

Spierfysiologie

4.1. Inleiding

Skeletspieren bezitten het vermogen om samen te trekken en kracht te leveren. Door deze contractiekracht is de mens in staat om zijn houding te handhaven en zijn lichaam te verplaatsen. Aangezien actief bewegen de sleutel vormt voor een succesvolle revalidatie, zal enige kennis inzake de bouw en functie van de spier bijdragen tot een betere begeleiding van de revalidatie.

4.2. Spierbindweefsel

Elke skeletspier is opgebouwd uit bundels dwarsgestreepte spiervezels. Spieren behouden deze structurele samenhang door de aanwezigheid van bindweefsel. Zo wordt elke skeletspier omgeven door een fascie, een sterke bindweefselkoker (het epimysium). Daarnaast vinden we in de spier ook bindweefsel rondom de verschillende spierbundels (het perimysium) en spiervezels (het endomysium). Elke spiervezel is via zijn celmembraan, het sarcolemma, aan de binnenzijde van het endomysium vastgehecht.

Peesweefsel is de voortzetting van het totaal aan spierbindweefsel richting het skelet. Pezen zorgen via hun botaanhechting voor de overdracht van de spierkracht op het botweefsel.

4.3. De spiercel/spiervezel

In de spiercel is sarcoplasma aanwezig met daarin onder andere...

- een groot aantal kernen (nuclei) met genetisch materiaal
- diverse enzymen voor de spierstofwisseling
- mitochondriën (energiefabriekjes), waarin met behulp van zuurstof ATP wordt gemaakt
- het eiwit myoglobine, dat het vermogen bezit om zuurstof te binden
- de contractiele spiereiwitten actine en myosine, gelegen in de myofibrillen
- het sarcoplasmatisch reticulum, een netwerk van buisjes met een functie in de voortgeleiding van actiepotentialen tot diep in de spiervezels.

In de myofibrillen, kabelvormige eiwitketens gelegen in de spiervezels, vindt de feitelijke spiercontractie plaats. Myofibrillen zijn onder meer opgebouwd uit de contractiele spiereiwitten actine en myosine. Deze myofilamenten, die in de lengterichting van de myofibril gerangschikt zijn, overlappen elkaar gedeeltelijk. De gedeeltelijke overlapping van de actine- en myosinefilamenten is onder een lichtmicroscop zichtbaar als afwisselende donkere en lichte banden...

De donkere banden (A-banden) zijn de locaties waar de beide eiwitfilamenten elkaar overlappen. In elke A-band is een iets lichtere zone waarneembaar, de H-zone, waar het actine ontbreekt. Midden in deze H-zone vinden we de M-lijn die verweven is met de afzonderlijke myosinefilamenten.

De lichte banden (I-banden) geven de plaatsen aan waar uitsluitend het actine-eiwit aanwezig is. Iedere I-band bezit precies in het midden een donkere lijn, de Z-lijn, waarin alle actinefilamenten zijn verankerd. Het gebied tussen twee Z-lijnen noemen we een sarcomeer.

Door de aanwezigheid van donkere en lichte banden in het skeletspierweefsel spreekt men van dwarsgestreept spierweefsel.

4.4. Het contractiemechanisme

4.5.

De myofilamenten kunnen onderlinge dwarsverbindingen vormen, waardoor ze als het ware langs elkaar schuiven en de spier zich verkort (de actinefilamenten worden daarbij tussen de myosinefilamenten getrokken).

De afstand waarover de myofilamenten langs elkaar kunnen schuiven is beperkt. Daarom zal de maximale verkorting van een spier onder meer afhankelijk zijn van het aantal in serie geschakelde sarcomeren.

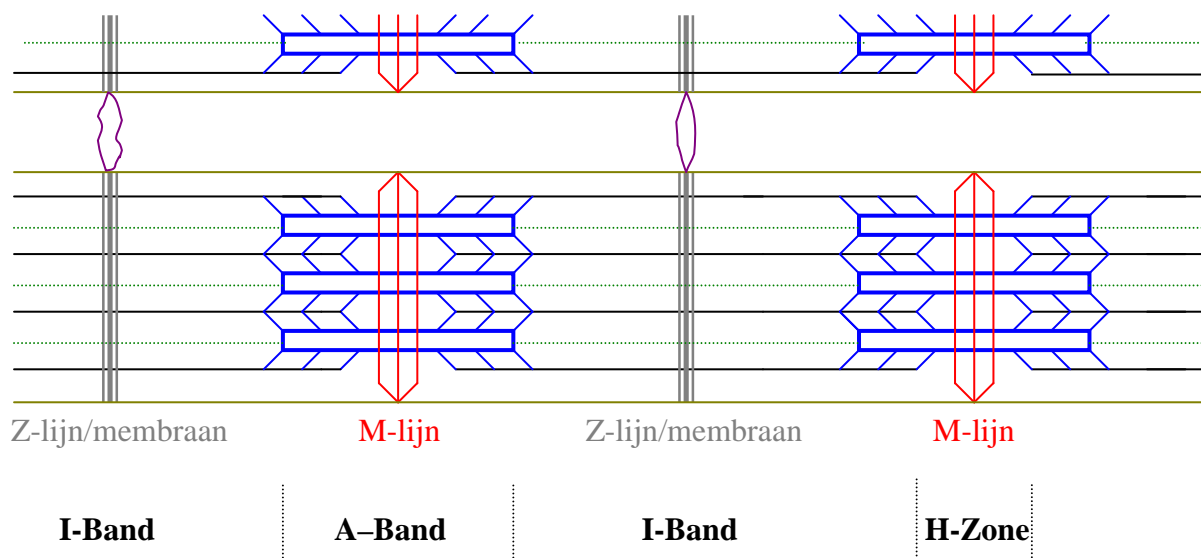
De dwarsverbindingen tussen myosine en actine komen tot stand met energie die verkregen wordt uit de splitsing van ATP, de directe energiebron voor de spieren (zie verder energiehuishouding).

In het gebied van de I-band heeft men een derde eiwit ontdekt, het zogenaamde Titin. Dit elastische eiwit vormt een verbinding tussen de verschillende myosinefilamenten en de Z-lijn.

Titin zorgt voor een optimale positionering van het myosine-eiwit tussen de actinefilamenten. Zo voorkomt Titin bij een volledige rekpositie dat actine en myosine te ver uit elkaar verwijderd worden. Wanneer een spier namelijk zodanig gerekt wordt dat de actinefilamenten geheel buiten het bereik van de myosinekoppen komen te liggen, is koppeling van beide structuren onmogelijk en kan er geen contractie plaats vinden.

Wanneer een spier daarentegen extreem verkort en de actinefilamenten binnen een sarcomeer elkaar overlappen, zal de vorming van actomyosinecomplexen sterk benadeeld worden. De spier kan in deze situatie minder spanning ontwikkelen.

Door de aanwezigheid van Titin bezit elke spier tevens de mogelijkheid om de elastische energie, die door rek op dit elastische eiwit wordt opgewekt, functioneel te gebruiken. We spreken in trainingstermen over plyometrie.



Figuur 4.1.

Een sarcomeer met de verschillende eiwitfilamenten...

Actine

Myosine

Titin

Intermediaire filamenten

Intermediaire filament-koppelingen tussen de myofibrillen

Het myosine kan met zijn myosinekoppen dwarsverbindingen vormen met het actine, waardoor beide eiwitfilamenten in elkaar schuiven met als gevolg dat de H-zone verdwijnt, de I-band versmalt en de afstand tussen de Z-lijnen kleiner wordt. De spier verkort.

De Z-lijnen van een sarcomeer zijn met elkaar verbonden door elastische intermediaire filamenten. Deze filamenten, waartussen de eerder genoemde M-lijn is uitgespannen, zijn van belang voor de overdracht van de ontwikkelde spierkracht naar het bindweefsel.

De sarcomeren vormen op hun beurt weer onderlinge verbindingen met elkaar via zogenaamde 'intermediaire filament-koppelingen' tussen de Z-lijnen.

4.6. Tendomyogene overgang

Het bindweefsel dat in en rondom de spier aanwezig is (het endomysium, perimysium en epimysium), is in feite een voortzetting van het peesweefsel. Zo spreken we op spiernivo over endomysium en op peesnivo over endotenon. Het bindweefsel wordt dus nergens onderbroken en vormt van origo tot insertie een geheel. Bij het rekken van een spier rekken we eigenlijk uitsluitend het bindweef-

sel. Het spierweefsel op zich kan niet gerekt worden. Wel is een toename van het aantal sarcomeren in de lengterichting van de spier aangetoond, wanneer er full-ROM getraind wordt. De nieuw gevormde sarcomeren worden neergelegd in de tendomyogene overgang.

De tendomyogene overgang is het gebied waar de eerste spiervezels in het bindweefsel van de pees binnendringen. Hier vindt de gehele krachtoverdracht plaats. Deze spierpeesovergang heeft de vorm van een handschoen, waardoor er sprake is van een aanzienlijke oppervlaktevergroting en zoveel mogelijk spiercelmembraan contact heeft met peesbindweefsel. De krachtoverdracht wordt op deze wijze over een zo groot mogelijk gebied verdeeld.

Er is geen sprake van een directe overgang maar van een zogenaamde 'shared force'. De collageenvezels van het peesweefsel lopen langs de spiercelmembraan en worden met behulp van reticulair vezels hieraan bevestigd. De krachtoverdracht van spier op pees gaat dan ook altijd gepaard met een verschuiving van deze structuren ten opzichte van elkaar en dus met verlies van energie. Het voordeel van zo'n indirecte overgang is een verminderde kans op letsels.

De spiercelmembraan is een van de zwakste schakels in het geheel van krachtoverdracht. Deze membraan bestaat uit twee delen: een dikke buitenste membraan, de basaalmembraan
een dunne binnenste membraan, de plasmamembraan.

De scheiding tussen het milieu interieur en exterieur ligt tussen deze twee membranen, waarbij de basaalmembraan tot het milieu exterieur en de plasmamembraan tot het milieu interieur wordt gerekend. Tussen deze membranen bevinden zich satelietcellen (voorloper van de myo-blast) en groeifactoren (IGF, FGF) in een dun laagje matrix. Ook deze membranen bezitten weer een mogelijkheid om, ten opzichte van elkaar, te verschuiven.

Door de aanwezigheid van meerdere indirecte verbindingen tussen de verschillende structuren van het bewegingsapparaat, zal van de oorspronkelijk gegenereerde kracht in de sarcomeren veel verloren gaan. Het uiteindelijke rendement van krachttraining is dan ook zeer beperkt. Het netto-resultaat bedraagt slechts 20-25%. De overige 75-80% gaat 'verloren' als warmte.

4.7. Vezeltypering

In skeletspierweefsel onderscheiden we twee typen spiervezels...

4.6.1. Langzame vezels, ook wel **type I, tonische** of **rode vezels** genoemd.

Deze spiervezels zijn voornamelijk actief bij langdurende sportactiviteiten met een aëroob karakter. Langzame vezels raken minder snel vermoeid. Duursporters bezitten verhoudingsgewijs meer langzame spiervezels.

4.6.2. Snelle vezels, ook wel **type II, fasische** of **witte vezels** genoemd.

De snelle spiervezels worden vooral gebruikt bij kortdurende, explosieve sportactiviteiten met een anaëroob karakter. Deze vezels raken snel vermoeid. Sprinters en beoefenaars van krachtsporten beschikken verhoudingsgewijs over meer snelle spiervezels.

4.7. De energiehuishouding

ATP (Adenosinetriphosfaat) is een chemische verbinding die bij afbraak direct beschikbare energie levert voor alle spiercontracties en andere biologische processen in ons lichaam...

ATP → ADP + P + **energie**

Elke lichaamsceel zal er alles aan doen om de ATP-concentratie op peil te houden en het evenwicht tussen energieverbruik en energieproductie zoveel mogelijk te handhaven onder allerlei verschillende omstandigheden. De mens bezit de mogelijkheid om de energie die in onze voeding aanwezig is, te gebruiken voor de vorming van ATP. Daartoe zal het lichaam alle bruikbare voedingsstoffen uit de voeding halen en zoveel mogelijk verspreid opslaan.

Denk hierbij o.a. aan de glycogeenvoorraden in de spieren en lever, maar ook aan het onderhuidse vetweefsel. Zodoende beschikt het lichaam over een ruime hoeveelheid brandstoffen, die gebruikt kunnen worden voor de aanmaak van ATP.

Deze aanmaak van ATP kan op twee manieren plaatsvinden, t.w. aëroob (met gebruikmaking van zuurstof) en anaëroob (zonder dat er zuurstof aan te pas komt)...

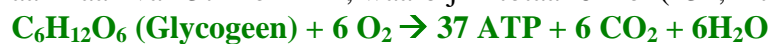
4.7.1. Het aërobe systeem in casu zuurstofsysteem

De synthese van ATP geschiedt bij het zuurstofsysteem met energie die vrijkomt bij de volledige afbraak van koolhydraten (o.a. glucose uit glycogeen en bloedglucose) en vetten (vrije vetzuren) tot kooldioxide en water. In extreme gevallen, bijv. uitputtende lichamelijke inspanningen, kunnen ook eiwitten als brandstof dienen.

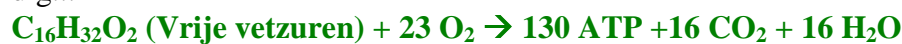
De aërobe stofwisseling kenmerkt zich door een reeks van ingewikkelde chemische reacties (aërobe glycolyse, Krebscyclus en het elektronentransportsysteem). Een van de redenen hiervoor is dat er bij elke chemische reactie warmte vrijkomt. Door de totale reactie niet in een keer te laten verlopen, maar op te delen in meerdere kleine reacties kan de vrijkomende warmte beter in de hand worden gehouden en blijft de kerntemperatuur van het lichaam binnen acceptabele waarden.

Het aërobe systeem is voornamelijk actief in rust (afbraak van 66,6 % vetten tegen 33,3 % koolhydraten) en bij duurbelastingen met een relatief lage intensiteit (1/2 en hele marathon, triathlon, Tour de France etc.).

De aërobe afbraak van 1 mol (180 gram) glucose uit glycogeen levert voldoende energie voor de aanmaak van 37 mol ATP, waarbij in totaal 6 mol (134,4 ltr.) zuurstof nodig is...



De aërobe afbraak van 1 mol (256 gram) vrije vetzuren levert voldoende energie voor de aanmaak van liefst 130 mol ATP. Bij dit aërobe vetmetabolisme is echter 23 mol (515,2 liter) zuurstof nodig...



De energiewaarde van 1 mol vrije vetzuren ligt dus aanzienlijk hoger dan die van 1 mol glucose uit glycogeen. Toch zal het lichaam in eerste instantie geneigd zijn om koolhydraten te verbranden, omdat voor deze afbraak minder zuurstof nodig is.

Vrije vetzuren kunnen trouwens alleen maar afgebroken worden, indien er voldoende glucose en glycogeen in het lichaam voorradig zijn... “Vetten kunnen alleen verbranden in de vlammen van de koolhydraten.” Dit is een van de redenen waarom de duursporter koolhydraten inneemt tijdens wedstrijden.

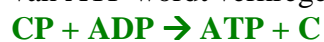
Het vermogen van het aërobe systeem om ATP te leveren is beperkt en gebonden aan een maximum. Dit maximale aërobe uithoudingsvermogen (VO_2max) bedraagt bij topsporters ca. 75 ml $\text{O}_2/\text{kg}\cdot\text{min}$. Deze waarde schiet te kort wanneer we deze afzetten tegen de hoeveelheid O_2 , die nodig zou zijn om een 100 meter sprint onder aërobe omstandigheden af te leggen, t.w. 45 ltr. O_2/min . Bij deze kortdurende belastingen stapt het lichaam daarom over op een ander energiesysteem...

4.7.2. Het anaërobe systeem

Dit systeem beschikt over twee mogelijkheden om ATP te leveren, te weten:

1. De ATP/CP-pool, oftewel de fosfaatpool...

ATP en CP (creatinefosfaat) vormen een direct beschikbare energievoorraad, gelegen in de nabijheid van de contractiele spiereiwitten actine en myosine. De energie die nodig is voor de aanmaak van ATP wordt verkregen door afbraak van CP...



De hoeveelheid CP die in de spier ligt opgeslagen is groter dan die van ATP.

De fosfaatpool is voor de spieren de gemakkelijkste en snelst beschikbare bron van ATP, echter de totale hoeveelheid aan opgeslagen energie in deze pool is zeer beperkt (570-690 mmol in de totale spiermassa van het menselijk lichaam).

Zo zal bij de meeste sporters de aanwezige voorraad ATP/CP in de actieve spieren bij maximaal intensieve arbeid binnen 10 -12 seconden zijn uitgeput. Door gerichte training is het mogelijk de

totale hoeveelheid opgeslagen energie in de fosfaatpool te vergroten, waardoor er 18 - 20 seconden maximale arbeid verricht kan worden. Hierdoor moet het mogelijk zijn om een 200 meter sprint nagenoeg alactisch, zonder melkzuurvorming, te lopen! De fosfaatpool wordt met name ingezet tijdens kortdurende belastingen met een zeer hoge intensiteit (100 en 200-meter sprint, hoog- en verspringen).

2. De anaërobe glycolyse, het melkzuursysteem...

De energie die nodig is voor de synthese van ATP wordt bij het melkzuursysteem verkregen door een onvolledige afbraak van glycogeen en glucose, waarbij melkzuur (lactaat) als restproduct ontstaat. Ophoping van melkzuur in de spieren en in het bloed wordt gezien als een van de oorzaken voor het ontstaan van spiervermoeidheid.

De anaërobe glycolyse is actief bij kortdurende, belastingen (400 en 800- meter sprint, 1500 meter schaatsen etc.).

De anaërobe afbraak van 1 mol (180 gram) glucose uit glycogeen levert voldoende energie op voor de aanmaak van 3 mol ATP...



Het melkzuur dat als restproduct ontstaat is een beperkende factor in deze reactie. Het lichaam tolereert slechts een geringe concentratie melkzuur in spieren en bloed, waardoor er in de praktijk slechts 1 tot 1,2 mol ATP uit de anaërobe glycolyse geleverd kan worden.

Het aërobe systeem levert dus, in vergelijking met het anaërobe systeem, veruit de meeste hoeveelheid ATP.

Over het algemeen zullen de meeste lichamelijke inspanningen gepaard gaan met een combinatie van aërobe en anaërobe ATP-synthese. De bijdrage die elk systeem daarbij levert, is onder meer afhankelijk van de belasting die wordt opgelegd, alsmede van de trainingstoestand van de sporter. Daarnaast speelt het voedingspatroon een belangrijke rol.

Zo zullen bij een voetbalwedstrijd kortdurende belastingen met een hoge intensiteit continu afgewisseld worden met belastingen die een minder intensief karakter bezitten.

Maar ook bij een marathon zullen de verschillende systemen actief zijn, hoewel de aërobe stofwisseling duidelijk de overhand heeft. Aan het begin van deze duurbelasting zullen beide systemen actief zijn totdat er een steady-state bereikt is, waarin zuurstofopname en zuurstofverbruik in evenwicht zijn.

4.8. Bloedvoorziening

Om voldoende aanvoer van zuurstof en voedingsstoffen naar, alsmede voldoende afvoer van afvalstoffen uit de spieren te kunnen garanderen zijn deze rijkelijk voorzien van bloedvaten. Deze bloedvaten vormen een wijd vertakt netwerk. Dit is geen overbodige luxe, wanneer men bedenkt dat bij maximale inspanning de behoefte aan bloed in de spieren het 100-voudige kan bedragen van die in rust. De goed getrainde sporters beschikken over een uitgebreider bloedvatennetwerk dan minder getrainde of ongetrainde personen.

4.9. Spiervermoeidheid

Zoals reeds eerder aangegeven zal ophoping van melkzuur in bloed en spieren resulteren in spiervermoeidheid. Andere oorzaken voor spiervermoeidheid zijn...

- uitputting van de voorraad ATP/CP in de directe omgeving van de actieve myofibrillen
- uitputting van de glycogeen voorraad
- een tekort aan zuurstof
- onvoldoende doorbloeding
- neuromusculaire vermoeidheid, door een afname van de hoeveelheid acetylcholine die uit de motorische eindplaatjes vrijkomt. Acetylcholine is een neurotransmitterstof die een functie heeft

in de overdracht van actiepotentialen van de zenuwvezel naar de spiervezel. Deze neuromusculaire vermoeidheid komt vaker voor in snelle motorische eenheden.

4.10. Herstel na inspanning

Tijdens het herstel na een lichamelijke inspanning blijft de ademhaling gedurende een bepaalde periode op een hoger niveau gehandhaafd. De duur van deze periode is afhankelijk van de intensiteit waarmee de voorafgaande inspanning heeft plaatsgevonden. Hierdoor zal er meer zuurstof worden opgenomen en verbruikt dan in normale rustsituaties. Dit zuurstofoverschot zal bij goed getrainde sporters groter zijn dan bij niet of minder getrainde sporters. De verhoogde opname van zuurstof biedt het lichaam de mogelijkheid om de fosfaatpool snel aan te vullen. Zo zal binnen ca. 2 minuten na beëindiging van de sportactiviteit het grootste deel van de uitgeputte voorraad ATP/CP in de actieve spier weer zijn aangevuld. De aanvulling van de fosfaatpool geschiedt dus met behulp van het zuurstofsysteem; via de aërobe afbraak van koolhydraten en vetten tot CO₂ en H₂O. Het ATP dat hierbij wordt aangemaakt, zal of direct worden afgebroken, waarbij de vrijkomende energie wordt aangewend voor de resynthese van CP, of in de spier worden opgeslagen.

In de spier zijn ook kleine voorraden zuurstof aanwezig, gekoppeld aan het eiwit myoglobine. Deze kleine voorraden zuurstof spelen met name bij intervalbelasting een belangrijke rol.

Tijdens belastingintervallen wordt de zuurstof verbruikt om gedurende de rustintervallen (met behulp van het zuurstofoverschot) weer snel, binnen 10-15 seconden, te worden aangevuld.

Aanvulling van de voorraden glycogeen in spieren en lever kan enkele dagen duren en is onder meer afhankelijk van de soort arbeid die is verricht. Zo zal een volledig herstel van de voorraad spierglycogeen na uitputtende intervalbelasting veel sneller gaan (volledig herstel na 24 uur) dan na uitputtende duurbelasting (volledig herstel na 46 uur). Daarnaast zal het nuttigen van koolhydraatrijk voedsel een positief effect hebben op de snelheid waarmee de voorraden worden aangevuld.

In de herstelfase na een lichamelijke belasting zal ook het opgehoopte melkzuur uit het bloed en de spieren worden verwijderd. Door actief herstel zal deze melkzuurverwijdering sneller verlopen (30 min. - 1 uur) dan door rustherstel (1 - 2 uur).

Onder actief herstel verstaan we: het verrichten van rustige arbeid, zoals uitlopen of joggen tijdens een cooling-down. De intensiteit waarmee dit actief herstel dient plaats te vinden, is onder meer afhankelijk van de getraindheid van de sporter. Het meeste melkzuur wordt geoxideerd, waarbij CO₂ en H₂O ontstaan. Melkzuur wordt aldus gebruikt als metabole brandstof voor het zuurstofsysteem, waarbij uiteindelijk ATP wordt aangemaakt!

4.11. Spieromvang en training

Er bestaat geen directe relatie tussen spieromvang en spierkracht. Bij een grotere spieromvang is er echter wel sprake van meer vermogen om kracht te leveren. De spieromvang is positief te beïnvloeden door krachttraining:

4.11.1. Hypertrofie...

Onder hypertrofie verstaan we een toename van het aantal sarcomeren in parallelle richting. Dit adaptatieproces aan bepaalde methoden van krachttraining begint met een deling van de Z-membraan*. De twee sarcomeergedeelten die hierbij ontstaan, zullen zich verder ontwikkelen tot volwaardige sarcomeren. Hypertrofie zal met name optreden bij witte spiervezels.

In de engelstalige literatuur spreekt men van fibril splitting ten gevolge van near maximum training: max. 8 – 12 herhalingen, waarbij sprake is van 'forced reps'. De minimale trainingsprikkel voor hypertrofie komt aldus overeen met de Bodybuildmethode.

Wanneer we weten dat de turnover van een sarcomeer 5 dagen bedraagt, dan kunnen we hier rekening mee houden in de periodisering van deze trainingsmethode. Bodybuilders die gericht trainen, zullen een 5-daagse trainingscyclus aanhouden om optimaal gebruik te maken van optredende supercompensatie...

- Dag 1 borst / triceps.
- Dag 2 rug / biceps.
- Dag 3 benen.
- Dag 4 schouders.
- Dag 5 rust.
- Dag 6 start van nieuwe cyclus.

Wanneer deze methode van training niet meer wordt uitgevoerd, zal de spieromvang in vrij korte tijd weer afnemen. Daarbij zullen de sarcomeren die het minst functioneel zijn en dus het verst van de motorische zenuwvezel liggen het eerste verdwijnen.

4.11.2. Hyperplasia...

Onder hyperplasia verstaan we een toename van het aantal spiervezels, oftewel fiber splitting. Of een toename in spieromvang ten gevolge van krachttraining ook deels berust op dit fenomeen is nog steeds niet definitief aangetoond. Waarschijnlijk ligt het aantal spiervezels bij de geboorte reeds vast.

4.12. Neurale sturing

Om de neurale sturing van spieren beter te begrijpen, is enige kennis van ons zenuwstelsel noodzakelijk...

Ons zenuwstelsel kunnen we onderverdelen in het centrale zenuwstelsel en het perifere zenuwstelsel. Het centrale zenuwstelsel wordt gevormd door hersenen en ruggemerg. Het perifere zenuwstelsel vormt de verbinding tussen enerzijds het centrale zenuwstelsel en anderzijds de periferie, bijv. gewrichten, spieren en huid.

De bouwsteen van het zenuwstelsel is de zenuwcel, het neuron. Elk neuron bezit een cellichaam en een aantal uitlopers. Het zenuwstelsel bezit enorm veel van deze neuronen, die onderling met elkaar via synapsen in contact staan en aldus een gigantisch complex netwerk vormen.

Neuronen hebben een functie in de impulsgeleiding: het snel geleiden van zenuwimpulsen naar, in en van het centrale zenuwstelsel. Aan de binnen- en buitenkant van de neuronmembraan bestaat een verschil in elektrische lading (door intra- en extracellulaire concentratieverschillen van o.a. natrium- en kaliumionen), de (rust)membraanpotentialaal.

Een zenuwimpuls berust in feite op een tijdelijke verandering van deze (rust)membraan-potentialaal en wordt actiepotentialaal genoemd. Een actiepotentialaal leidt tot een kortdurende depolarisatie van de zenuwmembraan.

Het zenuwstelsel bezit afferente en efferente zenuwvezels. De efferente vezels geleiden prikkels vanuit hersenen en ruggemerg naar de periferie (de descenderende banen in het ruggemerg). De afferente vezels geleiden prikkels vanuit de periferie naar hersenen en ruggemerg (de ascenderende banen in het ruggemerg). Efferente zenuwvezels zijn vaak motorisch, afferente vaak sensorisch van aard.

Elke skeletspier staat in contact met zowel motorische als sensorische zenuwvezels...

- De **motorische zenuwvezels** staan via motorische eindplaatjes in verbinding met de spiervezels, de neuromusculaire verbindingen. Elke motorische zenuwvezel kan op deze manier een of meerdere spiervezels innervieren; iedere spiervezel kan op zijn beurt echter uitsluitend door een motorische zenuwvezel worden geïnnerveerd. Een motorische zenuwvezel vormt samen met de door deze vezel geïnnerveerde spiervezels een functionele eenheid: de motorische eenheid of motorunit...

De motorische eenheid functioneert volgens het alles of niets principe: na prikkeling ontstaat, afhankelijk van de prikkelsterkte en de prikkel drempel, wel of geen contractie van de betreffende unit. Indien er een contractie ontstaat, dan zal deze altijd maximaal zijn, ongeacht of de effectieve prikkel de drempelwaarde net of ruim heeft overschreden.

- De **sensorische zenuwvezels** informeren het centrale zenuwstelsel over de houding en beweging van het lichaam. Deze informatie wordt verkregen uit de spiersensoren, t.w...
 1. De **spierspoel**, een klein orgaan dat parallel aan de spiervezels ligt en gevoelig is voor rek. Deze spiersensor geeft informatie over de lengte en lengteverandering van de spier.

2. Het **Golgi-peeslichaampje**, eveneens een klein orgaan dat echter in de pees gelegen is en met name gevoelig is voor spanningstoename in de spier.

Skeletspierweefsel werkt niet autonoom, maar wordt in de meeste situaties gestuurd door het bewustzijn...

De wil om een beweging uit te voeren wordt in de hersenen omgezet in een bewegingsplan. Aan de hand van dit bewegingsplan programmeert de motorische hersenschors een bewegingsopdracht.

Deze bewegingsopdracht wordt als actiepotentiaal via een aantal zenuwbanen en een aantal tussenstations (o.a. de kleine hersenen of cerebellum, waar afstemming en coördinatie van elke beweging plaatsvindt) met grote snelheid verstuurd naar de spieren. De prikkel zal de agonisten activeren tot contractie, terwijl de antagonist tegelijkertijd een opdracht ontvangen om te ontspannen.

Door een continue afstemming tussen sensoriek (sensorische feedback) en motoriek (motorische bijsturing) kan elke beweging op de juiste wijze, in ruimte en tijd, worden gestuurd.

4.13. Contractiekracht

De maximale kracht die een spier bij contractie kan ontwikkelen is afhankelijk van...

- a. Het aantal motorunits dat wordt geactiveerd.
Hoe meer motorische eenheden actief zijn, des te groter is de kracht die de spier kan ontwikkelen.
- b. De frequentie waarmee afzonderlijke motorunits contraheren.
Hoe hoger deze frequentie, des te meer spierkracht.
- c. De snelheid van bewegen.
Naarmate een beweging sneller verloopt, zal de maximale kracht die de spier kan ontwikkelen afnemen.
- d. Het type vezels.
De maximale kracht die een spier kan leveren is groter, naarmate de spier meer snelle vezels bezit.

=====