

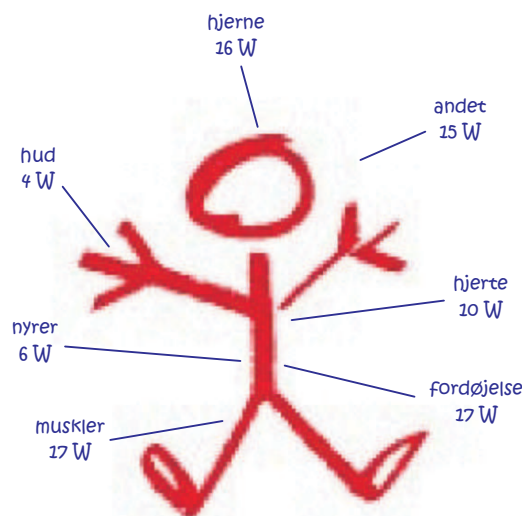
Kroppens energiomsætning

Stofskiftet

Menneskets stofskifte består af tre dele: Hvilestofskiftet – BMR (Basal Metabolic Rate), det fødeinducerede stofskifte – FIT (Food Induced Thermogenesis) og stofskiftet grundet fysisk aktivitet – PAL (Physical Activity Level).

BMR – kroppens hvilestofskifte. Som navnet siger, er hvilestofskiftet den energiomsætning, der sker i kroppen, selv om man er i fuldstændig fysisk og psykisk hviletilstand. Der foregår naturligvis livsnødvendige processer i kroppen, som hele tiden skal opretholdes og som kræver energi. Hvilestofskiftet udgør hos almindelige mennesker det største bidrag til stofskiftet og er nogenlunde konstant. Det udgør ca. 50-70% af det totale stofskifte. Hvilestofskiftet er svært at måle, da det ikke er præcist fastlagt, hvornår et menneske er i hvile. Der er mange faktorer, som har indvirkning på stofskiftet. Har man f.eks. udsat kroppen for hård fysisk aktivitet, kan stofskiftet være forhøjet 12-24 timer efter aktiviteten. Eller efter indtagelse af føde vil stofskiftet også være forhøjet i op til 12 timer afhængigt af måltidets energiindhold. Derfor har man indført en *standard-hviletilstand*, som man skal være i, når man måler sit hvilestofskiftet. Standard-hviletilstanden er defineret ved følgende betingelser:

- Målingen foregår efter mindst 12 timer uden nævneværdig fysisk eller psykisk aktivitet.
- Personen skal have fastet i mindst 12 timer.
- Hård fysisk aktivitet dagen forinden skal undgås.
- Personen skal være vågen under målingen.
- Personen skal være vandret liggende under målingen.
- Personen skal befinde sig i behagelig rumtemperatur under målingen.



Hvilestofskiftet varierer i størrelse fra menneske til menneske, da vi alle er forskellige. Følgende faktorer har betydning for hvilestofskiftet:

Vægt: Ved en større kropsvægt vil der være en større energiomsætning.

Kropssammensætning: Omkring 85% af den individuelle variation i hvilestofskiftet skyldes den fedtfrie masse (FFM). Musklevæv forbruger 54 kJ/kg per dag, hvorimod fedt kun forbruger 19 kJ/kg per dag.

Alder: Kropssammensætningen ændres med alderen. Væskemængden, muskelmassen og knoglemassen reduceres, mens mængden af fedtvæv øges. Hvilestofskiftet falder, hvilket skyldes en mindre FFM. Derudover falder hvilestofskiftet ca. med 150 kJ pr. 10-år.

Køn: Kvinder har et lavere hvilestofskifte pga. en mindre FFM.

Genetik: På grund af generne varierer hvilestofskiftet op til $\pm 10\%$ mellem personer med samme alder, køn, vægt og FFM.

Hormonelt: Skjoldbruskkirtelhormoner kan øge eller sænke stofskiftet. Hormoner, som styrer kvinders menstruationscyklus, har også betydning for stofskiftet.

Psykisk: Nervøsitet øger adrenalinudskillelsen og dermed stofskiftet. Måske påvirker stress også stofskiftet.

Farmakologisk: Rygning øger stofskiftet med 5-10%. Kaffe, te, cola og chokolade stimulerer stofskiftet, men i mindre grad end nikotin. Visse krydderier kan øge stofskiftet, såsom chili. Lægemidler kan også påvirke stofskiftet.

Sygdom: De fleste sygdomme øger energiomsætningen fordi immunforsvaret arbejder på at bekæmpe sygdommen.

Netop fordi hvilestofskiftet er en næsten konstant størrelse, kan det for normale mennesker rimeligt præcist bestemmes ud fra køn, alder og vægt. Se tabellen nedenfor.

Mænd:	Alder (år)	BMR (kJ/døgn)
	11-18	$74 \cdot m + 2750$
	19-30	$64 \cdot m + 2840$
	31-60	$48,5 \cdot m + 3670$
	61-75	$49,9 \cdot m + 2930$
	over 75	$35 \cdot m + 3430$

Kvinder:	Alder (år)	BMR (kJ/døgn)
	11-18	$56 \cdot m + 2900$
	19-30	$61,5 \cdot m + 2080$
	31-60	$36,4 \cdot m + 3470$
	61-75	$38,6 \cdot m + 2880$
	over 75	$41 \cdot m + 2610$

Kilde: www.motion-online.dk

I tabellen er m kroppens masse.

FIT – Fødeinduceret termogenese. Denne del skyldes indtagelse af føde, dvs. den energi kroppen bruger i forbindelse med, at vi spiser. Energien bruges bl.a. til indtagelse, optagelse, transport, forbrænding og lagring. Vi vil ikke gøre mere ud af denne del, da øvelsen primært handler om de to andre dele.

PAL - Fysisk aktivitetsniveau. Fysisk aktivitet forøger stofskiftet, da det kræver energi at være fysisk aktiv. PAL er et mål for den fysiske aktivitet i forhold til BMR. For normale mennesker udgør den del af stofskiftet, som skyldes fysisk aktivitet, ca. 20-40%. Størrelsen afhænger ikke kun af det fysiske aktivitetsniveau, men også af kropsvægt, da det kræver mere energi at flytte en større masse. Udsættes kroppen for hård fysisk aktivitet i længere tid, vil stofskiftet være forhøjet i op til 12-24 timer efter aktiviteten. I øvelsen vil vi se nærmere på, hvor meget stofskiftet forhøjes under cykling.

Det totale stofskifte er svært at bestemme og afhænger i høj grad af det daglige fysiske aktivitetsniveau. Ifølge www.motion-online.dk kan det totale stofskifte estimeres ud fra ovenstående og nedenstående tabeller. BMR bestemmes ud fra ovenstående tabel og PAL bestemmes ud fra nedenstående tabel. Det totale stofskifte kan herefter findes som produktet af BMR og PAL.

$$\text{Totalstofskifte} = \text{BMR} \cdot \text{PAL}.$$

FIT er indregnet i PAL-faktoren i tabellen nedenfor. Værdierne er dog ikke præcise, men kun tilnærmelsesvist gældende for normale personer.

Aktivitetsniveau	PAL
Rullestolsbunden eller sengeliggende	1,2
Stillesiddende arbejde med kun lidt fysisk aktivitet og ingen eller begrænset fysisk aktivitet i fritiden	1,4–1,5
Stillesiddende arbejde med et vist behov for fysisk aktivitet og ingen eller begrænset fysisk aktivitet i fritiden	1,6–1,7
Hovedsageligt stående arbejde	1,8–1,9
Sport eller anden hård fysisk aktivitet i fritiden (30–60 min. 4–5 gange/uge)	+ 0,3
Hårdt kropsarbejde eller meget høj fritidsaktivitet	2,0–2,4

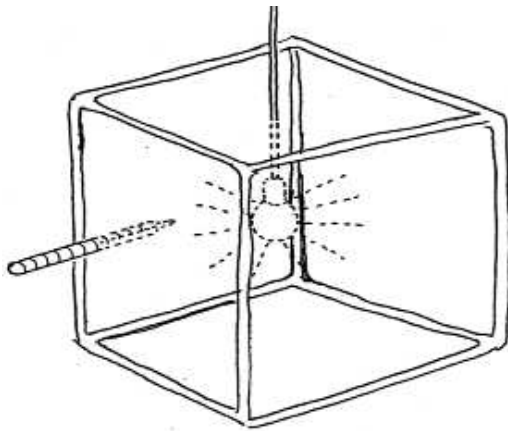
Kilde: www.motion-online.dk

Udførelse af forsøg til bestemmelse af RMR og nyttevirkningen ved cykling

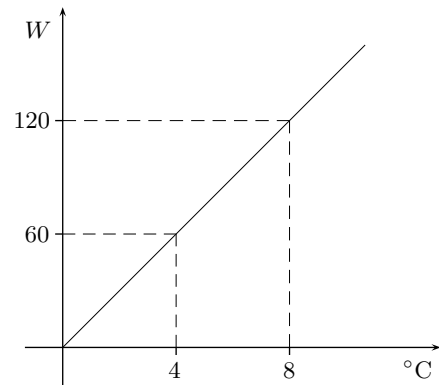
I praksis er det ikke muligt for os at måle BMR, da vi ikke kan opfylde kravene til standard-hviletilstanden. Vi vil dog forsøge at efterleve kravene så godt som muligt og alligevel måle hvilestofskiftet. Den målte værdi vil naturligvis være lidt højere end BMR, hvilket er grunden til at vi i stedet for kalder den fundne værdi for RMR (Resting Metabolic Rate). For forsøget betyder det ikke noget, at den pågældende person ikke er i fuldstændig standard-hviletilstand, da RMR-værdien kun bestemmes for at definere personens aktuelle nul-niveau.

Idéen i eksperimentet er, at energikilden lukkes inde i en flamingokasse indtil temperaturen i kassen er konstant. Ud fra temperaturstigningen og luftfugtigheden inde i kassen kan effekten, hvormed energikilden omsætter energi, så beregnes. Dette gøres først for kendte effekter, f.eks.

elpærer, og herefter kan ukendte effekter, f.eks. en persons, findes ved at sammenligne med de kendte effekter.



Flamingokasse med elpære indeni.



Graf til bestemmelse af ukendte effekter.

Inden vi kan måle en persons RMR, skal vi først skal bestemme de kendte værdier for den pågældende flamingokasse. Eksperimentet deles derfor op i to dele. Det er vigtigt, at I på forhånd aftaler, hvem forsøgspersonen er, så vedkommende kan forberede sig optimalt til del to.

Del 1: Først skal standardværdierne bestemmes. Dette gøres ved at måle temperaturstigningen inde i kassen for kendte effekter, f.eks. elektriske pærer. Vælg tre elektriske pærer med forskellige effekter og mål den største temperaturforskel mellem indre og ydre temperatur for hver af dem. Det kan være en god idé at måle pærernes effekt med en energimåler.

Det smarte er nu, at effekten og temperaturforskellen er proportionale, dvs., vi kan plote de sammenhængende værdier for effekt og temperaturforskel ind i et koordinatsystem og tegne en ret linie gennem punkterne. På den måde får vi en graf, der beskriver sammenhængen. Se eksemplet ovenfor. Når vi kender temperaturstigningen kan vi altså beregne effekten ud fra grafen.

Notér sammenhængende værdier mellem effekt og temperaturstigning.

Del 2: a) Næste del går ud på at bestemme forsøgspersonens RMR. Den hvilende og fastende person afgiver energi i form af varme og vha. af fordampning af vand. Den relative luftfugtighed vil altså også stige inde i kassen, og energiforbruget hertil skal også indgå i beregningerne.

Mål den relative luftfugtighed inde i kassen lige inden forsøget sættes i gang og igen af forsøgspersonen lige inden kassen åbnes igen. Mål også kassens indvendige dimensioner. Personens varmeproduktion bestemmes nu ved at måle den største temperaturforskel mellem indre og ydre temperatur. Mål også forsøgets varighed i sekunder – præcist! Den del af hvileeffekten, som bruges på fordampningen bestemmes senere.

Notér alle målte værdier.

b) Sidste del går ud på at bestemme nyttevirkningen ved cykling. Forsøget fra a) udføres igen, men denne gang skal den samme forsøgsperson cykle på en kondicykel inde i kassen. Det er vigtigt at personen hele tiden cykler i et jævnt tempo indtil

forskellen mellem indre og ydre temperatur er konstant, og det er vigtigt, at tiden måles fra det øjeblik, hvor cyklen begynder at snurre rundt, til det øjeblik, hvor cyklen stopper igen.

Notér alle målte værdier.

Databehandling

De sammenhængende værdier for effekt og temperaturforskel fra del 1 plottes ind i et koordinatsystem. Effekt på førsteaksen og temperaturforskel på andenaksen. Den bedste rette linie gennem $(0, 0)$ indtegnes herefter og forskriften for den bestemmes. Brug regneark! Grafen for de kendte værdier er nu klar.

Beregninger for den hvilende person

Forsøgspersonens varmeeffekt kan beregnes vha. forskriften for standardgrafens. Forskriften har følgende udseende:

$$y = a \cdot x,$$

hvor x er effekten og y er temperaturforskellen. Beregn ved hjælp heraf forsøgspersonens varmeeffekt, P_{varme} , ud fra den målte temperaturforskel.

Formlen til beregning af vandindholdet, m , i luften inde i kassen er givet ved

$$m = RF \cdot M \cdot V,$$

hvor RF er den relative luftfugtighed, M er det maksimale vanddampindhold i luften pr. rumfang og V er kassens rumfang. M kan findes i databogen, og V kan beregnes ud fra kassens målte dimensioner. Beregn vandindholdet i kassens luft ved forsøgets start og ved forsøgets slut, og bestem, hvor meget vand, der er fordampet fra personen.

Den mængde energi, ΔE , der er blevet brugt til fordampning af vandet, kan bestemmes ved følgende formel:

$$\Delta E = L_{f'} \cdot \Delta m,$$

hvor $L_{f'}$ er vandets fordampningsvarme ved 37°C . Værdien for denne kan også findes i databogen. Effekten, $P_{\text{ford.}}$, hvormed personen fordamper vand under forsøget, er derfor givet ved

$$P_{\text{ford.}} = \frac{\Delta E}{\Delta t},$$

hvor Δt er forsøgets varighed. Beregn $P_{\text{ford.}}$ for forsøgspersonen.

Adderes P_{varme} og $P_{\text{ford.}}$ fås forsøgspersonens RMR-værdi, dvs.

$$\text{RMR} = P_{\text{varme}} + P_{\text{ford.}}$$

Denne værdi sætter vi til at være forsøgspersonens nul-niveau og er således et udtryk for personens aktuelle mindsteforbrug af energi.

Beregninger for den cyklende person

På samme måde som ovenfor kan forsøgspersonens energiomsætning under cykling beregnes. Udregningerne er nøjagtigt de samme, blot med jeres måledata fra del 2b indsat. Igen opnås værdier for personens varmeeffekt og fordampningseffekt i stil med ovenfor. Summen af disse to størrelser er naturligvis ikke RMR, som ovenfor, men værdien for personens energiomsætning under cykling. Lad os betegne denne størrelse med P_{total} , dvs.

$$P_{\text{total}} = P_{\text{varme}} + P_{\text{ford.}}$$

I forsøget med cyklen leverer personen energi til opvarmning af kassen, fordampning af vand fra kroppen og til cyklen, som snurrer rundt. Hvis formålet kun er at få cyklen til at snurre rundt, kan man anskue den del af energien, som tilføres cyklen, for den nyttige energi. Resten af energien kaldes for tabet. Nyttevirkningen, η , der er et mål for, hvor meget energi der overføres til cyklen, er defineret på følgende måde:

$$\eta = \frac{E_{\text{nytte}}}{E_{\text{total}}} = \frac{P_{\text{cykel}}}{P_{\text{total}}},$$

hvor P_{cykel} er den effekt, hvormed der overføres energi til cyklen. Uheldigvis er P_{cykel} indeholdt i P_{varme} og er således ikke lige til at bestemme. For at bestemme P_{cykel} må vi se nærmere på kondicyklen.

Når pedalerne drejes rundt, kører svinghjulet også rundt, samtidigt med at det bremses af et bremsebånd. Forudsat pedalerne og svinghjulet drejer rundt uden gnidning, vil energien som personen leverer til cyklen udelukkende gå til at modvirke bremsekraften fra bremsebåndet. Bremsekraften, F_{brems} , kan aflæses på cyklen. Hvor stor en mængde energi, der skal leveres til cyklen under forsøget, afhænger af, hvor mange gange svinghjulet drejer rundt under forsøget. Multipliceres dette antal med svinghjulets omkreds, fås den tilbagelagte strækning, Δs . Denne kan aflæses på cyklens triptæller. Herefter kan P_{cykel} beregnes ved følgende formel:

$$P_{\text{cykel}} = \frac{F_{\text{brems}} \cdot \Delta s}{\Delta t},$$

hvor Δt er den tid, svinghjulet har været i bevægelse. Beregn til sidst nyttevirkningen.

Præsentation af resultater

Besvar først følgende spørgsmål:

1. Beskriv, hvad du forstår ved begrebet varme.
2. Hvorfor forbruger kroppen energi, selv om man er i fuldstændig hvile?
3. Beskriv kroppens energiomsætning. Hvor kommer energien fra, hvad bruges den til i kroppen og hvad ender den med at blive til?
4. Hvad sker der i kroppen, når vi fryser, og hvorfor sveder vi under fysisk arbejde?
5. Hvorfor er P_{cykel} indeholdt i P_{varme} ?
6. Beregn dit hvilestofskifte og dit totale stofskifte vha. tabellerne.

Skriv herefter et formål til øvelsen og sammenfat forsøgsresultaterne i en konklusion.

Kilder:

<http://www.motion-online.dk>

Krop og Energi, *Lenskjær og Nielsen*, Gyldendal 1989.

Idrætsfysik. *Jeppesen m.fl.*, Fysikforlaget 1997.