

Versterking van de buikspieren vraagt om voorzieningen die veelzijdige training mogelijk maken, zoals in schuine verstelbare bankjes, handhalters en medizinelballen (voor snelle slagbelasting).

Voor concentrisch werkende spiergroepen volstaat voor midden- en lange-afstandlopers het trainen van de maximaalkracht. Voor de m. gluteus maximus en m. iliopsoas bijvoorbeeld met behulp van de Snelltrainer.

Literatuur

1. Bobbert, M.F., Yeadon, M.R. & Nigg, B.M. (1992). Mechanical analysis of the landing phase in heel-toe running. *Journal of Biomechanics*, 25, 223-234.
2. Chapman, A.E. & Caldwell, G.E. (1983). Kinetic limitations of maximal sprinting speed. *Journal of Biomechanics*, 16 (1), 79-83.
3. McNeill Alexander, R. (1987). The spring in your step. *New Scientist*, 42-44.
4. Ingen Schenau, G.J. van, Dorssers, W.M.M., Welter, T.G., Beelen, A., Groot, G. de & Jacobs, R. (1995). The control of mono-articular muscles in multijoint leg extensions in man. *Journal of Physiology*, 484 (1), 247-254.
5. Gegevens Novacheck, 1995.
6. Bhowmick, S. & Bhattacharyya, A.K. (1998). Kinematic analysis of arm movements in sprint start. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 28, 315-323.
7. Ounpuu, S. (1994). The biomechanics of walking and running. *Clinics in sports medicine*, 13 (4), 843-863.
8. Jacobs, R., Bobbert, M.F. & Ingen Schenau, G.J. van (1993). Function of mono- and biarticular muscles in running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25, 1163-1173.
9. Doorenbosch, C.A.M., Welter, T.G. & Ingen Schenau, G.J. van (1997). Intermuscular co-ordination during fast contact leg task in man. *Brain Research*, 751, 239-246.
10. Rozendal, R.H. & Huijing, P.A. (1996). *Kinesiologie van de mens*. Houten: Robijns.
11. Wingerden, B.A.M. van (1999). Voetspieren in revalidatie en preventie. *Richting Sportgericht*, 1, 29-34.
12. Bosch, F. & Klomp, R. (in voorbereiding). *Hardlopen, biomechanica en inspanningsfysiologie praktisch toegepast*. Elsevier gezondheidszorg.
13. Jones, D.A. & Round, J.M. (1990). *Skeletal muscle in health and disease*. Manchester: University Press.

De auteurs

Frans Bosch studeerde in 1977 af aan de ALO Tilburg. Hij werkt sinds 1980 o.a. als atletiektrainer en is momenteel trainer van sprinter Pally de Leuw en hoogspringer Wilbert Pennings. Daarnaast is hij opleider voor de KNAU en adviseur voor sprinten, springen en krachtraining. Voor Elsevier bedrijfsinformatie BV werkt hij als medisch illustrator en schrijft hij boeken over anatomie, bewegingsleer en sport (*Anatomie op het Oog*, 1999; *Hardlopen*, 2001 (in samenwerking met Ronald Klomp)).

Ronald Klomp studeerde in 1984 af aan de ALO Tilburg. Vervolgens was hij 10 jaar werkzaam als leraar lichamelijke opvoeding in het middelbaar beroepsonderwijs. Momenteel volgt hij de studie Bewegingswetenschappen aan de Vrije Universiteit te Amsterdam, die hij in 2001 hoopt af te ronden. Sinds 1984 is hij als opleider betrokken bij verschillende sportbonden. Een groot deel van zijn werkzaamheden bestond de laatste jaren uit de begeleiding van midden- en lange-afstandlopers, waaronder Ellen van Langen, Marcel Laros, Gert-Jan Liefers en Simon Vroemen. Daarnaast heeft hij in samenwerking met Frans Bosch een boek over hardlopen geschreven, dat in de loop van 2001 zal verschijnen bij uitgeverij Elsevier. Op het moment is hij eigenaar van een internetbedrijf dat sportapplicaties maakt voor internetproviders.

- genoeg zou kunnen verkorten. Het verkleinen van de actieve insufficiëntie van de m. iliopsoas heeft voor lopers (ook voor sprinters) geen aantoonbaar of aangetoond voordeel.
2. Er is tussen lopers onderling op het moment van landen een groot verschil in de kniehoek waar te nemen. Er is geen optimale en algemeen geldende kniehoek te bepalen. Het moment van de grondreactiekrachten ten opzicht van de knie verandert zo snel voor en na de landing, dat het optimale opvangen van die momenten alleen maar via automatisering tot stand kan komen (2). Het wijd verbreide idee krachttraining te gebruiken om te leren lopen met een meer gestrekte knie op het moment van landen berust dan ook op de misvatting, dat een gestrekte knie beter zou zijn dan een gebogen knie.
 3. Paslengte komt bij goede lopers vooral tot stand door een grotere verticale verplaatsing van het lichaamszwaartepunt en niet door een langere contacttijd in de steunfase. Een grotere verplaatsing van het lichaamszwaartepunt heeft grotere externe krachten op de spieren tot gevolg. De ene loper is daar meer geschikt voor dan de andere. De redenering moet dan ook zijn, dat het mooi is als krachttraining door verbeterde reactiviteit in een grotere paslengte resulteert en niet, dat een relatief kleine paslengte om krachttraining vraagt.

Vereist krachtniveau

Het is zeer moeilijk per spiergroep de hoeveelheid kracht (als % van de maximale kracht) te bepalen die per loopsnelheid wordt gegenereerd. Door de externe krachten treden er in veel spieren tijdens het lopen grote piekkrachten op. De timing van die piekkrachten is beslissend voor de prestatie. Hoe groot de maximale kracht die een loper in de krachttraining nastreeft moet zijn, is daarom afhankelijk van de vraag in hoeverre een verbeterde maximale kracht bijdraagt aan verbetering van die timing.

Geschikte krachtoefeningen + apparatuur / benodigdheden

Voor alle spiergroepen die reactief werken tijdens het lopen geldt, dat het trainen van de maximale kracht (recrutering) zinvol is. Uitzonderingen zijn de buikspieren (alleen via korte piekbelastingen) en de spieren van het onderbeen (zie elders). Om de vooral pennate bi-articulaire spieren op het goede lengtebereik te kunnen belasten verdient haltertraining de voorkeur. Voor een goede kwaliteit van training is het gebruik van een olympische halter vereist. Oefeningen: deadlift, éénbenig kniebuigen, "good morning" met halter (éénbenig en tweebenig), step-up vormen.

Een aantal oefenvormen voor maximaalkracht kan daarnaast ook aan apparaten worden gedaan:

1. De hyperextensiebank voor training van rugspieren en hamstrings.
2. De "Snelltrainer" of "Billblaster" voor training van de abductie gevende heupspieren en de m. iliopsoas.
3. Het legpress-apparaat voor m. gluteus maximus en de m. rectus femoris (halter heeft de voorkeur).

Krachttraining ter verbetering van de reactiviteit wordt altijd uitgevoerd met halterlast:

1. met hogere last, accent op grotere krachtpieken: vormen van éénbenig en tweebenig voorslaan, snelle step-up vormen met voorbeweging.
2. met lage halterlast, accent op reflexpatronen: sprongvormen met halter, snelle vormen van voorslaan en trekken

Hoeksnelheden en -versnellingen

Doorgaans wordt aangenomen, dat de hoeksnelheid in het heupgewricht de limiterende factor is voor de maximaal haalbare snelheid (maximale sprintsnelheid). Bewijs daarvoor is er echter niet. De volgende overwegingen spelen een rol bij het bepalen van een trainingsstrategie voor sprinters t.a.v. de limiterende hoeksnelheid van het heupgewricht:

1. De limiterende factor kan behalve de hoeksnelheid in de heup ook de snelheid zijn waarmee de energie van de heup naar de knie en de enkel getransporteerd kan worden (werking van de bi-artculaire spieren).
2. De hoeksnelheid in het heupgewricht kan gefaciliteerd worden door endorotatie in het heupgewricht en door bekkenkanteling voorover. Beide hebben een excentrische werking ten opzichten van de m. gluteus maximus.

De praktijk van de krachttraining voor sprinters wijst uit, dat het met name zinvol is te werken aan de energietransporterende en reactieve kwaliteiten van bi-artculaire spieren en aan de kwaliteit van die spieren, die de hoeksnelheid van het heupgewricht kunnen faciliteren. Het verbeteren van de kracht-snelheid relatie van de m. gluteus maximus blijkt in de praktijk een omslachtige en weinig efficiënte weg. Maximaalkrachttraining van de m. gluteus maximus en de m. iliopsoas is voor sprinters efficiënter.

Voor midden en lange-afstandlopers geldt, dat de kracht-snelheid relatie van de gluteus maximus geen prestatiebeperkende factor is. Het trainen van de m. gluteus maximus en de m. iliopsoas is waarschijnlijk het meest zinvol in functionele ketens.

Specifiek relevante gewrichtshoeken

Lopen met constante snelheid gebeurt vrijwel rechtop. De verandering in knie- en heuphoek is op duurtempo beperkt tussen 45° en 0° flexie in de heup en 60° en 10° flexie in de knie. De bewegingsuitslag komt vooral in de zwaafase tot stand, in de steunfase is deze zeer beperkt. De veranderende hoek in het heupgewricht wordt gefaciliteerd door bewegingen van het bekken (kanteling voor- en achterover, endo- en exorotatie) (7).

De verandering in de stand van het bovenste spronggewricht beweegt zich bij lopen op duursnelheid tussen 15-17° dorsaalflexie en 15-17° plantairflexie (7). Daarbij moet op basis van ervaring worden opgemerkt, dat het beperken van de flexie (dorsaal en plantair) belangrijk is voor het goed kunnen gebruiken van de reactiviteit in het lopen.

Het is van belang op te merken, dat het lengtebereik waarin de bi-artculaire spieren werken niet direct gekoppeld is aan de stand van één van de gewrichten van het been. Een directe relatie is er alleen voor de mono-artculaire spieren. Bij haltertraining in stand geldt daarom, dat het werken in relevante hoeken alleen voor de training van de mono-artculaire spieren een grotere specificiteit oplevert. In de praktijk betekent dit, dat het werken in zeer specifieke gewrichtshoeken zeer weinig winst oplevert en eventueel achterwege kan blijven.

Bijzondere coördinatiepatronen (individuele verschillen en krachttraining)

In relatie met krachttraining moet het volgende omtrent de individuele verschillen in techniek tussen lopers worden opgemerkt:

1. Sommige lopers buigen tijdens de zwaafase ver in de heup voordat de uitpendelfase in de knie (samengaand met retroflexie in de heup) wordt ingezet. Anderen beginnen de uitpendelfase reeds als het bovenbeen nog ruim onder horizontaal is. Dit zijn verschillende technieken om de hamstring, die in die uitpendelfase al actief is, excentrisch te belasten. Het niet hoog optillen van de knie betekent derhalve *niet*, dat de m. iliopsoas niet ver

De machtsarm van de hamstrings t.o.v. van de heup is groot bij een gebogen heup en klein bij een gestrekte heup. Bij functioneel bewegen, zoals het lopen, werkt de hamstring daarom alleen gedurende het laatste deel van de zwaai fase en in het eerste deel van de steunfase. De hamstrings hebben bij het lopen op constante snelheid een belangrijke functie in het opslaan en hergebruiken van energie (reactieve werking) en in het naar achteren richten van de stuwkracht. De hamstrings zijn voor lopen dan ook een bijzonder belangrijke spiergroep. In de krachttraining dient er veel aandacht aan deze spiergroep besteed te worden.

M. quadriceps femoris en m. rectus femoris

Het bi-articulaire deel van de m. quadriceps femoris, de m. rectus femoris, heeft een sterk pennate bouw, die te vergelijken is met die van de hamstrings. Ook de reactieve werking is vergelijkbaar met die van de hamstrings. Echter, de krachtrichtende werking is tegenovergesteld aan die van de hamstrings. De m. rectus femoris werkt bij gelijktijdige strekking van knie- en heup, zoals tijdens een sprintstart.

De overige drie koppen van de m. quadriceps femoris zijn mono-articulair, hebben een zeer grote fysiologische doorsnede en hebben relatief weinig passieve delen. Deze spieren werken nauwelijks reactief, maar vooral concentrisch en met veel kracht.

De m. quadriceps heeft alleen een belangrijke werking tijdens een explosieve start. Bij het lopen op constante snelheid heeft ze enkel een stabiliserende werking op een relatief laag krachtniveau. Expliciete krachttraining van de m. quadriceps femoris is daarom alleen zinvol voor sprinters.

M. triceps surae: m. gastrocnemius en m. soleus

De m. soleus is een spier met een uitgesproken pennate bouw met korte spierbundels. De m. gastrocnemius is ook pennaat gebouwd, maar met een minder grote hoek tussen vezels en werklijn. De m. triceps surae heeft een grote fysiologische doorsnede. Bijgevolg is de spier geschikt voor krachtige arbeid dicht bij isometrie in een beperkt lengtebereik. Beide spieren hebben hun insertie aan de achillespees. De elastische capaciteit van de achillespees maakt de spiergroep geschikt voor reactieve spierarbeid.

Bij hardlopen is de m. gastrocnemius actief tijdens de kniestrekking in de standfase en transporteert de energie van de kniestrekking naar het enkelgewricht en zo naar de stuwingsfase. De rekkrachten op de achillespees zijn bij het lopen groter dan bij verticaal springen of bij een sprintstart (8). Dit betekent, dat het zeer moeilijk is om een overload in kracht te bereiken via haltertraining. Deze soort krachttraining kan voor de m. triceps surae dan ook beter achterwege gelaten worden. Omdat een grote distale spiermassa veel energie kost bij het vertragen en versnellen per pas, is hypertrofie van met name de spieren van het onderbeen nadelig. Krachttraining die hypertrofie van deze spieren tot gevolg heeft, moet zeker vermeden worden. De praktijk wijst uit, dat reactief (kaatsend) springen zonder halterlast wel bruikbaar is ter versterking van de m. triceps surae. Deze trainingsvorm kan zowel één- als tweebenig worden toegepast.

Onderbeenspieren (zie 11)

De onderbeenspieren, die zorgen voor de stabiliteit rond de enkel en in het voetgewelf, hebben allemaal lange eindpezen en zijn pennaat van bouw. Bijgevolg zijn de spieren geschikt voor krachtig aanspannen zonder veel verkorting, voor reactieve werking en in een zeer beperkt lengtebereik. Ook voor de onderbeenspieren geldt dat de piekkrachten, die bij het lopen optreden, niet te overtreffen zijn d.m.v. haltertraining. Bijgevolg is dezelfde trainingsstrategie gevraagd als bij de m. triceps surae (zie boven).

bekkenkanteling en torsie in de wervelkolom een belangrijke coördinatieve en sensorische functie hebben. Op het einde van de standfase worden de buikspieren door bekken kanteling voorover en door torsie in de wervelkolom telkens gerekt, waarna verkorting met een eventueel concentrisch moment volgt.

Rugspieren

In het lumbale gebied hecht de m. erector spinae niet alleen aan botten (de bekkenrand, het os sacrum en de proc. spinosi), maar ook aan een sterke aponeurose. Hierdoor wordt de fysiologische doorsnede sterk vergroot. De m. erector spinae is dan ook een spiergroep die bijzonder veel kracht kan leveren, terwijl het mogelijke verkortingstraject en de mogelijke verkortingsnelheid zeer beperkt zijn. Tijdens het lopen werkt de spiergroep reactief in een zeer klein lengtebereik.

Armspieren en schoudergordel

Bij een juiste looptechniek heeft de armbeweging enkel tot doel de torsie in de wervelkolom te vergroten. (6) Tijdens de sprint gebeurt dit met veel kracht en noodgedwongen volledig in het sagittale vlak. Sprinters dienen dan ook veel krachttraining te doen, met name voor de m. deltoïdeus en andere gordel spieren. In hoeverre midden-afstandlopers (in de eindsprint) gelimiteerd worden door het krachtniveau in de armen is arbitrair. Op basis van praktijkervaringen kan verondersteld worden, dat kracht in buik en rug wellicht belangrijker is.

M. gluteus maximus

De m. gluteus maximus is een spier waarvan de vezels in dikke bundels parallel van origo naar insertie lopen. De spier kan over een groot lengtebereik kracht zetten en heeft bovendien een erg grote machtsarm ten opzichte van het heupgewricht. Derhalve is de m. gluteus maximus tijdens het lopen op snelheid de belangrijkste dynamiek en power genererende spier. De werking is daarbij concentrisch.

Kleine gluteusspieren en bovenste deel van de m. gluteus maximus met tractus iliotibialis

Bij de landing vindt er in het heupgewricht van het standbeen een adductiebeweging plaats. De energie van de landing wordt tijdens die adductiebeweging (voor een deel) opgeslagen in de elastische delen van de spieren, die - in samenwerking met de tractus iliotibialis - abductie van het heupgewricht geven. Het ontladen van deze elastische energie resulteert vervolgens in een abductiebeweging in het heupgewricht. De verticale verplaatsing van het lichaamsswaartepunt tijdens het lopen kan voor een deel worden gegenereerd door dit omhoog brengen van de bekkenhelft aan de kant van het zwaaibeen (7). Omdat deze beweging in het frontale vlak plaatsvindt, is er geen - voor de voorwaartse snelheid ongunstige - remhefwerking. De kleine gluteusspieren en het bovenste deel van de m. gluteus maximus werken tijdens het lopen reactief.

Adductoren

De adductoren werken gedurende de gehele loopcyclus en krijgen doorgaans een belangrijke stabiliserende werking toegedicht. Lopers hebben bijna altijd bijzonder sterke adductoren, ook zonder expliciete krachttraining. De zin van expliciete krachttraining voor adductoren is dan ook twijfelachtig, zelf als blessurepreventie.

Hamstrings (zie 4, 5, 8, 9, 10)

De hamstrings hebben een sterk pennate bouw en ze zijn bi-articulair. Dat betekent dat ze alleen maar geschikt zijn voor contracties dicht bij de isometrie in een zeer beperkt lengtebereik. Training op een manier, die niet in overeenstemming is met bouw en functie van de hamstrings, bijvoorbeeld aan een legcurl-apparaat, is niet alleen a-functioneel, maar werkt zelfs blessures in de hand.

4. Het transport van energie van het ene deel van het lichaam naar het andere, bijvoorbeeld tijdens de zweeffase naar de hamstrings van het uitpendelende voorste been (1, 2).
5. Het achterwaarts richten van de stuwing. Bij het lopen op constante snelheid speelt de werking van de hamstrings hierin een centrale rol.

Uiteraard moet er in het lopen ook positieve arbeid geleverd worden door concentrische spierwerking op een bepaald krachtniveau. De verhouding tussen de hoeveelheid energie uit positieve arbeid en uit het omzetten van energie (lees: reactiviteit) is slechts bij benadering te bepalen (3). Er mag echter geconcludeerd worden, dat de hoeveelheid energie uit reactiviteit een wezenlijk deel van de prestatie uitmaakt. De praktijk wijst uit, dat prestaties van lopers vaker / sterker worden beperkt door een gebrekkige reactieve werking van de spieren, dan door een gebrek aan concentrisch, positief arbeidsvermogen. Alleen voor de start van de sprint is de positieve arbeid uit spieren prestatiebepalend. In de krachttraining voor lopers dient het trainen van de voorwaarden voor reactieve spierwerking dan ook een centrale plaats in te nemen. Het trainen van het maximale vermogen van concentrisch werkende 'motor'spieren als de m. gluteus maximus en de m. iliopsoas is waarschijnlijk alleen zinvol voor het verbeteren van de sprintstart en heeft voor midden- en lange-afstandlopers geen zin.

Naast de coördinatie heeft het uithoudingsvermogen bij midden- en lange-afstandlopers een belangrijke invloed op de prestatie. Kracht, snelheid en lenigheid (voor zover deze begrippen praktisch zijn) zijn niet direct prestatiebepalend en dragen slechts indirect bij aan de prestatie.

Energie leverende systemen

Bij het lopen van een midden- of lange afstand zijn alle energieleverantiesystemen in zekere mate actief. Beslissend is welk systeem prestatiebepalend is. Doorgaans zal dit het melkzuursysteem of het aerobe systeem zijn. Voor de krachttraining zijn de energiesystemen van weinig betekenis. Krachttraining voor lopers moet vooral gezien worden als coördinatie-training onder verhoogde weerstand.

Actieve spiergroepen en hun contractievormen

Twee opmerkingen vooraf:

1. Er wordt de voorkeur gegeven aan de term reactief boven plyometrisch, op basis van het uitgangspunt dat spierwerking met voorrek vooral met isometrie in de spiervezels gebeurt (4).
2. Belangrijke informatie over de werking van spieren (uitgezonderd de m. iliopsoas) tijdens het lopen kan worden verkregen vanuit EMG's, anatomie en bewegingsonderzoek (5).

Buikspieren en m. Iliopsoas

De m. iliopsoas geeft anteflexie in het heupgewricht. De spier is parallelvezelig met een grote fysiologische doorsnede en kan over een relatief groot lengtebereik kracht leveren. Er is veel te zeggen voor het idee, dat de voorrek van de m. iliopsoas in het lopen van weinig betekenis is en de spier vooral concentrisch werkt. De retroflexie in de heup wordt immers geremd door zeer sterke ligamenten. Bovendien kan de m. iliopsoas door de lange parallelvezelige structuur makkelijk ver gerekt worden. De mate waarin de spier verkort tijdens het lopen heeft geen directe relatie met de mate waarin de knie hoog wordt opgezwaaid (zie sectie bijzondere coördinatiepatronen).

De buikspieren werken tijdens het lopen reactief en als synergist van de m. iliopsoas. Beide spiergroepen vormen een functionele eenheid, waarbij de buikspieren naast het genereren van

Hardlopen

Inleiding

Het lopen in de atletiek kan functioneel worden onderverdeeld in starten, accelereren en lopen op een min of meer constante snelheid. Start en acceleratie verschillen bewegingstechnisch wezenlijk van lopen met constante snelheid. Voor midden- en lange-afstandlopers is de start- en acceleratiefase niet van essentieel belang. Alleen sprinters trainen expliciet op de techniek van het starten. Deze bewegingsanalyse is daarom gebaseerd op de (juiste) techniek voor het lopen met constante snelheid. Starten en accelereren blijven buiten beschouwing.

De juiste looptechniek voor midden- en lange-afstandlopers verschilt maar weinig van de juiste techniek bij het lopen op hoge snelheid (sprinten). Het rechtop houden van de romp, een (voldoende) harde voetplaatsing en het gebruik maken van de landingsenergie zijn zowel bij het lopen op duurtempo als op topsnelheid van groot belang. Deze overeenkomst tussen de techniek van het lopen op hoge snelheid en de techniek van het lopen op duurtempo is opmerkelijk. Immers, ze dienen ieder een ander doel: op hoge snelheid is het streven om zo veel mogelijk energie in stuwung om te zetten, terwijl bij het lopen op duurtempo het streven is om zo zuinig mogelijk met energie om te gaan. De verschillen zijn zo gering, omdat zowel bij het lopen op hoge snelheid als bij het lopen op duurtempo reactiviteit en het vermijden van versturende rotaties cruciaal zijn.

De verschillen tussen het lopen op topsnelheid, op lagere snelheid (voor midden-afstandlopers) en op duurtempo is dan ook slechts gradueel; een sprinter moet grote piekkrachten kunnen verwerken en heeft veel 'voorspanning' (stiffness) nodig, terwijl voor duurlopers piekkrachten en voorspanning van een geringer niveau zijn.

Grondmotorische eigenschappen

De vlakke looponderdelen van de atletiek kennen uiteraard een extreem smalle bandbreedte aan motorische bewegingspatronen: alleen de cyclische loopbeweging. Daarom is het optimaliseren van de efficiëntie van groot belang voor de prestatie. De efficiëntie is vooral afhankelijk van drie factoren:

1. Het vermijden van rotaties die gecompenseerd moeten worden. Bij een gebrekkige looptechniek ontstaat rotatie voorover en rotatie om de lengteas. Onnodige rotaties kosten energie en verhinderen een optimale omzetting van kinetische energie in elastische energie en omgekeerd.
2. Het omzetten van kinetische energie in elastische energie en vervolgens weer in kinetische energie in het verdere bewegingspatroon. Dit wordt geregeld door een juiste 'stiffness' van het bewegingsapparaat. Energie gaat bij het afremmen van bewegingen niet volledig verloren in wrijvingswarmte, maar wordt voor een deel opgeslagen in de rek van elastische delen van de spier. Dit omzetten van de ene vorm van energie in de andere kan voor wat betreft het lopen worden onderverdeeld in twee categorieën:
3. Het omzetten van de landingsenergie. De hoeveelheid landingsenergie wordt bepaald door de verplaatsing van het lichaamszwaartepunt in verticale richting per pas.