

IDRÆTSFYSIK



FYSIKFORLAGET

Bjarne Jeppesen
Erik Bruun Olesen
Hanne Søholm
Leif Thomsen

IDRÆTSFYSIK

af Bjarne Jeppesen, Erik Bruun Olesen,
Hanne Søholm og Leif Thomsen

1. udgave, 1. oplag 1997
©Fysikforlaget

Redaktion:

Claus Christensen
Carsten Claussen
Ove Østergaard

Opsætning:

Ole Vinther

Tegninger:

Verner Schilling
Ole Vinther

Forsidefoto:

Surya Bonaly ved verdensmesterskaberne
i skøjteløb, Frankrig 1995.

Sats og tryk:

Budolfi Tryk, Aalborg

ISBN 87-7792-023-6

Kopiering fra denne bog er kun tilladt i overens-
stemmelse med overenskomst mellem Copy-Dan
og Undervisningsministeriet.

INDHOLD

	Forord	2
1.	Kroppens mål	3
1.2	Idealvægt	6
1.3	Kroppens densitet	6
2.	Idrættens energi	7
2.1	Energi og energikæder	7
2.2	Kroppens energiomsætning	7
2.3	Effekt og stofskifte	8
2.4	Nyttevirkning af kroppens arbejde	9
2.5	Puls og effekt	11
2.6	Kondital	11
3.	Idrættens mekaniske energi	14
3.1	Kinetisk og potentiel energi	14
3.2	Fjederekspanderen	16
4.	Idrættens kinematik	17
4.1	Bevægelse med konstant fart	17
4.2	Hastighed	19
4.3	Momentanhastighed	20
5.	Kraft og idræt	23
5.1	Kraft	23
5.2	Muskler	24
5.3	Sammensætning og opløsning af kræfter	26
5.4	Kræfter danner par	27
5.5	Kræfterne i idræt	28
6.	Krop og balance	32
6.1	Ligevægt	32
6.2	Tyngdepunktet	36
7.	Kraft og bevægelse	39
7.1	Accelereret bevægelse	39
7.2	Newtons love i idrætten	42
7.3	Spring og afsæt	44
	Stikordsregister	47

FORORD

Denne bog er skrevet til fysikundervisningen på gymnasiets obligatoriske niveau. Bogen vil imidlertid ligeledes kunne finde anvendelse på naturfagshold samt på hf. Bogen dækker ikke noget afgrænset område inden for kernestoffet, men den indholder elementer fra emnerne varmelære, energi, bevægelse og kraft. Derudover indføres også begrebet kraftmoment i kapitlet „Krop og balance“.

Kombinationen idræt og fysik er på mange måder oplagt, når undervisningen i fysik skal gennemføres tematisk. For det første er en fysisk baggrund nødvendig til forståelse af de fleste idrætsrelaterede problemstillinger. Hvorfor skal en langrendsski være glat i enderne og ru i midten, hvorfor skal man ikke lande på strakte ben efter et smash i volleyball, og hvor højt kan en højdespringer springe? For det andet har det vist sig, at elevengagementet er meget stort, når det drejer sig om kombinationen idræt og fysik.

Det vil ikke være hensigtsmæssigt at læse hele bogen på en gang. Bogen kan med fordel anvendes på tre forskellige tidspunkter af fysikforløbet. Kapitlet „Kroppens mål“ vil fx. kunne benyttes som introduktionsforløb, „Idrættens energi“ i forbindelse med emner fra varmelæren og energibegrebet og de resterende kapitler i forbindelse med en tematisering af mekanikbegrebet. I øvrigt vil de enkelte kapitler uden større problemer kunne læses særskilt.

I forbindelse med bogens tilblivelse har mange personer været inddraget. Tak for gode ideer og megen inspiration til John Henning. For gode, kritiske kommentarer til manuskriptet tak til Ove Splittorff, Carl P. Knudsen, Ove Østergaard og Susanne Stubgaard. I forbindelse med redigeringen skal en tak også lyde til Claus H. Christensen og Carsten Claussen. Ligeledes tak til Ole Vinther, der har sørget for opsætningen samt til Verner Schilling, der har udført tegningerne. Desuden tak til Børge Nommensen, der har fremstillet fotos fra undervisningssituationer med elever fra 3z, Odense Katedralskole. Dansk Sportsfoto, ved Preben Søborg, skal desuden have tak for god og kompetent hjælp ved udvælgelsen af øvrige fotos.

På forfatternes vegne
Erik Bruun Olesen
Juni 1997

1. Kroppens mål

1.1 Kroppen som målestok

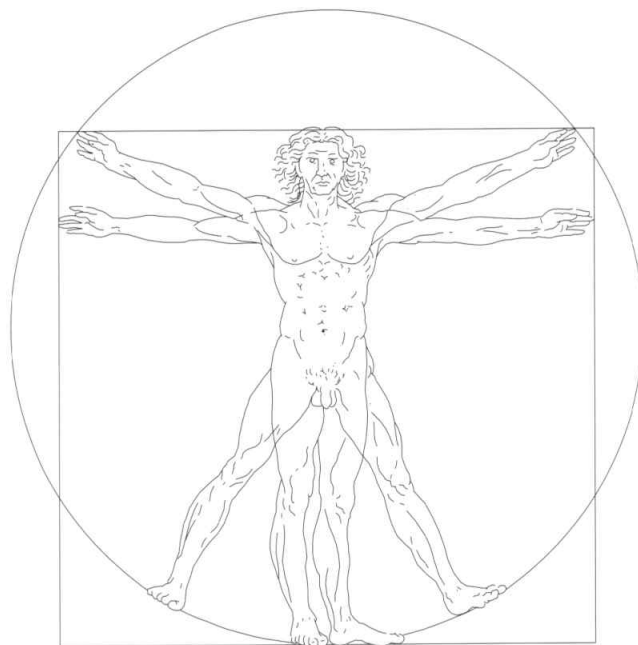


Figur 1.1 Spydkasteren af Polykleitos.

Hos de fleste folkeslag har man gennem tiderne brugt kroppen som målestok. De gamle egyptere brugte bl.a. bredden af en finger, længden af håndfladen og længden af underarmen som mål. En favn, en alen, en fod er eksempler på gamle danske mål, som også er baseret på menneskekroppen. En alen er således afstanden fra fingerspidserne til albuen.

I klassiske græske statuer opererede man med visse ideale menneskelige proportioner. De ses eksempelvis på figuren "Spydkasteren" af Polykleitos, figur 1.1.

Hovedet udgør 1/8, brystets bredde 1/4, underbenets, fodens og håndens længde henholdsvis 1/4, 1/6 og 1/10 af kroppens længde. Desuden kan figuren indskrives i en cirkel med navlen som centrum eller – med udstrakte arme – i et kvadrat, og den beviser dermed sin sammenhæng med de geometriske grundformer og den "kosmiske harmoni".



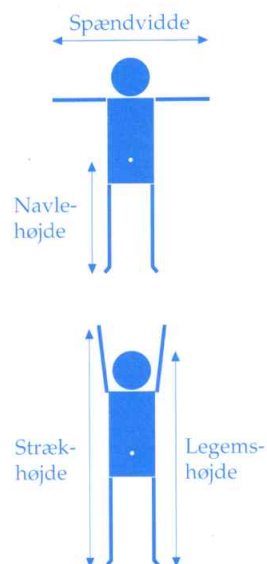
Figur 1.2 Skitse lavet af Leonardo da Vinci.

I renæssancen forsøgte bl.a. italieneren Leonardo da Vinci at finde sammenhænge og love for menneskekroppens proportioner. Han valgte at gå tilbage i tiden og benytte antikkens mål for den harmoniske menneskekrop. Dette ses på hans billede "Homo ad circulum" fra ca. 1490, figur 1.2, der viser følgende ideale proportioner:

$$\frac{\text{Strækhøjde}}{\text{Navlehøjde}} = 2$$

$$\frac{\text{Legemshøjde}}{\text{Spændvidde}} = 1$$

$$\frac{\text{Legemshøjde}}{\text{Navlehøjde}} = \frac{1 + \sqrt{5}}{2}$$



Det sidste forhold kaldes det gyldne snit og genfindes i mange malerier, skulpturer og bygninger.

Ud over disse klassiske forhold, eksisterer der nogle tommelfingerregler om menneskekroppens ideale proportioner.

Som eksempler kan nævnes:

$$\frac{\text{Halsens omkreds}}{\text{Håndleddets omkreds}} = 2 \quad \frac{\text{Livvidden}}{\text{Halsens omkreds}} = 2$$

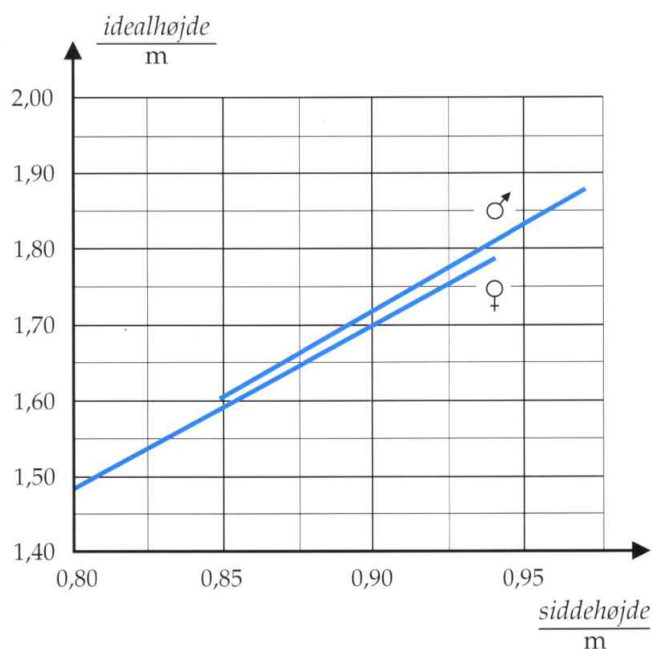
Mennesker har meget forskellig kropsbygning og højde. Det betyder blandt andet, at vi ikke egner os til de samme idrætter. I hvert fald ikke hvis de skal dyrkes på eliteniveau – se fx figurer 1.4 og 1.5 (opgave 4).

Man har alligevel konstrueret en såkaldt ideelhøjde. Den kan findes ud fra en persons benlængde (B), legemshøjden (L) i stående stilling og siddehøjden (S):

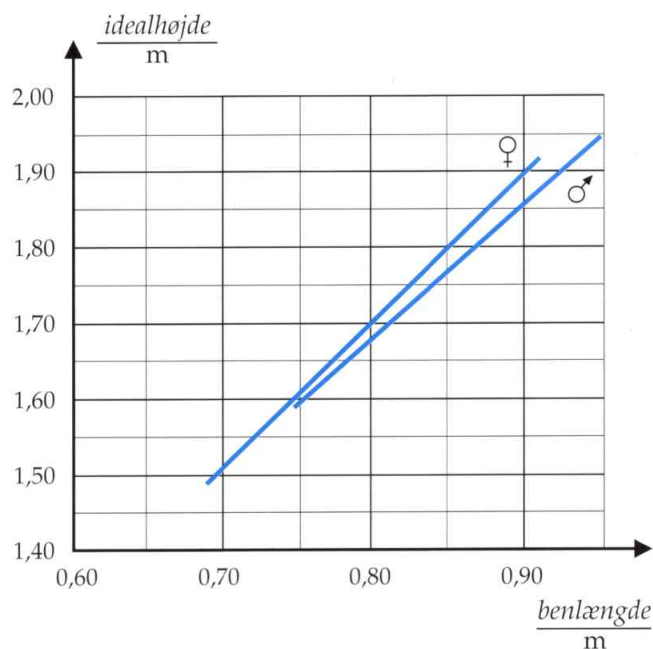
$$B=L-S$$



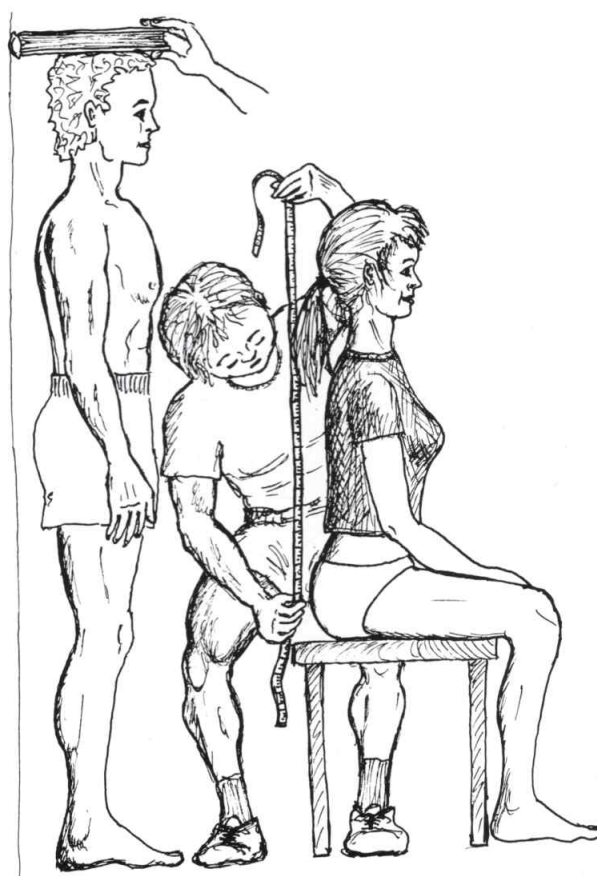
På figur 1.3 og 1.4 er ideelhøjden vist som funktion af henholdsvis siddehøjden og benlængden for både mænd og kvinder.



Figur 1.3 Ideelhøjde ud fra siddehøjde.



Figur 1.4 Ideelhøjde ud fra benlængde.



1. Leonardo da Vincis idealmand

◆ Kontrollér, at manden på da Vincis billede (figur 1.2) har de påståede proportioner.

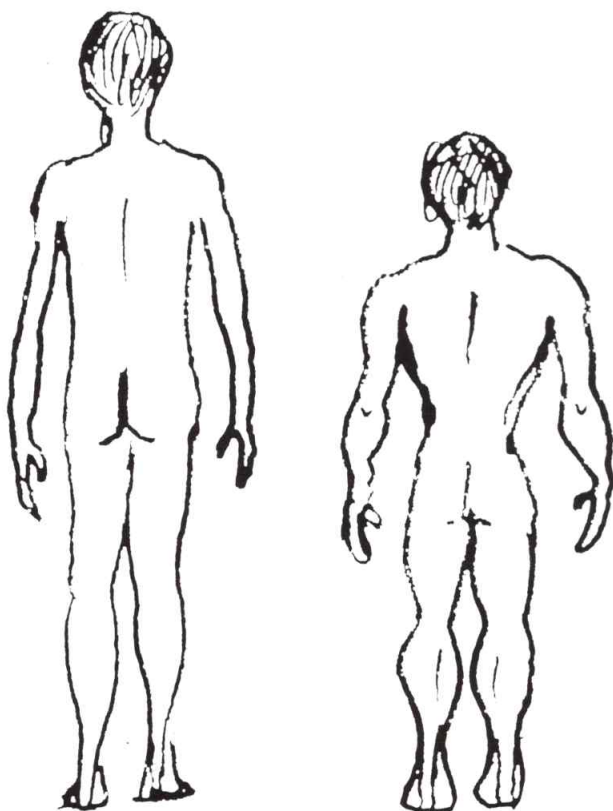
2. Mål dig selv

◆ Mål spændvidden, legems-, stræk- og navlehøjde på dig selv og på andre fra klassen.
◆ Mål også livvidde og omkreds af hals og håndled. Stemmer jeres proportioner overens med de klassiske? Ved sammenligningen anvendes gennemsnitsmålinger for klassen. Et regneark er velegnet til beregningerne.

3. Benlængde og idealhøjde

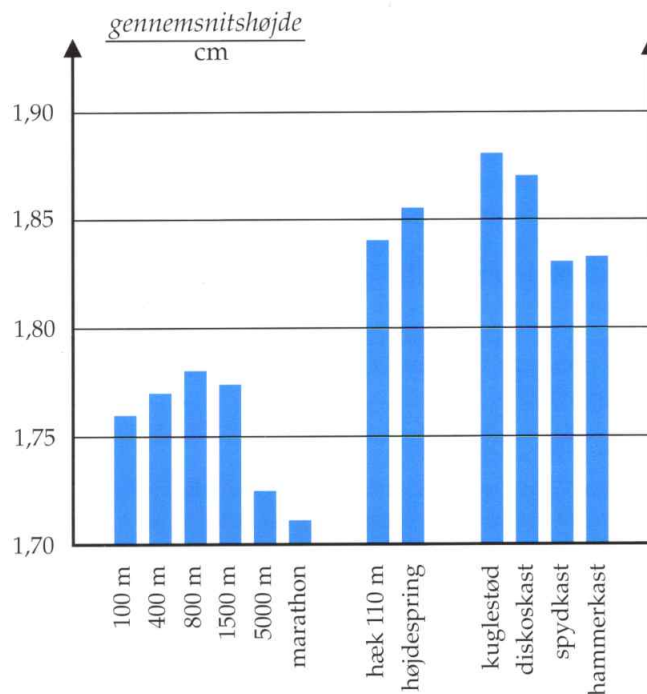
◆ Benlængden beregnes ud fra legemshøjde og siddehøjde.
◆ Idealhøjden findes dels ud fra siddehøjden (figur 1.3) og dels ud fra benlængden (figur 1.4).
◆ Sammenlign de fundne idealhøjder med den målte legemshøjde. Hvilken betydning har afvigelser mellem den målte legemshøjde og de to idealhøjder?
◆ Hvilken forskel er der på kvinder og mænd mht. benenes og kroppens længde, vurderet ud fra idealkurverne?
◆ Hvor lange ben har en 175 cm høj "idealkvinde"?
◆ Besvar det tilsvarende spørgsmål for en "idealmand".
◆ Giv en vurdering af begrebet idealhøjde og dets anvendelighed.

4. OL-vinderes idealhøjde



OL-vindere i højdespring og vægtløftning i 1960.

◆ Undersøg ved at måle på figuren, om deres legemshøjde svarer til deres idealhøjde. Diskutér resultatet.
◆ Hvilken fordel har vægtløfteren af at være forholdsvis lille?



Gennemsnitshøjden hos olympiadedeltagere i 1960 i forskellige discipliner. Løberne er alle relativt små, især langdistanceløberne. Højdespringerne og hækkeløberne og kasterne er derimod temmelig høje.

1.2 Idealvægt

Mange danskere slås med vægtproblemer. Især piger og kvinder er bange for at blive for tykke og er derfor meget interesserede i, hvor meget de vejer. Det benyttes bl.a. ugebladene sig af. Hvert år i januar og lige inden badesæsonen begynder, er bladene fyldte med slankeklure, som lover vægttab på op til 4-5 kg pr. uge. De fleste af disse klure er imidlertid fup og fidus. Det er stort set kun vand, der tabes, og få dage efter man har standset kuren, vejer man lige så meget som før. Den eneste måde, hvorpå man kan opnå et vedvarende vægttab, er ved at sørge for, at energiomsætningen er større end energitilførslen. Det kan opnås ved enten at være mere fysisk aktiv eller ved at spise mindre fedt.

Body Mass Index

I idræt anvendes normalt udtrykket kropsvægt, men egentlig menes der dermed personens masse, der som bekendt måles i enheden kg. Kropsvægten viser ikke i sig selv, om man er overvægtig eller ej. Det kan det såkaldte *Body Mass Index* (BMI) bruges til at vurdere. BMI beregnes ud fra legemshøjden (L) og kropsvægten (m)

$$BMI = \frac{m}{L^2}$$

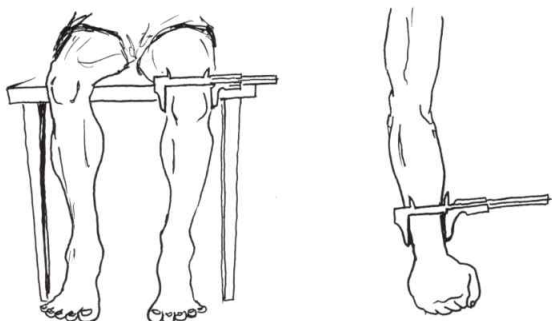
Et BMI mellem 20 kg/m² og 25 kg/m² regnes for normalt. Hvis ens BMI er over 25 kg/m², regnes man for moderat overvægtig, og er det over 30 kg/m², betragtes man som betydelig overvægtig. Der er imidlertid den svaghed ved BMI, at det ikke tager hensyn til, om personen er spinkelt eller kraftigt bygget, og heller ikke om vedkommende har stor eller lille muskelmasse.

Fedtfri kropsvægt

En bedre, men også mere kompliceret metode til at vurdere om ens kropsvægt er ideel eller ej, er at bestemme den fedtfrie vægt (FF), dvs. massen af især kroppens knogler og muskler. Herudfra kan man bestemme sin idealvægt. Den fedtfrie kropsvægt kan beregnes fra følgende udtryk, som svenskeren von Döbeln har præsenteret

$$FF = 400 \cdot (h^2 \cdot a \cdot b)^{0.7}$$

hvor a er summen af forsøgspersonens håndledsbredden målt på det bredeste sted, og b er summen af bredden af højre og venstre knæ. Desuden måles legemshøjden (h) og kroppens masse (m). Størrelserne FF, a , b og h måles i SI-enheder. Se figur 1.5.



Figur 1.5 Måling af håndleds- og knæbredde.

1.3 Kroppens densitet

Densiteten af et stof betegnes ρ (rho) og er defineret ved

$$\rho = \frac{m}{V}$$

hvor m er genstandens masse, og V er dens volumen. Enheden for ρ er normalt g/cm³ eller kg/m³. Kroppens densitet er ca. 1,04 g/cm³.

Opgaver & aktiviteter

5. Bestemmelse af BMI og FF.

◆ Bestem dit BMI og din fedtfrie vægt FF. Beregn derefter massen af dit kropsfedt.

Fedt udgør hos unge veltrænede kvinder ca. 20% af kropsvægten og hos unge veltrænede mænd ca. 10%. Idealvægten bliver derfor 1,25·FF for kvinder og 1,11·FF for mænd.

◆ Udregn på grundlag heraf din idealvægt.

Det er svært at angive en øvre grænse for normalvægten. Ovennævnte svenske undersøgelser foreslår dog en "maksimalvægt" for mænd på 1,20·FF, og for kvinder på 1,35·FF.

◆ Sammenlign din målte kropsvægt med den beregnede ideal- og maksimalvægt.

6. Mål din densitet

For at bestemme din densitet må du kende din masse og dit volumen. Massen kan bestemmes med en badevægt. Kroppens volumen kan bestemmes på en af følgende to måder:

a) Badekarsmetoden

Et badekar eller en lignende stor beholder fyldes med så meget vand, at en person kan neddykkes helt heri. Vandstanden afmærkes før og efter neddykningen. Personens volumen bestemmes ved at måle, hvor stor en mængde vand der skal fyldes i beholderen, for at vandstanden flytter sig fra det nederste til det øverste mærke.

b) Geometrisk metode

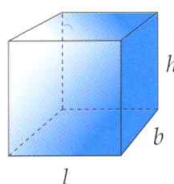
Kroppen kan opdeles i kendte geometriske figurer: cylindre, kasser og kugler, alt efter kroppsfacon. Beregn på grundlag heraf dit rumfang.

7. De tunge drenge

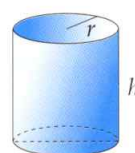
◆ Udregn gennemsnitsværdien af densiteten for henholdsvis pigerne og drengene i klassen.

◆ Er der forskel på de 2 køns densiteter?

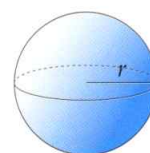
◆ Hvad kan en forskel skyldes?



$$V = l \cdot b \cdot h$$



$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h$$



$$V = \frac{4\pi}{3} \cdot r^3$$

2. Idrættens energi

En væsentlig årsag til, at mange mennesker dyrker idræt er, at man får god motion og stresser af fra dagligdagens andre oplevelser. Fornemmelsen af at have brugt en masse energi øger velværet og giver samtidig en veltrænet og velfungerende krop. Den energi, man bruger, når musklerne arbejder, giver også en god og sund appetit, som gør det lettere at holde balance mellem energitilførsel og energiomsætning.

2.1 Energi og energikæder

Energi eksisterer i mange forskellige former. Det kan være i form af fx *elektrisk energi*, *kemisk energi*, *termisk energi*, *kinetisk energi*, *potentiell energi* og *kerneenergi*.

I en bilmotor bliver benzinens *kemiske energi* ved forbrænding omdannet til *termisk energi*, hvilket får stemplerne til at bevæge sig og dermed sætter bilens hjul i bevægelse. Der skabes *kinetisk energi*:

$$E_{\text{kemisk}} \rightarrow E_{\text{termisk}} \rightarrow E_{\text{kinetisk}}$$



Figur 2.1 Energi overføres fra én form til en anden

I vores krop sker der også omdannelse af energi fra en form til en anden. Føden leverer den *kemiske energi*, der er nødvendig for musklernes sammentrækning. Der ved skabes der bevægelse af kroppen. Samtidig udvikles der varme, hvilket også sker ved andre processer i kroppen.

2.2 Kroppens energiomsætning

Når dyr og mennesker spiser, er det først og fremmest for at optage organisk stof, der frigiver energi ved forbrændingen i kroppen. Selv om temperaturen i kroppen kun er 37°C, taler man alligevel om forbrænding. Det skyldes, at de kemiske omdannelser er de samme, som sker ved afbrænding ved langt højere temperatur, hvor der i visse tilfælde kan være flammer eller andre tegn på en forbrændingsproces:



Brændværdi

Energiindholdet i fødevarer og andre "brændstoffer" som olie, kul og gas, udtrykkes ved hjælp af *brændværdien*. Den angiver, hvor meget energi, der frigøres pr. masseenhed (B_m) eller pr. volumenenhed (B_v).

$$\Delta E = B_m \cdot m \quad \text{eller} \quad \Delta E = B_v \cdot V \quad (1)$$

hvor m er brændstoffets masse, og V er dets volumen. Den frigjorte energi ΔE måles i enheden joule (J). Dermed bliver enheden for brændværdi J/kg eller J/m³.

Tabel 2.1 Kosttabel

Fødevarer	Brændværdi (MJ/kg)
Druesukker	15,56
Grøntsager, frugt	1,5
Ost, brød, kød, fisk	10,0
Fedtstof	31,0
Sødmælk	2,7
Kartofler	3,6

Tabel 2.2 Normal daglig energiindtagelse for mænd og kvinder i forskellige aldersgrupper.

Mænd	Gennemsnit (MJ)	Variation (MJ)
11–14 år	9,9	8,4–15,5
15–18 år	11,5	8,8–16,3
19–30 år	11,8	10,5–13,8
31–60 år	11,2	9,6–13,0
61– år	9,0	7,4–10,6

Kvinder	Gennemsnit (MJ)	Variation (MJ)
11–14 år	8,4	6,3–12,6
15–18 år	9,0	5,0–12,6
19–30 år	8,6	7,1–10,5
31–60 år	8,5	6,7–10,0
61– år	7,5	5,5–8,5

Opgaver & aktiviteter

1. Energiformer og energikæder

- ◆ Giv eksempler på forskellige energiformer og disses omdannelser til andre energiformer.
- ◆ Opstil eksempler på energikæder.

2. Energiomdannelser i idræt

- ◆ Find eksempler på energiomdannelser i nogle forskellige idrætsgrene.

3. Mad og energi

- ◆ Beregn energiindholdet i den mad du spiser på en almindelig dag. Du skal medtage alt, hvad du spiser og drikker. Benyt ovenstående tabel eller endnu bedre en kosttabel til beregningerne. Sammenlign med det gennemsnitlige energiforbrug i din aldersgruppe, jf tabel 2.2.

2.3 Effekt og stofskifte

Effekt er et mål for, hvor hurtigt energi omsættes. Effekt er omdannet energi pr. tid

$$\text{effekt} = \frac{\text{energi}}{\text{tid}}$$

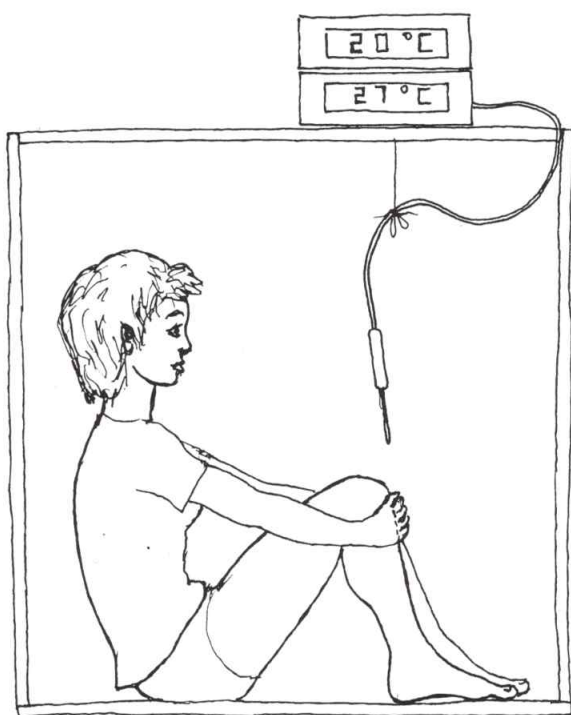
Med betegnelserne ΔE for omsat energi, Δt for tid og P for effekt kan udtrykket skrives

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} \quad (2)$$

Effekt måles i enheden watt, forkortet W. Der gælder, at 1 watt = 1 joule/sekund.

Kroppens energiomsætning kaldes ofte *stofskiftet*. Fysisk set må den angives ved den effekt, hvormed kroppen omsætter kemisk energi. En del af energien leveres til musklerne, så vi kan gå, løbe, cykle osv. En anden del bruges til at vedligeholde kroppens forskellige funktioner, herunder en konstant temperatur på 37°C , mens resten går til fordampning af vand. Når personen er i hvile, er det kun de sidste to bidrag, der kommer i betragtning.

Man har vedtaget ganske bestemte regler for, hvad det vil sige, at en person er i hvile. Ideelt set skal eksperimentet udføres om morgenen af en person, der har fastet i 12 timer. Vi kan som regel ikke efterligne disse idealbetingelser, men man bør sørge for, at personen befinder sig i rolige omgivelser med en konstant temperatur, og at personen ikke lige har spist. Det skyldes, at kroppen bruger meget energi til fordøjelsen lige efter et måltid. Tænk blot på, hvor søvrig man kan blive lige efter, man har spist.



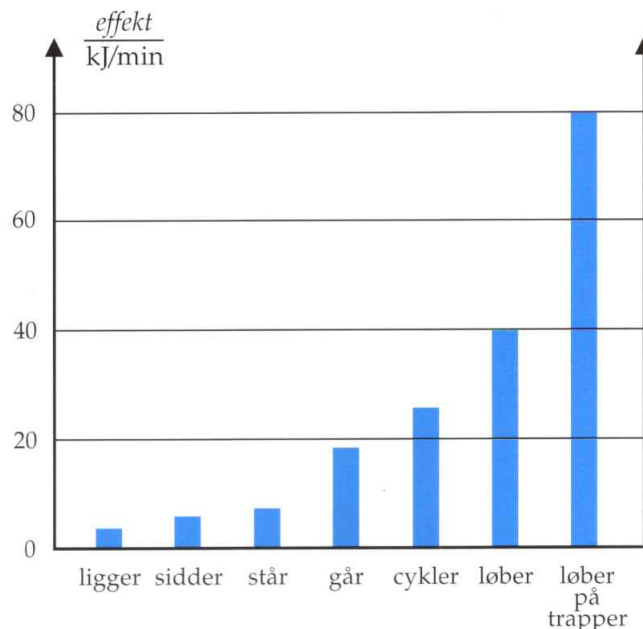
Figuren viser en opstilling til måling af den effekt, der går til kroppens temperaturvedligeholdelse (Aktivitet 7).

Opgaver & aktiviteter

4. Kroppens effekt

◆ Benyt tabel 2.2 til at beregne den gennemsnitlige effekt hvormed personer af forskellig alder og køn omsætter energi.

5. Fedt nok?



Figur 2.2 Energiomsætning ved forskellige aktiviteter.

◆ Ifølge figuren omsætter kroppen energi med effekten 40 kJ pr. min, når man løber. Omregn effekten til enheden watt.

◆ Benyt figurens oplysninger sammen med et skøn over, hvor lang tid du ligger, står, cykler osv. i løbet af en dag, til at beregne dit samlede energiforbrug i løbet af ét døgn. Sammenlign med energiindtagelsen og vurder, om du den pågældende dag tabte dig, eller om du tog på.

6. Frokost!

Til frokost indtager du en dag en pose kartoffelchips og 1 liter sødmælk.

◆ Benyt varedeklarationerne til at beregne, hvor meget energi du har indtaget. Løber man i almindeligt tempo (8-18 km/time) er energiomsætningen på grund af løbet ca. 4 kJ pr. kg kropsvægt pr. km.

◆ Hvor langt skal du løbe for at forbrænde din frokost?

7. Bestemmelse af den effekt, der går til kroppens temperaturvedligeholdelse.

Den effekt, der går til at vedligeholde kroppens temperatur på 37°C , kan måles ved at anbringe en forsøgsperson i en isoleret kasse. Temperaturen i kassen måles, indtil den bliver konstant. Samtidig måles temperaturen uden for kassen. Forsøget gentages med henholdsvis 1, 2, 3 og 4 tændte almindelige 40 W pærer placeret i kassen. Den elektriske effekt, der derved afsættes, kan måles med en effektmåler.

Den afsatte effekt afbildes som funktion af den temperaturforskel, der opnås mellem inde- og udetemperaturen, efter at temperaturen i kassen er blevet konstant. Ved hjælp af grafen kan den effekt, forsøgspersonen afsatte, bestemmes ved at opsøge det punkt på grafen, som passer med den målte temperaturforskel, da forsøgspersonen var i kassen.

2.4 Nyttevirkning af kroppens arbejde

Når en person arbejder, motionerer eller spiller bold, forbrændes de næringsstoffer, som kroppen har optaget med føden. En del af den tilførte kemiske energi omdannes til nyttig energi i form af fx kinetisk energi. Resten går til opvarmning af kroppen og til fordampning.

Vi definerer nyttevirkningen som forholdet mellem den udnyttede energi og den tilførte

$$\eta = \frac{E_{\text{nytte}}}{E_{\text{tilført}}} \cdot 100\% \quad (3)$$

Eksempelvis er den udnyttede energi for en bjergbestiger E_{nytte} lig med tilvæksten i potentiel energi. Når man går op ad en bakke, er nyttevirkningen ca. 20 %. Dette betyder, at 20 % af den tilførte energi anvendes til at øge den potentielle energi, mens resten bliver til varme i musklerne og går til fordampning.

For at bestemme kroppens nyttevirkning eksperimentelt skal man dels finde det arbejde kroppen udfører pr. tid, dels kroppens samlede stofskifte. Hertil kan man anvende en kondicykel, også kaldet en ergometercykel.

Arbejde på en ergometercykel

Når pedalerne drejes rundt, kører også svinghjulet rundt, samtidig med at det bremses af et bremsebånd. Den derved opnåede energiomsætning kaldes bremsekraftens arbejde. Arbejdet, der udføres ved én pedalomdrejning (A_1), er

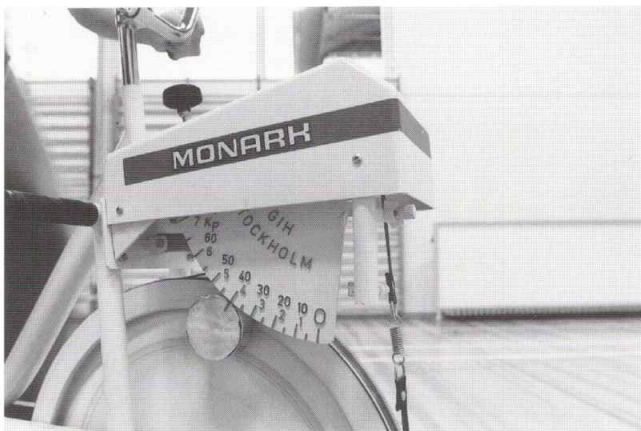
$$A_1 = F_{\text{brems}} \cdot s_1 \quad (4)$$

hvor F_{brems} er bremsekraften, og s_1 er den tilbagelagte vejlængde på en pedalomdrejning. En nærmere beskrivelse af kraft og arbejde findes i kap 5 og 7. SI-enheden for kraft er newton, forkortet N. Når kraften måles i newton og vejlængden i meter, måles arbejdet i joule.

Bremsekraftens størrelse er sædvanligvis angivet på en skala foran styret. Multipliceres aflæsningen med 10 angives bremsekraften i newton. En indstilling på 4 svarer således til en bremsekraft på 40 N.

Når pedalerne trædes n gange rundt i løbet af tiden t er effekten P_{cykel} lig

$$P_{\text{cykel}} = \frac{A_1 \cdot n}{t} = \frac{F_{\text{brems}} \cdot s_1 \cdot n}{t}$$



Vanddampindhold i luft

Den energi, der frigøres ved fordampning kan bestemmes ved at måle, hvor meget vand kroppen fordampner i løbet af et bestemt tidsrum. Den energi E_{damp} , der går til fordampning er lig

$$\Delta E_{\text{damp}} = \Delta m_{\text{damp}} \cdot L \quad (a)$$

hvor m_{damp} er lig massen af den fordampede vandmængde, og L er vands specifikke fordampningsvarme, dvs. den tilførte energi pr. masse fordampet vand. Værdien for L er næsten konstant, men afhænger dog lidt af den temperatur, ved hvilken fordampningen finder sted. Ved 100°C er L lig 2257 kJ/kg, mens den ved 37°C er lidt højere, nemlig 2413 kJ/kg.

Den mængde vanddamp, luften maksimalt kan indeholde, er afhængig af temperaturen. Jo varmere luften er, des mere vanddamp kan den indeholde. I Databogen findes en tabel med det maksimale vanddampindhold i 1 m³ luft ved forskellige temperaturer angivet.

Den mængde vanddamp, m_{damp} , der er i et rum med rumfanget 1 m³ og den relative luftfugtighed r , kan beregnes ved

$$m_{\text{damp}} = r \cdot m_{\text{max}} \quad (b)$$

hvor m_{max} betegner det maksimale vanddampindhold i 1 m³ luft. Værdien kan aflæses i Databogen. Den relative luftfugtighed r angives normalt i procent. r kan eksempelvis bestemmes ved hjælp af et hygrometer.

Opgaver & aktiviteter

8. Relativ luftfugtighed og vanddampindhold

- ◆ Bestem den relative luftfugtighed ved 22°C, når luftens indhold af vanddamp er 12,6 g/m³.
- ◆ Bestem massen af vanddamp i et rum på 8 m³, hvor luften har temperaturen 24°C, og den relative luftfugtighed er 60%.
- ◆ Bestem den relative luftfugtighed for 1 m³ luft ved 10°C, når den ved 37°C var 20%. Forklar, hvorfor man kan danne små skyer med udåndingsluften i koldt vejr.

9. Bestemmelse af fordampningens bidrag til hvilestofskiftet – fortsættelse af aktivitet 7

Ved at måle kassens volumen, den relative luftfugtighed i kassen før og efter forsøgspersonens ophold i kassen samt forsøgets varighed, kan fordampningens bidrag til hvilestofskiftet bestemmes. Ved hjælp af formel (b) bestemmes den samlede mængde damp i kassen m_{damp} før og efter forsøget. Derfra bestemmes den mængde damp, forsøgspersonen har frigivet. Ved hjælp af formel (a) og (2) bestemmes den effekt, hvorved forsøgspersonen har omsat energi til fordampning af vand. Nu kan hvilestofskiftet bestemmes.

Kroppens opvarmning

Personens egen krop bliver også varmet op. Energibidraget hertil kan beregnes ved

$$\Delta E_{\text{krop}} = m \cdot c \cdot \Delta T$$

hvor m er personens masse, c er kroppens gennemsnitlige specifikke varmekapacitet. ΔT er temperaturtilvæksten. Man kan sætte c til $3,5 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$, selvom værdien svinger lidt fra person til person. Det betyder, at der skal tilføres $3,5 \text{ kJ}$ pr. kg af kroppen for at hæve dens temperatur med 1°C .

Effektbidraget fra kroppens opvarmning beregnes ved

$$P_{\text{krop}} = \frac{\Delta E_{\text{krop}}}{\Delta t} = \frac{m \cdot c \cdot \Delta T}{\Delta t}$$

når opvarmningen sker i løbet af tiden Δt .

Nyttevirkning ved cykling

Nyttevirkningen η bestemmes herefter ved

$$\eta = \frac{P_{\text{cykel}}}{P_{\text{cykel}} + P_{\text{krop}} + P_{\text{damp}} + P_{\text{varme}} - P_{\text{hvile}}} \cdot 100\%$$

hvor

P_{cykel} er den effekt, hvormed der udføres cykelarbejde

P_{krop} er den effekt, hvormed der sker en opvarmning af personens krop

P_{damp} er den effekt, hvormed der sker fordampning af vand fra forsøgspersonen

P_{varme} er den effekt, hvormed kroppen afgiver varme til omgivelserne

P_{hvile} er hvilestofskiftet.



Opgaver & aktiviteter

10. Cykeleffekt

En person cykler i 10 minutter på en ergometercykel med en bremsekraft på 40 N . Den tilbagelagte vej pr. pedalomdrejning er $6,0 \text{ m}$, og der trædes 50 omdrejninger pr. minut.

- ◆ Bestem det arbejde, cyklisten udfører.
- ◆ Bestem den effekt, P_{cykel} , cyklisten herved yder.

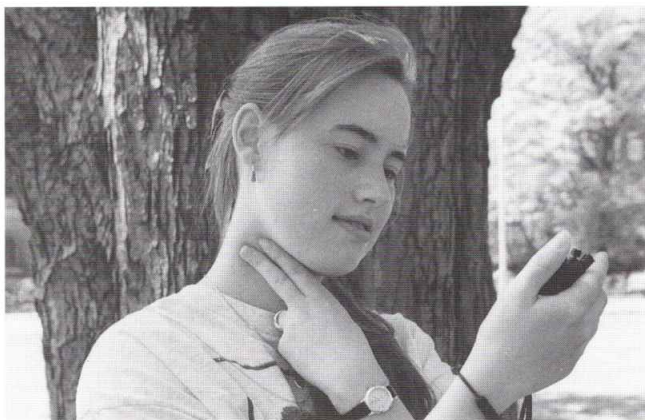
11. Kropsopvarmning

- ◆ En person vejer 72 kg . Han får i et forsøg, der varer 32 minutter, øget sin kropstemperatur med $0,4^\circ\text{C}$. Bestem P_{krop} .

12. Nyttevirkning ved cykling – fortsættelse af aktivitet 7, 9, 10 og 11.

Forsøgspersonen placeres på en ergometercykel i den isolerede kasse. Der cykles igen, indtil temperaturligevægt er opnået. Varmeafgivelsen fra kroppen bestemmes som i aktivitet 7. Fordampningen fra kroppen bestemmes som i aktivitet 9. Den nyttiggjorte effekt P_{cykel} bestemmes som i aktivitet 10. Bidraget fra kroppens opvarmning bestemmes som i aktivitet 11. Og så kan kroppens nyttevirkning bestemmes.

2.5 Puls og effekt



Figur 2.5 Pulsmåling

Et menneskes puls er det antal gange, hjertet trækker sig sammen pr. minut (antal hjerteslag/min). Pulsen i hvile er ca. 60 pr. min for mænd og ca. 70 pr. min for kvinder. Veltrænede personer kan dog have en noget lavere hvilepuls (ca. 40 pr. min).

Hvis vi begynder at arbejde eller motionere, stiger pulsen. Hvor meget den stiger, afhænger af den effekt, hvormed kroppen omsætter energi. I idrætten anvendes ofte ordet arbejdsbelastning i stedet for ordet effekt. På mange ergometercykler er effekten angivet i enheden watt foran styret. Hvis man benytter en cykel, hvorpå der blot står angivet tallene 1, 2, 3, 4, ..., kan man i afsnit 2.4 se, hvordan tallene benyttes til at bestemme effekten.

Opgaver & aktiviteter

13. Puls og effekt

♦ Bestem hvilepulsen. Det kan ske med en pulstæller eller ved at tælle antallet af pulsslag på halsen eller ved håndledet i ét minut.

Ved en undersøgelse af, hvordan pulsen ændrer sig med stigende arbejdsbelastning, benyttes en ergometercykel, en metronom, et stopur og evt. en pulstæller. Forsøgspersonen begynder med at cykle med en effekt på 50-75 W i 6 minutter. Pulsen måles, hvorefter effekten øges til 100-125 W. Efter endnu 6 minutters cykling måles pulsen atter. Yderligere 1-2 pulsmålinger foretages ved stadigt stigende effekt.

♦ Indtegn målingerne i et koordinatsystem med effekten ud ad 1. akse og pulsen op ad 2. akse. Beskriv og kommentér resultaterne.

14. Relativ arbejdsbelastning

Ofte defineres den relative arbejdsbelastning (RAB) ved

$$RAB = \frac{\text{arbejds puls} - \text{hvilepuls}}{\text{max. arbejds puls} - \text{hvilepuls}} \cdot 100 \%$$
$$\text{max. arbejds puls} = 220 - \text{alder}$$

Det antages, at arbejdsbelastningen stiger lineært med pulsen.

♦ Mål din hvilepuls og pulsen efter op- og nedstigning fra en skammel i 2 minutter. Bestem RAB.

♦ Hvad var den maksimale RAB i aktivitet 13?

2.6 Kondital

Ved en persons kondital K forstås forholdet mellem den maksimale oxygenoptagelseshastighed hos en person, målt i L oxygen pr. minut, pr. kg legemsvægt, dvs.

$$K = \frac{V_{O_2}}{m}$$

hvor V_{O_2} er den maksimale oxygenoptagelseshastighed og m er forsøgspersonens masse.

Eksempelvis vil en person, der vejer 50 kg, og som har en maximal oxygenoptagelse på 2,0 L pr. minut have et kondital på

$$K = \frac{V_{O_2}}{m} = \frac{2000 \text{ mL/min}}{50 \text{ kg}} = 40 \frac{\text{mL}}{\text{kg} \cdot \text{min}}$$

Af definitionen fremgår, at man skal måle den maksimale oxygenoptagelseshastighed. Det gøres normalt med et ret kompliceret og dyrt måle- og analyseudstyr, som sjældent er tilgængeligt på skolen. Heldigvis findes der simple metoder til måling af konditallet, nemlig

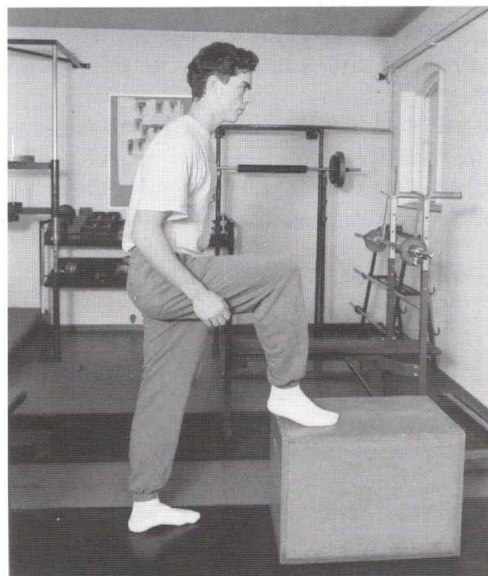
1. Ryhmings step-test
2. Topunktstest på ergometercykel

Ryhmings step-test

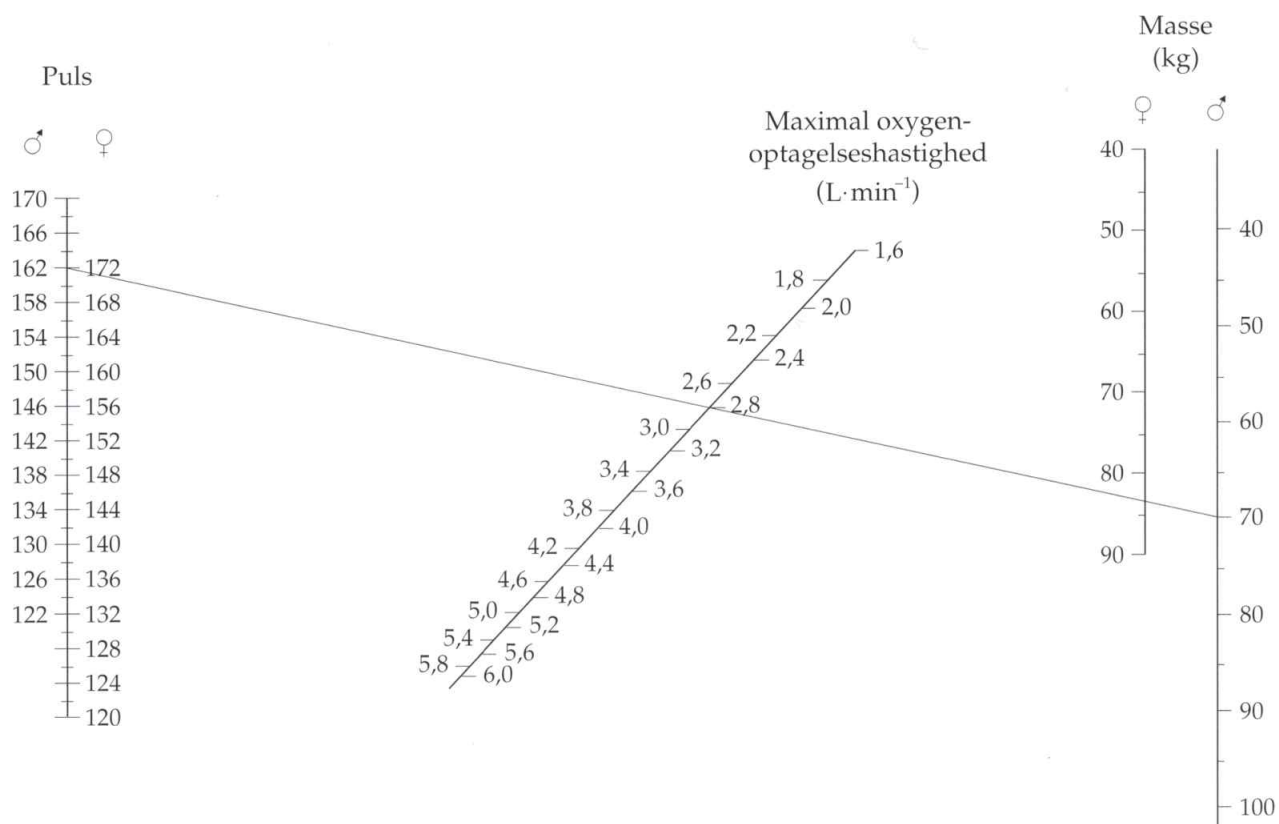
I denne test måles pulsen for en person, der træder op på en skammel. For mænd er skamlens højde 40 cm, mens den for kvinder er 33 cm. Jo lavere puls forsøgspersonen kan udføre arbejdet med, des bedre er konditionen. Det arbejde, forsøgspersonen udfører, beregnes ved

$$A = m \cdot g \cdot h \cdot n$$

hvor m er forsøgspersonens masse, g er tyngdeaccelerationen $9,82 \text{ m/s}^2$, h er højden af skamlen, og n er det antal gange personen stiger op på skamlen.



Figur 2.6 Ryhmings test.



Figur 2.7 Nomogram. Eksemplet viser en mand med en puls på 162 slag/min og massen 70 kg. Den maksimale oxygenoptagelseshastighed aflæses til 2,8 L/min, hvilket giver et kondital på 40.

Efter ca. 6 minutter er pulsen nogenlunde konstant. Antallet af pulsslag pr. minut bestemmes umiddelbart efter. Arbejdet udføres i takt til en metronom, der indstilles på 90 slag pr. minut. Forsøgspersonen skal foretage en op- og nedstigning i løbet af fire slag. Der medregnes kun det arbejde, forsøgspersonen udfører, når der trædes op på skamlen.

Udførelsen af arbejdet kræves en vis mængde oxygen. Den person, der har den laveste puls, transporterer derfor mest oxygen rundt i kroppen pr. pumpe-slag i hjertet og siges derfor at være i den bedste form.

Til bestemmelse af konditalet benyttes et såkaldt nomogram. Nomogrammet indeholder tre variable: puls, masse og maksimal oxygenoptagelseshastighed. Når to størrelser er kendte, kan den tredje aflæses på nomogrammet.

I Ryhmings steptest kendes pulsen og personens masse. Disse to værdier forbindes med en ret linje i nomogrammet, og den maksimale oxygenoptagelseshastighed aflæses. Konditalet findes herefter ud fra definitionen.

Opgaver & aktiviteter

15. Ryhmings steptest – teoretisk beregning

- ◆ Bestem arbejdet og effekten som en mand på 80 kg yder, når han træder op og ned 22,5 gange i minuttet på en 40 cm høj skammel i 6,0 minutter.
- ◆ Bestem hans kondital, hvis pulsen er 140 slag pr. minut.
- ◆ Bestem tilsvarende arbejde og effekt, når en kvinde på 60 kg udfører testen med en 33 cm høj skammel.
- ◆ Bestem hendes kondital, hvis hendes puls efter 6,0 minutter er 130 slag pr. minut.

16. Ryhmings steptest – i praksis

Ved Ryhmings steptest benyttes en skammel (40 cm høj for mænd og 33 cm for kvinder), en personvægt, stopur og en metronom.

- ◆ Først vejes forsøgspersonen.
- Metronomen indstilles på takten 90 slag pr. minut. Forsøgspersonen skal foretage en op- og nedstigning i løbet af fire slag.
- ◆ Efter 6,0 minutter måles forsøgspersonens puls, hvorefter den maksimale oxygenoptagelse kan bestemmes ved hjælp af nomogrammet. Derefter kan konditalet beregnes.

17. Sammenhængen mellem kondital, puls og masse

Benyt nomogrammet til at tegne følgende grafer.

- ◆ En graf, der viser sammenhængen mellem kondital og puls for en kvinde på 60 kg. Kommentér grafen.
- ◆ En graf, der viser sammenhængen mellem puls og masse for en mand med maksimal oxygenoptagelseshastighed på 2,8 L/min. Kommentér grafen.

Test på ergometer-cykel

Sædvanligvis bestemmes konditallet ved brug af en ergometercykel. Der er flere forskellige cykeltests, men i alle tilfælde gælder det om at udføre et bestemt arbejde indenfor et bestemt tidsrum.

Her benyttes den såkaldte topunktstest, hvor konditallet bestemmes ved hjælp af to forskellige arbejdsbelastninger. Ved begge belastninger cykles i 6 min. Pulsen skal ved 1. belastning være 100-130 slag/min. For unge mennesker skal 2. belastning op på omkring 160 slag/min.

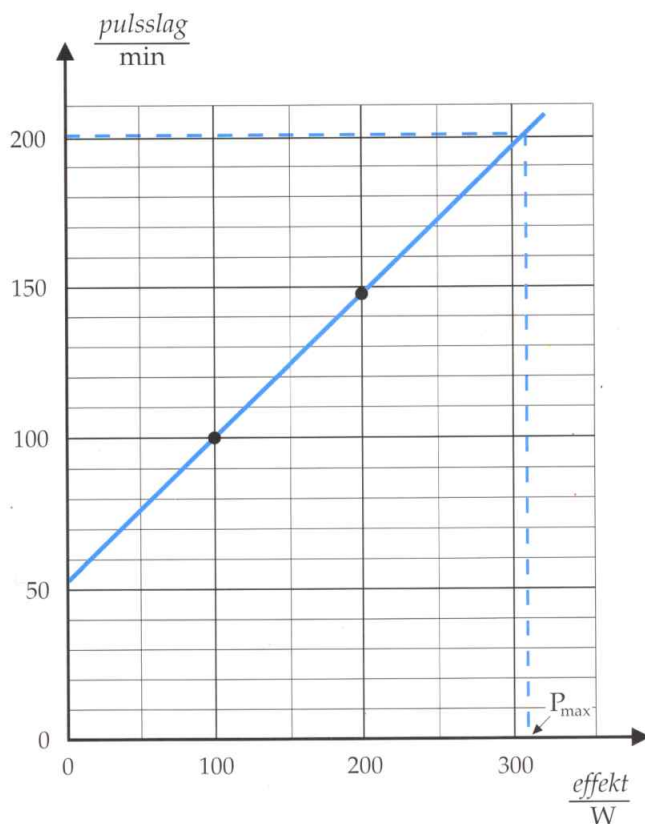
Ved denne metode gør vi nogle antagelser, som har vist sig rimelige:

1. Der er en lineær sammenhæng mellem pulsen og den effekt, personen yder. Den maksimale effekt $P_{\max}$, personen kan yde, bestemmes ud fra det punkt på grafen, der svarer til den maksimale arbejdpuls. Den sættes til 220 slag pr. minut minus forsøgspersonens alder.

2. Nyttetvirkningen ved cykling sættes til 23%.

3. Hvilestofskiftet sættes til 1,2 watt pr. kg legemsvægt.

4. For at omsætte energien 20 J skal kroppen optage 1,0 mL oxygen.



Forsøgspersonens puls som funktion af den ydede effekt.

Eksempel. Topunktstest for 18-årig

En forsøgsperson på 18 år, som vejer 60 kg, cykler ved to arbejdsbelastninger. Pulsen ved de to forskellige arbejdsbelastninger er målt til

P/watt	100	200
Pulsslag/min	100	148

De to punkter afbildes i et koordinatsystem med effekten ud ad 1. akse og pulsen ud ad 2. akse. Der tegnes en ret linje gennem punkterne. Den maksimale arbejdpuls beregnes til 220 slag/min minus alderen, dvs. 202 slag/min.

Den maksimale effekt $P_{\max}$ bestemmes til 308 W ud fra det punkt på grafen, der svarer til den maksimale arbejdpuls.

Da nyttevirkningen ved cykling er sat til $\eta=23\%$, er den samlede effekt, forsøgspersonen yder:

$$P_{\text{person}} = \frac{P_{\max}}{\eta} = \frac{308 \text{ W}}{0,23} = 1340 \text{ W}$$

Hertil adderes hvilestofskiftet på 1,2 watt/kg legemsvægt

$$P_{\text{hvile}} = 60 \text{ kg} \cdot 1,2 \frac{\text{W}}{\text{kg}} = 72 \text{ W}$$

Den totale effekt er derfor

$$P_{\text{total}} = 1340 \text{ W} + 72 \text{ W} = 1412 \text{ W} = 1412 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

Som nævnt antages det, at kroppen optager 1,0 mL oxygen for at omsætte en energi på 20 J. Den frigjorte oxygenmængde er da

$$V_{\text{O}_2} = \frac{P_{\text{total}}}{20 \frac{\text{J}}{\text{mL}}} = \frac{1412 \frac{\text{J}}{\text{s}}}{20 \frac{\text{J}}{\text{mL}}} = 71 \frac{\text{mL}}{\text{s}} = 71 \frac{\text{mL}}{\text{s}} \cdot 60 \frac{\text{s}}{\text{min}} = 4260 \frac{\text{mL}}{\text{min}}$$

Konditallet K beregnes herefter

$$K = \frac{V_{\text{O}_2}}{m} = \frac{4260 \frac{\text{mL}}{\text{min}}}{60 \text{ kg}} = 71 \frac{\text{mL}}{\text{kg} \cdot \text{min}}$$

Opgaver & aktiviteter

18. Bestemmelse af kondital

En 40-årig mand, der har massen 75 kg arbejder ved to arbejdsbelastninger. Pulsen ved de to arbejdsbelastninger er:

P/watt	100	175
Pulsslag/min	120	160

◆ Bestem hans kondital.

19. Dit eget kondital

◆ Bestem dit eget kondital ved en eller flere af de viste metoder.

3. Idrættens mekaniske energi



Når vi løber, springer eller hopper, sker der omdannelse af energi. Føden leverer den kemiske energi, der er nødvendig til musklernes sammentrækning, som skaber kroppens bevægelse. Undersøgelse af energiændringerne, der sker, når vi bevæger kroppen, inddrager såkaldt mekanisk energi. Vi skal her beskæftige os med to former: potentiel energi og kinetisk energi.

3.1 Kinetisk og potentiel energi

Ved et udspring fra en vippe sker der mekanisk energiomdannelse. Under springet formindskes den potentielle energi. Tabet i potentiel energi svarer hele tiden ganske nøje til tilvæksten i kinetisk energi:

$$\Delta E_{\text{kin}} = -\Delta E_{\text{pot}}$$

Tilvæksten i kinetisk energi er modsat tilvæksten i potentiel energi. Det kan være lettere at forstå denne sammenhæng, hvis leddet ΔE_{pot} adderes på begge sider af lighedstegnet

$$\Delta E_{\text{pot}} + \Delta E_{\text{kin}} = 0 \text{ J}$$

som udtrykker, at den samlede (og med fortegn regnede) tilvækst i potentiel og kinetisk energi er 0 J. Sagt på en anden måde: Der er bevarelse af mekanisk energi ved et udspring, hvor den mekaniske energi er summen af potentiel og kinetisk energi

$$E_{\text{mek}} = E_{\text{kin}} + E_{\text{pot}} = \text{konstant}$$

Der gælder helt generelt, at den mekaniske energi er bevaret i et isoleret system, der ikke udveksler energi med omgivelserne. Eksempelvis vil en fodbold, der sparkes op i luften, på vejen op øge sin potentielle energi og samtidig miste kinetisk energi. På nedturen gælder det modsatte. Den mekaniske energi E_{mek} er således konstant, hvis der ses bort fra luftmodstand.

Hvis bolden derimod rammes af en spiller inden den når jorden, bliver den påvirket af en ydre kraft og dermed får den ændret sin mekaniske energi.

Energierne kan beregnes som

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

$$E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$$

hvor m er massen, v er farten, g er tyngdeaccelerationen, der har værdien $9,82 \text{ m/s}^2$, og h er højden over jorden. Måles m i kg, v i m/s og h i m, kommer energierne ud i enheden J.

Eksempel. Vægtløftning

En vægtløfter løfter i disciplinen træk en byrde på 150 kg på 0,50 s. Byrden løftes 1,50 m lodret op. Dermed tilfører vægtløfteren byrden den potentielle energi

$$\Delta E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h = 150 \text{ kg} \cdot 9,82 \text{ m/s}^2 \cdot 1,50 \text{ m} = 2,210 \text{ kJ}$$

Vægtløfteren præsterede under løftet effekten

$$P = \frac{\Delta E_{\text{pot}}}{\Delta t} = \frac{2,21 \text{ kJ}}{0,50 \text{ s}} = 4,4 \text{ kW}$$

1. Udspring fra 10-metervippen

En udspringer på 80 kg står på 10-metervippen.

◆ Hvor stor er udspringerens potentielle energi i forhold til vandoverfladen?

Derefter foretages springet.

◆ Hvor stor er udspringerens fart umiddelbart over vandoverfladen?

◆ Lav tre grafer i samme koordinatsystem, der viser, hvordan den potentielle energi, den kinetiske energi samt den samlede mekaniske energi varierer som funktion af højden over vandoverfladen under udspringet.

◆ Tegn også en graf, der viser udspringerens fart som funktion af højden over vandoverfladen under springet.

2. Stangspring



I stangspring vil den kinetiske energi, der opnås i tilløbet, blive omdannet til potentiel energi, så springeren kan passere over liggeren. Indtil ca. 1960 anvendte man kun stive stænger af træ eller metal, men i dag anvendes elastiske stænger, hvilket har bevirket, at springene bliver betydeligt højere. Det skyldes, at noget af den kinetiske energi først lagres som elastisk potentiel energi i stangen for derefter at overgå til potentiel energi for stangspringeren. For en dygtig stangspringer er farten i tilløbet $v = 9,0 \text{ m/s}$.

◆ Beregn springets teoretiske højde.

◆ For at bestemme den virkelige springhøjde skal der tages hensyn til andre faktorer. Nævn nogle af disse og giv en vurdering af den virkelige springhøjde. Det er iøvrigt forbudt at kravle op ad stangen under springet.

3. Højdespring



◆ Bestem tilvæksten i potentiel energi for en højdespringer på 70 kg, der hæver sig 1,20 m.

◆ Bestem den mindste mulige fart i tilløbet.

◆ Bestem den fart, hvormed han rammer puden, hvis overflade befinder sig højden 0,55 m over jorden, når han i øverste stilling var 2,15 m over jorden.

4. Bjergbestigning

En bjergbestiger vejer med oppakning 90 kg og går op til toppen af et bjerg. Bjergets højde over dalen er 560 m.

◆ Bestem bjergbestigerens tilvækst i potentiel energi. Turen op tager 1 time.

◆ Beregn den effekt, bjergbestigeren derved har præsteret.

5. Nyttetvirkning ved cykling

I løbet af de første 100 meter efter starten af et cykelløb omsatte en cykelrytter 20 kJ ved muskelarbejde, hvorved han opnåede farten 10 m/s.

◆ Beregn nyttetvirkningen, når cykelrytteren og cyklen tilsammen vejede 80 kg.

6. Maximal effekt ved trappeløb

En persons maksimale effekt ved et hurtigt løb op ad en trappe bestemmes ved at måle trappehøjden og løbetiden.

◆ Beregn tilvæksten i potentiel energi og effekten. Nyttetvirkningen kan sættes til 20 %.

◆ Beregn, hvor megen energi personen i alt har omsat.

◆ Find brændværdien for chokolade og vurder hvor meget chokolade trappeartisten har forbrændt.

7. Bakkecykling

På en relativt høj bakke køres såvel nedad som opad i frihjul. Under nedkørslen omdannes potentiel energi til kinetisk energi, mens det omvendte sker under opkørslen.

◆ Overvej en metode til bestemmelse af bakkehøjden.

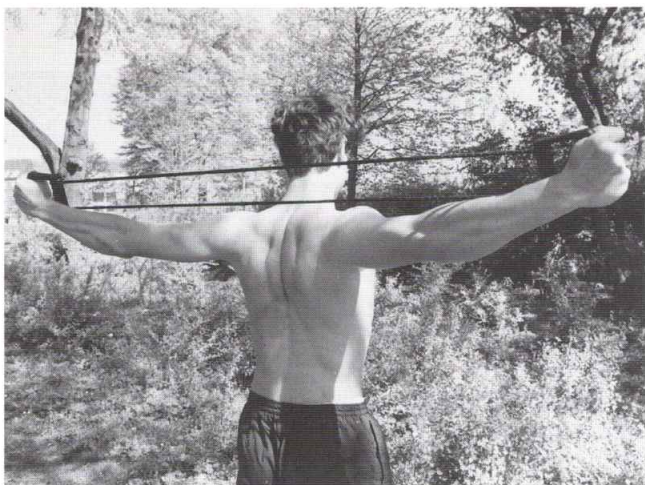
◆ Undersøg, om der er energibevarelse ved nedkørslen og forklar evt. afvigelser.

Under opkørslen køres hen mod bakken med størst mulig fart v , hvorefter pedalerne slippes. Farten måles umiddelbart før, bakken starter.

◆ Sammenlign den teoretiske og den opmålte lodrette højdestigning.

◆ Beregn energitabet i procent.

3.2 Fjederekspanderen.

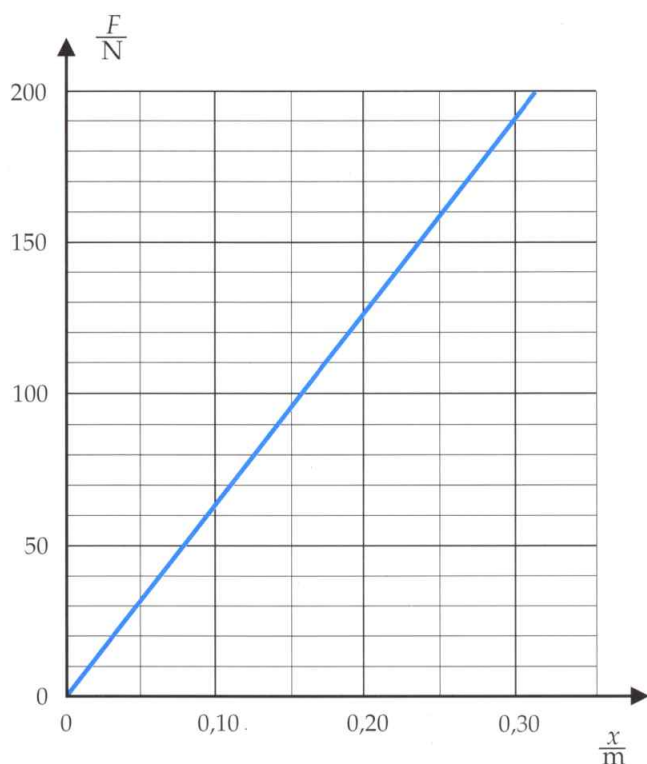


Figur 3.1 Træning med ekspander.

På figur 3.1 er en person i færd med at træne sine arm- og rygmuskler. Vi ønsker at beregne det arbejde der udføres, når fjederen strækkes. Man kan antage at den kraft, der er nødvendig for at strække fjederen, er proportional med fjederforlængelsen x :

$$F_{\text{fjeder}} = k \cdot x$$

hvor k betegner fjederkonstanten. Den angiver forholdet mellem størrelsen af kraften og den strækning fjederen forlænges. En stiv fjeder har således en stor værdi for fjederkonstanten k .

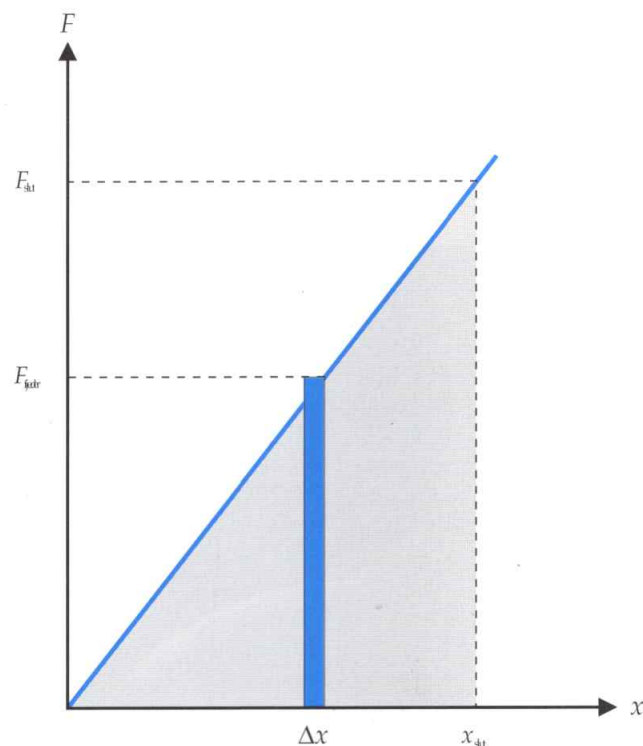


Figur 3.2 Fjederkraften som funktion af forlængelsen.

Da kraften varierer, kan vi ikke umiddelbart benytte udtrykket

$$A_{\text{fjeder}} = F_{\text{fjeder}} \cdot \Delta x$$

til at beregne arbejdet ved at strække fjederen. Det skyldes, at F_{fjeder} ikke er konstant. Men ved at dele fjederens samlede forlængelse op i små forskydninger (Δx), hvor kraften (F_{fjeder}) kan regnes for konstant, kan arbejdet A alligevel bestemmes.



Figur 3.3 Opdeling af fjederkraften i små bidder.

Under en lille forskydning er det udførte arbejde:

$$\Delta A_{\text{fjeder}} = F_{\text{fjeder}} \cdot \Delta x$$

Det samlede arbejde må da være repræsenteret af arealet under grafen:

$$A_{\text{fjeder}} = \frac{1}{2} \cdot F_{\text{slut}} \cdot x_{\text{slut}} = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2$$

Opgaver & aktiviteter

8. Træning med fjederekspander

- ◆ Bestem det arbejde, der udføres på en fjeder med fjederkonstanten 400 N/m, når fjederen strækkes 10 cm.
- ◆ En fjederekspander består af fire parallelkoblede fjedre med $k = 400$ N/m. Beregn det arbejde, der udføres, hvis alle fire fjedre strækkes 8,0 cm.
- ◆ Bestem arbejdet, hvis fjederen strækkes 200 gange.
- ◆ Bestem effekten, hvis disse 200 strækninger udføres på 20 minutter.

4. Idrættens kinematik

Ordet kinematik betyder læren om bevægelse. Inden for idræt forsker man meget i at analysere idrætsudøvernes bevægelser, fordi sådanne analyser har stor betydning for den idrætsudøver, der ønsker at forbedre sine resultater i konkurrencer.

I atletikken er de gamle olympiske begreber stadig gældende

citius	—	altius	—	fortius
hurtigere	—	højere	—	stærkere

4.1 Bevægelse med konstant fart

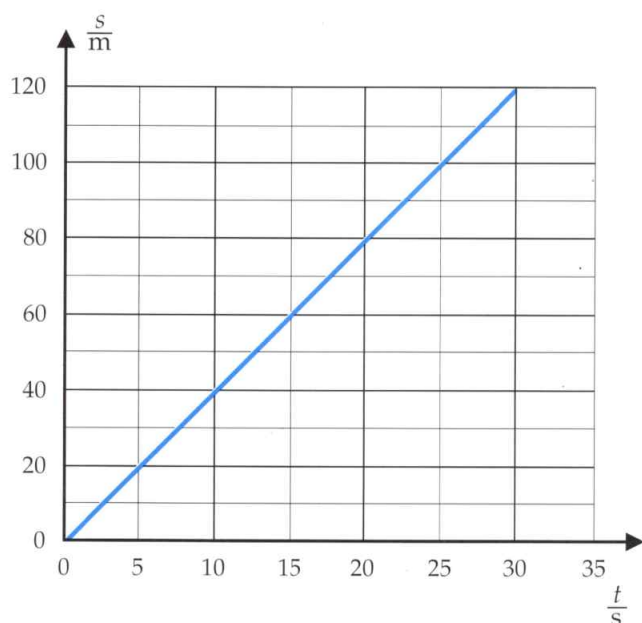
En marathonløber vil i lange perioder løbe, så der tilbagelægges lige lange strækninger i lige store tidsrum. I dette tilfælde er marathonløberens fart v konstant

$$v = \frac{s}{t} \quad (1)$$

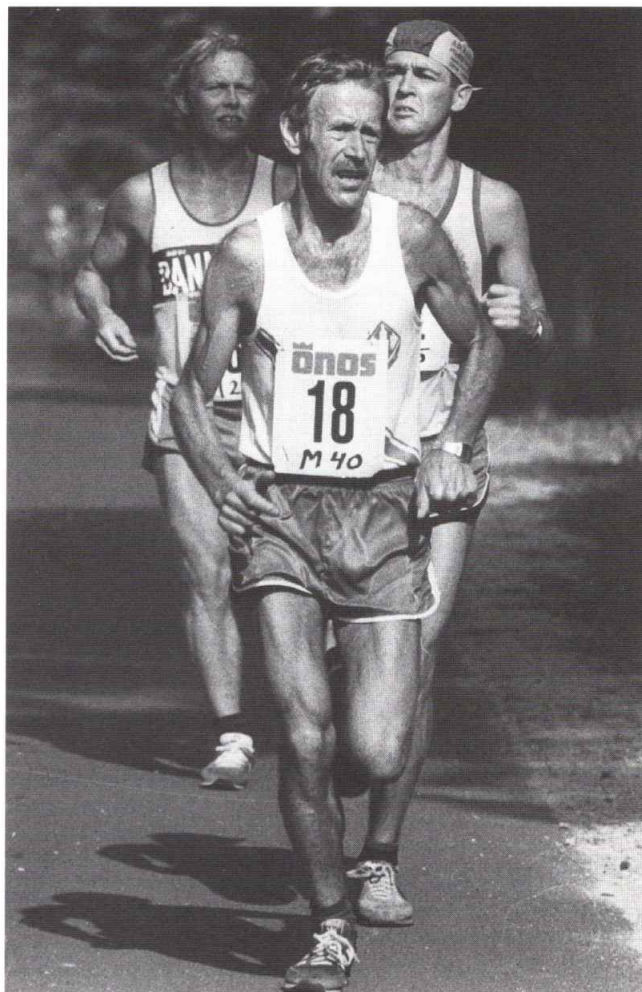
hvor s er den tilbagelagte strækning og t den anvendte tid. Tilsvarende kan den tilbagelagte strækning for en løbetur, der er foregået med den konstante fart v , beregnes ved

$$s = v \cdot t \quad (2)$$

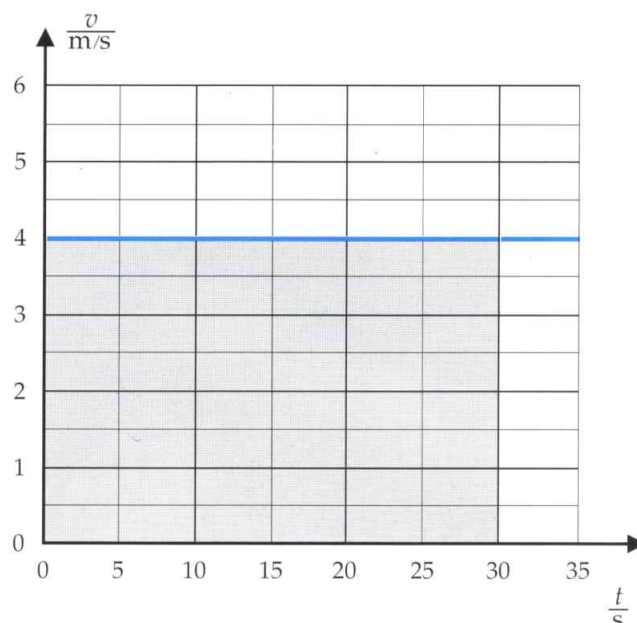
Afbildes strækningen s som funktion af tiden t fås (t,s) -graf, der bliver en ret linje med hældningskoefficienten v . Grafen går gennem $(0,0)$, hvis der til tiden $t = 0$ s startes i positionen $s = 0$ m.



Figur 4.1 (t,s) -graf for et løb med konstant fart v .



Tilsvarende viser (t,v) -graf farten v som funktion af tiden t . Når der løbes med konstant fart, bliver grafen vandret. Den tilbagelagte strækning s til tiden t bestemmes som arealet under (t,v) -graf. Det skyldes, at ligning (2) netop angiver, at s er lig produktet af v og t , hvilket er lig længde gange højde af det grå område under (t,v) -graf.



Figur 4.2 (t,v) -graf for en løbetur med konstant fart.

Oftentimes the speed is not constant, which is seen in the run, which is depicted in figure 4.3.

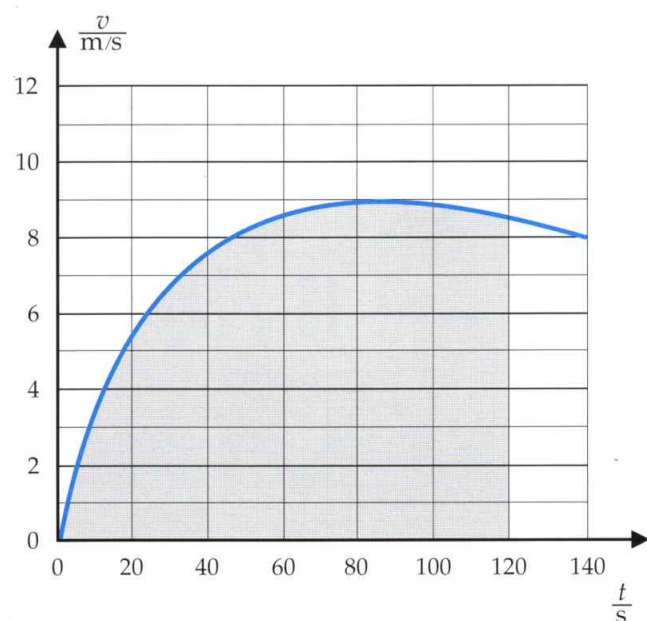


Figure 4.3 (t,v) -graph for a run with varying speed v .

The total distance s can also be determined as the area under the (t,v) -graph. The distance s can also be determined from

$$s = v_{\text{gns}} \cdot t \quad (3)$$

where v_{gns} is the average speed.

Opgaver & aktiviteter

1. Brug figuren

- ◆ Benyt figur 4.1 til at bestemme løberens fart.
- ◆ Benyt figur 4.2 til at beregne, hvor langt løberen bevæger sig i løbet af 12,5 sekunder.

2. Omregning

En løbetur foregår med gennemsnitsfarten 15 km/h.

- ◆ Omregn denne fart til enheden m/s.

En kondiløber løber med farten 18 km/h i 30 minutter.

- ◆ Hvor lang var turen?

En elev har 2,5 km til skole og cykler denne strækning på 10 minutter.

- ◆ Beregn elevens gennemsnitsfart i enheden m/s og i enheden km/h.

3. En løbetur

- ◆ Vurdér ud fra figur 4.3 løberens gennemsnitsfart v_{gns} .
- ◆ Bestem den strækning, løberen gennemløber.

4. Marathonløb

Ved et marathonløb er følgende mellemtider målt:

Mellemtider ved marathonløb							
s/km	5	10	15	20	25	30	42
t/min	22	43	67	93	119	144	203

- ◆ Indtegn værdierne i en (t,s) -graf.
- ◆ Kommentér grafens udseende. Har løberen disponeret sit løb fornuftigt?

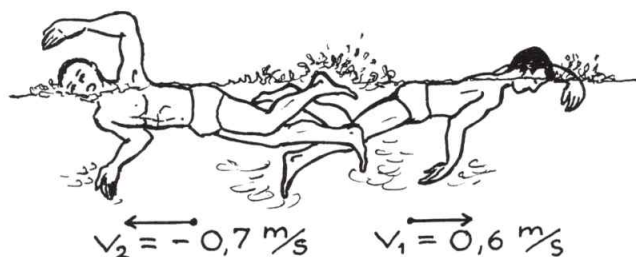


A bicycle computer can show the riding time and distance, as well as the average speed

4.2 Hastighed

Angivelse af bevægelsens fart indeholder ikke i sig selv information om bevægelsens retning. Når såvel fartens størrelse som bevægelsens retning angives, taler man om hastigheden af bevægelsen.

Eksempel. Svømning.



Ved en svømmetur bevæger svømmeren sig frem og tilbage mange gange. Hastigheden er positiv, når der svømmes væk fra startstedet, mens den er negativ, når der svømmes tilbage mod startstedet.

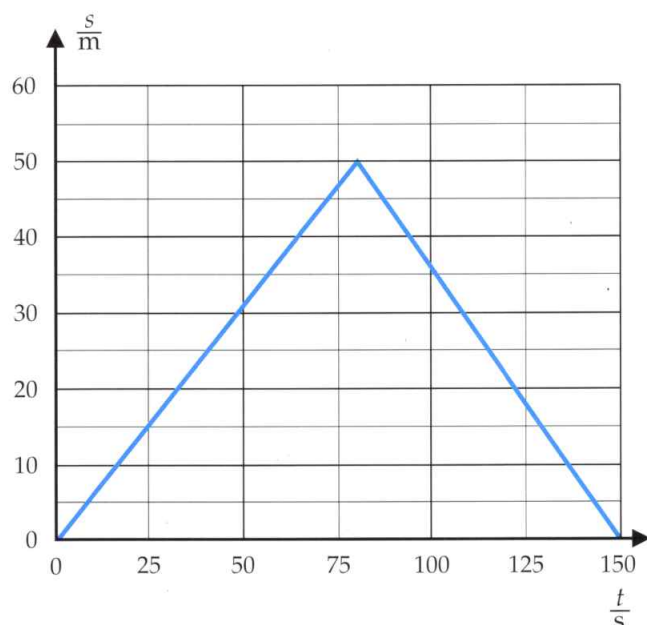
Hvis turen i et 50 m bassin varer 80 s på udturen og 70 s på hjemturen er hastigheden v_1 på udturen

$$v_1 = \frac{50\text{m}}{80\text{s}} = 0,63 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

mens hastigheden v_2 på hjemturen er

$$v_2 = \frac{-50\text{m}}{70\text{s}} = -0,71 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

De beregnede hastigheder er gennemsnitshastigheder.



Figur 4.4 (t,s) -graf for en svømmetur.

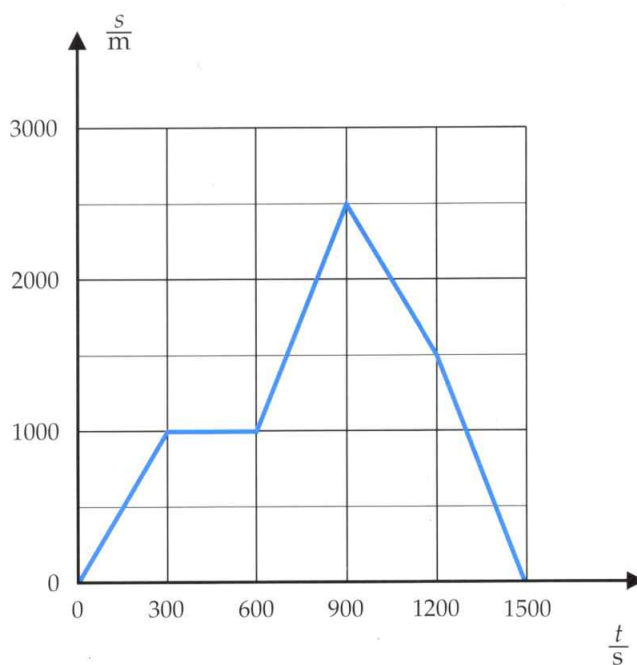


Opgaver & aktiviteter

5. Gennemsnitsfart og -hastighed

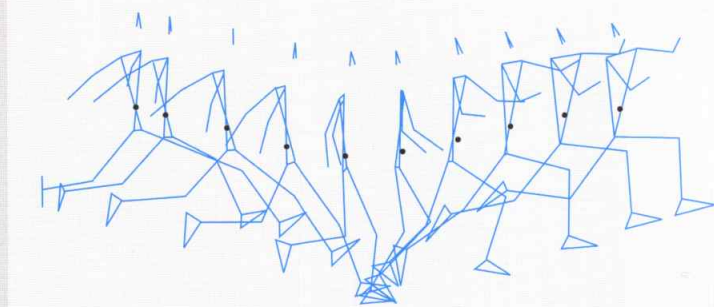
- ♦ Beregn svømmerens gennemsnitsfart for hele turen i eksemplet Svømning.
- ♦ Find gennemsnitshastigheden for hele turen.

6. Ud at jogge



Et eksempel på en joggetur i skoven med indlagte pauser og spurter.

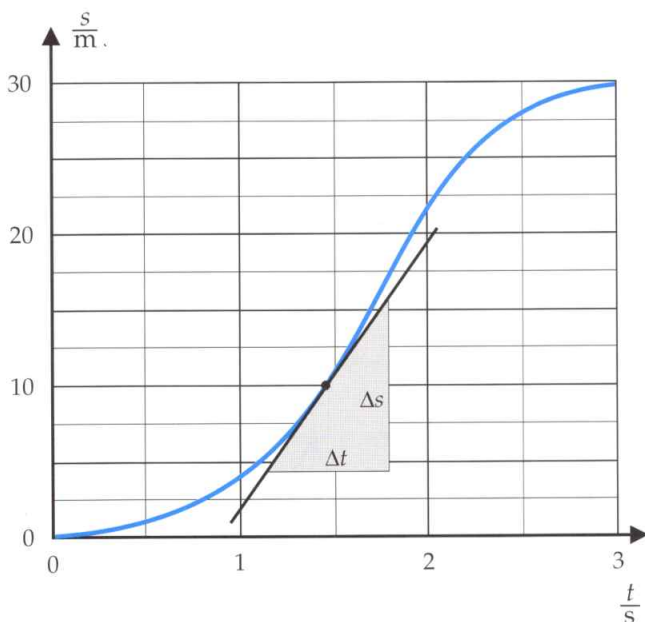
- ♦ Beregn gennemsnitshastigheden v for hvert delinterval og beskriv derefter med ord turens forløb.
- ♦ Hvordan kan man på grafen aflæse hastighederne i disse intervaller?
- ♦ Tegn en (t,v) -graf af løbet.
- ♦ Hvor lang var turen?
- ♦ Beregn gennemsnitshastigheden for hele løbet.
- ♦ Beregn gennemsnitsfarten for hele løbet.



Figur 4.5 Bevægelsesanalyser.

Inden for idrætsverdenen har bevægelsesanalyser fået større og større betydning for idrætsudøvernes mulighed for at opnå en optimal præstation. Idag foretages disse gerne vha. videooptagelser og efterfølgende computeranalyser. Vi har imidlertid stadig mulighed for at lave rimelig gode bevægelsesanalyser med anvendelse af stopure, timerapparatet, målebånd og videoudstyr og altså uden anvendelse af avancerede computerprogrammer.

4.3 Momentanhastighed



Positionen s som funktion af tiden t for en bevægelse, hvor hastigheden ikke er konstant. (t,s) -grafens tangenthældning er lig hastigheden v .

En bevægelses hastighed behøver ikke være konstant. Vi definerer *momentanhastighed* som hastigheden v til et bestemt tidspunkt t . Den kan beregnes som

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} = s'(t) \quad (4)$$

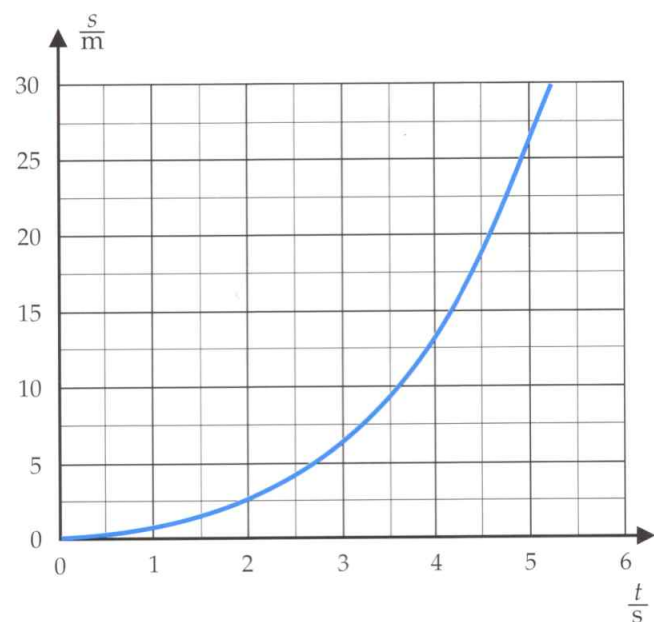
hvor Δs er positionstilvæksten (regnet med fortegn), der sker i løbet af tidsrummet Δt .

Egentlig er v lig grænseværdien af forholdet mellem Δs og Δt , når Δt går mod 0 s.

I differentialregningen er dette lig differentialkvotienten af positionen s som funktion af tiden t , altså $s'(t)$. Hastigheden v bliver dermed lig hældningen af tangenten til (t,s) -grafen.

Opgaver & aktiviteter

7. Momentanhastighed



Ved hjælp af en videooptagelse er tid og sted målt for et løb. Grafen viser sammenhængen.

◆ Bestem momentanhastighederne til tidspunkterne $t = 1,5$ s og $t = 3,0$ s ud fra grafen.

8. Langdistanceløb

På skolens sportsplads opmåles en rundstrækning på 400 m, idet der opstilles markeringer (toppe) for hver 100 m.

Forsøgspersoner løber eller cykler nu på rundstrækningen og forsøger at holde en konstant fart. Tidspunkterne, hvor markeringerne passeres, noteres af en tidtager. Der tegnes en (t,s) -graf samt en (t,v) -graf for aktiviteten.

◆ Kommentér grafernes forløb.

9. Stopursmålinger på et 100 m løb

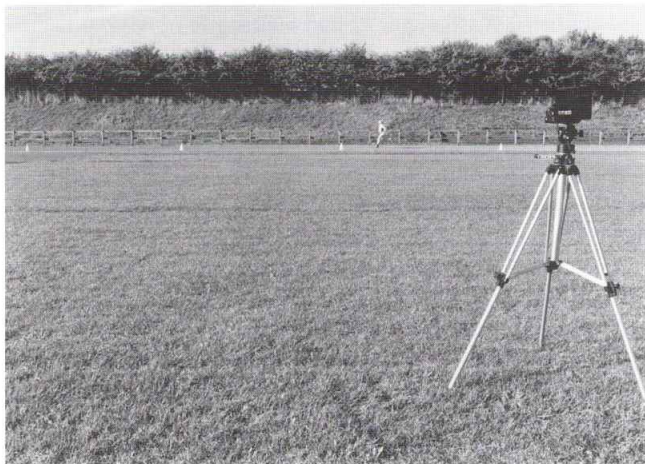
På skolens 100 m bane opsættes markeringer (toppe) for hver 10 m. Der skal anvendes 10 stopure til tidsmålingerne. En elev løber/cykler nu distancen, mens hjælpere måler det nøjagtige tidspunkt for passagen af markeringerne.

◆ Tegn en (t,s) -graf og en (t,v) -graf over øvelsen. Hvad viser disse grafer om løbet?

◆ Diskutér usikkerhedskilderne ved forsøget.

10. Videooptagelse

Med et videokamera optages i en passende afstand en del af eller et helt 100 m løb. Her opstilles markeringstoppe meget tæt, fx med 2 meters afstand.



Fotoet viser en optagelsessituation af et 100 m løb.

♦ Overvej, hvilken betydning det har for målingerne, hvor man placerer kameraet i forhold til banen (den såkaldte parallaksefejl).

Videokameraet optager normalt 25 billeder pr. sekund, men det kan undersøges ved inden forsøget at filme et digitalur. Inden man gennemfører eksperimentet, bør man sikre sig, at videofremviseren kan vise enkeltbilleder.

På en fjernsynsskærm opsættes en overheadtransparent og ved at vise ét billede ad gangen kan løberens (t,s) koordinatsæt indtegnes for hvert $1/25$ s.

- ♦ (t,s) - og (t,v) -grafer tegnes.
- ♦ Hvad fortæller graferne om løbet?
- ♦ Udregn arealet under (t,v) -grafene og se, om den derved bestemte strækning stemmer med den virkelige tilbagelagte strækning s .

11. Timer-undersøgelse af startfaser

Her undersøges startfasen af et 100 m løb eller for en cykelrytter. En timer placeres på et bord. En timerstrimmel på ca. 6 m fastgøres til forsøgspersonen, gerne til forsøgspersonens bælte.

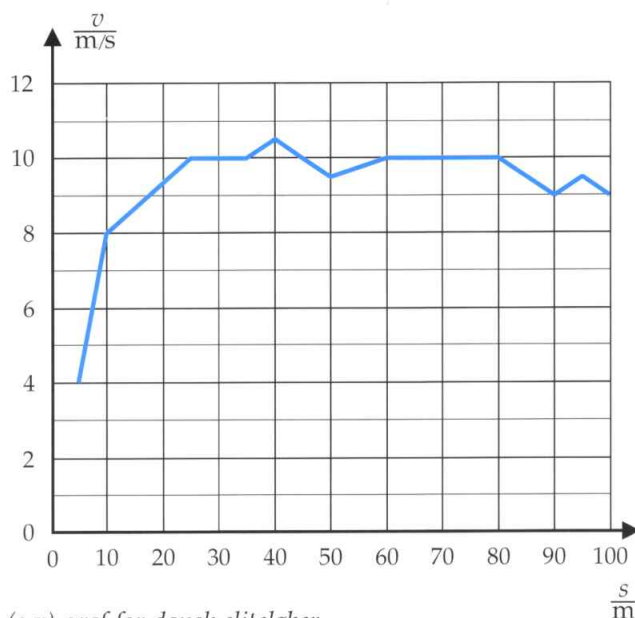
Da timeren afsætter 100 prikker pr. sekund, har vi en fantastisk god registrering af bevægelsen. Ved opmålinger på timerstrimlen kan man bestemme forløbet af startfasen. Dette gøres ved at inddеле timerstrimlen i intervaller på 0,050 s og derefter beregne gennemsnitshastighederne i delintervallerne.

Ved at tegne (t,s) og (t,v) -graferne for forsøget kan startfasen analyseres meget detaljeret.

12. Skridtlængde/skridtfrekvens

Skridtfrekvensen defineres som antallet af skridt pr. sekund. Tæl antallet af skridt for et 100 m løb og mål tiden for løbet. Beregn heraf løberens skridtlængde l og skridtfrekvens f (antal skridt pr. sekund).

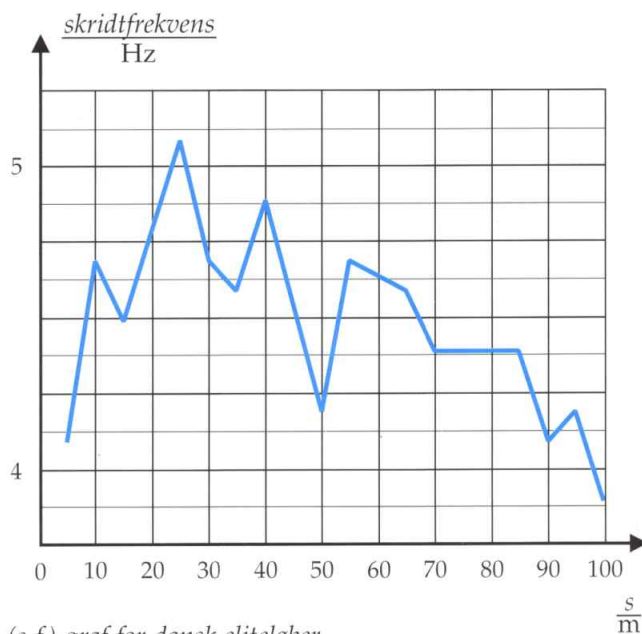
- ♦ Hvilken sammenhæng er der mellem løberens fart v , hans skridtlængde l og skridtfrekvensen f ?



(s,v) -graf for dansk eliteløber.

På figuren ovenfor er vist (s,v) -grafene for en dansk eliteløber, og på figuren nedenfor er vist (s,f) -grafene for den samme løber.

- ♦ Sammenlign disse tal med dine egne målinger.
- ♦ Beregn skridtlængden i startfasen, midtvejs og i slutningen af løbet.
- ♦ Kommentér begge grafer.



(s,f) -graf for dansk eliteløber.

13. Sportsur

Et sportsur er et specielt konstrueret ur, der har en indbygget mekanisme, som registrerer de små rystelser/slag, der opstår hver gang man sætter en fod i jorden under gang eller løb. Uret kan således registrere en løbers skridtfrekvens. Ved at indtaste sin skridtlængde i urets hukommelse kan man få beregnet momentanhastigheder og gennemsnitshastigheder under et løb samt den tilbagelagte vejlængde.

- ◆ Undersøg ved egne eksperimenter, om skridtfrekvensen har betydning for et løbs fart.
- ◆ Undersøg endvidere, om der er forskel på høje og lave personers løbeteknik, og giv et forslag til forklaring herpå.

14. TV-sporten

Anvend en optagelse fra et atletikstævne eller egne optagelser til at lave bevægelsesanalyser af aktiviteterne.

15. Straffespark!



Straffespark

Når man skal vurdere, om målmanden har en chance for at redde et straffespark, skal tre tidsrum inddrages:

1. Tiden, bolden er om at bevæge sig de 11 meter fra pletten til målstregen (t_1).
2. Målmandens reaktionstid (t_2).
3. Den tid målmanden er om at nå ud til bolden (t_3).

- ◆ Bestem boldens fart. Dette kan gøres på flere måder. Enten vha. en timerstrimmel, der påsættes bolden, eller vha. en videooptagelse. Beregn herfra t_1 .
- ◆ Bestem målmandens reaktionstid t_2 . Den kan fx bestemmes ved at lade målmanden gribe om en faldende lineal. Faldtiden kan beregnes ved hjælp af formlen

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot s}{g}}$$

hvor s er strækningen linealen falder, og g er tyngdeaccelerationen, der ved jordoverfladen er $9,82 \text{ m/s}^2$.

- ◆ Bestem målmandens fart i et kast/spring ud mod målstolpen. Tiden t_3 kan nu bestemmes, idet målets samlede bredde er $7,19 \text{ m}$.
- ◆ Har målmanden tid til at redde et straffespark?
- ◆ Hvor langt væk skal bolden sparkes fra, for at målmanden kan være rimeligt sikker på at redde skuddet?

16. Reaktionstid

I mange idrætsgrene har det stor betydning, hvor hurtigt man reagerer på et bestemt signal. Det gælder 100 m løberen, der skal op af startblokken, ligesom det gælder målmanden i fodbold eller (især) håndbold.

Reaktionstiden afhænger af den vejlængde nerveimpulserne skal gennemløbe mellem hjernen og det aktuelle sted i kroppen, og af den hastighed, hvormed nerveimpulserne bevæger sig. Desuden afhænger reaktionstiden af, hvilken sansepåvirkning der er tale om. Man reagerer hurtigere på lyd end på lys. Reaktionstiden, fra man hører et lydsignal, til man bevæger hånden, er ca. $0,15 \text{ s}$, mens den tilsvarende tid for et lyssignal er ca. $0,20 \text{ s}$.

Visse skoler har et reaktionstidsapparat for lys og lyd, der kan anvendes til at bestemme en forsøgspersons reaktionstid. Hjælperen sætter på et ukendt tidspunkt en lille kasse til at lyse eller summe, hvorefter forsøgspersonen ved et tryk på en knap skal afbryde signalet. Der er tilsluttet et elektrisk ur (en impulstæller), så hjælperen tænder et ur, når hun trykker, mens forsøgspersonen slukker, når signalet afbrydes. Dermed kan reaktionstiden aflæses på uret.

Eksperimentet kan også udføres med to fotoceller og det samme elektriske ur fra før. Hjælperen (som forsøgspersonen ikke må kunne se) tænder uret ved at afbryde strålen i sin fotocelle, mens forsøgspersonen stopper uret ved at bevæge hånden (eller foden) gennem sin lysstråle. Igen aflæses reaktionstiden på uret.

- ◆ Hvordan passer resultaterne med den opgivne værdi for reaktionstid ved lyspåvirkning?
- ◆ Sammenlign reaktionstiderne for henholdsvis hånd- og fodbevægelse. Er resultaterne i overensstemmelse med længden af nervebanerne fra hjernen til hånden og til foden?
- ◆ Giv et skøn over den fart, hvormed nerveimpulserne bevæger sig gennem kroppen.

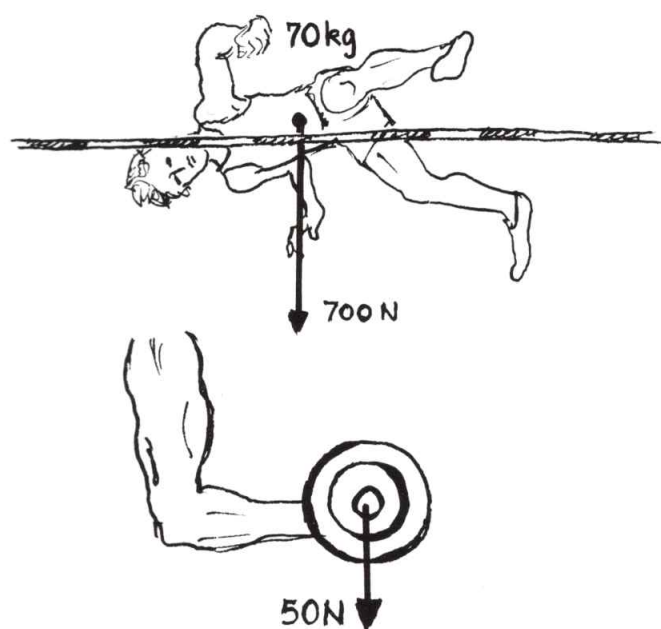
5. Kraft og idræt



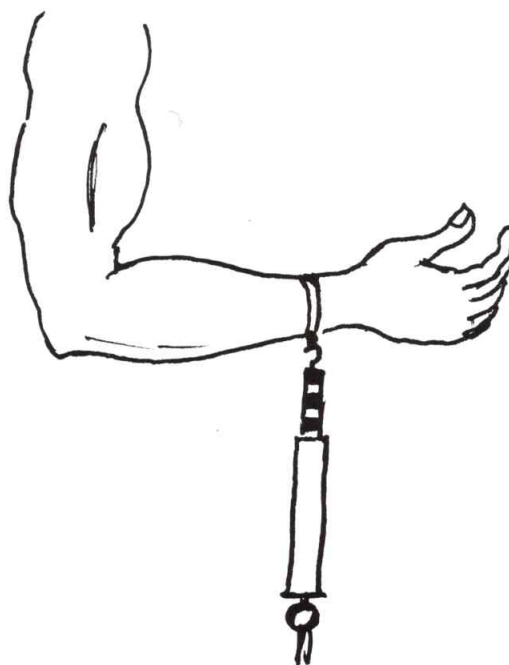
Billedet viser en spydkaster. Tilløbet er næsten overstået, og hun er i færd med at sende sit spyd af sted. For at kunne gøre det må spyddet påvirkes med en kraft. Efter billedet at dømme leverer spydkasteren en stor kraft.

5.1 Kraft

Kræfter er en vigtig del af vores hverdag, det være sig på arbejdspladsen, i trafikken og i vore fritidsaktiviteter. En kraft er den fysiske betegnelse på en påvirkning, som eksempelvis kan give sig udslag i, at et objekt flyttes eller får ændret form. Ved hjælp af et tov kan man trække en bil op af en grøft. Tyngdekraften sørger for, at bolden efter målmandens udspark falder til jorden igen. Man kan trykke en fjeder sammen. Kræfter navngives som regel efter deres oprindelse, fx tyngdekraft, eller efter deres virkning, fx trækraft.



Figur 5.1 Eksempler på vektorer.



Figur 5.2 Kraftmåling ved hjælp af kraftmåler/newtonmeter.

En kraft har en retning. Det er ikke lige meget, om man trækker til den ene eller den anden side i en tovtrækning. På en figur vises en kraft derfor altid som en pil. Pilens retning angiver kraftens retning, og dens længde er et mål for kraftens størrelse. Symbolet for en kraft er normalt $\vec{F}$ efter den engelske betegnelse *force*. Pilen over symbolet skal understrege, at kraften har såvel størrelse som retning. Kraftens størrelse betegnes med det tilsvarende bogstav uden pilen over.

Fysiske størrelser, der som kræfter er karakteriseret ved både en størrelse og en retning, kaldes *vektorer*. Hastighed er også en vektor.

Kraftmåling

Når man påvirker enden af en fastgjort fjeder med en kraft, ændres fjederens længde. Forsøg viser, at forlængelsen er proportional med kraftens størrelse: En dobbelt så stor kraft giver en dobbelt så stor længdeændring af fjederen. Denne sammenhæng betyder, at en fjeder kan benyttes til at måle størrelsen af en kraft. En fjeder anbragt i et hylster med en skala, hvor man kan aflæse fjederens forlængelse, udgør en kraftmåler, figur 5.2. Enheden for kraft er *newton*, forkortet N, og en kraftmåler kaldes derfor også et *newtonmeter*. I SI-enheder er kraftenheden $N = (kg \cdot m)/s^2$, jf. også kap. 7.

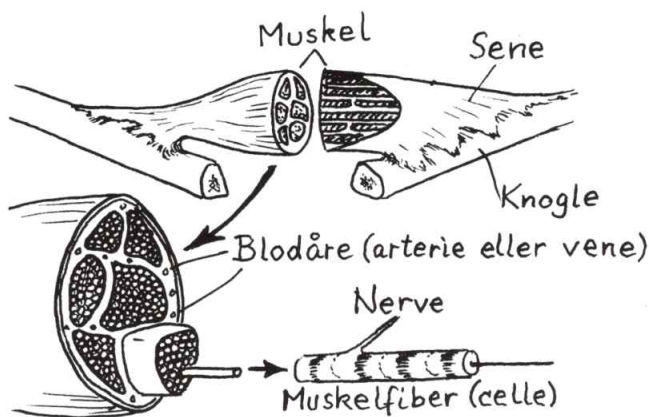
Opgaver & aktiviteter

1. Tyngdekraft

Bestem ved hjælp af en kraftmåler og nogle lodder sammenhængen mellem loddernes samlede masse m og størrelsen af tyngdekraftens træk F i lodderne.

5.2 Muskler

De kræfter, en idrætsudøver påvirker sig selv eller sine redskaber med, stammer fra kroppens muskler. Menneskelegemet har faktisk mere end 300 selvstændige muskler. De tværstribede muskler, som bevæger skelettets forskellige dele, udgør ca. 40% af kropsmassen.

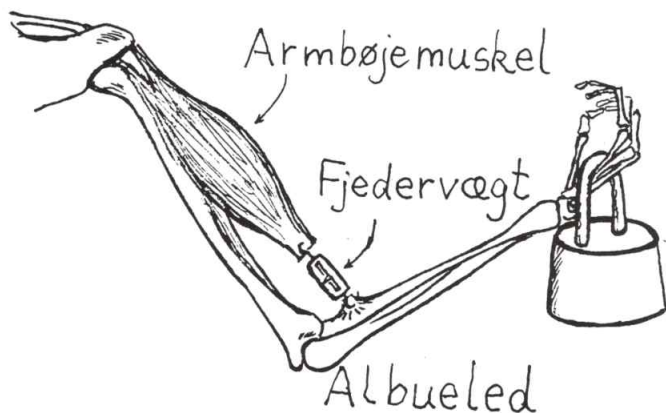


Figur 5.3 Skematisk forstørrelse af muskel.

En skeletmuskel er yderst omgivet af et bindevævslag, der dels giver musklen sin form, dels danner glidelag mod andre omgivende muskler. Forstørrelser man en tværstribet muskel, kan man se, at den er opbygget af flere muskelbundter, figur 5.3.

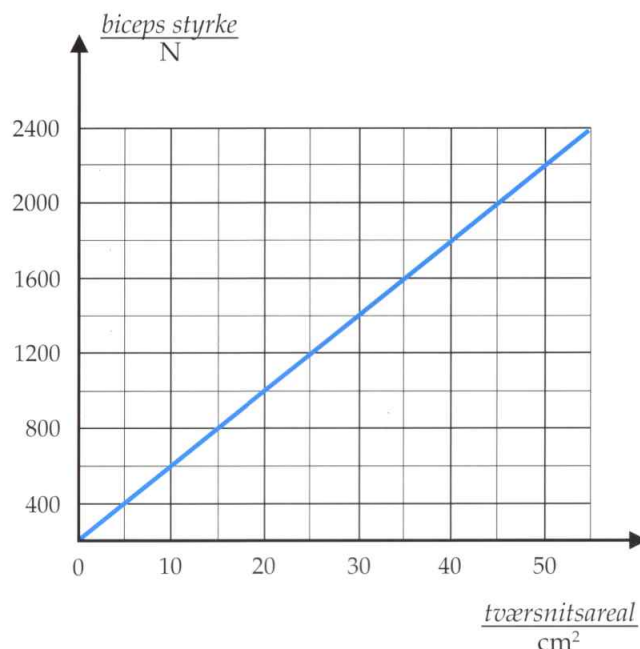
Hvert muskelbundt indeholder mange muskelfibre, som kan have forskellige længder, nogle op til hele musklens længde. Fibrene ligger dels i forlængelse af hinanden, dels ved siden af hinanden. De enkelte muskelfibre er selvstændige celler, som er indbyrdes sammenhængende ved hjælp af bindevæv.

Når muskelfibrene får et elektrisk signal fra hjernen, trækker de sig sammen, hvorved musklen forkortes. Musklen ender i sener, som hæfter på skelettets knogler. Derved overføres musklens trækraft til skelettet. Knoglerne fungerer som vægtstænger med omdrejningsakser, der er bestemt af leddet mellem de to knogler, som kan bevæges i forhold til hinanden, se figur 5.4.



Figur 5.4 Albueled

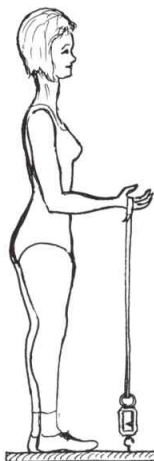
Armbøjermusklen, kaldet *biceps*, har det samme antal muskelfibre hos alle mennesker. Når to personer alligevel kan have forskellig muskelstyrke, skyldes det, at styrken afhænger af musklens tværsnitsareal, svarende til forskellen mellem styrken af en tynd og en tyk elastik. Den enkelte muskelfibers tværsnitsareal kan øges ved træning. En tommelfingerregel siger, at muskelstyrken i gennemsnit er 50 N pr. cm².



Figur 5.5 Styrken af biceps-musklen hos forskellige personer afhænger af musklens tværsnitsareal.

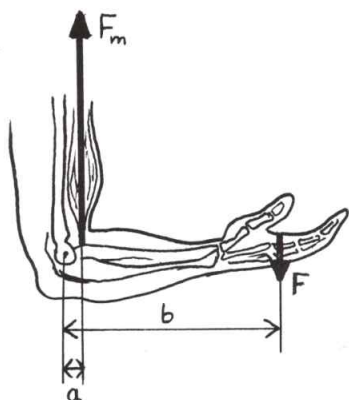
2. Armbøjer styrke

Det er ikke muligt direkte at måle den kraft, hvormed biceps trækker i underarmen. Men ved at belaste underarmen med en kendt kraft, kan vi beregne muskeltkraften, idet underarmen virker som en vægtstang, som holdes i ligevægt af biceps.



Placer forsøgspersonen stående på et bræt med en krog, som vist på figuren. Afpas en rem og en 50 kg fiskevægt, så forsøgspersonens underarm er vandret, og overarmen lodret.

◆ Lad forsøgspersonen trække maksimalt opefter. Det skal foregå langsomt med hælene i gulvet og uden at bevæge andet end albueleddet – intet skulderløft! Notér det bedste af tre forsøg.



Muskeltkraften F_m kan, som vist i kapitel 6, beregnes af

$$F_m \cdot a = F \cdot b$$

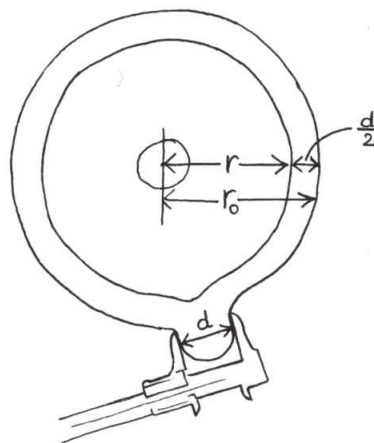
hvor F er belastningen aflæst på fiskevægten, og betydningen af afstandene a og b fremgår af figuren ovenfor. Afstanden a kan findes ved direkte måling på forsøgspersonen, idet biceps-senen tydeligt kan mærkes, når underarmen holdes vandret med håndfladen opad.

◆ Mål afstandene a og b og beregn F_m .

Ud over størrelsen af muskeltkraften skal man også bestemme musklens tværsnitsareal. Det kan gøres ved at bestemme størrelsen af overarmen og tage hensyn til, hvor stor en del af armen, som er hud og fedt. For nemheds skyld opfattes overarmen som en cylinder.

◆ Bestem omkredsen O midt på overarmen, mens forsøgspersonen står helt afslappet.

Hud- og fedttykkelsen skal egentlig måles med en såkaldt skindfoldmåler, men man kan få en rimelig værdi ved at bruge en skydelære som vist på figuren nedenfor.



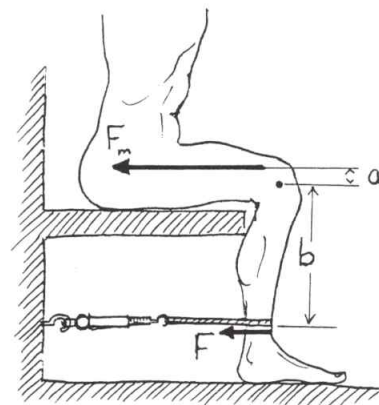
◆ Bestem skindfoldtykkelsen d på bagsiden af armen ved at tage en hudfold og måle dens tykkelse ved hjælp af en skydelære under udøvelse af et let tryk.

◆ Find som vist på figuren ovenfor den fedtfrie radius r . Muskulens tværsnitsareal udgør ca. 60% af det fedtfrie areal. Bestem biceps tværsnitareal.

◆ Bestem forholdet mellem muskeltkraften og musklens tværsnitsareal for forsøgspersonen og sammenlign med grafen på figur 5.5.

◆ Udvid gerne eksperimentet med flere forskellige personer af forskellig størrelse og kropshøjde. Afbild resultaterne i en graf som på figur 5.5 og diskutér den.

3. Knæstrækkernes muskeltkraft



Anbring forsøgspersonen på en bæk som vist på figuren og monter en vandret rem sammen med en 100 kg fjedervægt, så anklen kan forbindes med en krog i muren.

◆ Lad forsøgspersonen trække med maksimal kraft og aflæs fjedervægten. Det bedste af 3 forsøg benyttes.

◆ Mål afstanden b .

Man kan antage, at afstanden a udgør 2,4% af legemshøjden.

◆ Beregn F_m ved hjælp af formelen i aktivitet 2 ovenfor.

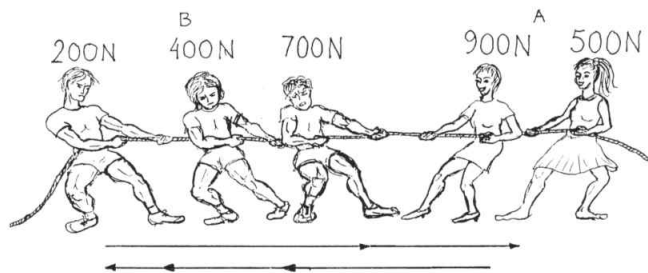
Tilsvarende kan de øvrige størrelser fra armbøjer-forsøget beregnes, når det oplyses, at knæstrækkerens tværsnitsareal udgør 48% af lårets fedtfrie tværsnitsareal. Skindfolden måles forrest på låret, og omkredsen måles midt mellem hoftelod og knæled.

5.3 Sammensætning og opløsning af kræfter

Kræfter kan adderes. Når flere kræfter virker samtidig, kan man erstatte dem med én kraft, som kaldes *den resulterende kraft*. Man finder den resulterende kraft ved at addere de forskellige kræfter under hensyntagen til deres størrelse og retning. Vi behandler addition af kræfter ud fra et par eksempler.

Eksempel 5.1 Tovtrækning

To hold udkæmper en tovtrækningsdyst. Størrelse og retning af den kraft, den enkelte deltager kan levere, fremgår af figur 5.6.



Figur 5.6 Tovtrækningsdyst.

Grafisk finder man retningen af den resulterende kraft ved at lægge de enkelte kraftpile i forlængelse af hinanden. På figuren ses den resulterende kraft(pil) at pege mod højre. Hold A vinder altså dysten.

Størrelsen af den resulterende kraft kan beregnes således: Da kræfter har en retning, regner vi dem med fortegn. Vi regner kræfter mod højre for positive, kræfter mod venstre for negative.

$$F_{\text{res}} = (500\text{N} + 900\text{N}) - (200\text{N} + 400\text{N} + 700\text{N})$$

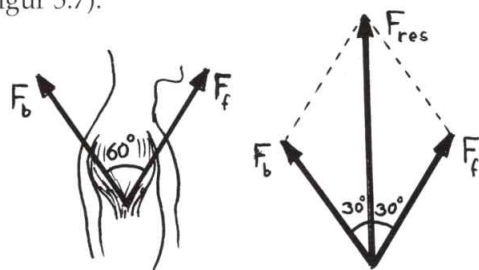
Når den resulterende kraft er positiv, betyder det netop, at den som ventet peger mod højre.

Parallelogrammetoden

Selv om kræfterne ikke virker langs samme linie, adderes de i princippet på samme måde som ovenfor beskrevet. Nedenstående eksempel viser, hvorledes den resulterende kraft(pil) kan findes ved "parallelogrammetoden".

Eksempel 5.2 Resulterende kraft i skuldermusklen

Musklen, der giver skulderen sin karakteristiske runding, hedder deltamusklen. Den består af tre dele a, b og c (figur 5.7).



Figur 5.7 Parallelogrammetoden anvendt på bevægelse af armen.

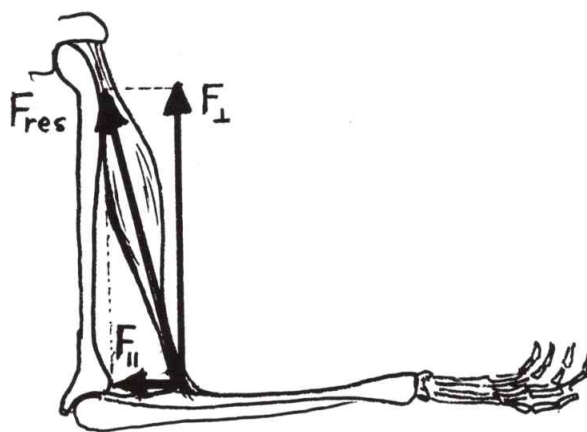
Virker musklens forreste eller bageste del alene, føres armen fremad henholdsvis bagud. Virker muskel-delene samtidig, skal de to delkræfter $\vec{F}_f$ og $\vec{F}_b$ lægges sammen. Den resulterende kraft $\vec{F}_{\text{res}}$, som deltamusklen påvirker overarmen med, er diagonal i det parallelogram, som udspændes af kræfterne $\vec{F}_f$ og $\vec{F}_b$. Den resulterende kraft vil føre armen udad-opad.

Opløsning af kræfter

Man har også brug for at se på den modsatte situation: Hvilke delkræfter kan en given kraft tænkes sammen-sat af, og hvilke virkninger har disse delkræfter?

En sådan opløsning af en bestemt kraft kan i princip-pet foretages på uendelig mange måder, men oftest opdeler man kræfter i to "delkræfter", komponenter, der står vinkelret på hinanden, og som har den givne kraft som resulterende kraft ved addition.

Eksempel 5.3 Sådan bøjes armen



Figur 5.8 Biceps på arbejde. Forenklet model af albueledet med den muskel, der kan bøje armen.

Muskelkraftens træk i underarmen sker i senens retning (figur 5.8). Kraften fra musklen $\vec{F}_{\text{mus}}$ kan opløses i to komponenter. Den ene komponent $F_{\perp}$ er vinkelret på underarmen, den anden $F_{\parallel}$ er parallel hermed.

Det er kun den vinkelrette komponent, der har en drejende virkning på underarmen. Den parallelle komponent ses at have en stabiliserende virkning på ledet, idet den forsøger at trække underarmsknoglen ind mod overarmsknoglen. En sådan stabilisering er af afgørende betydning specielt for skulderledet, hvor overarmsknoglens "hovede" kun holdes løseligt på plads – skulderen kan nemt "gå af led".



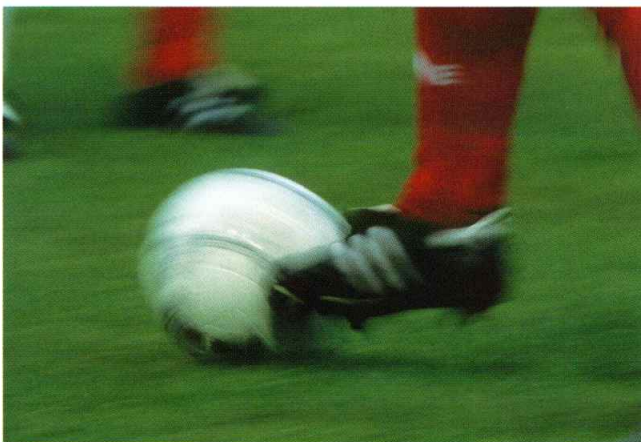
5.4 Kræfter danner par

Erfaringen viser, at kræfter altid forekommer parvis: Påvirker et objekt et andet objekt eller omgivelserne med en kraft, vil objektet selv blive påvirket af en lige så stor og modsat rettet kraft. De to kræfter i parret kaldes henholdsvis *aktion* og *reaktion*, se figur 5.9. Der gælder altid:

Aktion = Reaktion

(Newtons 3. lov)

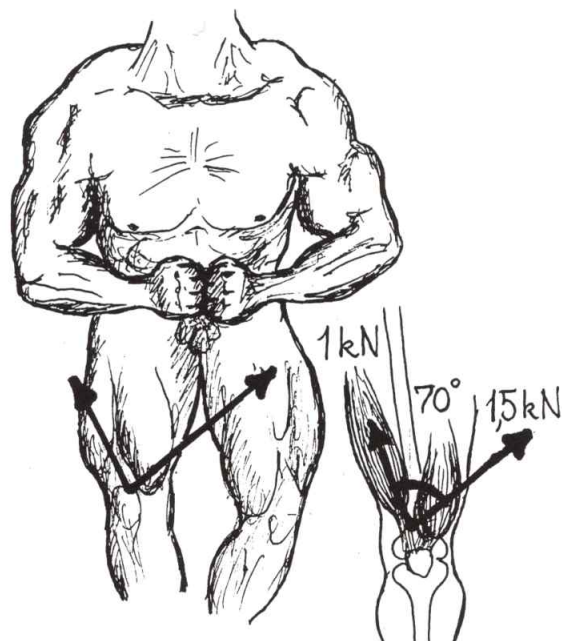
Når en fodboldspiller ved et hovedstød påvirker bolden med en kraft, vil bolden påvirke spillerens hoved med en lige så stor og modsat rettet kraft. Nogle forskere mener, at denne kraft undertiden kan blive så stor, at spilleren får en mindre hjernerystelse.



Figur 5.9 Aktion og reaktion er lige store, men modsat rettede kræfter, som virker på hver sit af de vekselvirkende objekter.

Opgaver & aktiviteter

4. Sikke muskler



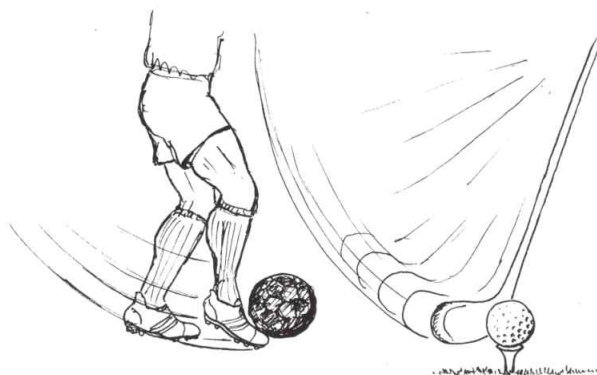
Figuren viser lårets forsidemuskel hos en bodybuilder. Musklen har fire hoveder. På figuren er lårbenet og kræfterne fra to af de fire hoveder vist.

- ◆ Find størrelse og retning af den resulterende kraft.

5. Aktion og reaktion

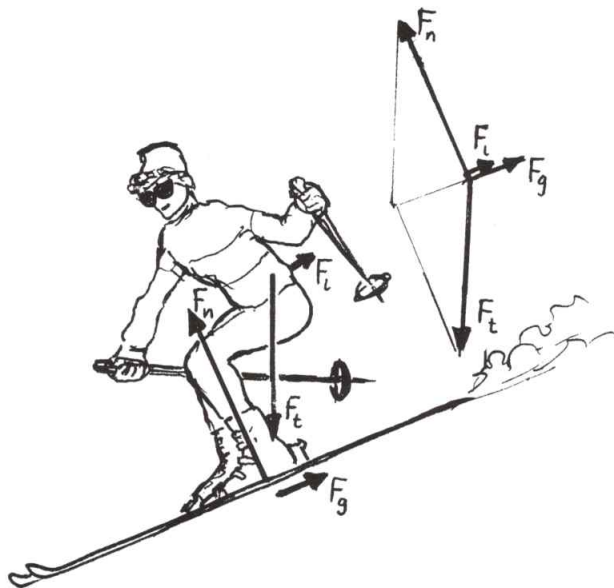
Figuren viser situationer fra to idrætsdiscipliner.

- ◆ Find for hver af dem aktionen fra idrætsudøveren på redskabet samt reaktionen fra dette.



5.5 Kræfterne i idræt

Uanset idrætsdisciplin er udøveren påvirket af kræfter både fra omgivelserne (ydre kræfter) og fra sine egne muskler (indre kræfter).



Figur 5.10 Skiløberen trækkes ned ad bakken af tyngdekraften, mens normalkraften fra bakken forhindrer ham i at falde gennem snelaget. Luftmodstanden og gnidningskraften mellem ski og underlag gør sit til, at farten ikke bliver for stor.

I idrætsmæssig sammenhæng er de vigtigste kræfter på idrætsudøveren:

- Tyngdekraften $\vec{F}_t$ på et redskab eller legeme.
- Normalkraften $\vec{F}_n$: det vil sige underlagets kraft på idrætsudøveren.
- Gnidningskraften $\vec{F}_g$ mellem underlag og redskab/fod.
- Luftmodstanden $\vec{F}_l$.

Hertil kommer eventuelle kraftpåvirkninger fra fx modspillere i boldspil. I forbindelse med brug af redskaber (ketchere, bats og køer) kan det desuden være nødvendigt at inddrage stød eller kortvarige slag.

Med undtagelse af tyngdekraften er de ovenfor fremhævede ydre kræfter kontaktkræfter. De optræder, når objekter er i berøring med hinanden. Tyngdekraften virker derimod over store afstande. Vi skal nu se nærmere på nogle af de ydre kræfter.

Tyngdekraften

Tyngdekraften trækker alt nedad mod jorden. Eksperimentelt finder man, at størrelsen af tyngdekraften F_t på et objekt er proportional med objektets masse m

$$F_t = m \cdot g$$

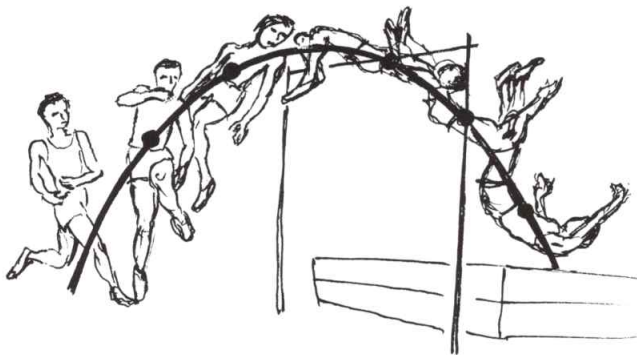
Konstanten g kaldes tyngdeaccelerationen, og dens værdi afhænger af, hvor man er på Jorden. I Danmark har g værdien $9,82 \text{ N/kg}$.

Eksempel 5.4 Tyngdekraftens virkning på en fodbold
Ifølge "fodboldloven" skal bolden veje mellem 396 g og 453 g ved kampens begyndelse. Den maksimale til-ladte tyngdekraft på bolden ved kampens start må derfor være

$$F_t = m \cdot g = 0,453 \text{ kg} \cdot 9,82 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 4,45 \text{ N}$$

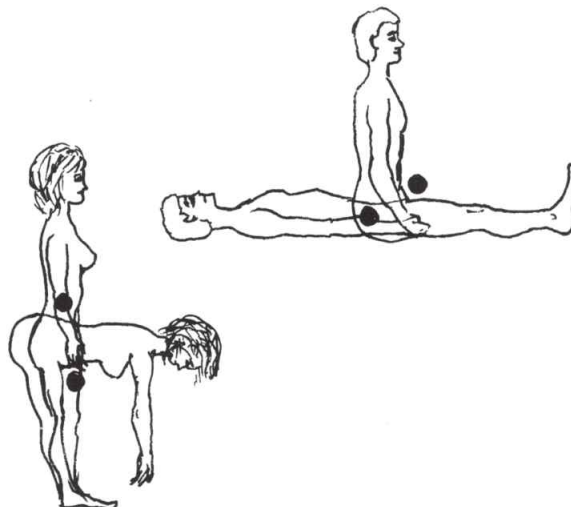
Når man skal opstille en fysisk model for et problem fra idrættens verden, skal man ofte inddrage tyngdekraften på kroppen. Den er summen af tyngdekræfterne på kroppens enkelte dele. I praksis kan man imidlertid regne, som om hele kroppens masse er samlet i det såkaldte tyngdepunkt, og som om tyngdekraften virker i dette punkt. Dette princip gælder generelt og altså ikke blot for tyngdekraftens virkning på menneskekroppen.

Hos redskaber og bolde ligger tyngdepunktet fast, hvorimod en idrætsudøver kan flytte sit tyngdepunkts placering i forhold til kroppen ved at bevæge dele af kroppen. Det udnytter man ved bl.a. højdespring. Når først springet er påbegyndt, vil tyngdepunktet beskrive en parabelbane, bestemt ved op-springshastigheden og opspringsvinklen.



Figur 5.11 Tyngdepunktet under et højdespring.

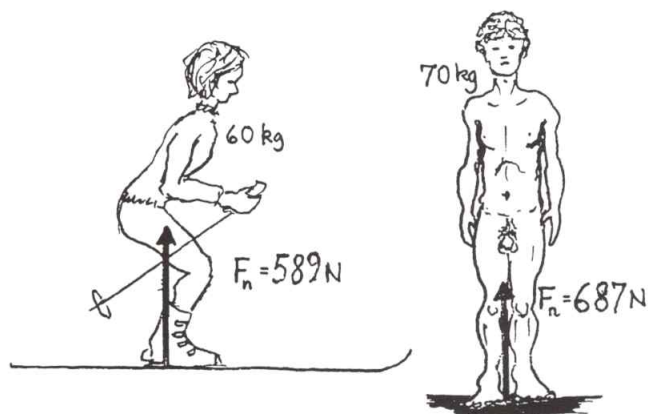
Det eneste, højdespringeren kan ændre under springet, er de forskellige legemsdeles indbyrdes placering, og på den måde kan springeren få kroppen over over-liggeren, uden at tyngdepunktet kommer det.



Figur 5.12 Tyngdepunktet flytter sig ved forskellige former for hoftebøjninger.

Normalkraften

Når en person står på et underlag, er vedkommende foruden tyngdekraften også påvirket af en kraft fra underlaget, som betegnes *normalkraften*, F_n . Normalkraftens retning er altid vinkelret på underlaget (figur 5.13). Er underlaget vandret, bliver størrelsen af normalkraften den samme som størrelsen af tyngdekraften, så den resulterende kraft på personen bliver 0 N.



Figur 5.13 Eksempler på normalkræfter.

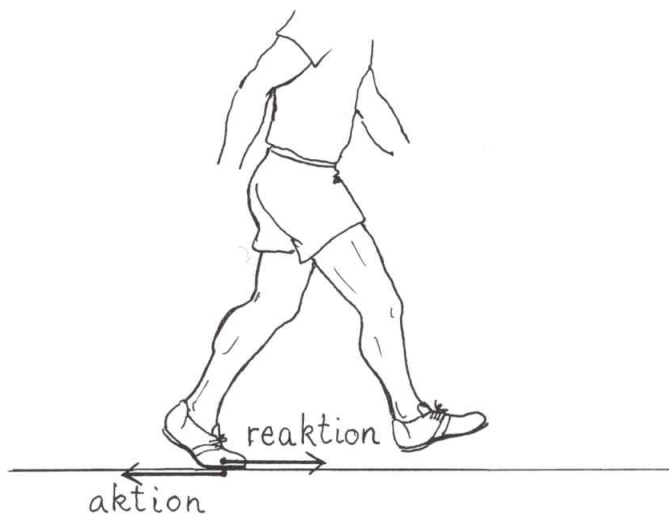
For at forstå, hvorfor underlaget kan reagere med en normalkraft, kan man tænke på, hvad der sker, når man sætter sig på en springmadras. Personens tyngde presser fjedrene i madrassen sammen. De sammenpressede fjedre vil påvirke personen med en opadrettet kraft, normalkraften. På samme måde vil en persons tyngde sammenpresse overfladeatomerne i et underlag. Normalkraften opstår her på grund af de frastødende elektriske kræfter mellem elektronerne i atomerne, som kan sammenlignes med en slags 'usynlige fjedre'.

Gnidningskraft

To objekter, der er i kontakt med hinanden, påvirker ikke blot hinanden med normalkræfter. Hvis et objekt bevæges (eller bare hvis det forsøges bevæget) langs et underlag, vil der også opstå kontaktkraft parallel med underlaget. Denne kraft kaldes *gnidningskraften* $\vec{F}_g$.

En langrendsløber er meget afhængig af gnidningskræfter. For at glide lettest muligt fremad eller ned ad bakke skal gnidningskraften mellem skien og sneen være så lille som muligt. Derimod ønsker man en stor gnidningskraft, når der skal sættes af (specielt op ad bakke). Ski buer, og ved at smøre skiene med forskellige vokstyper kan man opnå en lille gnidningskraft i skienderne samt en stor gnidningskraft ved skiens midterste del. Derved opnår man en lille gnidningskraft i gliddet, hvor det kun er skiens forreste og bageste del, der har kontakt med sneen. Under afsættet presses skiens midterste del ned mod sneen, hvor den blødere voks giver en større gnidningskraft.

Der er faktisk tale om to forskellige typer gnidningskræfter. Når skiene bevæger sig i forhold til sneen under gliddet, taler vi om en *dynamisk* gnidningskraft mellem ski og sne. Under afsættet er der tale om en *statisk* gnidningskraft, fordi afsætsskien ikke bevæger sig i forhold til sneen.



Figur 5.14 Gnidningskraften udnyttes, når vi går.

Den statiske gnidningskraft udnytter vi også ved almindelig gang, figur 5.14. For at gå fremad er man nødt til at påvirke underlaget med en vandret kraft (aktionen). Underlaget vil så påvirke os med en lige så stor, men modsat rettet kraft (reaktionen). Reaktionskraften er den statiske gnidningskraft på fodtøjet, som modvirker, at foden bevæger sig bagud. Hvis underlaget er glat, som for eksempel i isglat føre, kan gnidningskraften blive så lille, at man slet ikke kan gå på underlaget.

Statiske gnidningskræfter kan antage alle værdier fra nul og op til en maksimal værdi $F_{gs,max}$. Eksperimenter viser, at størrelsen af den maksimale gnidningskraft mellem to materialer afhænger af

- hvilke materialer der er tale om
- overfladernes beskaffenhed (ru eller glatte)
- størrelsen af kraften, der presser fladerne sammen

Eksperimentelt finder man ligeledes, at størrelsen af den maksimale statiske gnidningskraft er proportional med normalkraftens størrelse

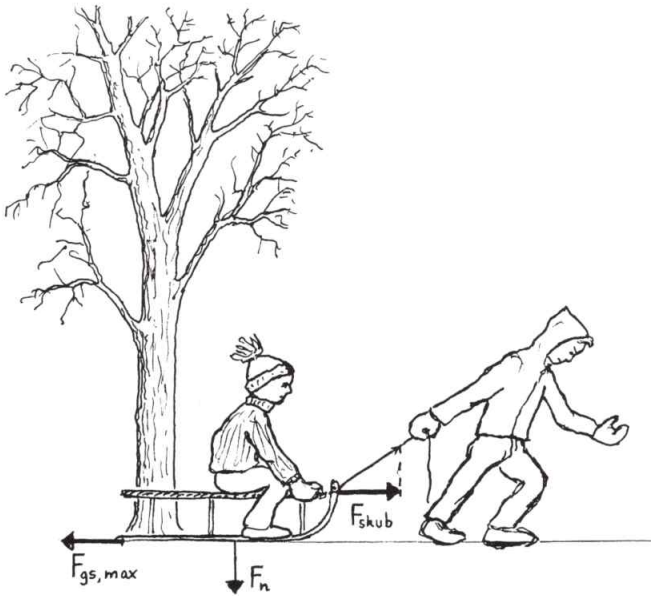
$$F_{gs,max} = \mu_s \cdot F_n$$

Konstanten μ_s kaldes den *statiske gnidningskoefficient*. Den afhænger af, hvilke materialer de to flader er lavet af. Gnidningskoefficienten μ_s varierer fra ca. 0,01 for glatte overflader til ca. 1,5 for ru overflader. En tabel over gnidningskoefficienter findes i Databogen.

Når et objekt er begyndt at glide på underlaget, er den statiske gnidningskraft ikke længere interessant. Det er nu den *dynamiske gnidningskraft*, der virker. Den dynamiske gnidningskraft er modsat rettet objektets hastighedsvektor. Størrelsen af den dynamiske gnidningskraft F_{gd} er proportional med normalkraftens størrelse F_n . Proportionalitetsfaktoren kaldes den *dynamiske gnidningskoefficient* μ_d .

Eksperimentelt viser det sig, at den dynamiske gnidningskoefficient er mindre end den maksimale statiske, jævnfør tabellen i Databogen.

Eksempel 5.6 Slædekørsel



Børn elsker at køre på slæde. Hvis der ingen bakker er, kan man altid skiftes til at skubbe eller trække hinanden.

Passager og slæde vejer tilsammen 38 kg og den statiske henholdsvis dynamiske gnidningskoefficient er 0,35 og 0,050.

Hvor stor en resulterende kraft skal der til for at sætte slæde og passager igang?

Hvor stor en resulterende kraft skal der til for at skubbe dem med konstant fart hen over en vandret flade?

For at sætte slæden i gang skal størrelsen af skubbekraften være lige så stor, som den maximale statiske gnidningskraft

$$F_{\text{skub}} = F_{\text{gs,max}} = \mu_s \cdot F_n$$

Da underlaget er vandret, er størrelsen af normalkraften lig med størrelsen af tyngdekraften

$$F_n = F_t = m \cdot g$$

Den mindste skubbekraft er da

$$F_{\text{skub}} = \mu_s \cdot m \cdot g = 0,35 \cdot 38 \text{ kg} \cdot 9,82 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 131 \text{ N}$$

For at opretholde en konstant fart skal der skubbes med en kraft, hvis størrelse skal være lig med den dynamiske gnidningskraft

$$F_{\text{skub,gli}} = \mu_d \cdot m \cdot g = 0,050 \cdot 38 \text{ kg} \cdot 9,82 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 18,7 \text{ N}$$

Også ved cykling er der en gnidningskraft mellem dæk og underlag. Størrelsen af denne kraft, *rullemodstanden*, er også proportional med størrelsen af normalkraften. Proportionalitetskonstanten kan ved et rigtigt valgt dæktryk o.lign. bringes ned på værdier omkring 0,01.

Luftmodstand

I de fleste idrætsmæssige sammenhænge regner man med, at størrelsen af luftmodstanden F_l er proportional med det areal A , idrætsudøveren har vinkelret på hastigheden. Kraften er desuden proportional med kvadratet på den fart v , luften har forbi idrætsudøveren.

Størrelsen af luftmodstanden udtrykkes normalt ved formelen

$$F_l = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c_w \cdot A \cdot v^2$$

hvor ρ er luftens densitet. Konstanten c_w , der kaldes *formmodstanden*, beskriver, hvor let luften har ved at strømme forbi objektet. Ved at vælge særlige materialer og former kan man opnå værdier ned til 0,1 – 0,2. I Databogen findes der en tabel med c_w -værdier for forskellige objekter.

Eksempel 5.7 Cykling



Et cyklist på en racercykel har skønsmæssigt et tværsnitsareal på 0,90 m², målt vinkelret på kørselsretningen. Hvis formmodstanden c_w skønsmæssigt sættes til 0,70, er luftmodstanden ved farten $v = 36 \text{ km/h} = 10 \text{ m/s}$ da

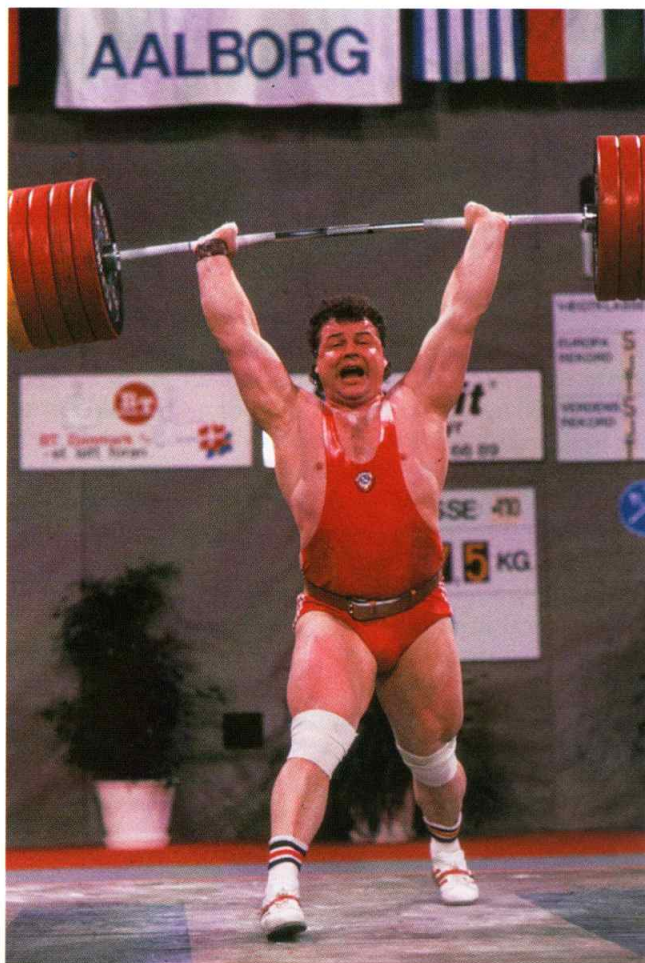
$$F_l = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c_w \cdot A \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,20 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,70 \cdot 0,90 \text{ m}^2 \cdot (10,0 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 = 38 \text{ N}$$

Til sammenligning kan anføres, at rullemodstanden typisk er 20 N.

Indre kræfter

Kroppen er udover de ovenfor nævnte ydre kræfter også påvirket af indre kræfter. De indre kræfter er muskelkræfter samt kræfter i sener, led og ledbånd.

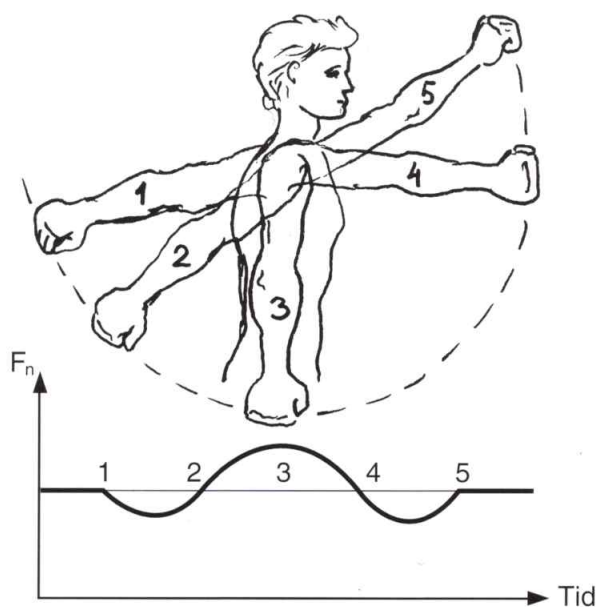
Når man om en person siger, at "han har mange kræfter", mener man sædvanligvis, at personen er i stand til at løfte/bære en tung byrde.



Figur 5.15 Vægtløfter.

Opgaver & aktiviteter

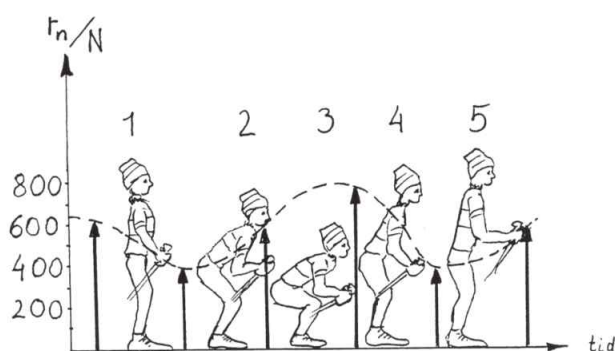
6. Normalkraftens variation ved armsving



Hvis man svinger med armene, vil normalkraften ændre sig.

- ◆ Prøv at stå op på en badevægt og se, hvordan vægten varierer, når du svinger med armene.
- ◆ Hvilken betydning har armsvinget inden for atletikken ved løb og spring?

7. Du gynger op og ned



Hvis man står og gynger op og ned, ændres normalkraften.

- ◆ Gør rede for, hvordan normalkraften varierer under det viste bevægelsesforløb på figuren.

8. Det store glid

En langrendsløber med masse 90 kg inkl. udstyr glider med konstant hastighed ned ad en lang bakke, som hælder 15° i forhold til vandret.

- ◆ Beregn størrelsen af normalkraften.
- Gnidningskoefficienten mellem ski og sne er 0,050.
- ◆ Bestem størrelsen af gnidningsmodstanden mellem ski og sne henholdsvis luftmodstanden på skiløberen.
- Skiløberens tværsnitsareal er skønsmæssigt $1,20\text{ m}^2$, og formmodstanden c_w kan sættes til 0,80.
- ◆ Hvor hurtigt bevæger skiløberen sig?

6. Krop og balance

Så skal der vippes

6.1 Ligevægt

Kroppen i balance?

Når en person er ligevægtig eller i ligevægt hentyder ordet ligevægt til en afbalanceret mental tilstand – en tilstand, som ikke ændrer sig 'vildt'. I fysikken benyttes ordet 'ligevægt' også om en 'mangel på ændring' i den forstand, at bevægelsen ikke ændres.

Alle idrætsudøvere kender den situation, at en idrætspræstation er blevet forringet på grund af manglende ligevægt. Hos elitegymnaster er bedømmelsen hård, hvis der ikke er kontrol med ligevægten i landinger. Det hænger sammen med, at gymnastens afslutning direkte afspejler den præcision, hvormed kroppen var kontrolleret umiddelbart før landingen.

I idræt drejer det sig normalt om dynamiske ligevægte, dvs. ligevægtssituationer som hele tiden ændres. Eksempler herpå er driblinger i boldspil, slalomløb på ski, pirouetter og ligevægte på skøjter. Det er umuligt at opretholde sådanne balancer statisk, altså stillestående.

I dette afsnit behandles de fysiske love for en statisk balance. Den resulterende kraft på en idrætsudøver, der befinder sig i statisk balance, er 0 N. Summen af alle de kræfter, der påvirker personen, er altså nul, dvs.

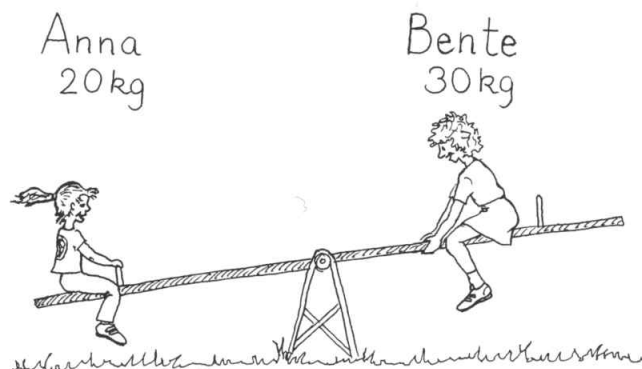
$$F_{\text{res}} = F_1 + F_2 + \dots = 0 \text{ N}$$

Eksempel 6.1 Lige på vippen

En almindelig børnevippe kan dreje om en akse gennem vippens tyngdepunkt. Vippen er i sig selv i ligevægt, da der hverken forekommer en bevægelse af vippen som helhed eller en rotation omkring akslen. Den resulterende kraft på vippen er altså nul. På vippen virker der to kræfter: tyngdekraften og reaktionen fra underlaget. Kræfterne er lige store og modsat rettede.



Figur 6.1 En børnevippe.



Figur 6.2 Anna og Bente er lige på vippen.

I forlængelse af Eksempel 6.1 kan vi nu diskutere fysikken bag vippens nærmere. Anna og hendes veninde Bente vil gerne vippe. Pigerne masser er 20 kg henholdsvis 30 kg. De to piger ved godt, at hvis de sætter sig lige langt fra omdrejningsaksen, kan de ikke holde ligevægt på vippen – den vil dreje. Bente rykker derfor så langt ind på vippen, at de kan opnå ligevægt. Den drejende virkning af de to tyngdekrafter ophæver hinanden.

Tyngdekraften på Anna F_A vil give en drejning af vippen mod uret, mens tyngdekraften på Bente F_B vil give en drejning med uret.

En krafts drejende virkning udtrykkes ved *kraftmomentet* M . Det er defineret som produktet af to størrelser

1) Kraften F

og

2) den vinkelrette afstand fra kraftens angrebspunkt ind til omdrejningsaksen – kraftens arm r

$$M = F \cdot r$$

Et kraftmoment er en vektor, som man normalt lader pege langs omdrejningsaksen. Man kan derfor regne kraftmomenter med fortegn på samme måde som kræfter. Kraftmomenter, der bevirker drejninger mod uret, regnes positive, og kraftmomenter, der bevirker drejninger med uret, regnes negative.

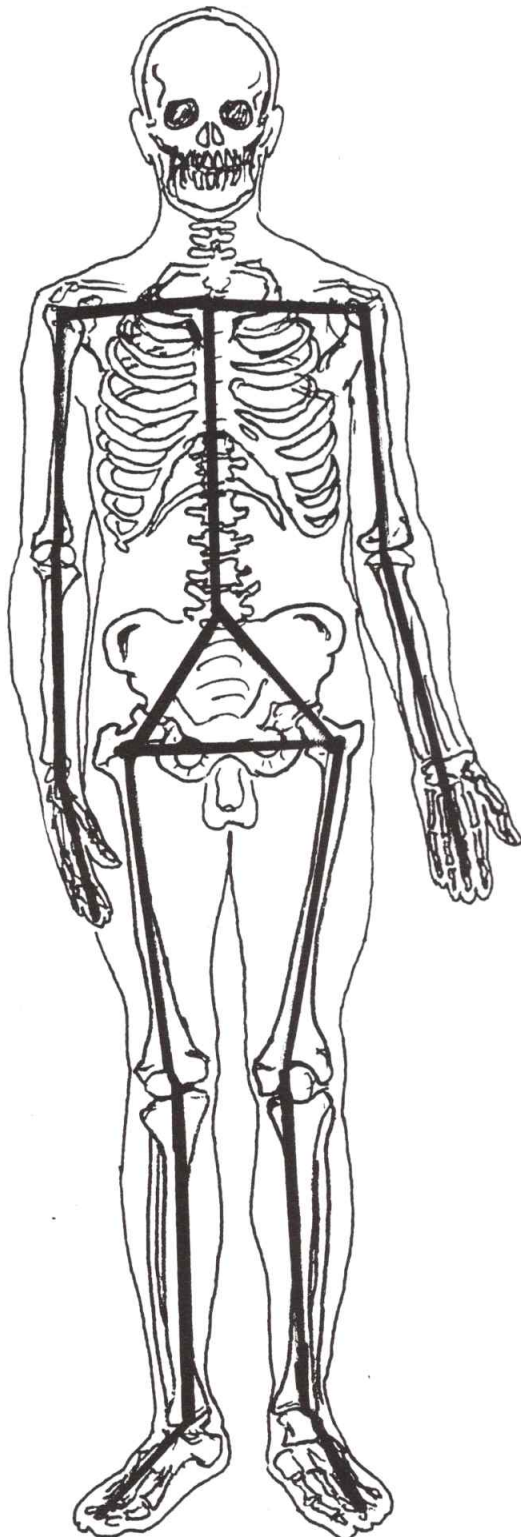
Betingelsen for ligevægt ved drejninger er, at summen af kraftmomenterne omkring omdrejningsaksen er nul. Man siger, at der er *momentligevægt*. Loven om momentligevægt kaldes også *vægtstangsreglen*. Vippen er derfor i ligevægt, når

$$F_A \cdot r_A - F_B \cdot r_B = 0 \text{ N} \cdot \text{m}$$

idet tyngdekraften på A bevirker en omdrejning mod uret, mens tyngdekraften på B bevirker en omdrejning den modsatte vej. SI-enheden for kraftmomenter er N·m (newtonmeter).

Kroppen som et vægtstangssystem

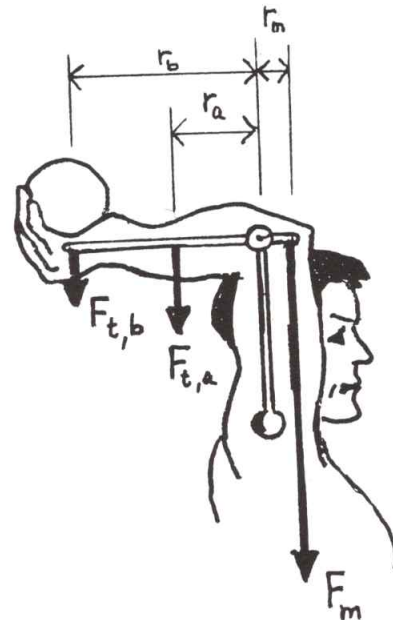
Knogler og led i det menneskelige skelet kan i en forenklet model antages at bestå af 'stænger' og 'hængsler' – se figur 6.3. De sorte rette linier udgør vægtstængerne for drejende bevægelser i leddene.



Figur 6.3 'Stiliseret' menneskekrop.

Al bevægelse af den menneskelige krop skyldes sammentrækninger af relevante muskler. Musklerne sidder hæftet til skelettets knogler, som dermed kommer til at fungere som en slags vægtstænger med omdrejningsakserne placeret i leddene mellem de to knogler, som bevæges i forhold til hinanden.

Eksempel 6.2 Kast med bold



Figur 6.4 Model af en arm, der kaster en bold.

Armens strækkemuskels (*triceps*) bevægelse af underarmen er et eksempel på en to-armet vægtstang i kroppen – der er kræfter, som påvirker vægtstangen på begge sider af omdrejningsaksen. Ved et kast med en bold kan man sammenligne albueledet med en vægtstang, hvor tyngdekraften F_t virker på den ene side og kraften F_m fra triceps på den anden side af en akse gennem albueledet (se figur 6.4). Afstanden fra omdrejningspunktet til triceps er r_m . Tyngdekraften $F_{t,b}$ virker på bolden og $F_{t,a}$ på underarmen. r_b er afstanden fra omdrejningspunktet til boldens tyngdepunkt, mens r_a er afstanden fra omdrejningspunktet til underarmens tyngdepunkt. Når armen holdes stille i den viste situation, giver vægtstangsreglen

$$F_m \cdot r_m - F_{t,b} \cdot r_b - F_{t,a} \cdot r_a = 0 \text{ N}$$

hvilket kan bruges til at vurdere muskelkraftens størrelse

$$F_m = \frac{F_{t,a} \cdot r_a + F_{t,b} \cdot r_b}{r_m} \quad (5)$$

Opgaver & aktiviteter

1. Anna på vippen

Vippen vejer 200 kg.

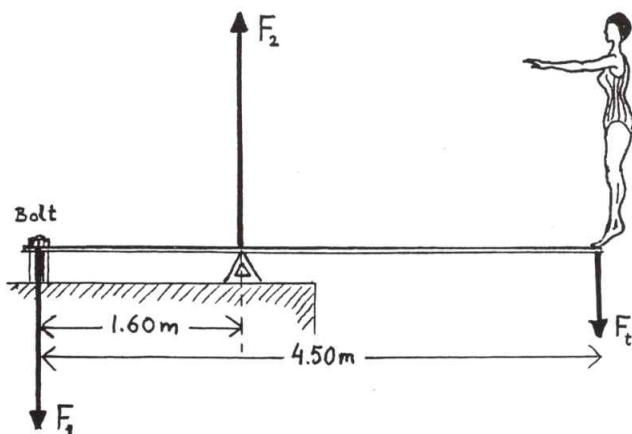
- ◆ Hvad er reaktionskraften fra underlaget på vippen? Anna sætter sig på vippen lodret over omdrejningsaksen.
- ◆ Hvad er reaktionskraften på vippen fra underlaget, når Anna vejer 20 kg?
- ◆ Hvad er den resulterende kraft på vippen?
- ◆ Hvor stort et kraftmoment har hendes tyngdekraft omkring vippens omdrejningsakse?

2. Mere vipning

Anna sidder 3,0 m fra omdrejningsaksen.

- ◆ Hvor skal Bente sætte sig, hvis der skal være ligevægt?

3. Udspringsvippe



En udspringer, hvis tyngdekraft er 530 N, står i den ene ende af en udspringssvippe, som er 4,5 m lang og fastgjort i den anden ende med en bolt. Vippens masse er så lille, at vi kan se bort fra den.

Vi vil undersøge, hvor store kræfter boltens F_1 og understøttelsepunktet F_2 påvirker vippen med. På vippen virker tre kræfter: F_1 , F_2 og tyngdekraften på udspringeren F_t .

- ◆ Gør rede for, at kræfterne peger i de retninger, som er angivet på figuren ovenfor.

Da vippen er i ligevægt, må såvel summen af kræfterne som summen af deres kraftmomenter omkring et vilkårligt valgt omdrejningspunkt være nul. Regnes kraften F_2 , der peger opad, positiv, bliver udtrykkene for henholdsvis kraftligevægt (1) henholdsvis momentligevægt (2) på vippen:

$$\begin{aligned} F_2 - F_1 - F_t &= 0 \text{ N} & (1) \\ F_1 \cdot r_1 - F_t \cdot r_t &= 0 \text{ N} \cdot \text{m} & (2) \end{aligned}$$

Bemærk, at kraften F_2 ikke har noget moment omkring akslen ved understøttelsepunktet, fordi dens tilsvarende arm er 0 m. Ud fra de to udtryk (1) og (2) kan man finde F_1 og F_2 .

- ◆ Vis ved løsning af ligningssystemet, at F_1 har størrelsen 960 N, mens F_2 er 1490 N.

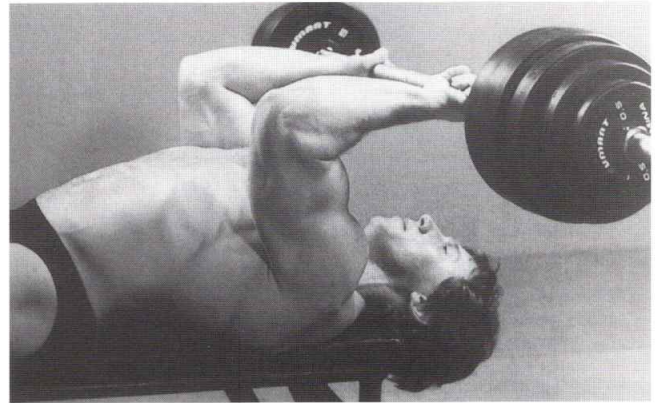
Vi vælger nu, at omdrejningsaksen skal ligge ved boltens.

- ◆ Opskriv udtrykkene for kraft- henholdsvis momentligevægt og bestem igen F_1 og F_2 .

4. Din egen tricepsmuskel.

- ◆ Vurder følgende størrelser hos dig selv i eksemplet **Kast med bold**: r_m , r_{tb} , massen af underarmen og massen af bolden.
- ◆ Beregn muskelkraften i triceps F_m ved hjælp af momentligevægt.

5. Beregning af kraftudvikling i triceps



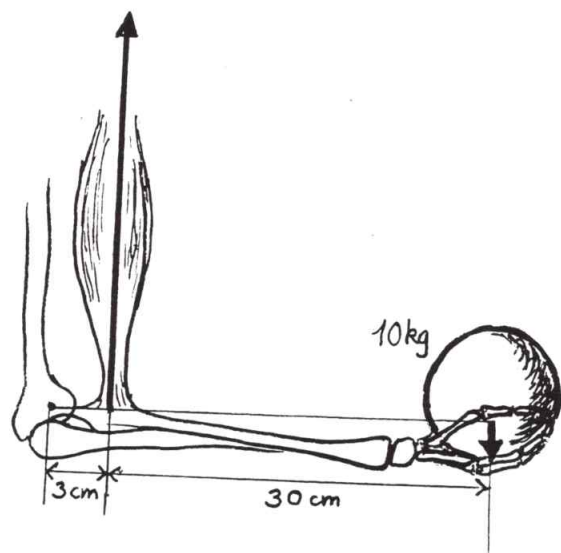
Billedet viser en person, der styrketræner triceps. Massen af vægtstangen er 50 kg. Afstanden fra hånden til akslen gennem albueleddet er 33 cm. Momentarmen for tricepsmusklen er 2,0 cm, og muskelkraften er parallel med overarmsknoglen.

- ◆ Beregn vha. betingelsen for momentligevægt størrelsen af den kraft tricepsmusklen udvikler.

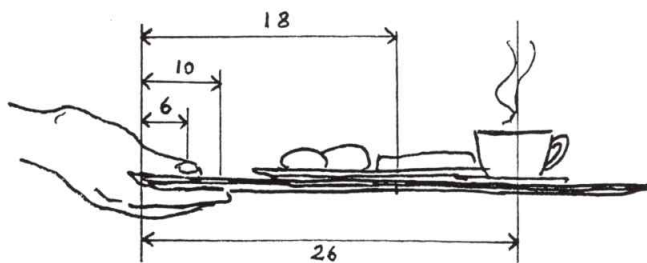
6. Biceps i aktion

I underarmens bøjningsbevægelse, hvor biceps er den aktive muskel, har vi med en énarmet vægtstang at gøre. Her angriber den ydre tyngdekraft og den indre muskelkraft på samme side af drejningsaksen.

- ◆ Beregn kraften i biceps, når der anbringes en masse på 10 kg i hånden. Momentarmen for den ydre kraft er 30 cm.



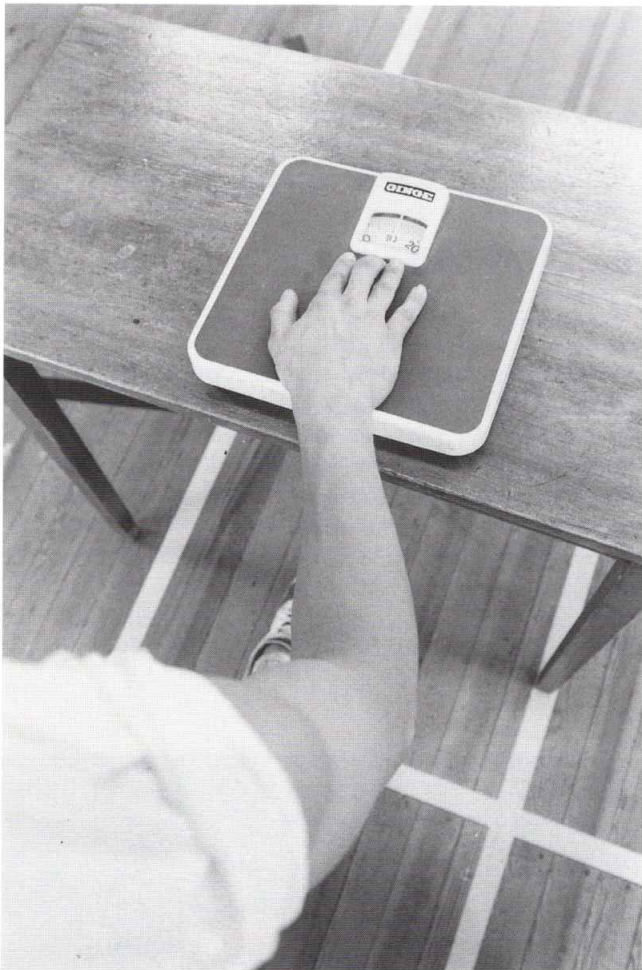
7. Frokostbakken



En frokostbakke holdes i én hånd, som vist på figuren. Massen af bakken er 0,200 kg, og dens tyngdepunkt ligger i dens geometriske centrum. På bakken er der en tallerken-anretning på 1,00 kg og en kop kaffe med masse 0,250 kg.

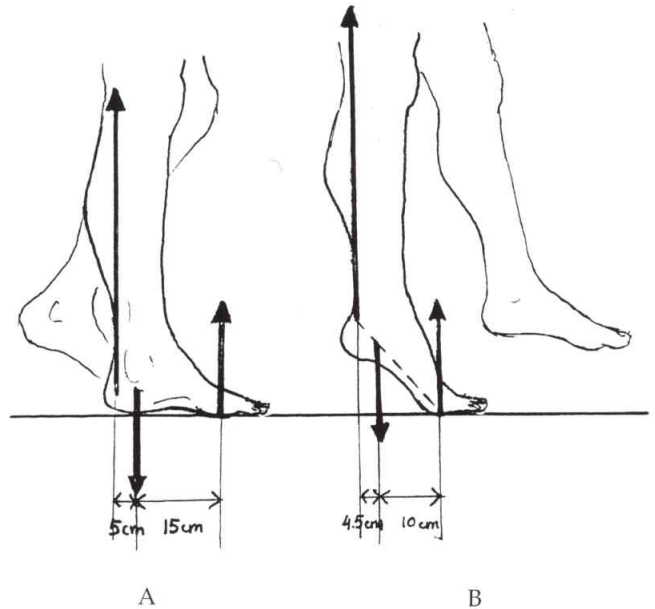
♦ Find kraften F_T fra tommelfingeren, og kraften F_F fra de fire andre fingre på bakken. Begge kræfter virker vinkelret på bakken, som holdes vandret.

8. Pres vægten ned



- ♦ Vej først underarmen ved at lægge den på en badevægt som vist på figuren til venstre. Pres derefter vægten ned af al kraft. Det skal ske med vandret underarm og uden at læne kroppen ind over. Vurdér størrelsen af r_m for triceps.
- ♦ Find på baggrund af målingerne den maksimale kraft tricepsmusklen kan levere.

9. Op på tæerne



I mange situationer gælder det om at være 'oppe på tæerne'. Her gælder det om at finde størrelsen af den kraft lægmusklerne via achillessenen må levere for at hæve hælen fra gulvet.

Momentarmen for normalkraften er 15,0 cm, mens momentarmen for kraften fra achillessenen er 5,0 cm.

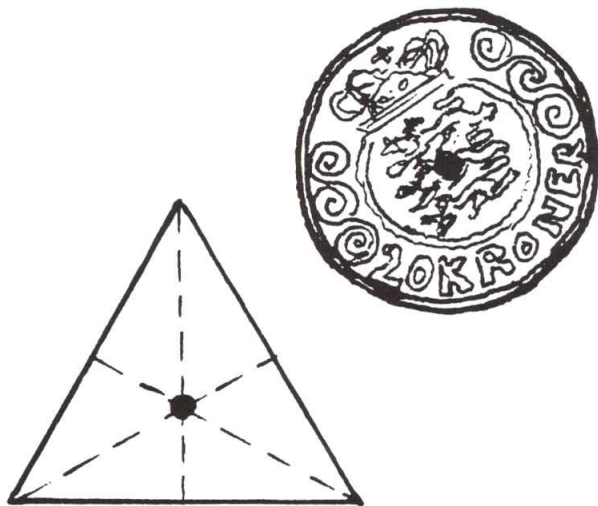
I figur A antager vi, at personen er lige ved at lette hælen fra gulvet. Ved at opstille betingelsen for momentligevægt kan kraften fra achillessenen beregnes.

- ♦ Forklar, hvor de to kræfter på ankelledet stammer fra.
- ♦ Vis, at kraften fra achillessenen for en person med massen 70 kg har størrelsen 2,1 kN.
- ♦ Bestem den kraft, achillessenen skal levere for, at personen kan stå på tæer (figur B). Momentarmene for normalkraften fra underlaget og fra achillessenen er nu henholdsvis 10,0 cm og 4,5 cm.

6.2 Tyngdepunktet

En genstands tyngdepunkt TP er det punkt, man kan hæn-
ge genstanden op i, så den er i balance, uanset hvordan man
vender og drejer den om en akse gennem tyngdepunktet.

Tyngdekraften vil trække alle genstandens masse-
punkter mod jorden med en vis kraft, men summen af
kraftmomenterne (M) om den valgte akse er nul. Der-
for vil genstanden være i ligevægt i alle stillinger.

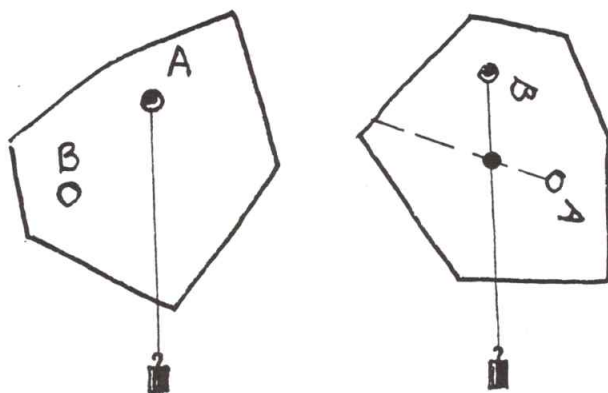


Figur 6.5 Tyngdepunktet for forskellige symmetriske gen-
stande.

I regelmæssige, symmetriske figurer ligger tyngde-
punktet i det geometriske centrum (symmetricen-
trum), mens det ved usymmetriske genstande kan væ-
re noget sværere at finde ud af, hvor det ligger. På fi-
gur 6.5 er vist tyngdepunktets placering for forskellige
symmetriske genstande.

Sådan findes tyngdepunktet eksperimentelt

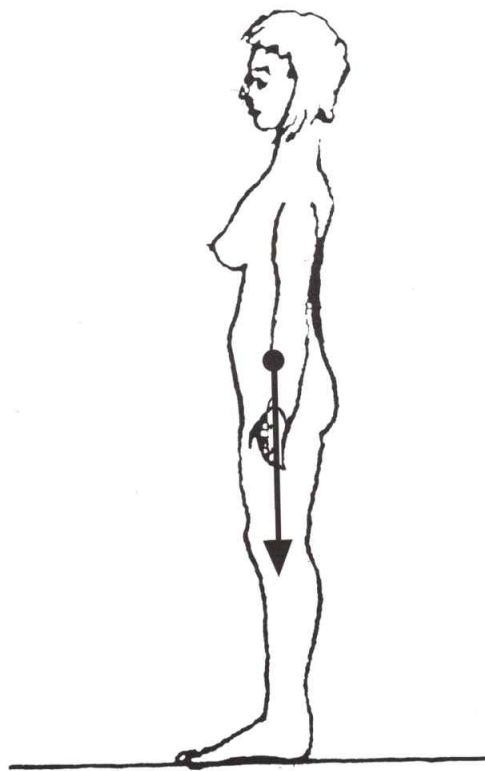
Man kan finde tyngdepunktets placering for et fladt,
skiveformet legeme ved at hæn-ge genstanden op i et
passende punkt (A). Genstanden vil gylge frem og til-
bage, indtil den stopper med tyngdepunktet lige lod-
ret under ophængningspunktet. Ophænges genstan-
den derpå i et andet punkt B, fås en ny linje gennem
tyngdepunktet. Tyngdepunktet ligger dér, hvor de to
linjer skærer hinanden.



Figur 6.6 Tyngdepunktsbestemmelse for skiveformede gen-
stande.

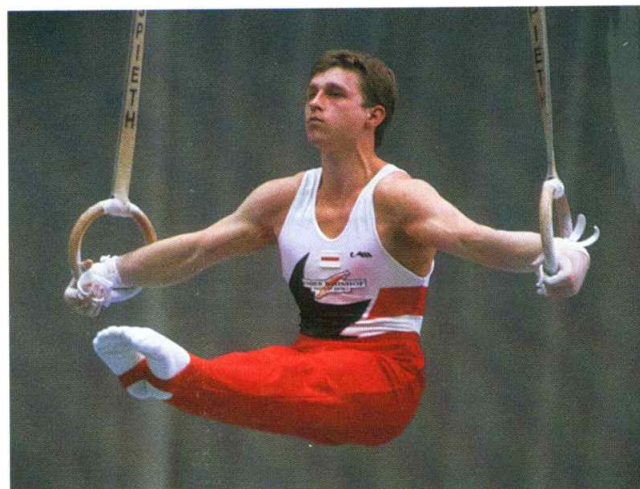
Kroppens tyngdepunkt

Kroppens tyngdepunkt ligger i stående stilling om-
trænt i navlehøjde. Nærmere bestemt nogle centimeter
foran 5. lændehvirvel.



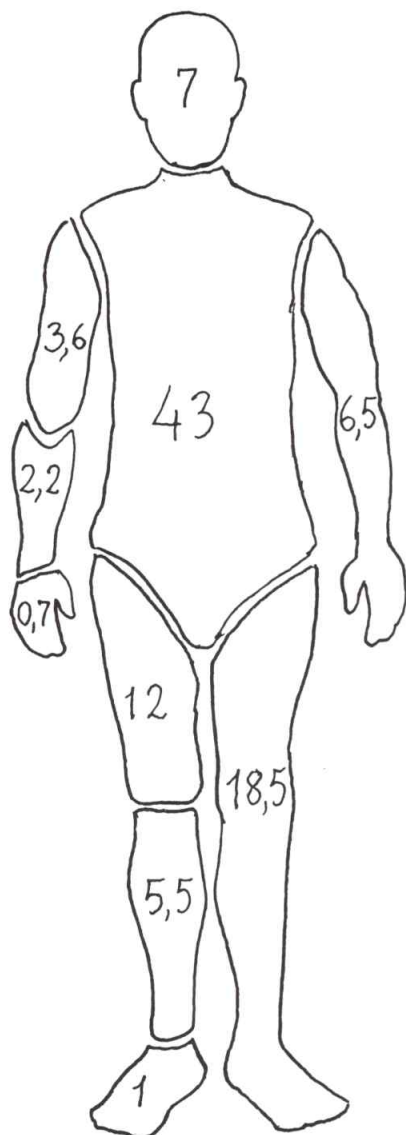
Figur 6.7 Kroppens tyngdepunkt.

Det skal dog præciseres, at tyngdepunktet ikke er et
fast punkt i kroppen. Dets beliggenhed skifter alt ef-
ter, hvordan vi placerer kroppens dele i forhold til
hinanden. Hvis man forskyder en kropsdel i én re-
tning, så flytter tyngdepunktet sig i samme retning.
Løfter man eksempelvis en arm eller løfter et ben, hæ-
ves tyngdepunktet også. Jo tungere kropsdelen er, des
mere flytter tyngdepunktet sig. Det kan endda ligge
uden for kroppen! Overvej for eksempel, hvad der
sker med tyngdepunktet, hvis man løfter sig op på ti.



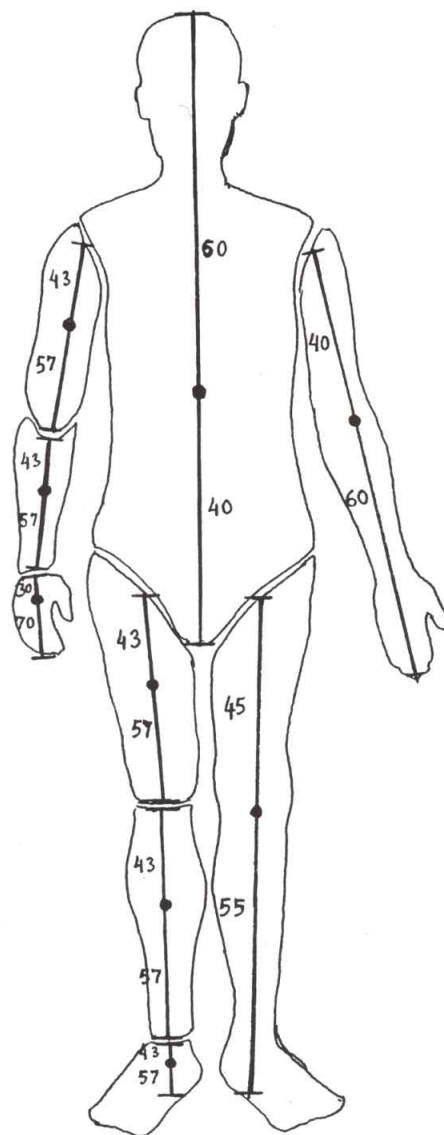
Sådan kan man finde kroppens tyngdepunkt

Man kan få et overblik over placeringen af kroppens tyngdepunkt ved at vurdere de enkelte kropsdeles masser (figur 6.8) og placeringen af deres tyngdepunkter (figur 6.9).



Figur 6.8 Kropsdelenes procentvise andel af kroppens samlede masse. Hovedet udgør eksempelvis 7% af den samlede masse.

Figur 6.9 viser placeringen af de enkelte kropsdeles tyngdepunkter udtrykt i % af kropsdelenes længde. Benets tyngdepunkt ligger eksempelvis 45% nede af dets længde målt fra hoften.



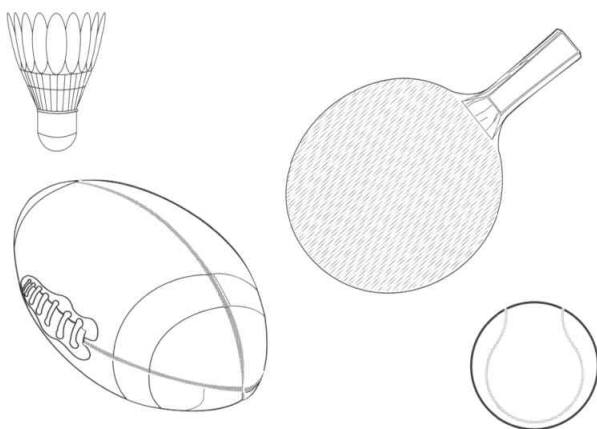
Figur 6.9 Kropsdelenes placering udtrykt ved procentdele af deres længde.

Eksempel 6.4 En løbers tyngdepunkt



Figur 6.10 Billedserien viser starten og de første 10 meter af et 100 meter løb. Løberen har, både ved starten og videre gennem løbet, sit tyngdepunkt foran fødderne og er derfor i en meget ustabil position. Han holder balancen ved i tide at flytte benene fremad. Den ekstreme situation hjælper ham med at udvikle en større kraft på underlaget og dermed en større acceleration.

10. Geometrisk bestemmelse af tyngdepunktet



- ◆ Indtegn tyngdepunktets placering på figurene ovenfor.

11. Papskives tyngdepunkt

- ◆ Bestem eksperimentelt tyngdepunktet af et vilkårlig ski-veformet stykke pap.
- ◆ Kontrollér beliggenheden af tyngdepunktet ved at hænge genstanden op i et tredje punkt.
- ◆ Ophæng til sidst papskiven i tyngdepunktet og vis, at den nu er i balance i alle positioner.

12. Så vender vi kajakken

Når man ror kajak, er det vigtigt med en god balance for ikke at ryge i vandet. Det viser sig, at en kvindelig nybegynder har lettere ved at holde balancen end en mandlig. Forklar hvorfor.

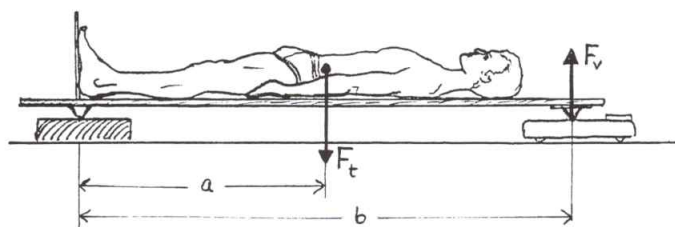
13. Flytte- og racerbiler

- ◆ Hvorfor ligger en racerbil mere stabilt på vejen end en flyttebil?

14. God balance i basketball – hvornår?

Diskutér, hvad der kræves, for at en idrætsudøver, fx en basketballspiller, er i "god balance".

15. Bestemmelse af kroppens tyngdepunkt



For at bestemme en persons tyngdepunkt benyttes et ca. 2 m langt bræt, hvor der i begge ender er fastgjort en smal æg. Under forsøget hviler den ene ende af brættet på en badevægt og den anden ende på gulvet. Vægten nulstilles, efter at brættet er blevet lagt på.

En person lægger sig på brættet med fødderne lodret over den æg, der hviler på gulvet ("gulvæggen"), og vægten visning f aflæses.

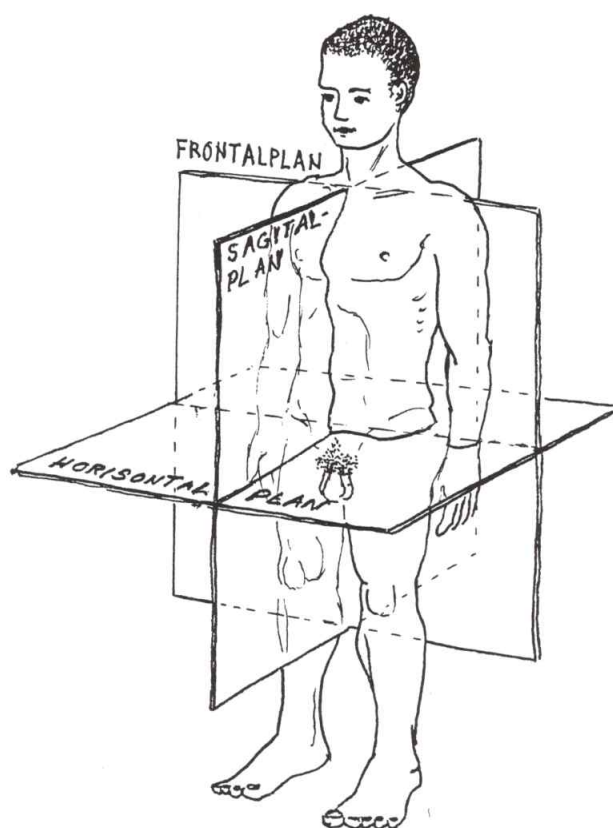
Til at beregne afstanden a benytter vi reglen om momentligevægt: Den kraft F_v , som vægten trykker op på brættet med, har et moment, der drejer modsat tyngdekraften F_t , og som modvirker tyngdekraftens moment. Omdrejningsaksen for kraftmomenterne er "gulvæggen".

Vi får altså, udtrykt ved personens masse m , afstanden a fra støttepladen til tyngdepunktet og afstanden b fra støttepladen til understøttelsespunktet under vægten

$$F_t \cdot a = F_v \cdot b \Leftrightarrow m \cdot g \cdot a = f \cdot g \cdot b \Leftrightarrow a = \frac{f}{m} \cdot b$$

Tyngdeaccelerationen g udgår af ligningen.

Hermed er tyngdepunktets placering i horisontalplanet fastlagt. For at fastlægge tyngdepunktets nøjagtige placering er det nødvendigt også at kende dets placering i sagittalplanet og i frontalplanet – se figuren nedenfor.



Horisontalplan, sagittalplan og frontalplan.

Tyngdepunktet i sagittalplanet

Tyngdepunktets placering i sagittalplanet giver ingen problemer, da kroppen er symmetrisk omkring sagittalplanet.

Tyngdepunktet i frontalplanet

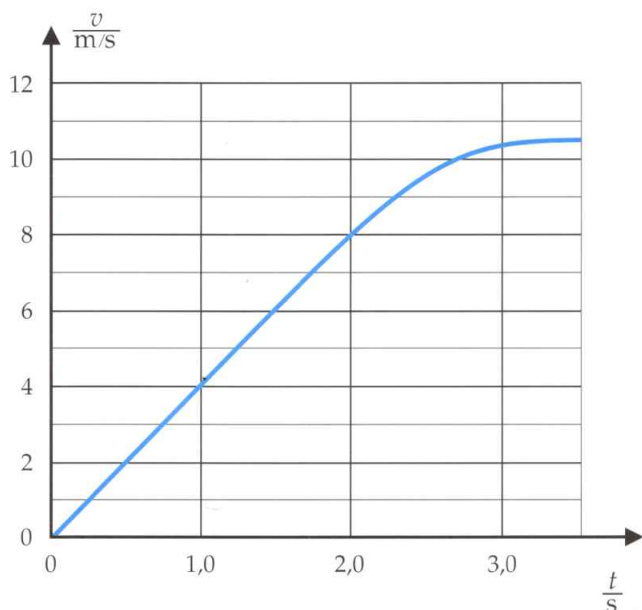
Det kan være vanskeligt at bestemme placeringen i frontalplanet nøjagtigt. I princippet kan vi bruge brætmotoden igen – denne gang med personen stående med ryggen, dvs. hælene, lodret over gulvæggen. Problemet er imidlertid, at måleusikkerheden er stor, fordi a let ændrer sig lidt, da vi hele tiden står og svajer, typisk 5-6 svingninger pr. minuttet. Det bliver let en stor procentdel af selve a , da a i denne position er ca. 10 cm.

7. Kraft og bevægelse

Alle de bevægelser, vi til daglig udfører, er betinget af, at bevægeapparatet, dvs. musklerne og skelettet, fungerer tilfredsstillende. Det er derfor vigtigt at træne kroppen jævnlige, så musklerne bliver styrket for at give kræfter til at gå, cykle, løbe, arbejde osv.

For at skabe bevægelse – af os selv, af bolde, redskaber osv., kræver det muskelkræfter for at igangsætte bevægelsen. I dette kapitel beskæftiger vi os med at beskrive dynamikken i idræt, dvs. analysere kræfternes indflydelse på bevægelserne. En stor muskelkraft er i mange idrætsdiscipliner af afgørende betydning for resultatet.

7.1 Accelereret bevægelse



Figur 7.1 Grafen viser, hvordan en cykelrytters hastighed ændrer sig under starten af et cykelløb.

Når hastigheden i en bevægelse ændrer sig, siger vi, at der finder en *acceleration* sted. Accelerationen a er hastighedstilvæksten pr. tidsenhed, dvs.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} = v'(t) \quad (1)$$

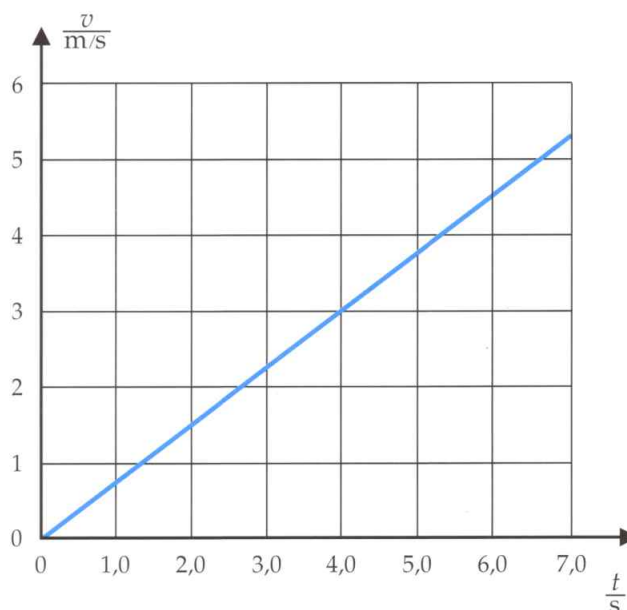
hvor Δv er hastighedstilvæksten, og Δt er tidsrummet, hvori hastighedsændringen foregår. Egentlig er a lig grænseværdien af forholdet mellem Δv og Δt , når Δt går mod 0. Matematisk set er a lig differentialkvotienten af hastighedsfunktionen, på samme måde som hastigheden v er differentialkvotienten af funktionen for position $s(t)$ jf. kapitel 4. Accelerationen a bliver dermed lig hældningen af tangenten til (t,v) -grafen.

Eksempel 7.1 En løbers acceleration

Hvis en løbers hastighed ændrer sig fra $v_1=2\text{ m/s}$ til $v_2=6\text{ m/s}$ i løbet af 5 sekunder, er gennemsnitsaccelerationen a

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{\Delta t} = \frac{6 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{5 \text{ s}} = 0,80 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Konstant acceleration



Figur 7.2 Hastigheden som funktion af tiden for en bevægelse med konstant acceleration.

Hvis bevægelsen sker med konstant acceleration, bliver (t,v) -grafen en ret linje. Accelerationen kan beregnes som (t,v) -grafens hældning ud fra to vilkårlige tidspunkter

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{\Delta t}$$

Sammenhængen mellem hastigheden v og tiden t kan skrives

$$v = a \cdot t + v_0 \quad (2)$$

hvor v_0 er starthastigheden til tidspunktet $t=0\text{ s}$. Vi kan bruge (t,v) -grafen til at finde et udtryk for den tilbagelagte vejlængde s . Det sker på samme måde som i kapitel 4 ved at bestemme arealet under grafen for det givne tidsrum.

I første omgang sættes v_0 til 0 m/s .

Opgaver & aktiviteter

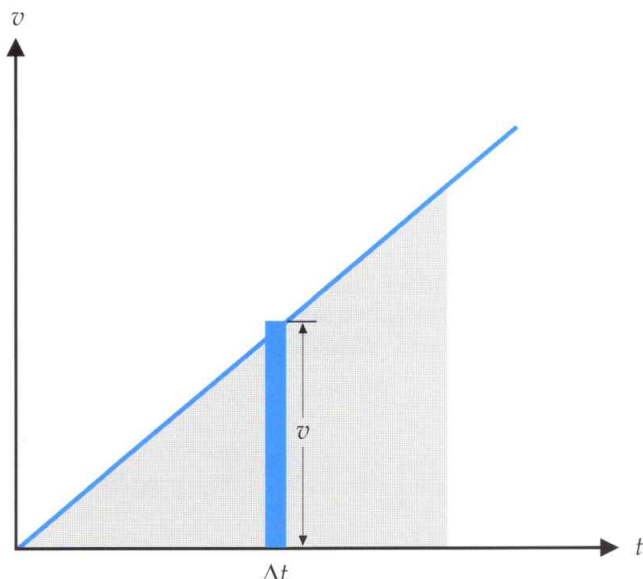
1. Cykelrytters startacceleration

◆ Beregn cykelrytterens acceleration i startfasen ud fra grafen i figur 7.1.

2. Accelerationen bestemt fra (t,v) -graf

◆ Bestem accelerationen til tiden $t=2,0\text{ s}$ på (t,v) -grafnen på figur 7.2.

3. Sprintstart



Figur 7.3 Den tilbagelagte vejstrækning er arealet under (t,v) -grafnen.

I hvert lille tidsinterval Δt på figur 7.3 bevæger vi os strækningen

$$\Delta s = v \cdot \Delta t$$

Hele strækningen er arealet under (t,v) -grafnen, der kan udregnes som

$$s = \frac{1}{2} \cdot v \cdot t = \frac{1}{2} \cdot (a \cdot t) \cdot t = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 \quad (3)$$

Såfremt starthastigheden ikke er 0 m/s , bliver udtrykket for s

$$s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 + v_0 \cdot t \quad (4)$$

Eksempel. Frit fald i tyngdefeltet.

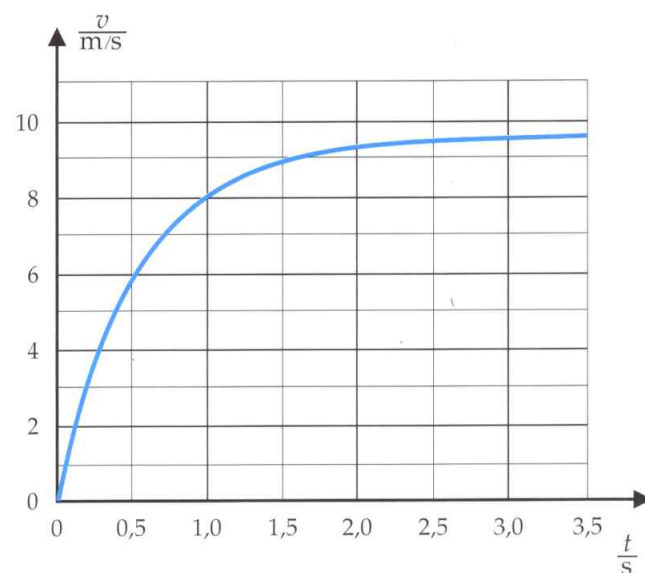
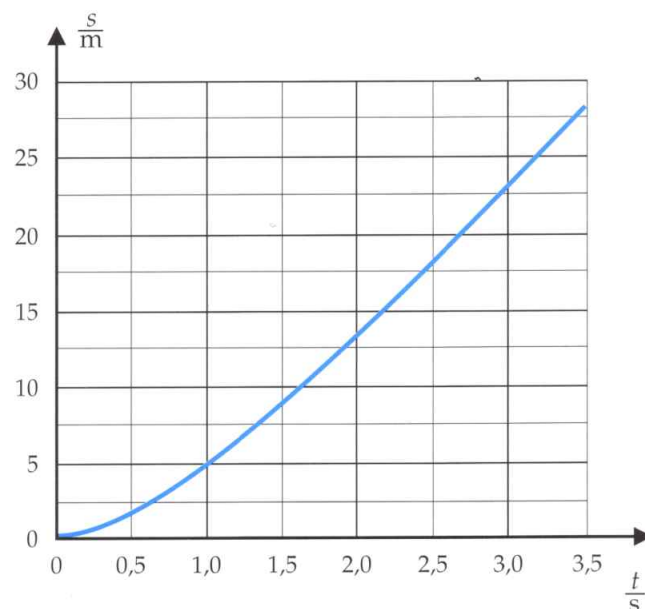
Det almindeligste eksempel på en bevægelse med konstant acceleration er det frie fald i tyngdefeltet. Ses bort fra gnidning og luftmodstand vil en genstand falde med den konstante acceleration $g = 9,82\text{ m/s}^2$. Talværdien varierer en lille smule forskellige steder på Jorden.

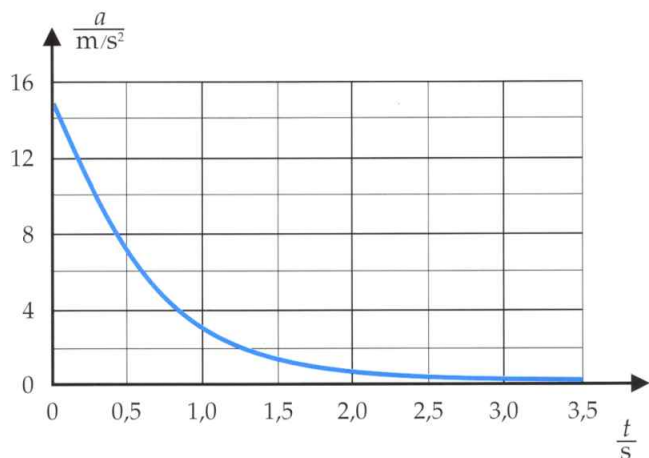
Falder en genstand i $5,0\text{ s}$ i et frit fald opnås farten

$$v = g \cdot t = 9,82 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 5,0\text{ s} = 49 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 136 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

over strækningen

$$s = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 = \frac{1}{2} \cdot 9,82 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (5,0\text{ s})^2 = 123\text{ m}$$

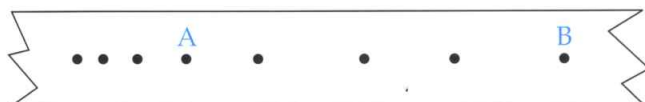




Figurene ovenfor og til venstre viser strækningen s , farten v og accelerationen a som funktioner af tiden t ved starten af et sprinterløb.

- ◆ Beregn ud fra (t,s) -grafene farten til tidspunkterne $t=0,5$ s, $t=1,0$ s og $t=3,0$ s.
- ◆ Sammenlign med værdierne på (t,v) -grafene.
- ◆ Beregn accelerationerne vha (t,v) -grafene ved at indtegne tangenter til tidspunkterne $t=0,5$ s, $t=1,0$ s og $t=3,0$ s og sammenlign med grafværdierne.
- ◆ Beskriv grafernes udseende og forklar, hvilke karakteristiske træk man kan aflæse om sprinterstarten fra de tre grafer?

4. Bevægelsesanalyse ved hjælp af timer



Figuren viser et udklip af en timerstrimmel fra en bevægelse. Timeren afsætter et punkt på papiret for hver 0,01 s.

- ◆ Tegn ud fra data fra timerstrimlen en (t,s) -graf.
- ◆ Beregn gennemsnitshastigheden for bevægelsen fra A til B.
- ◆ Beregn hastigheden til tidspunktet $t=0,01$ s, $t=0,02$ s og så videre.
- ◆ Tegn (t,v) -grafene for bevægelsen.
- ◆ Beregn på baggrund af (t,v) -grafene bevægelsens acceleration til tidspunkterne $t=0,01$ s, $t=0,02$ s osv.
- ◆ Tegn (t,a) -grafene for bevægelsen og giv på baggrund af de tre grafer en beskrivelse af bevægelsen.

5. Konstant accelereret bevægelse

- ◆ Tegn (t,v) -grafene for de første 8,0 s af en bevægelse med accelerationen $a=3,0$ m/s².
- ◆ Beregn ud fra grafen størrelsen af den vejstrækning, som tilbagelægges i løbet af de første 4,0 s. Sammenlign med den strækning, man får ved at anvende formel (4)

6. Frit fald

En tårnspringer springer fra 10-meter vippen ned i bassinet.

- ◆ Beregn, hvor lang tid han er om at falde ned.
 - ◆ Beregn springerens fart i det øjeblik han rammer vandoverfladen.
- Der ses bort fra luftmodstand.

7. Jeg skal komme efter dig

I et 400 m løb løber løber A hele løbet med den konstante fart 8,0 m/s. Løber B løber de første 300 m med farten 7,6 m/s.

- ◆ Tegn (t,s) -grafer for de to løbere i det samme koordinatsystem.
- ◆ Bestem, hvor hurtigt løber B skal løbe de sidste 100 m for at indhente løber A. Er det realistisk?
- ◆ Bestem den største afstand mellem de to løbere.

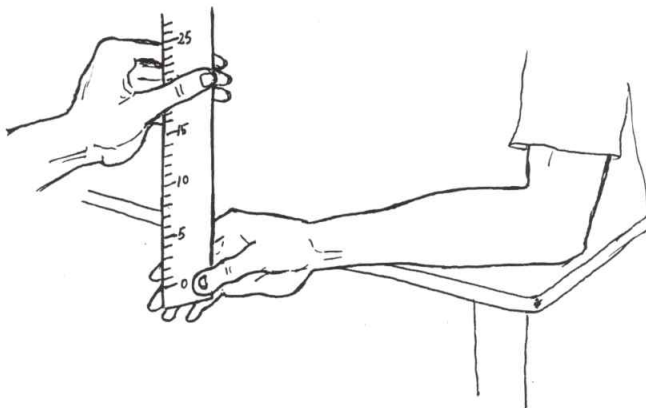
8. Sammenstød

Ved et bilsammenstød fra 50 km/h mases bilen 0,70 m sammen. Det antages, at accelerationen under sammenstødet er konstant.

- ◆ Beregn accelerationen og den tid, sammenstødet varer.

9. Måling af reaktionstid

En forsøgsperson sidder med armen hvilende på kanten af et bord og med tommel- og pegefinger klar til at gribe en lineal.



Linealen holdes som vist på tegningen med nulmærket mellem de to fingre. Linealen slippes, og forsøgspersonen griber den så hurtigt som muligt.

- ◆ Aflæs den vejlængde, linealen er faldet.

Et tilsvarende eksperiment gennemføres, hvor forsøgspersonen har lukkede øjne. En hjælper siger *nu*, når linealen skal slippes. Aflæs igen faldvejen.

Reaktionstiden t kan beregnes fra formelen for faldvejen som funktion af faldtiden

$$s = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

hvor tyngdeaccelerationen g er 9,82 m/s². Formlen kan omskrives til

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot s}{g}}$$

- ◆ Beregn reaktionstiden t i de to situationer.
- ◆ Sammenlign med resultaterne fra aktivitet 16 i kapitel 4. Hvilken metode er den mest nøjagtige?

7.2 Newtons love i idrætten

Den engelske fysiker Isaac Newton formulerede i 1687 tre love for bevægelser og de kræfter, som styrer dem.

Newton's 1. lov. Inertiens lov.

Ethvert legeme forbliver i en tilstand af hvile eller jævn retlinjet bevægelse, medmindre det tvinges til at forandre denne tilstand af påvirkende kræfter.

Med et mere moderne sprog kan man sige, at såfremt



et legeme ikke påvirkes af ydre kræfter, vil det enten ligge stille eller bevæge sig med konstant hastighed, der er det samme som en retlinjet bevægelse med konstant fart.

Eksempler kendes fra rummet, hvor opsendte satellitter langt fra Jordens og andre legemers tyngdekraft, vil bevæge sig gennem rummet i en retlinjet bevægelse med konstant fart.

Her på Jorden er beskrivelsen lidt mere kompliceret, fordi det umiddelbart virker som om al bevægelse med konstant fart kræver en kraft. Tænk bare på muskelkræfterne i et løb eller kraften, der ydes af bilens motor. Når man alligevel godt kan tillade sig at sige, at ting, der bevæger sig retlinjet med konstant hastighed, *ikke* er påvirket af ydre kræfter, skyldes det at de ydre kræfters *sum* er 0 N. Muskelkraften fra løberen, pedalkraften fra cykelrytteren og motorkraften fra bilen ophæves nemlig af luftmodstand og gnidning, så den *resulterende* kraft er 0 N. Det fører til Newtons 2. lov, der omhandler situationer, hvor den resulterende kraft ikke er 0 N.

Newton's 2. lov.

Når den resulterende kraft på et legeme er forskellig fra 0 N, vil det føre til en ændring af bevægelsens hastighed, altså til en acceleration.

Newton's 2. lov knytter den resulterende kraft, et legeme påvirkes af, sammen med legemets acceleration

$$F_{\text{res}} = m \cdot a \quad (5)$$

hvor m er massen og F_{res} den resulterende kraft.

Eksempel 7.2 Cykelrytters acceleration



En cykelrytter accelererer med $a = 2,0 \text{ m/s}^2$. Cyklist og cykel vejer tilsammen 85 kg. Den resulterende kraft F_{res} er

$$F_{\text{res}} = m \cdot a = 85 \text{ kg} \cdot 2,0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 170 \text{ N}$$

som er den kraft, rytteren skal yde i startøjeblikket.

Eksempel 7.3 Vægtløfteren

En vægtløfter løfter 220 kg. Den resulterende kraft er

$$F_{\text{res}} = F_t = m \cdot g = 220 \text{ kg} \cdot 9,82 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 2,16 \text{ kN}$$

Newton's 3. lov. Aktionlig reaktion.

Enhver virkning (aktion) frembringer altid en modsatrettet reaktion, eller de gensidige virkninger af to legemer på hinanden er altid ens og rettet mod den modsatte part.

Vi har allerede tidligere beskæftiget os med aktion og reaktion i afsnit 5.3.

Opgaver & aktiviteter

10. Cykling

- ◆ Hvor kommer den kraft fra, der skaber bevægelsen for cyklen?
- ◆ Hvorfor er det hensigtsmæssigt at have en let cykel?

11. Løb

En løbers acceleration er $a=1,5\text{ m/s}^2$, og hans masse er 70 kg.

- ◆ Bestem den kraft, der påvirker løberen i vandret retning.
- ◆ Hvor kommer kraften fra?
- ◆ Hvad sker der, hvis underlaget er glat?

12. Sprint

- ◆ Beregn ud fra figurerne i aktivitet 7.3 størrelsen af den vandrette kraft, som sprinteren er påvirket af til tidspunkterne $t=0,5\text{ s}$, $t=1,0\text{ s}$ og $t=3,0\text{ s}$.
Sprinterens masse er 60 kg.

13. Cykling

En cykelrytter præsterer en resulterende kraft i fremadgående retning af størrelsen 140 N i tiden 5,0 s og opnår dermed en hastighed på 8,0 m/s. Der ses bort fra vindmodstand.

- ◆ Beregn cyklens acceleration.
- ◆ Beregn den samlede masse af cyklen og cykelrytteren?

14. Trampolin

En trampolin giver en springer på 50 kg en kraftpåvirkning på 1500 N i tidsrummet 0,30 s.

- ◆ Beregn springerens acceleration.
- ◆ Beregn den hastighed, hvormed hun forlader springdugen.
- ◆ Beregn springhøjden.

15. Fodbold

En bold med massen 0,400 kg kommer med en fart på 25 m/s

fra et langskud lige mod en målmand, der står parat til at gribe bolden. Hendes modtagning af bolden tager 0,050 s.

- ◆ Hvor stor en gennemsnitskraft skal hun præstere for at bremse bolden?
- ◆ Hvis hun kun kan præstere 140 N i 0,050 s, hvor stor fart har bolden så, når den rammer hende på kroppen?

16. Udspring

En udspringer fra 3 meter-vippen rammer vandoverfladen efter et hovedspring. Hun vejer 55 kg.

- ◆ Med hvilken fart rammer hun vandet? Opbremsningen i vandet tager 2 s.
- ◆ Hvor stor har gennemsnitskraften været i bremsefasen?

17. Kræfter ved forskellige idrætsgrene

	Masse m (kg)	Start- hastighed v_1 (m/s)	Slut- hastighed v_2 (m/s)	Varig- hed Δt (s)	Kraft F (N)
Disciplin					
100 m løb	80	0	12	4	
Kuglestød	7	0	14	0,5	
Udspring	75	0	14	3	
Golf (drive)	0,050	0	50	0,001	
Spydkast	0,800	10	30	0,2	

Beregn den gennemsnitlige størrelse af de forskellige kræfter F i de situationer, som er beskrevet i skemaet ovenfor.

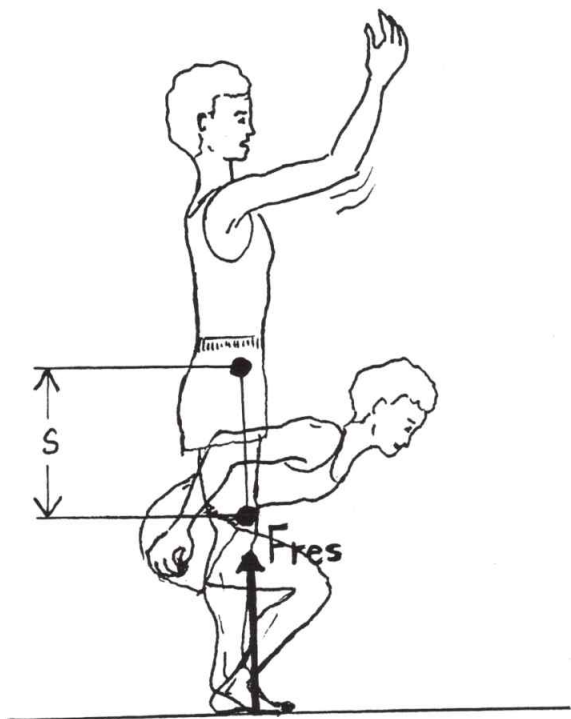


7.3 Spring og afsæt

I mange idrætsgrene er et godt afsæt af stor betydning for resultatet af præstationen – overvej selv nogle eksempler.

Afsætskraft og -arbejde

I et afsæt skal der først skabes bevægelsesenergi. Det gøres via muskulaturen i benene. Fødderne påvirker underlaget nedad med en kraft. Ifølge Newtons 3. lov om aktion og reaktion vil underlaget reagere ved at påvirke fødderne med en lige så stor, men opadrettet kraft. Arbejdet, som personen udfører under afsættet, giver således et tyngdepunktsløft og dermed en forøgelse i den potentielle energi. Hvor højt springeren kommer, afhænger af arbejdets størrelse. Umiddelbart efter afsættet befinder personen sig i luften og er her kun påvirket af tyngdekraften.



Figur 7.4 Lodret afsæt.

Arbejdet A kan udregnes som:

$$A = F_{\text{res}} \cdot s$$

hvor F_{res} er den resulterende kraft, der virker over afstanden s . Effekten, som er den omsatte energi pr. tid, kan derfor beregnes som

$$P = \frac{A}{t} = \frac{F_{\text{res}} \cdot s}{t} = F_{\text{res}} \cdot \frac{s}{t} = F_{\text{res}} \cdot v$$

Eksempel 7.4 Effekt under cykling

Ved cykling skal cyklisten overvinde såvel gnidningsmodstanden mellem blandt andet dækkene og vejen som luftmodstanden. Hvis cyklisten kører med den konstante fart $v = 18 \text{ km/h} = 5,0 \text{ m/s}$ og den samlede modstand er 50 N , så skal cyklisten levere effekten

$$P = F \cdot v = 50 \text{ N} \cdot 5,0 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 250 \text{ W}$$

Længdespring og højdespring

I et længdespring eller et højdespring gælder det om at udføre et arbejde mod underlaget således, at tiløbets og afsættets energi kan anvendes til en forøgelse af idrætsudøverens potentielle energi. Hvis kraften var konstant i hele afsætfasen, ville det være rigtigt at sige, at arbejdet er produktet af kraft og vej. Kraften vil imidlertid variere, så arbejdet bliver produktet af gennemsnitskraften og vejen.

Opgaver & aktiviteter

18. Volleyball

To volleyballspillere hver med massen 50 kg lander efter et smash på gulvet med farten $4,5 \text{ m/s}$.

♦ Vis, at dette svarer til en hoppehøjde på 1 m .

Den ene volleyballspiller lander på stive ben, og står efter tiden $0,05 \text{ s}$ stille.

♦ Hvor stor er bremsekraften, og hvor stor en muskelkraft skal hun præstere?

Den anden lander med fjedrende ben, og opbremsningen varer derfor $0,25 \text{ s}$.

♦ Udfør de samme beregninger her og sammenlign de to situationer.

19. Højdespring

En højdespringer vejer 70 kg og kan i sit afsæt levere en lodret begyndelseshastighed v_0 af størrelsen $4,40 \text{ m/s}$. Det forudsættes, at afsættet i et højdespring er i lodret retning.

♦ Hvor højt kommer tyngdepunktet op under springet, så fremt tyngdepunktet i forvejen befinder sig $1,05 \text{ m}$ over jorden?

♦ Vurdér, hvilken højde højdespringeren kan komme op over, afhængig af teknik, smidighed m.m.

♦ Beregn størrelsen af den resulterende kraft under afsættet, når afsættet varer $0,10 \text{ s}$.

20. Kuglestød

En kuglestøder giver en kugle med massen $4,0 \text{ kg}$ en fart på 11 m/s i løbet af tiden $0,20 \text{ s}$. Hendes armlængde er $0,70 \text{ m}$.

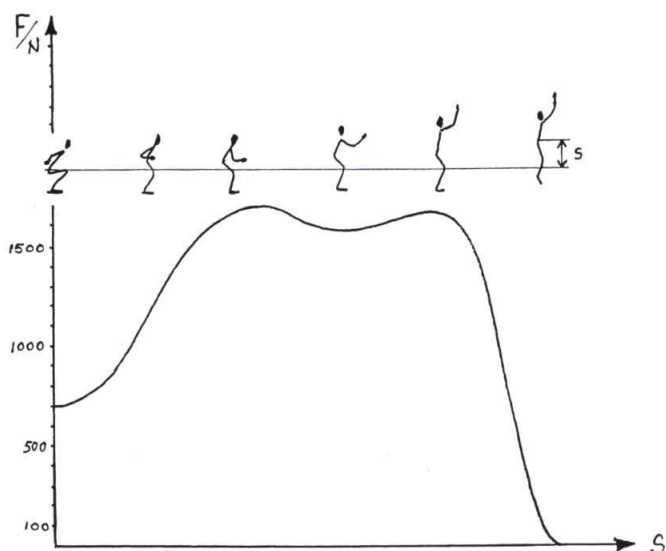
♦ Bestem det arbejde A , hun har udført på kuglen, samt den præsterede effekt P .

21. TV-sporten

Anvend en optagelse fra en TV-sportsudsendelse til at lave en bevægelsesanalyse af forskellige discipliner ved et atletikstævne.

♦ Bestem hastigheder, accelerationer og kræfter.

22. Arbejdet under et højdespring



Figuren viser, hvordan normalkraften varierer under et afsæt. Ad 1.aksen afsættes tyngdepunktets højde. Ad 2.aksen afsættes den kraft gulvet yder på højdespringeren.

♦ Hvordan kan man bestemme arbejdet, som udføres ved et højdespring ud fra grafen?

23. Boldkast m.m.



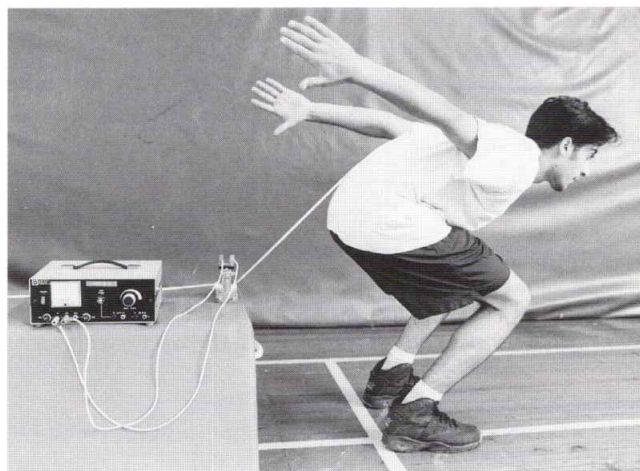
Vi vil her bestemme den kraft, som en bold med massen m påvirkes af i et kast. En timerstrimmel (længde ca. 2 m) påsættes en bold. Under selve kastebevægelsen registrerer timeren for hver 0,010 s boldens placering. Se også aktivitet 4 i dette kapitel.

♦ Timerstrimlen analyseres, og de nødvendige beregninger af acceleration og kraft udføres.

♦ Forsøget gentages med andre redskaber samt med spark, stød og slag med bl.a. tennisketchere.

Registreringerne af genstandenes bevægelsesforløb kan også med fordel foretages vha. videooptagelser.

24. Styrketest for benmusklerne



I dette eksperiment bestemmes den maksimale afsætkraft (F_{muskel}) benene kan præstere under et lodret opspring uden tilløb.

Ved forsøget fastgøres en timerstrimmel bag på personen. Forsøgspersonen stiller sig først op på tæer, og et mærke afsættes på strimlen, hvor personen vil forlade gulvet. Fra hugsiddende stilling (90° bøjede knæled) udføres derefter et maksimalt lodret afsæt, som registreres på timerstrimlen.

♦ Tegn en (t,v) -graf, der viser hastighedsforløbet af forsøget.

I beregningerne vil vi antage, at kræfterne er konstante i afsætsfasen.

♦ Kontrollér ud fra (t,v) -graf, om denne antagelse er rimelig.

I afsætsfasen er den resulterende kraft F_{res} givet ved

$$F_{\text{res}} = F_{\text{muskel}} - F_t$$

hvor F_t er tyngdekraften og $F_{\text{res}} = m \cdot a$, hvor a kan bestemmes ud fra (t,v) -graf.

♦ Bestem størrelsen af den maksimale muskelkraft F_{muskel} .

♦ Bestem endvidere muskelarbejdet A , effekten P og den maksimale kinetiske energi E_{kin} .

♦ Bestem, ud fra hoppehøjden h , den maksimale potentielle energi E_{pot} .

♦ Diskutér resultaterne af forsøget og giv forslag til, hvordan man kan forbedre sin springhøjde.

25. Videooptagelse af højdespring

En videooptagelse af et højdespring anvendes til en bevægelsesanalyse. Inden videooptagelsen finder sted anbringes en målestok lodret ved den ene opstander, så målestoksforholdet er kendt ved opmålingen på TV-skærmen.

Tyngdepunktet angives så nøjagtigt som muligt på billederne.

♦ Bestem ud fra billederne afsætstiden t og tyngdepunkts-løftets størrelse.

♦ Bestem endvidere afsætshastigheden, muskelkraften, arbejdet og effekten.

26. Force-velocity kurven

I dette eksperiment undersøges, hvornår en muskel arbejder bedst, dvs. hvor musklen er i stand at yde den største effekt.

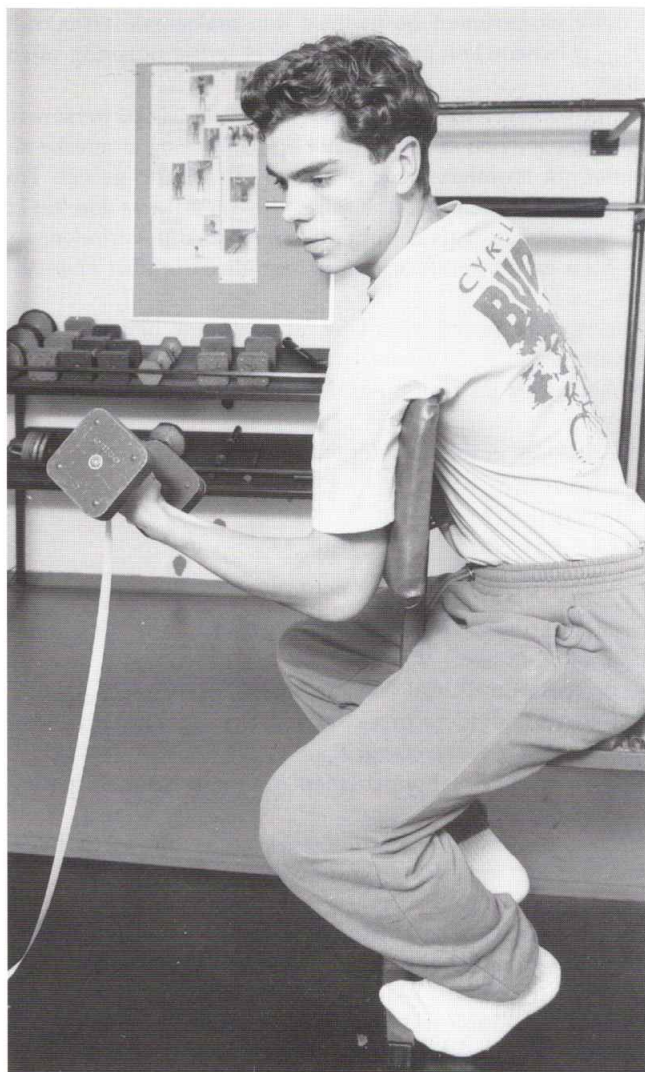
En muskels evne til at forkortes afhænger af, hvor stor en kraft musklen må overvinde. En tung byrde kan ikke løftes så hurtigt som en let byrde. I dette eksperiment anvendes bicepsmusklen.

Undersøgelsen omfatter

- 1) En bestemmelse af sammentrækningshastighedens afhængighed af muskelkraften.
- 2) En bestemmelse af den sammentrækningshastighed v_{muskel} hvor musklen præsterer den største effekt P_{max} .

Sådan bestemmes force-velocitykurven

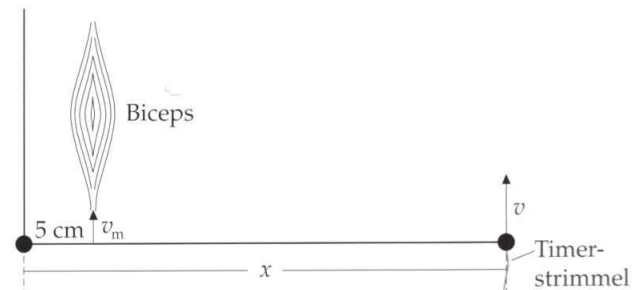
Ved forskellige belastninger (håndvægte) udføres en albuebøjning med den hurtigst mulige hastighed. Armens udgangsposition fremgår af figuren.



Forsøgsopstilling til bestemmelse af en force-velocity kurve

Opstillingen laves, så loddet ved 90° albuebøjning trækker håndvægten lodret op. Den ydre kraft er summen af tyngdekrafterne på loddet og underarmen.

For at registrere bevægelsens forløb er en timerstrimmel sat fast på hånden. Ved analyse af timerstrimlen kan hastigheden bestemmes under hele forsøgsforløbet. Håndens hastighed v bestemmes i det punkt, hvor armen er bøjet 90°.



Bestemmelse af musklens reelle fart

Af figuren ses, at den fart (v_m) musklen trækker sig sammen med, er noget mindre end den fart, der bestemmes ud fra timerstrimlen. Muskens maksimale sammentrækningshastighed v_m er

$$v_m = \frac{5,0 \text{ cm}}{x} \cdot v$$

hvor afstanden fra albuen til muskelfæstet er 5,0 cm og afstanden fra albuen til hånden er x . På samme måde bestemmes muskelkraften F_m

$$5,0 \text{ cm} \cdot F_m = F_t \cdot y + F_{\text{underarm}} \cdot \frac{x}{2}$$

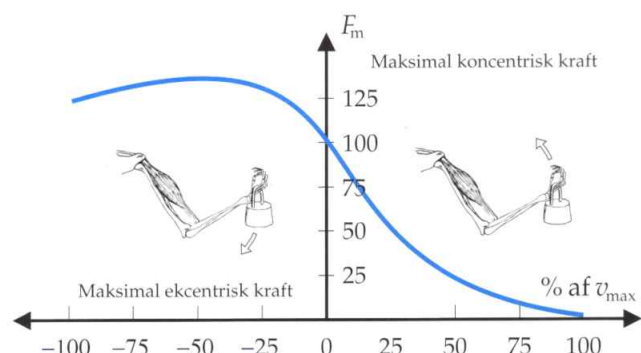
hvor F_t er tyngdekraften på håndvægten og F_{underarm} er tyngdekraften på underarmen. Som ydre belastning anvendes håndvægte fra 1 kg til 10 kg. Foretag også et forsøg uden nogen vægt i hånden.

Databehandling

- ◆ Tegn musklens force-velocity-kurve, dvs. (v_m , F_m)-grafen.
- ◆ Tegn dernæst en graf, der viser den effekt, musklen kan præstere.

Diskussion

- ◆ Hvad viser graferne om musklernes måde at arbejde på?
 - ◆ Hvornår kan vi præstere den største kraft?
 - ◆ Hvornår kan vi præstere den største effekt?
 - ◆ Kan vi drage nytte af forsøgets resultater i vores daglige arbejde, henholdsvis i idrætssituationer?
- Sammenlign dine resultater med den teoretiske kurve på figuren nedenfor.



Teoretisk force-velocity kurve

STIKORDSREGISTER

- Acceleration 39
Achillesene 35
Afsætskraft 44
Aktion 27, 42
Arbejdsbelastning 11
Armbøjerstyrke 25
- Biceps 24
Body mass index 6
Boldkast 33, 45
Brændværdi 7
- Cykling 15, 30, 42
- Deltamusklen 26
Densitet 6
Det gyldne snit 3
Dynamisk gnidningskoefficient 29
Dynamisk gnidningskraft 29
- Effekt 7
Energiformer 7
Energiindtagelse 7
Energikilder 7
Energiomdannelser 7
Ergometercykel 9, 13
- Fart 17
Fedtfri kropsvægt (FF) 6
Fjederekspander 16
Force-velocity kurve 46
Formmodstand 30
- Gnidningskraft 28, 29
- Hastighed 19
Hvilestofsifte 8, 9
Højdespring 15, 28, 44, 45
- Ideale proportioner 3
Idealhøjde 4
Idealvægt 6
Indre kræfter 28, 31
Inertiens lov 42
- Kemisk energi 7
Kinetisk energi 14
Knæstrækker 25
Kondital 11
Konstant acceleration 39, 41
Konstant fart 17
Kosttabel 7
Kraft 23
Kraftmoment 32
Kraftmåling 23
Kropsopvarmning 10
Kræfter ved forskellige idrætsgrene 43
- Langdistanceløb 20
Ligevægt 32
Luftmodstand 28, 30
Længdespring 44
- Maksimalvægt 6
Momentanhastighed 20
Momentligevægt 32
Muskler 24
- Newton 23
Newtonmeter 23
Newtons 1. lov 42
Newtons 2. lov 42
Newtons 3. lov 27, 42
Normalkraft 28
Nyttetvirkning 9
- Opløsning af kræfter 26
Oxygenoptagelseshastighed 11, 12
- Parallelogrammetoden 26
Potential energi 14
Puls 11
- Reaktion 27, 42
Reaktionstid 22, 41
Relativ arbejdsbelastning (RAB) 11
Resulterende kraft 26
Rullemodstand 30
Ryhming step-test 11, 12
- Skiløb 28, 31
Skridtfrekvens 21
Skridtlængde 21
Slædekørsel 30
Sportsur 22
Spring 44
Sprinterløb 40, 41
Spændvidde 3
Stangspring 15
Statisk gnidningskraft 29
Statisk gnidningskoefficient 29
Stofsifte 7
Stopursmålinger 20
Straffespark 22
Strækhøjde 3
Styrketest for benmuskler 45
- Termisk energi 7
Timer-undersøgelse 21, 41
Topunktstest 13
Trampolin 43
Triceps 33
Tyngdeacceleration 28
Tyngdekraft 28
Tyngdepunkt 28, 36
Tyngdepunktsbestemmelse 36, 38
- Udspring 15, 34, 41
- Vanddampindhold i luft 9
Vektor 23
Videooptagelse 21
Vægtstangsreglen 32
- Ydre kræfter 28



IDRÆTSFYSIK er beregnet til undervisning i gymnasiet og på HF. Bogen gennemgår de fysiske principper, der ligger bagved idrætspræstationer og belyser disse ved eksempler og øvelser.

ISBN 87-7792-023-6



9 788777 920233

