

# Stilstaan bij lopen

*Auteurs:*

*André Heck (AMSTEL Instituut, Universiteit van Amsterdam)*

*André Holleman (Bonhoeffer college, "leraar in onderzoek" bij AMSTEL Instituut)*

© 2002 AMSTEL Instituut. Verder gebruik alleen toegestaan met bronvermelding.

## **Inleiding**

Er zijn verschillende manieren van menselijke gang: slenteren, wandelen, snelwandelen, "gewoon" lopen, hardlopen, joggen, etc. In al deze gevallen gaat het om een zich cyclisch herhalende beweging van de geledingen van het lichaam, waarbij vooral de actie van de benen opvalt. Met het blote oog zijn verschillen in loopbewegingen vaak al waarneembaar. Bij *kinematisch onderzoek van menselijke gang* worden grootheden die het gangproces in ruimte en tijd beschrijven op een objectieve natuurwetenschappelijke methode onderzocht. Denk hierbij aan grootheden zoals staplengte, stapfrequentie (kadans), staptijd en gangsnelheid. Een veelgebruikte methode in experimenteel onderzoek is *videoanalyse*: de onderzoeker registreert achtereenvolgende gebeurtenissen van een gangproces met een aan een PC gekoppelde video-camera en probeert verbanden tussen geregistreerde grootheden bloot te leggen.

Bij een volledige *ganganalyse* wordt behalve naar *kinematische* aspecten van de gang ook naar *dynamische* en *fysiologische aspecten* gekeken. Belasting van het spierskeletstelsel en energieverbruik zijn dan ook punten van aandacht. Er zijn verschillende redenen en motieven voor ganganalyse. We noemen vier toepassingsgebieden.

- *Geneeskunde*. Om problemen in het menselijk bewegingsapparaat adequaat te kunnen verhelpen, moeten lichaamsbewegingen eerst goed in kaart gebracht worden. Het ontwerpen of aanmeten van geschikte hulpstukken voor mensen met loopstoornissen, denk bijvoorbeeld aan prothesen, krukken of speciale schoeisel, vereist een goed inzicht in de loopbeweging.
- *Sportwetenschap*. Door lichaamsbewegingen en de krachten die hiermee gepaard gaan te meten en te analyseren kunnen bewegingswetenschappers sporters adviezen geven teneinde hun sportprestaties te verbeteren. Bijvoorbeeld, een kleine verbetering aan de techniek van een hordeloper kan al het verschil betekenen tussen kampioenschap en verlies.
- *Persoonsidentificatie*. Een bekende herken je vaak op afstand al aan zijn of haar manier van lopen. Het gangproces heeft kennelijk persoonsgebonden kenmerken. Onderzoekers in de biomechanica proberen meetbare en karakteristieke kenmerken van het lopen vast te stellen waarmee je dan personen kunt herkennen aan hun stijl van lopen. Een van de zaken die daarbij aan de orde komt is hoe je de bewegingen van de ledematen met goniometrische functies goed kunt beschrijven. Nu is wel niet iedere periodieke kromme met een sinusgrafiek te beschrijven, maar bij loopbewegingen of onderdelen hiervan vaak wel. Dat heeft ook zijn redenen. Loopherkenning van personen is gebaseerd op het wiskundige model van krommen die opgebouwd zijn uit verschillende sinusgrafieken. In meer wetenschappelijk termen: de Fourier representatie van de periodiek loopbeweging ligt ten grondslag aan de zogeheten *loopsignatuur*. In de misdaadbestrijding biedt de loopsignatuur mogelijkheden om weggrennende dieven of relschoppers aan de hand van beelden die met een bewakingscamera opgenomen zijn te identificeren. Momenteel wordt hard onderzocht of en hoe loopherkenning een goede aanvulling kan zijn op andere identificatiemethoden zoals vingerafdruk en irisoscopie.
- *Filmindustrie*. Aan lichaamshouding en bewegingen van een persoon kun je vaak zijn of haar gemoedstoestand aflezen. Een opgewekt persoon loopt anders dan iemand die in een

depressieve gemoedstoestand verkeert. Ook deze emotionele kant van het gangproces kan experimenteel in wiskundige termen beschreven worden. Makers van tekenfilms en science fiction films hebben hier belang bij: zij willen vaak geen robotachtige figuren in de film hebben, maar wezens die emotie tonen. De wiskundige beschrijving van menselijke gang helpt ze een handje.

### **Wat ga je doen?**

In deze praktische opdracht maak je kennis met enkele kinematische facetten van ganganalyse d.m.v. *videometing in Coach*. Een van de zaken die aan de orde komen is hoe je arm- en beenbewegingen tijdens het lopen met goniometrische functies kunt beschrijven. Ook kijk je naar het verband tussen de bewegingsuitslag van het kniegewricht en die van het heupgewricht tijdens een loopbeweging; de bijpassende grafiek heet het *heup-knie cyclogram*. In het laatste onderdeel van de opdracht neem je met een webcam een zelfgekozen loopbeweging op, construeer en analyseer je het bijpassende heup-knie cyclogram, en vergelijk je dit met een cyclogram van een afwijkende loopbeweging (bij voorkeur met een cyclogram van een klasgenoot). Alleen van dit laatste onderdeel verwachten wij een verslag ter beoordeling.

### **Het lesmateriaal**

Van het bijpassende Coach project “Stilstaan bij lopen” doe je de volgende vier activiteiten:

1. Wiskundige analyse van menselijke gang.
2. Zwaai fase bij langzaam lopen.
3. Schrede bij langzaam lopen.
4. Analyse van een zelfgekozen gangproces.

De benodigde uitleg en de opdrachten komen straks bijna allemaal op het scherm. We hebben ze ook op papier gezet, zodat je zelf kunt kiezen wat je het prettigst vindt. De computer-aanwijzingen zijn soms zo gedetailleerd opgeschreven dat ze de indruk kunnen wekken van een ‘knoppencursus’. Dit is gedaan om je snel en zelfstandig met videometen via Coach te kunnen laten werken. De wiskunde zit vooral in de toepassing. Overigens, na dit project heb je hopelijk een goede indruk gekregen van wat videometen met Coach voor je profielwerkstuk kan betekenen. Of als je nog geen definitieve onderwerpkeuze gemaakt hebt, dan heb je misschien wel inspiratie opgedaan voor een bewegingsonderzoek.

### **Terminologie**

In het lesmateriaal sluiten we aan bij het taalgebruik dat in de geneeskunde en biomechanica voor menselijke gang gehanteerd wordt (zie Rozendal et al: “Inleiding in de kinesiologie van de mens”, Culemborg: Robijns/Educatieve Partners, 6<sup>e</sup> druk, 1996). Dit taalgebruik mag soms wat ouderwets overkomen, maar hiermee kan men wel voor eenieder heel precies aangeven wat men bedoelt. We geven een beknopte lijst van de belangrijkste woorden en definities die in deze opdracht voor komen, met tussen haakjes de equivalente Engelse namen:

*Extensie (extension)*: rekking, strekking van ledematen. Het tegenovergestelde van flexie.

*Flexie (flexion)*: buiging van een gewricht. Doorgaans wordt hierbij de hoek tussen de botten kleiner. Het tegenovergestelde van extensie.

*Gang (gait)*: een zich cyclisch herhalende beweging van de geledingen van het lichaam waarbij vooral de actie van de benen opvalt.

*Schrede (gait cycle)*: één volledige loopcyclus beginnend bij hielcontact van een voet met de ondergrond tot het daaropvolgende hielcontact van dezelfde voet.

*Stap (step)*: bewegingsfase tussen het moment dat de rechterhiel contact met de ondergrond en het daarop volgende hielcontact van de linkervoet (en omgekeerd). Een schrede bestaat dus uit twee stappen.

Tijdens een gang speelt een been afwisselend twee rollen, nl. dat van *standbeen (stance leg)*, als de voet contact met de ondergrond maakt, en dat van *zwaaibeen* of *slingerbeen (swing leg)* als de voet los van de ondergrond is. Bij normale gang is er een fase in een schrede waarin

beide benen in contact met de ondergrond zijn; dit heet de *bipedale fase*. Bij snelwandelen is de bipedale tijd niet net gelijk aan nul en bij rennen is er helemaal geen bipedale fase.

Voor de volledigheid of voor het geval dat je medische of Engelstalige literatuur raadpleegt geven we nog de Latijnse en Engelse benamingen voor de botten in een been:

*Dijbeen: femur; thigh-bone*

*Knieschijf: patella; kneecap*

*Scheenbeen: tibia; shin-bone, shank*

*Kuitbeen: fibula; splint-bone*

## **Verslag**

Van het verloop van je eigen onderzoek aan het einde van de praktische opdracht moet je een kort en bondig verslag maken. Daarin moeten niet alleen de resultaten komen te staan, schrijf ook je gedachtegang en werkzaamheden kort op. Omdat we benieuwd zijn hoe gemakkelijk of ingewikkeld deze opdracht is en hoe het werken met Coach gaat, zijn we ook nieuwsgierig naar de “fouten” die je onderweg gemaakt hebt en de zijpaden die je ingeslagen bent. Ook, of juist in onderzoek leer je veel van fouten en zijsprongen om tot een goed einddoel te geraken.

Het verslag moet overzichtelijk zijn en er netjes uitzien. Dus liefst met een tekstverwerker. *Vanuit Coach kun je tabellen, grafieken en teksten kopiëren en plakken naar een Word document. Het is daarom aan te bevelen om, samen met Coach ook Word aan te zetten. Je kunt dan alvast grafieken, tabellen en wat al niet meer naar Word kopiëren. Wat je ervan gebruikt zie je later wel.*

## **Inhoud verslag**

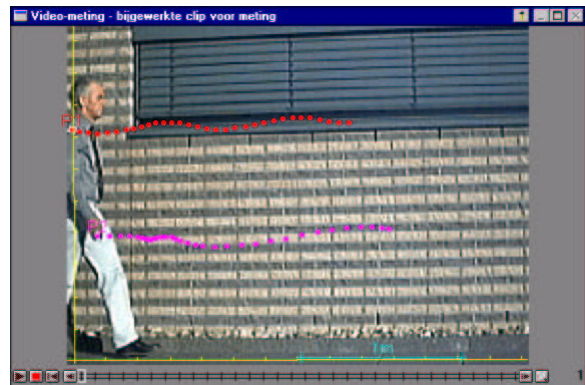
- Inleiding (titel, auteurs, datum, samenvatting, inhoudsopgave, ...)
- Kort en bondig verslag van verschillende onderdelen van het onderzoek, en wel zo dat de lezer kan zien hoe het onderzoek is verlopen, dus niet alleen het eindresultaat. Ga in op overeenkomsten en verschillen tussen je eigen cyclogram en dat van een klasgenoot, de manieren waarop je naar deze diagrammen (al dan niet binnen Coach) gekeken hebt, hoe je aan de gegevens van anderen gekomen bent, wat je daar nog verder mee gedaan hebt, ...
- Een oordeel over onderwerpkeuze, over de opzet van de praktische opdracht en over de bruikbaarheid van Coach.
- Suggesties voor andere toepassingen van videometen met Coach.
- Een logboek waarin staat hoe lang en waar jullie aan de verschillende onderdelen hebben gewerkt en hoe de werkverdeling was.
- diskette(s), met daarop de Coach resultaten, filmpjes en het Word-verslag ook inleveren.

## **Inhoudsopgave**

Wiskundige analyse van menselijke gang .....	4
Zwaaifase bij langzaam lopen .....	8
Schrede bij langzaam lopen .....	11
Onderzoek van een zelfgekozen gangproces .....	14

## Activiteit 1: wiskundige analyse van menselijke gang

In deze activiteit maak je kennis met een wiskundige analyse van menselijke gang. Centrale thema's zijn (i) de bepaling van stapgrootheden en staptijdfactoren aan de hand van een videoclip en (ii) het vinden van een geschikte kromme bij meetgegevens die via videometing met Coach vergaard zijn.



Start Coach en kies de activiteit

1. *Wiskundige analyse van menselijke gang.*

### Inleiding

In het filmpje loopt mijnheer Holleman langs een gebouw. Het filmpje is opgenomen met een webcam met een snelheid van 25 beeldjes per seconde. De videoclip bestaat uit 32 beelden, die weergegeven worden als streepjes in de beeldenbalk onder in het linker videovenster.

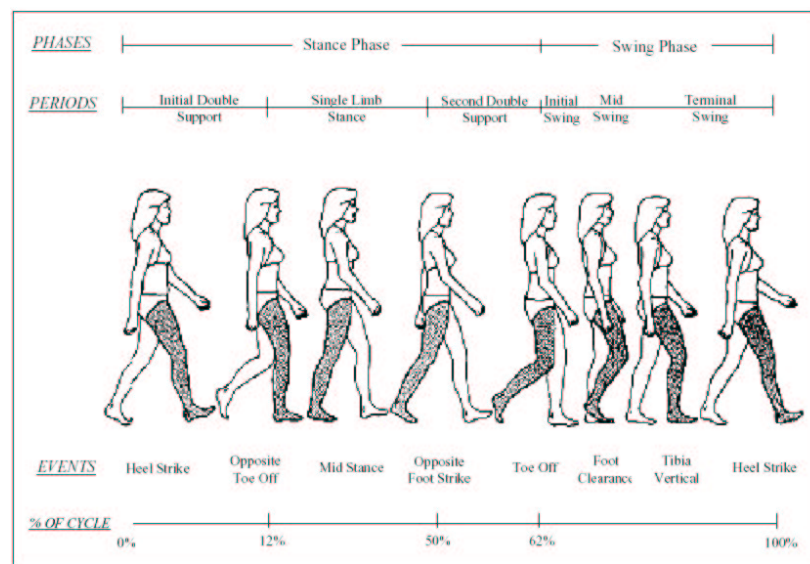
Je ziet een assenstelsel, een lichtblauwe schaal aanduiding met 1 meter erbij, en meetpunten (door middel van rode en lila bolletjes) op de rechterschouder en de rechterhand.

Voor het gemak zijn de grafieken van de coördinaten van schouder- en handpositie al klaar gezet.

In deze en volgende activiteiten zul je zien dat de loopbeweging goed met goniometrische functies beschreven kan worden. We concentreren ons hier vooral op de bewegingen van de rechterschouder en de rechterhand.

### Stapgrootheden en staptijdfactoren

Een schrede wordt onderverdeeld in fasen waarbij voeten al dan niet contact maken met de ondergrond. In onderstaande figuur worden de verschillende fasen van een loopbeweging en hun tijdsduur (als percentage van de schredetijd) getoond. Deze figuur is overgenomen uit Rose & Gamble: "Human Walking", Williams and Wilkins, 1994. Enkele stapgrootheden zijn staplengte, stapfrequentie (=aantal stappen per minuut) en gangsnelheid. Enkele staptijdfactoren zijn standtijd, slingertijd, bipedale tijd, schredetijd en staptijd.



Typical normal walk cycle illustrating the events of gait (Rose and Gamble, 1994)

1. Door goed naar de videoclip en de bijpassende grafieken te kijken kun je al heel wat te weten komen over menselijke gang. Als je in het diagramvenster de 'Lees uit' modus kiest, dan wordt de koppeling tussen de videoclip en het diagramvenster zichtbaar en verschijnt er een kader waarin de coördinaten van de gekozen grootheden staan. Dit vergemakkelijkt het beantwoorden van de volgende vragen n.a.v. de videoclip:  
 Wat kun je zeggen over de coördinatie tussen arm- en beenbeweging?  
 Wat is het verband tussen schouderhoogte en fase in de gang?  
 Hoeveel meter per seconde loopt mijnheer Holleman op dit filmje?  
 Wat is jouw schatting van de schredetijd?  
 Bereken hieruit de stapfrequentie, d.w.z. het aantal stappen per minuut.  
 Schat de tijdsduur van standfase, zwaai fase en bipedale fase als percentage van de schredetijd.
2. In de grafiek zijn P1X, P2X, P1Y en P2Y uitgezet tegen de tijd. Merk op: er zijn twee verticale assen. Twee van de vier grafieken zijn stijgend. Kun je dat verklaren? En hoe zit het met de twee andere grafieken?
3. Je kunt in het video-meetvenster ook gemakkelijk afstanden en hoeken opmeten. Klik met de rechter muisknop in het videovenster of klik met de linker muisknop op de hamerknop in dit kwadrant. Kies 'Meetlat'. Sleep de uiteinden van de meetlat zo dat ze liggen op de punten waartussen je de afstand wilt weten. Meet op deze manier de staplengte.
4. Uit de gemeten staplengte en stapfrequentie kun je de gemiddelde gangsnelheid berekenen. Hoeveel meter per seconde loopt mijnheer Holleman in het filmpje volgens deze berekening? Klopt dit met je onderdeel (1) gevonden antwoord? Wat is de gangsnelheid uitgedrukt in kilometer per uur?

### ***Oefenen met nieuwe diagrammen maken***

1. Rechtsklik in het diagramvenster. Kies 'Wijzig/maak diagram'. In het dialoogvenster zie je onder andere de naam van het venster, de mogelijkheid om een raster (rooster) aan te brengen, acht kolommen om te kiezen en onderaan de mogelijkheid om de grafiek er wat anders uit te laten zien.  
 Klik op C1. De 'Klok' is verbonden met de tijd op de videofilm. Bekijk C2, C3, C4 en C5. Je herkent vast de coördinaten van de meetpunten. Maak de verticale coördinaten van de gemeten posities onzichtbaar.
2. Klik op de gele knop 'Kies diagram' in de knoppenbalk. I.p.v. een bestaand diagram te kiezen, maak je nu een nieuw diagram, alleen voor de positie van de rechterhand: druk op 'Nieuw diagram' en geef dit diagram een zinvolle naam (bijvoorbeeld 'hand'. Kies als eerste kolom de verbinding 'Klok' en als tweede resp. derde kolom de x- en y-coördinaat van de rechterhand. Klik op OK en kies het nieuw gemaakte diagram: je hebt nu twee grafieken in één diagram. Zoek zelf uit hoe je de verticale positie van de hand uit kunt zetten tegen de horizontale positie. Wat betekent deze grafiek?
3. Experimenteer in het nieuw gemaakte diagram met de mogelijkheden om de meetpunten op diverse manieren en in verschillende kleuren weer te geven.

## **Bepalen van een geschikte kromme bij meetgegevens**

1. Zet de horizontale positie van de rechterschouder in een grafiek uit tegen de tijd. Gebruik hiervoor een nieuw diagramvenster. Teken alleen de meetpunten en verbindt ze niet met rechte lijnstukjes.  
Rechtsklik in het diagram (of klik op de 'hamerknop', tweede van links boven in het diagramvenster).  
Kies 'Analyse' en daarvan 'Functiefit' (to fit = passen).  
Bij 'Functietype' zie je dat  $f(x)=a \cdot x+b$  getekend is. De waarden van  $a(=1,40)$  en  $b(=-9E-3)$  van de getekende rechte lijn staan ernaast. Klik op 'Auto-fit'. De rechte lijn die het beste past bij de meetpunten wordt berekend. De waarden van  $a$  en  $b$  veranderen een beetje. Wat betekent dit eigenlijk voor de grafiek van deze nieuwe lijn in vergelijking met de vorige?  
Als je nu OK aanklikt, dan wordt de rechte lijn aan het diagramvenster toegevoegd. Kies je 'Stop', dan blijft het diagramvenster zoals het was.  
Schrijf de formule van de rechte lijn op en klik OK. Wat is de betekenis van de richtingscoëfficiënt van deze lijn?
2. Zet de verticale positie van de rechterschouder uit tegen de tijd. Zet alleen de meetpunten uit en verbindt ze onderling niet met rechte lijnstukjes. Zoom in zodat de grafiek zo groot mogelijk in beeld is. Je ziet een op- en neergaande grafiek. Het is geen sinusgrafiek want de trend van de grafiek is schuin omhoog. Wat kan hiervoor een reden zijn? (Hint: meet in het videofilmje met de 'meetlat' het hoogteverschil tussen raam en grond op aan de linker- en rechterkant van het raam.
3. We gaan de verticale positie van de schouder zo goed mogelijk met een formule beschrijven.  
Eerst maar eens de trend vaststellen: maak een functiefit van de meetgegevens met een rechte lijn. Voeg deze rechte lijn toe aan het diagram.  
Zet de grafiek van het verschil tussen de gemeten  $y$ -positie en de benadering met een rechte lijn uit met behulp van een tweede verticale as. Dit kun je in een diagramvenster als volgt bewerken:
  - rechtsklik in het diagramvenster en kies de menu-optie 'wijzig/maak diagram'.
  - kies een lege kolom en verander de verbinding in 'formule'.
  - Kies 'y-as rechts'
  - Klik in het vak achter 'Formule:'
  - Klik op de 'Wizard-knop' (de knop met de goochelhoed als icoon)
  - Klik op bekende grootheden en wiskundige operaties om de geschikte formule te maken.
  - Vul de naam van de grootheid en (optioneel) de eenheid in.
  - Klik op OK en herschaal de grafiek door herhaald te klikken op het herschaalknopje totdat je de verschilgrafiek goed in beeld hebt.Als alles goed is gegaan heb je een verzameling van punten die op een sinusgrafiek lijken te liggen. Bepaal met functiefit de best bijpassende sinusoïde. De som van deze sinusoïde en de eerder gevonden rechte lijn beschrijft de meetgegevens tamelijk goed. Ga dit na door Coach de grafiek van deze som te laten tekenen.
4. Je hebt al gezien dat je afstanden kunt meten. Het is ook mogelijk om hoeken te meten. Zoals je weet kun je hoeken meten in graden en in radialen. We kiezen hier voor graden: klik Opties - Activiteitopties en stel in op graden. Rechtsklik in het videovenster en kies 'Gradenboog'. Meet nu de maximale hoek die

het dijbeen maakt met de verticale richting. Meet ook de maximale hoek waarmee het scheenbeen afwijkt van de richting van het dijbeen. Dit wordt de kniehoek genoemd. Hoe groter de waarde van de kniehoek, hoe sterker de knieflexie. Hoeveel graden is een armzwaai?

Misschien heb je bij het maken van de grafieken al gezien dat als mogelijke verbinding 'P1-Hoek' en 'P2-Hoek' staat. Ook is 'P1-Afstand' mogelijk. Onderzoek welke hoek berekend wordt via 'P1-Hoek'. Onderzoek ook de betekenis van 'P1-Afstand'. Je kunt hierbij misschien de optie 'Toon als Tabel' gebruiken die je kunt zien na rechtsklikken in het diagramvenster.

Om de optie hoekmeting van Coach te benutten om dij- en scheenbeenhoeken te laten berekenen is het nodig dat het assenstelsel op een slimme manier “meeloopt” met de loper. Hoe dat gaat zie je in de volgende activiteit.

Een van de motieven om naar de bewegingsuitslag van het kniegewricht te kijken is dat deze grootte gerelateerd is aan de aard van de gang. Bijvoorbeeld, van langzaam wandelen tot hardlopen is tijdens de standfase geleidelijk meer knieflexie vereist.

<i>Activiteit</i>	<i>Range van de mate van knieflexie tijdens de standfase (in graden)</i>
wandelen	
langzaam	0 – 6
vrij	6 – 12
snel	12 – 18
hardlopen	18 – 30

*Bron:* Perry et al, Knee posture and biceps and semimembranosus muscle action in running and cutting (an EMG study). Transactions of the 23<sup>rd</sup> Annual Meeting, Orthopaedic Research Society, 2:258, 1977.

Verlaat de activiteit.

Antwoord “ja” op de vraag “Resultaten of wijzigingen bewaren?” Kies er voor om de videoclip niet met het resultaat mee te bewaren; dit bespaart ruimte op een diskette.

## **Activiteit 2: zwaafase bij langzaam lopen**

Lopen is een periodieke beweging: je zet de ene stap na de andere in een zekere regelmaat. Een van de zaken die aan de orde komen is hoe je deze bewegingen met goniometrische functies kunt beschrijven. In deze activiteit concentreer je je op de zwaafase van langzaam lopen: je meet de hoeken die dijbeen en scheenbeen t.o.v. het assenstelsel met het kniegewricht als oorsprong maken. Je probeert hierin wiskundige verbanden experimenteel op te sporen.



Start zonodig Coach en kies de activiteit 2. *Zwaafase bij langzaam lopen*.

### **Inleiding**

Op het video-meetvenster zie je een kort filmpje van iemand die langzaam in een studeerkamer langs twee bureausten loopt. De breedte van één kast is 1 meter. Houd bij de ijking van de meting rekening met het perspectief: leg de ijklat van 1 meter neer op de denkbeeldige horizontale lijn die de plaatsen verbindt waar de rechtersoet neergezet wordt (aanwijzing: gebruik de parketstroken om een goede schatting te maken). Deze video is met een webcam opgenomen met een beeldsnelheid van 30 beeldjes per seconde.

In deze activiteit zul je zien dat de bewegingen van de onderste ledematen goed met goniometrische functies te beschrijven zijn. Concentreer je op de bewegingen van het rechter dijbeen en scheenbeen van de loper. Je gaat nu zelf meten waarbij het assenstelsel "meeloopt".

### **Metten op de videoclip**

1. Speel het filmpje af om een eerste indruk te krijgen van de loopbeweging.
2. Rechtsklik in het videovenster en kies 'Coördinaat-instellingen'. Kies dezelfde schaal, x-as en y-as normaal, oorsprong: eerst geklikte punt en  $t=0$  bij eerstgekozen beeldje. Klik OK.
3. Schaallengte is goed: 1,000 m dus OK.
4. Rechtsklik weer en kies 'Videopunten' en 'Aantal gemeten punten per beeldje' 2, 'Aantal berekende punten per beeldje' 0 en OK.
5. Rechtsklik en kies 'Markering & Kleuren'. Ga je gang.
6. Op alle beeldjes meten zou wel erg veel werk zijn. Daarom kiezen we één zwaafase. Kies in het videovenster het tijdsinterval waarin het rechterbeen een volledige zwaafase doorloopt, d.w.z. van de teenafzet van de rechtersoet tot het neerkomen van de rechterhiel. Tel bij welke beeldjes dat begint en eindigt. Rechtsklik en kies 'Selecteer beeldjes'. Kies 'Met formule'. Neem van begin zwaafase tot eind zwaafase. Kies eventueel de stapgrootte (met \$2 of \$3) en OK.
7. Kies nog 'Toon assenstelsel' en 'Spoor'.
8. Het plaatsen van de meetpunten kan beginnen. (Zie de schermafdruk op deze bladzijde) Klik op de groene knop in het midden van de menubalk. De muiswijzer verandert. Klik eerst op het kniegewricht, hier komt de oorsprong van het assenstelsel. Klik daarna op de heup en dan op de enkel. De video springt automatisch naar het volgende geselecteerde beeldje alwaar je dezelfde handelingen volvoert.



### **Corrigeren van metingen**

Als je niet tevreden bent over bepaalde meetwaarden, kun je terug gaan naar een beeldje en de meting corrigeren. Om een en ander zo goed mogelijk te kunnen zien kun je het videobeeld vergroten.

1. Klik in het videovenster om het te activeren en druk daarna nog een keer op de  $\uparrow$  toets. De videoclip wordt in het venster zo groot mogelijk neergezet. Is dit nog niet groot genoeg, maak dan het videovenster maximaal door op de 'maximize'-knop in het venster te klikken.
2. Via de pijltjestoetsen  $\leftarrow$  en  $\rightarrow$  kun je de gewenste beeldjes voor correctie kiezen.
3. Corrigeer de meting door in het videobeeld het meetpunt naar een betere plaats te slepen. Het assenstelsel kun je niet verschuiven: mocht dit misplaatst zijn, doorloop dan de volgende stappen:
  - verwijder de meting door op de Delete-toets te drukken
  - voeg het beeldje als extra frame voor meting toe met behulp van de Insert-toets.
  - Start een nieuwe meting via de groene 'Start' knop.
4. Als je klaar bent is het een goed idee om het videovenster in de oorspronkelijke kwadrantgrootte te zetten.

### **Toevoegen van extra meetpunten**

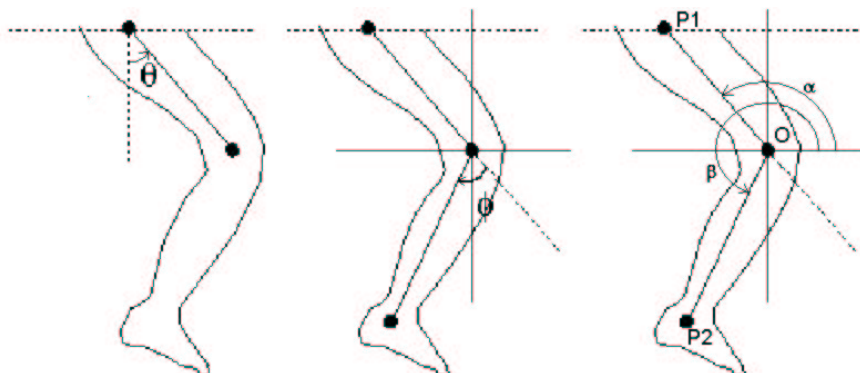
Het is ook mogelijk extra meetpunten toe te voegen wanneer niet alle beeldjes gebruikt zijn.

1. Kies een beeldje op de beeldenbalk met een grijze aanduiding en druk op de Insert-toets. Het geselecteerde beeldje komt weer zwart op de beeldenbalk.
2. Druk op de groene 'Start' knop om voor bijgeplaatste beeldjes te meten. De meetresultaten worden op de juiste plaats in tabel en grafiek ingevoegd.

Om een beeldje in de meting niet mee te laten doen kun je het selecteren op de beeldenbalk en dan op Delete drukken. Probeer dit uit.

### **Metten van hoeken tijdens zwaai fase**

De heuphoek ( $\theta$ ) en de kniehoek ( $\phi$ ) worden gedefinieerd als in onderstaande figuur. Hierbij houden we rekening met de oriëntatie van een hoek: tegen de wijzers van de klok in geeft een positieve hoek ( $\alpha$  en  $\beta$ ), met de wijzers mee geeft een negatieve hoek ( $\phi$ ).



Eigenlijk moet de heuphoek gedefinieerd worden als de hoekafwijking van het dijbeen met het verlengde van de romp, maar we veronderstellen hier voor het gemak dat de persoon in kwestie rechtop loopt.

De kniehoek  $\phi$  is dus 0 graden als het been gestrekt is. De hoek  $\alpha$  is dus 'P1-hoek' en  $\beta$  is 'P2-hoek'.

1. Bewijs de volgende formules voor de hoek van heup- en kniegewricht uitgedrukt in de hoeken  $\alpha$  en  $\beta$ :  $\theta = \alpha - 90$  en  $\phi = \beta - \alpha - 180$ .
2. Zet de grafieken van  $\beta$ , heup- en kniehoek uit tegen de tijd in aparte diagramvensters.

### ***Wiskundige analyse van de zwaai fase***

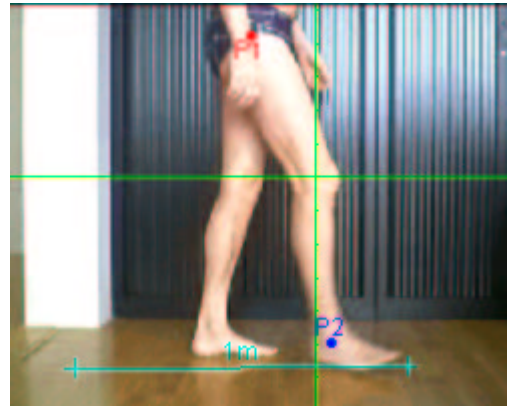
1. Ga na dat de hoek  $\beta$  en de kniehoek goed beschreven kunnen worden door een sinusoïde. Ga bij de hoek  $\beta$  na of de afwijking van de gemeten hoek en de functiefit opnieuw goed met een sinusgrafiek benaderd kan worden.
2. Ga na dat de heuphoek  $\theta$  tijdens de zwaai fase redelijk goed benaderd kan worden met de som van een parabool en een sinusoïde. Voor wie zich afvraagt waarom we geen som van twee sinusoïden nemen: kijk maar eens wat er gebeurt als je de heuphoek zo goed mogelijk met een sinusgrafiek probeert te benaderen.
3. Veronderstel dat het scheenbeen en dijbeen dezelfde lengte hebben, oftewel  $OP1 = OP2$  in bovenstaande schets. Je kunt dan de hoek die het lijnstuk P1P2 maakt met een denkbeeldige verticale lijn uitrekenen. Laten we dit de beenhoek noemen. Bewijs de volgende formule:
$$\text{beenhoek} = (\alpha + \beta) / 2 - 180.$$
4. Teken de grafiek van de beenhoek als functie van tijd. Ga na dat deze kromme weer heel goed met een sinusgrafiek is te benaderen.

Verlaat de activiteit.

Antwoord “ja” op de vraag “Resultaten of wijzigingen bewaren?” Kies er voor om de videoclip niet met het resultaat mee te bewaren; dit bespaart ruimte op een diskette.

### Activiteit 3: schrede bij langzaam lopen

Deze activiteit is een vervolg op de vorige opdracht waarin je de hoeken die het dijbeen en scheenbeen t.o.v. het assenstelsel met het kniegewricht als oorsprong maken hebt opgemeten voor de zwaafase en waarin je wiskundige verbanden tussen diverse hoeken en tijd experimenteel hebt ontdekt. In deze activiteit gaat het niet alleen meer over de zwaafase, maar over de hele loopcyclus, inclusief de fase waarin een been als standbeen fungeert.



Start zonodig Coach en kies de activiteit 3. *Schrede bij langzaam lopen.*

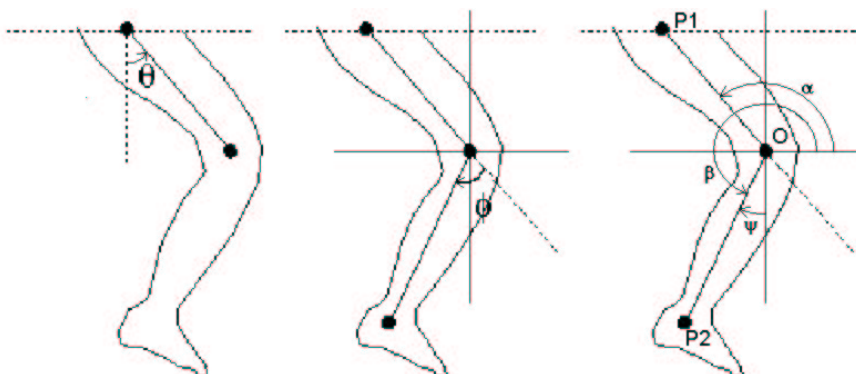
#### Inleiding

Op het video-meetvenster zie je hetzelfde filmpje als in de vorige activiteit: een kort filmpje van iemand die langzaam in een studeerkamer langs twee bureausten loopt. De breedte van één kast is 1 meter. Bij de ijking van de meting is rekening gehouden met het perspectief. Deze video is met een webcam opgenomen met een beeldsnelheid van 30 beeldjes per seconde.

In deze activiteit onderzoek je of de bewegingen van de onderste ledematen goed met goniometrische functies te beschrijven zijn. Concentreer je op de bewegingen van het rechter dijbeen en scheenbeen van de loper.

#### Grafieken van hoeken

We spreken weer af dat de heuphoek ( $\theta$ ) en de kniehoek ( $\phi$ ) worden gedefinieerd als in onderstaande figuur. De hoeken  $\alpha$  (P1-hoek) en  $\beta$  (P2-hoek) zijn in het videovenster opgemeten als functie van tijd door in elk beeldje van de videoclip de rechterknie als oorsprong van het assenstelsel te nemen. We hebben het tijdsinterval gekozen van het moment waarop de rechtervoet plat op de grond staat en het onderbeen loodrecht hierop staat tot het volgende moment waarop dit gebeurt of ietsjes later. Het rechterbeen doorloopt dan minstens een hele periode. De meting is dusdanig geijkt dat het tijdstip  $t=0$  samenvalt met het begin van het door ons gekozen tijdsinterval. De grafieken van de gemeten hoeken zijn in het diagramvenster uitgezet tegen de tijd. De hoek van het scheenbeen ( $\psi$ ) definiëren we als  $\psi = \beta - 270$ .



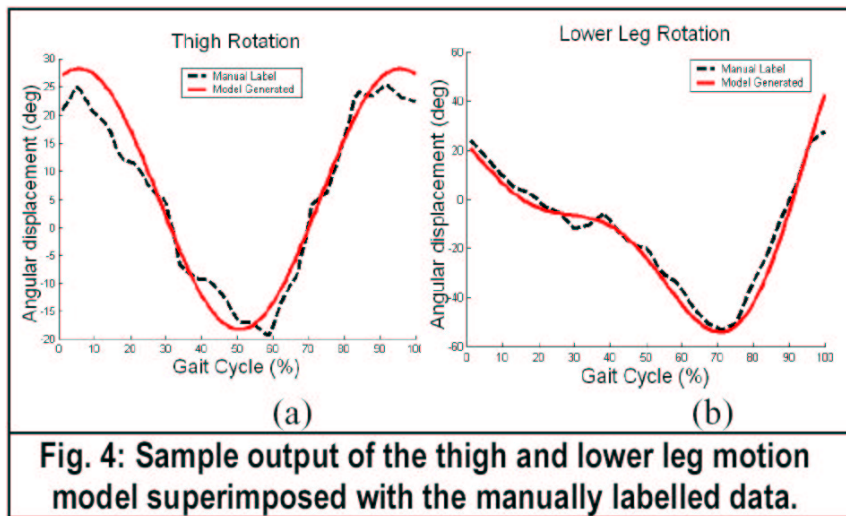
1. Zet de grafieken van scheenbeen-hoek, de heuphoek en de kniehoek uit tegen de tijd in aparte diagramvensters (de reden dat we de grafieken van de scheenbeen-hoek en van de tegengestelde kniehoek nemen is omdat we onze resultaten later gemakkelijk met

literatuurgegevens willen kunnen vergelijken). Denk er aan dat je een grootheid alleen in een formule kunt gebruiken, als deze al bekend is in het diagram, desnoeds onzichtbaar.

2. Meet de staplengte en de lengte van het rechterbeen op in de videoclip. Wat is de verhouding tussen staplengte en beenlengte van de loper? Bepaal ook de schredetijd. Bereken uit deze meetgegevens de gemiddelde gangsnelheid van de loper.

### Wiskundige analyse van de beenbeweging

1. Vergelijk de door jou gemeten grafieken van de heuphoek en de scheenbeen-hoek ( $\psi$ ) met de volgende resultaten uit Yam et al, Gait Recognition By Walking and Running: A Model-Based Approach. ACVW 2002: the 5<sup>th</sup> Asian Conference on Computer Vision, Melbourne, Australia.



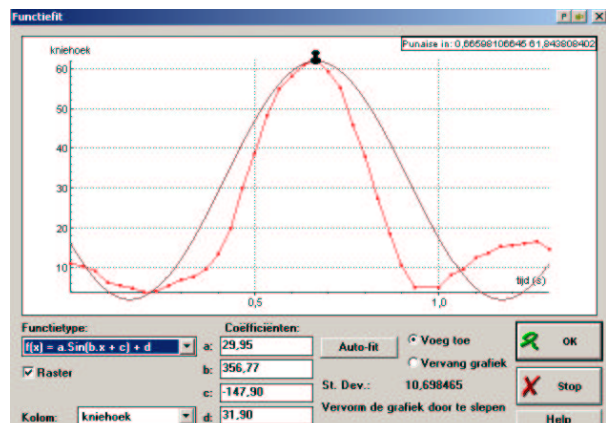
Welke overeenkomsten en verschillen merk je op?

2. Het model dat de wetenschappers in bovengenoemd artikel hanteren is hetzelfde model dat je al eerder hebt toegepast: een som van twee sinusoiden. Pas dit model toe op de door jou gemeten heuphoek, kniehoek en scheenbeen-hoek.

#### Nuttige tips voor functiefit

Als je bij functiefit de formule van een sinusoidale kiest, dan zal het in deze opdracht kunnen gebeuren dat je bij 'Auto-fit' niet vanzelf een geschikte kromme vindt. De reden is dat Coach vanuit de huidige getekende sinusoidale numeriek aan de slag gaat en naar een andere dan de bedoelde benadering toegaat. Dit is geen fout in de software, maar een gevolg van de gebruikte wiskundige methode. De enige remedie hiertegen is zelf handmatig een geschikte start-kromme te maken.

nevenstaande schermafbeelding toont een handmatige functiefit in actie. De formule is een sinusoidale; de kniehoek is tegen de tijd uitgezet. Eerst is de oorspronkelijke sinusgrafiek verschoven zodanig dat het maximum samenvalt met de grafiek van de kniehoek. Met linksklikken is de punaise vastgepind. Door een ander punt van de sinusgrafiek met de muis te verslepen kun je



een andere sinusoidale met hetzelfde maximum maken. Zodra je de sinusgrafiek redelijk in de buurt van de grafiek van de kniehoek hebt kun je op 'Auto-fit' klikken om Coach aan het werk te zetten om een geschikte sinuscurve te vinden.

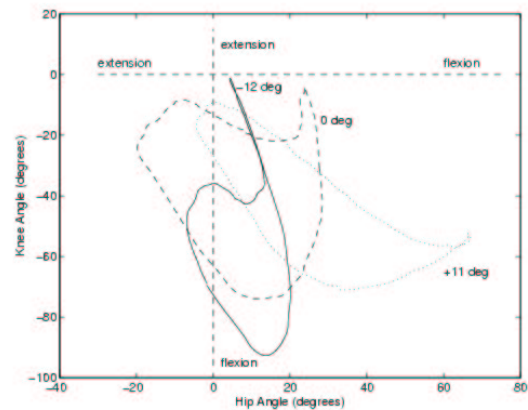
Zodra Coach met 'Auto-fit' stopt betekent dit nog niet automatisch dat de best bijpassende curve gevonden is. Coach vindt alleen dat het benaderingsproces een geschikt resultaat heeft opgeleverd. Een maat voor de afwijking met de grafiek van de meetgegevens is de standaarddeviatie (St. Dev.). Als je nog een keer op 'Auto-fit' klikt kan het gebeuren dat het benaderingsproces doorgaat naar een nog betere curve, d.w.z. naar een curve met een kleinere standaarddeviatie.

### Heup-knie cyclogram

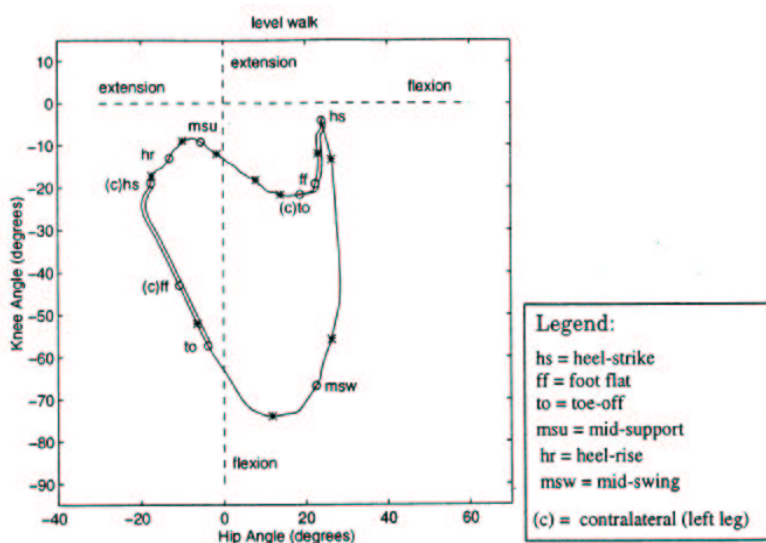
Veranderingen van hoeken van beensegmenten zijn niet onafhankelijk van elkaar. Hoe verder je bijvoorbeeld je dijbeen naar achteren strekt, des te kleiner is de maximale knieflexie. Daarom worden ook vaak hoeken tegen elkaar uitgezet. Dergelijke grafieken worden cyclogrammen genoemd. Wij bekijken in deze opdracht het heup-knie cyclogram, d.w.z. het diagram waarin de kniehoek tegen de heuphoek is uitgezet. Wiskundig gezien is dit niets meer dan een parameter-curve.

Het heup-knie cyclogram hangt af van de aard van de loopbeweging. Hiernaast zie je drie cyclogrammen in één figuur, horende bij normale gang op een vlakke ondergrond, op een hellend vlak omhoog (+11%) en omlaag (-12%).

(Bron: Goswami & Cordier, Moment-based parameterization of cyclograms of slope-walking. XVIth Congress of the Int. Society of Biomechanics, Tokyo, Japan, 1997. Beschikbaar op URL [www.cis.upenn.edu/~goswami/hgis.html](http://www.cis.upenn.edu/~goswami/hgis.html))



1. Construeer het volgende cyclogram: zet de kniehoek uit tegen de heuphoek. Vergelijk jouw grafiek met het volgende diagram (dat is overgenomen uit A. Goswami, A new gait parametrization technique by means of cyclogram moments: Application to human slope walking. *Gait & Posture*, 8 (1998), pp. 15-36. Beschikbaar op URL: [www.cis.upenn.edu/~goswami/hgis.html](http://www.cis.upenn.edu/~goswami/hgis.html)).



- hs (heel-strike) = hielcontact.
- ff (foot flat) = contact over de volle lengte van de voet.
- to (toe-off) = teenafzet.
- msu (mid-support) = het moment waarop het lichaamsswaartepunt precies boven de voet van het standbeen is.
- hr (heel-rise) = het van de grond gaan van de hiel.
- msw (mid-swing) = het moment waarop het zwaaibeen het standbeen passeert.

Stemt je zelfgemaakte heup-knie cyclogram hier goed mee overeen? Ook de karakteristieke momenten tijdens de loopbeweging, die in bovenstaande figuur in de legende genoemd worden? (hint: selecteer in het diagramvenster 'Lees uit')

2. Op welke momenten in de normale gang is de rechterknie nagenoeg gestrekt? Met welke punten in het heup-knie cyclogram corresponderen deze momenten?
3. Behalve in de zwaafase is er nog een moment waarop de rechterknie gebogen is. Wanneer is dit? Met welke stuk in het heup-knie cyclogram correspondeert dit? Welke biomechanische reden kun je voor dit buigen van de knie kunnen bedenken.
4. Bij het lopen draai je ook steeds je heup langs de verticale as van je lichaam heen en weer. Welke reden kun hiervoor bedenken?

#### ***Activiteit 4: Analyse van een zelfgekozen gangproces***

Je wordt in de gelegenheid gesteld om met een webcam eigen loopbewegingen of die van medeleerlingen te filmen. Met Coach kun je het gefilmde gangproces analyseren. Je kunt denken aan bewegingen zoals gewoon lopen, joggen, rennen en hinkelen, maar ook aan lopen met krukken, achteruit lopen, dansen, fitnessbewegingen of rare loopbewegingen. Je kunt onderzoeken of lopen met enkelgewichten verschil maakt met gewoon lopen en of lopen op schoenen met hoge hakken anders dan normaal is, of beenlengte van invloed is op het looppatroon. Kortom, je bent hier min of meer vrij in de keuze van het onderwerp.

Er wordt van je verwacht dat je het heup-knie cyclogram van je eigen gangproces construeert en analyseert. Ook moet je dit cyclogram vergelijken met een cyclogram van een van een afwijkend gangproces dat door een klasgenoot is aangeleverd. Maak van de analyse van je eigen gangproces m.b.v. het heup-knie cyclogram en van de vergelijking met andermans heup-knie cyclogram een kort en bondig verslag.

N.B. Je eigen videoclip moet je met de optie 'Haal Video op' binnenhalen in het videomeetvenster.