

Collageensuppletie heeft de laatste tien jaar zowel in de sportvoedingskundige praktijk als in de wetenschap veel aandacht gehad. In dit eerste deel van een tweeluik beschrijven we de fysiologische rationale achter collageensuppletie voor sporters en geven we een kritische beschouwing van het effect ervan op spiereiwitsynthese, spierhypertrofie en herstel na inspanning.

Is collageensuppletie zinvol voor sporters?

Deel 1: Fysiologie van bindweefsel, rationale van collageensuppletie en het effect op spiereiwitsynthese, spierhypertrofie en herstel

Luuk Hilkens & Tjieu Maas

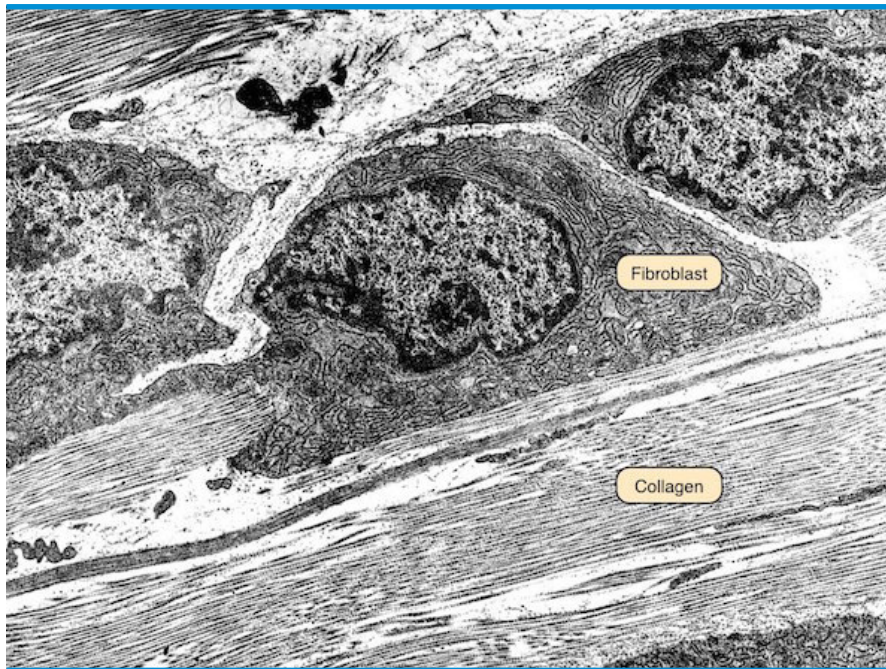
Naast spier-, zenuw- en epitheelweefsel bestaat ons lichaam uit bindweefsel, het meest voorkomende weefsel in het menselijk lichaam. In dit tweeluik over collageensuppletie richten wij ons op algemeen vezelig bindweefsel, kraakbeenweefsel en botweefsel. De overige typen, namelijk algemeen losmazig bindweefsel en bloed, laten we hier buiten beschouwing.^{1,2}

De belangrijkste functies van algemeen vezelig bindweefsel, kraakbeenweefsel en botweefsel zijn het verbinden van andere weefsels aan elkaar, het doorgeven van krachten (bijvoorbeeld spierkracht op het skelet) en het bieden van ondersteuning. De genoemde weefsels onderscheiden zich vooral door hun mechanische eigenschappen. Vezelig bindweefsel is met name trekvast, kraakbeen combineert elasticiteit met drukbestendigheid en botweefsel is door zijn hoge mineraalinhoud hard, stijf en tegelijkertijd relatief breukbestendig. De verschillende bindweefseleigenschappen komen voort uit verschillen in collageen-

type, vezelorganisatie en de mate waarin collageen is versterkt met andere bestanddelen.

Collageen

Collageen komt in het lichaam voor in een aantal hoofdtypen, die elk een andere structurele functie hebben. Type I komt veruit het meest voor en zorgt voor treksterkte in weefsels, zoals pezen, bot, huid en het bindweefsel rond spiervezels. Type II komt vooral voor in kraakbeen en is aangepast aan het weerstaan van compressie. Type III vormt een fijnmazig netwerk in rekbaar bindweefsel, zoals bloedvaten en het endomysium in spieren, vaak in combinatie met type I. Type IV wijkt functioneel af van de andere typen en vormt geen vezels, maar een netwerk in basaalmembranen, dat vooral een filtrerende en ondersteunende rol heeft. Hoewel er dus grote verschillen zijn tussen de typen bindweefsel, hebben ze hetzelfde bouwplan. Ze bestaan voor een klein deel uit fibroblasten (cellen, zie figuur 1) en met name uit



Figuur 1 | Deze elektronenmicroscopische opname toont een fibroblast in bindweefsel, omgeven door extracellulaire collageenvezels. De fibroblast is herkenbaar aan zijn lang-gerekte vorm, duidelijke celkern en rijk aanwezige intracellulaire organellen die betrokken zijn bij eiwitsynthese. Rond de cel liggen dichtgeordende bundels collageenfibrillen, zichtbaar als parallelle, bandvormige structuren. Bron: https://medcell.org/systems_cell_biology/connective_tissue_lab.php

een extracellulaire matrix. Samen bepalen zij een groot deel van de eigenschappen van de verschillende typen collageen.

De extracellulaire matrix bestaat uit grondsubstantie en vezels.^{1,3} De grondsubstantie bestaat met name uit 1) water, 2) glycosaminoglycanen (GAG's; lange, negatief geladen koolhydraatketens die water binden en zo bijdragen aan hydratatie en drukweerstand), 3) proteoglycanen (eiwitten waaraan één of meerdere GAG-ketens zijn gekoppeld en die de structuur en mechanische eigenschappen van de extracellulaire matrix organiseren) en 4) adhesieve glycoproteïnen (matrix-eiwitten die cellen met elkaar en met de omliggende matrix verbinden). Samen zorgen deze componenten voor schokdemping en voor de uitwisseling van afvalstoffen, voedingsstoffen, koolstofdioxide en zuurstof tussen bloed en bindweefsel.¹⁻³ De vezels bestaan uit elastische

vezels en collageen vezels, waarbij de bindweefseltypen waar wij ons op richten met name bestaan uit collageen vezels (zie figuur 1). De belangrijkste functie van elastische vezels is het verschaffen van elasticiteit aan de weefsels waarin het voorkomt, onder meer in de arteriën en de huid. De belangrijkste functies van collageen vezels zijn een weefsel beschermen tegen trekkrachten en het overbrengen van trekkrachten.¹⁻³

Collageenvezels

Collageenvezels bestaan grotendeels uit het eiwit collageen. En net als elk eiwit is ook collageen opgebouwd uit aan elkaar gekoppelde aminozuren.⁴ Zijn uitzonderlijke weerstand tegen trekkrachten dankt collageen aan een specifieke combinatie van aminozuren en de manier waarop die samen een unieke structuur vormen: de zogeheten *triple helix*. Deze structuur wordt mogelijk gemaakt door specifieke aminozuren die in

een bepaalde sequentie terugkomen. Kenmerkend voor collageen is dat het voor een groot deel bestaat uit de aminozuren glycine (ca. 33%), proline en het daarvan afgeleide hydroxyproline (samen ca. 25%).⁵ Ruim de helft van het collageenmolecuul wordt dus opgebouwd uit slechts drie aminozuren, een samenstelling die je in geen enkel ander lichaamseiwit terugziet. Glycine speelt hierin een sleutelrol. Het is het kleinste aminozuur dat we kennen en komt in collageen op elke derde positie van de eiwitketen voor.⁵ Omdat glycine zo klein is, kunnen drie collageenketens extreem dicht tegen elkaar aan liggen en zich in elkaar wikkelen tot de karakteristieke triple helix. Die compacte rangschikking maakt sterke verbindingen tussen de ketens mogelijk en vormt de basis voor de hoge treksterkte van collageen.⁴

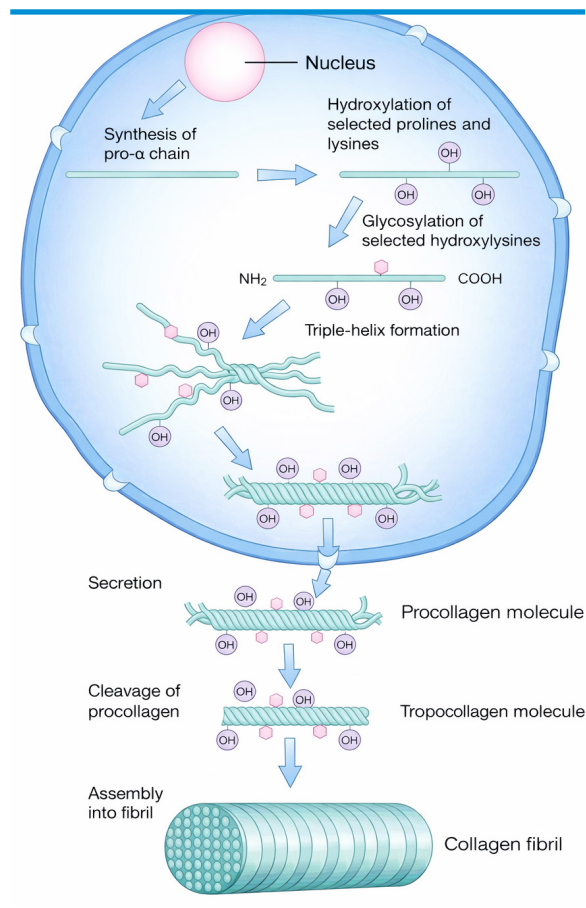
Proline draagt op een andere manier bij aan de mechanische eigenschappen van collageen. Door zijn ringvormige structuur beperkt het de bewegingsvrijheid van de polypeptideketen. Hierdoor wordt de collageenketen in een gespannen houding gedwongen, wat voorkomt dat het molecuul gemakkelijk vervormt wanneer er trekkrachten op worden uitgeoefend.⁵ Collageen kan daardoor veel trekkracht verdragen zonder uit te rekken.

Een deel van het proline wordt na de aanmaak (post-translationeel) van collageen omgezet in het niet-proteïenogene aminozuur hydroxyproline, een proces waarvoor vitamine C onmisbaar is. Hydroxyproline faciliteert het ontstaan van verbindingen tussen de verschillende collageenketens, waardoor de triple helix niet alleen mechanisch sterker wordt, maar ook stabiel blijft bij lichaamstemperatuur en onder langdurige belasting.⁵ Samen zorgen glycine, proline en hydroxyproline ervoor dat collageen zich kan organiseren tot lange fibrillen en vezels, die zich in weefsels zoals pezen en ligamenten parallel uitlijnen.⁴

Collageensynthese

Collageensynthese (zie figuur 2) is een proces dat zich afspeelt in en gereguleerd wordt door gespecialiseerde bindweefselcellen, zoals osteoblasten (in botweefsel), tenocyten (in peesweefsel) en chondrocyten (in kraakbeenweefsel). Deze cellen maken continu nieuw collageen aan om bestaand bindweefsel te onderhouden en te herstellen.^{1,3} De synthese begint in de celkern, waar de genetische code voor collageen wordt afgelezen. Op basis daarvan worden op de ribosomen, gelegen op het ruw endoplasmatisch reticulum, de zogeheten procollageenketens gevormd. Deze ketens bestaan aanvankelijk uit standaardaminozuren, waaronder grote hoeveelheden glycine en proline. In deze fase zijn de ketens nog functioneel zwak en instabiel.⁵ Vervolgens vindt een belangrijke bewerking plaats. Een deel van het proline en lysine wordt namelijk enzymatisch omgezet in respectievelijk hydroxyproline en hydroxylysine. Voor deze hydroxylatiereacties is vitamine C onmisbaar, met ijzer en zuurstof als aanvullende cofactoren. Deze chemische aanpassingen maken het mogelijk dat de ketens sterke verbindingen met elkaar vormen.⁴ Zonder deze belangrijke stap kan collageen zijn kenmerkende structuur niet aannemen, wat de ernstige bindweefselproblemen bij vitamine C-tekort verklaart, zoals in het geval van scheurbuik.

Na deze modificaties wikkelen drie procollageenketens zich om elkaar heen tot een stabiele triple helix. Dit procollageen wordt vervolgens uit de cel naar de extracellulaire ruimte getransporteerd. Daar worden specifieke uiteinden 'afgeknipt', waardoor het molecuul actief collageen wordt. Deze collageenmoleculen rangschikken zich daarna spontaan tot fibrillen, die onder invloed van enzymen verder worden versterkt door kruisverbindingen.¹ In de laatste fase bundelen fibrillen



Figuur 2 | Hier ziet u de collageensynthese door fibroblasten en vervolgens samenkomen van collageen in de extracellulaire matrix. Mechanische belasting activeert signaalroutes die leiden tot verhoogde transcriptie en synthese van collageen- α -ketens. Na intracellulaire post-translatieele modificaties vormen deze ketens procollageen, dat wordt uitgescheiden naar de extracellulaire ruimte. Daar worden propeptiden 'afgeknipt' (cleavage), waarna tropocollageen spontaan assembleert en via cross-links uitrijpt tot collageenfibrillen. Bron: <https://www.sciencedirect.com/topics/neuroscience/connective-tissue>.

zich tot dikkere collageenvezels. Deze worden geordend volgens de richting van de belasting, bijvoorbeeld parallel in pezen. Het eindresultaat is een sterk, veerkrachtig bindweefsel dat optimaal is afgestemd op zijn mechanische functie.¹

Inspanning en collageensynthese

Fysieke inspanning speelt een belangrijke rol bij de vorming van collageen. Bindweefsel is geen statisch

materiaal, maar adapteert voortdurend aan de mechanische belasting waaraan het wordt blootgesteld. Wanneer pezen, ligamenten, botten en fascia tijdens fysieke inspanning op rek of spanning worden gebracht, registreren gespecialiseerde bindweefselcellen deze mechanische prikkels. Dit proces, mechanotransductie genoemd, zet intracellulaire signalen in gang die de collageenaanmaak stimuleren.^{6,7} Met name trekkrachten, zoals die optreden tijdens krachttraining, springen, hardlopen of excentrische spierarbeid, verhogen de activiteit van fibroblasten. Zij gaan meer collageen synthetiseren en ordenen dit nieuwe collageen in de richting van de belasting. Zo worden pezen en ligamenten niet alleen dikker, maar ook functioneel sterker en beter afgestemd op hun taak.^{6,8} Belangrijk is dat deze aanpassing tijd vraagt. In tegenstelling tot spierweefselssynthese verloopt de collageensynthese traag.⁹ De verhoogde

collageensynthese piekt vaak pas uren tot dagen na de belasting en vraagt om voldoende herstel en beschikbaarheid van bouwstoffen. Zonder mechanische prikkel blijft de collageenaanmaak laag.¹⁰ Fysieke inspanning bepaalt daarmee in belangrijke mate waar en hoeveel collageen er wordt aangemaakt. Daarbij lijkt voor collageensynthese vooral een kortdurende piekbelasting cruciaal te zijn.^{6,9}

Collageenbehoefte

Aangezien collageen een eiwit is en dus uit aan elkaar gekoppelde aminozuren bestaat (waaronder glycine, proline en hydroxyproline), zal de voeding naast vitamine C ook voldoende eiwitten moeten bevatten om de bouwstenen voor de collageensynthese te leveren.^{11,12} Glycine, proline en hydroxyproline zijn alle drie niet-essentiële aminozuren, wat wil zeggen dat ze (in tegenstelling tot essentiële aminozuren) niet door de voeding geleverd hoeven te worden. Mits deze voeding voldoende essentiële aminozuren bevat, kan het lichaam hieruit zelf voldoende glycine, proline en hydroxyproline synthetiseren.

Dit betekent echter niet dat de collageensynthese in alle situaties automatisch optimaal is afgestemd op de vraag. Collageen is het meest voorkomende eiwit in het lichaam en de dagelijkse turnover is aanzienlijk, zeker bij herstel na schade en fysieke training.^{5,12} Op basis daarvan

is de hypothese ontstaan dat de behoefte aan glycine en proline onder sommige omstandigheden groter kan zijn dan wat het lichaam zelf kan aanmaken. Een belangrijk onderdeel van deze redenering is dat glycine in grote hoeveelheden nodig is voor collageensynthese. Omdat ongeveer elke derde positie in de aminozuurketens door glycine wordt bezet, loopt de vraag ernaar snel op wanneer de collageenaanmaak wordt verhoogd, bijvoorbeeld na mechanische belasting van pezen en ligamenten. Sommige onderzoekers suggereren dat glycine in die context conditioneel essentieel kan worden, wat inhoudt dat de endogene productie mogelijk niet altijd toereikend is om de behoefte te dekken.¹³

Daarnaast stellen sommige onderzoekers dat collageensupplementen niet alleen losse aminozuren leveren, maar ook specifieke di- en tripeptiden, zoals prolyl-hydroxyproline.¹⁴ Deze peptiden zouden na

opname in de bloedbaan als signaal-moleculen kunnen functioneren en collageen producerende cellen stimuleren tot een verhoogde collageensynthese. Vanuit die gedachte zou gesuppleerd collageen een ander biologisch effect kunnen hebben dan eenzelfde hoeveelheid aminozuren uit reguliere eiwitbronnen.¹⁵ Het bewijs voor deze redenering is echter nog mager.

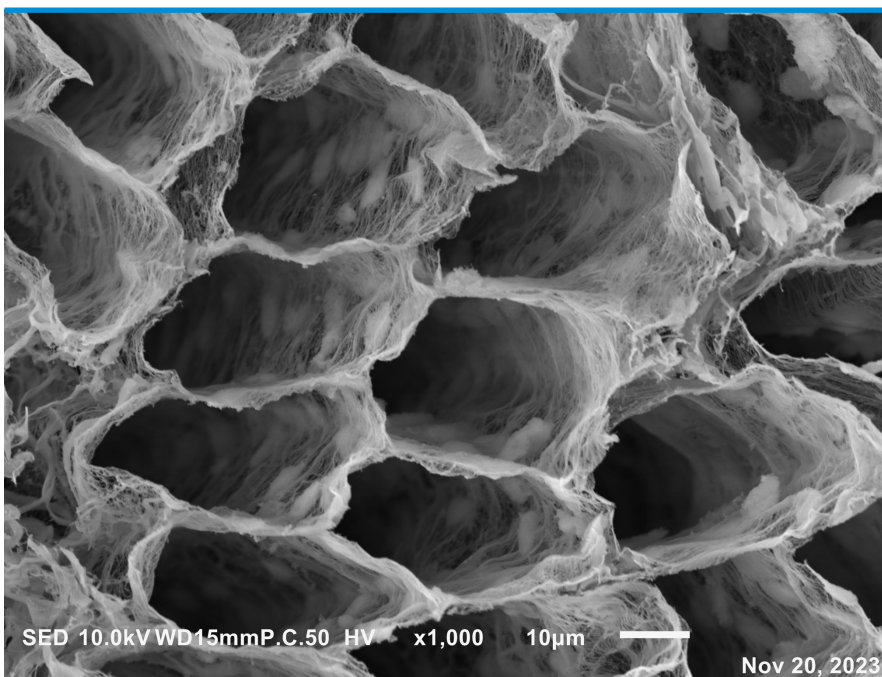
Tenslotte speelt mee dat de moderne voeding relatief arm is aan collageenrijke producten.¹² Volgens Aussieker varieert de dagelijkse inname van glycine tussen de 2 gram in een vegetarisch en 5 gram in een omnivoor dieet, terwijl de dagelijkse behoefte aan glycine ongeveer 6,5 gram per dag is.¹⁶ Er lijkt dus sprake te zijn van een dagelijks glycinetekort. Weliswaar is het lichaam goed in staat om enerzijds glycine te maken uit essentiële aminozuren en anderzijds glycine te hergebruiken, maar desondanks kan een lage dagelijkse glycine-inname in combinatie met een hoge mechanische belasting tot een grotere behoefte aan glycine leiden. Dit heeft geleid tot de hypothese dat collageensuppletie de collageensynthese - en daarmee het herstel en de aanpassing van bindweefsel - zou kunnen ondersteunen.^{6,11}

Wetenschappelijke studies

Tegelijk met de groeiende populariteit van collageensuppletie voor sporters is ook het aantal wetenschappelijke studies toegenomen.^{12,17} In dit eerste deel van ons tweeluik bespreken we wat collageensuppletie betekent voor spier(bindweefsel)eiwitsynthese, spiermassa en herstel na inspanning. In het tweede deel zullen we ingaan op de effecten van collageensuppletie op pezen, botten en gewrichten.

Samenstelling spier

Een skeletspier is een orgaan waarin spierweefsel en bindweefsel



Figuur 3 | Dit beeld, verkregen met een elektronenmicroscop, toont de extracellulaire matrix van skeletspierweefsel na decellularisatie. Na verwijdering van cellen blijft een driedimensionaal, poreus netwerk zichtbaar van collageenrijke bindweefselstructuren (perimysium, endomysium) die normaal de spiervezels omgeven en ondersteunen. Bron: Tom Cardaci (@TomCardaci), gedeeld via X (voorheen Twitter).

onlosmakelijk met elkaar verbonden zijn.¹⁻³ Spiervezels vormen het contractiele element van de spier en functioneren in samenspel met de bindweefselstructuren die hen ondersteunen, ordenen en mechanisch verbinden. De spiervezels zijn lange, polynucleaire cellen gevuld met myofibrillen. In deze myofibrillen liggen de sarcomeren. De sarcomeren zijn opgebouwd uit actine- en myosinefilamenten die langs elkaar schuiven wanneer een spier samen trekt. Duizenden spiervezels liggen parallel gerangschikt en zijn gegroepeerd tot bundels, waardoor de spier als geheel kracht kan ontwikkelen in een specifieke richting.^{1,3,4}

Een netwerk van bindweefsel (zie figuur 3) bevindt zich tussen en rondom de spiervezels (endomysium), de spierbundels (perimysium) en de gehele spier (epimysium). Dit bindweefselnetwerk dringt diep door tot op het niveau van de individuele spiervezel. Het endo-, peri- en epimysium staan dus met elkaar in verbinding en lopen aan de uiteinden van de spier geleidelijk over in de pees die aan het bot is gehecht.¹⁻³ Het gehele bindweefselnetwerk heeft een cruciale mechanische functie. De kracht die in de spiervezels wordt ontwikkeld, wordt namelijk niet uitsluitend in de lengterichting van de spiervezel doorgegeven, maar ook zijwaarts via het bindweefsel verspreid en verzameld.¹⁻² Zo wordt spierkracht door het bindweefsel, dat functioneert als een lichaamseigen 'steunkous', efficiënt gebundeld. Zonder het bindweefselnetwerk zou een spier wel kunnen samentrekken, maar nauwelijks kracht kunnen overbrengen op het skelet. Gemiddeld bestaat zeventig tot vijftig procent van het totale spiervolume uit spiervezels, terwijl tien tot twintig procent wordt gevormd door bindweefsel en extracellulaire matrix.^{1,3} De rest wordt ingenomen door bloedvaten, zenuwen en interstitiële vloeistof.

Collageensuppletie en spiereiwitsynthese

Skeletspieren bestaan dus uit myofibrillen en bindweefsel. Er is de laatste twintig jaar veel onderzoek gedaan dat heeft laten zien dat de myofibrillaire eiwitsynthese toeneemt na een enkele krachttraining¹⁸ en dat deze nog verder toeneemt wanneer ook eiwitten in de vorm van wei¹⁹, caseïne²⁰, ei²¹, kwark²² of geconcentreerd eiwit uit plantaardige bronnen²³ worden geconsumeerd.

Pas meer recent is gekeken naar het effect van collageensuppletie op de myofibrillaire eiwitsynthese. Meerdere studies hebben duidelijk laten zien dat collageen niet zorgt voor een toename in myofibrillaire eiwitsynthese²⁴⁻²⁶, mogelijk verklaard door het gebrek aan essentiële aminozuren in collageensupplementen.²⁷ Het is echter interessanter om te kijken naar het effect van collageensuppletie op het bindweefsel in de spier, aangezien dat vooral bestaat uit collageenvezels. Dit is des te meer interessant omdat melkeiwit de spierbindweefsel-eiwitsynthese niet blijkt te stimuleren²⁸, ook niet in combinatie met krachttraining²⁹, mogelijk vanwege het gebrek aan glycine en proline in melkeiwit. Sterker nog, de glycineconcentratie in het bloedplasma *daalt* na de inname van melkeiwit.²⁵ Hoewel collageensupplementen rijk zijn aan de aminozuren glycine en proline blijken die geen effect te hebben op de spierbindweefsel-eiwitsynthese na een enkele krachttraining^{24,25,30} of meerdere krachttrainingen.³¹ Een mogelijke verklaring hiervoor is het beperkte aandeel van collageenstructuren binnen een spier (ongeveer 5%).³² Mogelijk dat andere weefsels die voor een groter deel uit collageen bestaan, zoals bot (~30%) en pees (~80%), wel profiteren van collageensuppletie. In deel 2 van dit tweeluik zullen we hierop terugkomen.

Collageensuppletie en aanpassingen in spier- en vetvrije massa

Naast acute studies, die kijken naar spiereiwitsynthese, zijn er ook lange termijn studies gedaan, die kijken naar veranderingen in spier- en vetvrije massa na collageensuppletie gecombineerd met een krachttrainingsprogramma. Drie studies onderwierpen volwassen mannen 12 weken lang, drie keer per week, aan krachttraining onder supervisie, waarbij ze dagelijks 15 gram collageensuppletie kregen, of een isocalorische hoeveelheid maltodextrine (placebo).³³⁻³⁵ Elk van deze drie studies rapporteerde een toename in vetvrije massa met collageen versus placebo. In twee ervan werd de vetvrije massa echter gemeten met de foutgevoelige bio-impedantie methode. De derde studie bepaalde de vetvrije massa middels DEXA, wat gezien kan worden als een goede methode.

Geen van de studies rapporteerde verschillen in de toename van spierkracht tussen de groep die collageen kreeg versus de placebogroep. Een van de studies includeerde ook een wei-eiwit groep en concludeerde verrassend dat wei-eiwitsuppletie een minder groot effect had op de toename in vetvrije massa dan collageensuppletie.³³ Een goede duiding van deze resultaten is lastig, omdat de rapportage en de toegepaste statistiek in die studie niet heel duidelijk is. Hoe dan ook, het is opvallend dat wei-eiwit het slechter zou doen dan collageeneiwit, aangezien wei-eiwit meer essentiële aminozuren bevat dan collageen.

Er is ook onderzoek gedaan bij premenopauzale volwassen vrouwen³⁶ en bij oudere mannen.³⁷ In de studie met de vrouwen³⁶ zorgde collageensuppletie (in vergelijking met de placebogroep) voor een sterkere toename van vetvrije massa (gemeten met bio-impedantie analyse) en handknijpkracht, maar niet van isometrische been-

kracht. Ook in de studie met oudere mannen³⁷, die drie keer per week krachttraining deden in combinatie met het dagelijks innemen van 15 g collageen, vonden de onderzoekers een positief effect op de vetvrije massa (gemeten met DEXA) en de spierkracht. Opvallend was dat in de collageengroep de vetvrije massa met maar liefst 4,2 kg toenam en de vetmassa met 5,4 kg afnam! Studies bij zowel ouderen als jongeren die, naast het uitvoeren van krachttraining, een grotere hoeveelheid kwalitatief beter eiwit kregen, rapporteren veel kleinere toenames in vetvrije massa en geen veranderingen in vetmassa.^{38,39} Dat 15 g collageen voor dergelijke grote veranderingen zou zorgen strookt dus niet met eerdere bevindingen en wordt dan ook in twijfel getrokken door andere onderzoekers.⁴⁰ Bovenstaand onderzoek lijkt op het eerste oog sterk. Het betreft immers dubbelblinde lange termijn studies, waarin relatief grote groepen deelnemers een krachttrainingsprogramma volgen en via randomisatie worden toegewezen aan een collageen- of placebogroep. Echter, nader onderzoek toont aan dat veel studies gebruikmaken van suboptimale meetmethoden en ongeschikte statistische benaderingen, waarbij de resultaten ook niet altijd fysiologisch verklaarbaar zijn. Meer directe en nauwkeurigere methoden om spierhypertrofie te meten zijn echografie, MRI en het bekijken van spiervezels die verkregen zijn middels een biopt.⁴¹ Balshaw et al.⁴² onderzochten door middel van MRI het effect van collageensuppletie (15 g) versus placebo in combinatie met krachttraining op spiermassa. Alleen voor de *m. vastus medialis* werd een significant effect gevonden, terwijl voor de overige vasti van de quadriceps, de *m. ischio-crurales* en de *m. gluteus maximus* geen verschillen werden waargenomen. Ook in spierkrachttoename trad geen verschil op tussen de

collageengroep en de placebogroep. Verder onderzochten Jacinto et al.⁴³ met behulp van echografie de toename in spierdikte na tien weken krachttraining met 35 gram collageen- of wei-eiwitsuppletie, waarbij het collageensupplement dezelfde hoeveelheid leucine bevatte als het wei-eiwitsupplement. Zij lieten zien dat wei-eiwitsuppletie tot een grotere toename in spierdikte leidde dan collageensuppletie. Tenslotte zagen Kirmse et al.³⁵ na twaalf weken krachttraining geen verschillen in veranderingen in de dwarsdoorsnede van type 1 en type 2 spiervezels tussen proefpersonen die collageen of een placebo kregen.

Collageensuppletie en herstel na inspanning

In studies naar herstel wordt spierschade doorgaans experimenteel geïnduceerd door een zware excentrische belasting. Op meerdere tijdstippen voor de inspanning en in de uren en dagen erna worden de spierfunctie, spierpijn en bloedmarkers van spierschade en inflammatie (ontsteking) bepaald. Het beschikbare onderzoek naar het effect van collageensuppletie op herstel is niet eenduidig, met zowel studies die positieve effecten^{17,44-46} als het uitblijven van een effect^{17,46,47} rapporteren. Hoewel studies meerdere maten voor herstel hanteren, laat juist de meest gestandaardiseerde en objectieve uitkomstmaat, namelijk de kracht die wordt geleverd bij een maximale isometrische of isokinetische spiercontractie, doorgaans geen effect van collageensuppletie zien. Daarnaast is een positief effect van collageensuppletie op herstel fysiologisch niet waarschijnlijk,

aangezien voor eiwitsuppletie met een hoge biologische waarde, zoals wei- en melkeiwit, is aangetoond dat deze het herstel ook niet versnelt.⁴⁸⁻⁵⁰ Ook wanneer wei-eiwit in combinatie met collageen wordt ingenomen na intensieve inspanning, wordt geen beter herstel waargenomen in vergelijking met de inname van alleen wei-eiwit.⁵¹

Conclusie

Het fysiologische uitgangspunt voor collageensuppletie ten bate van spieradaptaties is dat skeletspieren niet alleen uit spiervezels bestaan, maar ook uit collageenrijke bindweefselstructuren. Humane studies laten echter zien dat collageensuppletie nauwelijks effect heeft op spierbindweefseiwitsynthese. Ook is er onvoldoende bewijs van hoge kwaliteit dat collageensuppletie in combinatie met krachttraining zorgt voor een verdere toename in spiermassa of vetvrije massa. Studies naar het effect van collageensuppletie op herstel na inspanning laten een te inconsistent beeld zien om het aan sporters te adviseren.

Vervolg

In deel twee kijken we of collageensuppletie wel voordelen biedt voor weefsel dat voor een groter deel uit collageen bestaat.

Over de auteurs

Luuk Hilkens en **Tjieu Maas** zijn bewegingswetenschapper en werken als docent en onderzoeker bij het expertiseteam Sport en Voeding van HAN Sport en Beweging. Ze zijn daar onder andere betrokken bij de minor Sportvoeding en de post-hbo opleiding Professional in Sport en Voeding.

1. Ross MH & Pawlina W (2020). *Histology: a text and atlas: with correlated cell and molecular biology* (8th edition). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
2. Tortora GJ & Derrickson BH (2021). *Principles of anatomy and physiology* (16th edition). Hoboken: Wiley.
3. Mescher AL (2024). *Junqueira's basic histology: text and atlas*. New York: McGraw-Hill Education.
4. Alberts B et al. (2022). *Molecular biology of the cell* (7th edition). New York: Garland Science.
5. Shoulders MD & Raines RT (2009). Collagen structure and stability. *Annual Review of Biochemistry*, 78 (1), 929-958.
6. Kjaer M et al. (2009). From mechanical loading to collagen synthesis, structural changes and function in human tendon. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 19 (4), 500-510.
7. Wang JH (2006). Mechanobiology of tendon. *Journal of Biomechanics*, 39 (9), 1563-1582.
8. Kjaer M et al. (2005). Metabolic activity and collagen turnover in human tendon in response to physical activity. *Journal of Musculoskeletal and Neuronal Interactions*, 5 (1), 41-52.
9. Miller BF et al. (2005). Coordinated collagen and muscle protein synthesis in human patella tendon and quadriceps muscle after exercise. *The Journal of Physiology*, 567 (3), 1021-1033.
10. Stariczak M, Kacprzak B & Gawda P (2024). Tendon cell biology: effect of mechanical loading. *Cellular Physiology and Biochemistry*, 58 (6), 677-701.
11. Shaw G et al. (2017). Vitamin C-enriched gelatin supplementation before intermittent activity augments collagen synthesis. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 105 (1), 136-143.
12. Holwerda AM & Loon LJC van (2022). The impact of collagen protein ingestion on musculoskeletal connective tissue remodeling: a narrative review. *Nutrition Reviews*, 80 (6), 1497-1514.
13. Meléndez-Hevia E et al. (2009). A weak link in metabolism: the metabolic capacity for glycine biosynthesis does not satisfy the need for collagen synthesis. *Journal of Biosciences*, 34 (6), 853-872.
14. Jerger S et al. (2023). Specific collagen peptides increase adaptations of patellar tendon morphology following 14 weeks of high-load resistance training: a randomized controlled trial. *European Journal of Sport Science*, 23 (12), 2329-2339.
15. Iwai K et al. (2005). Identification of food-derived collagen peptides in human blood after oral ingestion of gelatin hydrolysates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53 (16), 6531-6536.
16. Aussieker T (2025). *The anabolic effects of collagen protein: a muscle perspective*. Maastricht: Maastricht University.
17. Clifford T et al. (2019). The effects of collagen peptides on muscle damage, inflammation and bone turnover following exercise: a randomized, controlled trial. *Amino Acids*, 51 (4), 691-704.
18. Phillips SM et al. (1997). Mixed muscle protein synthesis and breakdown after resistance exercise in humans. *American Journal of Physiology*, 273 (1), E99-E107.
19. Witard OC et al. (2014). Myofibrillar muscle protein synthesis rates subsequent to a meal in response to increasing doses of whey protein at rest and after resistance exercise. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 99 (1), 86-95.
20. Tang JE et al. (2009). Ingestion of whey hydrolysate, casein, or soy protein isolate: effects on mixed muscle protein synthesis at rest and following resistance exercise in young men. *Journal of Applied Physiology*, 107 (3), 987-992.
21. Moore DR et al. (2009). Ingested protein dose response of muscle and albumin protein synthesis after resistance exercise in young men. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 89 (1), 161-168.
22. Hermans WJ et al. (2023). Acute quark ingestion increases muscle protein synthesis rates at rest with a further increase after exercise in young and older adult males in a parallel-group intervention trial. *The Journal of Nutrition*, 153 (1), 66-75.
23. Pinckaers PJM et al. (2023). The muscle protein synthetic response to the ingestion of a plant-derived protein blend does not differ from an equivalent amount of milk protein in healthy young males. *The Journal of Nutrition*, 152 (12), 2734-2743.
24. Aussieker T et al. (2025). The effects of ingesting a single bolus of hydrolyzed collagen versus free amino acids on muscle connective protein synthesis rates. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 57 (11), 2394-2408.
25. Aussieker T et al. (2023). Collagen protein ingestion during recovery from exercise does not increase muscle connective protein synthesis rates. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 55 (10), 1792-1802.
26. McKendry J et al. (2024). The effects of whey, pea, and collagen protein supplementation beyond the recommended dietary allowance on integrated myofibrillar protein synthetic rates in older males: a randomized controlled trial. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 120 (1), 34-46.
27. Trommelen J, Betz MW & Loon LJC van (2019). The muscle protein synthetic response to meal ingestion following resistance-type exercise. *Sports Medicine*, 49 (2), 185-197.
28. Holwerda AM et al. (2021). Exercise plus presleep protein ingestion increases overnight muscle connective tissue protein synthesis rates in healthy older men. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 31 (3), 217-226.
29. Trommelen J et al. (2020). Casein ingestion does not increase muscle connective tissue protein synthesis rates. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 52 (9), 1983-1991.
30. Aussieker T et al. (2025). Ingestion of a whey plus collagen protein blend increases myofibrillar and muscle connective protein synthesis rates. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 57 (3), 544-554.
31. Kirmse M et al. (2024). Collagen peptide supplementation during training does not further increase connective tissue protein synthesis rates. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 56 (12), 2296-2304.
32. Holwerda AM et al. (2026). Assessing the composition of myofibrillar and muscle connective protein fractions within skeletal muscle tissue. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 66 (1), 248-258.
33. Zdzieblik D et al. (2021). The influence of specific bioactive collagen peptides on body composition and muscle strength in middle-aged, untrained men: a randomized controlled trial. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18 (9), 4837.
34. Oertzen-Hagemann V et al. (2019). Effects of 12 weeks of hypertrophy resistance exercise training combined with collagen peptide supplementation on the skeletal muscle proteome in recreationally active men. *Nutrients*, 11 (5), 1072.
35. Kirmse M et al. (2019). Prolonged collagen peptide supplementation and resistance exercise training affects body composition in recreationally active men. *Nutrients*, 11 (5), 1154.
36. Jendricke P et al. (2019). Specific collagen peptides in combination with resistance training improve body composition and regional muscle strength in premenopausal women: a randomized controlled trial. *Nutrients*, 11 (4), 892.
37. Zdzieblik D et al. (2015). Collagen peptide supplementation in combination with resistance training improves body composition and increases muscle strength in elderly sarcopenic men: a randomized controlled trial. *The British Journal of Nutrition*, 114 (8), 1237-1245.
38. Morton RW et al. (2018). A systematic review, meta-analysis and meta-regression of the effect of protein supplementation on resistance training-induced gains in muscle mass and strength in healthy adults. *The British Journal of Sports Medicine*, 52 (6), 376-384.
39. Cermak NM et al. (2012). Protein supplementation augments the adaptive response of skeletal muscle to resistance-type exercise training: a meta-analysis. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 96 (6), 1454-1464.
40. Phillips SM et al. (2016). Exceptional body composition changes attributed to collagen peptide supplementation and resistance training in older sarcopenic men. *The British Journal of Nutrition*, 116 (3), 569-570.
41. Nunes JP et al. (2024). Determining changes in muscle size and architecture after exercise training: one site does not fit all. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 38 (4), 787-790.
42. Balshaw TG et al. (2023). The effect of specific bioactive collagen peptides on function and muscle remodeling during human resistance training. *Acta Physiologica*, 237 (2), e13903.
43. Jacinto JL et al. (2022). Whey protein supplementation is superior to leucine-matched collagen peptides to increase muscle thickness during a 10-week resistance training program in untrained young adults. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 32 (3), 133-143.
44. Bischof K et al. (2023). Influence of specific collagen peptides and 12-week concurrent training on recovery-related biomechanical characteristics following exercise-induced muscle damage: a randomized controlled trial. *Frontiers in Nutrition*, 10 (1), 1266056.
45. Kuwaba K et al. (2023). Dietary collagen peptides alleviate exercise-induced muscle soreness in healthy middle-aged males: a randomized double-blinded crossover clinical trial. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 20 (1), 2206392.
46. Prowling JL et al. (2021). Effects of collagen peptides on recovery following eccentric exercise in resistance-trained males: a pilot study. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 31 (1), 32-39.
47. Barclay R et al. (2024). Comparing the effects of collagen hydrolysate and dairy protein on recovery from eccentric exercise: a double-blind, placebo-controlled study. *Nutrients*, 16 (24), 4389.
48. Owens DJ et al. (2019). Exercise-induced muscle damage: what is it, what causes it and what are the nutritional solutions? *European Journal of Sport Science*, 19 (1), 71-85.
49. Pasiakos SM et al. (2014). Effects of protein supplements on muscle damage, soreness and recovery of muscle function and physical performance: a systematic review. *Sports Medicine*, 44 (5), 655-670.
50. Hilkens L et al. (2021). Whey protein supplementation does not accelerate recovery from a single bout of eccentric exercise. *Journal of Sports Sciences*, 39 (3), 322-331.
51. Robberechts R et al. (2024). Partly substituting whey for collagen peptide supplementation improves neither indices of muscle damage nor recovery of functional capacity during eccentric exercise training in fit males. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 34 (2), 69-78.