

In het eerste deel¹ van dit tweeluik beschreven we de fysiologische rationale achter collageensuppletie. We concludeerden dat deze geen bevorderend effect heeft op de spiereiwitsynthese, de vetvrije massa of het herstel na inspanning. Geldt dit ook voor kraakbeen, botweefsel en peesweefsel?

Is collageensuppletie zinvol voor sporters?

Deel 2: De effecten op kraakbeen, botweefsel en peesweefsel

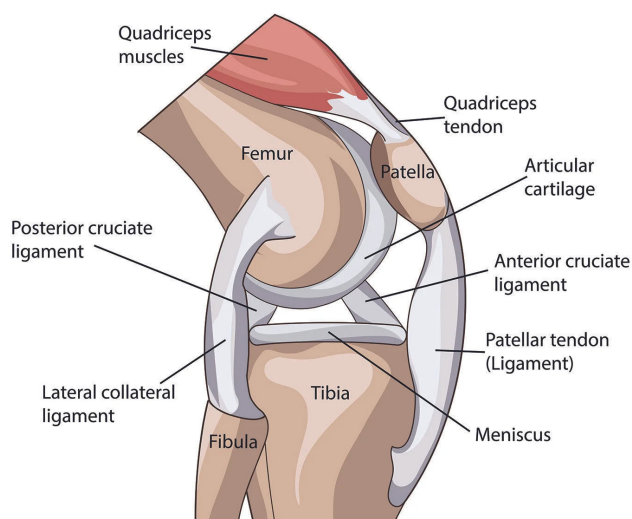
Luuk Hilkens & Tjieu Maas

Een mogelijke verklaring voor de conclusies in deel 1 is dat spierweefsel slechts voor een relatief klein deel (ca. 5%) uit collageen bestaat. Bindweefselstructuren als kraakbeen, bot en pees bestaan echter voor een aanzienlijk groter deel (30-85%) uit collageen. In dit tweede deel beschrijven we het onderzoek naar de effecten van collageensuppletie op deze structuren.

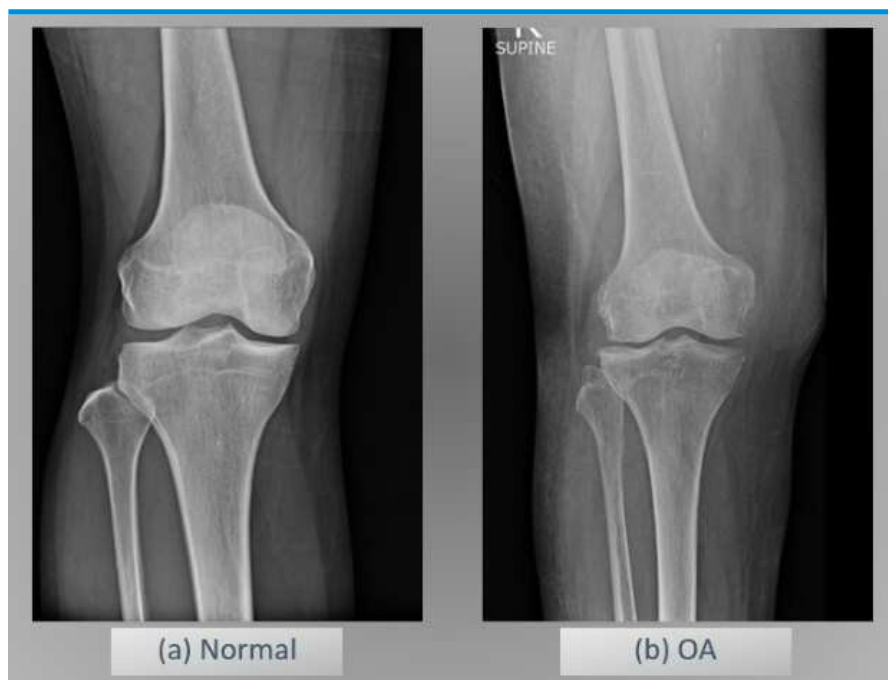
Functionele anatomie en histologie van gewrichten

Gewrichten verbinden botten en zorgen binnen het musculoskeletale stelsel zowel voor beweging als voor stabiliteit. Ze worden ingedeeld in *fibreuze* gewrichten (nauwelijks beweeglijke verbinding door dicht bindweefsel tussen de botten), *kraakbenige* gewrichten (beperkt beweeglijke verbinding door kraakbeen tussen de botten) en *synoviale* gewrichten (zeer beweeglijke verbinding door middel van een kapsel, zoals de knie en de schouder). Synoviale gewrichten (zie figuur 1: schematische weergave van het kniegewricht) bevatten relatief veel bindweefselstructuren en worden daarom vaak onderzocht in studies naar het effect van collageensuppletie.³⁻⁵

Een synoviaal gewricht bestaat uit botuiteinden die bedekt zijn met hyalien kraakbeen, een glad weefsel met relatief weinig cellen (chondrocyten) en een uitgebreide extracellulaire matrix. Deze matrix bestaat uit water, proteoglycanen en collageen (50-70% van het drooggewicht), voornamelijk van het type II. Collageen draagt primair bij aan de treksterkte van het kraakbeen, terwijl proteoglycanen en water verantwoordelijk zijn voor de



Figuur 1 | Schematische weergave van de anatomie van het kniegewricht in sagittaal aanzicht, met botstructuren (femur, tibia, fibula, patella), gewrichtskraakbeen, meniscus en ligamentaire structuren, waaronder de voorste en achterste kruisband en de patella- en quadricepspees.²



Figuur 2 | Vergelijkende anteroposterieure röntgenopnamen van een normaal gezond kniegewricht (A) en een kniegewricht met artrose (B). In het artrosebeeld is een versmalde gewrichtsspleet zichtbaar.⁷

weerstand tegen compressie.³⁻⁶ Het synoviale gewricht wordt omgeven door een kapsel met een stevige buitenlaag, die rijk is aan type I collageen dat voor stabiliteit zorgt, en een binnenste synoviaal membraan, dat vocht produceert voor smering en voeding van het kraakbeen.³⁻⁵

Naast kraakbeen en kapsel dragen ook ligamenten en menisci bij aan de gewrichtsfunctie. Deze structuren bestaan vooral uit type I collageen, waarvan de vezelstructuur bepalend is voor de treksterkte en de elasticiteit.³⁻⁶ Gewrichtskraakbeen bevat geen bloedvaten, maar wordt via diffusie vanuit de synoviale vloeistof van voedingsstoffen en zuurstof voorzien. Daardoor is de stofwisseling traag en het herstelvermogen beperkt, wat belangrijk is bij de interpretatie van interventies gericht op kraakbeenherstel, zoals training en collageensuppletie.³⁻⁵

Effect van training op gewrichtsadaptaties

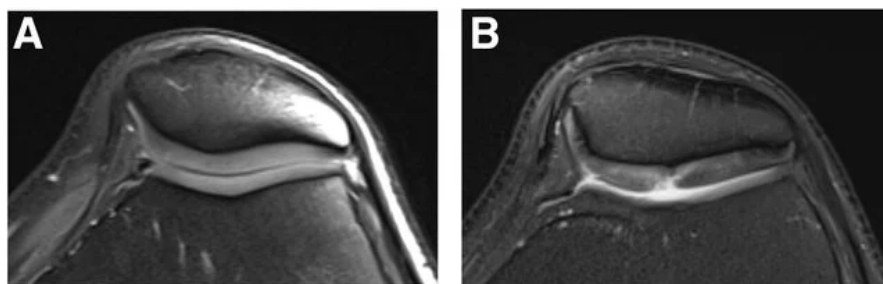
Hoewel kraakbeen een relatief lage metabole activiteit heeft en geen directe bloedvoorziening bezit, reageren

chondrocyten wel op mechanische prikkels. Experimentele en in-vitro studies laten zien dat dynamische compressie van kraakbeen door bijvoorbeeld fysieke activiteit de synthese van matrixcomponenten kan stimuleren, terwijl langdurige immobilisatie juist leidt tot een afname van proteoglycanen en veranderingen in de collageenstructuur van het kraakbeen (zie figuren 2 en 3: beeldvorming van gezond versus aangedaan kraakbeen).^{8,9} Een humane studie waarin het effect van gewrichtsimmobilisatie op gewrichtskraakbeen werd onderzocht, toont bijvoorbeeld aan

dat al binnen enkele weken duidelijke degeneratieve veranderingen in het gewrichtskraakbeen kunnen optreden, waaronder verdunning van het kraakbeenoppervlak.¹⁰ Daarnaast laten observationele studies zien dat regelmatige fysieke activiteit samenhangt met een betere kraakbeenkwaliteit en een lager risico op functionele beperkingen van het kniegewricht.¹¹ Het is echter belangrijk dat de relatie tussen de mate van fysieke activiteit (belasting) en kraakbeenkwaliteit niet lineair is. Zowel te weinig als extreem veel fysieke activiteit kan nadelige effecten hebben op de kraakbeenkwaliteit. In een systematische review en meta-analyse naar hardlopen en knieartrose werd bijvoorbeeld gevonden dat recreatieve hardlopers een lager risico op knieartrose hebben dan sedentaire personen, terwijl dit beschermende effect niet werd gezien bij topsporters met zeer hoge trainingsvolumes.¹²

Experimentele studies naar het effect van collageensuppletie op gewrichtsadaptaties

Clark et al.¹⁴ onderzochten het effect van 24 weken collageensuppletie bij sporters en rapporteerden kleine, maar statistisch significante verbeteringen in enkele pijnscores ten opzichte van placebo (een koolhydraat). Niet alle studies laten echter een dergelijk effect zien. In een studie bij volwassenen met kniepijn vonden Bongers et al.¹⁵ bijvoorbeeld geen significant verschil tussen collageensuppletie en placebo in veranderingen in pijn na de

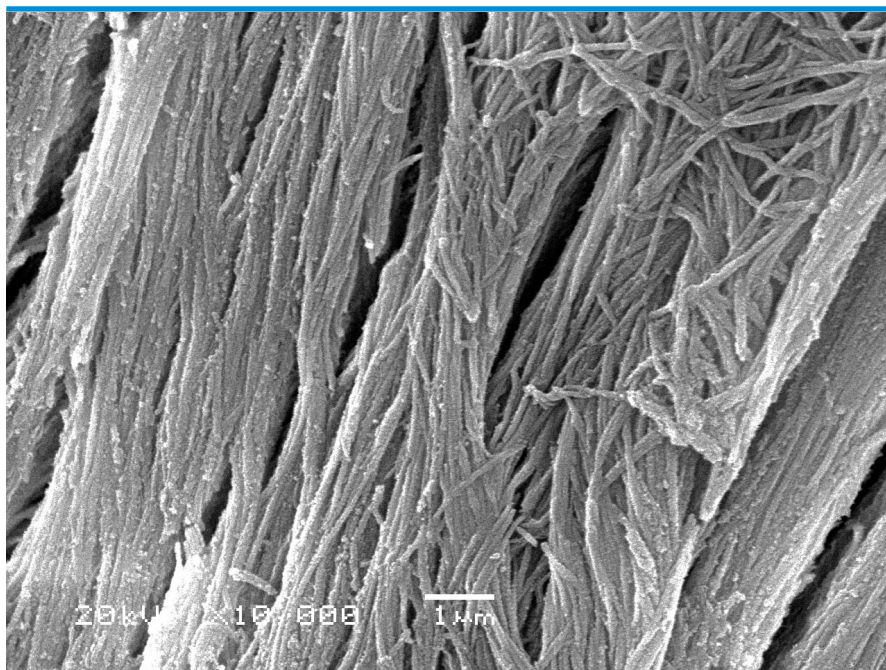


Figuur 3 | Axiale MRI-beelden van de rechterknie met een vergelijking tussen normaal patellair kraakbeen (A: het kraakbeen is glad en homogeen) en patellaire chondromalacie (B: het kraakbeen is onregelmatig en verdund).¹³

interventieperiode. In beide groepen rapporteerden de deelnemers een afname van de klachten. Hoewel studies die een positief effect laten zien vaak worden aangehaald als bewijs voor een gunstig effect van collageensuppletie, hebben ze belangrijke beperkingen. Veel onderzoeken hebben kleine steekproeven en een (te) korte interventieperiode. Daarnaast worden voornamelijk subjectieve uitkomstmaten gebruikt en bestaan placebo's meestal uit koolhydraten zoals maltodextrine, waardoor niet kan worden uitgesloten dat een deel van het effect simpelweg het gevolg is van extra eiwitname in de interventiegroep.

Meta-analyse naar het effect van collageensuppletie op gewrichtsadaptaties

Wanneer de resultaten van deze interventiestudies worden samengevoegd in meta-analyses, ontstaat een vergelijkbaar beeld. Systematische reviews van gerandomiseerde studies rapporteren doorgaans kleine, maar statistisch significante verbeteringen in pijn en gewrichtsfunctie bij patiënten met artrose die collageensupplementen gebruiken. Zo vonden García-Coronado et al.¹⁶ een bescheiden afname van WOMAC-scores in vergelijking met placebo. Deze studies benadrukken echter dat de kwaliteit van het bewijs beperkt is door 1) grote verschillen in studie-opzet, 2) kleine steekproeven, 3) korte interventieperioden en 4) een relatief hoog risico op bias, mede omdat een aanzienlijk deel van de studies (mede) door de industrie is gefinancierd. Een ander belangrijk punt is dat vrijwel al deze studies zich richten op symptomatische uitkomstmaten en niet op structurele veranderingen in het kraakbeen. In slechts een klein aantal studies is daadwerkelijk geprobeerd de kwaliteit of samenstelling van kraakbeen objectief te meten. Verder moeten we ook deze meta-analyse van García-Coronado et al.¹⁶ kritisch bekijken. Een her-analyse van vijf gerandomiseerde gecontroleerde



Figuur 4 | Scanning elektronenmicroscopisch (SEM) beeld (vergroting 10.000×) van botweefsel met bundels langgerekte, parallel georiënteerde collageenfibrillen. Ze hebben een onregelmatige, ruwe oppervlaktestructuur door mineraaldepositie langs de vezels.¹⁹

studies¹⁷ liet namelijk zien dat de resultaten sterk heterogeen zijn en geen consistente relatie vertonen met dosering of duur van de interventie. Opvallend is dat kleinere studies vaak grotere effecten rapporteren, wat kan wijzen op publicatiebias. Bovendien hadden alle geïncludeerde studies financiële banden met de collageenindustrie, wat de kans op overschatting van effecten vergroot. Zo onderzochten McAlindon et al.¹⁸ MRI veranderingen in de proteoglycaaninhoud van kniekraakbeen na suppletie met collageen. In enkele tibiale regio's werd mogelijk een toename van de proteoglycaaninhoud van het kraakbeen gevonden. De steekproef was echter klein en de effecten waren niet consistent over alle regio's van de tibia.

Functionele anatomie en histologie van het bot

Botweefsel is een gespecialiseerde vorm van bindweefsel die wordt gekenmerkt door een sterk georganiseerde en gemineraliseerde extracellulaire matrix. Deze bestaat voor ongeveer een derde uit organisch materiaal (waarvan 90% collageen) en voor twee

derde uit anorganische mineralen (zie figuur 4). Het organische deel wordt gedomineerd door collageen type I, aangevuld met kleinere hoeveelheden niet-collagene eiwitten, zoals osteocalcine, osteopontine en verschillende proteoglycanen. Op celniveau zijn het de osteoblasten die verantwoordelijk zijn voor de aanmaak van collageen type I. Na afzetting mineraliseert deze matrix, waarbij collageenvezels dienen als raamwerk voor de inbouw van mineralen en zo bijdragen aan de treksterkte van bot, terwijl de minerale component zorgt voor drukbestendigheid. Bot is een dynamisch weefsel dat continu wordt geremodelleerd door een balans tussen botvorming door osteoblasten en botresorptie door osteoclasten. Osteocyten spelen hierbij een centrale rol als mechanosensoren en reguleren botadaptatie in reactie op mechanische belasting.²⁰

Effect van training op botadaptaties

Er is veel bewijs dat mechanische belasting kan resulteren in botadaptaties.²¹ Vooral sporten met een hoge intensiteit, snelle richtingsveranderingen

gen en een intervalkarakter resulteren in sterkere botten. Zo hebben voetballers²² een hoge botmineraaldichtheid, terwijl wielrenners²³ een lagere botmineraaldichtheid hebben. Een ander duidelijk voorbeeld van botadaptaties als gevolg van fysieke inspanning is de sterkere ontwikkeling van het bot van de dominante arm bij tennisers in vergelijking met de niet-dominante arm.²⁴ Ook het doen van (zware) krachttraining zorgt voor een toename in botmineraaldichtheid en botsterkte.²⁵

Effect van collageensuppletie op botadaptaties

Er is weinig onderzoek gedaan naar het effect van collageensuppletie op botadaptaties. Wij onderzochten of het innemen van een collageensupplement zorgt voor een sterkere toename van de bloedmarker voor collageensynthese (P1NP: procollageen peptide type 1 N-terminaal) wanneer jonge mannen een aantal dagen sprong oefeningen deden.²⁶ Deze korte termijn studie liet geen superieur effect zien op de botformatie (P1NP) bij de inname van collageen in vergelijking met een placebo (koolhydraten). Er zijn meer studies die P1NP hebben gemeten in het bloed in de uren of dagen na sprong- of krachttraining (zie verderop de paragraaf over peesadaptaties), zonder consistente resultaten. Dit heeft mogelijk te maken met de bepaling en interpretatie van deze methode.

Er zijn drie studies waarin is gekeken naar het effect van lange termijn (12 maanden) collageensuppletie op veranderingen in botmineraaldichtheid. In het algemeen rapporteerden deze studies een verminderde afname van de botmineraaldichtheid van het hele lichaam²⁷, een toename van de botdichtheid van de femurhals en de lumbale wervelkolom²⁸ of verbeterde botparameters van de tibia.²⁹ Het is echter belangrijk om op te merken dat deze studies voornamelijk zijn uitgevoerd bij postmenopauzale vrouwen met een lage botmineraaldichtheid

en dat er verschillende methodologische beperkingen aanwezig waren. Zo hadden studies een kleine steekproefgrootte, werd de daadwerkelijke waarde van de botmineraaldichtheid niet gerapporteerd, waren de studies onvoldoende gecontroleerd of waren er problemen met de therapietrouw. Daarnaast maakten alle studies gebruik van slechts 5 gram collageen als dagelijkse suppletiestrategie. Het is zeer de vraag of zo'n lage dagelijkse dosis de botmineraaldichtheid kan verhogen, met name in afwezigheid van botstimulerende training.

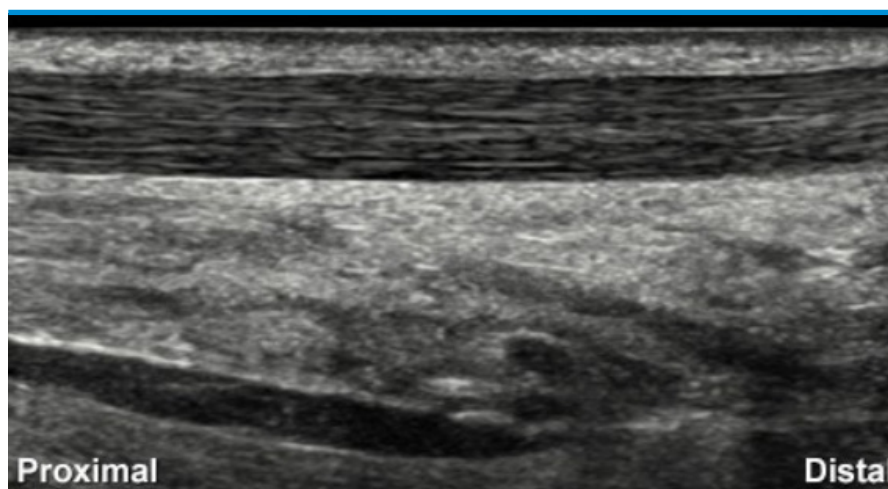
Functionele anatomie en histologie van de pees

Pezen (zie figuur 5) verbinden spieren met botten en zorgen voor de overdracht van spierkracht op het skelet. Daarnaast slaan ze elastische energie op en geven die weer vrij, wat bewegingen efficiënter maakt.^{3,5} Pezen bestaan voor 70–85% uit collageen en behoren tot dicht, regelmatig geordend bindweefsel, met parallelle vezels die sterk zijn in één richting.³⁻⁵ Collageen type I is het belangrijkste eiwit in pezen en zorgt voor hun hoge treksterkte.⁴⁻⁶ Collageen vormt fibrillen, die zich bundelen tot vezels en grotere structuren, wat pezen sterk en licht elastisch maakt.^{4,6} Tussen de collageenbundels liggen tenocyten, die de extracellulaire matrix onderhou-

den. Naast collageen bevat de pees ook water, elastine en glycosaminoglycanen, die bijdragen aan de mechanische eigenschappen.⁵ De combinatie van 1) een hoge collageendichtheid, 2) een sterk geordende vezelstructuur en 3) gespecialiseerde matrix producerende cellen maakt pezen bij uitstrek geschikt om grote trekkrachten te weerstaan.

Effect van training op peesadaptaties

Hoewel pezen mechanisch zeer sterk zijn, verloopt de structurele vernieuwing van het weefsel relatief langzaam, terwijl dat op het eerste gezicht niet zo lijkt. Met behulp van stabiele isotopen is immers aangetoond dat de basale eiwitsynthesesnelheid in verschillende musculoskeletale weefsels in dezelfde orde van grootte kan liggen. Zo rapporteerden Smeets et al.³⁰ vergelijkbare fractionele eiwitsynthesesnelheden voor spier-, pees- en ligamentweefsel in rust. Toch verlopen structurele aanpassingen in pezen in de praktijk duidelijk langzamer dan in spierweefsel. Het verschil ligt vooral in de organisatie en stabiliteit van de eiwitten waaruit het weefsel is opgebouwd. Skeletspieren bestaan grotendeels uit contractiele eiwitten (zoals actine en myosine) die continu worden afgebroken en opnieuw opgebouwd als onderdeel van de aanpassing aan mechanische belasting en training. In



Figuur 5 | Echografisch beeld van een intacte achillespees waarin de typische, parallel georiënteerde vezelstructuur zichtbaar is.⁴⁹

pezen daarentegen vormt een groot deel van het collageen een zeer stabiel extracellulair netwerk dat primair is ontworpen om langdurig grote trekkrachten te weerstaan. Proteoomstudies laten zien dat een aanzienlijk deel van dit peescollageen een zeer lange levensduur heeft en slechts langzaam wordt vervangen.³¹ De gemeten eiwitsynthese in peesweefsel weerspiegelt daarom vooral de vernieuwing van een relatief kleine, metabool actieve fractie van de matrix, terwijl een groot deel van het structurele collageennetwerk jarenlang intact kan blijven. Dat neemt niet weg dat peesweefsel gevoelig is voor mechanische belasting. Zowel acute inspanning als langdurige training kan de collageensynthese tijdelijk verhogen, wat wijst op een adaptieve respons van tenocyten op mechanische prikkels.^{32,33} Hierdoor kunnen pezen zich wel aanpassen aan belasting, maar deze aanpassingen verlopen doorgaans veel trager dan in spierweefsel. Op lange termijn zullen pezen sterker en stijver worden door aanpassing aan structurele mechanische belasting. De relatief trage, maar wel belastinggevoelige collageenturnover van peesweefsel heeft geleid tot de vraag of de beschikbaarheid van glycine, proline en hydroxyproline deze turnover kan beïnvloeden.

Mechanistische studies naar het effect van collageensuppletie op peesadaptaties

Vanuit die fysiologische achtergrond is de hypothese ontstaan dat een verhoogde beschikbaarheid van glycine, proline en hydroxyproline de collageensynthese van peesweefsel zou kunnen ondersteunen, met name wanneer deze wordt gecombineerd met mechanische belasting. Om deze hypothese te toetsen zijn de afgelopen jaren verschillende mechanistische humane studies uitgevoerd waarin het effect van collageensuppletie op markers van collageensynthese (waaronder het eerder genoemde P1NP) werd onderzocht. In een veel geciteerde studie van Shaw et al.³⁴ kregen proef-

personen een gelatine- of placebo-oplossing voorafgaand aan een korte sprongtraining die gericht was op het belasten van pezen. In de gelatinegroep werden hogere concentraties van P1NP in het bloed gemeten, wat een mogelijke indicatie is dat de collageensynthese in deze groep toenam. Vergelijkbaar onderzoek van Lee et al.³⁵ en Nulty et al.³⁶ ondersteunt deze bevinding. Het is echter belangrijk om te benadrukken dat deze P1NP een indirecte marker voor collageensynthese is en niet de daadwerkelijke inbouw van collageen in peesweefsel zelf nauwkeurig weergeeft. Daarnaast zijn er ook studies^{26,37} met een vergelijkbare opzet die juist geen toename in P1NP bij collageensuppletie rapporteren. Verder laat een studie³⁸ uit 2024 zien dat zelfs een relatief sterke mechanische prikkel, namelijk een enkele sessie met sprongoefeningen, geen meetbare veranderingen veroorzaakt in P1NP binnen een periode van 24 uur. Dit onderstreept dat meer onderzoek nodig is om P1NP te valideren als betrouwbare marker van peescollageensynthese in de uren en dagen na inspanning in combinatie met de inname van collageen.

Experimentele studies naar het effect van collageensuppletie op peesadaptaties

Er zijn de afgelopen jaren ongeveer tien studies gedaan naar het effect van collageensuppletie op peesadaptaties. De meest gebruikte methode om peesadaptaties te meten is echografie. Jerger en collega's³⁹ onderzochten het effect van collageensuppletie in combinatie met 14 weken krachttraining. In deze studie volgden 40 gezonde mannen een krachttrainingsprogramma en kregen zij dagelijks 5 gram collageen of een placebo (suikersupplement). De collageengroep vertoonde een grotere toename (11,0 %) van de achillespeesdikte dan de placebogroep (4,7%). Peesstijfheid en spierkracht namen echter in beide groepen vergelijkbaar toe. Het moet opgemerkt worden dat deze onderzoekers de

dikte van de pees slechts op één plek langs de achillespees bepaalden door middel van echografie. Men moet zich realiseren dat de nauwkeurigheid van echografie sterk afhankelijk is van de kwaliteit van de operator. Het rapporteren van de nauwkeurigheid waarmee iemand kan meten (consistente probe positie en druk op de huid) is dus essentieel, maar wordt zelden gedaan, wat gezien kan worden als een sterke tekortkoming van dit type onderzoek. Daarnaast is van deze methode eerder aangetoond^{40,41} dat zij onnauwkeurig en weinig betrouwbaar is en bovendien onvoldoende gevoelig om klinisch relevante of door interventies veroorzaakte veranderingen in peesdwarsdoorsnede te detecteren. Het is bijvoorbeeld de vraag of een toename in peesdwarsdoorsnede het gevolg is van training in combinatie met collageen of van toename van vocht als gevolg van de interventie.

Ook een Engelse onderzoeksgroep heeft in een reeks studies een positief effect gerapporteerd van collageensuppletie op de stijfheid van de patellapees van voetbalsters⁴², de dikte van de patellapees van hockeysters⁴³ en een toename in dikte en stijfheid van de patellapees van mannen van middelbare leeftijd die aan krachttraining deden.⁴⁴ Wel moeten we aanmerken dat al deze studies worden gekenmerkt door een kleine steekproef (5 tot 12 proefpersonen in zowel de controle- als de interventiegroep), wat zeker bij uitkomsten met een relatief hoge meetfout (zoals peesomvang met echografie) problematisch is.

Er zijn drie studies gedaan die MRI hebben gebruikt om aanpassingen als gevolg van collageensuppletie in kaart te brengen. In een eerste studie gaven Miyamoto en collega's⁴⁵ aan 50 jonge mannen dagelijks 10 gram collageen of placebo voor 16 weken. In beide groepen vonden ze geen toename van de peesdwarsdoorsnede. Opvallend was dat ze wel een toename van de peesstijfheid (gemeten met echografie) in de collageengroep

rapporteren. Zonder een trainings-prikkel is dit fysiologisch echter niet aannemelijk. Een tweede studie⁴⁶ rapporteerde een positief effect van collageensuppletie op de dikte van de patellapees na 14 weken krachttraining, zonder verschillen in peesstijfheid. De derde studie⁴⁷ rapporteerde daarentegen geen effect van collageensuppletie op stijfheid of dwarsdoorsnede (gemeten met MRI) van de patellapees bij jonge mannen die 15 weken lang een krachttrainingsprogramma volgden. In vergelijking met de tweede studie⁴⁶ gebruikten de onderzoekers van de derde studie⁴⁷ een preciezere MRI met een hogere resolutie en een duidelijk beschreven protocol voor standaardisatie, waarbij ook nog eens de betrouwbaarheid werd gerapporteerd. Ook was de onderzoeksgroep in deze derde studie groter.

Het is in ieder geval duidelijk dat meer goed gestandaardiseerd onderzoek nodig is om het effect van collageensuppletie in combinatie met training op peesadaptaties vast te stellen.

Meta-analyse naar effect van collageensuppletie op peesadaptaties

In een recente systematische review en meta-analyse⁴⁸ werden de effecten van collageensuppletie op adaptaties van het spier-peescomplex samengevat. In deze analyse werden negentien experimentele studies bij in totaal ruim zevenhonderd deelnemers geïncludeerd, waarin collageensuppletie meestal werd gecombineerd met een trainingsprogramma en werd vergeleken met een placebo. De resultaten suggereerden kleine tot matige positieve effecten op onder andere de peeskwiteit. Echter, zoals ook al uit de bespreking van de individuele studies blijkt, is de kwaliteit van het bewijs laag. De geïncludeerde studies zijn namelijk klein, gebruiken uiteenlopende of inferieure methoden om

peesadaptaties te meten en vergelijken collageensuppletie vrijwel altijd met een niet-eiwit placebo, zoals malto-dextrine.

Conclusie

Collageensuppletie wordt vaak gepresenteerd als een manier om botten, gewrichten en pezen te versterken, maar de wetenschappelijke onderbouwing hiervoor is zeer beperkt. Studies met een zwakke methodologie laten vaak een effect zien, terwijl goed ontworpen studies geen effect rapporteren. Op basis van de huidige literatuur concluderen wij dat collageensuppletie geen meerwaarde heeft voor gewrichts- en botadaptaties. Wel is er mogelijk een meerwaarde van collageensuppletie voor peesadaptaties, maar meer onderzoek van hoge kwaliteit is nodig om dit te bevestigen.

Over de auteurs

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

- Hilken L & Maas T (2026). Is collageensuppletie zinvol voor sporters? Deel 1: fysiologie van bindweefsel, rationale van collageensuppletie en het effect op spiereiwitsynthese, spierhypertrofie en herstel. *Sportgericht*, 80 (2), 31-37.
- <https://images.squarespace-cdn.com/content/v1/5ae76a0f9772ae2e875cfc6e/1603748665685-VXOQT2K4SYJVTA4Z3NQL/Knee+Lateral+View+Web+.jpg>
- Tortora GJ & Derrickson BH (2021). *Principles of anatomy and physiology* (16th ed.). Hoboken, NJ: Wiley.
- Mescher AL (2024). *Junqueira's basic histology: text and atlas* (17th ed.). New York: McGraw-Hill Education.
- Ross MH & Pawlina W (2020). *Histology: a text and atlas: with correlated cell and molecular biology* (8th ed.). Philadelphia, PA: Wolters Kluwer.
- Shoulders MD & Raines RT (2009). Collagen structure and stability. *Annual Review of Biochemistry*, 78, 929-958.
- Chan S, Dittakan K & Garcia-Constantino M (2020). Image texture analysis for medical image mining: a comparative study direct to osteoarthritis classification using knee X-ray image. *International Journal of Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 10 (6), 2189-2199.
- Griffin TM & Guilak F (2005). The role of mechanical loading in the onset and progression of osteoarthritis. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 33 (4), 195-200.
- Urban JPG, Hall AC & Gehl KA (1993). Regulation of matrix synthesis rates by the ionic and osmotic environment of articular chondrocytes. *Journal of Cellular Physiology*, 154 (2), 262-270.
- Vanwanseele B et al. (2002). Knee cartilage of spinal cord-injured patients displays progressive thinning in the absence of normal joint loading and movement. *Arthritis and Rheumatism*, 46 (8), 2073-2078.
- Racunica TL et al. (2007). Effect of physical activity on articular knee joint structures in community-based adults. *Arthritis and Rheumatism*, 57 (7), 1261-1268.
- Alentorn-Geli E et al. (2017). The association of recreational and competitive running with hip and knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 47 (6), 373-390.
- Banach A et al. (2024). Supratrochlear rim is correlated with isolated patellar chondromalacia on magnetic resonance imaging of the knee. *Arthroscopy, Sports Medicine, and Rehabilitation*, 6 (2), 100855.
- Clark KL et al. (2008). 24-week study on the use of collagen hydrolysate as

a dietary supplement in athletes with activity-related joint pain. *Current Medical Research and Opinion*, 24 (5), 1485-1496.

- Bongers C et al. (2020). Effectiveness of collagen supplementation on pain scores in healthy individuals with self-reported knee pain: a randomized controlled trial. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 45 (7), 793-800.
- Garcia-Coronado JM et al. (2019). Effect of collagen supplementation on osteoarthritis symptoms: a meta-analysis of randomized placebo-controlled trials. *International Orthopaedics*, 43 (3), 531-538.
- Von Hippel PT (2021). Do collagen supplements reduce symptoms of osteoarthritis? Meta-analytic results do not support strong conclusions. *International Orthopaedics*, 45 (12), 3283-3284.
- McAlindon TE et al. (2011). Change in knee osteoarthritis cartilage detected by delayed gadolinium-enhanced magnetic resonance imaging following treatment with collagen hydrolysate: a pilot randomized controlled trial. *Osteoarthritis and Cartilage*, 19 (4), 399-405.
- <https://ask-nature.sfo3.digitaloceanspaces.com/wp-content/uploads/2016/01/31134043/Electronic-micrography-10000-magnification-of-mineralized-collagen-fibers-in-bone.jpg>
- Burr DB & Allen MR (2019). *Basic and applied bone biology* (2nd ed.). Amsterdam: Academic Press.
- Kohrt WM et al. (2004). American College of Sports Medicine position stand: physical activity and bone health. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36 (11), 1985-1996.
- Calbet JA et al. (2001). High femoral bone mineral content and density in male football (soccer) players. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33 (10), 1682-1687.
- Hilken L et al. (2023). Low bone mineral density and associated risk factors in elite cyclists at different stages of a professional cycling career. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 55 (5), 957-965.
- Warden SJ, Wright CS & Fuchs RK (2021). Bone microarchitecture and strength adaptation to physical activity: a within-subject controlled HR-pQCT study. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 53 (6), 1179-1187.
- Beck BR et al. (2017). Exercise and Sports Science Australia (ESSA) position statement on exercise prescription for the prevention and management of osteoporosis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20 (5), 438-445.

26. Hilkens L et al. (2023). Bone turnover following high-impact exercise is not modulated by collagen supplementation in young men: a randomized cross-over trial. *Bone*, 170, 116705.
27. Elam ML et al. (2015). A calcium-collagen chelate dietary supplement attenuates bone loss in postmenopausal women with osteopenia: a randomized controlled trial. *Journal of Medicinal Food*, 18 (3), 324-331.
28. König D et al. (2018). Specific collagen peptides improve bone mineral density and bone markers in postmenopausal women: a randomized controlled study. *Nutrients*, 10 (1), 97.
29. Lampropoulou-Adamidou K et al. (2022). Effect of calcium and vitamin D supplementation with and without collagen peptides on volumetric and areal bone mineral density, bone geometry and bone turnover in postmenopausal women with osteopenia. *Journal of Clinical Densitometry*, 25 (3), 357-372.
30. Smeets JSJ et al. (2019). Protein synthesis rates of muscle, tendon, ligament, cartilage, and bone tissue in vivo in humans. *PLOS ONE*, 14 (11), e0224745.
31. Choi H et al. (2020). Heterogeneity of proteome dynamics between connective tissue phases of adult tendon. *eLife*, 9, e55256.
32. Miller BF et al. (2007). Tendon collagen synthesis at rest and after exercise in women. *Journal of Applied Physiology*, 102 (2), 541-546.
33. 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.
34. Shaw G et al. (2017). Vitamin C-enriched gelatin supplementation before intermittent activity augments collagen synthesis. *American Journal of Clinical Nutrition*, 105 (1), 136-143.
35. Lee J et al. (2024). The collagen synthesis response to an acute bout of resistance exercise is greater when ingesting 30 g hydrolyzed collagen compared with 15 g and 0 g in resistance-trained young men. *Journal of Nutrition*, 154 (7), 2076-2086.
36. Nulty CD et al. (2024). Hydrolyzed collagen supplementation prior to resistance exercise augments collagen synthesis in a dose-response manner in resistance-trained, middle-aged men. *American Journal of Physiology - Endocrinology and Metabolism*, 327 (5), E668-E677.
37. Lis DM & Baar K (2019). Effects of different vitamin C-enriched collagen derivatives on collagen synthesis. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 29 (5), 526-531.
38. Hilkens L et al. (2024). A single bout of jumping exercise does not modulate serum markers of bone formation or bone resorption throughout a 24 h period. *Bone*, 188, 117216.
39. Jerger S et al. (2022). Effects of specific collagen peptide supplementation combined with resistance training on Achilles tendon properties. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 32 (7), 1131-1141.
40. Ekizos A et al. (2013). Ultrasound does not provide reliable results for the measurement of the patellar tendon cross-sectional area. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 23 (6), 1278-1282.
41. Bohm S et al. (2016). Insufficient accuracy of the ultrasound-based determination of Achilles tendon cross-sectional area. *Journal of Biomechanics*, 49 (13), 2932-2937.
42. Lee J et al. (2023). Collagen supplementation augments changes in patellar tendon properties in female soccer players. *Frontiers in Physiology*, 14, 1089971.
43. Nulty CD & Erskine RM (2025). Collagen supplementation augments strength training-induced gains in tendon size and rate of force development in elite female master field hockey athletes. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 35 (6), 510-519.
44. Nulty CD, Phelan K & Erskine RM (2025). Hydrolysed collagen supplementation enhances patellar tendon adaptations to 12 weeks' resistance training in middle-aged men. *European Journal of Sport Science*, 25 (4), e12281.
45. Miyamoto N et al. (2025). Collagen peptide supplementation enhances muscle-tendon stiffness and explosive strength: a 16-week randomized controlled trial. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 57 (12), 2877-2886.
46. 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.
47. Balshaw TG et al. (2023). The effect of specific bioactive collagen peptides on tendon remodeling during 15 weeks of lower body resistance training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 55 (11), 2083-2095.
48. Bischof K et al. (2024). Impact of collagen peptide supplementation in combination with long-term physical training on strength, musculotendinous remodeling, functional recovery, and body composition in healthy adults: a systematic review with meta-analysis. *Sports Medicine*, 54 (11), 2865-2888.
49. <https://www.radiologymasterclass.co.uk/tutorials/musculoskeletal/imaging-joints-bones/tendon-disorders>

(advertentie)



Evenement?
Opleiding?
Cursus?
Dienst?
Product?
Vacature?

**Hier had UW
advertentie kunnen staan!**

Informeer naar de mogelijkheden via sportgericht@xs4all.nl