

SPORT EN HET DARM- MICROBIOOM

De wetenschap achter probiotica

WINAND weet meer over het microbioom

SPORT EN HET DAMMICROBIOOM

Sporten en fysieke activiteit hebben vele, goed onderzochte gezondheidsvoordelen. Toch kan intensief sporten ook problemen opleveren. Een groot deel van de sporters geeft aan tijdens het sporten last te hebben van maag-darmklachten als misselijkheid, overgeven, diarree, buikkrampen en (aandring tot) ontlasting.^[1] Ook infecties van de bovenste luchtwegen treden relatief vaak op bij intensief sporten.^[2] Dit kan leiden tot gezondheidsproblemen, onderpresteren en uitval tijdens trainingen en wedstrijden. Het darmmicrobioom kan bij deze klachten een rol spelen. Sommige probiotica lijken de capaciteiten te hebben om het darmmicrobioom te helpen deze klachten verminderen en mogelijk ook om de sportprestaties te verbeteren.

INVLOED VAN DUURSPORT OP HET LICHAAM

Door de zware fysieke en mentale omstandigheden waaraan het lichaam tijdens duursport wordt blootgesteld, vraagt duursport veel van het lichaam en dus ook van de organen en de stofwisseling. Om zo'n prestatie te kunnen leveren, veranderen er verschillende processen in het lichaam. Zuurstof gaat vooral naar de spieren toe en minder naar andere organen, waaronder de darmen. Ook neemt de beweeglijkheid van de darmen af, waardoor de opname van voedingsstoffen vermindert.^[3] De extreme inspanning verstoort mede daardoor tijdelijk de homeostase (het natuurlijk evenwicht) in het lichaam, evenals de balans in het darmmicrobioom, wat leidt tot een (tijdelijke) dysbiose. Dit zorgt voor een vergroting van de doorlaatbaarheid van de darmwand en activering van het immuunsysteem, met als gevolg ontstekingsreacties, spierschade en een verhoging van de lichaamstemperatuur. Daardoor ontstaat een verandering in de bloedsomloop en neemt de kans op uitdroging toe.^[4,5] Daarnaast zorgt de grote inspanning voor oxidatieve stress wat tot prestatievermindering kan leiden.

GEZONDHEIDSKLACHTEN BIJ DUURSPORT

Door overmatige trainingsbelasting, psychologische stress en slaapproblemen wordt het immuunsysteem van met name topsporters op de proef gesteld. In combinatie met de veranderingen in de stofwisseling en de bloedtoevoer naar de darmen kunnen zij zowel tijdens de inspanning als daarbuiten last krijgen van gezondheidsproblemen, zoals maag-darmklachten maar ook ontstekingen van de bovenste luchtwegen. De mate waarin

dit gebeurt hangt af van verschillende factoren, waarbij de intensiteit van de inspanning een grote rol speelt: hoe langer en intensiever er getraind wordt, hoe groter de kans op deze klachten.^[3] Verder speelt het type sport mee. Bij hardlopen komen de klachten relatief vaker voor dan bij fietsen en zwemmen. Daarnaast is de temperatuur van de omgeving van belang: hoe warmer het is, hoe vaker problemen optreden.

MECHANISMEN DIE ZORGEN VOOR GEZONDHEIDSKLACHTEN

De darmen spelen een belangrijke rol bij darmproblemen en luchtwegklachten bij sporters. Tijdens duursport neemt de bloedtoevoer naar de actieve spieren toe en die naar de darmen af. Daardoor neemt de darmmotiliteit, de opname van voedingsstoffen en de toevoer van zuurstof af.^[6] Dit kan zelfs leiden tot een tekort aan zuurstof in de darmen (hypoxie). Samen met de herhaaldelijke mechanische belastingen van het maagdarmkanaal bij bepaalde sporten en ongezonde of ongebalanceerde voeding kan dat darmproblemen veroorzaken.

Intensief sporten kan ook darmwandcellen beschadigen en de darmdoorlaatbaarheid verhogen, wat leidt tot chronische laag-gradige ontstekingen. Daardoor kunnen ontstekingsbevorderende cytokines in de bloedbaan terechtkomen, waardoor de gevoeligheid voor bovenste luchtweginfecties toeneemt.^[7] Ook wordt een tijdelijke afname van bepaalde immuuncellen gezien, waardoor het immuunsysteem tijdelijk minder goed werkt gedurende 3 tot 72 uur na de inspanning.^[8] Dit wordt ook wel de 'open window' theorie genoemd, waardoor virale en bacteriële infecties meer kans krijgen. Luchtweginfecties worden dan vaak gezien, omdat daar een relatief open verbinding bestaat tussen het lichaam en de buitenwereld.



ROL VAN HET DAMMICROBIOOM BIJ SPORTEN

Het darmmicrobioom heeft verschillende taken.^[4] Zo zijn de darmbacteriën betrokken bij het halen van energie uit voeding, de beweeglijkheid van de darmen en de opname van voedingsstoffen in het lichaam. Ze stimuleren de absorptie van aminozuren en glucose en zorgen voor de productie van korteketenvezuren (acetaat, butyraat, propionaat) en lactaat. Korteketenvezuren ontstaan door fermentatie van onverteerbare voedingsvezels. Ze voorzien de darmwandcellen van brandstof, reguleren het immuunsysteem, hebben een ontstekingsremmende en antimicrobiële werking en verbeteren de darmbarrièrefunctie. Tijdens duursport kan de stofwisseling verstoord raken, waardoor er minder energie vrijkomt, er minder korteketenvezuren worden gevormd en de sportprestaties afnemen.

De darmbacteriën en hun metaboliëten spelen verder een fundamentele rol bij de werking van het immuunsysteem en het in stand houden van de darmbarrière. De darmbarrière bestaat uit het darmslijmvlies en de darmwandcellen die bij elkaar gehouden worden door *tight junctions*. De darmwandcellen en met name de *tight junctions* fungeren als selectieve barrière.^[9] Indien deze goed werkt, komen alleen die stoffen in het lichaam terecht die het lichaam nodig heeft.

Het eiwit zonuline, waarvan de productie toeneemt bij een verstoring van het darmmicrobioom, heeft een ongunstig effect op de darmbarrière.^[10] Een verhoogde hoeveelheid zonuline in het bloed of de ontlasting is dan ook een marker voor een verhoogde darmdoorlaatbaarheid.^[10] Onder invloed van de veranderde lichamelijke processen

tijdens duursport kunnen de *tight junctions* verzwakken, waardoor er grotere openingen in de darmbarrière ontstaan en de doorlaatbaarheid van de darm toeneemt. Volgens wetenschappelijk onderzoek zou dit kunnen optreden vanaf een duurspanning van een uur met een intensiteit van 70% van de maximale hoeveelheid zuurstof die je iedere minuut kan opnemen (VO_{2max}).^[11] Door de verzwakte barrièrefunctie van de darmwand worden stoffen die normaal gesproken niet in het lichaam horen toch opgenomen in het bloed. Bijvoorbeeld lipopolysachariden (LPS), dit zijn toxische bestanddelen uit het buitenmembraan van bepaalde gramnegatieve bacteriën. Het immuunsysteem reageert hierop met een afweerreactie in de vorm van een ontsteking, die klachten kan geven aan onder andere de bovenste luchtwegen.

Het darmmicrobioom reguleert ook oxidatieve stress die optreedt als gevolg van inspanning. Tijdens de stofwisseling worden vrije radicalen geproduceerd. Een specifieke vorm daarvan zijn reactieve zuurstofverbindingen (ROS). Deze stoffen worden normaal gesproken opgeruimd door antioxidanten. Als er te veel ROS ontstaan, zoals bijvoorbeeld tijdens intensief sporten^[12], kan het lichaam die niet meer opruimen en ontstaat er schade aan gezonde cellen. Een gezond microbioom reguleert de balans tussen een oxidatieve en anti-oxidatieve omgeving en is daarmee betrokken bij het voorkomen van oxidatieve stress.^[11]

Tot slot is het niet onbelangrijk om te vermelden dat de darmen via zenuwbanen (nervus vagus) en bloedvaten communiceren met de hersenen en omgekeerd: de zogenaamde darm-hersenas. Het microbioom kan op die manier mogelijk gedrag, hersenaandoeningen en motivatie (om te sporten) beïnvloeden.^[13,14]

EFFECTEN VAN SPORTEN OP HET DARMMICROBIOOM

Duurtraining met matige intensiteit vermindert ontstekingsreacties, verbetert de lichaams-samenstelling en leidt tot positieve effecten op de diversiteit van het darmmicrobioom. De meeste studies laten dan ook een positieve associatie zien tussen lichaamsbeweging met matige intensiteit en meer verschillende bacteriën in de darmen, het behoud van de integriteit van het darmslijmvlies, het verbeteren van de darmbarrière en een toename van de productie van korteketenvezuren.^[15]

Een systematische review uit 2022 heeft gekeken naar het effect van lichaamsbeweging op het darmmicrobioom.^[16] Daarin werd gevonden dat duurtraining een wisselend effect op het darmmicrobioom heeft (afbeelding 1). Met name wanneer de sportprestaties (intensiteit) toenemen en er sprake is van professioneel sporten, worden er vaker nadelige effecten gevonden. Van de zestien geïncludeerde studies vonden er negen ongunstige effecten, waaronder darmklachten, een toename van markers van darmschade en een verhoogde darmdoorlaatbaarheid, respectievelijk i-FABP (Intestinal Fatty Acid-Binding Protein, een specifiek eiwit in de epitheelcellen van de dunne en dikke darm dat fungeert als marker voor darmschade) en zonuline en waarschijnlijk een ongunstige verandering van het darmmicrobioom.

De overige zeven studies vonden positieve effecten, waaronder een toename van gunstige bacteriën als *Roseburia hominis*, *Bifidobacterium*-soorten, *Akkermansia muciniphila*, *Faecalibacterium prausnitzii* en *Coriobacteriaceae* en een toename van de bacteriële diversiteit in de darmen. Ook krachttraining liet gunstige effecten op het darmmicrobioom zien, maar in mindere mate dan duurtraining.^[5] De auteurs geven aan dat nog onduidelijk is welke mate van intensiteit tijdens het bewegen nodig is om het darmmicrobioom positief te beïnvloeden en wanneer het omslaat naar ongunstige effecten.

Langdurige inspanning kan soms ook een positief effect hebben op het darmmicrobioom.^[17] Bij een onderzoek tijdens de marathon van Boston werd de ontlasting van 15 marathonlopers voor en na de wedstrijd vergeleken met die van mensen die veel zitten. Er werd een toename gevonden van het geslacht *Veillonella*, een bacterie die lactaat omzet in de korteketenvezuren acetaat en propionaat. De hoeveelheid van deze bacterie was niet alleen na afloop hoger dan voor de wedstrijd, ook hadden de sporters er meer van dan de niet-sporters. In een vervolgonderzoek werd de bacteriestam *Veillonella atypica* uit de feces van een marathonloper geïsoleerd en in muizen gebracht.^[17] Uit dit tweede onderzoek bleek dat *Veillonella* een positief effect zou kunnen hebben op sportprestaties. Zo nam de tijd tot uitputting op een loopband bij de muizen met *Veillonella* met 13% toe

en ontstekingsbevorderende cytokines namen af vergeleken met controles.

Een tweede systematische review, uit 2023, keek ook naar het effect van lichaamsbeweging op het darmmicrobioom, en dan vooral het verschil daarin tussen gezonde mensen en mensen met uitlopende gezondheidsproblemen, waaronder obesitas, (pre)diabetes type 2, darmontstekingsziekten, coeliakie, niet-alcoholische leververvetting en multiple sclerose (MS).^[18] Het merendeel van de beweegprogramma's bestond uit duurtraining of een combinatie van duurtraining en krachttraining. De auteurs ontdekten dat lichaamsbeweging invloed had op het microbiom bij een matige tot hoge intensiteit gedurende 30-90 minuten, drie of meer keer per week (of 150-270 minuten per week) gedurende acht of meer weken. De diversiteit nam vaker toe bij een combinatie van duurtraining en krachttraining. In vier van de geïncludeerde studies is er gekeken naar *High Intensity interval Training* (HIIT). Dit is een trainingsvorm waarbij zeer intensieve inspanningen worden afgewisseld met rustmomenten. Een verandering in diversiteit werd hierbij niet gevonden. De veranderingen in het darmmicrobioom door lichaamsbeweging waren grotendeels vergelijkbaar tussen gezonde mensen en mensen met gezondheidsproblemen. Bij mensen met obesitas lijkt lichaamsbeweging minder gunstige effecten op het darmmicrobioom te hebben. Zo nam in één studie alleen bij mensen met een gezond gewicht de concentratie korteketenvezuren in de ontlasting toe na een duurtrainingsprogramma van zes weken, evenals de concentratie bacteriën die korteketenvezuren produceren (*Faecalibacterium* en *Lachnospira*-soorten).^[19]

Ook het effect van lichaamsbeweging op het darmmicrobioom van ouderen (>65 jaar) is onderzocht in een systematische review uit 2023.^[20] In de onderzoeken werd vooral gekeken naar ouderen die waren gestart met lichaamsbeweging. In bijna alle studies werd geen verandering gevonden in de diversiteit van het darmmicrobioom. Vrouwen die een beweegprogramma volgden van minstens vijf weken lieten wel een afname zien van ongunstige *Clostridium difficile* en gunstige *Clostridium subcluster XIVa* en een toename van de bacteriegroep *Bacteroides*, die veel pathogenen bevat.

HET DARMMICROBIOOM VAN SPORTERS

Sporters en actieve mensen (niet direct topsporters) lijken een grotere bacteriële diversiteit in de darmen te hebben dan niet-sporters, zoals meer van de gunstige bacteriesoort *A. muciniphila* en een verschuiving naar bacteriesoorten die betrokken zijn bij specifieke processen, zoals de productie van korteketenvezuren.^[15] Het cardiorespiratoire vermogen, (het vermogen van het hart, de longen

en de bloedvaten om tijdens langdurige fysieke inspanning zuurstofrijk bloed effectief aan de werkende spieren te leveren) gemeten met de $VO_2\max$, lijkt ook geassocieerd te zijn met een grotere bacteriële diversiteit in de darmen en meer korteketenvezuren.^[15] Anders is dat bij topsporters, waar vaker (maar niet altijd) een lagere bacteriële diversiteit en meer ontstekingsbevorderende bacteriën worden gevonden.^[16] Wat het effect van lichaamsbeweging op de langere termijn is (meer dan zes maanden), is momenteel nog onduidelijk.^[15]

Enige terughoudendheid is nodig omdat het meestal om minder sterk cross-sectioneel onderzoek gaat, waarbij gegevens op één moment in de tijd worden verzameld. Daarnaast eten serieus trainende sporters vaak anders (meer eiwit) en hebben ze een andere lichaamsamenstelling dan niet-sporters, waar meestal niet voor gecorrigeerd is in de onderzoeken.^[15]

MOGELIJKHEDEN PROBIOTICA

Probiotica zijn levende micro-organismen die een positief effect op de gezondheid hebben wanneer ze in voldoende hoeveelheden worden geconsumeerd. Ze grijpen in op het microbiom en kunnen zo ook allerlei processen in de darmen en de rest van het lichaam beïnvloeden. Afbeelding 2 laat de manieren zien waarop probiotica sporters zouden kunnen ondersteunen. Probiotica zouden sporters in theorie op verschillende manieren behulpzaam kunnen zijn. De belangrijkste mogelijkheden, waar ook het meeste onderzoek naar is gedaan, zijn:

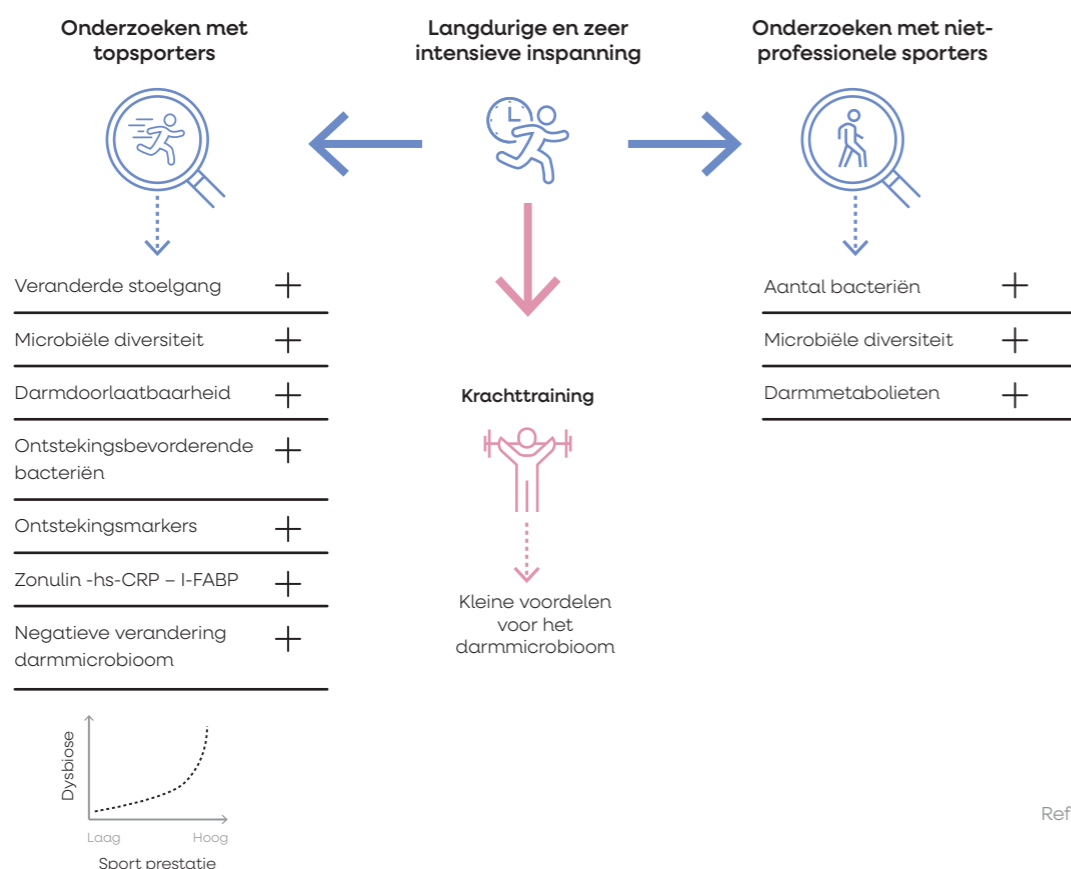
- het verminderen van maag-darmklachten;
- het verbeteren van de immunofunctie en verminderen van bovenste luchtweginfecties;
- het verbeteren van de sportprestaties.

Een beperking van het onderzoek naar probiotica is dat de heterogeniteit vaak hoog is: er is vaak een groot verschil onder de deelnemers wat betreft getraindheid, het soort lichaamsbeweging (vorm, duur, intensiteit), de uitkomstmaat van het onderzoek, de samenstelling, dosering en vorm (drank, yoghurt, capsule, poeder) van de gebruikte probiotica en de suppletieduur. Er is tegenwoordig een hoge mate van consensus dat bepaalde gezondheidsbevorderende eigenschappen van probiotica (zoals neurologische, immunologische en endocriene effecten en de productie van metaboliëten) grotendeels stamspecifiek zijn^[21], waardoor de selectie van de juiste bacteriestammen van belang is om te zien of een probioticum effectief is bij sporters.

EFFECT PROBIOTICA BIJ DUURSPORTEN Maag-darmklachten

In 2019 heeft de *International Society of Sports Nutrition* (ISSN) een standpunt gepubliceerd over probiotica voor sporters.^[22] Daarin werd aangegeven

Afb. 1. Interactie tussen de intensiteit en de duur van de inspanning met het darmmicrobioom^[16]



Ref: Clauss, 2021

dat een klein aantal studies gekeken heeft naar het effect van probiotica op maag-darmklachten en dat die wisselende resultaten laten zien met een behoorlijke heterogeniteit. Wel bleek de duur van maag-darmklachten af te nemen bij probioticagebruik. Twee systematische reviews uit 2022 vonden vergelijkbare, wisselende resultaten bij maag-darmklachten.^[20,21] De grote heterogeniteit, met name wat betreft gebruikt probioticum, studie-opzet en eigenschappen van de deelnemers, zou dit wisselende effect kunnen verklaren. Het effect van probiotica bij topsporters was volgens een van de reviews groter dan bij recreatieve sporters: 50% van de geïncludeerde onderzoeken vond een positief effect bij topsporters tegen 33% bij recreatieve sporters.^[21]

Immuunfunctie

Van probiotica is bekend dat zij het immuunsysteem kunnen ondersteunen. Dat lijkt ook het geval te zijn bij sporters. Dit geldt zowel voor topsporters als voor recreatieve sporters.^[21] Zo kunnen probiotica zorgen voor een daling van ontstekingsbevorderende stoffen als IL-6 en TNF- α .^[22] Een systematische review met meta-analyse uit 2022 concludeerde dat probiotica een stijging gaven van IFN- α en IgA en een daling van IL-10 en TNF- α .^[23] IFN- α (een cytokine) en IgA (een antistof) zijn onderdelen van het immuunsysteem die betrokken zijn bij de bestrijding van bacteriën en virussen. De daling van IL-10 was verrassend, omdat IL-10 ontstekingsremmende eigenschappen heeft. Dit komt volgens de auteurs mogelijk omdat IL-10 pas afgegeven wordt nadat

andere ontstekingsremmende stoffen toegevoegd zijn. Aangezien probiotica een ontstekingsremmend effect hebben, zou een stijging van IL-10 niet meer nodig zijn. Een effect op de ontstekingsmarkers IL-1 β , IL-2, IL-4, IL-6, IL-8, en CRP werd niet gevonden.

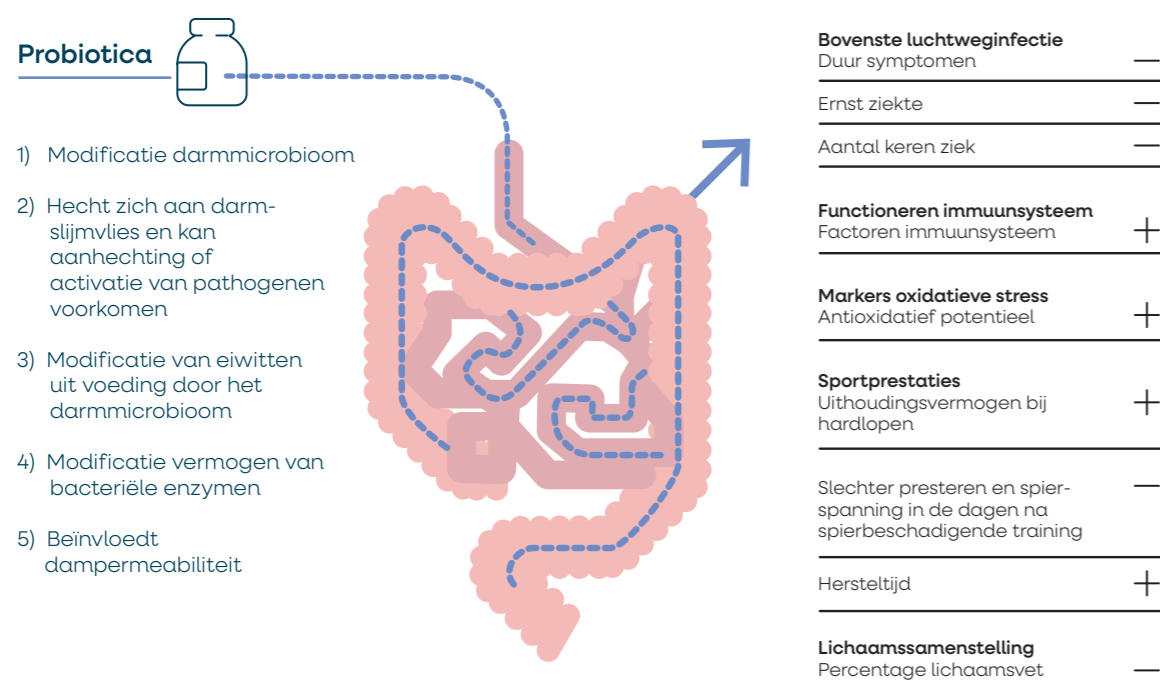
Bovenste luchtwegklachten

Verscheidene systematische reviews onderzochten ook het effect van probiotica op bovenste luchtweg-klachten bij sporters. Van de onderzoeken die meegenomen waren in een systematische review uit 2022 vond 50% een vermindering van bovenste luchtwegklachten bij zowel topsporters als recreatieve sporters (afbeelding 3).^[24] Vergelijkbare resultaten bij professionele sporters waren ook al gevonden in een systematische review met meta-analyse uit 2021.^[25] Volgens dit onderzoek verminderden probiotica bij hen de ernst van bovenste luchtwegklachten, met name bij topsporters.

Duurprestaties

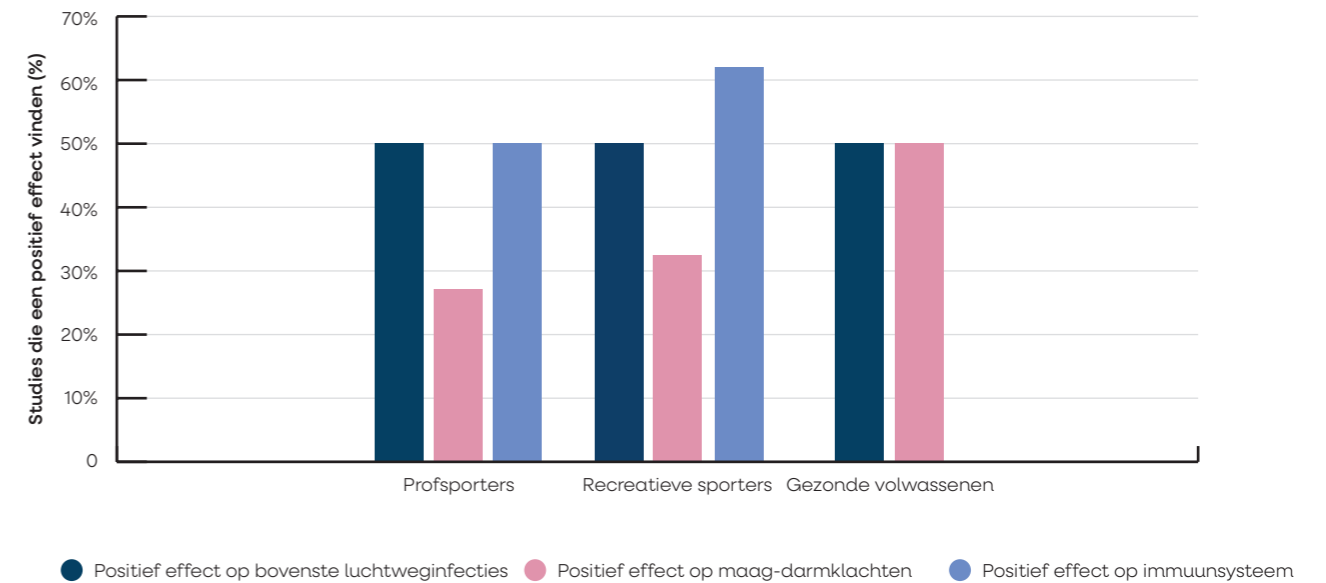
Probiotica lijken een positief effect te kunnen hebben op duurprestaties bij sporters. De laatste jaren zijn er veel onderzoeken, met name systematische reviews, verschenen die dit effect onder de loep hebben genomen, zowel bij amateursporters als bij topsporters. Probiotica lijken veelbelovend voor het verbeteren van de sportprestaties van atleten door middel van het reguleren van het immuunsysteem, herstel van spieren, positieve beïnvloeding van het energiemetabolisme en de darmbarrièrefunctie

Afb. 2. Manieren waarop probiotica sporters zouden kunnen ondersteunen^[11]



Ref: Bonomini-Gnutzmann, 2022

Afb. 3. Percentage studies dat gunstige effecten vindt van probiotica op bovenste luchtweginfecties, maag-darmklachten en het immuunsysteem



Ref: Heimer, 2022

en vermindering van stress. Dit kan bijdragen aan het behoud van de darmgezondheid, een goede werking van het immuunsysteem en het herstel na het sporten, maar ook het mentale welzijn van de sporter. Gelet op de heterogeniteit in onder andere de soort duurtraining, de individuele atleten, de onderzochte probiotica, de dosering en de suppletieduur, is een gepersonaliseerde aanpak die rekening houdt met individuele behoefte sterk aan te bevelen.^[26-41]

Darmbarrièrefunctie

Er zijn aanwijzingen dat probiotica de darmbarrièrefunctie bij sporters kunnen verbeteren. Zo keek een systematische review uit 2022 naar het effect van voedingssupplementen op markers van darmschade en darmdoorlaatbaarheid na sportinspanning.^[42] Twee van de vier onderzoeken naar probiotica die hierin zijn meegenomen lieten een vermindering van darmschade (i-FABP) en de darm-doorlaatbaarheid (suikerabsorptietest) zien. Een tweede systematische review met meta-analyse uit 2023 onderzocht het effect van probiotica op de darmbarrièrefunctie bij verschillende bevolkingsgroepen.^[43] Hierin werden drie studies met (mannelijke) sporters meegenomen.^[44-46] Eén studie met duursporters laat zien dat een multi-species probioticum (Ecologic® Performance) de darmbarrièrefunctie verbeterde, gemeten met zonuline-niveaus in de ontlasting.^[46] De twee andere studies, waarin de sporters een ander probioticum kregen, laten geen effect van dat probioticum op de darmbarrièrefunctie zien (op basis van serum zonuline, suikerabsorptietest, claudine-3, sacharoseuitscheiding).^[44-45]

EFFECT PROBIOTICA BIJ KRACHTSPORT

Naast onderzoek naar het effect van probiotica bij duur-sporters zijn er ook enkele onderzoeken gedaan naar het effect van probiotica bij krachtsport.

Krachtsportprestaties

Een relatief klein aantal studies heeft gekeken naar het effect van probiotica op krachtsportprestaties. Een systematische review uit 2023 vond wisselende resultaten op krachtsportprestaties: van de vijf geïncludeerde studies vonden er drie een toename van kracht en twee niet.^[28]

Spierschade en herstel

Het effect van probiotica op spierschade en herstel na een intensieve krachtingspanning is eveneens onderzocht.^[22,35] In het standpunt van het ISSN wordt aangegeven dat probiotica (in combinatie met eiwit) spierherstel na krachtraining kan versnellen en spierpijn en markers voor spierschade kan verminderen. Wanneer probiotica niet gecombineerd wordt met eiwit-suppletie wordt er echter geen eenduidig effect op spierschade en herstel (spierpijn, IL-6, creatinekinase (CK, een marker voor metabole stress, weefselschade en ontsteking in het spijsverteringsstelsel) gevonden vergeleken met placebo.^[22] Volgens een ander onderzoek gaven de deelnemers in de probioticagroep aan beter te herstellen na 24 en 72 uur dan de deelnemers in de placebogroep.^[47] Een significant effect op spierschade werd niet gevonden, maar er was een trend voor een lagere hoeveelheid creatinekinase. Beide groepen kregen hierbij overigens ook een eiwit-supplement (20 gram caseïne/dag).

REFERENTIES

- de Oliveira EP, Burini RC, Jeukendrup A. Gastrointestinal complaints during exercise: prevalence, etiology, and nutritional recommendations. *Sports Med Auckl NZ* 2014; 44 Suppl 1: S79-85.
- Cicchella A, Stefanelli C, Massaro M. Upper Respiratory Tract Infections in Sport and the Immune System Response. *A Review. Biology* 2021; 10: 362.
- Costa RJS, Snipe RMJ, Kitic CM, Gibson PR. Systematic review: exercise-induced gastrointestinal syndrome-implications for health and intestinal disease. *Aliment Pharmacol Ther* 2017; 46: 246-65.
- Clark A, Mach N. Exercise-induced stress behavior, gut-microbiota-brain axis and diet: a systematic review for athletes. *J Int Soc Sports Nutr* 2016; 13: 43.
- West NP, Pyne DB, Peake JM, Cripps AW. Probiotics, immunity and exercise: a review. *Exerc Immunol Rev* 2009; 15: 107-26.
- Mackinnon LT. Chronic exercise training effects on immune function. *Med Sci Sports Exerc* 2000; 32: S369-376.
- Colbey C, Cox AJ, Pyne DB, Zhang P, Cripps AW, West NP. Upper Respiratory Symptoms, Gut Health and Mucosal Immunity in Athletes. *Sports Med Auckl NZ* 2018; 48: 65-77.
- Nieman DC. Current perspective on exercise immunology. *Curr Sports Med Rep* 2003; 2: 239-42.
- Assimakopoulos SF, Triantos C, Maroulis I, Gogos C. The Role of the Gut Barrier Function in Health and Disease. *Gastroenterol Res* 2018; 11: 261-3.
- Sturgeon C, Fasano A. Zonulin, a regulator of epithelial and endothelial barrier functions, and its involvement in chronic inflammatory diseases. *Tissue Barriers* 2016; 4: e1251384.
- Ribeiro FM, Petriz B, Marques G, Kamilla LH, Franco OL. Is There an Exercise-Intensity Threshold Capable of Avoiding the Leaky Gut? *Front Nutr* 2021; 8: 627289.
- Kawamura T, Muraoka I. Exercise-Induced Oxidative Stress and the Effects of Antioxidant Intake from a Physiological Viewpoint. *Antioxidants* 2018; 7: 119.
- Dohnalová L, Lundgren P, Carty JRE, et al. A microbiome-dependent gut-brain pathway regulates motivation for exercise. *Nature* 2022; 612: 739-47.
- Morais LH, Schreiber HL, Mazmanian SK. The gut microbiota-brain axis in behaviour and brain disorders. *Nat Rev Microbiol* 2021; 19: 241-55.
- Mohr AE, Jäger R, Carpenter KC, et al. The athletic gut microbiota. *J Int Soc Sports Nutr* 2020; 17: 24.
- Bonomini-Gnutzmann R, Plaza-Díaz J, Jorquera-Aguilera C, Rodríguez-Rodríguez A, Rodríguez-Rodríguez F. Effect of Intensity and Duration of Exercise on Gut Microbiota in Humans: A Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health* 2022; 19: 9518.
- Scheiman J, Lubner JM, Chavkin TA, et al. Meta-omics analysis of elite athletes identifies a performance-enhancing microbe that functions via lactate metabolism. *Nat Med* 2019; 25: 1104-9.
- Boytar AN, Skinner TL, Wallen RE, Jenkins DG, Dekker Nitert M. The Effect of Exercise Prescription on the Human Gut Microbiota and Comparison between Clinical and Apparently Healthy Populations: A Systematic Review. *Nutrients* 2023; 15: 1534.
- Allen JM, Mailing LJ, Niemi GM, et al. Exercise Alters Gut Microbiota Composition and Function in Lean and Obese Humans. *Med Sci Sports Exerc* 2018; 50: 747-57.
- Aya V, Jimenez P, Muñoz E, Ramírez JD. Effects of exercise and physical activity on gut microbiota composition and function in older adults: a systematic review. *BMC Geriatr* 2023; 23: 364.
- Clauss M, Gérard P, Mosca A, Leclerc M. Interplay Between Exercise and Gut Microbiome in the Context of Human Health and Performance. *Front Nutr* 2021; 8: 637010.
- Jäger R, Purpura M, Stone JD, et al. Probiotic *Streptococcus thermophilus* FP4 and *Bifidobacterium breve* BR03 Supplementation Attenuates Performance and Range-of-Motion Decrements Following Muscle Damaging Exercise. *Nutrients* 2016; 8: 642.
- Guo Y-T, Peng Y-C, Yen H-Y, Wu J-C, Hou W-H. Effects of Probiotic Supplementation on Immune and Inflammatory Markers in Athletes: A Meta-Analysis of Randomized Clinical Trials. *Med Kaunas Lith* 2022; 58: 1188.
- Heimer M, Teschler M, Schmitz B, Mooren FC. Health Benefits of Probiotics in Sport and Exercise - Non-existent or a Matter of Heterogeneity? A Systematic Review. *Front Nutr* 2022; 9: 804046.
- Łagowska K, Bajerska J. Probiotic Supplementation and Respiratory Infection and Immune Function in Athletes: Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *J Athl Train* 2021; 56: 1213-23.
- Santibañez-Gutierrez A, Fernández-Landa J, Calleja-González J, Deletrat A, Mielgo-Ayuso J. Effects of Probiotic Supplementation on Exercise with Predominance of Aerobic Metabolism in Trained Population: A Systematic Review, Meta-Analysis and Meta-Regression. *Nutrients* 2022; 14: 622.
- Díaz-Jiménez J, Sánchez-Sánchez E, Ordoñez FJ, et al. Impact of Probiotics on the Performance of Endurance Athletes: A Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health* 2021; 18: 11576.
- de Paiva AKF, de Oliveira EP, Mancini L, Paoli A, Mota JF. Effects of probiotic supplementation on performance of resistance and aerobic exercises: a systematic review. *Nutr Rev* 2023; 81: 153-67.
- Di Dio M, Calella P, Pelullo CP, et al. Effects of Probiotic Supplementation on Sports Performance and Performance-Related Features in Athletes: A Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health* 2023; 20: 2226.
- Aykut MN, Erdoğan EN, Çelik MN, Gürbüz M. An Updated View of the Effect of Probiotic Supplement on Sports Performance: A Detailed Review. *Curr Nutr Rep*. 2024 Jun;13(2):251-263.
- Wang L, Meng FJ, Jin YH, Wu LQ, Tang RY, Xu KH, Guo Y, Mao JJ, Ding JP, Li J. Effects of probiotic supplementation on 12 min run performance, mood management, body composition and gut microbiota in amateur marathon runners: A double-blind controlled trial. *J Exerc Sci Fit*. 2024 Oct;22(4):297-304.
- Yang K, Chen Y, Wang M, Zhang Y, Yuan Y, Hou H, Mao YH. The Improvement and Related Mechanism of Microecologies on the Sports Performance and Post-Exercise Recovery of Athletes: A Narrative Review. *Nutrients*. 2024 May 24;16(11):1602.
- Kearns RP, Dooley JSG, Matthews M, McNeilly AM. "Do probiotics mitigate GI-induced inflammation and perceived fatigue in athletes? A systematic review". *J Int Soc Sports Nutr*. 2024 Dec;21(1):2388085.
- Nami Y, Barghi A, Shahgolzari M, Salehian M, Haghshenas B. Mechanism of Action and Beneficial Effects of Probiotics in Amateur and Professional Athletes. *Food Sci Nutr*. 2024 Dec 12;13(1):e4658.
- Jarrett H, Medlin S, Morehen JC. The Role of the Gut Microbiome and Probiotics in Sports Performance: A Narrative Review Update. *Nutrients*. 2025 Feb 14;17(4):690.
- Aparicio-Pascual D, Clemente-Suárez VJ, Tornero-Aguilera JF, Rubio-Zarapuz A. The Effect of Probiotic Supplementation on Cytokine Modulation in Athletes After a Bout of Exercise: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med Open*. 2025 May 22;11(1):58.
- Teglas T, Radak Z. Probiotic supplementation for optimizing athletic performance: current evidence and future perspectives for microbiome-based strategies. *Front Nutr*. 2025 Jul 15;12:1572687.
- Humińska-Lisowska K, Łabaj PP, Zielińska K. Unique Athletic Gut Microbiomes and Their Role in Sports Performance: A Narrative Review. *J Hum Kinet*. 2025 Oct 1;99:79-97.
- Charitos IA, Colella M, Carretta DM, Santacroce L. Probiotics, gut microbiota and physical activity: A close relationship. *Sports Med Health Sci*. 2025 Apr 11;8(1):43-49.
- Zhao Z, Zhao S, Li W, Lai Z, Zhou Y, Guan F, Liang X, Zhang J, Wang L. Gut Microbiota and Exercise-Induced Fatigue: A Narrative Review of Mechanisms, Nutritional Interventions, and Future Directions. *Nutrients*. 2026 Feb 2;18(3):502.
- Zhang X, Chang Z, Zhao S, Wu X, Wang X, Ai G, Ning Z. Effect of probiotic intake on athletic ability in healthy people: a systematic review and Bayesian meta-analysis. *Front Nutr*. 2026 Jan 30;13:1731627.
- Chantler S, Griffiths A, Matu J, Davison G, Holliday A, Jones B. A systematic review: Role of dietary supplements on markers of exercise-associated gut damage and permeability. *PLoS One* 2022; 17: e0266379.
- Zheng Y, Zhang Z, Tang P, et al. Probiotics fortify intestinal barrier function: a systematic review and meta-analysis of randomized trials. *Front Immunol* 2023; 14: 1143548.
- Townsend JR, Bender D, Vantrease WC, et al. Effects of Probiotic (*Bacillus subtilis* DE111) Supplementation on Immune Function, Hormonal Status, and Physical Performance in Division I Baseball Players. *Sports Basel Switz* 2018; 6: 70.
- Shing CM, Peake JM, Lim CL, et al. Effects of probiotics supplementation on gastrointestinal permeability, inflammation and exercise performance in the heat. *Eur J Appl Physiol* 2014; 114: 93-103.
- Lamprecht M, Bogner S, Schippinger G, et al. Probiotic supplementation affects markers of intestinal barrier, oxidation, and inflammation in trained men; a randomized, double-blinded, placebo-controlled trial. *J Int Soc Sports Nutr* 2012; 9: 45.
- Jäger R, Shields KA, Lowery RP, et al. Probiotic *Bacillus coagulans* GBI-30, 6086 reduces exercise-induced muscle damage and increases recovery. *PeerJ* 2016; 4: e2276.
- Strasser B, Geiger D, Schauer M, et al. Probiotic Supplements Beneficially Affect Tryptophan-Kynurenine Metabolism and Reduce the Incidence of Upper Respiratory Tract Infections in Trained Athletes: A Randomized, Double-Blinded, Placebo-Controlled Trial. *Nutrients* 2016; 8: 752.
- Mohr AE, Pyne DB, Leite GSF, Akins D, Pugh J. A systematic scoping review of study methodology for randomized controlled trials investigating probiotics in athletic and physically active populations. *J Sport Health Sci* 2022; : S2095-2546(22)00126-0.

Deze wetenschappelijke brochure informeert gezondheidsprofessionals over onderzoeken en inzichten met betrekking tot de rol van het microbioom en probiotica bij (top)sport.



tt. Vasumweg 221
1033 SJ Amsterdam
Nederland

020 435 02 35
www.winandweetmeer.nl
service@winandweetmeer.nl