
De fysiologische basis van inspanning

Vaak wordt gedacht dat wanneer iemand maar hard en lang genoeg traint het meedoen aan Olympische spelen mogelijk is, maar is dat ook zo? Waardoor wordt het fysieke prestatievermogen bepaald, wat is de rol van de verschillende orgaan-systemen en de erfelijke aanleg? Wat kan training bijdragen aan het verhogen van prestaties?

DOOR PROF. DR. HARM KUIPERS

Om een sportprestatie te kunnen leveren, moet een sporter een aantal specifieke fysieke eigenschappen bezitten en superfit zijn. Zo heeft een kogelstoter niet alleen kracht en snelheid nodig, maar er is ook een hoge mate van coördinatie (techniek) vereist. Bij een wielrenner, schaatser of lange afstandsloper zal het accent minder op kracht en snelheid liggen, maar is juist het uithoudingsvermogen van doorslaggevend belang. Het is belangrijk te weten dat ongeveer 70% van iemands basiskracht, basissnelheid of basisuithoudingsvermogen, genetisch wordt bepaald. Door optimaal trainen kan er ongeveer 30% verbetering worden bereikt vanuit een ongetrainde situatie. Het beginniveau wordt vooral door genetische aanleg bepaald en dat is bepalend voor het uiteindelijke niveau dat iemand door training kan bereiken. In de topsport bepalen verschillen in prestatie van minder dan één procent, of iemand wint of verliest. Omdat alle topers

lichamelijk gezien vrijwel gelijkwaardig zijn worden de kleine verschillen die bepalen over winnen of verliezen vooral door mentale factoren bepaald. Factoren als motivatie, stressbestendigheid, mentale stabiliteit en het kunnen verdragen van pijn tijdens maximale inspanning bepalen of iemand net een banddikte voor zijn tegenstander kan blijven of niet.

Optimaal functioneren orgaansystemen

Voor een topprestatie in de sport is een optimaal functioneren van verschillende orgaansystemen een absolute vereiste en een iets zwakkere schakel leidt onmiddellijk tot minder presteren. Uiteindelijk zijn het echter de spieren die voor de prestatie moeten zorgen en alle andere orgaansystemen staan tijdens inspanning min of meer in dienst van de skeletspier. Voor de opname en transport van zuurstof (O₂) en kooldioxide (CO₂) spelen de longen en het hartvaatstelsel een belangrijke rol. Het hormonale systeem en het autonome zenuwstelsel dragen bij aan het beschikbaar stellen van brandstoffen voor de energiestofwisseling en



Harm Kuipers (1947) studeerde geneeskunde in Groningen (1970-1976). Tijdens de studietijd was hij lid van de Nederlandse schaatskernploeg en behaalde verschillende successen, met als hoogtepunt wereldkampioen in 1975.

*Na zijn artsexamen werd hij wetenschappelijk medewerker op de afdeling fysiologie van de universiteit Maastricht. Na zijn promotie in 1983 werkte hij een jaar lang als post-doc in het Human Performance lab van Ball State university in Indiana, VS. Hij werd in 1992 aan de Rijksuniversiteit Maastricht benoemd tot hoogleraar bewegingswetenschappen. Hij was tien jaar lang hoofdredacteur van het tijdschrift International Journal of Sports Medicine. Zijn onderzoeksactiviteiten betreffen energiestofwisseling in rust en tijdens fysieke inspanning, voeding en de invloed van farmaca op fysiek prestatievermogen. Hij is vanaf 2000 lid van de medische commissie van de Internationale Schaatsunie (ISU) en intensief betrokken bij zowel de regelgeving als uitvoering van de strijd tegen doping in de sport.
e-mail: harm.kuipers@bw.unimaas.nl.*

voor het maximaal stimuleren van de energieleverantie. Overtollige warmte wordt afgegeven via de huid, die koel gehouden wordt door verdamping van zweet. Een optimale coördinatie tussen al deze orgaansystemen is essentieel en dit is vooral de taak van het zenuwstelsel. Ieder lichamenlijk ongemak, ziekte of niet optimaal functioneren van een orgaan kan het prestatievermogen aantasten, zodat topklasseringen onmogelijk worden. Voor een patiënt met een chronische aandoening van bepaalde orgaansystemen is dan een dagelijkse activiteit al snel vergelijkbaar met een top(sport)prestatie.

Het hartvaatstelsel en de longen

Naarmate de spieren meer zuurstof krijgen aangeboden kunnen ze meer energie per tijdseenheid leveren en des te intensiever kan de inspanning zijn. Het hartvaatstelsel speelt een centrale rol bij het transport van zuurstof (O₂) en kooldioxide (CO₂). Door de aanwezigheid van hemoglobine in de rode bloedcellen kan elke liter bloed ongeveer 200 ml zuurstof vervoeren.

De rode bloedcellen vervoeren echter niet alleen zuurstof naar de weefsels, maar ze vervullen ook een belangrijke rol bij het transport van kooldioxide (CO₂). Het bloed dient voorts voor afvoer en verwerking van stofwisselingsproducten als melkzuur en overtollige warmte.

In rust klopt het menselijke hart 40-80 keer per minuut en pompt totaal ongeveer 5 liter bloed per minuut uit. Bij inspanning loopt het aantal hartslagen op tot 180-200 per minuut en per slag wordt dan ongeveer 100-150 ml bloed uitgepompt (in rust plm. 65 ml per slag). Bij maximale inspanning kan een normaal gezond hart ongeveer 25 liter per minuut uitpompen. Dat betekent dat het bloedvolume vijf keer per minuut door het lichaam circuleert. Top duursporters onderscheiden zich door een vergroot hart met een vergroot slagvolume zodat wel 35-40 liter per minuut kan worden uitgepompt. Dit betekent ook dat meer zuurstof kan worden getransporteerd, zodat de energiestroom in de spieren groter is waardoor intensievere inspanning kan worden geleverd.

De zuurstof die via het bloed moet worden vervoerd, is afkomstig uit de buitenlucht en wordt door de longen aan het bloed overgedragen. Bij een gezond iemand met normale longfunctie is de ademhaling niet de beperkende factor voor sportprestaties. Dat wordt echter anders bij iemand met astma, COPD of een interstitiële longaandoening.

De spieren

Het zijn uiteindelijk de spieren die fysieke inspanning moeten leveren. Een spier bestaat uit spiervezels en een spiervezel kan een lengte hebben variërend van enkele millimeters tot enkele centimeters.

De snelheid van samentrekken is niet bij alle spiervezels gelijk. De contractiele eiwitten actine en myosine kunnen kleine structurele verschillen hebben, die zich weerspiegelen in de snelheid van samentrekken en ook in de vermoeibaarheid. In principe kunnen twee soorten spiervezels worden onderscheiden: snelle en langzame spiervezels (fast twitch en slow twitch). Gewoonlijk zijn snelle spiervezels krachtiger, maar snel vermoeid omdat ze weinig mitochondriën bevatten. Langzame spiervezels zijn minder krachtig, maar ook minder snel vermoeid, omdat ze juist veel mitochondriën bevatten.

Spieren bestaan gewoonlijk uit een mix van beide types spiervezels en de verhouding tussen snelle en langzame spiervezels kan verschillen. Sprinters en krachtsporters hebben overwegend snelle spiervezels en duursporters hebben verhoudingsgewijs meer langzame spiervezels in hun spieren. Spieren worden door training sterker en kunnen het aantal mitochondriën verhogen, waardoor de vermoeibaarheid afneemt en het uithoudingsvermogen toeneemt. Deze aanpassing kent echter grenzen en is voor het grootste deel genetisch bepaald. Ook de verhouding tussen snelle en langzame spiervezeltypes ligt genetisch vast en is niet echt te veranderen. Dat betekent dat in de wieg al vast-

ligt of iemand aanleg heeft voor krachtsporten of duursporten.

Spieren moeten onderhouden worden en dat kan alleen maar door ze te gebruiken. Verminderd gebruik door bijvoorbeeld immobiliteit of ziekten die met ontstekingen gepaard gaan, leiden vaak tot verlies van spiermassa en dat geeft dan weer minder kracht, functionaliteit en snellere vermoeidheid. Op zijn beurt leidt dat tot het juist vermijden van inspanning en dan kan er gemakkelijk een neerwaartse spiraal ontstaan. Dus wanneer beweging en inspanning mogelijk is, moet dat ook benut worden! Rust roest hier echt.



Figuur 1. Inspanningstest uitgevoerd op het laboratorium van de afdeling bewegingswetenschappen van de Universiteit Maastricht.

Meten van het prestatievermogen

De functionele capaciteit van sporters, maar ook van patiënten, is te meten onder gestandaardiseerde omstandigheden met behulp van een ergometer. Daartoe worden mensen vaak op een fietsergometer of lopende band getest, waarbij de belasting elke paar minuten wordt opgevoerd tot de persoon niet verder kan. Een gemiddelde gezonde, fitte man van in de twintig zal een maximale belasting op de fietsergometer kunnen halen tussen de 200 en 275 watt. Een topwielrenner of schaatser zal bij dezelfde test tussen de 450 en 550 watt halen. Bij patiënten met verschillende aandoeningen worden regelmatig maximale belastingen gevonden van 50-100 watt.

Het bereikte maximale vermogen is goed te vertalen in dagelijkse dingen. Zo vraagt wandelen bij een snelheid van ongeveer 6 km/uur ongeveer 100 watt. Voor iemand die maar maximaal 100 watt op een fietsergometer kan halen betekent gewoon wandelen al een maximale prestatie is (100% van het maximum) en een dergelijke belasting is slechts kort vol te houden. Voor iemand die 200 watt kan halen, betekent wandelen bij die snelheid dan een inspanning op slechts 50% van zijn/haar maximum en dat is langere tijd vol te houden. Een maximale belasting van 200 watt komt overeen met ongeveer 11 km/uur hardlopen. Voor iemand die 250 watt kan halen, betekent die 11 km/uur hardlopen ongeveer 80% van zijn/haar maximum en dat moet langere tijd zijn vol te houden. Door het meten van het maximaal bereikbare vermogen bij zowel sporters als patiënten kan een goede indruk worden verkregen over hun functionele capaciteit en het fysieke prestatievermogen. Het is voor de dagelijkse praktijk aan te bevelen om iedere patiënt met vermoeidheidsklachten of verminderd gepercipieerd prestatievermogen aan een objectieve belastingstest te onderwerpen.

Zijn topsporters beter geworden in de loop van de tijd, speelt doping daarbij een rol?

Sportprestaties worden voortdurend verbeterd en men kan zich afvragen of de mens steeds beter is geworden? Uit metingen in laboratoria blijkt dit niet het geval te zijn.

Het blijkt dat de VO_2 max (hoogste hoeveelheid zuurstof die tijdens maximale inspanning kan worden opgenomen; zie figuur 1) of het maximale vermogen van atleten door de jaren heen niet is toegenomen. De prestatieverbetering kan voor het grootste deel worden verklaard door beter materiaal, betere omstandigheden, betere trainingsfaciliteiten en verfijning van de techniek. Dat betekent dat de mens als motor niet beter is geworden, maar dat men door gebruikmaking van aërodynamica, beter materiaal en betere voeding in staat is om met dezelfde energie meer snelheid te ontwikkelen en ook om dit langer vol te kunnen houden.

Sporters moeten heel veel trainen om optimaal te kunnen presteren. Wanneer de prestaties tegenvallen, of wanneer er te weinig progressie is, wordt soms de toevlucht naar prestatiebevorderende middelen gezocht, en dat wordt dan doping genoemd.

De meeste recente dopingaffaires betreffen vooral androgene anabole steroïden en EPO (erythropoietine). Androgene anabole steroïden zijn afgeleid van het mannelijk geslachtshormoon testosteron en ze werken weefselopbouwend (anabool) en spierversterkend. In het algemeen geldt dat anabole steroïden bij vrouwen prestatiebevorderend zijn in alle takken van sport. In de voormalige DDR kregen de vrouwelijke sporters vrijwel zonder uitzondering androgene anabole steroïden toegediend en deze handelwijze vormde een belangrijke basis voor de dominante prestaties van de voormalige DDR atletes.

Bij mannen ligt het geavanceerder en zijn anabole

steroiden vooral effectief bij krachtsporten en kortdurende prestaties, zoals de 100 meter sprint. Bij duursporten is een positief effect op de prestaties niet duidelijk. Gebruik van deze middelen is wel potentieel schadelijk voor de gezondheid.

De andere stof die momenteel in de topsport veel toegepast wordt, is EPO. EPO bevordert in het beenmerg de aanmaak van rode bloedcellen. Wanneer exogeen EPO wordt toegediend, leidt dit tot een toegenomen rode bloedcelproductie en een hogere maximale zuurstofopname. Het gebruik van EPO is echter potentieel gevaarlijk vanwege een verhoogde kans op trombose. Dit is vooral het geval bij hematocrietwaarden boven de 50%.

De effecten van doping op de sportprestaties zijn aanwezig maar wel beperkt. Gewoonlijk zijn de verwachtingen aanzienlijk hoger dan de werkelijke effecten. Zo kan EPO gebruik prestaties die tussen de 3 en 15 minuten duren enkele procenten verbeteren. Een dergelijk klein verschil kan in de topsport echter wel beslissend zijn voor winnen of verliezen, aangezien het hier vaak om honderdsten van seconden gaat.

Van sommige veelgebruikte dopingstoffen als groeihormoon en cortisonen is bij wetenschappelijk onderzoek geen positief effect op de sportprestatie gevonden. Dit wordt ook geïllustreerd bij patiënten die corticosteroiden gebruiken, waarbij spiermassa verloren kan gaan en de spieren alleen maar zwakker worden. Tevens kan het een corticoïd geïnduceerde myopathie veroorzaken.

Voeding en sport

Hoewel er de laatste decennia grote wetenschappelijke vorderingen op het gebied van de voedingsfysiologie zijn gemaakt, blijkt deze kennis slechts in geringe mate tot de sportwereld te zijn doorgedrongen. Ofschoon bij wetenschappelijk onderzoek werd vastgesteld dat de meeste producten geen positieve invloed op het

prestatievermogen hebben, zijn allerlei voedingspreparaten en supplementen zeer populair bij sporters. In het algemeen kan gesteld worden dat een normale voeding, samengesteld volgens thans geldende normen voor gezonde voeding, de behoefte aan calorieën en nutriënten ruimschoots dekt en dat sporters geen speciale diëten nodig hebben. Een atleet kan zich niet in vorm eten en kan dat alleen door gedoseerde training bereiken.

Er zijn echter situaties waarbij speciale voedingsproducten als aanvulling op het normale menu zinvol kunnen zijn. Dit is o.a. het geval bij urenlange inspanningen zoals bij een marathon, triatlon of wielrennen. Bij lichamelijke inspanning wordt de benodigde energie in hoofdzaak geleverd door koolhydraten en vetten. De koolhydraatvoorraad (glycogeen) is echter beperkt en bij zware inspanning is de voorraad na ongeveer anderhalf tot twee uur uitgeput. Dat betekent dat bij langer durende inspanning extra koolhydraten moeten worden toegevoerd, omdat anders een te lage bloedsuikerspiegel (hypoglycemie) en prestatieverlies optreden. Om het maag-darmkanaal zo weinig mogelijk te belasten worden in plaats van vast voedsel, vloeibare koolhydraten gebruikt. Als koolhydraatbron wordt vooral gebruik gemaakt van glucose polymeren. De hoge gemiddelde snelheid bij wedstrijden als een tour de France is vooral het gevolg van het gebruik van vloeibare voeding, omdat de snelle energietoevoer een langdurige hoge arbeidsintensiteit mogelijk maakt. Een bijkomend voordeel van de vloeibare vorm is dat daarmee ook een belangrijk deel van het vochtverlies kan worden gecompenseerd.

Een andere toepassing van vloeibare sportvoeding is aanvulling op de normale voeding wanneer er een zeer hoog caloriegebruik wordt vereist. Dit is o.a. het geval bij herhaalde, langdurige zware inspanningen, zoals een etappewedstrijd bij wielrennen of bergbeklimmen. Het rijden van een tour de France vraagt ca. 21-34 MJ

Voor de praktijk: om te onthouden

Ofschoon training het prestatievermogen zo'n 25-30% kan verbeteren, wordt het uiteindelijk bereikte prestatieniveau vooral door erfelijke aanleg bepaald. Meedoen aan topsport op Olympisch niveau is daarom slechts voor een enkeling weggelegd. Het belangrijkste bij sport is en blijft plezier en dat geldt zowel voor de recreant als de topsporter. Een belangrijke factor voor het optimaal ontwikkelen van prestatievermogen is de intensiteit. Des te dichter de inspanning bij het maximaal haalbare ligt, des te sterker de trainingseffecten. Omdat dergelijke inspanning veel motivatie en doorzettingsvermogen vereist en voor velen daarom op de langere termijn niet echt haalbaar is, wordt voor recreatieve sporters aangeraden om de intensiteit weliswaar te laten variëren, maar niet per se maximale inspanningen na te streven. Dit geldt in principe ook voor patiënten, waarbij men vooral naar het haalbare en minder naar het optimale moet streven. Zowel voor de topsporter als recreatieve sporter geldt dat ook met de gewone voeding topprestaties kunnen worden geleverd. Alleen in bepaalde situaties waarbij zware inspanning langer dan een uur moet worden gedaan, kan vloeibare voeding zijn nut hebben. Prestatiebevorderende middelen (doping) hebben in de meeste gevallen slechts beperkte invloed op sportprestaties en kunnen nooit compenseren voor te weinig talent of te weinig training. De stormachtige ontwikkeling van de records gedurende de laatste decennia is vooral het gevolg van beter materiaal en toepassing van moderne technologie.

(5000 tot 8000 kcal) per dag. Wanneer de benodigde energie uitsluitend via vaste voeding zou moeten worden verkregen zou dit een te grote belasting en vulling van het maag-darmkanaal betekenen. Bovendien is de eetlust tot enkele uren na zware lichamelijke inspanning vaak verminderd. In die situaties kunnen vloeibare koolhydraten als aanvulling op of als gedeeltelijke vervanging van het normale menu worden gebruikt, waardoor de energiebalans in evenwicht blijft.

Referenties

1. Kuipers H, Hartgens F. Misbruik van geneesmiddelen in de sport. *Ned Tijdschr Gen* 1997; 141: 1965-8.
2. McArdle WD, et al. *Exercise physiology; Energy, nutrition and human performance*. 4th edition. Lea & Febiger, Philadelphia, 1996.
3. Wilmore JH, Costill DL. *Physiology of sport and exercise*. Human Kinetics, Leeds. 1994.
4. Brouns F (ed). *Nutritional needs of athletes*. New York: John Wiley & Sons, 1993.