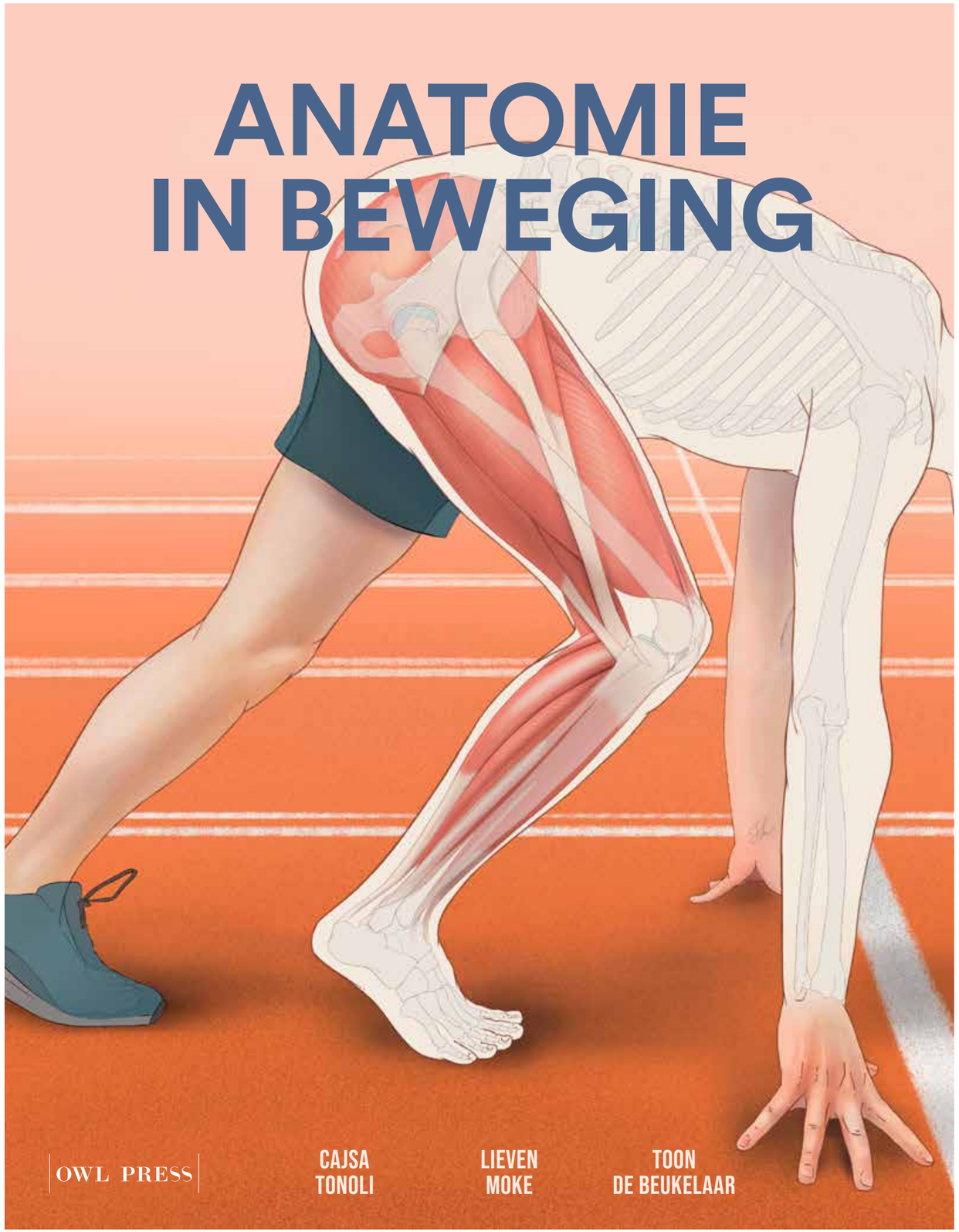
ANATOMIE
IN BEWEGING

ANATOMIE IN BEWEGING



CAJSA TONOLI
LIEVEN MOKE
TOON DE BEUKELAAR

OWL PRESS

INHOUD

1 INLEIDING IN DE ANATOMIE 10

1.1. Inleiding in de functionele anatomie 10
1.2. Opbouw van dit boek 10
1.3. De anatomische nomenclatuur 11
1.3.1. De oriëntatietermen van het menselijke lichaam 11
1.3.2. Anatomische termen: algemeen 14
1.3.3. Anatomische benamingen bij botten 14
1.4. Osteologie: inleiding 15
1.4.1. Opbouw botstructuren 16
1.4.2. Diafyse, epifyse, metafyse 19
1.4.3. Botmechanica 19
1.4.4. Hoe herstellen botbreuken? 20
1.4.5. Het skelet en zijn benamingen 21
1.5. Artrologie 23
1.5.1. Inleiding in de artrologie: functies van de beenverbindingen 23
1.5.2. *Juncturae fibrosae* (fibreuze of bindweefselige verbindingen) 23
1.5.3. *Juncturae cartilagineae* (kraakbeenverbindingen) 23
1.5.4. *Juncturae synoviales* (echte gewrichten) 23
1.6. Myologie 26
1.6.1. Algemene bouw van een spier 26
1.6.2. Soorten spieren 26
1.6.3. Anatomische benamingen van spieren 27
1.6.4. Spieractie en beweging 29
1.7. Het zenuwstelsel 31
1.7.1. Het zenuwstelsel opgedeeld 31
1.7.2. De aansturing van een spier 32
1.8. Bloedvoorziening 33
1.9. Bewegingen in het lichaam 35
1.9.1. Flexie en extensie 35
1.9.2. Abductie en adductie 35
1.9.3. Lateroflexie 36
1.9.4. Exorotatie en endorotatie 37
1.9.5. Circumductie 37
1.9.6. Pronatie en supinatie 37
1.9.7. Dorsiflexie en plantairflexie 37
1.9.8. Inversie en eversie 37
1.9.9. Oppositie en repositie 37

2 HET HOOFD EN DE HALS 39

2.1. Osteologie van het *cranium* 40
2.1.1. Beenderen van het *neurocranium* (hersenschedel): onpare en pare beenderen 40
2.1.2. Beenderen van het *viscerocranium* (aangezichtsschedel): onpare en pare beenderen 52
2.2. Belangrijke *foramina* 55
2.2.1. *Foramen magnum* 55
2.2.2. *Canalis caroticus* 55
2.3. Paranasale sinussen 56
2.4. Suturen 57
2.5. Bewegingen van het hoofd en aangezicht 58
2.5.1. Bewegingen van het temporomandibulair gewricht (TMJ) 58
2.5.2. Bewegingen van de *labia oris* of lippen 58
2.5.3. Bewegingen van het *os hyoideum* 59
2.6. Myologie van het hoofd en aangezicht 59
2.6.1. *Cervico occipitaal*-spieren 59
2.6.2. *Musculi suprahyoidei* – mondvloerspieren 63
2.6.3. *Musculi masticatorii* – kauwspieren 66
2.6.4. Mimische spieren 67

3 WERVELKOLOM EN ROMP 71

3.1. Osteologie van de wervelkolom: *columna vertebralis* 72
3.1.1. *Vertebrae cervicales* 73
3.1.2. *Vertebrae thoracicae* 82
3.1.3. *Vertebrae lumbales* 86
3.1.4. *Sacrum* 89
3.1.5. *Os coccygis* 92
3.2. Osteologie van de thorax: de thoracale *cage* 93
3.2.1. *Sternum* 93
3.2.2. *Costae* 94
3.3. *Syndesmologia columnae vertebralis* 97
3.3.1. *Juncturae cartilagineae* in de wervelkolom 97
3.3.2. *Juncturae fibrosae* 98
3.3.3. *Juncturae synoviales* 102
3.4. Bewegingen van de wervelkolom 106
3.4.1. Bewegingen van het hoofd tegenover de cervicale wervelkolom 107
3.4.2. Bewegingen in de cervicale wervelkolom 107
3.4.3. Bewegingen van de thoracale wervelkolom 108
3.4.4. Bewegingen van de lumbale wervelkolom 109
3.4.5. De impact van bewegingen op de *discus intervertebralis* 109
3.5. Myologie van de hals 110
3.5.1. Hals – ventraal – oppervlakkige laag 110
3.5.2. Hals – ventraal – middenste laag of infrahyoïdale spieren 111
3.5.3. Hals – ventraal – diepe laag 114
3.5.4. Hulpapparaten van de halsspieren – *Fascia cervicalis* 118
3.6. Myologie van de wervelkolom 119
3.6.1. Wervelkolom – dorsaal 119
3.7. Myologie van de romp (*truncus*) 130
3.7.1. Ademhalingsspier 130
3.7.2. Borstwandspieren – hulpademhalingsspieren 132
3.8. Myologie van de buik – *musculi abdominis* 135
3.8.1. De anterieure groep 136
3.8.2. De laterale groep 138
3.8.3. Hulpapparaten van de ventrale buikspieren 141
3.8.4. De dorsale groep 143
3.9. Myologie van de bekkenbodem – *musculi perinealis* 143
3.9.1. Spieren van de oppervlakkige perineale laag 145
3.9.2. Spieren van de middelste perineale laag 148
3.9.3. Spieren van de diepe laag: het *diaphragma pelvis* 149
3.10. Functionele anatomie van de wervelkolom 152
3.10.1. Bewegingen van de cervicale wervelkolom 152
3.10.2. Bewegingen van de thoracale wervelkolom 155
3.10.3. Bewegingen van de lumbale wervelkolom 156
3.10.4. Bekkenbodem 157
3.11. De anatomie functioneel weergegeven per oefening 160
3.11.1. Bird dog 160
3.11.2. Abdominale crunch 161
3.11.3. Planken 161
3.11.4. De ademhaling 162

4 BEZENUWING 164

4.1. Indeling van het zenuwstelsel 164
4.2. *Plexus cervicalis* 165
4.3. *Plexus brachialis* 166
4.3.1. *Nervus musculocutaneus* 167
4.3.2. *Nervus medianus* 167
4.3.3. *Nervus ulnaris* 168
4.3.4. *Nervus radialis* 168
4.3.5. *Nervus axillaris* 168
4.4. *Plexus lumbalis* 169
4.4.1. *Nervus femoralis* 171
4.4.2. *Nervus saphenus* 171
4.4.3. *Nervus obturatorius* 172
4.4.4. *Nervus iliohypogastricus* 172
4.4.5. *Nervus ilioinguinalis* 173
4.4.6. *Nervus genitofemoralis* 173
4.4.7. *Nervus cutaneus femoris lateralis* 173
4.5. *Plexus sacralis* 174
4.5.1. *Nervus fibularis communis* 176
4.5.2. *Nervus tibialis* 176

4.5.3. *Nervus gluteus superior* 176
4.5.4. *Nervus gluteus inferior* 177
4.5.5. *Nervus cutaneus femoris posterior* 178
4.5.6. *Nervus pudendus* 178
4.6. *Plexus coccygealis* 178
4.6.1. *Nervus anococcygeus* 178
4.7. De dermatomen 179

5 BOVENSTE LIDMAAT 180

5.1. Schouder 180
5.1.1. Osteologie van het *clavicula, scapula* en de *humerus* 180
5.1.2. Artrologie 189
5.1.3. Bewegingen in de schouder – een gecoördineerd geheel 195
5.1.4. Myologie 198
5.1.5. Functionele anatomie van de schouder en schoudergordel 223
5.2. De elleboog 230
5.2.1. Osteologie 230
5.2.2. Artrologie 238
5.2.3. Bewegingen in de elleboog 241
5.2.4. Myologie van de onderarm 242
5.2.5. Compartimenten en axiale doorsnede van de onderarm 263
5.2.6. De functionele anatomie van de elleboog 264
5.3. Hand en pols – *manus* 267
5.3.1. Osteologie 267
5.3.2. Artrologie: de *articulationes manes* 273
5.3.3. Bewegingen in de hand en vingers 275
5.3.4. Myologie van de intrinsieke spieren van de hand 278
5.3.5. Compartimenten en axiale doorsnede van de pols 291
5.3.6. De functionele anatomie van de pols en hand 292

6 ONDERSTE EXTREMITEIT 297

6.1. De heup/het bekken 297
6.1.1. Osteologie van het *os coxae* en het *femur* 297
6.1.2. Artrologie 306
6.1.3. Bewegingen van de heup en het *sacrum* 311
6.1.4. Myologie 312
6.1.5. De functionele anatomie van het bekken en het bovenbeen 332
6.2. De knie 336
6.2.1. Osteologie van de *patella*, *tibia* en *fibula* 336
6.2.2. Artrologie – het *articulatio genus* 343
6.2.3. Bewegingen van de knie 347
6.2.4. Myologie 348
6.2.5. De functionele anatomie van de knie en het onderbeen 364
6.3. Enkel en voet 368
6.3.1. Osteologie van de voet 368
6.3.2. Artrologie – *articulationes pedis* 376
6.3.3. Bewegingen van de enkel en voet 385
6.3.4. Myologie van de spieren van de voet: de intrinsieke voetspieren 385
6.3.5. De functionele anatomie van de voet 397

7 BLOEDVOORZIENING VAN HET LICHAAM 402

7.1. Hart als centrale pomp en de aorta 404
7.2. Het anatomische verloop en de organisatie van de bloedvaten in de romp 405
7.3. De anatomische bloedvoorziening van hals, nek en schedel 406
7.4. De anatomische bloedvoorziening van de schoudergordel 408
7.5. De anatomische bloedvoorziening van de schouder 410
7.6. De anatomische bloedvoorziening van de elleboog en onderarm 412
7.7. De anatomische bloedvoorziening van de pols en hand 413
7.8. De veneuze afvoer van de bovenste extremiteit 414
7.9. De anatomische bloedvoorziening van de heup 415
7.10. De anatomische bloedvoorziening van de knie en het onderbeen 417
7.11. De anatomische bloedvoorziening van de enkel en voet 418
7.12. De veneuze afvoer van de onderste extremiteit 419

1

INLEIDING IN DE ANATOMIE

1.1. INLEIDING IN DE FUNCTIONELE ANATOMIE

'Anatomie' komt van het Griekse woord *'anatomnein'*, dat 'opensnijden' betekent. Oorspronkelijk verwees anatomie naar de studie van lichaamsstructuren zoals die zichtbaar werden via dissectie, een praktijk die in onze regio werd geïntroduceerd door Andreas Vesalius in Leuven in de 16e eeuw. In bredere zin is anatomie het biologisch vakgebied dat de vorm, structuur en organisatie van levende organismen bestudeert.

De klassieke menselijke anatomie beschrijft de gemiddelde bouw van het volgroeide, gezonde lichaam. Dit kan systematisch (per orgaanstelsel) of topografisch (per lichaamsregio en ruimtelijke relaties). De systematische benadering vormt de basis voor de topografische, onder andere in klinische toepassingen zoals palpatie.

Functionele anatomie verschuift de focus van het ontlede lichaam naar **de levende, bewegende mens**.

In dit boek benaderen we de anatomie in eerste instantie regionaal. Per lichaamsregio beschrijven we de relevante botten, gewrichten, spieren en andere structuren, en situeren we die zorgvuldig tegenover elkaar.

Vervolgens plaatsen we deze regionale anatomie in functionele samenhang met beweging en belasting. Anatomische structuren worden niet louter beschreven vanwege hun vorm, maar telkens gekoppeld aan hun rol binnen bewegingen, houdingen en krachten die tijdens dagelijkse activiteiten, sport en klinische contexten optreden. Zo wordt duidelijk hoe structuren samenwerken binnen het bewegingsapparaat en hoe anatomie het biomechanisch functioneren van het lichaam mogelijk maakt én begrenst. Deze opbouw ondersteunt u in het ontwikkelen van functioneel anatomisch denken: van structuur naar functie en van statische vorm naar dynamische toepassing.

1.2. OPBOUW VAN DIT BOEK

De opbouw van het boek volgt een logische en stapsgewijze structuur.
In **Module 1** wordt gestart met een algemene inleiding tot de menselijke anatomie. **Modules 2 en 3** verdiepen zich vervolgens in de centrale as van het lichaam, met aandacht voor respectievelijk het hoofd en de hals, en de wervelkolom. **Module 4** behandelt de bezenuwing door het volledige lichaam heen, waarna **Module 5** en **Module 6** de anatomie van respectievelijk de bovenste en onderste extremiteit bespreken. In elke module wordt meteen de koppeling gemaakt met de functionele anatomie: de bewegingen in de gewrichten en de spiergroepen die deze bewegingen mogelijk maken, worden grondig toegelicht bij eenvoudige dagelijkse bewegingen of oefeningen.

Tot slot richt **Module 7** zich op de doorbloeding van het menselijk lichaam, waarmee het boek een volledig en geïntegreerd overzicht biedt.

De algemene anatomie van het bewegingsapparaat wordt ingedeeld in:
- **de osteologie**, de beschrijving van de botten;
- **de artrologie** of **syndesmologie**, de beschrijving van de botverbindingen (beter bekend als 'gewrichten');
- **de myologie**, de beschrijving van de spieren;
- **het zenuwstelsel,** of de manier waarop spieren en bewegingen aangestuurd, aangepast en verbeterd worden.
- **De doorbloeding**, de manier waarop het lichaam van bloed wordt voorzien, waarbij voedingsstoffen en zuurstof worden aangevoerd en afvalstoffen worden afgevoerd.

Om de samenhang van deze elementen te begrijpen, is het nodig vooraf (beperkt) in te gaan op de anatomische terminologie, de bewegingen die in het lichaam plaatsvinden en enkele microscopische aspecten toe te lichten tijdens de inleiding.

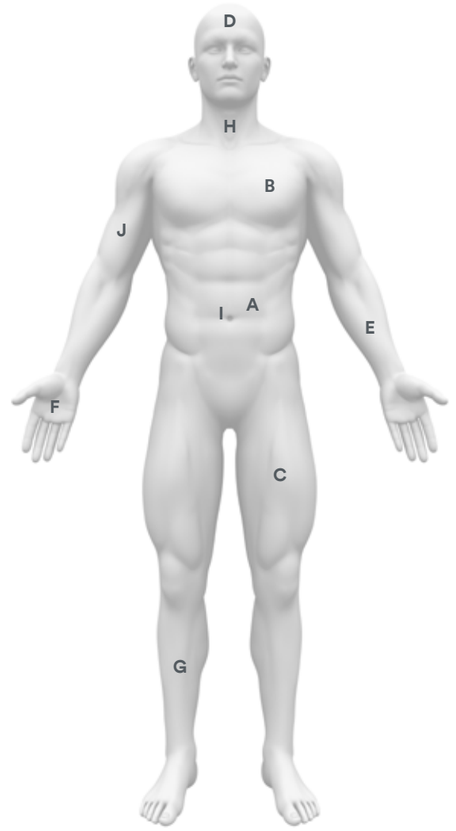
1.3. DE ANATOMISCHE NOMENCLATUUR

Om lange omschrijvingen te voorkomen bij de beschrijving van structuren, is het noodzakelijk ze een naam te geven. Vandaar dat de anatomische nomenclatuur zeer uitgebreid is. Ter wille van de eenvormigheid en ter bevordering van de interdisciplinaire communicatie (zoals medisch-paramedische en medisch-technische) werd in 1955 te Parijs de *Nomina Anatomica* opgesteld. Deze internationaal gangbare terminologie zal ook hier aangewend worden.

1.3.1. DE ORIËNTATIETERMEN VAN HET MENSELIJKE LICHAAM

Om structuren ten opzichte van elkaar te lokaliseren, moet het lichaam georiënteerd worden volgens de anatomische conventie. Deze '*anatomische houding*' is rechtopstaand, hoofd recht vooruit, de armen afhangend met de palm van de hand naar voren (*supinatie*) en de benen lichtjes gespreid met de voeten naar voren gericht.

We kunnen het lichaam ook opdelen in verschillende regio's.
- A = abdominale regio
- B = pectorale regio
- C = femorale regio
- D = craniale regio
- E = antebrachiale regio
- F = palmaire regio
- G = crurale regio
- H = cervicale regio
- I = umbilicale regio
- J = brachiale regio



FIGUUR 1.1.
DE ANATOMISCHE POSITIE EN VERSCHILLENDE REGIO'S IN HET LICHAAM.

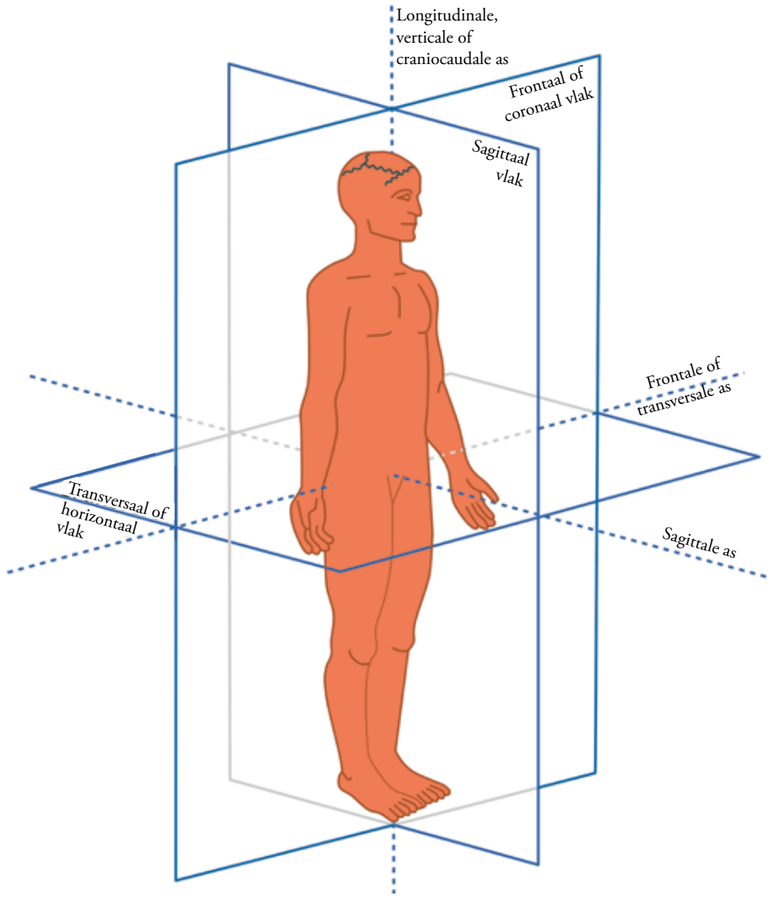
Voor beschrijvingen van het lichaam of bewegingen in de ruimte wordt een stelsel van drie assen, loodrecht op elkaar, gehanteerd: de *verticale of craniocaudale as* en twee horizontale assen, de *transversale as* van links naar rechts en de *sagittale as* van voor naar achter.

Een vlak wordt gevormd als twee assen elkaar snijden. Door verbinding van de assen ontstaan drie vlakken:

- **Het verticale vlak of sagittale vlak** (in het midden is dit het mediane vlak) loopt volgens de verticale en sagittale as.
- **Het transversale vlak** is de verbinding van de twee horizontale assen.
- **Het frontale vlak** is de combinatie van de verticale en de transversale as.

De volgende oriëntatietermen, geldig voor het hele lichaam, kunnen dan aangeduid worden:

- *superior* = boven (craniaal: in de richting van de *cranium* = schedel)
- *inferior* = onder (caudaal: in de richting van de *cauda* = staart)
- *anterior* = vooraan (ventraal: in de richting van het *venter* = buik)
- *posterior* = achteraan (dorsaal: in de richting van het *dorsum* = rug)

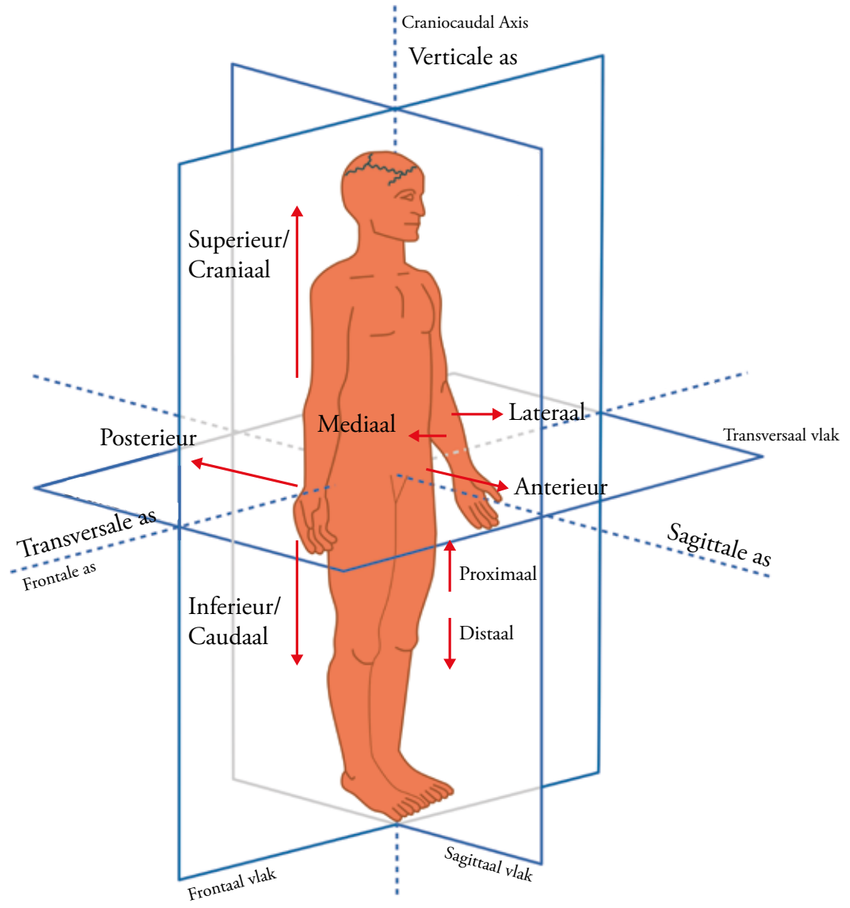


FIGUUR 1.2.
DE ANATOMISCHE ASSEN EN VLAKKEN.

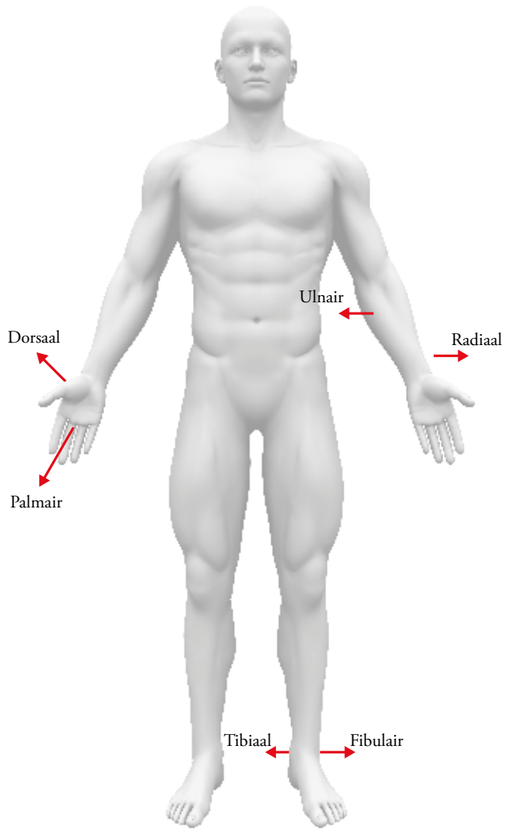
- *medialis* = naar het midden (naar het sagittale vlak)
- *lateralis* = naar buiten toe (weg van het sagittale vlak)
- *superficialis* = oppervlakkig of 'dicht bij het oppervlak'
- *profundus* = in de diepte of 'dieper gelegen'
- *externus* = aan de buitenzijde/extern
- *internus* = binnen/ intern

Voor de extremiteiten gelden ook de volgende termen, die onafhankelijk zijn van de positie van het lidmaat in de ruimte:

- proximaal = dichter bij het aanhechtingspunt of het lichaamscentrum gelegen
  - Bijvoorbeeld: de elleboog ligt proximaal ten opzichte van de pols.
- distaal = verder weg van het aanhechtingspunt of het lichaamscentrum gelegen
  - Bijvoorbeeld: de pols ligt distaal ten opzichte van de elleboog.
- *palmaris* en *plantaris* = naar de handpalm respectievelijk naar de voetzool gericht
- *dorsalis* = naar de handrug of voetrug gericht
- *radialis/radiair* = aan de kant van de duim
- *ulnaris/ulnair* = aan de kant van de pink
- *tibialis*/tibiaal = aan de kant van de binnenenkel
- *fibularis*/fibulair = aan de kant van de buitenenkel



FIGUUR 1.3.
DE ANATOMISCHE ASSEN EN VLAKKEN EN ANATOMISCHE TERMINOLOGIE.



FIGUUR 1.4.
ANATOMISCHE TERMINOLOGIE (DEEL 2).

1.3.2. ANATOMISCHE TERMEN: ALGEMEEN

Binnen het bewegingsapparaat worden de volgende afkortingen frequent gebruikt:

ENKELVOUD	MEERVOUD
a: arteria, slagader	aa: arteriae
art: articulatio, gewricht	artt: articulationes, gewrichten
lig: ligamentum, band	ligg: ligamenta, banden
m: musculus, spier	mm: musculi, spieren
n: nervus, zenuw	nn: nervi, zenuwen
r: ramus, tak	rr: rami, takken
v: vena, ader	vv: venae, aders

TABEL 1.1.
ANATOMISCHE AFKORTINGEN GEBRUIKT BINNEN HET BEWEGINGSAPPARAAT.

1.3.3. ANATOMISCHE BENAMINGEN BIJ BOTTEN

Beenderige uitsteeksels (verhevenheden) en uithollingen (indeukingen) worden vaak vermeld als:

uitsteeksels:
- *condylus* en *caput*: grote, ronde knobbels
- *crista*: kam
- *linea*: een minder duidelijke afte-kening dan een *crista*
- *processus*: algemene naam voor uitsteeksel
- *tuberculum*: klein rond uitsteeksel
- *tuberositas*: ruwe verdikking

uithollingen:
- *foramen*: opening
- *fossa*: uitgehold vlak
- *sulcus*: groeve
- *sinus*: kanaal

1.4. OSTEOLOGIE: INLEIDING

Beenderen zijn harde, geelachtig glanzende, elastische en levende organen, die in voortdurende wisselwerking staan met de rest van het lichaam. Het is rijk bevloeid, gemineraliseerd en constant veranderend steunweef-sel. Zij zijn onder meer stapelplaatsen voor calcium en fosfor, stoffen die afhankelijk van de behoefte vanuit die reserve in het lichaam gemobiliseerd worden. Bloedcel-len vormen is een andere *fysiologische functie*. Levende beenderen verschillen in uitzicht dan ook heel erg van de geconserveerde beenderen, zoals die bij anatomische demonstraties gebruikt worden.

Beenderen beschouwd als *mechanische* bestanddelen hebben een drievoudige functie:

- Zij bieden steun aan zachte weefsels en vormen een harde spil, waardoor het lichaam zijn vorm behoudt tegen de zwaartekracht.
- Zij vormen een beschermend omhul-sel rond weke organen.
- Zij bieden aanhechting aan de gestreepte spieren en werken dan als hefboomarmen, waardoor mobiliteit mogelijk wordt.

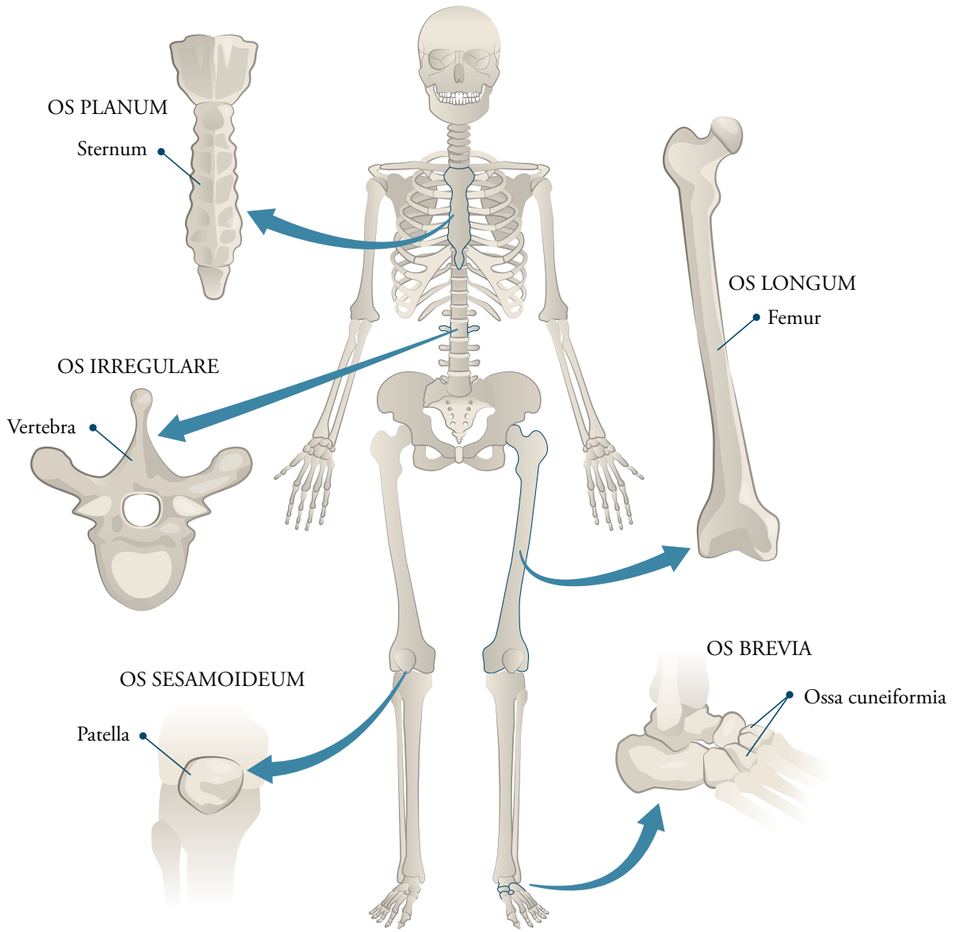
Volgens de algemene *vorm* onderscheidt men:

- **Korte beenderen (*ossa brevia*):** zijn bijna even groot in de drie richtingen, bijvoorbeeld hand-wortelbeenderen. Zij bevatten *substantia spongiosa*, omgeven door een dunne laag *substantia compacta*.
- **Platte beenderen (*ossa plana*):** bijvoorbeeld schedel, schouderblad. Hier vindt men een buitenste en een binnenste harde laag *sub-stantia compacta*, die *tabula externa* en *tabula interna* genoemd worden. Tussen deze lagen bevindt zich *substantia spongiosa*, de *diploë*.
- **Lange beenderen (*ossa longa*):** hebben een holle beenschacht (diafyse) en worden daarom ook pijpbeenderen genoemd. De diafyse bestaat voornamelijk uit *substantia compacta* en bevat centraal de mergholte (*cavitas medullaris*), die gevuld is met beenmerg (rood of geel afhankelijk van de leeftijd van het individu). De uiteinden van het bot, de epifysen, bestaan hoofdzakelijk uit *substantia spongiosa*, die omgeven wordt door een dunne laag *substantia compacta*. Tussen de diafyse en de epifyse bevindt zich de epifysaire lijn of schijf, die de verbeende groeischijf voor-stelt. Voorbeelden van lange beenderen zijn het *os humerus*: de bovenarm, of *os femur*: het bovenbeen.
- **Onregelmatige beenderen (*ossa irregularia*):** deze hebben een complexe vorm die niet past in de andere categorieën. Voorbeelden hiervan zijn wervels en het *os sphenoidale* (schedelbeen). Deze botten zijn meestal een combinatie van substantia compacta en spongiosa, zonder duidelijke stan-daardstructuur zoals bij lange of platte beenderen.
- Tot slot hebben we nog **de sesambeende-ren (*ossa sesamoidea*)**: dit zijn kleine, ronde beenderen die in pezen liggen, meestal nabij gewrichten. Een gekend voorbeeld hiervan is de *patella* (knieschijf). Ze zorgen voor een ver-mindering van wrijving, verandering van trek-kracht van spieren en bescherming van pezen.

1.4.1. OPBOUW BOTSTRUCTUREN

Wanneer we een bot van naderbij bekijken kunnen we twee soorten onderscheiden: compact bot en sponsachtig (spongieus) bot.

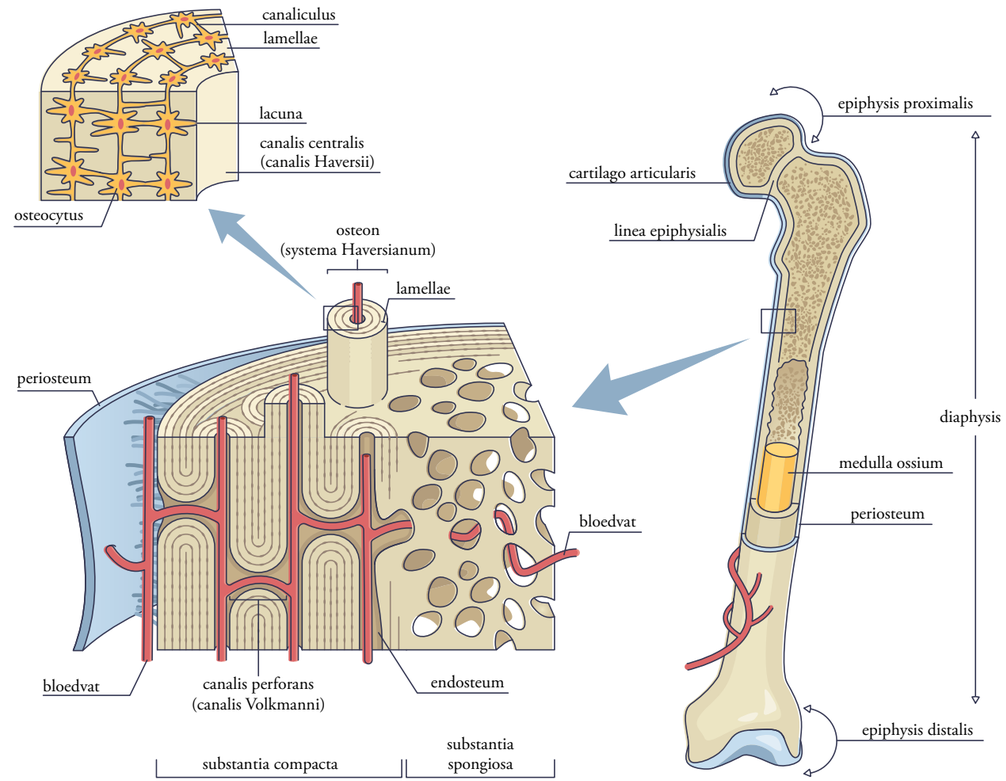
Compact of corticaal bot (*substantia compacta*) is harder en dichter dan sponsachtig bot en vormt de taaie buitenkant van elk bot. In compact bot zijn er weinig of geen ruimtes en gaten binnen de matrix, het hoofdbestanddeel van bot.



FIGUUR 1.5.
INDELING VAN BEENDEREN VOLGENS DE VORM.

Belangrijke kenmerken van compact bot zijn:

- osteonen – het belangrijkste kenmerk van compact bot, cilindrische structuren die bestaan uit uiachtige concentrische ringen van matrix rond een centraal kanaal;
- lamellen – ringen van matrix die het osteon vormen;
- centraal (haversiaans) kanaal – een kanaal door de kern van elk osteon dat de doorgang van neurovasculaire structuren toelaat;
- perforerende (Volkmanns) kanalen – lopen 90 graden van de centrale kanalen en verbinden die met het *periosteum*;
- *lacunae* – kleine holtes tussen de lamellen; ze bevatten osteocyten (botcellen);
- *canaliculi* – kleine kanalen die uitstralen van de *lacunae* naar de centrale kanalen voor het transport van voedingsstoffen;
- circumferentiële lamellen – een ononderbroken laag lamellen die rond het buitenoppervlak van het bot lopen en onder het *periosteum* liggen;
- periost – een vezelige laag die de buitenkant van elk bot bedekt en een rijke neurovasculaire toevoer heeft.



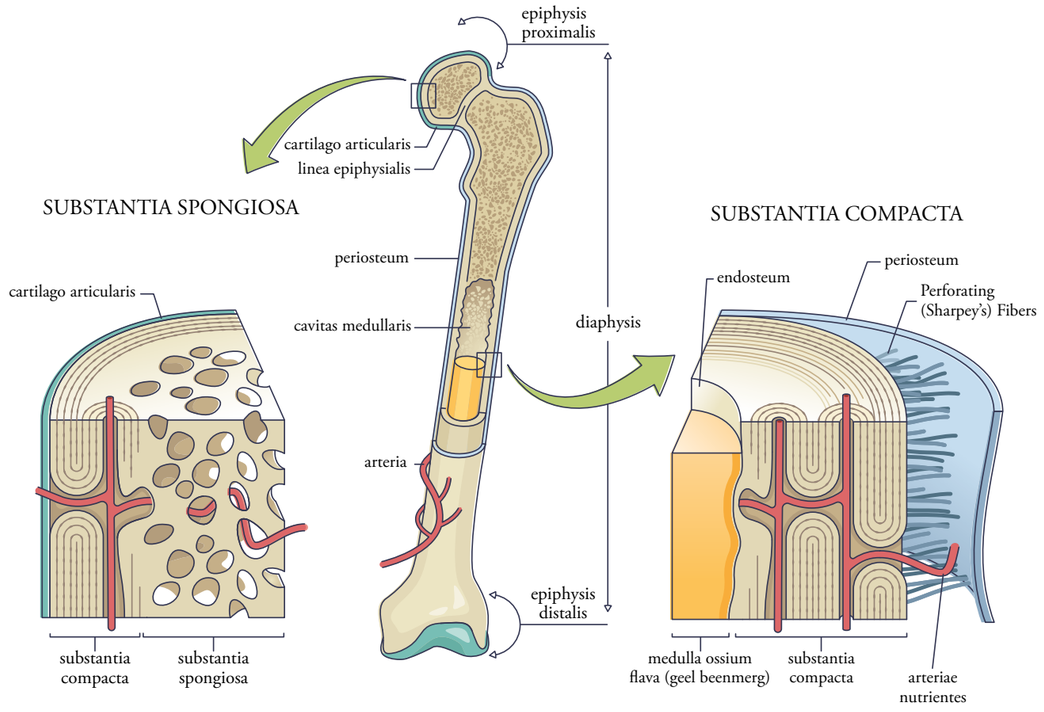
FIGUUR 1.6.
CROSS-SECTIONELE DOORSNEDE VAN BOT.

Sponsachtig bot (*substantia spongiosa*) maakt het skelet lichter en behoudt zijn stevigheid. Belangrijke kenmerken van sponsachtig bot zijn:

- lamellen – lagen botmatrix die de *trabeculae* vormen;
- lacunen – kleine holtes tussen de lamellen die osteocyten (botcellen) bevatten;
- *canaliculi*– kleine kanalen die uitstralen van de *lacunae* naar de ruimtes tussen de *trabeculae* voor het transport van voedingsstoffen;
- *trabeculae* – de onregelmatig gevormde stukjes bot van enkele lamellen dik;
- *endosteum* of beenmergruimte – holtes tussen de *trabeculae* die beenmerg en neurovasculaire structuren bevatten.

Het compact bot is, behalve op de gewrichtsoppervlakken, volledig omgeven door het *periosteum*. Het *periosteum* is een vezelachtige laag die de buitenkant van elk bot bedekt en een rijke neurovasculaire toevoer heeft.

Het *periosteum* bestaat uit twee lagen: een buitenste vezelachtige laag van dicht, onregelmatig bindweefsel, en een binnenste, osteogene laag die op het oppervlak van de botten zit en voornamelijk bestaat uit botproducerende osteoblasten en botvernietigende osteoclasten. Het membraan is aan het onderliggende bot bevestigd door dikke bundels collageenvezels, perforerende vezels genoemd, ook bekend als sharpey-vezels, die zich uitstrekken van het *periosteum* tot de extracellulaire botmatrix. Deze laag heeft eveneens een rijke aanvoer van zenuwvezels en bloed- en lymfevaten, die via verschillende voedingsforamina vanuit de omliggende gebieden de diafyse binnenkomen. Het botweefsel zelf bevat echter geen pijnzintuigen. Pijnklachten bij fracturen komen daarom voort uit beschadiging van het *periosteum*, en niet uit pijnklachten vanuit het botweefsel.



FIGUUR 1.7.
VERSCHILLEN TUSSEN COMPACT EN SPONGIEUS BOT.

Het *periosteum*:
1. helpt bij het herstel van fracturen;
2. voedt en beschermt het bot; en
3. fungeert als bevestigingspunt voor pezen en ligamenten.

Het *endosteum* anderzijds is een dun laagje cellen en bindweefsel aan de binnenkant van een bot (tegen de mergholte). Net als het *periosteum* heeft het *endosteum* een rijke bloedtoevoer. Hierdoor bevat het eveneens zowel osteoblasten als osteoclasten.

Beenmerg (*medulla ossium*) bevindt zich in de medullaire holtes (*cavum medullare*) of het mergkanaal van de lange botten. Beenmerg bevindt zich ook in de mazen van de *substantia spongiosa*. Er zijn twee soorten beenmerg, geel en rood, dat vet en bloedvormend weefsel bevat. Naarmate je ouder wordt, wordt het rode beenmerg vervangen door vet en wordt het geel beenmerg. Geel beenmerg slaat vet op. In gevallen van ernstige bloedarmoede kunnen de kleine hoeveelheden overgebleven rood beenmerg in geel beenmerg gereactiveerd worden om de productie van bloedcellen te verhogen. Het rode beenmerg (*medulla ossium rubra*) komt voor bij kinderen en in sommige – vooral korte – beenderen van de volwassene. Het gele vetrijke beenmerg (*medulla ossium flave*) komt voor bij volwassenen.

Een lang bot kunnen we ook nog eens onderverdelen in een diafyse, een epifyse en een metafyse (met de epifysaire schijf).

1.4.2. DIAFYSE, EPIFYSE, METAFYSE

De **diafyse** is een lange, cilindrische structuur die de hoofdschacht van een lang bot vormt. Aan de proximale en distale uiteinden van de diafyse bevinden zich de bredere **epifysen**, die bedekt zijn met het lichtblauwe hyalien kraakbeen (gewrichtskraakbeen). De epifyse bestaat uit *substantia spongiosa* met beentrabekels. De **metafyse** tot slot vormt de scheiding tussen diafyse en epifyse en bevat het cellulaire kraakbeen (het groeikraakbeen), zolang de lengtegroeiperiode niet voltooid is (dit is tot de leeftijd van ongeveer 25 jaar).

1.4.3. BOTMECHANICA

Bot is een dynamische structuur die voortdurend gemodelleerd en geremodelleerd wordt afhankelijk van de *mechanische behoefte*. In die zin zal bijvoorbeeld een spier of ligament niet vasthechten op een ruwheid, maar wel omgekeerd: de ruwheid op het bot (zoals bijvoorbeeld een *tuberculum*) zal ontstaan door tractie van de spieren op het bot. Zo kan zich een knobbel ontwikkelen omdat de aanhechtende spieren op zoek zijn naar een gunstige hefboom.

De *substantia compacta* is sterk en dens materiaal met een grote buigweerstand. Het vormt de gesloten ring van de diafyse en de buitenste beenlaag ter hoogte van de epifysen. De dikte van deze laag varieert van bot tot bot, en zelfs binnen één specifiek bot, afhankelijk van de mechanische omstandigheden die op het bot komen. In het midden van de diafyse, waar de meeste buiging en torsie optreedt, is deze laag het dikst.

De *substantia spongiosa* is licht en bestaat uit een netwerk van dunne *trabeculae osseae*, die de krachten opvangen. Deze *trabeculae* oriënteren zich in de richting van de krachten die erop inwerken. Op die manier wordt materiaal bespaard en wordt een licht maar sterk bot gevormd, dat voornamelijk drukkrachten kan opvangen. Dit materiaal ondersteunt dan ook de dunne laag *compacta* in de epifysen, waar grote compressiekrachten kunnen optreden. Een vergroting van het contactoppervlak (brede epifysen) vermindert de druk.

De hoeveelheid minerale zouten in het bot bepaalt in grote mate de hardheid, sterkte en rigiditeit van het botweefsel. Dat deze zouten essentieel zijn, blijkt wanneer een bot in zoutzuur wordt gelegd: de mineralen lossen op en het bot verliest zijn stevigheid, waardoor het te elastisch en buigzaam wordt.

Ook het collageen, dat beperkte flexibiliteit geeft, is een essentieel bestanddeel van het bot. Zo zal bij te weinig collagene vezels het been broos en glazig worden, waardoor het veel te gemakkelijk breekt.

In het bot zijn ook een aantal vitaminen en mineralen terug te vinden. Mineralen zoals calcium, fosfor, magnesium en fluoride worden opgeslagen in het bot. Vitaminen, meer specifiek C, A en D, zijn verantwoordelijk voor een aantal processen in het bot. Vitamine C is nodig voor de synthese van collageen. Vitamine A stimuleert de osteoblastactiviteit. Vitamine D verhoogt de opname van calcium in het bloed uit voedsel dat in het maag-darmkanaal wordt verteerd.

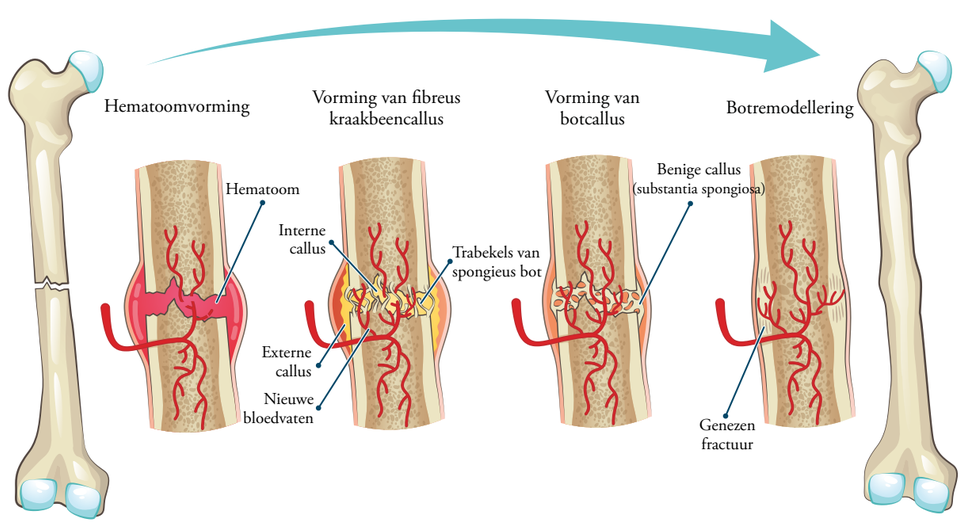
Mineralen	*calcium* *fosfor* *magnesium* *fluoride*
Vitaminen	*vitamine C* *vitamine D* *vitamine A*

TABEL 1.2.
MINERALEN EN VITAMINEN IN HET BOT.

1.4.4. HOE HERSTELLEN BOTBREUKEN?

Wanneer een botbreuk optreedt, wordt het herstelproces in gang gezet door een reeks gecoördineerde fases. De primaire genezing treedt op wanneer een arts de breuk stabiliseert met osteosynthesemateriaal tijdens een operatie. De secundaire genezing is de meest voorkomende vorm en is gebaseerd op het natuurlijk proces dat optreedt na een botbreuk. Die secundaire genezing bespreken we hieronder.

- De eerste fase is de inflammatoire fase, waarbij bloedvaten in het botweefsel en het *periosteum* beschadigd raken. Dit leidt tot het vrijkomen van bloed in de omliggende weefsels, wat resulteert in de vorming van een hematoom (1). Dit hematoom fungeert als een tijdelijke matrix rondom de breuk, en bevat signaalmoleculen die ontstekingscellen aantrekken en zo het herstelproces op gang brengen.



FIGUUR 1.8.
FASEN VAN BOTBREUKHERSTEL.

- Vervolgens treedt de reparatiefase in werking. Vanuit het *periosteum* migreren fibroblasten naar de fractuurplaats. Deze cellen produceren collageenrijk bindweefsel, waarin zich nieuwe bloedvaten ontwikkelen, een proces dat bekendstaat als angiogenese (2).
- Dit leidt vervolgens tot de vorming van een vezelige, kraakbeenachtige callus (3), ook wel de zachte callus genoemd. Hoewel deze structuur nog niet de mechanische sterkte van bot bezit, speelt ze een cruciale rol in het overbruggen van de fractuurlijn en het stabiliseren van de breuk. Parallel aan deze processen differentiëren mesenchymale stamcellen zich tot osteogene cellen, waaronder osteoblasten (de botvormende cellen) en osteoclasten (de cellen die bot afbreken). De osteoblasten migreren naar de zachte callus en beginnen met de afzetting van nieuw spongieus botweefsel. Hierdoor ontstaat een benige callus, die de gebroken botdelen steviger met elkaar verbindt en de basis vormt voor verdere botversteviging.
- De laatste fase is de remodelleringsfase (4), die maanden tot zelfs jaren kan duren. Tijdens deze fase wordt het aanvankelijk gevormde spongieuze bot geleidelijk vervangen door compact bot aan het buitenoppervlak. Osteoclasten verwijderen dode of beschadigde cellen en botfragmenten, terwijl osteoblasten nieuw lamellair bot aanleggen. Dit proces resulteert uiteindelijk in de reconstructie van de oorspronkelijke botstructuur, waarbij het bot zijn vroegere sterkte en vorm grotendeels herwint. De plaats van de breuk wordt zo omgevormd tot een stevig, functioneel botsegment dat bestand is tegen mechanische belasting.

1.4.5. HET SKELET EN ZIJN BENAMINGEN

Het menselijk lichaam bevat 206 botten, die samen het geraamte of skelet vormen en de hoofdvorm van het lichaam bepalen. Heel algemeen bekeken is het skelet als volgt opgebouwd.

HET AXIALE SKELET

Het axiale skelet (tachtig beenderen) omvat de botten die langs de centrale as van het lichaam liggen: de schedel (*cranium*), de wervelkolom (*columna vertebralis*), de ribben (*costae*) en het borstbeen (*sternum*).

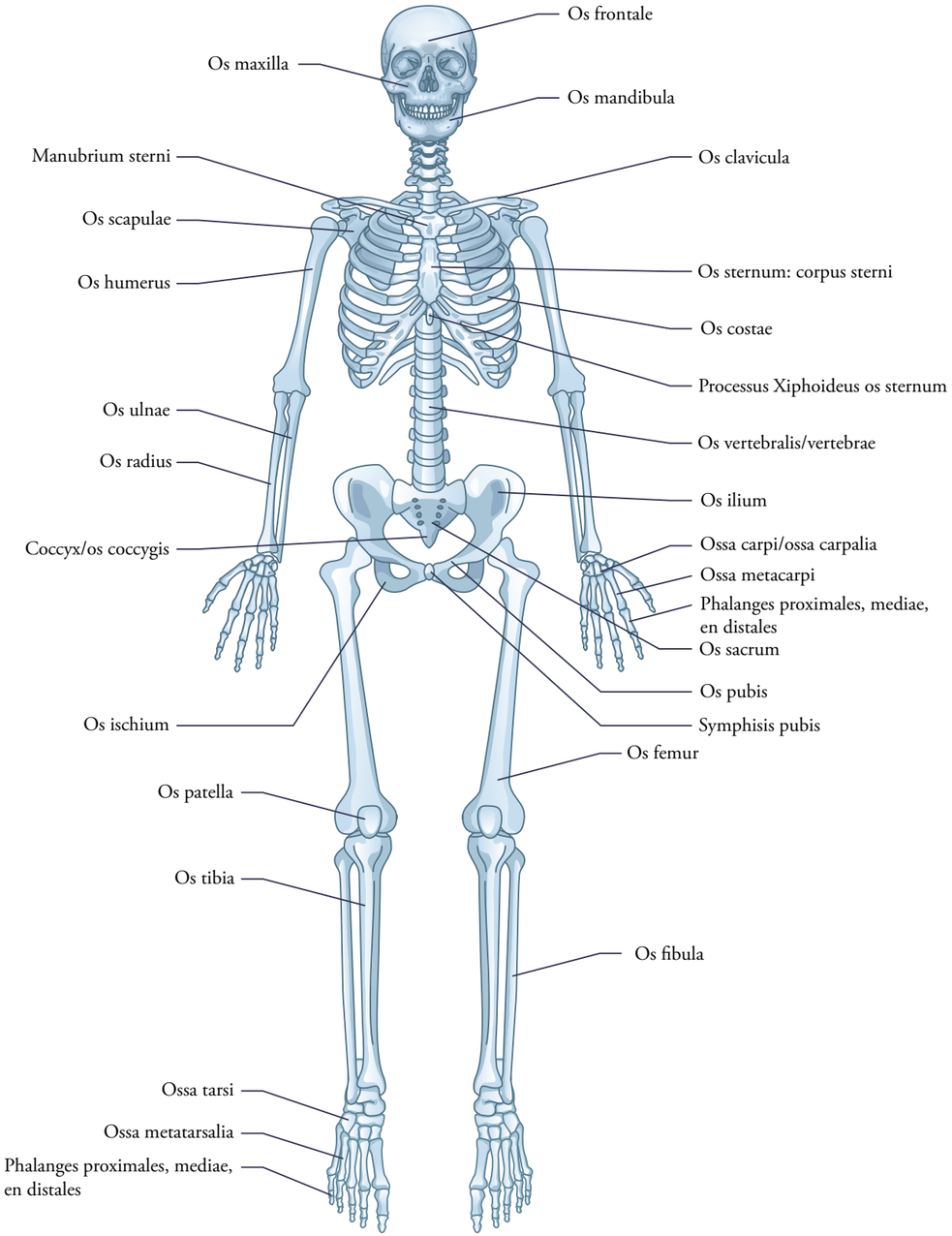
De wervelkolom bestaat uit een aaneenschakeling (de segmenten) van wervels die samen de stevige maar toch flexibele steunpilaar van het lichaam vormen. Tussen de niet-vergroeide wervels ligt telkens een *discus intervertebralis* (tussenwervelschijf).

Bij de mens bestaat de *columna vertebralis* van craniaal naar caudaal uit:
- zeven cervicale of halswervels: C1-C7
- twaalf thoracale of borstwervels: T1-T12
- vijf lumbale of lendenwervels: L1- L5
- vijf sacrale wervels (S1-S5): vergroeid tot één bot, het *os sacrum*
- drie tot vijf vergroeide coccygeale wervels: *os coccygis* (staartbeen)

De thorax bestaat uit het borstbeen (*sternum*) dat middels zeven paar echte ribben (*costae*) verbonden is met T1-T7. Drie van de vijf paar valse ribben verbinden T8-T10 met het ribkraakbeen van rib 7, terwijl de twee onderste (zwevende ribben) T11-T12 gebruiken maar niet tot aan het sternum reiken.

HET APPENDICULAIRE SKELET

Het appendiculaire skelet bestaat uit de botten van de ledematen en de beenderen die onze ledematen (zijnde het *membrum superius* en het *membrum inferius*) verbinden met het axiale skelet. Dit gebeurt via de schoudergordel (*cingulum pectorale*) en de bekkengordel (*cingulum pelvicum*). Het *membrum superius* bevat 2 x 32 beenderen en *inferius* 2 x 31 beenderen.



FIGUUR 1.9.
HET SKELET MET ZIJN LATIJNSE BENAMINGEN.

1.5. ARTROLOGIE

1.5.1. INLEIDING IN DE ARTROLOGIE: FUNCTIES VAN DE BEENVERBINDINGEN

De artrologie is het onderdeel van de anatomie dat de verbindingen tussen beenderen bestudeert, inclusief hun bouw, classificatie en functionele eigenschappen. Omdat beenverbindingen in het menselijk lichaam meerdere functies vervullen –afzonderlijke botstukken verbinden tot een coherent skelet, meer of minder beweging toelaten, stevige architectonische structuren vormen zoals het voetgewelf en krachten overdragen van het ene bot naar het andere – vertoont hun structuur een grote variabiliteit. Binnen deze systemen bestaat steeds een fijn evenwicht tussen stabiliteit en mobiliteit.

De syndesmologie (*syndesmologia*) vormt een gespecialiseerd deelgebied van de artrologie en richt zich specifiek op de ligamentaire en bindweefselmatige verbindingen die botten onderling stabiliseren. De gewrichten worden, afhankelijk van het type weefsel dat de botstukken verbindt, ingedeeld in *juncturae fibrosae*, *juncturae cartilagineae* en *juncturae synoviales*; samen staan deze verbindingen in voor stabiliteit, schokabsorptie en gecontroleerde beweging. Zowel naar bouw (structuur) als naar functie (mobiliteit) kunnen beenverbindingen verder worden geclassificeerd, wat de diversiteit en complexiteit van het menselijke gewrichtssysteem weerspiegelt.

Volgens de *bouw* onderscheiden we:

1.5.2. *JUNCTURAE FIBROSAE* (FIBREUZE OF BINDWEEFSELIGE VERBINDINGEN)

Bij een *juncturae fibrosae* zijn botstukken verbonden door fibreus bindweefsel dat in mindere (*sutura*) of meerdere (syndesmose) mate aanwezig is. Deze verbindingen zijn vrijwel onbeweeglijk; voorbeelden hiervan zijn de *suturae* of syndesmoses:

- *Sutura*: vormen een naad zoals bijvoorbeeld tussen de beenderen van de schedel. Ze zijn vaak getand, laten geen beweeglijkheid toe en verbenen na dertig jaar. Het *periosteum* loopt ononderbroken verder.
- Syndesmose: bevat bindweefsel met meer collageen dat bandvormig tussen de beenderen ligt. Een voorbeeld is de *membrana interossea* tussen het *os ulnae* en *radius* of de tibiofibulaire syndesmose.

1.5.3. *JUNCTURAE CARTILAGINEAE* (KRAAKBEENVERBINDINGEN)

Juncturae cartilagineae zijn verbindingen waarbij kraakbeen het contact tussen beenderen vormt, zoals bij de *disci intervertebrales* en de *symphysis pubica*, en staan slechts beperkte beweging toe. De botten zijn verbonden door één laag van kraakbeen. Afhankelijk van de aard van dit kraakbeen onderscheiden we:

- synchondrose: verbinding door middel van hard hyalien kraakbeen (bijvoorbeeld *synchondrosis sternalis* tussen de eerste rib en het sternum). De verbinding is rigide, er is geen beweeglijkheid.
- symfyse: hier is het hyaliene kraakbeen doorweven met vezelig kraakbeen, waardoor kleine beweging mogelijk is (bijvoorbeeld *symphysis pubis*).

1.5.4. *JUNCTURAE SYNOVIALES* (ECHTE GEWRICHTEN)

De beweeglijkste verbindingen zijn de *juncturae synoviales*, echte gewrichten (een zogenaamde *articulatio*) met een synoviale holte, gewrichtskapsel en met hyalien kraakbeen beklede gewrichtsoppervlakken. De botstukken zijn met elkaar in contact maar zijn niet verbonden. Tussen de botuiteinden bestaat een gewrichtsholte, een *cavum synovialis*. Deze gewrichten, zoals de *articulationes zygapophysiales* van de wervelkolom of het *articulatio humeri* in de schouder, maken grote en gevarieerde bewegingen mogelijk.

HET SYNOVIALE GEWRICHT

De meerderheid van de botverbindingen zijn synoviale gewrichten. Zeker in een functioneel bewegend lichaam zijn die de belangrijkste. Ze zijn essentieel gekenmerkt door de aanwezigheid van gewrichtsvlakken omgeven door een kapsel, gevuld met vocht (*synovia*), dat de gewrichtsholte omringt.

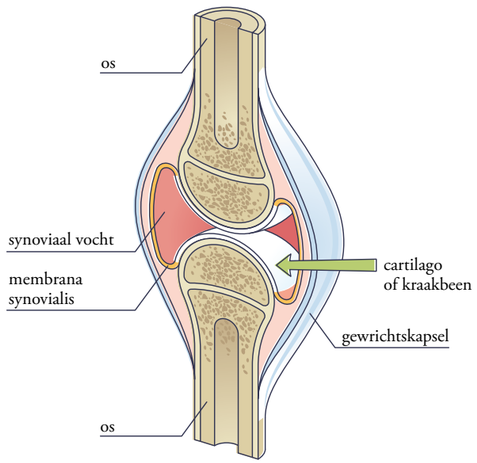
De gewrichtsvlakken (*facies articularis*) zijn bedekt met hyalien kraakbeen, dat hard en glad is.

Het **gewrichtskapsel (*capsula articularis*)** zit aan alle kanten vast aan het bot en omsluit de holte. Het bestaat uit twee lagen:

- *Membrana fibrosa* bestaat uit dicht bindweefsel en is de buitenste laag die uitloopt in het *periosteum*. Het is dik, stevig en weinig elastisch, zodat het bestand is tegen hoge trekkrachten, waardoor de stabiliteit van het gewricht wordt vergroot. Dit membraan kan aangetrokken worden door ligamenten of spieren.
- *Membrana synovialis* is de binnenste elastische laag die bloedvaten en zenuwen bevat. Het produceert nieuwe gewrichtsvloeistof en resorbeert vervuilde vloeistof. Dit membraan bedekt alle oppervlakken binnen het kapsel, zoals intra-articulaire pezen en banden, behalve het kraakbeen en eventuele *discussen* of menisci.
- De gewrichtsspleet (*cavum articulare*) bevat het synoviaal vocht (synovia) dat door de *membrana synovialis* wordt uitgescheiden. Het is een helder en slijmerig vocht dat het kraakbeen voedt en smeert. Deze smering is belangrijk om slijtage en wrijving te voorkomen. De effectiviteit ervan is bijzonder groot: de wrijving in de knie is zo'n twintigmaal kleiner dan de wrijving van ijs op ijs.

Verder kan – maar dat is niet altijd zo – het gewricht aangevuld worden met:

- **Gewrichtsbanden (*ligamenta*)** versterken meestal het kapsel en het gewricht. Ze leiden of beperken de beweging. Deze banden kunnen intra-, extra- of capsulair zijn.
- **Capsulaire ligamenten** zijn meestal breed en verdikken het gewrichtskapsel.
- **Extracapsulaire banden** lijken op touwen gelegen op een afstand van het kapsel.
- **Intracapsulaire banden** bevinden zich tussen de twee lagen van het kapsel (extrasynoviaal).
- **Tussenschijven (discussen of menisci)** vullen geheel of gedeeltelijk de ruimte tussen de gewrichtsvlakken (intrasynoviaal), vooral indien deze vlakken niet congruent zijn. Ze bestaan uit kraakbeen, vezelkraakbeen of bindweefsel. Ze regelen de beweging, verbeteren het contact, zijn schokabsorberend en verdelen de druk op de gewrichtsvlakken.
- **Gewrichtslippen (*labra articularia*)** vormen fibreuze ringen die rondom de kraakbeenranden stevig op het been vastzitten en het gewrichtsvlak vergroten.
- **Slijmbeurzen (*bursae synovialis*)** vergemakkelijken het glijden van pezen en spieren in de omgeving van gewrichten. Ze zijn gevuld met synovia.
- **Vetlichaampjes (*corpora adiposa*)** dempen piekbelastingen en vullen ruimtes op, zodat het volume van het gewrichtsvocht gereduceerd wordt.
- **Prorioceptoren** voor pijn en belasting kunnen voorkomen in ligamenten en *membrana fibrosa*.



FIGUUR 1.10.
EEN SYNOVIAAL GEWRICHT MET ZIJN ONDERDELEN.

SOORTEN SYNOVIALE GEWRICHTEN OP BASIS VAN VRIJHEIDSGRADEN

Op basis van het aantal vrijheidsgraden worden synoviale gewrichten ingedeeld in eenassige, tweeassige of drieassige gewrichten.

Eenassig gewricht

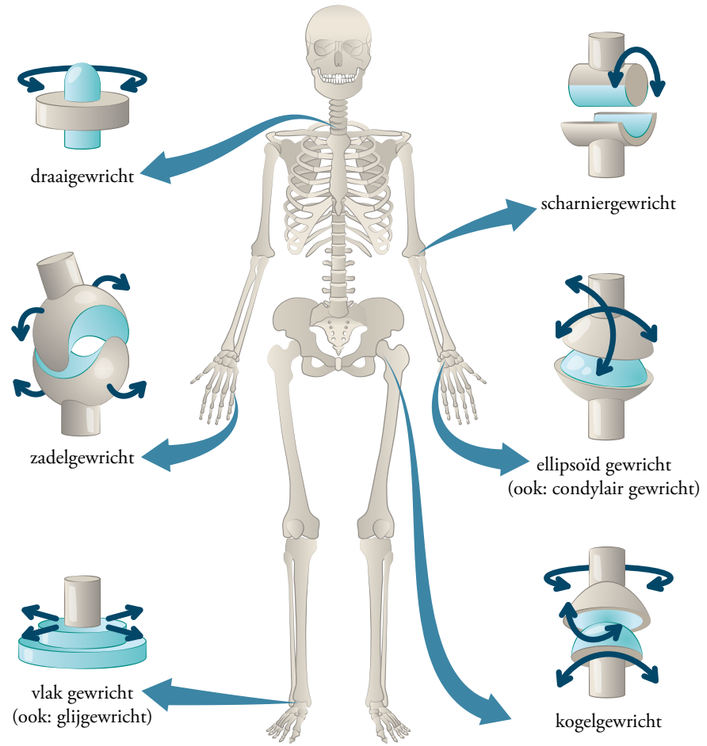
- Scharniergewricht (katrolgewricht): te vergelijken met het scharnier van een deur. De as staat loodrecht op de beenstukken (bijvoorbeeld tussen de *phalanges*), zorgt voor een flexie/extensie beweging.
- Rol- of draaigewricht (cilindergewricht): te vergelijken met een deurknop. De as loopt parallel met de beenstukken (bijvoorbeeld *art. radio-ulnaris proximalis*), zorgt voor rotatie.

Tweeassig gewricht

- Het zadelgewricht (tweeassig) is bol (convex) in de ene richting, hol (concave) in de andere richting (bijvoorbeeld *art. carpo metacarpea*).
- Het ellipsoïdgewricht of eivormig gewricht (tweeassig) is hol in beide richtingen, maar de krommingsgraad verschilt. Volgens de lange as is flexie en extensie mogelijk, en volgens de korte as, loodrecht hierop, is abductie en adductie mogelijk (bijvoorbeeld *art. radiocarpea*).

Drieassig gewricht

- Het kogel- of bolgewricht (drieassig) heeft een kop die in een kom articuleert (bijvoorbeeld heup- en schoudergewricht). Er is hierdoor beweging rond drie assen mogelijk: flexie/extensie, abductie/adductie en rotatie (bv. schoudergewricht en heupgewricht).
- Het vlakke gewricht (drieassig) laat voornamelijk glijbewegingen toe in meerdere richtingen, maar met beperkte amplitude (bv. tussen handwortelbeentjes).



FIGUUR 1.11.
CLASSIFICATIE VAN SYNOVIALE GEWRICHTEN VOLGENS BEWEGINGSVRIJHEID.

1.6. MYOLOGIE

1.6.1. ALGEMENE BOUW VAN EEN SPIER

Alle cellen van het menselijk lichaam bevatten in mindere of meerdere mate contractiele structuren, opgebouwd uit specifieke eiwitten. In het spierweefsel is deze contractiele eigenschap specifiek uitgebouwd vanuit de myoblasten in het mesoderm. De synchrone samentrekking van dergelijke cellen leidt tot:

- krachtproductie, waardoor beweging of stabilisatie van skeletdelen mogelijk is; of
- ritmische contractie van een orgaan (hart) of weefsel (darm, bloedvat).

Spieren kunnen een erg verschillende functie, structuur en bezenuwing hebben. Op basis hiervan worden *drie soorten* onderscheiden:

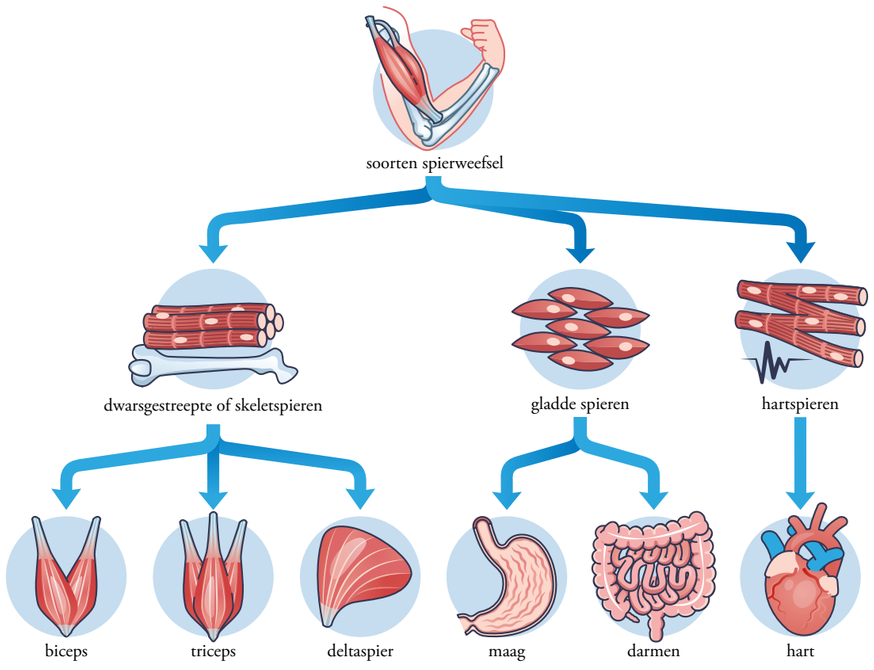
- dwarsgestreept spierweefsel
- hartspierweefsel
- glad spierweefsel

Hiervan is de dwarsgestreepte spier de meest voorkomende. Hij maakt een derde van het lichaamsgewicht uit.

1.6.2. SOORTEN SPIEREN

DWARSGESTREEPTE SPIER (SKELETSPIER)

De gehele spier is omgeven door een bindweefselvlies (*epimysium*). Hierin bevinden zich bundels, *fasciculi*, omgeven door een *perimysium*. De bundels zelf bestaan uit *spiercellen* (een spiervezel is een cel) waarin *meerdere kernen* (honderden) voorkomen. Met een diameter tot 100 µm en een lengte tot 60 cm is de spiercel dan ook extreem groot. Zoals elke cel is de vezel omgeven door een celmembraan (het *sarcolemma*), hier versterkt door het *endomysium.*



FIGUUR 1.12.
SOORTEN SPIERWEEFSEL.

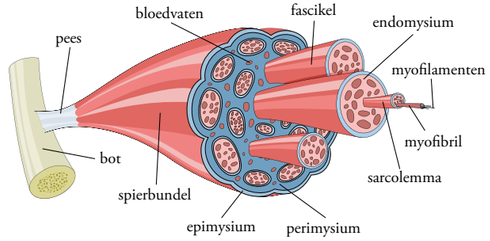
De spiervezel bevat de contractiele elementen (*myofibrillen*), die zo'n 1 µm dik zijn. Een myofibril is een bundel van dikke (*myosine*) en dunne (*actine*) *myofilamenten* die volgens een vast patroon gerangschikt zijn in de lengterichting van de spier. De myofibrillen vertonen een dwarse streping, omdat lichte (I-band, isotroop) en donkere (A-band, anisotroop) zones elkaar volgens een vaste regelmaat afwisselen. In het midden van de I-band verloopt de *Z-lijn*, die het hele myofibril in identieke segmenten van zo'n 2,5 µm lang verdeelt, die *sarcomeren* genoemd worden.

Het bindweefsel dat de spierbuik en de spierbundels omgeeft, gaat gedeeltelijk over in de oorsprongs-aanhechtingspees van de spier. De pees zelf bestaat uit parallel verlopende bundels collageen, die overgaan in het *periosteum* en in de fibrillen van Sharpey. Soms eindigen spieren in een fascia, op andere spieren of in de huid.

Met de **proximale insertie** – ook wel *origo* of oorsprong genoemd – bedoelt men de aanhechtingsplaats van een spier die het dichtst bij het centrum van het lichaam ligt. Bij de ledematen is dit dus de meest proximale aanhechting. **De distale insertie** – vroeger vaak *insertie* genoemd – verwijst naar de spieraanhechting die verder van de romp verwijderd ligt. Tijdens een beweging blijft de proximale insertie meestal relatief stabiel, terwijl de distale insertie zich vaker verplaatst, wat resulteert in de beweging van het betreffende lichaamssegment. Al hoeft dat laatste niet altijd zo te zijn.

Krachtproductie

Het sarcomeer is de kleinste kracht genererende eenheid van de spier. Kracht in een geactiveerd sarcomeer ontstaat, omdat vanuit de myosine bruggetjes (*cross-bridges*) gevormd worden die vasthaken aan de actine. Deze bruggetjes doen het sarcomeer samentrekken, omdat ze met een knikje de actine tussen de myosine willen doen schuiven, waardoor de I-band korter wordt en de Z-lijn opschuift (*sliding filament theory*, Huxley 1957). Dit vraagt energie, meer bepaald adenosinetriphosfaat (ATP), dat voornamelijk geleverd wordt uit de afbraak van glycogeen.



FIGUUR 1.13.
STRUCTUUR VAN EEN SKELETSPIER EN SPIERVEZEL.

HARTSPIER

De hartspier bevat één centraal gelegen kern per cel. Hoewel de myofilamenten in sarcomeren en myofibrillen georganiseerd zijn, heeft de hartspier een minder gestreept aspect, omdat naast de myofibrillen ook vele andere celorganellen aanwezig zijn. Bezenuwing gebeurt via een speciaal netwerk van geleidingsbundels, die synchrone en ritmische contracties mogelijk maken.

GLADDE SPIER

De gladde spier bevat één centraal gelegen kern per cel. Ze vertonen geen dwarse streping, want de filamenten zijn niet volgens fibrillen gerangschikt. De cellen zijn eerder spleetvormig en door elkaar geweven. Tussen de cellen komen collagene en reticuline vezels voor. Bezenuwing gebeurt door het autonome zenuwstelsel. Glad spierweefsel komt voor in bijna elk orgaan (darmen, luchtwegen, bloedvaten et cetera)

1.6.3. ANATOMISCHE BENAMINGEN VAN SPIEREN

Een skeletspier wordt in grote lijnen opgedeeld op basis van zijn vorm, grootte en/of locatie. De namen van spieren zijn vaak te begrijpen omdat ze refereren aan een dergelijk specifiek kenmerk, zoals:

- de vorm: *m. deltoideus*, *m. quadratus*
- grootte: *m. gluteus maximus*, *m. teres minor*
- aantal pezen (ook wel 'hoofden of koppen' genoemd): *m. biceps*, *m. triceps*
- plaats in het lichaam: *m. brachialis*, m. *palmaris longus*
- functie: *m. supinator*, m. *adductor magnus*

Hieronder een gedetailleerder overzicht:

LATIJNSE NAAM	BETEKENIS
Oriëntatie: spieren krijgen een naam op basis van hun oriëntatie tegenover de middellijn van het lichaam	
Obliquus	diagonaal
Rectus	recht met de middellijn
Transversus	dwars – loodrecht op de middellijn
grootte: spieren krijgen een naam op basis van hun relatieve grootte	
Brevis	kort
Latissimus	breedste
Longissimus	langste
Longus	lang
Magnus	groot
Major	groter
Maximus	grootste
Minimus	kleinste
Minor	kleiner
Vastus	enorm
Vorm: spieren krijgen een naam op basis van hun vorm	
Deltoideus	driehoekig
Gracilis	slank
Piriformis	peervormig
Quadratus	vierkant
Rhomboideus	diamant-vormig
Serratus	zaagtand
Werking: spieren krijgen een naam op basis van hun werking en actie	
Abductor	beweegt weg van de middellijn
Adductor	beweegt naar de middellijn

LATIJNSE NAAM	BETEKENIS
Depressor	verlaagt
Extensor	vergroot de gewrichtshoek
Flexor	vermindert de gewrichtshoek
Levator	verhoogt
Pronator	draait de handpalm en pols naar achteren
Rotator	draait om de lengteas
Sphincter	sluit een opening
Supinator	draait de palm naar voren
Tensor	strekt/maakt stijf
Aantal hoofden: spieren kunnen een naam krijgen op basis van het aantal pezen die ze hebben	
Biceps	twee pezen/aanhechtingen
Triceps	drie pezen/aanhechtingen
Quadriceps	vier pezen/aanhechtingen

TABEL 1.3.
LATIJNSE BENAMINGEN VAN DE SPIEREN.

VORM SPIER	VOORBEELD
Eenkoppige spier	M. extensor carpi radialis longus
Tweekoppige spier	M. biceps brachii
Driekoppige spier	M. triceps brachii
Platte spier	M. transversus abdominis
Quadrate spier	M. pronator quadratus
Triangulaire spier	M. deltoideus / M. pectoralis major
Rechte spier	M. rectus abdominis

TABEL 1.4.
VOORBEELDEN PER VORM.

MONOARTICULAIRE EN BIARTICULAIRE SPIEREN

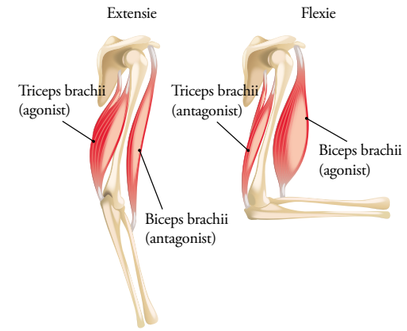
Een monoarticulaire spier oefent zijn functie uit over één gewricht. Een biarticulaire spier is een spier die in zijn verloop twee gewrichten passeert en hierdoor ook een functie heeft in beide gewrichten. Een voorbeeld hiervan is de *m. gastrocnemius*, die over het knie- en enkelgewricht loopt. Deze spier zal dan ook meewerken om een flexie in de knie uit te voeren én een plantairflexie in de enkel. De *m. soleus* loopt enkel over het enkelgewricht en veroorzaakt hierdoor enkel een plantairflexie in de enkel.

1.6.4. SPIERACTIE EN BEWEGING

In de klassieke anatomie wordt de functie van de spier bepaald in de veronderstelling dat de proximale insertie het vaste punt is en de *insertio* kan bewegen. Uiteraard kan zich evenzeer het omgekeerde voordoen (geïnverseerd spierwerk).

Hoewel meerdere spieren bij een actie betrokken kunnen zijn, wordt de belangrijkste spier de **hoofdbeweger, *prime mover* of agonist** genoemd. Bij flexie van de onderarm, bijvoorbeeld bij het optillen van een kopje, zal de *m. biceps brachii* de belangrijkste beweger zijn. Omdat die kan worden ondersteund door de *brachialis*, wordt de *brachialis* een synergist genoemd bij deze actie (zie afbeelding). Een **synergist** kan ook een fixator zijn, die de oorsprong van de spier stabiliseert. Synergisten zijn dus spieren met eenzelfde functie (samenwerkende spieren), maar die de beweging niet hoofdzakelijk uitvoeren. Ze werken synergisch.

Een spier kan zichzelf niet verlengen en kan geen duwkracht genereren. Er moet dus altijd een spier bestaan met de tegenovergestelde functie **(antagonist)**.



FIGUUR 1.14.
AGONIST EN ANTAGONIST VAN EEN ELLEBOOGFLEXIE.

Een spier met een tegenovergestelde actie van de agonist wordt een antagonist genoemd. Antagonisten spelen twee belangrijke rollen in de spierfunctie: (1) ze handhaven de lichaams- of ledemaatpositie, zoals de arm uitsteken of rechtop staan; en (2) ze controleren snelle bewegingen of de beweging van een ledemaat.

In het voorbeeld van hierboven, waarbij we een glas optillen om iets te drinken, zullen de spieren aan de anterieure zijde van de bovenarm zorgen voor een flexie (of buiging) in de elleboog, maar zal de *m. triceps brachii* (= agonisten en synergisten), gelegen in de posterieure zijde van de bovenarm, zorgen voor een gecontroleerde beweging van de elleboog (= de antagonisten).

Een ander voorbeeld is het strekken van de knie via de spieren van het bovenbeen. Hierbij wordt een groep van vier spieren geactiveerd die de *quadriceps femoris* wordt genoemd in het voorste compartiment van het bovenbeen. De *mm. rectus femoris* worden in dit geval de agonisten van het strekken van het bovenbeen in de knie genoemd. De antagonisten, genaamd de hamstrings, gelegen in het posterieure compartiment van het bovenbeen worden geactiveerd om de beweging te vertragen, te stoppen en te controleren.

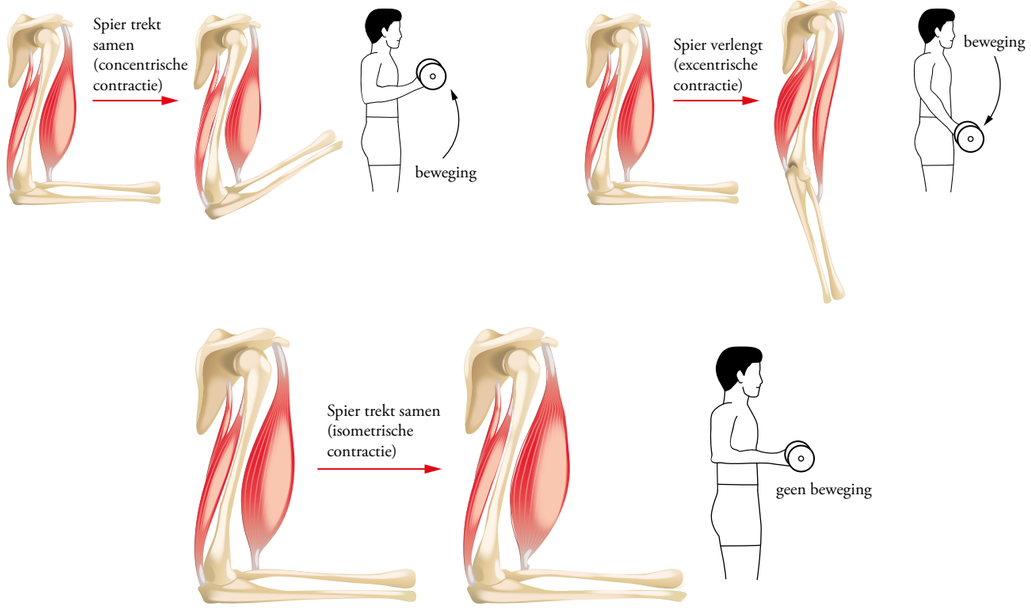
Deze termen zijn omgekeerd voor de tegenovergestelde actie, flexie van het been bij de knie. In dit geval worden de hamstrings de agonisten genoemd en de *quadriceps femoris* de antagonisten.

Op basis van de **relatie tussen spieractie en beweging** onderscheidt men drie soorten contracties:

- **isometrische contractie:** hoewel de spier een moment levert, treedt er geen beweging op en verandert de spier niet van lengte (statische contractie). De actie van de spier wordt tegengewerkt door bijvoorbeeld de antagonist of een extern moment dat even groot is maar in tegengestelde zin.
- **concentrische contractie:** tijdens contractie verkort de spier. De spieractie komt dan overeen met de beweging (een buiger buigt het gewricht, een strekker strekt het gewricht).

  In de klassieke anatomie gaat men ervan uit dat de spieren concentrisch werken.
- **excentrische contractie:** de spier verlengt terwijl ze geactiveerd is en kracht levert. De beweging is tegengesteld aan de spieractie. Zo zal bijvoorbeeld tijdens het afremmen bij bergaf lopen de kniestrekker werken terwijl de knie buigt.

De krachtproductie tijdens deze drie soorten contracties is niet gelijk. Tegenover de isometrische referentiekracht zal de concentrische kracht lager zijn en de excentrische kracht hoger.



FIGUUR 1.15.
CONCENTRISCHE, EXCENTRISCHE EN ISOMETRISCHE SPIERCONTRACTIE.

1.7. HET ZENUWSTELSEL

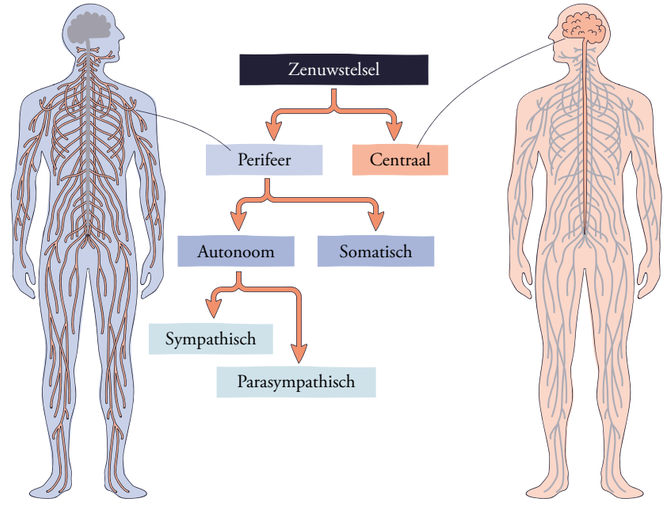
1.7.1. HET ZENUWSTELSEL OPGEDEELD

Anatomisch kan men het zenuwstelsel opdelen in twee grote delen: het centrale en perifere zenuwstelsel.

1. Het **centrale zenuwstelsel (CZS)** bestaat uit de hersenen en het ruggenmerg. Beide worden omgeven door een benig omhulsel, respectievelijk de schedel en het wervelkanaal. Het CZS is omgeven door hersenvocht (schokbrekende werking) en omsloten door hersen- of ruggenmergvliezen.
2. Het **perifere zenuwstelsel (PZS)** wordt niet omgeven door een benig omhulsel. Het zorgt voor de verbindingen tussen het centrale zenuwstelsel en de verschillende stelsels van het lichaam. De craniale (hersen)zenuwen lopen door de schedel via diverse *foramina*, de ruggenmergzenuwen (*nervi spinales*) lopen tussen de wervelbogen, door de *foramina intervertebralia*. Het perifere zenuwstelsel maakt de verbinding tussen de verschillende sensoren en spieren enerzijds en het CZS anderzijds. Deze verbinding loopt in twee richtingen: (1) sensoren sturen informatie door naar het CZS (via afferente banen) en (2) het CZS stuurt de spieren in ons lichaam aan (efferente banen). Dit kan zowel bewust als onbewust plaatsvinden.

We kunnen het zenuwstelsel ook nog opdelen in het somatische en het autonome zenuwstelsel.

1. Het **somatische zenuwstelsel** bestaat uit het centrale zenuwstelsel (hersenen en ruggenmerg) en een somatisch deel dat tot het perifere zenuwstelsel behoort (de zenuwen van hoofd, romp en ledematen). Het somatische zenuwstelsel ontvangt informatie van onze sensoren en stuurt de skeletspieren aan op een bewuste manier.
   a. Een zenuw wordt gevormd door een bundel neuron axonen omgeven door een omhulsel van bindweefsel en heeft afferente of efferente vezels. Afferente zenuwen transporteren sensorische signalen van het lichaam naar de hersenen, efferente zenuwen transporteren motorische signalen van de hersenen naar het lichaam. Deze twee soorten zenuwen reizen vaak samen door het lichaam en vormen zo gemengde zenuwen. De zenuw zorgt voor een actiepotentiaal, die op zijn beurt sensorische informatie naar de hersenen of motorische informatie naar het lichaam stuurt.
2. Het **autonome zenuwstelsel** bestaat uit het (ortho) sympathische en parasympathische zenuwstelsel en



FIGUUR 1.16.
HET ZENUWSTELSEL ANATOMISCH EN FUNCTIONEEL OPGEDEELD.

is betrokken bij het aansturen van onze onbewuste lichaamsfuncties (glad spierweefsel, het hart en verschillende klieren). Het autonome zenuwstelsel ontvangt en verstuurt informatie naar onze interne organen (hart, spijsvertering…) en stuurt op die manier onbewust onze lichaamsfuncties aan. De twee systemen werken vaak antagonistisch.

a. Activering van het sympathische systeem verhoogt bijvoorbeeld de hartslag, leidt bloed van het spijsverteringskanaal naar de spieren en bereidt het lichaam voor op actie (de zogenaamde vecht-of-vluchtreactie) door de bijnieren te stimuleren en adrenaline vrij te maken.
b. Activering van het parasympathische systeem daarentegen zorgt voor een toestand van rust in het lichaam. Het parasympathische zenuwstelsel vertraagt de hartslag, stimuleert de spijsvertering en helpt het lichaam naar een toestand te gaan die de opbouw van weefsel en de herstelmechanismen van het lichaam bevordert.

3. Verder bestaat er ook nog een kleiner zenuwstelsel, genaamd het **enterische zenuwstelsel**. Dit zenuwstelsel ligt binnen de wanden van het maag-darmkanaal en werkt onafhankelijk van het CZS, maar staat wel in verbinding met de nervus vagus.

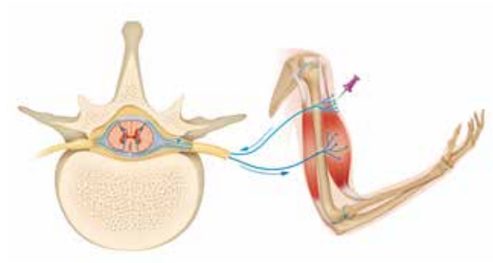
1.7.2. DE AANSTURING VAN EEN SPIER

De aansturing van een spier begint in de motorische cortex van de hersenen, waar een zenuwimpuls wordt gegenereerd op basis van het gewenste motorische commando. Deze impuls reist via de afdalende banen, voornamelijk de *tractus corticospinalis*, en de basale ganglia door de hersenstam naar het ruggenmerg.

De *medulla spinalis* (het ruggenmerg) ligt in het kanaal van de wervelkolom en begint bij de *medulla oblongata* aan de basis van de hersenstam en strekt zich naar beneden uit. Het ruggenmerg eindigt zijn neerwaartse traject in een kegelvormige conus, de *conus medullaris* genaamd. Vanaf dit punt waaiert de *cauda equina* of de paardenstaart zich uit, een dunne streng van vezelig weefsel, om het ruggenmerg aan het *os coccygis* te verankeren.

Het ruggenmerg vertoont op twee plaatsen een verbreding (cervicaal en lumbaal) waar de spinale zenuwen (sensorisch en motorisch) ontspringen voor het bovenste en onderste ledemaat. Het vormt op die manier de verbinding tussen de hersenen en alle spieren van het lichaam, met uitzondering van de zenuwen naar het hoofd en de nek, en geeft ook sensibele informatie terug aan het CZS. Het speelt een fundamentele rol in bijna alle lichaamsfuncties, van eenvoudige reflexen tot complexe motorische bewegingen. Dat gebeurt via de ventrale (motorische) en dorsale (sensibele) wortels/hoorns van het ruggenmerg.

Bij het verlaten van het ruggenmerg organiseren de twee wortels zich in één spinale zenuw aan iedere zijde, die door het *foramen intervertebrale* de wervelkolom verlaat. De spinale zenuwen of de ruggenmergzenuwen vormen een brug tussen het centrale en het perifere zenuwstelsel. Deze zenuwen maken een complex communicatienetwerk mogelijk tussen de hersenen, het ruggenmerg en de rest van het lichaam, waardoor zintuiglijke input, motorische output en autonome functies mogelijk worden. De spinale zenuw maakt vanaf dat punt dus ook deel uit van het perifere zenuwstelsel.



FIGUUR 1.17.
RUGGENMERG – SPINALE ZENUW – SPIERCONNECTIE.

Op die manier zijn er, zoals de 31 segmenten in de *medulla spinalis*, ook 31 bilaterale paren spinale zenuwen gevormd door de vereniging van twee verschillende wortels: de dorsale wortel en de ventrale wortel. Deze zenuwen zijn symmetrisch georganiseerd en worden gecategoriseerd op basis van het gebied van de wervelkolom waar ze uit komen: acht cervicale (C1-C8), twaalf thoracale (T1-T12), vijf lumbale (L1-L5), vijf sacrale (S1-S5) en één coccygeale (Co1) zenuw.

- **Cervicale zenuwen (C1-C8):** deze acht zenuwparen verzenden signalen van en naar het hoofd, de nek en de bovenste ledematen.
- **Thoracale zenuwen (T1-T12)**: de twaalf paar thoracale zenuwen komen overeen met de twaalf thoracale wervels en regelen het gevoel en de motoriek van de borst-, bovenrug- en buikspieren. De zenuwen T1 tot T11 zijn de intercostale zenuwen, terwijl T12 de subcostale zenuw is.
- **Lumbale zenuwen (L1-L5):** vijf paar lumbale zenuwen besturen de onderrug, heupen en delen van de benen.
- **Sacrale zenuwen (S1-S5):** de sacrale zenuwen bestaan uit vijf paar en zijn verantwoordelijk voor de functie van de onderste ledematen, bekkenorganen en sommige spieren in de heupen en benen.
- **Nervus coccygeus (Co1):** het enkele coccygeale zenuwpaar geeft sensorische innervatie aan de huid van het stuitbeen en het omliggende gebied, evenals aan sommige spieren in de bekkenbodem. De motorische functies zijn minimaal en niet zo goed gedefinieerd als die van de andere spinale zenuwen.

Uit deze spinale zenuwen worden vier belangrijke zenuwplexussen gevormd: de *plexus cervicalis*, *plexus brachialis*, *plexus lumbalis* en *plexus sacralis*. Deze plexussen zorgen voor een efficiënte herverdeling van zenuwvezels en een nauwkeurige aansturing van spieren en huidgebieden in de nek, armen, benen en het bekken.

Een contractie van een spier wordt uiteindelijk geïnitieerd door een depolarisatie van de celmembraan, veroorzaakt door een actiepotentiaal dat via *de motorische zenuw* geleid wordt. Deze samentrekking kan gewild of spontaan gebeuren. De motorische zenuw vertakt in de spierbuik en gaat ter hoogte van de motorische eindplaat de vezel innerveren en alle sarcomeren binnen deze vezel activeren. Een geheel van vezels, geïnnerveerd door eenzelfde motorische zenuw, wordt de *motorische eenheid* genoemd (*motor unit*). Zolang de spier geïnnerveerd, is zal zelfs bij volledige relaxatie een lichte spanning in de spier aanwezig zijn, die de *spiertonus* wordt genoemd.

1.8. BLOEDVOORZIENING

De doorbloeding, of circulatie, van het (bewegend) lichaam vormt een essentieel systeem dat voortdurend zorgt voor het transport van zuurstof, voedingsstoffen, hormonen en afvalstoffen door het hele lichaam.

Het cardiovasculair stelsel bestaat uit het hart (cor), een krachtig musculair pomporgaan dat ritmisch bloed door de circulatie stuwt, en een uitgebreid netwerk van bloedvaten (*vasa sanguinea*). Anatomisch gezien bevindt het hart zich in het mediastinum en is het opgebouwd uit twee atria en twee ventrikels, die door kleppen worden gescheiden om eenrichtingsstroming te verzekeren. Via gecoördineerde contracties van het myocard (hartspier) ontstaat een afwisseling van systole en diastole, wat de bloedstroom door de bloedsomloop aandrijft.

Het bloed circuleert door twee nauw verbonden circuits:

- De systemische circulatie (*circulatio systemica*) transporteert zuurstofrijk bloed van het linkerventrikel naar alle organen en weefsels, waarna zuurstofarm bloed via het veneuze stelsel terugkeert naar het rechteratrium.
- De pulmonale circulatie (*circulatio pulmonalis*) voert dit bloed vervolgens naar de longen via de *truncus pulmonalis*, waar gasuitwisseling plaatsvindt in de alveolaire capillairen. Het zuurstofrijke bloed stroomt daarna via de *venae pulmonales* terug naar het linkeratrium, waarmee de circulatiecyclus zich voltooit.

De bloedvaten zelf vertonen een duidelijke structurele en functionele hiërarchie. Arteriën (*arteriae*) voeren bloed onder hoge druk vanuit het hart weg en vertakken in steeds kleinere arteriolen, die uiteindelijk uitmonden in het netwerk van capillairen (*vasa capillaria*). Het is ter hoogte van deze *vasa capillaria* dat er een uitwisseling plaatsvindt tussen bloed en weefsel, via processen zoals diffusie, filtratie en reabsorptie. Het bloed wordt nadien via respectievelijk de *venulae* en de grotere venen (venae) terug naar het hart gevoerd.

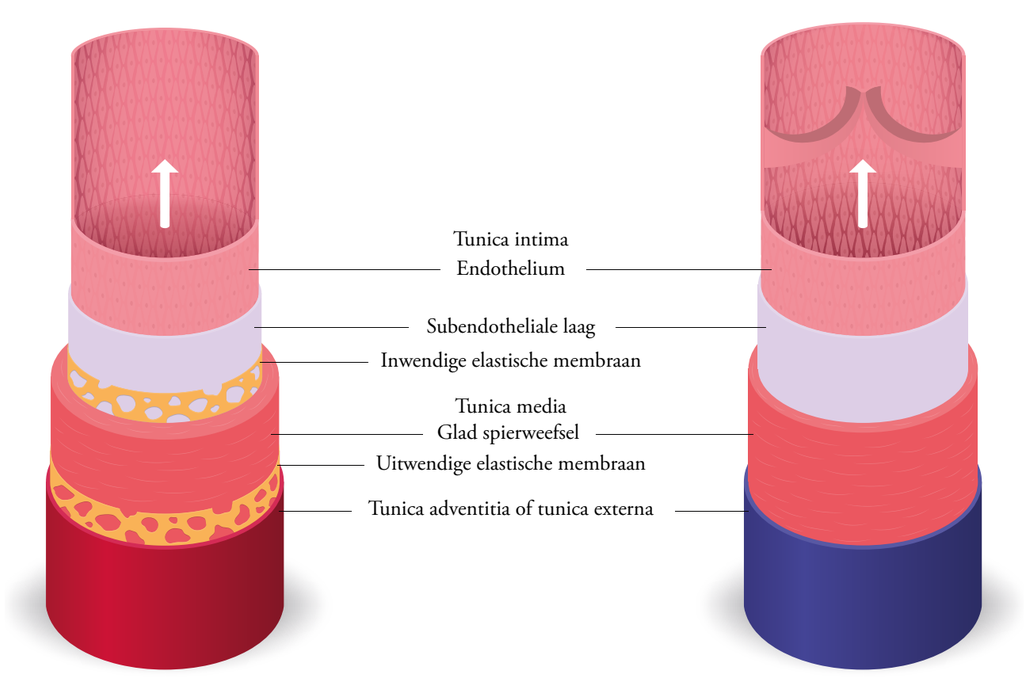
De wand van een bloedvat is opgebouwd uit drie concentrische lagen, die elk een specifieke structuur en functie hebben. Deze lagen – de ***tunica intima***, ***tunica media*** en ***tunica adventitia*** – komen voor bij zowel arteriën als venen, maar de dikte en samenstelling varieren afhankelijk van het type bloedvat en de functie in de circulatie.

De *tunica intima* is de binnenste laag van het bloedvat en staat rechtstreeks in contact met het bloed in het lumen. Hij zorgt hierdoor voor transport tussen bloed en weefsel, en speelt een actieve rol in vasoregulatie via afgifte van stoffen zoals NO. Hij bestaat wederom uit drie onderdelen:

1. endotheel: eenlagig plaveiselepitheel (endotheelcellen) dat de binnenwand bekleedt en waar de cellen op een dunne basaalmembraan liggen;
2. subendotheliale laag: een dunne bindweefsellaag met fibroblasten, collageen en soms gladde spiercellen (vooral in grotere vaten);
3. *lamina elastica interna* (innerlijke elastische membraan): een duidelijke, elastische laag die vooral prominent is in arteriën. In venen is deze vaak dun of afwezig.

De tunica media is, zoals de naam doet vermoeden, de middelste laag van de arteriële wand. Deze laag staat vooral in voor de vasoconstrictie en vasodilatatie (of het vernauwen en verwijden van het bloedvat). De samenstelling verschilt tussen arteriën en venen.

1. Bij arteriën zien we concentrische lagen van gladde spiercellen, met veel elastische vezels en collageenvezels. Aan de buitenkant zien we ook nog een *lamina elastica*.
2. Bij venen zien we een veel dunnere middelste laag waarin minder gladde spiercellen en minder elastische vezels aanwezig zijn.



FIGUUR 1.18.
OPBOUW VAN ARTERIËN EN VENEN.

Tot slot is er de *tunica adventitia*, die de buitenste laag van het bloedvat vormt. Deze laag verankert het bloedvat in het omliggende weefsel en beschermt het bloedvat. Deze laag bestaat uit bindweefsel, bestaande uit collagene vezels, elastische vezels en fibroblasten.

Hoewel het lymfatisch systeem (*systema lymphoideum*) strikt gezien geen onderdeel vormt van de bloedcirculatie, werkt het wel nauw samen met de bloedcirculatie. Lymfevaten voeren namelijk overtollig interstitiële vloeistof terug naar de circulatie en spelen een belangrijke rol in immunologische afweer via lymfeklieren en lymfoïd weefsel.

In zijn geheel vormt de doorbloeding een geïntegreerd en dynamisch systeem dat onmisbaar is voor het functioneren van elk biologisch proces in het lichaam. Het zorgt ervoor dat cellen voortdurend communiceren, energie ontvangen en afvalstoffen afvoeren. We bespreken de anatomische bloedtoevoer van het lichaam dan ook verder en dieper in hoofdstuk 7.

1.9. BEWEGINGEN IN HET LICHAAM

Het menselijk lichaam is ontworpen om een indrukwekkende variatie aan bewegingen uit te voeren. De bewegingen ontstaan door een samenspel van botten, gewrichten, spieren en de sturing vanuit het brein naar de spieren/gewrichten. Natuurlijke bewegingen gebeuren daarom zelden in één vlak en zijn meestal simultane bewegingen rond verschillende assen. In de voet, bijvoorbeeld, is dit opvallend, waar we via een combinatie van verschillende bewegingen komen tot een nieuwe samengestelde beweging, zoals de in- of eversie.

Toch worden in de klassieke anatomie bewegingen beschreven rond de genoemde assen en vlakken, en dit met de anatomische houding als referentiepositie (ook neutrale houding genoemd).

Elke beweging wordt omschreven met specifieke anatomische termen die aangeven in welke richting een lichaamsdeel beweegt.

Tot de meest voorkomende bewegingstypen behoren flexie en extensie, bewegingen waarbij een gewricht respectievelijk buigt of strekt. Daarnaast zijn er bewegingen zoals abductie en adductie, die aangeven of een lichaamsdeel van of naar het midden van het lichaam beweegt. Voor rotaties bestaan termen zoals endorotatie en exorotatie, terwijl sommige gewrichten speciale bewegingen toelaten, zoals pronatie, supinatie, inversie, eversie, circumductie of oppositie.

Samen maken deze bewegingen het mogelijk om te wandelen, lopen, grijpen, draaien, ademen, springen… en praktisch elke actie van het dagelijkse leven uit te voeren. Door deze termen te begrijpen, wordt het eenvoudiger om anatomie inzichtelijk en functioneel te bestuderen en te beschrijven hoe het lichaam functioneert tijdens beweging.

1.9.1. FLEXIE EN EXTENSIE

Flexie (buigen) is de beweging waarbij de hoek tussen twee botstukken kleiner wordt. Extensie (strekken) is de beweging waarbij de hoek tussen botstukken groter wordt. Hyperextensie (veelvoorkomend in bijvoorbeeld de elleboog) is extensie die voorbij de neutrale anatomische positie gaat. Deze bewegingen gebeuren rond een transversale as in het sagittale vlak.

1.9.2. ABDUCTIE EN ADDUCTIE

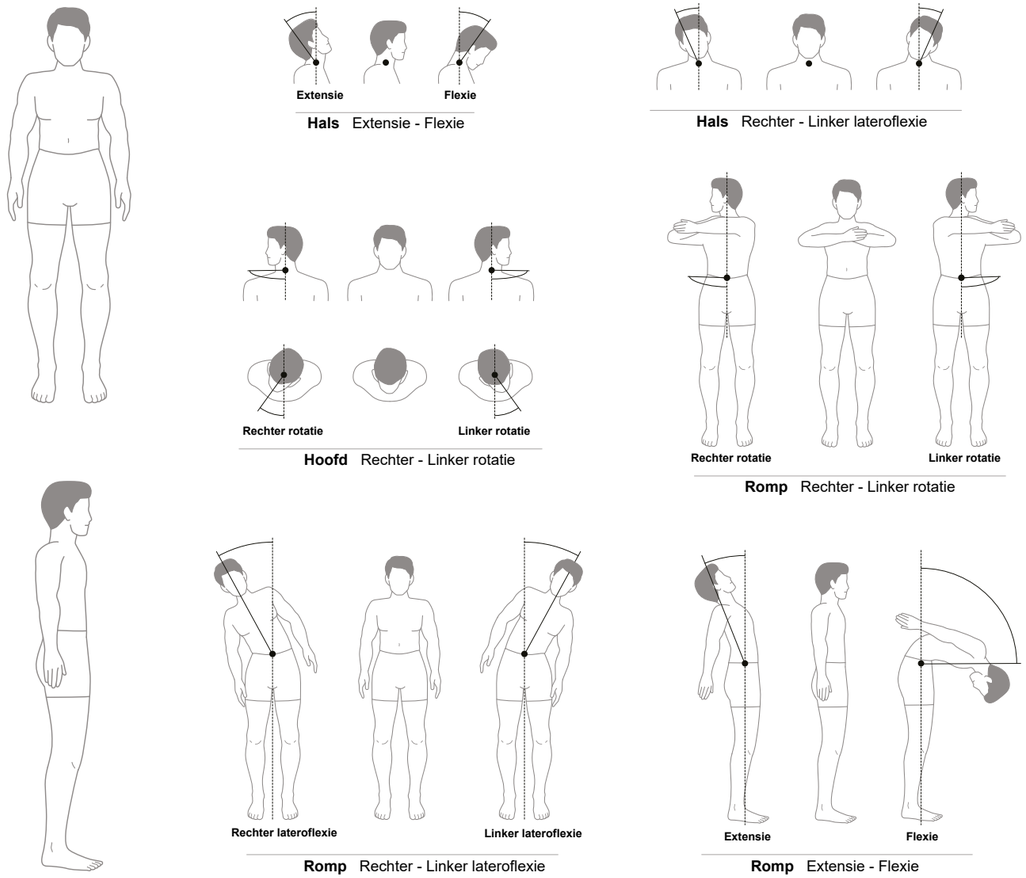
Een abductie beweging wordt gedefinieerd als een beweging van het lichaamsdeel weg van het sagittale vlak. Een adductie is een beweging van het lichaamsdeel naar het sagittale vlak toe. Abductie (afvoeren) en adductie (aanvoeren) zijn bewegingen rond een sagittale as in het frontale vlak.

In anatomische houding bekeken is de voet hier een uitzondering omdat abductie en adductie gebeuren rond een verticale as en in het transversale vlak en worden

gedefinieerd ten opzichte van de tweede teen (digitus II). Als de voet in het verlengde van het onderbeen wordt gedacht, dan geldt de definitie wel.

1.9.3. LATEROFLEXIE

Lateroflexie is een beweging van de romp waarbij het lichaam zijwaarts buigt in het frontale vlak. Deze beweging gebeurt rond een sagittale as in het frontale vlak en leidt tot een verkorting van de structuren aan de zijde van de buiging en een verlenging aan de tegenovergestelde zijde. Lateroflexie komt voornamelijk voor in de wervelkolom, waar de opeenvolgende wervels samen bijdragen aan deze zijwaartse buigbeweging.



FIGUUR 1.19.
DE BEWEGINGEN IN DE CENTRALE AS.

1.9.4. EXOROTATIE EN ENDOROTATIE

De endorotatie of mediale rotatie is een rotatie waarbij de voorzijde van het lichaamsdeel naar binnen draait. De exorotatie of laterale rotatie is een beweging waarbij de voorzijde naar buiten draait. Deze bewegingen vinden plaats rond een longitudinale (of verticale) as en in een transversaal vlak.

1.9.5. CIRCUMDUCTIE

Circumductie is een samengestelde, cirkelvormige beweging die een combinatie is van flexie, extensie, abductie en adductie. Deze beweging gebruikt dus meerdere assen en vlakken. Circumductie komt voor in kogelgewrichten, zoals de schouder en heup, maar ook in andere beweeglijkere gewrichten, zoals het duim-zadelgewricht of de pols. Het is een functionele beweging die typisch is voor activiteiten zoals zwaaien met de arm, het tekenen van een cirkel in de lucht of het roteren van het been tijdens wandelen of dansen.

Naast de basisbewegingen zoals flexie, extensie, abductie, adductie, rotatie en circumductie, bestaan er ook meer specifieke gewrichtsbewegingen. Voorbeelden hiervan zijn pronatie en supinatie in de onderarm, dorsiflexie en plantairflexie in de enkel, en inversie en eversie in de voet. Deze bewegingen zijn vaak gekoppeld aan specifieke gewrichten en verlopen in welbepaalde vlakken en rond bepaalde assen. In de volgende modules worden deze gespecialiseerde bewegingen per gewrichtsregio verder in detail besproken.

1.9.6. PRONATIE EN SUPINATIE

De pro- en supinatie vinden plaats in de pols/elleboog en in de voet/enkel. Pronatie is het draaien van de onderarm, waardoor de handpalm naar beneden wijst. Supinatie is het draaien van de onderarm, waardoor de handpalm naar voren/boven wijst. De beweging vindt plaats rond een longitudinale as en in een transversaal vlak.

1.9.7. DORSIFLEXIE EN PLANTAIRFLEXIE

Bij dorsiflexie wordt de voet omhoog gebracht richting het scheenbeen, terwijl bij plantairflexie de voet juist naar beneden wordt gestrekt zoals bij het op de tenen staan. Dorsi- en plantairflexie vinden plaats in een sagittaal vlak, rond een frontale as.

1.9.8. INVERSIE EN EVERSIE

De bewegingen 'inversie en eversie' vinden plaats in de enkel/voet. Abductie en adductie van de voet zijn enkelvoudige bewegingen in het transversale vlak, terwijl inversie en eversie samengestelde bewegingen zijn rond een schuine as, opgebouwd uit combinaties van bewegingen in meerdere vlakken.

De inversie is een combinatie van drie bewegingen: supinatie, adductie en plantairflexie. De eversie is eveneens opgebouwd uit een combinatie van drie bewegingen, dit keer een pronatie, abductie en dorsiflexie.

BEWEGING	BESTAAT UIT	EFFECT
Inversie	*supinatie + adductie + plantairflexie*	*voetzool draait naar binnen*
Eversie	*pronatie + abductie + dorsiflexie*	*voetzool draait naar buiten*

TABEL 1.5.
SAMENVATTING VAN DE IN- EN EVERSIE VAN DE VOET.

1.9.9. OPPOSITIE EN REPOSITIE

Tot slot maakt de duim de unieke beweging van oppositie, waarbij hij naar de andere vingers toe beweegt om een grijppositie te vormen, en keert hij via repositie terug naar de neutrale anatomische houding. Het zijn complexe bewegingen die in meerdere assen en vlakken plaatsvinden.