

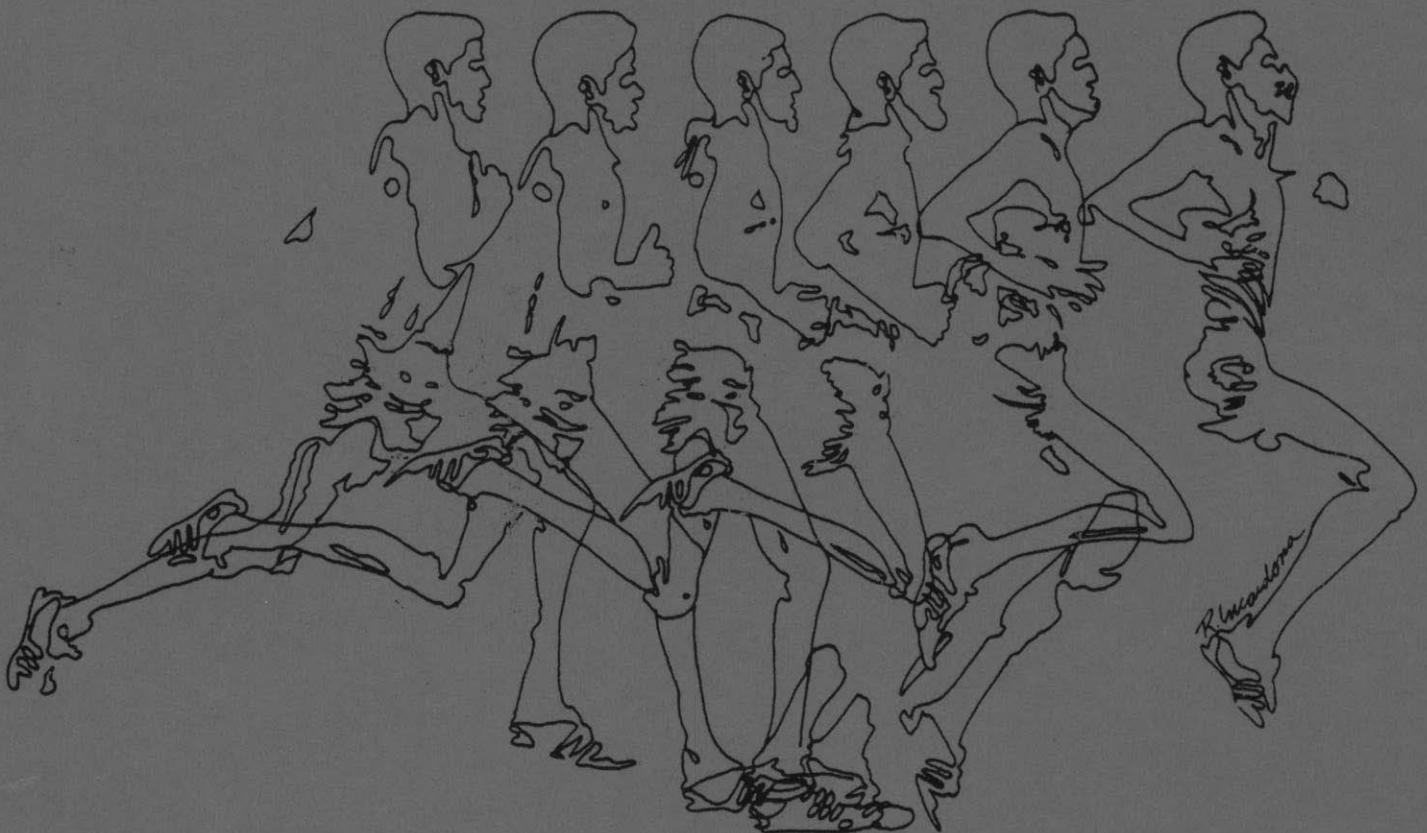
TER INZAGE

NIET MEENEMEN S.V.P.

THEMA

SPORT

BASISDEEL



vwo bovenbouw
natuurkunde projekt

PLON UvA RUG

VWO-BOVENBOUW NATUURKUNDE PROJECT

Het VWO-bovenbouw curriculum in wording bestaat uit thema's, blokken en onderzoekperiodes. In de thema's staat een themavraag uit de dagelijkse omgeving, de techniek, de samenleving of de wetenschap centraal.

In blokken worden belangrijke fysische onderwerpen in hun samenhang gegeneraliseerd.

OVERZICHT VAN HET EXPERIMENTELE CURRICULUM

4e klas	5e klas	6e klas
Lijfwerk	Sport	Satellieten
Muziek	Motoren	Blok Elektromagnetische
Verkeer	Blok Arbeid	Straling
Blok Bewegingen	Rond 1900	Hoe ontwikkelt de wetenschap zich?
Het Weer	Automatisering	Open onderzoek
Energie	Blok Potentiaal	Blok Repeteren voor het
	Ioniserende Straling	Examen
	Blok Deeltjesmodellen	
	Keuze-onderwerpen	

Experimenteel natuurkunde thema voor de 5e klas VWO. Samengesteld door medewerkers van het VWO-bovenbouwproject en projektleraren.

© 1984 Rijksuniversiteit Utrecht, Universiteit van Amsterdam,
Rijksuniversiteit Groningen

PLON, Lab. voor Vaste Stof, Postbus 80.008, 3508 TA Utrecht
Didaktiek Natuurkunde UvA, Nieuwe Achtergracht 170, 1018 WV Amsterdam
Didaktiek Natuurkunde RUG, Landleven 12, 9747 AD Groningen

THEMA

SPORT

BASISDEEL



Hoofdstuk 1	Oriëntatie	5
Hoofdstuk 2	Basisbegrippen voor sportbewegingen	13
Hoofdstuk 3	Evenwicht bewaren	23
Hoofdstuk 4	Analyse van worpen	35
Hoofdstuk 5	Krachten in het menselijk lichaam	47

INHOUD:

- 1.1 Sport en natuurkunde
- 1.2 De opzet van het thema 'Sport'



Sport en wetenschap.

1.1 SPORT EN NATUURKUNDE

In een thema 'Sport' zouden veel verschillende zaken aan de orde kunnen komen. Training, techniek en tactiek bijvoorbeeld. Of spelregels, blessures en doping. Het gaat ons echter niet om 'sport in het algemeen' maar juist om 'sport en natuurkunde'. De natuurkunde kan helpen om sportsituaties beter te leren begrijpen. Een voorbeeld kan dit duidelijk maken.

Laten we eens kijken naar het hoogspringen. Stel dat je probeert over een hoogte van 1,60 m te springen. Als je los komt van de grond, werkt alleen nog de zwaartekracht op je lichaam. De luchtwrijving laten we even buiten beschouwing. Zoals je je nog wel zult herinneren grijpt de zwaartekracht altijd op het *zwaartepunt* van een voorwerp aan. Bij de mens ligt dit punt ergens onder de navel, als je tenminste rechtop staat met je handen langs je lichaam. Dit *lichaamszwaartepunt* is van belang, omdat je daarmee duidelijker wordt hoeveel meter je je lichaam in feite omhoog werkt. Licht dit punt op 1,00 m dan hoef je eigenlijk maar 0,60 m te 'springen'. Dit laatste klopt niet helemaal, want je moet *over* de lat, niet er doorheen. Om te weten te komen hoever je boven de lat zit, moet je de afstand van lat tot lichaamszwaartepunt meten. De bovenstaande redenering is weergegeven in het volgende plaatje.

ORIENTATIE

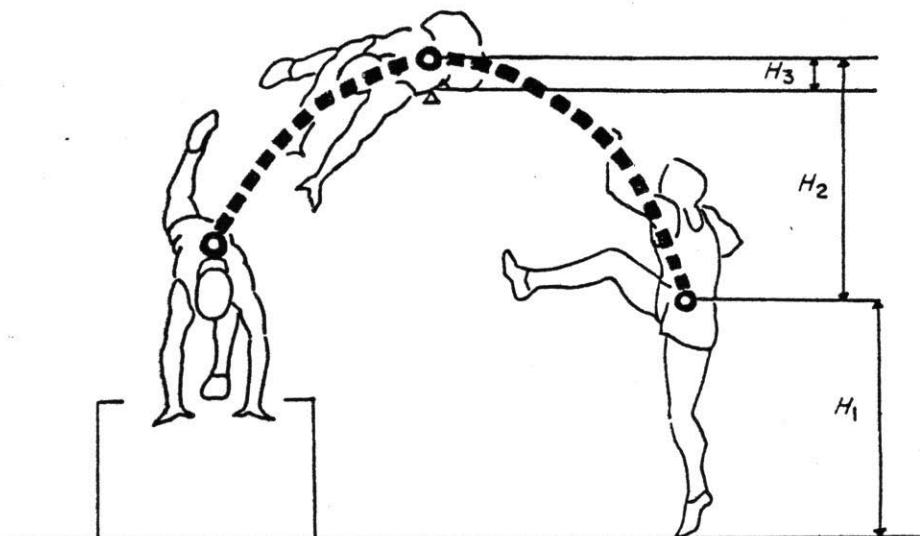


fig. 1.1 De gesprongen hoogte H is te ontleden in delen H_1 , H_2 en H_3 .

De figuur laat zien dat de uiteindelijk overbrugde hoogte (de hoogte van de lat) te ontleden is in drie verschillende onderdelen H_1 , H_2 en H_3 .

- H_1 is de hoogte van het lichaamszwaartepunt van de hoogspringer.
- H_2 is de afstand, waarover de atleet zijn lichaamszwaartepunt omhoog brengt. Deze afstand wordt bepaald door de verticale snelheid vlak na de afzet en die op zijn beurt weer door de afzetkracht (grootte en richting), de tijd dat deze werkzaam is en de massa van de springer.
- H_3 is het hoogteverschil tussen de maximale hoogte van het lichaamszwaartepunt en de hoogte van de lat. Als we voor de hoogte H schrijven:
 $H = H_1 + H_2 - H_3$,
dan wordt duidelijk dat in de getekende situatie H_3 een negatieve bijdrage levert: H_3 moet zo klein mogelijk gehouden worden.

We kunnen de analyse van het hoogspringen als volgt in een schema weer-
geven:



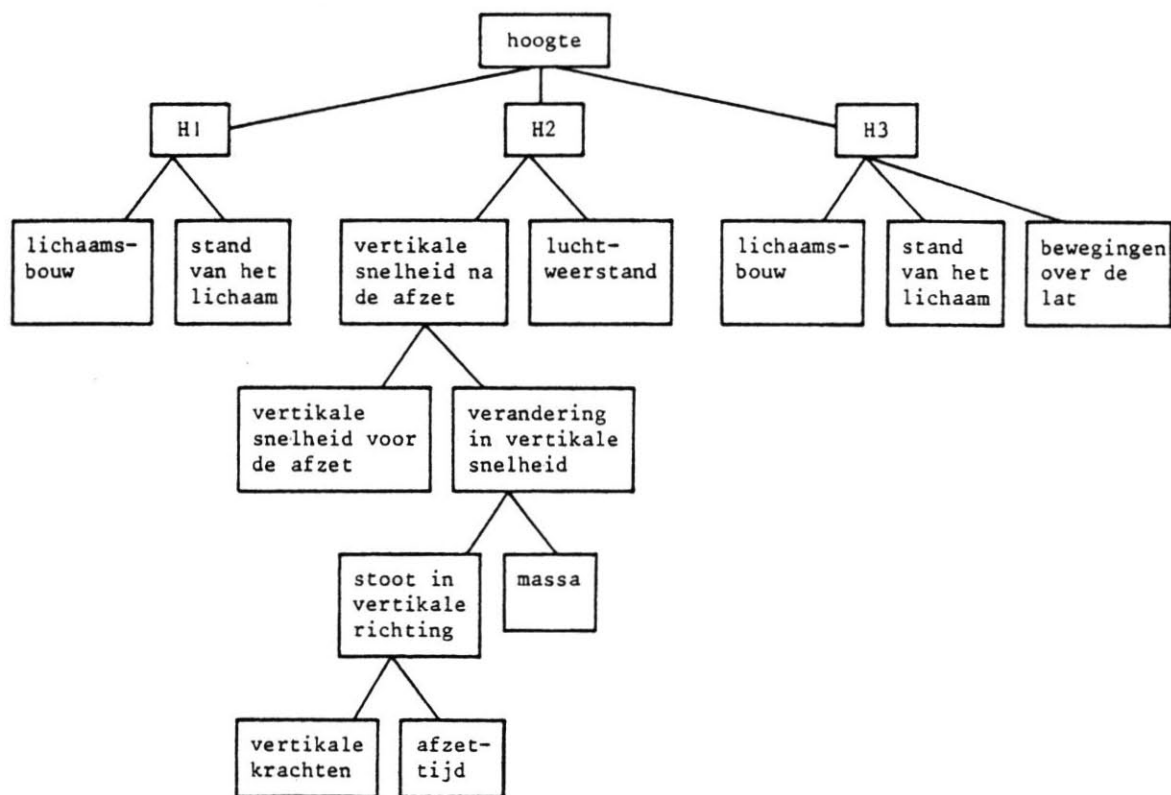


fig. 1.2 Belangrijke factoren bij het hoogspringen.

Het schema geeft enkele belangrijke factoren, die H1, H2 en H3 bepalen. Je kunt nu door je *techniek* aan te passen proberen jouw H2 zo groot mogelijk en je H3 zo klein mogelijk te maken.

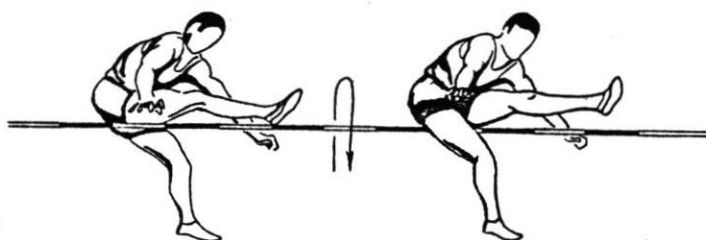


fig. 1.3 De 'schaar'-sprong, een sprong voor beginners.

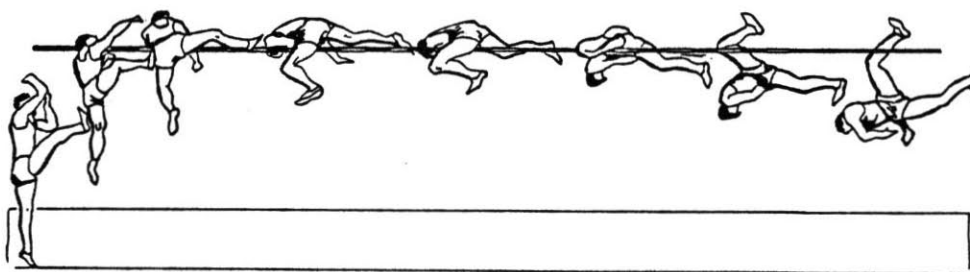


fig. 1.4 De 'straddle', de techniek vanaf de jaren '50.

ORIENTATIE

Opgave 1 Hoogspringen en natuurkunde

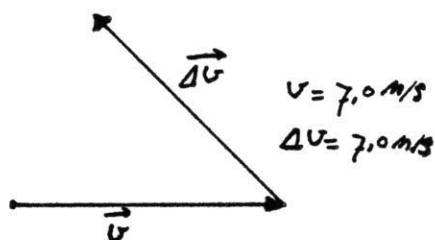


fig. 1.5 De horizontale aanloop-snelheid v en de snelheidsverandering Δv in een vektordiagram.

- Hieronder volgen een paar kenmerken van goede hoogspringers. Kun jij aangeven op welk onderdeel (H1, H2, H3) deze betrekking heeft?
 - lange benen
 - sterke benen
 - kleine massa
 - lenig lichaam
- Lange benen en kleine massa zijn kenmerken van een bepaalde lichaamsbouw. Ken je nog meer sporten waar een bepaalde lichaamsbouw invloed heeft op de prestaties?
- Uit het thema 'Verkeer' halen we de formule:

$$\vec{F} \cdot \Delta t = m \cdot \Delta \vec{v}$$

Deze formule kun je gebruiken bij de afzet. Op welk gedeelte van fig. 1.2 heeft dit betrekking?
- Kun je in fig. 1.5 aangeven wat de richting van de afzet is geweest? En wat is nu de richting van de sprong?
- Bereken in dit geval de grootte van de afzetkracht, als gegeven is dat de afzettijd 0,20 s is en de massa van de atleet 70 kg.
- Welke sprong heeft de kleinste H3, de 'schaar' of de 'straddle'?

Natuurlijk zijn er vele vragen te verzinnen, waarop het schema niet zomaar een antwoord geeft. Spring je nu hoger als je sneller komt aanlopen? Is het verlengen van de afzettijd altijd voordelig of komen dan andere zaken in de knel? Voor de beantwoording van dit soort vragen zijn metingen in de praktijk nodig.

Het rechter gedeelte van fig. 1.2, over de factoren die H3 bepalen, kun je op dit moment nog niet echt goed begrijpen. Daarvoor heb je meer kennis nodig over het lichaamszwaartepunt en hoe je die kunt manipuleren. In hoofdstuk drie komen we daar uitgebreid op terug. Het lichaamszwaartepunt blijkt namelijk in veel sportsituaties een belangrijke rol te spelen. Als voorproefje laten we nog even de 'flop' techniek zien, waarmee Dick Fosbury in 1968 goud won op de Olympische Spelen en die sindsdien algemeen gebruikt wordt. Let daarbij vooral op de manier waarop de lat gepasseerd wordt.

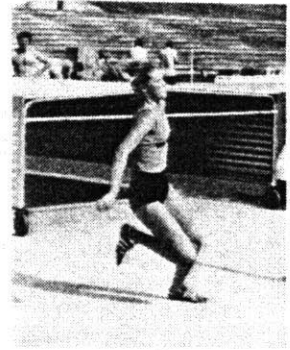
ORIENTATIE



1



2



3



4



5



6



7



8

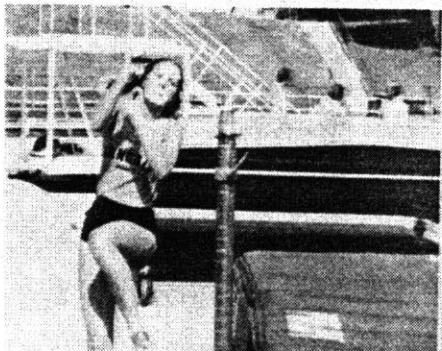


9

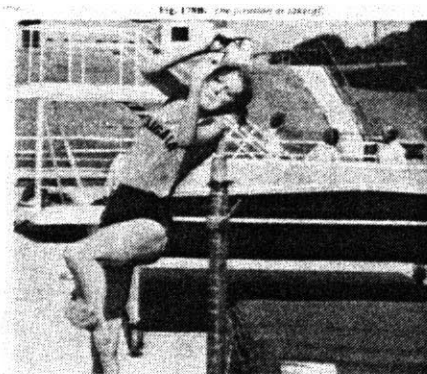


10

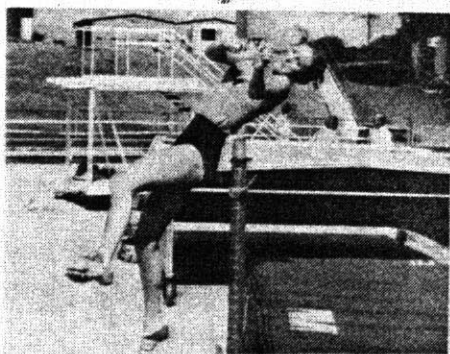
ORIENTATIE



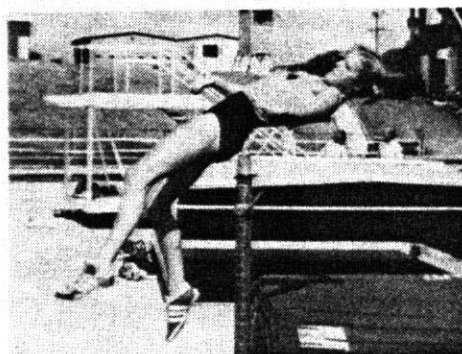
11



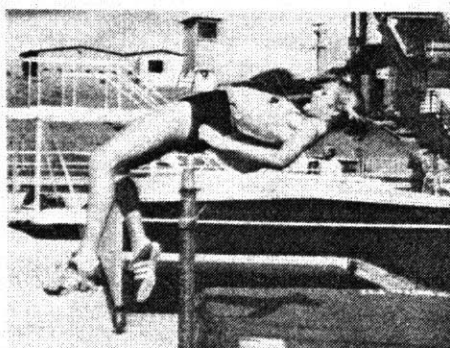
12



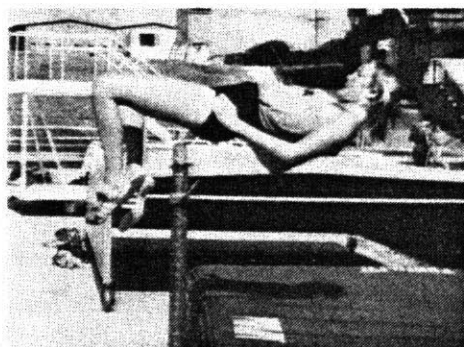
13



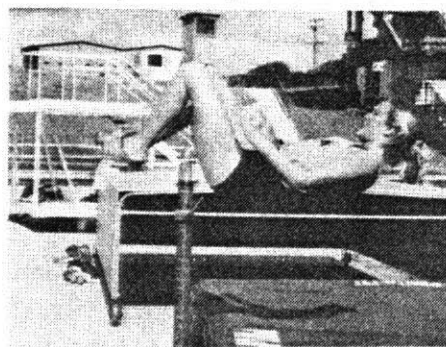
14



15



16



17

fig. 1.6 De 'flop'-techniek, door Dick Fosbury in 1968 geïntroduceerd en sindsdien algemeen gebruikt.

Het hiervoor uitgewerkte voorbeeld laat zien hoe je met natuurkundige begrippen een sportsituatie kunt beschrijven en analyseren. In dit geval richtte onze aandacht zich op de beweging van de atleet. Ook het materiaal waarmee een sport beoefend wordt, kan onderwerp van studie zijn, zoals het volgende voorbeeld laat zien.

Eind 1983 verbeterde de wielrenner Moser tot tweemaal toe het wereldrecord op een baan in Mexico. Hij reed op een 'aerodynamische' fiets en met een glad pak aan. Het kranteknipstel bericht hierover:

Wetenschap gaf Moser zijn winnende wielen

Alles werd wetenschappelijk uitgerekend voor Francesco Mosers verbetering van het wereldrecord op de fiets. Dichte (vlieg)wielen leverden de coureur 1,5 procent meer snelheid op. Was Moser alleen maar een verlengstuk van de computer?

Alleen al de wielen maakten de machine waarop Francesco Moser deze week het wereldrecord fietsen op 51,151 kilometer zette, tot een geheimzinnige schepping. Deze meest opvallende onderdelen — op de renner zelf na — uit de wetenschappelijke benadering van een topprestatie leverden de coureur een vermogenswinst van 15,1 Watt op, vergeleken met de traditionele, gespaakte fietswielen. Omgerekend in snelheid betekent dit dat Moser 1,5 procent sneller vooruit kwam. Vergeleken met het record van Eddy Merckx (49,431 kilometer) blijft nog twee procent snelheidswinst te danken aan de veertig wetenschappelijke begeleiders die Moser in Mexico Stad om zich heen had.

Vermogenswinst

Bedrijfsleider ir Theo Boshuizen van

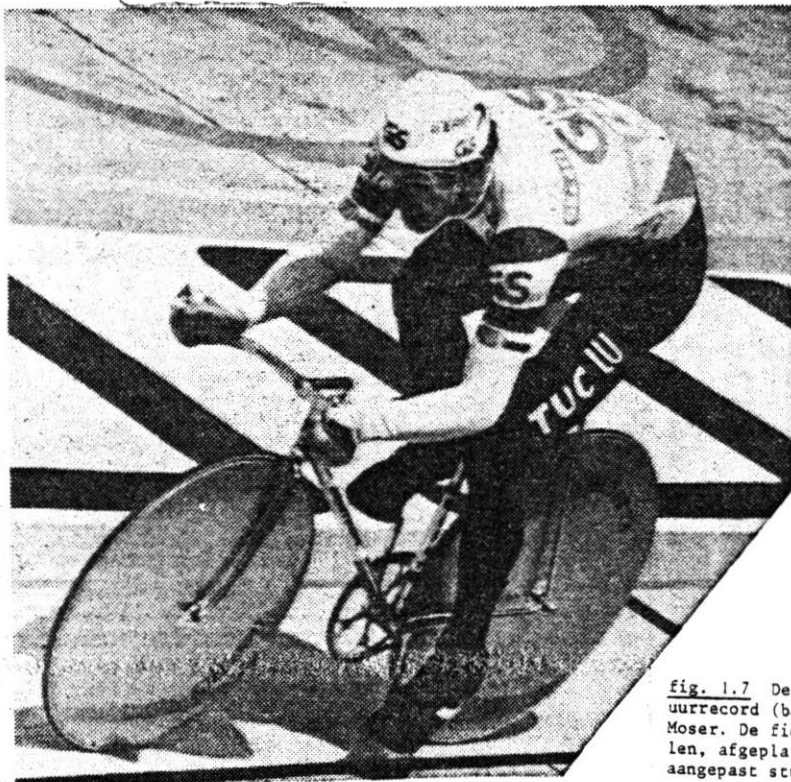


fig. 1.7 De aanval op het wereldrecord (baan-)wielrennen door Moser. De fiets heeft dichte wielen, afgeplatte buizen en een aangepast stuur.

Opgave 2 *Wielrennen en natuurkunde*

- Welke natuurkundige begrippen heb je nodig om deze sport te analyseren?
- Heeft het zin om te proberen een zo licht mogelijke fiets te bouwen voor zo'n wereldrecordpoging?
- Wat is het effect van de genomen maatregelen (zie het onderschrift van de figuur)?
- Op welk ander gebied zou (natuurkundig) onderzoek een bijdrage kunnen leveren aan de verbetering van het record?
- Waarom koos Moser Mexico uit voor zijn poging?

Het voorbeeld van het hoogspringen laat zien waar het ons vooral om gaat in het basisdeel van dit thema, de eerste vijf lessen. De vraag,

ORIENTATIE

die in dit basisdeel centraal staat, luidt:

Hoe kun je met natuurkundige begrippen houdingen en bewegingen van het menselijk lichaam in de sport beter leren begrijpen?

Beter begrip kan leiden tot verbetering van je techniek, tot voorkomen van blessures of gewoon tot meer plezier in het beoefenen en het kijken naar sport.

Het voorbeeld van de wielrensport maakt duidelijk wat we in de keuze-onderzoeken na het basisdeel zullen gaan doen. Deze onderzoeken zijn in een apart boekje gebundeld. De nadruk ligt daar meer op sportattributen (fiets, surfplank etc.). Daardoor wordt de vraagstelling bij deze onderzoeken verruimd tot: Hoe kun je met natuurkundige begrippen deze sport en de bijbehorende hulpmiddelen beter leren begrijpen?



1.2 DE OPZET VAN HET THEMA SPORT

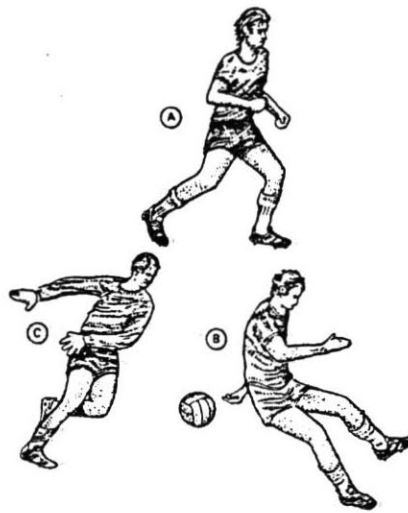
Het *basisdeel* van het thema (dit boekje) begint met een oriëntatie over het gebruik van de natuurkunde in de sport (hoofdstuk 1). Vervolgens behandelen we de basisbegrippen van de menselijke beweging (hoofdstuk 2). Hierbij beginnen we met de beweging van het lichaam op te vatten alsof we met een kogelbaan te maken hebben. Daarbij komen enkele oude begrippen uit het thema 'Verkeer' en het blok 'Bewegingen' terug. Vervolgens wordt het lichaam opgevat als een stijf voorwerp met bepaalde afmetingen en tenslotte als een menselijk lichaam met beweegbare ledematen. Een begrip dat bij elke sport van belang is staat centraal in hoofdstuk 3: 'balans' of 'evenwicht'. Daarbij blijkt de plaats van het lichaamszwaartepunt een cruciale rol te spelen. Aan het slot van dit hoofdstuk komen we nog even terug op het hoogspringen. Het manipuleren van je lichaamszwaartepunt is daar namelijk van doorslaggevende betekenis. In hoofdstuk 4 worden worpen geanalyseerd. Hierbij moeten we nauwkeurig naar de bewegingen van vele verschillende lichaamsdelen kijken. We sluiten dit basisdeel af met een kort hoofdstuk over krachten die in het menselijk lichaam werkzaam zijn bij sportbeoefening.

Het volgende 'Sport'-boekje bevat de onderzoeken doe je zult gaan uitvoeren. Daarover meer in het volgende deel.

2 BASISBEGRIPPEN VOOR SPORTBEWEGINGEN

INHOUD:

- 2.1 Rechthoekige bewegingen
- 2.2 Translatie en rotatie
- 2.3 Krachten en momenten
- 2.4 Complexe bewegingen



2.1 RECHTHOEKIGE BEWEGINGEN

Bijna alle bewegingen die in het thema 'Verkeer' en het blok 'Bewegingen' ter sprake kwamen waren rechthoekige bewegingen. Ook in de sport komen deze veel voor. Denk maar eens aan de 100 m sprint, zwemmen en de baan van een voetbal. Om de belangrijkste begrippen nog eens op een rij te zetten, nemen we het voorbeeld van een zwemster, die een rechte baan beschrijft met de 'schoolslag'.

De onderstaande figuur is het v, t -diagram van de beweging: de snelheid als functie van de tijd. We hebben juist dit diagram gekozen en niet bijvoorbeeld het s, t -diagram, omdat hiermee de aard van de 'schokkende' zwembeweging goed duidelijk wordt.

BASISBEGRIPPEN VOOR SPORTBEWEGINGEN

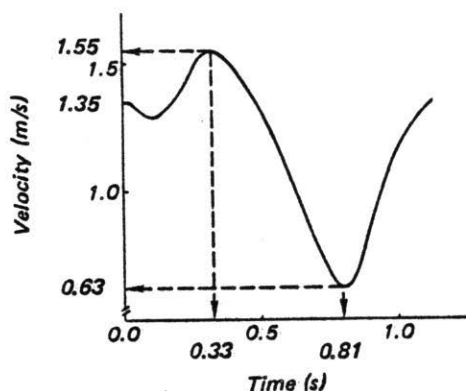


fig. 2.1 Het v, t -diagram van een zwemster met de 'schoolslag'. Er is één cyclus weergegeven. Let op de onderbroken verticale as.

Opgave 1 De schoolslag



fig. 2.2 Verschillende momenten binnen één cyclus van de schoolslag.

- Welke krachten werken op de zwemster?
- Verklaar het snelheidsverloop van de beweging en geef bij nevenstaande plaatjes aan met welk tijdstip zij corresponderen in het v, t -diagram.
- Uit 'Verkeer' herhalen we:

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$
($\bar{a}$ is de gemiddelde versnelling)

Bereken de gemiddelde versnelling voor de volgende periodes:

- de voortstuwende beweging van de armen (van $t = 0,0$ s tot $t = 0,33$ s);
 - tijdens het intrekken van de benen ($t = 0,33$ s tot $t = 0,81$ s);
 - tijdens één hele cyclus.
- Uit het v, t -diagram kan ook de *verplaatsing* bepaald worden. Uit het blok 'Bewegingen' weet je dat dit de oppervlakte onder de v, t -grafiek is. Bereken de verplaatsing van de zwemster binnen één volledige cyclus. Benader daartoe de cyclus met enkele rechte lijnen.

2.2 TRANSLATIE EN ROTATIE

Naast de beschrijving van bewegingen volgens een rechte lijn kwamen in het blok 'Bewegingen' bij het beschrijven van 'richtingen' ook niet-rechthoekige bewegingen voor. Een niet-rechthoekige beweging is bijv. de baan van een turner bij een sprong over het paard. Bekijk in onderstaande figuur de baan van de turner vanaf het moment dat hij los is van het paard.

BASISBEGRIPPEN VOOR SPORTBEWEGINGEN

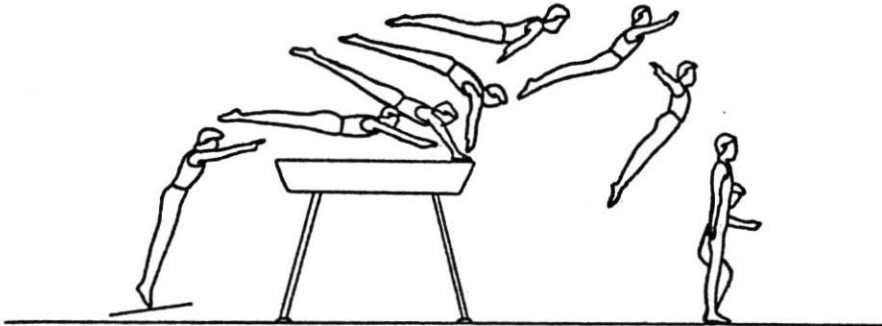


fig. 2.3 Een sprong over het paard.

Deze baan doet denken aan de baan van het weggeschoten kogeltje uit het blok 'Bewegingen'. Die baan is hieronder weergegeven.

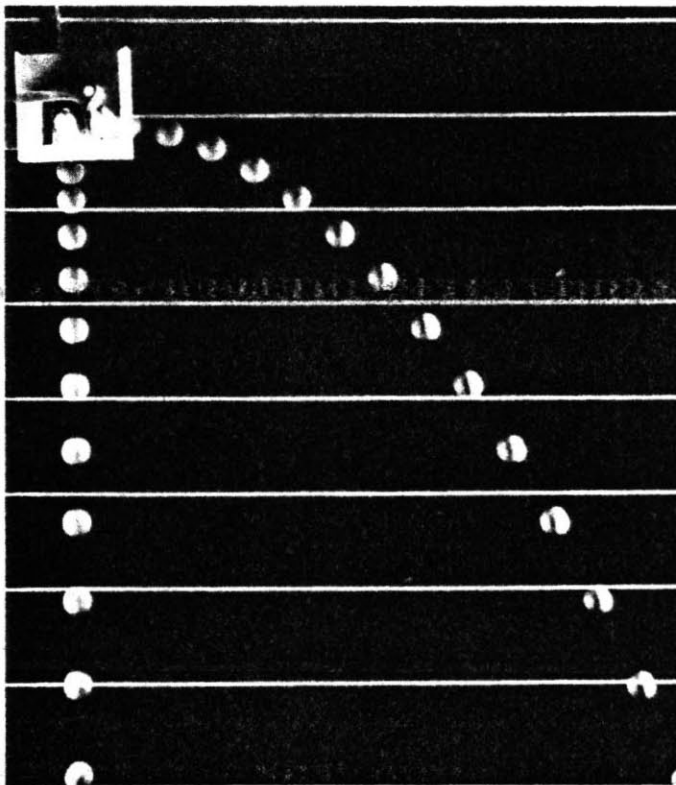


fig. 2.4 Stroboscopische foto van een losgelaten en een weggeschoten balletje.

BASISBEGRIPPEN VOOR SPORTBEWEGINGEN

Opgave 2 *De baan van de turner*

- Wat kun je (bij benadering) zeggen over de snelheid van de turner in het hoogste punt? Welke kracht werkt er op de turner in dit punt? Hoe groot is daardoor zijn versnelling? In welke richting?
- Vergelijk de turner en de kogel vanaf het moment dat ze beide vrij door de lucht bewegen. Mag de beweging van de turner vergeleken worden met die van het balletje?
- Beschrijf de horizontale en de verticale beweging van de turner.
- Leg uit dat de baan van de turner gezien kan worden als de *vectorsom* van bewegingen in de horizontale en verticale richting.

De beweging van de turner kan bij benadering beschreven worden met de kogelbaan. We gaan dan even voorbij aan het feit dat de turner lichaamsdelen heeft, die een bepaalde stand kunnen hebben. Om dit probleem te omzeilen kunnen we ook zeggen:

Het *lichaamszwaartepunt* van de turner beschrijft een kogelbaan en over de beweging van de stand van het lichaam spreken we ons nog niet uit. Dan heb je een natuurkundig juiste bewering gedaan. Maar hoe beschrijf je nu de volgende beweging: de turner maakt er nog een salto voorwaarts bij.

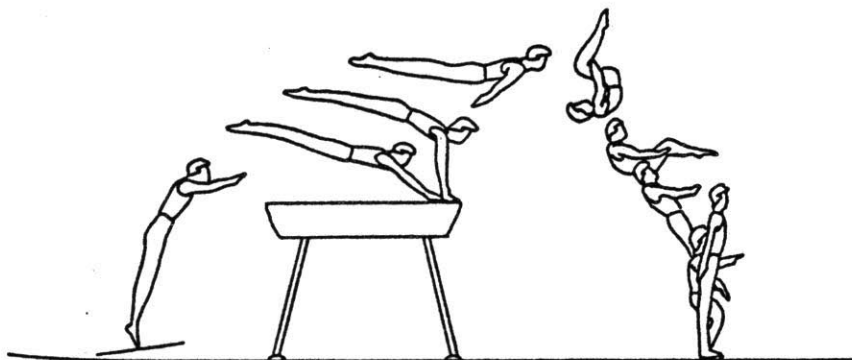


fig. 2.5 Een sprong over het paard,
nu met salto voorwaarts.

Wanneer we deze beweging beschrijven met alleen een kogelbaan, geven we een belangrijk onderdeel van de beweging, de salto, niet weer. Een betere weergave is: de beweging bestaat uit

- een kogelbaan
- een draaiing voorwaarts.

Om verplaatsing in de sport te beschrijven hebben we dus in ieder geval twee soorten bewegingen nodig:

- translatie*
- rotatie*.

BASISBEGRIPPEN VOOR SPORTBEWEGINGEN

Een sporter voert een *translatie* uit, als zijn lichaam in dezelfde stand blijft tijdens de beweging. Nauwkeuriger gezegd: als de verbindingslijn van elk willekeurig tweetal punten bij de verplaatsing dezelfde richting behoudt. In de voorbeelden hieronder is die verbindingslijn met een dikke streep aangegeven.

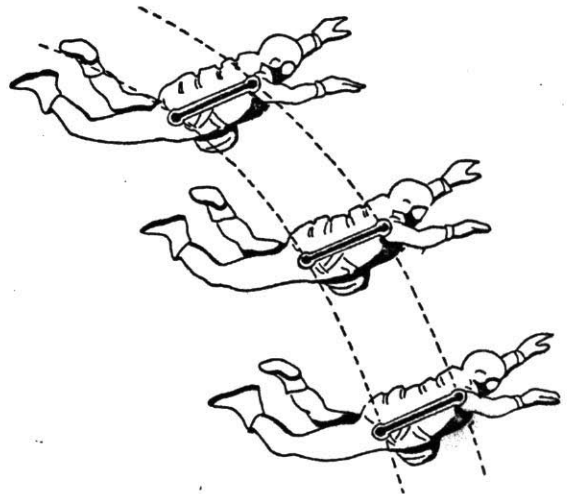
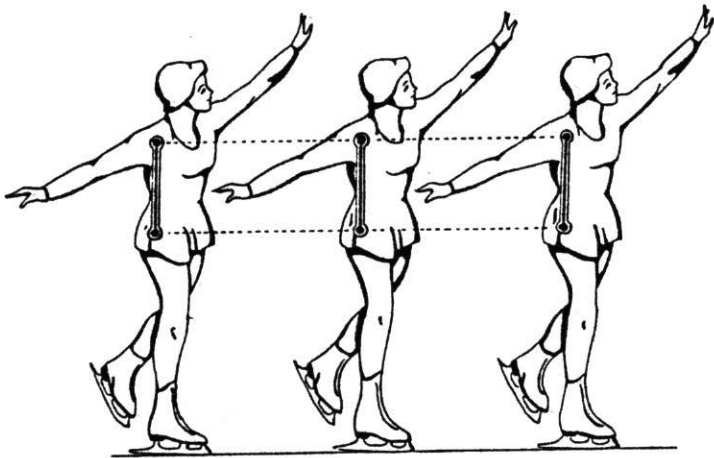


fig. 2.6 Twee voorbeelden van een translatie.
Links: volgens een rechte lijn.
Rechts: volgens een curve.

Een voorwerp voert een *rotatie* uit, als alle punten van het voorwerp een cirkelbaan beschrijven (alle in dezelfde tijd en in dezelfde richting). De draaiing geschiedt rond een *as van rotatie*. Dit kan een vaste as zijn, maar ook een denkbeeldige, zoals de figuur duidelijk maakt.

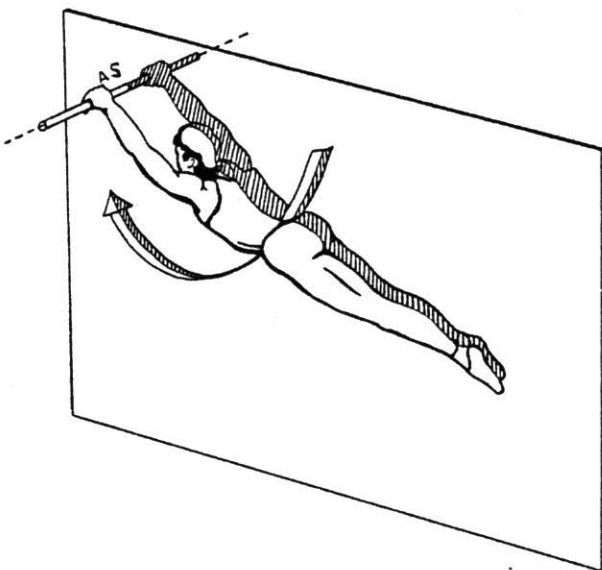


fig. 2.7.a Voorbeeld van een rotatie.
De rekstok is hier de as van rotatie.

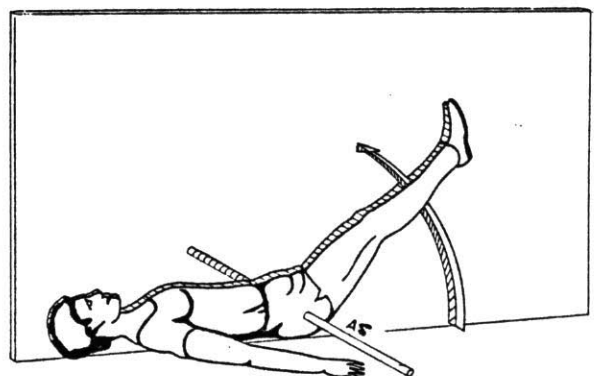


fig. 2.7.b De salto in de lucht,
voorbeeld van een rotatie om een denkbeeldige as.

BASISBEGRIPPEN VOOR SPORTBEWEGINGEN

Een willekeurige beweging zal meestal een *combinatie* van translatie en rotatie opleveren.

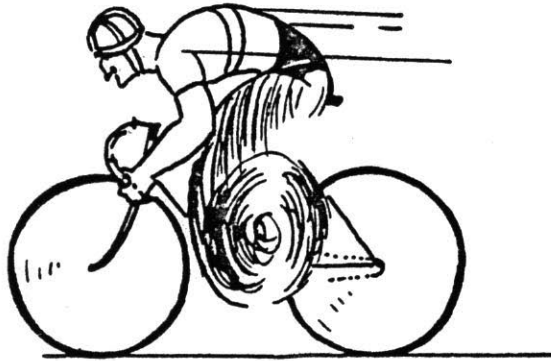


fig. 2.8 Een willekeurige beweging:
combinatie van translatie en rotatie.

Opgave 3 *Een wielrenner*

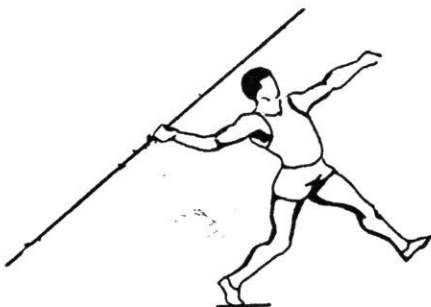
Ga bij de volgende onderdelen na of ze een translatie, een rotatie of een combinatie van beide vertonen:

- a. een trapper
- b. de as van het voorwiel
- c. het zadel
- d. het ventiel van het achterwiel.

Is er een onderdeel aan te wijzen dat alleen een rotatie uitvoert?

2.3 KRACHTEN EN MOMENTEN

Een kracht veroorzaakt een versnelling. Dat kwam aan de orde in het thema 'Verkeer'. Binnen dat thema kwamen echter alleen translaties aan bod. Van een auto, waar we de versnelling van berekenden, maakte het dan ook niet uit wat de vorm en de afmetingen waren. Voldoende was het te weten welke massa de auto bezat en hoe groot de voortstuwende kracht was. De auto zelf zou net zo goed opgevat kunnen worden als een klein kogeltje of zelfs als een punt, met alle massa daarin samengedacht.



In de sport is het echter vaak van belang waar precies de kracht op het voorwerp aangrijpt. Bij speerwerpen is het bijv. van belang op welke plaats je de speer vastgrijpt. De translaties vinden alleen onder een bijzondere voorwaarde plaats, zoals de volgende opgave laat zien.

BASISBEGRIPPEN VOOR SPORTBEWEGINGEN



Paalwerpen, een oude Schotse sport.

Proefje 3 *Paalwerpen*

Probeer eens een stok of een balk weg te werpen zonder dat deze gaat draaien. Kun je aangeven onder welke omstandigheid je dit lukt?

Je ziet wel dat de stok meestal wél een rotatie uit gaat voeren. Alleen als de kracht aangrijpt op het *zwaartepunt* van het voorwerp, wordt er een zuivere translatie uitgevoerd. In alle andere gevallen treedt er altijd zowel translatie als rotatie op.

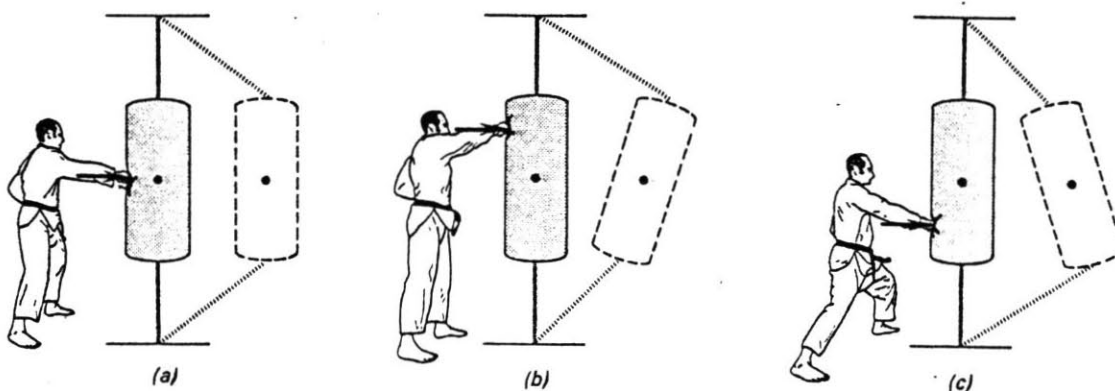


fig. 2.9 Een kracht door het zwaartepunt veroorzaakt translatie. Een kracht die niet door het zwaartepunt gericht is, veroorzaakt zowel translatie als rotatie. Er is hier geen vaste as.

Als er sprake is van een vaste as, dan kunnen we de grootte van het draai-effekt berekenen. Deze is evenredig met de grootte van de kracht (een tweemaal zo grote kracht geeft een tweemaal zo groot draai-effekt). Ook de *richting* van de kracht is van belang.

Als de trapper van je fiets bovenaan zit, kun je de kracht van je been-spieren lang zo effectief niet gebruiken vergeleken met de situatie dat de trapper halverwege zit. Bovendien is de afstand van de kracht tot het draaipunt van belang. Een duw tegen de deurknop levert meer op dan een duw vlak naast de scharnieren. Dit wordt in het begrip *moment* samengevat:

$M = F \cdot d$ waarbij F = de kracht, gemeten in Newton (N)
 d = de arm, gemeten in meters (m)
 M = het moment, gemeten in Newton meter (Nm)

BASISBEGRIPPEN VOOR SPORTBEWEGINGEN

We spreken van *moment van een kracht*.
Een moment veroorzaakt een rotatie.

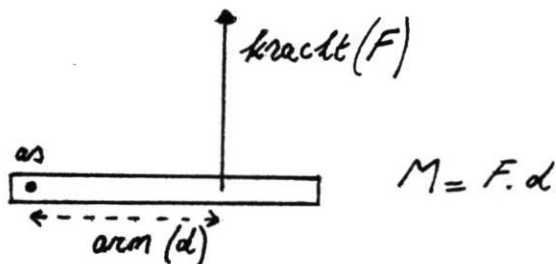
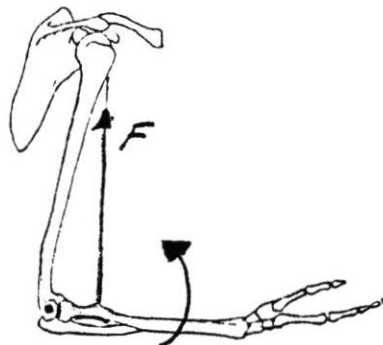


fig. 2.10 Het moment van een kracht is het produkt van de grootte van de kracht en de 'arm'.



Een moment veroorzaakt een rotatie.

Als de kracht een willekeurige richting heeft, moeten we er op letten dat de arm de *loodrechte afstand* van de as tot (het verlengde van) de kracht voorstelt. Het verlengde van de kracht (de lijn door de vector van de kracht heen) noemen we *werklijn* van die kracht.

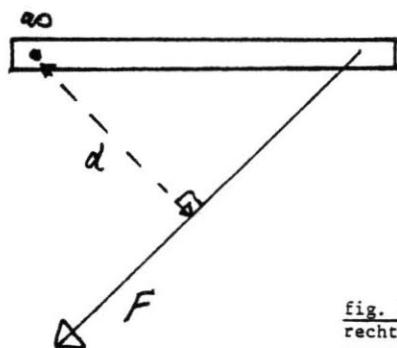
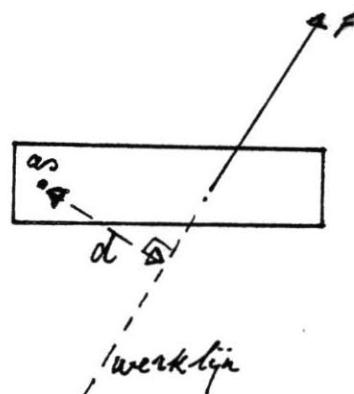


fig. 2.11 Voor de arm moet de loodrechte afstand van as tot werklijn genomen worden.



In het menselijk lichaam zijn veel voorbeelden van momenten te vinden.

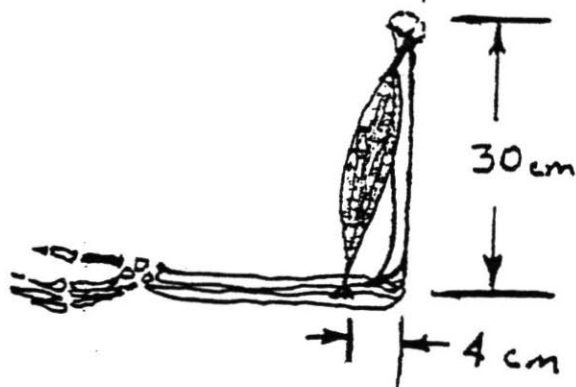


fig. 2.12 Het moment dat bij het buigen van de onderarm door de biceps op deze onderarm wordt uitgeoefend.

BASISBEGRIPPEN VOOR SPORTBEWEGINGEN

Opgave 4 *Onderarm*

Bereken in bovenstaand plaatje het moment van de spierkracht ten opzichte van het ellebooggewricht (as van rotatie). De spierkracht bedraagt 100 N.

2.4 COMPLEXE BEWEGINGEN

Met de combinatie van translatie en rotatie kun je alle bewegingen van *stijve* voorwerpen beschrijven. In de sport heb je echter te maken met het menselijk lichaam, dat beweegbare ledematen bevat. Elk lichaamsdeel voert een eigen, ingewikkelde beweging uit.

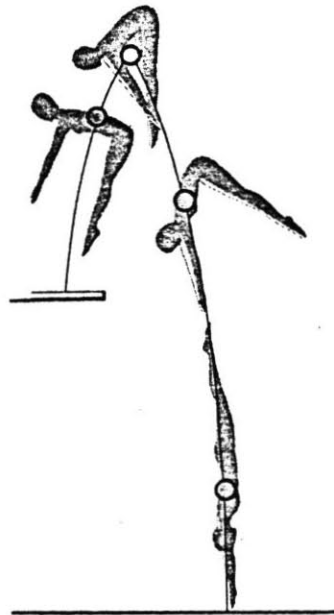


fig. 2.13 Een achterwaartse duik.
De getrokken lijn is de baan van
het lichaamszwaartepunt.

In nevenstaande figuur wordt een achterwaartse ~~duik~~ weergegeven. Het cirkeltje is de positie van het lichaamszwaartepunt, aangegeven voor de getekende standen. In het volgende hoofdstuk zul je leren hoe je dat punt bepaalt.

Opgave 5 *De duik*

Geef in één figuur de baan van het lichaamszwaartepunt, die van handen en die van de voeten weer.

Je ziet dat de baan van het lichaamszwaartepunt weer gewoon een kogelbaan is, terwijl de banen van lichaamsdelen volkomen willekeurig lijken. Die lichaamsdelen voeren een *relatieve beweging* ten opzichte van het lichaamszwaartepunt uit. Wat voor fratsen je ook in de lucht uithaalt, die baan van het lichaamszwaartepunt blijft een kogelbaan!

Iets wat je wel in de lucht nog kunt bijsturen is de snelheid van rotatie. Hier volgt een achterwaartse duik met salto. De nummers in de figuur duiden op filmbeeldjes.

BASISBEGRIPPEN VOOR SPORTBEWEGINGEN

Opgave 6 Duik met salto

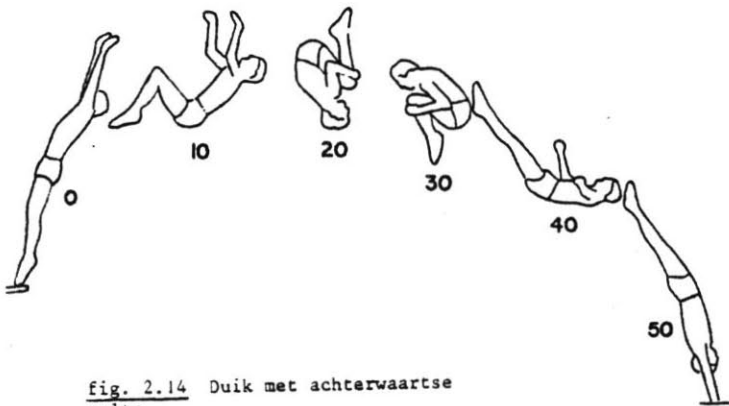
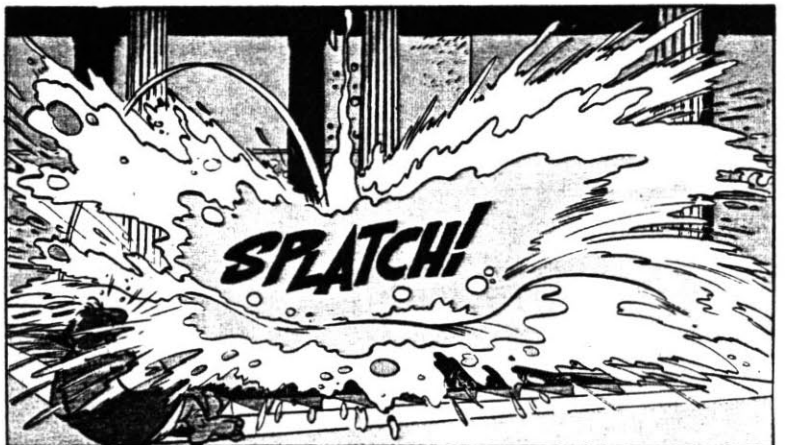


fig. 2.14 Duik met achterwaartse salto.

- Tussen welke filmbeeldjes treedt de grootste draaiing op?
- Wat doet deze duiker met zichzelf tijdens deze periode?
- Wat gebeurt er als hij zich weer strekt?
- Formuleer zelf je conclusie.



Eenvoudige sprong voorwaarts.



3 EVENWICHT BEWAREN

INHOUD:

- 3.1 Evenwichten in de sport
- 3.2 De stabiliteit van een judoka, proeven
- 3.3 De stabiliteit van een judoka, theorie
- 3.4 Passief en actief evenwicht bewaren
- 3.5 Het lichaamszwaartepunt in verschillende houdingen
- 3.6 Nogmaals het hoogspringen



3.1 EVENWICHTEN IN DE SPORT

In het vorige hoofdstuk hebben we bewegingen van het menselijk lichaam eerst beschreven alsof het een kogel of punt was. Vervolgens hebben we ook de afmetingen erbij betrokken en hebben we het beschouwd als een stijf voorwerp dat een translatie en een rotatie kan uitvoeren. Tenslotte hebben we ook iets gezegd over de bewegingen van onderdelen van het lichaam.

Ook in dit hoofdstuk zullen we het menselijk lichaam eerst als een stijf voorwerp beschouwen en vervolgens als een voorwerp met beweeglijke onderdelen.

Eén van de basisbegrippen in de sport is: balans. Bij iedere sportactiviteit moet je je balans of evenwicht bewaren. Anders loop je het risico gevloerd te worden (judo), van de evenwichtsbalk te vallen (turnen), niet nauwkeurig te schieten (voetbal) of in het water te belanden (surfen).

In dit hoofdstuk staat daarom de vraag centraal:

Hoe kun je met natuurkundige begrippen evenwicht bewaren beter leren begrijpen?

In de natuurkunde kennen we drie soorten evenwicht voor *stijve* voorwerpen (fig. 3.1):

- a. *stabiel* evenwicht. Een voorwerp verkeert in stabiel evenwicht, als het voorwerp na een kleine uitwijking vanzelf in de evenwichtsstand terugkeert. Voorbeeld: een turner, die aan de ringen hangt.
- b. *labiel* evenwicht. Een kleine uitwijking resulteert hier in een steeds grotere verwijdering van de evenwichtspositie. Voorbeeld: een handstand.
- c. *indifferent* evenwicht. Hierbij heeft een verandering vanuit de evenwichtspositie geen effect op het evenwicht. Voorbeeld: een tennisbal op de grond.

EVENWICHT BEWAREN

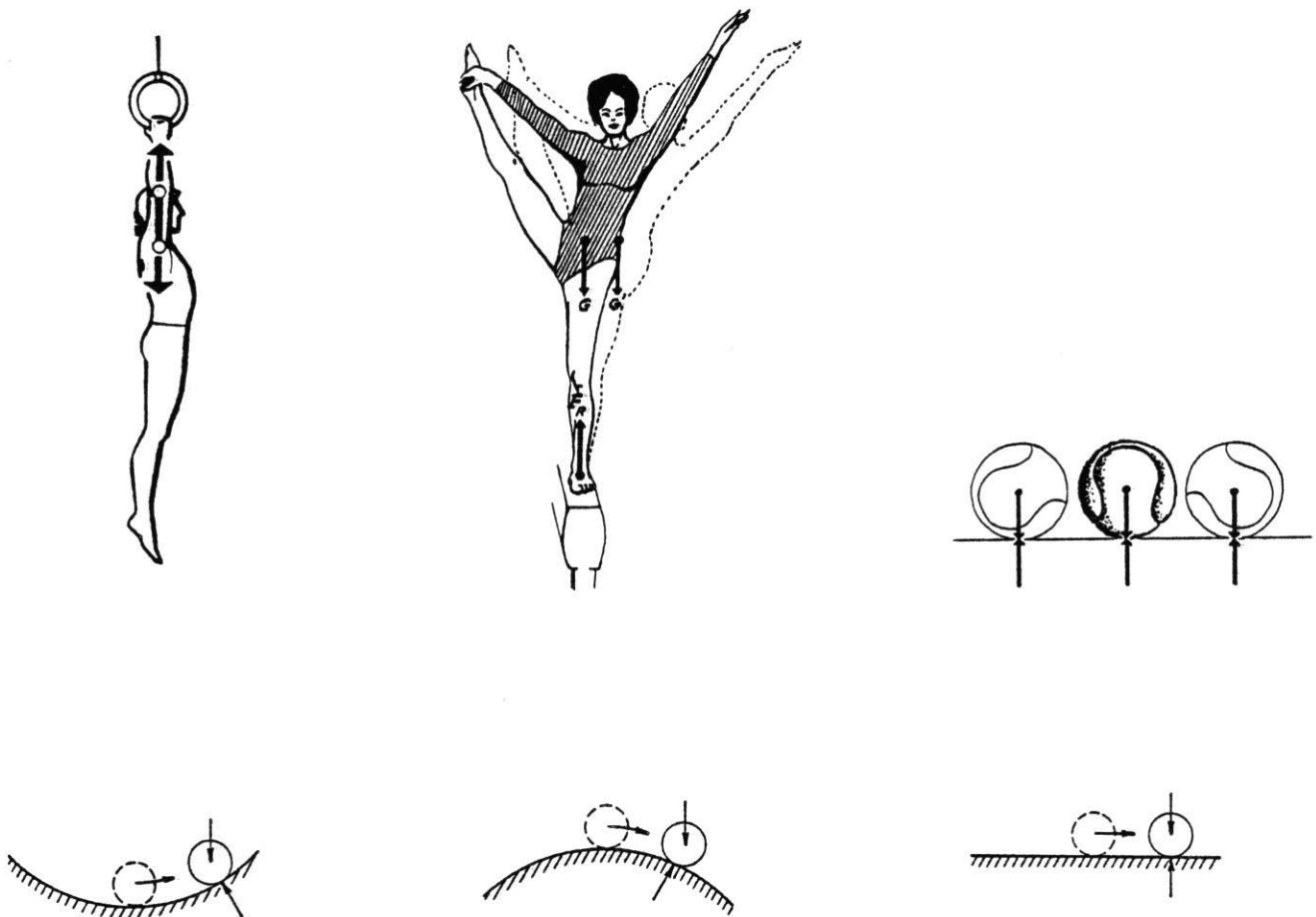


fig. 3.1 Drie soorten evenwicht
a. stabiel evenwicht
b. labiel evenwicht
c. indifferent evenwicht

Opgave 1 *Drie soorten evenwicht*

Geef bij elk type evenwicht nog minstens twee voorbeelden uit de sport.

In de volgende paragrafen zullen we twee situaties nader bekijken:

- evenwicht bewaren bij judo of elke andere sport waarbij je van een andere sporter een kracht ondervindt. Je kunt denken aan worstelen, maar ook aan voetbal (een schouderduw) of andere balsporten (toevallig lichamelijk contact).

EVENWICHT BEWAREN

- b. evenwicht bewaren bij gymnastische oefeningen, zoals handstand op één of twee handen.

In beide gevallen is er sprake van een *steunvlak*. Dat is het gebied dat begrensd wordt door de contactpunten met het ondersteunende oppervlak, gearceerd weergegeven in de figuur.

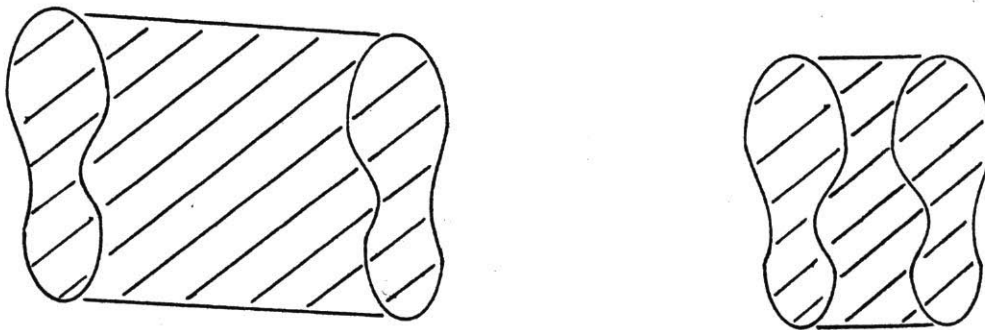


fig. 3.2 Het steunvlak is gearceerd.

In beide gevallen is de positie van het *lichaamszwaartepunt* van belang. In paragraaf 3.5 zullen we zien hoe je dat punt kunt bepalen. Aangezien de zwaartekracht in dit lichaamszwaartepunt aangrijpt, moet er voor evenwicht gelden: het lichaamszwaartepunt ligt boven het steunvlak. Nauwkeuriger gezegd:

De *werklijn* van de zwaartekracht, die in het *lichaamszwaartepunt* aangrijpt, moet het *steunvlak* snijden in geval van evenwicht.



fig. 3.3 Het lichaamszwaartepunt, werklijn van de zwaartekracht en steunvlak.

We zullen nu de judoka en de gymnastische oefeningen apart bekijken.

EVENWICHT BEWAREN

3.2 DE STABILITEIT VAN EEN JUDOKA (PROEVEN)

Wanneer een stijf voorwerp in stabiel evenwicht verkeert, is er sprake van een zekere *stabiliteit*. Stabiliteit is het vermogen om in evenwicht te blijven. We vatten nu de judoka voorlopig als een stijf voorwerp op en gaan eens na hoe zijn of haar lichaamshouding de stabiliteit beïnvloedt. Deze stabiliteit meten we op twee manieren, die we aan de sportpraktijk ontleenen.

Proef 2 *Kantelen door schuine ondergrond*



fig. 3.4 De proefopstelling.

Een maat voor de stabiliteit van een voorwerp is de maximale hoek, waaronder de ondergrond geplaatst kan worden, terwijl het voorwerp nog rechtop blijft staan. Bij de volgende proeven ga je op het uiteinde van een lange stevige plank staan (voeten dwars op de lengterichting), terwijl iemand anders de plank aan het andere uiteinde voorzichtig telkens hoger optilt. Hou je goed stijf en probeer absoluut niet mee te geven. De hoek (of de hoogte van het uiteinde) waarbij je kantelt, moet telkens genoteerd worden. Let erop dat iemand je opvangt!

- a. stabiliteit en steunvlak.
Voer de proef uit met een kleine spreidstand. Herhaal de proef met een grote spreidstand. Is je houding stabiel geworden? Geldt dit voor iedere richting van je stand?
- b. stabiliteit en hoogte van het lichaams zwaartepunt.
Voer de proef uit in een kleine spreidstand. Herhaal de proef met een flink door je knieën gezakte houding (voeten niet verplaatsen). Is je houding stabiel geworden?

Proef 3 *Weerstand bieden tegen een kracht*

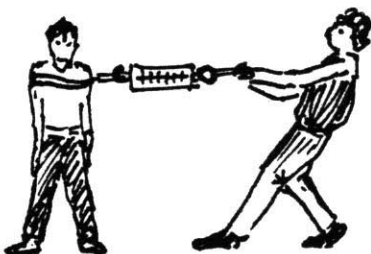


fig. 3.5 De proefopstelling.

Een andere maat voor stabiliteit is de kracht, die nodig is om het voorwerp te doen kantelen. Laat bij deze proef iemand een grote krachtmeter aan je schouder vastmaken, houd je stijf (dat is iets anders dan tegenwicht gaan bieden door verplaatsing van je gewicht, dat mag beslist niet), en noteer de kracht waarbij je (zijwaarts) omvalt.

EVENWICHT BEWAREN

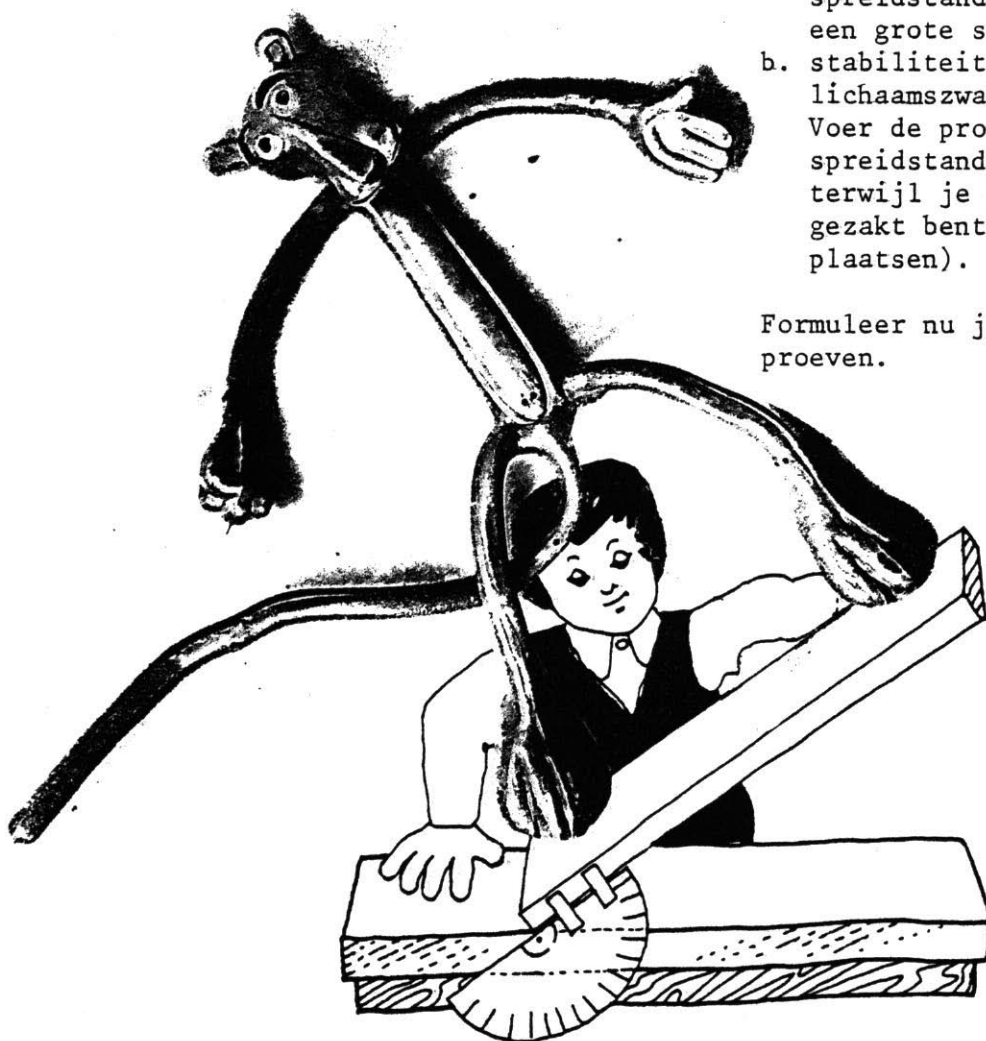


fig. 3.6 Kantel-proeven met de pink-panter.

- a. stabiliteit en steunvlak.
Voer de proef uit in kleine spreidstand. Herhaal de proef met een grote spreidstand.
- b. stabiliteit en hoogte van het lichaamszwaartepunt.
Voer de proef uit in kleine spreidstand. Herhaal de proef, terwijl je diep door je knieën gezakt bent (voeten niet verplaatsen).

Formuleer nu je conclusies na deze proeven.

Proef 2 en 3 kun je ook met een (geschikte) pink-panter uitvoeren. Bij proef 2 plaats je de panter op een stukje hout en meet met je goniometer de hoek tussen de schuine ondergrond en de tafel. Bij proef 3 kun je met een erg kleine krachtmeter metingen doen of ruwweg kleine tikjes tegen de panter geven. De panter blijft staan, als je zijn staart vanachter als extra steunpunt gebruikt.

De *verklaring* van de resultaten van deze proeven moeten we zoeken in de plaats van het lichaamszwaartepunt ten opzichte van het steunvlak. Om dit in te zien moet je de volgende proef doen.

Proef 4 *Kantelen met schietlood*

Voer proef 2 nog eenmaal uit met een schietlood (touw met een gewichtje) bevestigd aan de riem van je broek. De hoogte van het bevestigingspunt

EVENWICHT BEWAREN

moet iets onder je navel liggen. In die buurt zit je lichaamszwaartepunt namelijk, als je rechtop staat in kleine spreidstand. Bij welke stand van het schietlood ga je kantelen? Formuleer nu je verklaring.

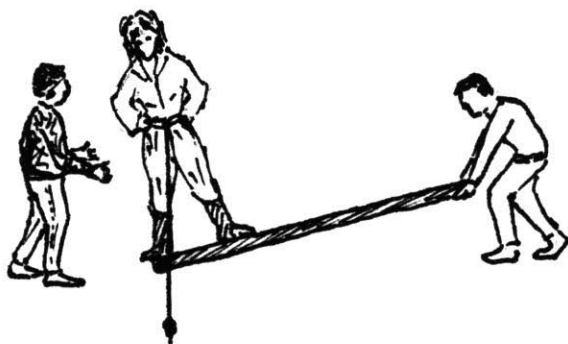


fig. 3.7 De richting van het schietlood bepaalt het: kantelen of blijven staan.

3.3 DE STABILITEIT VAN EEN JUDOKA (THEORIE)

De bovenstaande twee manieren om de stabiliteit van een voorwerp of een (zich stijf houdende) sporter te bepalen sluiten aan bij de twee manieren, waarop je stabiliteit kunt beschrijven. Het zijn overigens wel twee beschrijvingen van hetzelfde verschijnsel stabiliteit.

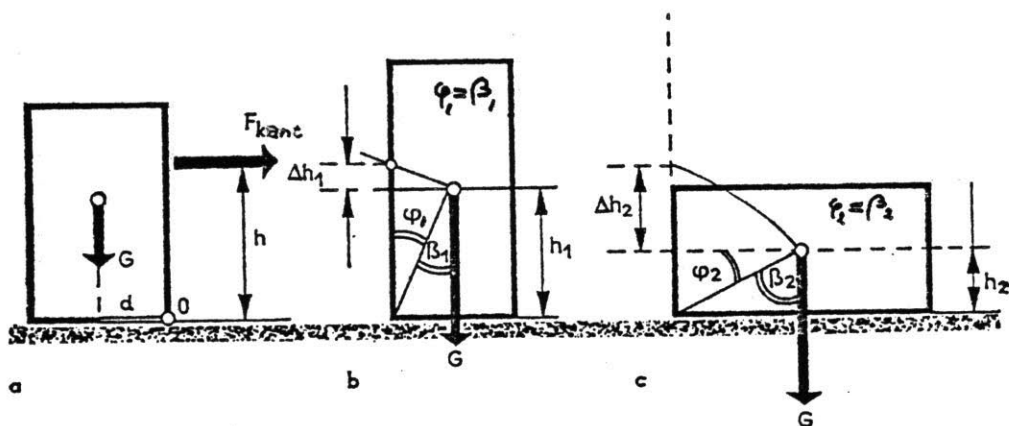
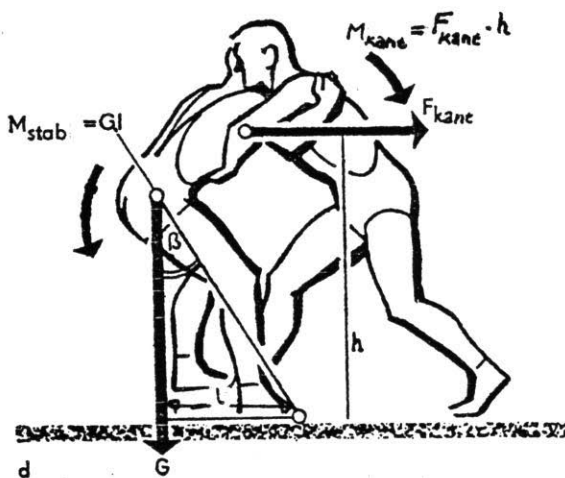


fig. 3.8 De stabiliteit van een worstelaar.

- Op het blok werkt een rechtsom draaiend moment M_{kant} en een linksom draaiend moment M_{stab} .
- Evenzo werkt er op de linker worstelaar een M_{kant} en M_{stab} . Welk moment is het grootste?
- b en c. Hetzelfde blok in verschillende posities. De grenshoeken van de stabiliteit zijn weergegeven (zowel α als β). Situatie c is stabiel, omdat het zwaartepunt naar een grotere hoogte verplaatst moet worden.



EVENWICHT BEWAREN

De *eerste* manier om de stabiliteit te beschrijven is na te gaan wanneer het voorwerp kantelt, als er een kracht van buiten aangrijpt. In fig. 3.8.a is deze kracht als F_{kant} aangegeven. F_{kant} oefent op het voorwerp een moment M_{kant} uit: $M_{\text{kant}} = F_{\text{kant}} \cdot h$. Door dit moment zou het voorwerp kunnen draaien rond punt 0. Er is echter een stabiliserend moment aanwezig: $M_{\text{stab}} = G \cdot d$, met G als gewicht van het voorwerp. Een maat voor het weerstandsvermogen tegen uitwendige krachten is dus de verhouding van M_{stab} ten opzichte van M_{kant} . Als M_{kant} groter is dan M_{stab} , dan kantelt het voorwerp. Precies dezelfde redenering is van toepassing op de worstelaar in fig. 3.8.d. Een grote M_{stab} zorgt voor een grote stabiliteit.

Een *tweede* manier om (dezelfde) stabiliteit te beschrijven is nagaan of het voorwerp terug kan komen in de evenwichtsstand, als het daar om wat voor reden dan ook uitgemaakt is. Om dit te meten kun je nagaan tot welke hoek je het voorwerp schuin kunt zetten, terwijl het nog net terugkeert naar de stabiele evenwichtsstand. Deze grenshoeken zijn in fig. 3.8.b en c aangegeven (voor de liefhebbers: ga eens na dat dit inderdaad dezelfde hoeken zijn, als die je bij proef 2 gemeten hebt). b en c zijn verschillende posities van hetzelfde blok. De fysische achtergrond van die grotere stabiliteit van c is dat bij c het zwaartepunt naar een grotere hoogte verplaatst moet worden, vergeleken bij b (Δh_2 ten opzichte van Δh_1). Dat kost meer (potentiële) energie. Die energie moet door een tegenstander opgebracht worden.

Opgave 4 Stabiliteit verklaren

Lees bovenstaande theorie aandachtig door en beantwoord met deze begrippen de volgende vragen.

- De linkerworstelaar uit fig. 3.3.d zakt door zijn knieën. Hierdoor vergroot hij zijn stabiliteit. Verklaar dit door M_{stab} en M_{kant} erbij te betrekken.
- De linker worstelaar vergroot de spreidstand van zijn benen. Hierdoor wordt hij stabiel. Verklaar ook dit met M_{stab} en M_{kant} .
- Op een bepaald moment trekt de rechter worstelaar zo hard dat M_{kant} groter is dan M_{stab} , waardoor de linker worstelaar net begint te kantelen. Hoe wordt de verhouding tussen M_{kant} en M_{stab} als dit kantelen eenmaal aan de gang is?
- Verklaar je resultaten van proef 2 met de grenshoek en potentiële energie.

3.4 PASSIEF EN AKTIEF EVENWICHT BEWAREN

Tot nu toe hebben we het over stijve voorwerpen gehad. Evenwicht bewaren is daarvoor een *passieve* gebeurtenis. In de sport speelt *aktief* evenwicht bewaren een veel grotere rol. Doordat het menselijk lichaam beweeglijk is in verschillende onderdelen heeft het een vermogen een verstoring van het evenwicht *aktief* tegen te werken.

Proef 5 Aktief evenwicht bewaren

- Ga nog eens op het uiteinde van de plank staan en laat iemand heel snel en kort het uiteinde optillen.

EVENWICHT BEWAREN



Test je reflex-beweging.

- a. Beschrijf je reactie daarop (een reflexbeweging, die uit verschillende onderdelen bestaat).
 - b. Verklaar deze met behulp van de begrippen die je tot nu toe geleerd hebt.
- II. De linker worstelaar uit fig. 3.8 voelt de kracht van de tegenstander en reageert onmiddellijk.
- a. Noem enkele onderdelen van de reactie.
 - b. Verklaar deze.

Aktief evenwicht bewaren door de sporter is altijd een *dynamisch* proces, omdat er altijd sprake is van kleine bewegingen rond een evenwichtsstand, zelfs al lijkt bijvoorbeeld een handstand *statisch* te zijn. Voor het lichaam van de mens is evenwicht bewaren met twee typen 'zwenkingen' karakteristiek: *macro*bewegingen die met het oog waarneembaar zijn en die een frekwentie van 0,5 tot 1,0 Hz hebben. Deze trilling wordt veroorzaakt door continue 'gebreken' in de coördinatie van de spiergroepen. *Micro*-bewegingen met een frekwentie van 7 tot 9 Hz, die niet voor het oog waarneembaar zijn, worden veroorzaakt door de onbestendigheid van de trekkracht van afzonderlijke spieren.

3.5 HET LICHAAMSZWAARTEPUNT IN VERSCHILLENDE HOUDINGEN

Tot nu toe hebben we het lichaamszwaartepunt opgevat als een punt dat in de buurt van de navel ligt en waar de zwaartekracht aangrijpt. Nu we gymnastische oefeningen nader zullen bekijken met ingewikkelde standen van het lichaam, wordt het noodzakelijk het lichaamszwaartepunt preciezer te bepalen.

Hoe bepaal je het zwaartepunt van een voorwerp en, meer in het bijzonder, van het menselijk lichaam?

Opgave 6 *Zwaartepunt bepalen* (1)

Bepaal van de volgende voorwerpen het zwaartepunt door ze op je vingers te laten balanceren:

- a. tennisracket
- b. honkbalknuppel
- c. hockeystick.

Als je een voorwerp laat balanceren op je vinger, weet je dat je het zwaartepunt ondersteunt. Om het zwaartepunt te bepalen van een grillig gevormd (plat) voorwerp, kun je gebruik maken van de regel dat het zwaartepunt zich altijd *onder* het ophangpunt moet bevinden.

EVENWICHT BEWAREN



Opgave 7 Zwaartepunt bepalen (2)

Lees de aanwijzingen van onderstaande figuur door. Trek de contouren van één van de foto's over op stevig karton en bepaal op de aangeduide wijze het lichaamszwaartepunt.

fig. 3.9 In evenwicht bevindt het zwaartepunt zich altijd recht onder het ophangpunt.

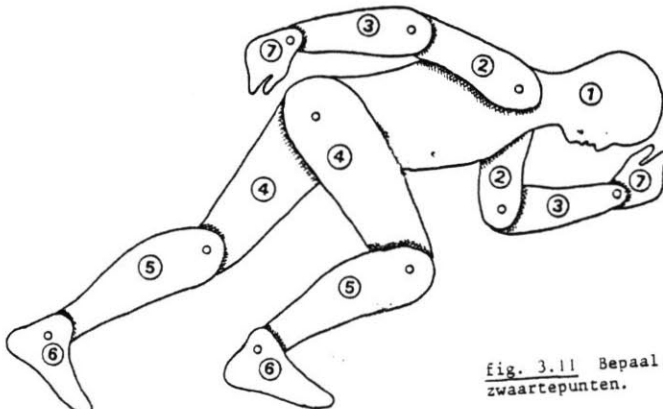
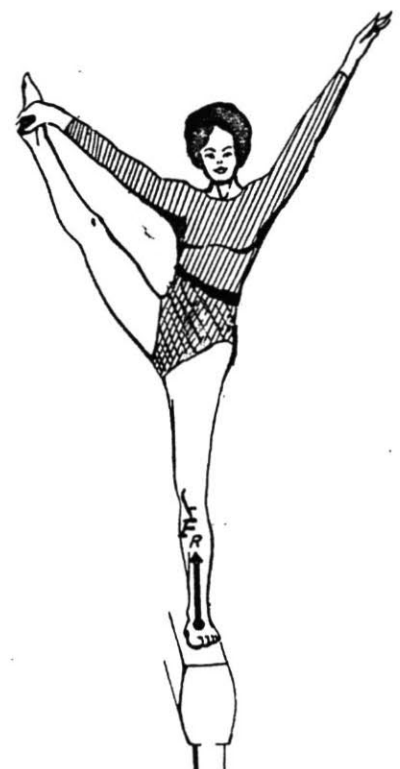


fig. 3.11 Bepaal de lichaamszwaartepunten.



fig. 3.10 Het bepalen van het zwaartepunt van een uitgeknipte sportfoto.

1. Knip de figuur uit en hang deze in één punt met een speld op (punt A).
2. Laat de figuur (na heen en weer geslingerd te hebben) tot rust komen en trek een loodlijn naar beneden (lijn l).
3. Hang de figuur nu in een ander punt op (punt B) en trek weer een loodlijn (lijn m).
4. Het snijpunt van de lijnen moet het zwaartepunt zijn. Ga dit zelf na.
5. Trek eventueel nog een derde lijn. Ook deze moet door het zwaartepunt heengaan.



EVENWICHT BEWAREN

Je kunt bij deze methode op een moeilijkheid stuiten: het snijpunt kan *buiten* de figuur komen te liggen. Je zou dat kunnen oplossen door draadjes te plakken op de figuur in plaats van lijnen te tekenen. In verband met de tijd doen we dat niet. Wel laten we een paar voorbeelden zien.

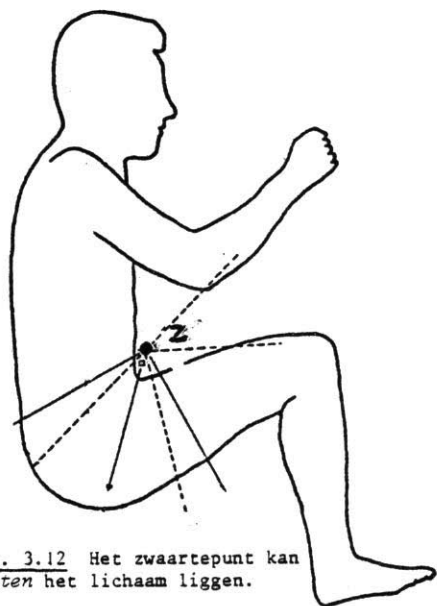
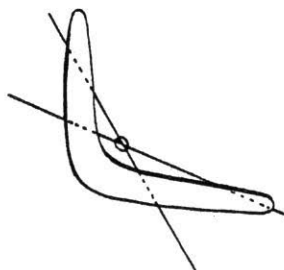


fig. 3.12 Het zwaartepunt kan buiten het lichaam liggen.



Als je het lichaamszwaartepunt van één van de (hand)standen bepaald hebt kun je nagaan of deze inderdaad precies boven het steunvlak ligt. In de praktijk bewegen allerlei lichaamsdelen. In de volgende proef kun je nagaan wat voor effect dit heeft op het lichaamszwaartepunt.

Proef 8 Lichaamszwaartepunt laten bewegen

Ondersteun een lange plank van + 2 m met een ronde stok die op de grond ligt. De plank moet aan beide lange zijden verstevigd zijn om doorbuigen te voorkomen. Geef het midden van de plank met een streepje aan door hem even te laten balanceren op de stok. Ga vervolgens languit op de plank liggen met je armen naar beneden en zonder schoenen aan.

- Ga in eerste instantie zo liggen dat het midden van de plank iets onder je navel valt. Door nu een assistent de plank zo te laten verrollen dat deze in evenwicht is, is de plaats van het lichaamszwaartepunt te bepalen. Deze wordt namelijk ondersteund door de stok. Meet nauwkeurig: verschuif een paar maal op de plank zodat tenslotte het oorspronkelijke streepje van het midden van de plank weer boven de stok ligt.

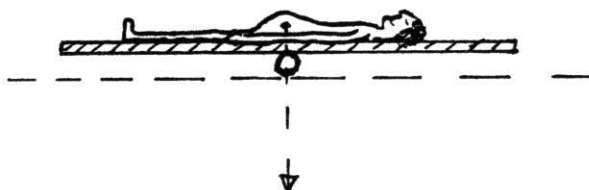


fig. 3.13 De proefopstelling: het lichaamszwaartepunt wordt ondersteund.

EVENWICHT BEWAREN

- b. Strek vervolgens één arm uit. Wat constateer je onmiddellijk? Meet opnieuw de positie van het lichaamszwaartepunt.
- c. Doe hetzelfde met het intrekken van een been.

Bij turnoefeningen wordt door bewegingen van de ledematen voortdurend het lichaamszwaartepunt verplaatst. Het zwaartepunt boven het steunvlak houden is telkens de absolute voorwaarde om het evenwicht niet te verliezen. Dit geldt zowel voor bewegingen op de plaats als voor verplaatsingen.

3.6 NOGMAALS HET HOOGSPRINGEN

In hoofdstuk 1 hebben we het hoogspringen behandeld. Bij de analyse van de beweging (fig. 1.2) konden we op dat moment niet diep ingaan op de factoren die H3 bepalen. De kennis van de vorige paragraaf helpt ons nu verder.

De Fosbury flop is ontworpen om tijdens het passeren van de lat het lichaamszwaartepunt zo laag mogelijk te houden (kleine H3). In theorie zou dit zwaartepunt door of onder de lat kunnen gaan. In de praktijk is dit echter nog niet aangetoond.

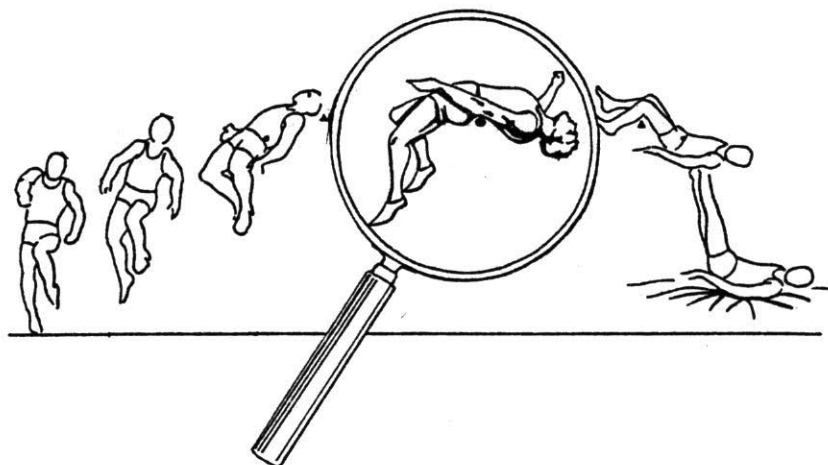


fig. 3.14 Bij de 'flop'-techniek zou het lichaamszwaartepunt onder de lat door kunnen gaan in theorie.

Waar dit wel lukt, door een andere lichaamshouding bij het passeren van de lat, is het polsstokhoogspringen.

EVENWICHT BEWAREN

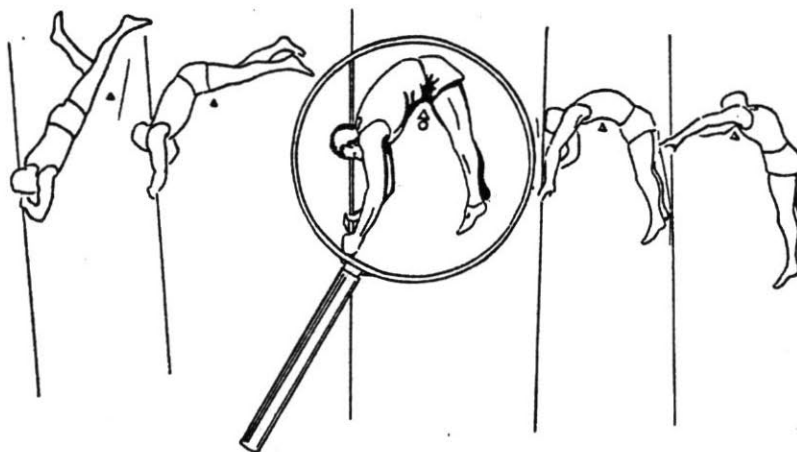


fig. 3.15 Bij het polstokhoogspringen levert de houding bij het passeren van de lat betere mogelijkheden om het lichaamszwaartepunt eventueel onder de lat door te laten gaan.

Het zijn dan ook deze overwegingen geweest voor de Amerikaan Hay om de volgende techniek voor hoogspringen voor te stellen.

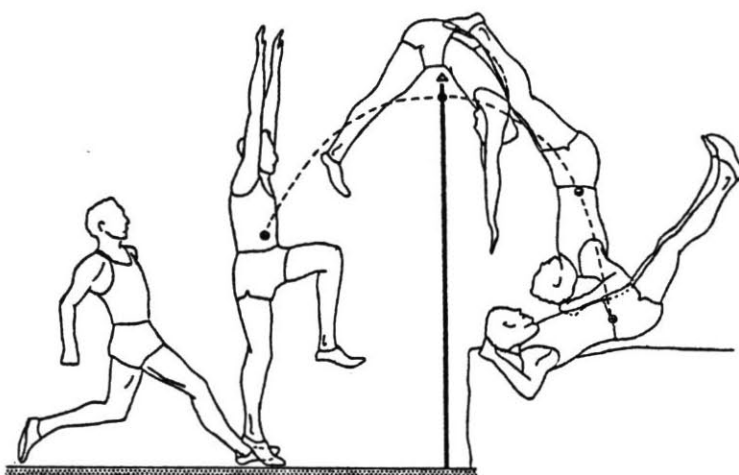


fig. 3.16 Een mogelijk nieuwe techniek bij het hoogspringen.

Opgave 9 *Nieuwe hoogspringtechniek*

- Wat is het voordeel van deze methode?
- In de praktijk blijken er echter nogal wat praktische bezwaren te zijn. Zou je deze kunnen aangeven?

4 ANALYSE VAN WORPEN

INHOUD:

- 4.1 Een model voor de worp
- 4.2 Analyse van de werpbeweging
- 4.3 Een reeks van hefbomen
- 4.4 Experiment: steeds meer hefbomen
- 4.5 Verschillen tussen worpen



Menhir-worpen, een in onbruik
geraakte werpsport.

4.1 EEN MODEL VOOR DE WORP

In de voorgaande hoofdstukken hebben we de bewegende sporter achtereenvolgens opgevat als één geheel, als stijf voorwerp met bepaalde afmetingen en als lichaam met beweegbare ledematen. Die lijn zetten we in dit hoofdstuk voort door nu elke mogelijke beweging in de gewrichten erbij te betrekken. Dat is nodig om worpen goed te begrijpen, zoals in de loop van dit hoofdstuk duidelijk zal worden.

In dit hoofdstuk staat de volgende vraag centraal:

Hoe kun je met natuurkundige begrippen werpsporten analyseren?

ANALYSE VAN WORPEN

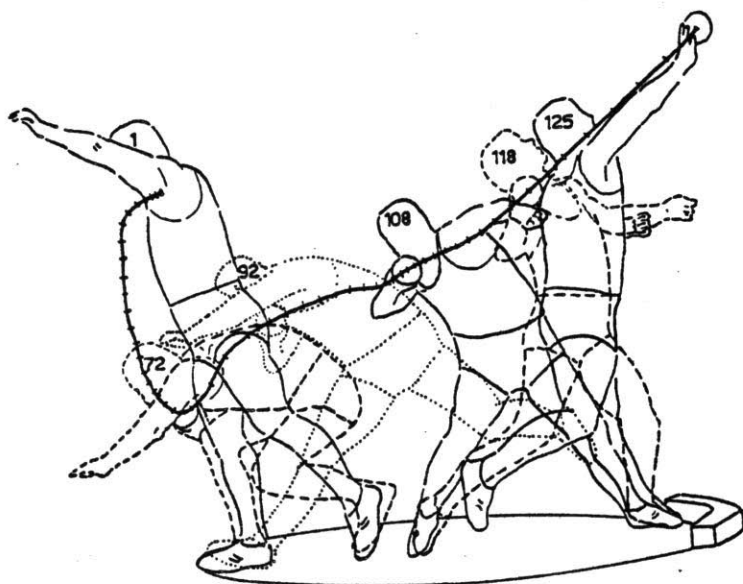


fig. 4.1 De stootbeweging bij het kogelstoten.

We zullen eerst nagaan welke factoren het resultaat, de geworpen afstand, bepalen. Als voorbeeld nemen we kogelstoten. Fig. 4.1 geeft de beweging weer, in fig. 4.2 volgt de analyse.

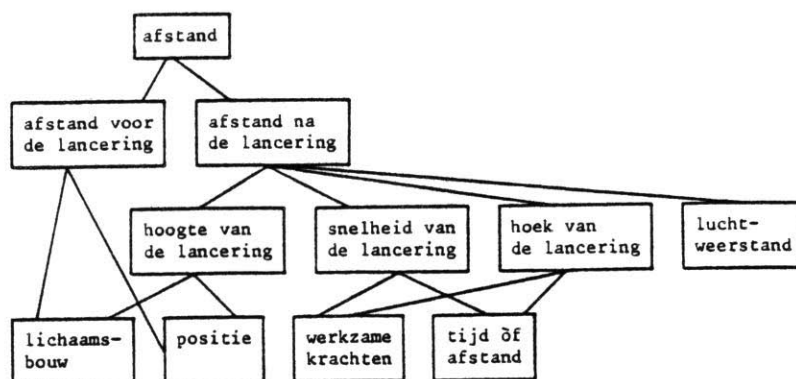


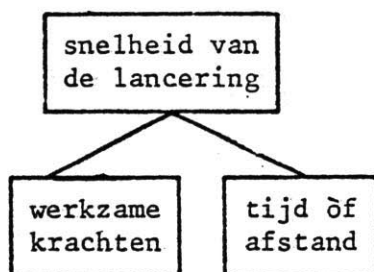
fig. 4.2 Belangrijke factoren bij kogelstoten.

De belangrijkste factor in het schema is de lanceersnelheid. Die snelheid krijgt de kogel door de *stoot*. Daarmee bedoelen we het natuurkundige begrip stoot, dat het produkt van kracht en (contact-)tijd is. Dit begrip heb je ook gebruikt bij de afzet van hoogspringen in hoofdstuk 1. De hoek waaronder de kogel weggestoten wordt is ook een belangrijke factor. Bij kogelstoten lijkt de optimale hoek rond de 41° . De 'afstand voor de lancering' is slechts een geringe factor. Hiermee wordt bedoeld dat de kogel soms al buiten de cirkel is, wanneer hij de hand verlaat (niet weergegeven in fig. 4.1).

Opgave 1 *Kogelstoten*

- a. Bij de afzet van hoogspringen gebruikten we de formule $F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta v$. Bereken hiermee de gemiddelde kracht, die een kogelstoter op de kogel moet uitoefenen in de laatste fase van de stoot. Dat is een korte fase van explosieve kracht. Neem aan dat deze 0,15 s duurt. Hier neemt de kogel in snelheid toe van 2,0 tot 12,0 m/s. De massa van de kogel bedraagt 7,26 kg.
- b. De stootkracht kan ook op een andere manier worden berekend, waarbij je de afstand waarover de kracht werkt nodig hebt (zie het schema van fig. 4.2). Van welk natuurkundig begrip wordt bij die berekening gebruik gemaakt en van welke formule?
- c. Een kogel die van de grond af gelanceerd wordt, komt het verst bij een lanceerhoek van 45° . Maak duidelijk dat dit ongeveer overeen komt met wat jij zou verwachten. Geef ook aan waarom bij het 'echte' kogelstoten de lanceerhoek kleiner is.
- d. Is de luchtweerstand een belangrijke faktor bij deze sport?

4.2 ANALYSE VAN DE WERPBEGEUGING



De belangrijkste faktor, de snelheid van de lancering, gaan we nu nader beschouwen. Deze snelheid is het gevolg van een speciale stootbeweging van de atleet. Laten we deze eens goed bekijken.

De eerste goed ontwikkelde techniek, zoals deze vóór de jaren '50 gebruikt werd, is hieronder weergegeven.

De belangrijkste factoren.

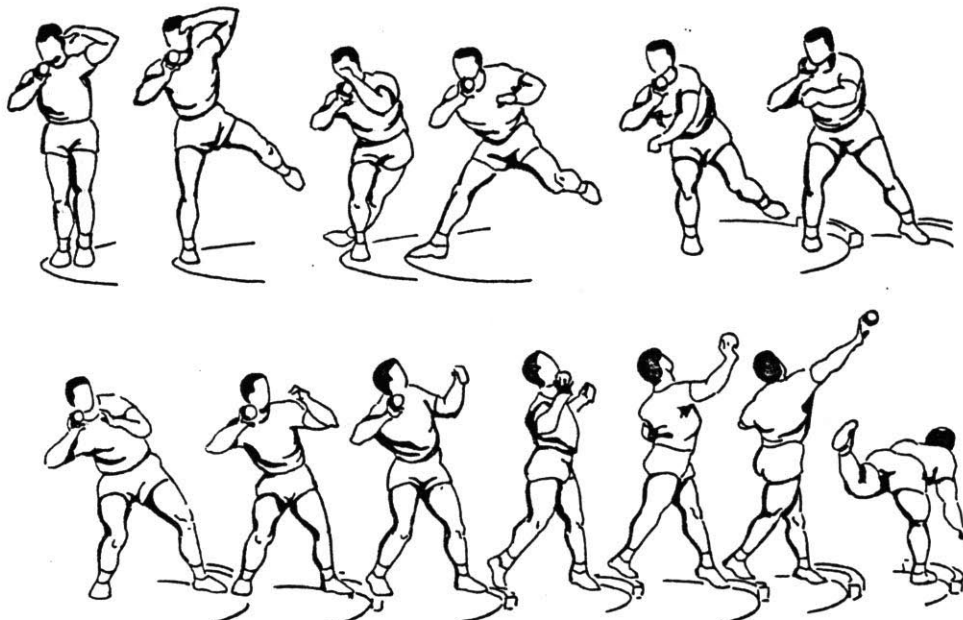


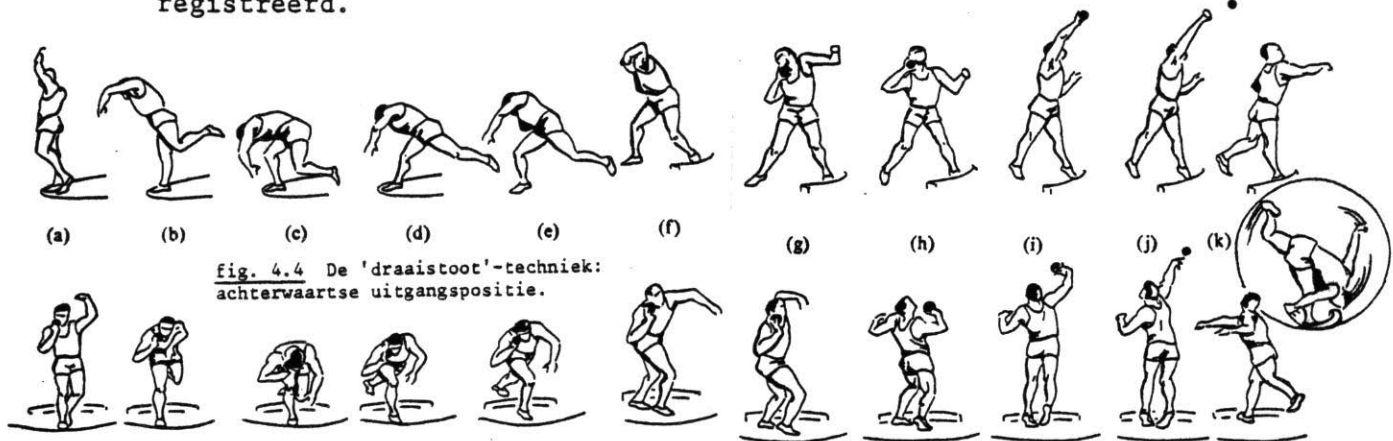
fig. 4-3 De oude zijwaartse techniek van voor de jaren '50.

ANALYSE VAN WORPEN

Opgave 2 *De basistechniek*

- Waar dient de beweging van de ene kant van de cirkel naar de andere kant voor?
- Welke lichaamsdelen worden vanuit gebogen positie gestrekt om daarmee de kogel te stoten?
- Welke beweging is er, naast het strekken, nog meer van belang? Aanwijzing: denk aan de twee soorten van beweging uit hoofdstuk 2, paragraaf 2.

In de jaren '50 werd deze techniek vervangen door een betere: Met achterwaartse uitgangspositie. Deze techniek zou gedurende de volgende 20 jaar door nagenoeg alle kogelstoters van formaat gebruikt worden. Hier volgt de beweging, zowel met de camera van opzij als van achteren geregistreerd.



Opgave 3 *Verbeterde techniek*

- Welk soort beweging is duidelijk toegenomen vergeleken met de oude techniek? Aanwijzing: let op het verschil in uitgangspositie.
- Om het belang van de heuprotatie beter in te zien moet je een kogelstoot-beweging eens maken, terwijl je op je stoel blijft zitten: een hele handicap!
- Ook het strekken van de romp vanuit een gebogen houding wordt beter benut. Welke spieren gaan hierdoor meer aan de stootkracht bijdragen? Op welk hokje uit het schema van fig. 4.2 heeft dit betrekking?

We zullen de lanceerbeweging nu gedetailleerd bekijken.

Opgave 4 *De opbouw van de beweging*

- Waar dient de opgeheven hand in standen a t/m c voor? Voor de show of echt functioneel?
- Tussen welke standen krijgt de kogel snelheid door een translatie beweging van de atleet?
- Tussen welke standen vinden de volgende strek-bewegingen plaats?
 - strekken van de romp
 - strekken van de benen
 - strekken van de armen
 - strekken van de pols.

- d. Tussen welke standen is de rotatie van de heup het krachtigst?
- e. Na een stoot kan het achterbeen omhoog komen en het bovenlichaam naar voren doorslaan. Opnieuw: is dit show of noodzaak?

In de praktijk blijkt de heuprotatie de belangrijkste bijdrage aan de kogelsnelheid te geven. Het is niet verwonderlijk dat nieuwe technieken werden uitgetoetst om nog meer rotatie in de beweging te brengen en tevens de afstand waarover de krachten werken te vergroten. In de jaren '70 ontstond de 'rotatie-techniek', die hieronder weergegeven wordt ter illustratie.

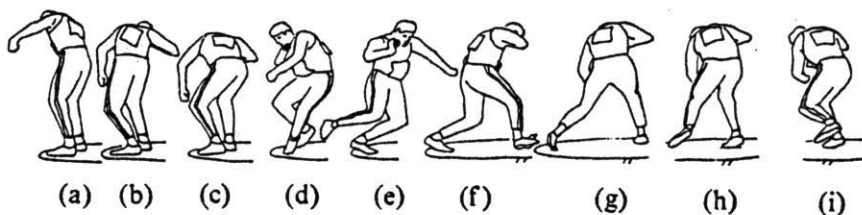
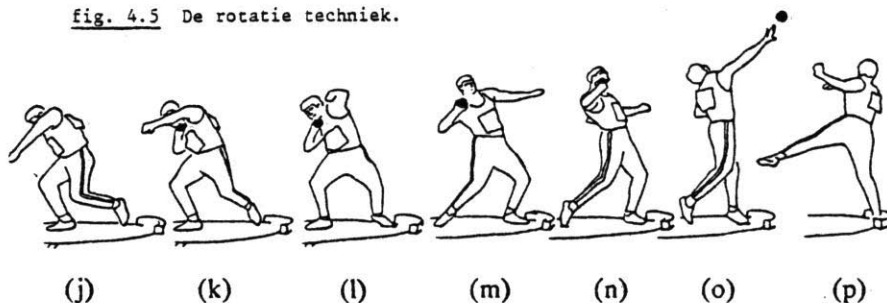


fig. 4.5 De rotatie techniek.



De rotatietechniek wordt nu naast de vorige gebruikt. De meningen lopen uiteen welke de beste is. We zullen daar nu niet verder op ingaan. We zullen ons nu concentreren op de verschillende strek- en rotatiebewegingen.

4.3 EEN REEKS VAN HEFBOMEN

Bij de analyse van de beweging hebben we gezien dat vele lichaamsdelen meehelpen de kogel een maximale snelheid te geven. Hierbij wordt de beweeglijkheid van deze onderdelen zo goed mogelijk gebruikt. Het skelet van de mens is opgebouwd uit beenderen, die in gewrichten kunnen draaien. Spiergroepen houden deze beenderen bij elkaar. In totaal heeft de mens meer dan tweehonderd verschillende botten.

ANALYSE VAN WORPEN

fig. 4.6 Het menselijk skelet en de spiergroepen.

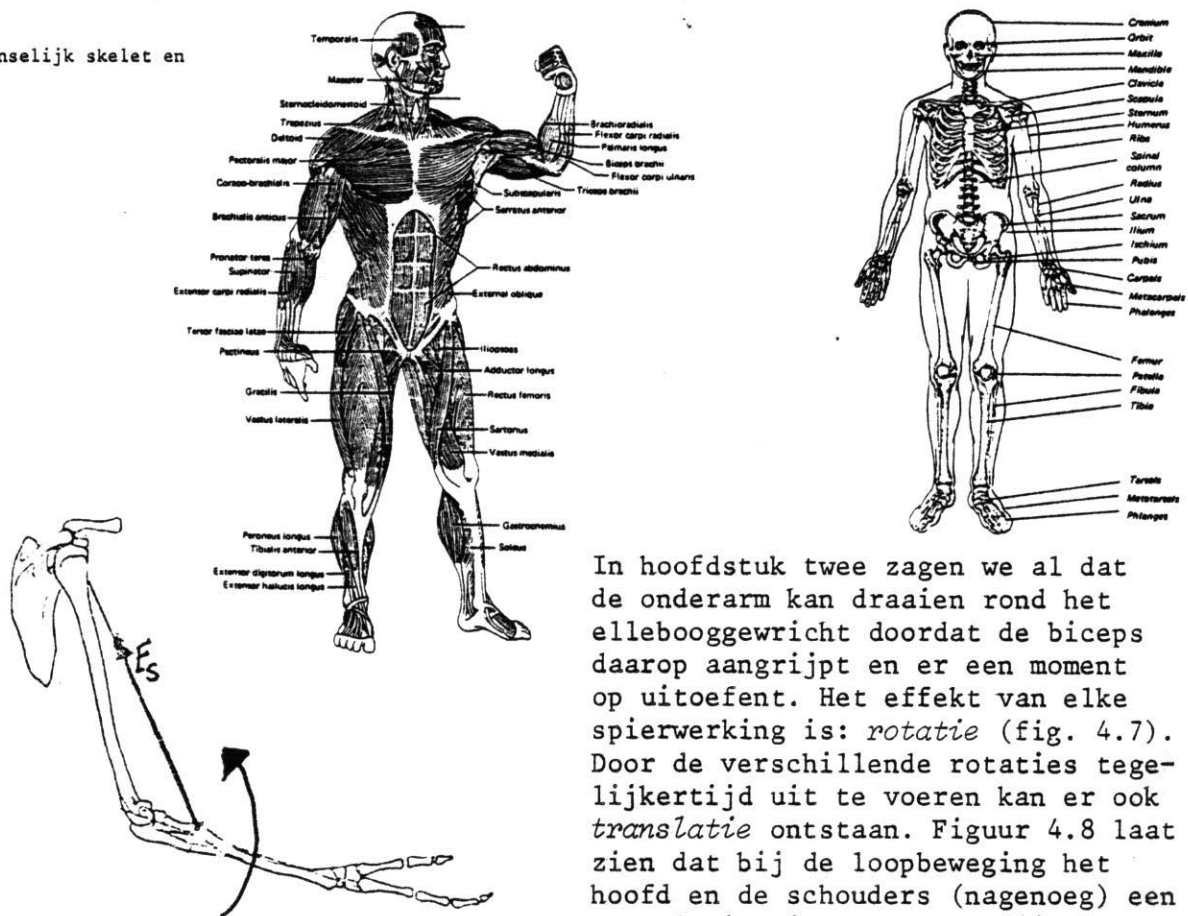


fig. 4.7 Het effect van elke spierwerking is: rotatie.

In hoofdstuk twee zagen we al dat de onderarm kan draaien rond het ellebooggewricht doordat de biceps daarop aangrijpt en er een moment op uitoefent. Het effect van elke spierwerking is: *rotatie* (fig. 4.7). Door de verschillende rotaties tegelijkertijd uit te voeren kan er ook *translatie* ontstaan. Figuur 4.8 laat zien dat bij de loopbeweging het hoofd en de schouders (nagenoeg) een translatie uitvoeren, terwijl de voet rond de enkel roteert, het onderbeen rond de knie en het bovenbeen rond de heup.

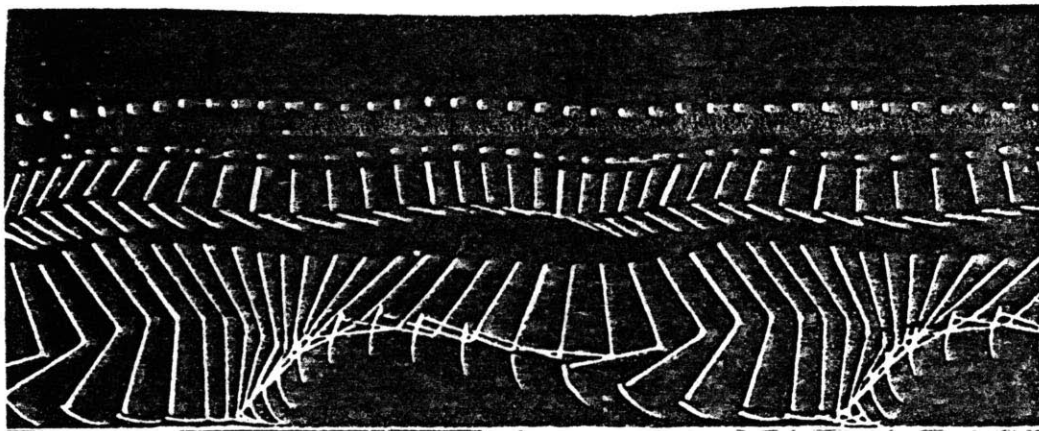


fig. 4.8 Stroboscopische opname van de loopbeweging. Verschillende rotaties tezamen kunnen een translatie opleveren.

Ook de baan van de kogel in de laatste fase van de stootbeweging (zie fig. 4.1) is nagenoeg recht, terwijl vele rotaties (strekbewegingen) meedoen.

de hefboom

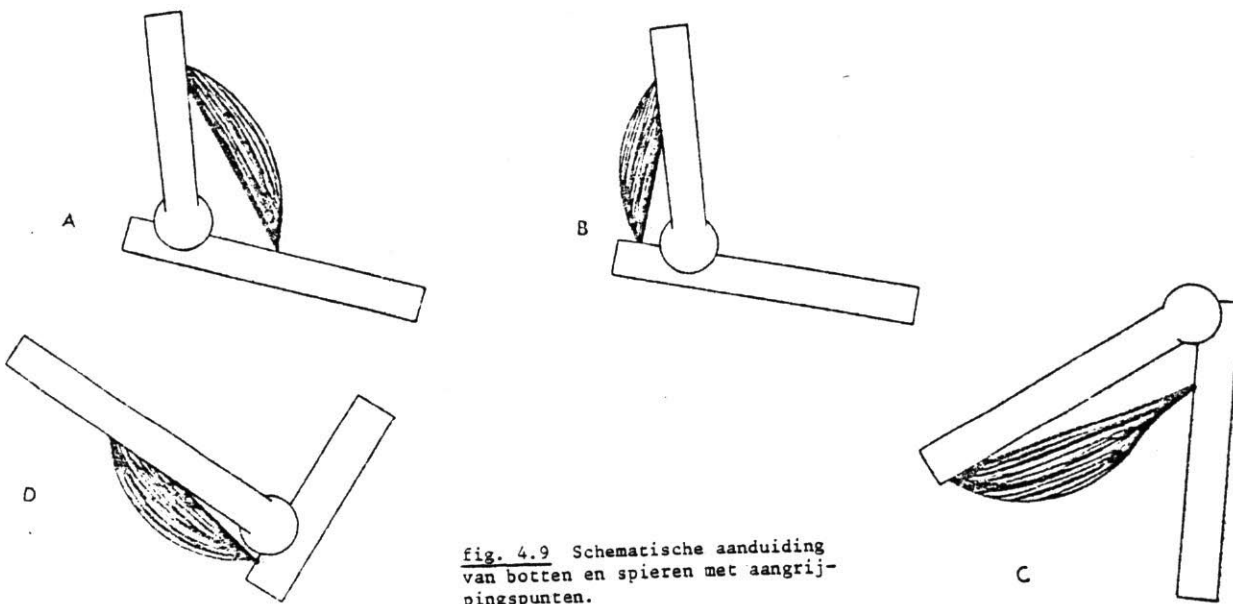
Een stijf voorwerp dat draait rond een as noemen we een *hefboom*. De onderarm is een voorbeeld. De krachten die de hefboom doen roteren

kunnen op verschillende plaatsen aangrijpen. De richting van de kracht wordt bepaald door het bevestigingspunt van de spier. De kracht werkt langs de verbindingslijn.

Opgave 5 *Aangrijpingspunt van de spier*

Geef in onderstaande situaties aan:

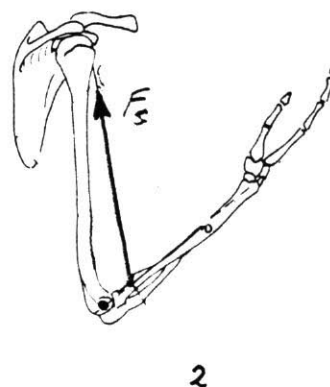
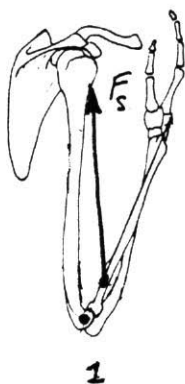
- de lijn waarlangs de spierkracht werkt (werklijn van de kracht);
- bewegingsrichting van het aangrijpingspunt als de spier samentrekt.



De richting van de werklijn van de kracht is van belang omdat daarmee ook de arm van het moment van de kracht bepaald wordt (zie hoofdstuk 2).

Opgave 6 *Armen en momenten*

- Meet in onderstaande situaties de arm van het werkzame moment op (schaal 1 op 8,0) en bereken de momenten. De spierkracht is in alle gevallen 200 N.
- In welke situatie wordt het grootste moment uitgeoefend?



ANALYSE VAN WORPEN

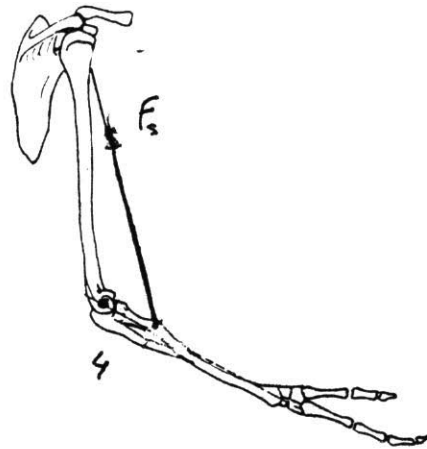
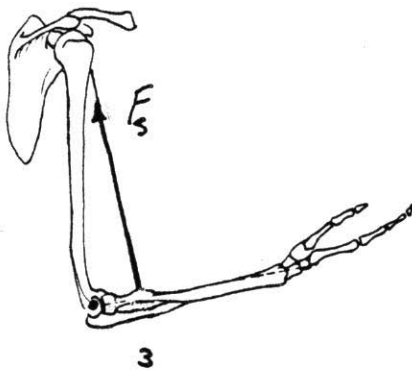


fig. 4.10 Verschillende standen geven verschillende momenten bij eenzelfde spierkracht.

Er bestaan verschillende typen hefboomen in het menselijk lichaam, al naar gelang de plaats van het draaipunt en de aangrijpende krachten. Hieronder volgen een paar voorbeelden. We geven telkens een spierkracht en een belasting aan. De belasting kan het gewicht van een voorwerp zijn dat je wilt optillen of wegstoten; het kan ook (een deel van) het eigen lichaamsgewicht zijn, dat gedragen moet worden.

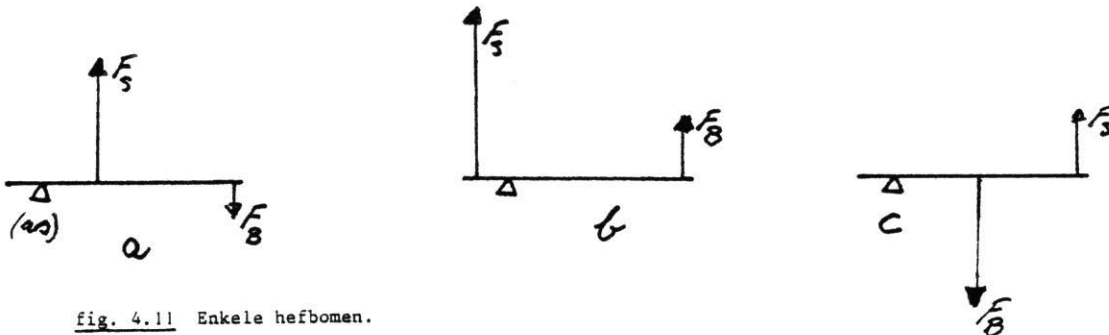
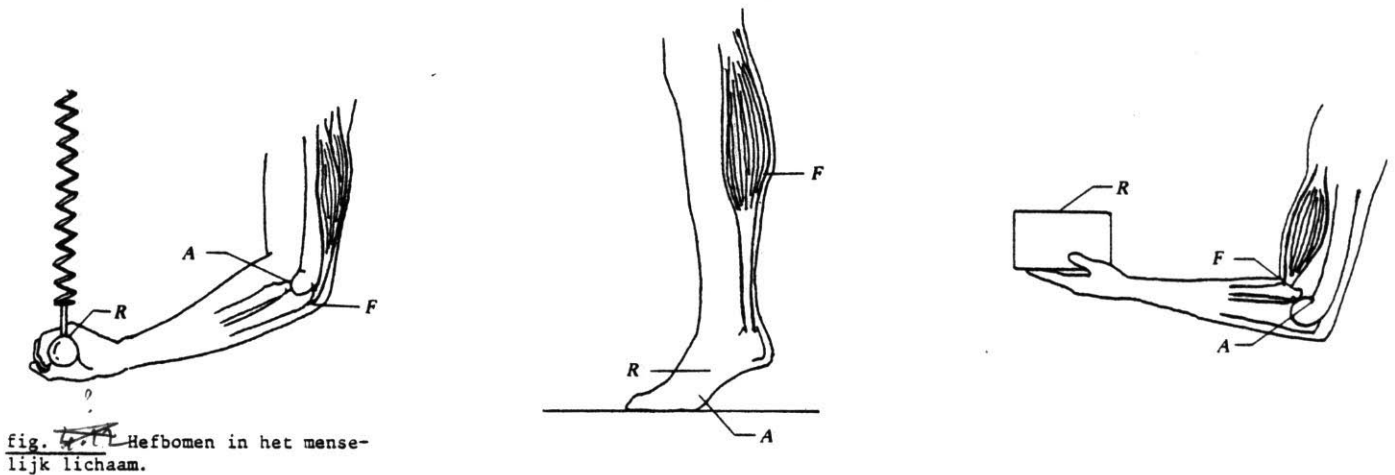


fig. 4.11 Enkele hefboomen.

Opgave 7 Verschillende soorten hefboomen in het menselijk lichaam

- Geef bij de onderstaande voorbeelden van hefboomen aan of het type a, b of c betreft.
- Geef eens wat voorbeelden van hefboomen uit het dagelijkse leven.



Het verschil tussen hefboom a en hefboom b is niet essentieel. Alleen de plaats van het draaipunt is verschillend. Aangezien in beide gevallen de 'arm' van de spierkracht kleiner is dan de 'arm' van de belasting, moet de spierkracht veel groter zijn dan de kracht van de belasting om een even groot (of groter) moment uit te oefenen.

Het verschil tussen hefboom a en hefboom c is wel belangrijk. Bij hefboom a gaat door de korte arm van de spierkracht ten opzichte van het draaipunt veel kracht 'verloren'. Echter, het uiteinde zal door de lange arm wel een grote snelheid krijgen. Bij hefboom c heeft de spierkracht de grootste arm. Dit is het type hefboom dat je in het dagelijks leven veel ziet: met een kleine kracht een grotere kracht overwinnen door de hefboomwerking. Dit gaat echter ten koste van de afstand waarover de belasting wordt verplaatst en dus ook ten koste van zijn snelheid. Hiermee zijn de twee belangrijkste (tegenstrijdige) functies van de hefboom in het menselijk lichaam aangegeven (fig. 4.12). Lees deze figuur door voordat je aan opgave 8 en 9 begint.

Voorbeelden van type a zien we weinig in het lichaam. Opgave 8 gaat hierover.

Opgave 8 *Op je tenen staan*

- Wat is hier de belasting (zie plaatje fig. 4.12)?
- Welke spier (pees) zorgt voor de kracht omhoog?
- Bereken (bij benadering) de spanning in jouw pees, als je op je tenen staat. Schat daarvoor enkele afstanden of probeer ze op te meten.

De hefbomen die ten koste van een kracht de snelheid van het uiteinde willen vergroten zijn in grote getale aanwezig in het menselijk lichaam.

Opgave 9 *Een reeks van hefbomen*

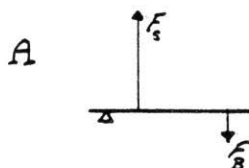
Tel het aantal hefbomen dat vanaf je schoudergewricht tot aan het puntje van je wijsvinger werkzaam is.

In de volgende paragraaf zullen we eens onderzoeken hoe al deze hefbomen bijdragen aan de uiteindelijke lanceersnelheid van een kogel.

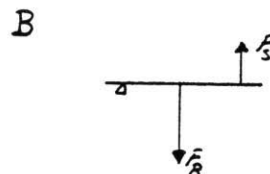
ANALYSE VAN WORPEN

De twee tegenstrijdige functies van hefboomen is het menselijk lichaam.

F_s = spierkracht
 F_B = belasting



snelheid van het uiteinde
 (bereik) van de hefboom
 vergroten ten koste van
 de kracht



met een kleine kracht
 een veel grotere kracht
 (belasting) overwinnen
 ten koste van de ver-
 plaatsing (en snelheid)
 van die belasting.

voorbeelden:



onderarm



voet

fig. 4.12 Tegenstrijdige functies van hefboomen.

4.4 EXPERIMENT: STEEDS MEER HEFBOMEN

We nemen een kogel van $+ 4$ kg in de vingers van de hand (niet in de handpalm). Om de wijs- en middelvinger is een tijdtikkerstrook gebonden. Daarmee bepaal je de snelheid van deze vingers en dus ook van de kogel bij het loslaten. Er moet iemand helpen de tijdtikkerstrook in goede banen te leiden, anders gaat het fout. De kogel wordt opgevangen in een net of deken om schade te voorkomen.

Proef 10 Twee hefboomen

- Zet je onderarm vast en gooi uitsluitend met een polsbeweging. Meet de lanceersnelheid.
- Zet je bovenarm vast, houd je pols stijf en gooi met een beweging van de onderarm.
- Doe dit nogmaals en nu met de polsbeweging erbij.
- Zet je metingen in een tabel en formuleer je conclusies.



fig. 4.13 Proefopstelling.

Proef 11 *Veel hefbomen*

Ga nu experimenteren met telkens meer hefbomen, waarbij onderdelen nog stijf gehouden kunnen worden of juist een extra beweging kunnen uitvoeren. In principe kun je 'einde-loos' veel combinaties halen uit de reeks:

- pols strekken
- onderarm strekken
- bovenarm strekken
- benen strekken
- schouders (en bovenlichaam) draaien
- onderlichaam draaien
- stap vooruit zetten.

Zet je metingen in een tabel en formuleer je conclusies.

Een interessante vraag, die op deze wijze beantwoord zou kunnen worden luidt:

Wat is de bijdrage van de rotatie van schouder en heup aan de lanceer-snelheid van de kogel en wat is de bijdrage van de 'translatie beweging' van de bovenarm-onderarm-pols-combinatie. Dit kun je eventueel als keuze-onderzoek uitvoeren na dit basisdeel.

4.5 VERSCHILLENDE WORPEN

We hebben gezien dat bij kogelstoten lanceersnelheid de belangrijkste faktor is. We hebben ook gezien dat de stoot, die de kogel ontvangt, een gevolg is van de beweging van een hele reeks hefbomen. De kunst is deze reeks zo uit te voeren dat de uiteindelijke beweging van de vingers (en dus de kogel) een maximale snelheid oplevert. Deze analyse geldt voor alle werpsporten.

Er zijn echter ook verschillen binnen deze categorie sporten. Daar gaan we nog even kort op in.

ANALYSE VAN WORPEN

Bij *discuswerpen* is rotatie nog belangrijker dan bij kogelstoten. Kijk maar naar de beweging.

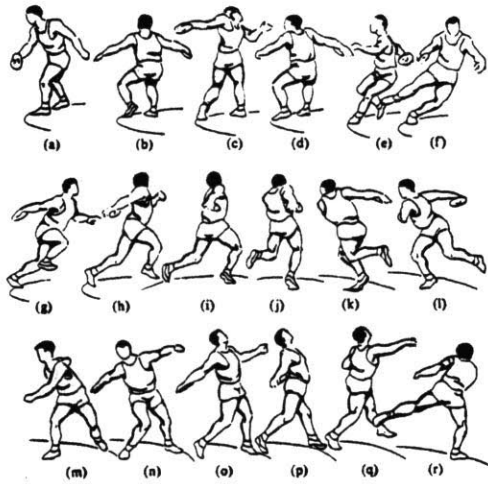


fig. 4.14 Discuswerpen.

Opgave 12 *Discuswerpen*

- Hoe wordt de straal van de rotatie van de discus zo groot mogelijk gemaakt?
- Welke faktor moet bij deze sport zeker worden toegevoegd aan het analyse-schema (vergelijk fig. 4.2)?

Bij *speerwerpen* is er sprake van een aanloop, waardoor de speer al een (hoge) snelheid heeft nog voor de lanceerkrachten werkzaam zijn. Zowel bij het speerwerpen als bij het discuswerpen is de overbrenging van de spierkracht op het materiaal een veel groter probleem dan bij het kogelstoten.

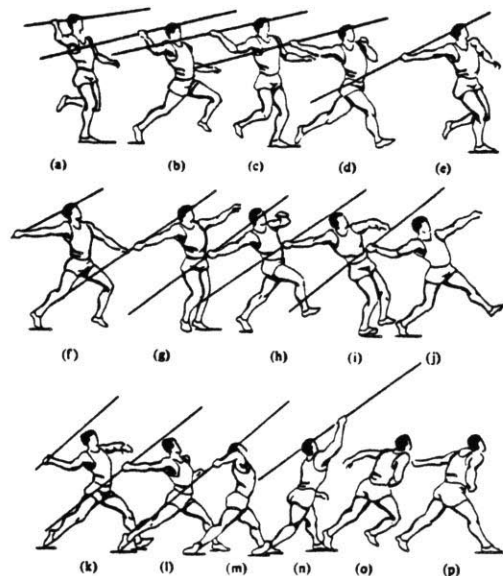


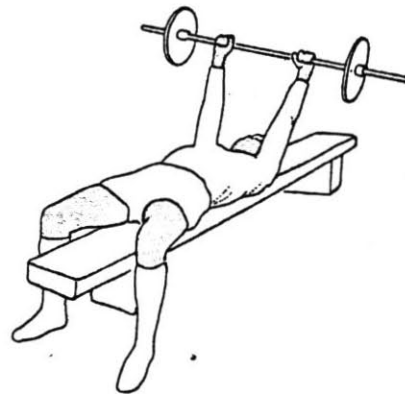
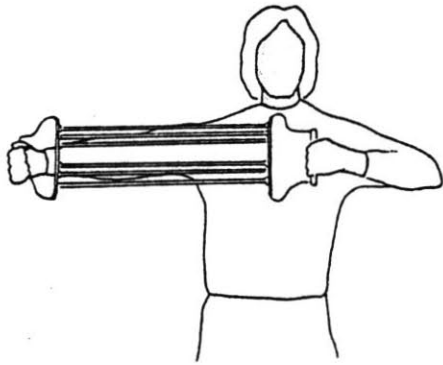
fig. 4.15 Speerwerpen.

5 KRACHTEN IN HET MENSELIJK LICHAAM

INHOUD:

5.1 De theorie van het evenwicht

5.2 Krachten berekenen



5.1 DE THEORIE VAN HET EVENWICHT



fig. 5.1 Het lichaamszwaartepunt van de turnster bevindt zich recht boven het steunvlak. De zwaartekracht en reactiekracht (normaalkracht) zijn even groot en tegengesteld.

In hoofdstuk drie hebben we gezien dat een turnster in labiel of stabiel evenwicht verkeert, als haar lichaamszwaartepunt zich boven het steunvlak bevindt. In fig. 5.1 is een voorbeeld weergegeven. Als de turnster op de plaats stilstaat, zijn alle krachten die op haar werken gelijk aan nul. De zwaartekracht werkt recht naar beneden. Het lichaam oefent hierdoor een kracht uit op het steunvlak, en volgens *het actie-reactie principe* oefent het steunvlak een even grote, maar tegengesteld gerichte reactiekracht uit op het lichaam. De reactiekracht van een steunvlak wordt ook wel *normaalkracht* genoemd.

Op het lichaam werken dus twee krachten, die even groot zijn en tegengesteld gericht zijn. In evenwicht geldt dat de som van deze krachten nul moet zijn.

Als er krachten in meer dan één richting werken, moet voor evenwicht gelden dat de som van de krachten in de x-richting nul is, evenzo voor de y- en z-richting:

$$\Sigma F_x = 0, \Sigma F_y = 0, \Sigma F_z = 0$$

KRACHTEN IN HET MENSELIJK LICHAAM

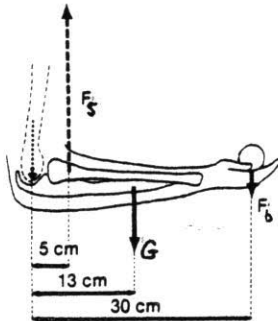


fig. 5.2 Als de onderarm in rust is, is de som van de momenten die werkzaam zijn gelijk aan nul.

Een hefboom, die kan draaien rond een vaste as, is in evenwicht, als de som van de werkzame momenten nul is. In de figuur werken er drie momenten op de onderarm, ten gevolge van de spierkracht, het gewicht van de arm zelf en de belasting in de hand. De uitdrukking $\Sigma M = 0$ staat bekend als de *momentenwet*. Het blijkt dat het er niet toe doet ten opzichte van welk punt je de momenten berekent. Voor evenwicht geldt: $\Sigma M = 0$ ten opzichte van elk punt.

Samengevat luiden de twee voorwaarden voor evenwicht:

- $\Sigma F = 0$ (de som van alle werkzame krachten in alle richtingen is nul)
- $\Sigma M = 0$ (de som van alle werkzame momenten is nul).

Deze evenwichtsvoorwaarden gelden voor elk voorwerp dat in rust is.

Als we de evenwichtsvoorwaarden toepassen op een onderdeel van het menselijk lichaam dat in rust verkeert, bijvoorbeeld de onderarm, dan kunnen we alle krachten die op dit onderdeel werkzaam zijn berekenen. Krachten die grote waarden kunnen aannemen zijn de spierkracht die op het bot aangrijpt en de *reaktiekracht van het gewricht* op het aangrenzende bot. In fig. 5.3 is de arm getekend zonder belasting. Het eigen gewicht van de arm doet deze *rechtsom* draaien, het bijbehorende moment zullen we *positief* kiezen. De spierkracht doet de arm *linksom* roteren, dit moment rekenen we *negatief*.

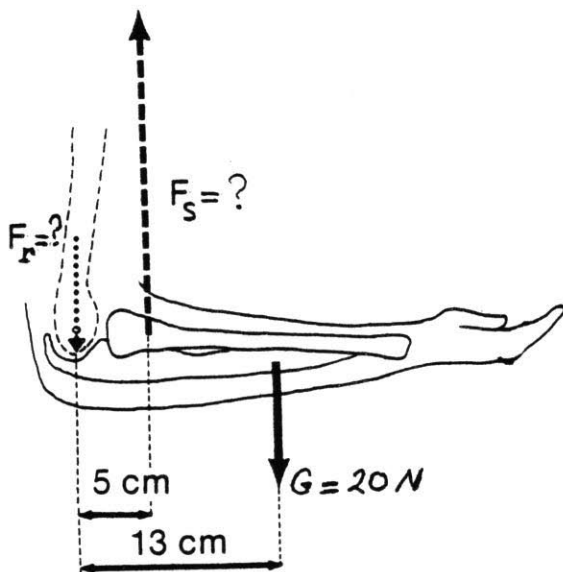


fig. 5.3 Berekening van krachten en momenten op de onderarm zonder belasting.

KRACHTEN IN HET MENSELIJK LICHAAM

Nu geldt in evenwicht:

$$\begin{aligned}\Sigma M &= 0, \\ 20 \text{ (N)} \times 0,13 \text{ (m)} - F_s \times 0,05 \text{ (m)} &= 0 \\ F_s &= \frac{2,6 \text{ Nm}}{0,05 \text{ m}} = 52 \text{ N}\end{aligned}$$

Met $\Sigma F = 0$ berekenen we de reactiekracht F_r op het bot: $\Sigma F = 0$,
 $F_r - 20 \text{ N} = 0$,
 $F_r = 20 \text{ N}.$

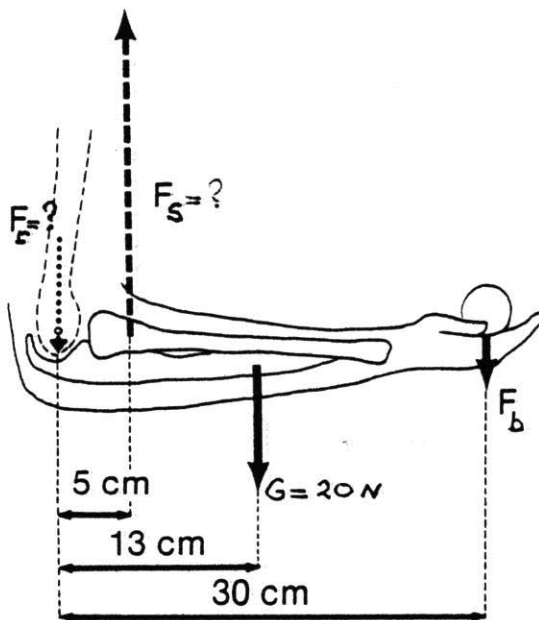


fig. 5.4 Berekening van krachten en momenten op de onderarm met een belasting van 10 kg op de hand.

Nu belasten we de hand met 10 kg (fig. 5.4). F_b (belasting) is dan 100 N (een afronding: g afgerond op 10 m/s^2). De vergelijkingen werden nu:

$$\begin{aligned}\Sigma M &= 0, \\ 20 \text{ (N)} \times 0,13 \text{ (m)} + 100 \text{ (N)} \times 0,30 \text{ (m)} - F_s \times 0,05 &= 0, \\ 32,6 \text{ Nm} &= 0,05 \text{ (m)} \times F_s \\ F_s &= \frac{32,6}{0,05} = 652 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{en } \Sigma F &= 0, \\ F_r - 652 \text{ (N)} + 20 \text{ (N)} + 100 \text{ (N)} &= 0 \\ F_r &= 532 \text{ N}\end{aligned}$$

Dus: een voorwerp van 10 kg in de hand doet de spierkracht met 600 N toenemen en de reactiekracht van het ellebooggewricht met 512 N.

5.2 KRACHTEN BEREKENEN

Kies nu zelf één of enkele van de opgaven hieronder uit om de evenwichtswetten te oefenen en iets van de groottes van de gewrichten te weten te komen. In alle opgaven geven de gegevens een versimpeling van de werke-

KRACHTEN IN HET MENSELIJK LICHAAM

lijkheid weer. Toch kunnen we met onze eenvoudige berekeningen tot vrij reële waarden komen.



Opgave 1 Voeten

De figuur in fig. 5.5 rust meer op haar linker dan op haar rechter voet. Bereken met behulp van de gegevens uit de figuur de kracht (van de grond) op de linker en die op de rechter voet.

Aanwijzing: Als je $\Sigma M = 0$ voor het lichaam toepast ten opzichte van (bijvoorbeeld) het linkerbeen, dan geeft de kracht op dit been geen bijdrage aan de momenten en wordt de vergelijking eenvoudig.

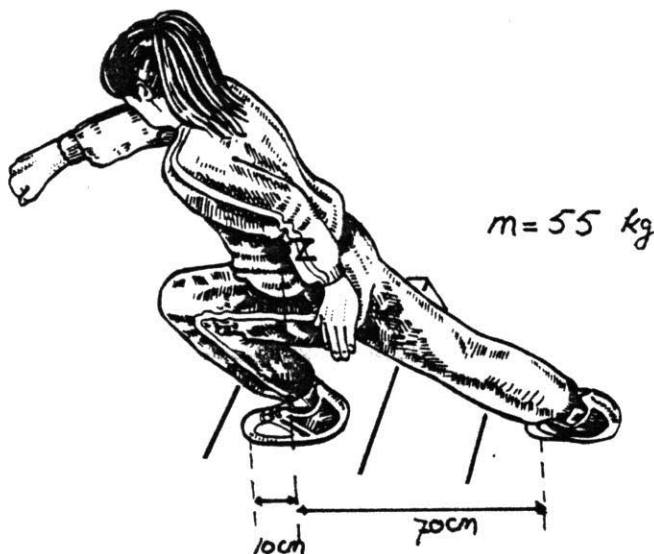


fig. 5.5 Het gewicht rust meer op de linker- dan op de rechtervoet. Hoe is de gewichtsverdeling?

KRACHTEN IN HET MENSELIJK LICHAAM

Opgave 2 Gestrekte arm

- Bereken de spierkracht, die nodig is om een gestrekte arm horizontaal te houden. Bereken ook de reactiekracht van het schoudergewricht op de arm. Alle vereiste gegevens staan in de figuur.
- Dezelfde vragen, nu met de arm gebogen.

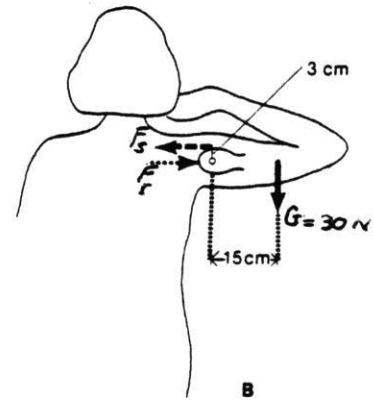
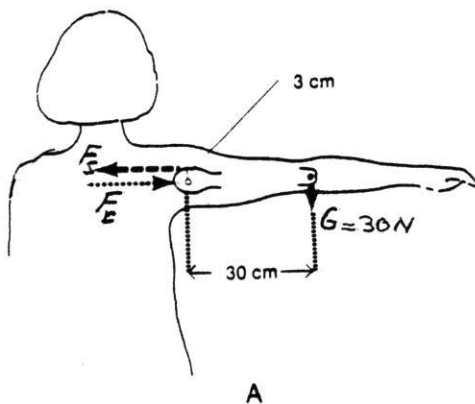


fig. 5.6 Op de gestrekte arm (a) en op de gebogen arm (b) worden de evenwichtsvoorwaarden toegepast.

Opgave 3 Voorover buigen

Het meisje uit fig. 5.7 buigt voorover om iets op te rapen. De rugspieren (in de figuur versimpeld weergegeven met één spier) houden het bovenlichaam op zijn plaats. Als we aannemen dat de helft van haar 60 kg massa boven, en de helft onder het heupgewricht zit, kunnen we met de gegevens uit de figuur een ruwe berekening van de benodigde spierkracht in de rug opzetten. Voer deze berekening uit en bereken eveneens de reactiekracht van het heupgewricht op de ruggegraat.

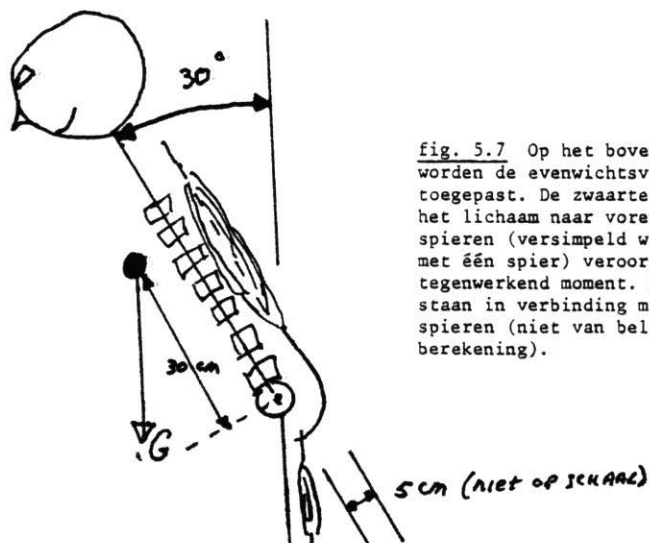


fig. 5.7 Op het bovenlichaam worden de evenwichtsvoorwaarden toegepast. De zwaartekracht buigt het lichaam naar voren, de rugspieren (versimpeld weergegeven met één spier) veroorzaken een tegenwerkend moment. De rugspieren staan in verbinding met de beenspieren (niet van belang voor de berekening).

KRACHTEN IN HET MENSELIJK LICHAAM

Opgave 4 Tillen

In fig. 5.8 a, b en c wordt op drie verschillende manieren een gewicht van 200 N (+ 20 kg) opgetild. Het bovenlichaam kan roteren rond de plaats die met een rechthoekje is weergegeven in de figuur. Dat is de plaats waar de heup de ruggengraat ondersteunt. We bepalen eerst de momenten die op het bovenlichaam werken ten opzichte van dit draaipunt. De dikke punt in de figuur geeft het zwaartepunt voor het bovenlichaam aan, de 450 N het gewicht ervan.

- Bereken voor alle drie de gevallen het totale voorwaarts draaiende moment ten opzichte van het aangegeven draaipunt.
- Het tegenwerkende moment van de rugspier weerhoudt het bovenlichaam voorover te vallen. In fig. 5.8 d is schematisch de rugspier aangegeven. Neem aan dat deze in alle drie gevallen een hoek van 30° met de vertikaal maakt en op een loodrechte afstand van 5 cm ten opzichte van het draaipunt werkzaam is. Bereken nu voor alle drie gevallen de grootte van de vereiste spierkracht.
- Bereken bovendien nog voor één van de gevallen de reactiekracht van het heupgewricht op de ruggengraat.

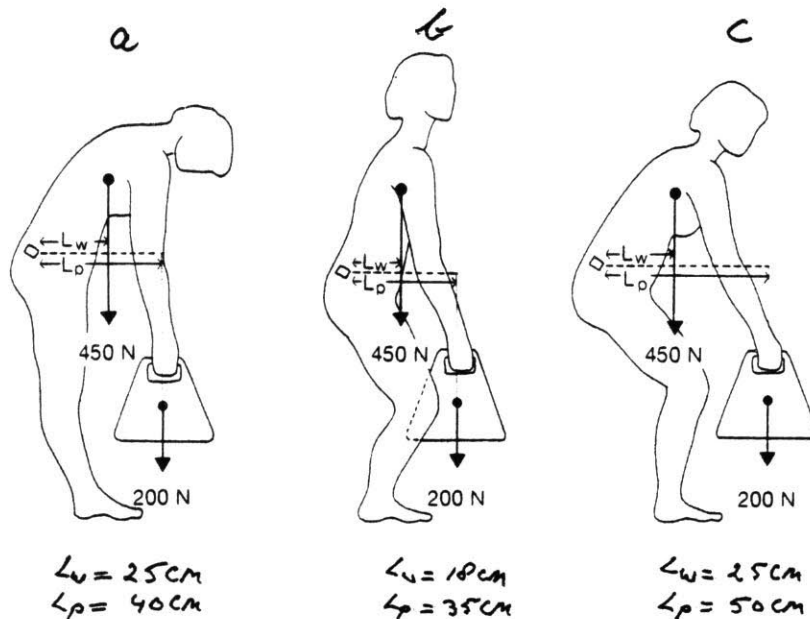


fig. 5.8 Een gewicht van 200 N tillen op verschillende manieren. Welke manier zou jij gebruiken?