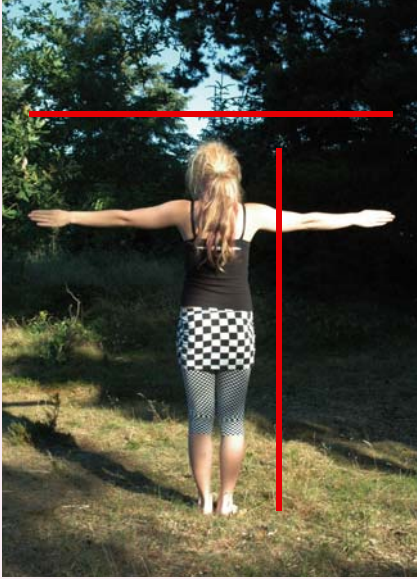


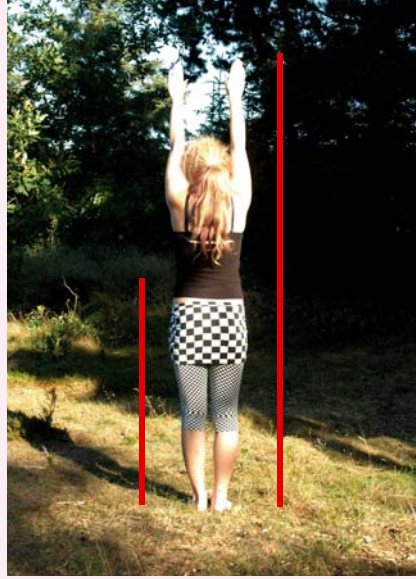
NATURVIDENSKAB FOR ALLE



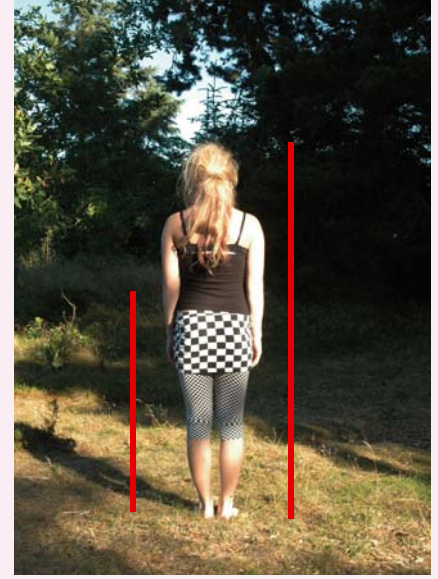
MENNESKEKROPPEN SOM MOTOR



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



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



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



$$\frac{\text{Livvidde}}{\text{Halsomkreds}} = 2$$



$$\frac{\text{Halsomkreds}}{\text{Håndledsomkreds}} = 2$$



Karosseriets dimensioner

Både hos biler og mennesker er det første man kan iagttage *karosseriet*.

I modsætning til biler kan mennesker ikke masseproduceres, vi er alle unikke. Men til trods for vores meget forskellige ydre udseende viser det sig, at vi næsten alle sammen har 'ideale' proportioner. Måler man legemets højde, spændvidde, strækhøjde, navlehøjde, hals- og håndledsomkreds samt livvidde viser det sig, at de viste forhold stort set gælder for alle.

Vi har næsten allesammen ideale proportioner.

Menneskekroppen som maskine/motor

Ordet *motor* stammer fra latin og betyder *kraftmaskine*. En maskine, der kan omsætte mekanisk, elektrisk eller bunden kemisk energi til mekanisk energi (beliggenheds- og bevægelsesenergi), sådan som vi kender det fra eksempelvis bilers el- og forbrændingsmotorer.

Menneskekroppen er et meget kompliceret biofysisk system, og en sammenligning med en bilmotor kan måske synes mærkelig, men der er en række fællestræk ved de to typer motorer.

Bilen behøver hele tiden tilførsel af brændstof i form af benzin/diesel og menneskekroppen føde samt ilt O_2 til forbrændingen.

Såvel bilen som menneskekroppen har en "*hjælpemotor*". Bilens startmotor sætter den egentlige benzinmotor i gang ved hjælp af energi fra bilens batteri. I kroppen har vi ligeledes en hjælpe-motor – et lille energilager i form af forskellige proteinmolekyler. Lageret rækker kun til få sekunder arbejde og må genopbygges, ligesom bilens batteri må genoplades.

Ved forbrændingsprocesserne i bilens og i den menneskelige motor er det kun en brøkdel af den kemiske energi, der omsættes til mekanisk energi i form af bevægelse. En væsentlig del bliver til varmeenergi, som skal fjernes. Bilmotoren køles af cirkulerende luft eller vand. Kroppen køles ved fordampning af sved, strålingsvarme og af blodet. Blodcirkulationen i årerne virker som en slags køleslange, der leder varmen ud til huden og omgivelserne.

At dele sig – det er sagen

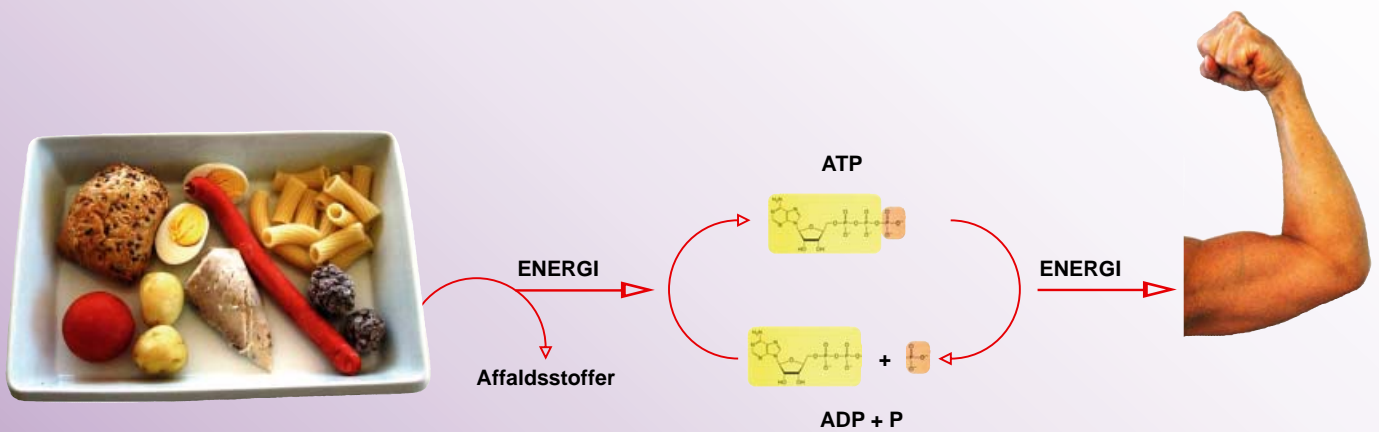
Menneskefostret starter som en befrugtning af celler. Ved gentagne celledelinger opstår myriader af celler som tidligt differentieres i fire hovedtyper – nerveceller, overfladeceller, bindevævs-celler og muskelceller. De enkelte celletyper har forskellige karakteristiske egenskaber.

- Nerveceller kan danne og videregive elektriske impulser.
- Overfladeceller i fx lunger og blodkar kan udskille og absorbere stoffer.
- Bindevævs-celler kan binde forskellige strukturer i kroppen sammen.
- Muskelceller kan trække sig sammen og derved skabe en kraftpåvirkning eller bevægelse.

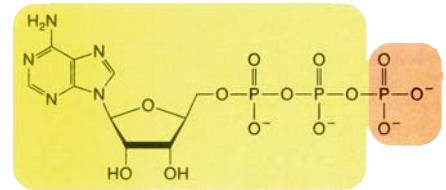
Kroppens forskellige organer indeholder næsten altid alle fire typer væv, der er arrangeret således, at de kan udføre en bestemt funktion. Eksempelvis består maven som organ af såvel overflade-, binde-, muskel- og nervevæv.

Uden mad og drikke... – energi og effekt

Energien til menneskekroppen fås gennem fødeindtagelsen i form af kulhydrater, protein, fedt og alkohol. Næringsstofferne i føden omdannes under varmeudvikling i et antal mellemtrin til mindre proteinmolekyler kaldet ATP (AdenosinTriPhosfat). Som navnet antyder indeholder molekylet tre fosfatgrupper. ATP fungerer som



kroppens energitransportører og er cellernes egentlige energileverandør. ATP-molekylet kan ved hjælp af enzymer nedbrydes til molekylet ADP (AdenosinDiPhosfat) + fosfat (P) + energi. Det er energien fra denne proces, som cellen kan bruge. Energien fra spaltning af ATP er nødvendig for alle processer i kroppen. Spaltning af 1 mol ATP frigiver 30,5 kJ.



Når ATP skal genopbygges vha. ADP og P samt energi fra nedbrydningen af føden, kræver det ligeledes 30,5 kJ pr. mol. ATP kan betragtes som et genopladeligt energilager.

Kroppens celler kan kun udnytte den energi, der kommer fra nedbrydningen af ATP. Kroppen har kun et begrænset lager af ATP, hvorfor dette hele tiden skal genopbygges. Genopbygningen af ATP sker ved hjælp af energi fra forbrænding af næringsstofferne under dannelse af kuldioxid, vand og mælkesyre.

Energistofskiftet

Ved energistofskiftet forstås den energimængde, som frigøres i kroppen til dækning af alle vore cellers energibehov. De enkelte cellers energibehov varierer meget afhængigt af deres funktion og aktivitetsniveau.

Basalenergistofskifte – Hvileenergistofskifte

Selv i hvile har kroppen behov for at få tilført energi. Energien bruges til opretholdelse af kroppens funktioner, fx energi til vejrtrækning, kredsløb, lever, nyrer og hjernen. Energistofskiftet i hvile svarer til kroppens indre arbejde og kan sammenlignes med bilens energiforbrug i tomgang. Basalenergistofskiftet udgør typisk 50–70 % af det samlede energiforbrug i løbet af et døgn. Ved overgang til arbejde vil kroppens energiomsætning øges kraftigt.

Energifrigørelsen i cellerne sker overvejende vha. processer med ilt kaldet *aerobe processer*. Ved kortvarigt (få sekunder) intensivt arbejde skaffer muskelcellerne dog energi ved *anaerobe processer*, hvorunder der kan dannes mælkesyre.



Aerob energifrigørelse

Næringsstof + O₂ → CO₂ + H₂O + energi, i form af ATP

Når næringsstoffets kemiske sammensætning er kendt, kan reaktionsligningen afstemmes. Kroppens energistofskifte afspejles altså i iltforbruget, som kan måles på forskellig måde, se senere. For at kunne beregne energiomsætningen ud fra iltforbruget skal man kende den

En hvilende person. Man har vedtaget, at hvis hvileenergistofskiftet skal bestemmes, så skal det ske om morgenen af en person, der har fastet i 12 timer. Disse idealbetingelser kan dog sjældent efterleves.

energimængde, der frigives ved forbrænding af næringsstofferne under forbrug af 1 liter O_2 . Energimængden, der frigives ved forbrug af 1 liter O_2 , afhænger af, om det er kulhydrat, protein eller fedt der forbrændes. Ved en almindelig blandet kost kan man regne med, at der frigives ca. 20 kJ pr. forbrugt liter O_2 .

Omregningen fra optaget volumen ilt (V_{O_2}) til frigivet energimængde (ΔE) er:

1 L O_2 svarer til 20 kJ

Energistofskiftet – motorens effekt

Hvor hurtigt en motor omsætter energi eller udfører arbejde angives ved den fysiske størrelse effekt P (Power).

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

Udfører arbejde effekt = $\frac{\text{arbejde}}{\text{tid}}$

Med symbolerne ΔE (omsat energi), ΔA (udført arbejde) samt Δt for tid, kan effekten skrives på symbolform

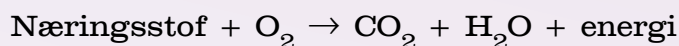
$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} \quad P = \frac{\Delta A}{\Delta t}$$

Enheden for effekt er joule pr. sekund. Denne enhed benævnes watt (W).

$$1 \frac{J}{s} = 1 W$$

Man kan finde ud af, hvor hurtigt en bil omsætter energi ved at måle, hvor meget brændstof den brænder af pr. sekund. Et billede på bilmotorens ydede effekt ses på motorens omdrejningstæller.

Man kan ikke som ved bilmotoren veje sig frem til hvor meget brændstof (næringsstoffer) kroppen omsætter pr. tid, men må benytte en indirekte målemetode. Når kroppen forbrænder sine *brændstoffer* sker dette som nævnt ovenfor ved optagelse af ilt O_2 og dannelse af CO_2 og vand samt energirige molekyler (ATP).



Ved at måle hvor meget ilt kroppen optager pr. tid $\frac{V_{O_2}}{\Delta t}$,

kan man bestemme stofskiftet, dvs. den effekt P hvor med kroppen omsætter energi.

EKSEMPEL

I hvile er iltoptagelseshastigheden ca. 0,25 L ilt pr. minut, dvs.

$$\frac{V_{O_2}}{\Delta t} = 0,25 \frac{L_{O_2}}{\text{min}} = \frac{0,25}{60} \frac{L_{O_2}}{\text{sekund}}$$

Da 1 L O_2 svarer til 20 kJ, svarer denne iltoptagelseshastighed til

$$\frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{0,25}{60} \frac{L_{O_2}}{s} \cdot 20 \frac{kJ}{L_{O_2}} = 83 \frac{J}{s}$$

Vi ser altså at en iltoptagelseshastighed på 0,25 L ilt pr. minut svarer til en effekt på 83 W.



De to personer udfører det samme arbejde, da de starter og slutter samme sted. Den person, der kommer først op, har gjort det hurtigst. Jo hurtigere energiomsætningen har fundet sted, jo større er effekten.

Iltoptagelseshastigheden

$$\frac{V_{O_2}}{\Delta t} \text{ i L } O_2 \text{ pr. min}$$

er et mål for energiomsætnings-hastigheden

$$\frac{\Delta E}{\Delta t} \text{ målt i W,}$$

dvs. et mål for effekten. Ofte kaldes iltoptagelseshastigheden blot for iltoptagelsen. Dette er meget uheldigt, da førstnævnte svarer til den fysiske størrelse effekt, hvorimod iltoptagelse svarer til den fysiske størrelse energi.

Vores energiforbrug - 1

Av, mine bukser strammer!

Af og til synes man, at ens tøj er krøbet lidt. Selv bukserne er begyndt at stramme. Det kan selvfølgelig skyldes, at de er blevet vasket ved en lidt for høj temperatur, men ofte skyldes det, at man er blevet lidt tungere. Grunden til, at man tager på, er altid, at man har spist og drukket mere end kroppen har haft brug for rent energimæssigt. I dette afsnit skal energiomsætningen i kroppen behandles.

Når kroppen ikke er i hvile, men når man på en eller anden måde bruger den aktivt ved fx at gå, løbe eller cykle, forbrændes der energi. En direkte bestemmelse af energiforbruget ville kræve en bestemmelse af den samlede iltoptagelse under aktiviteten, hvilket er besværligt. Man kan ved hjælp af tabellen nedenfor vurdere, hvor meget energi forskellige aktiviteter kræver. Tallene i tabellen er fundet empirisk, dvs. på baggrund af eksperimentelle data.

Aktivitet	Energiomsætning
	$\frac{\text{kJ}}{\text{min} \cdot \text{kg}}$
Sidde, ligge	0,1
Gå langsomt	0,2
Danse	0,3
Svømme (30 m pr. minut)	0,5
Løbe med 7 km/time	0,6
Løbe med 9 km/time	0,7
Cykle med 20 km/time	0,7
Svømme (55 m pr. minut), skiløb	0,9
Løbe med 12 km/time	1,0

En 10 km løbetur

Løber en person på 80 kg en tur på 10 km kan man beregne det samlede energiforbrug. Hvis der løbes med farten 12 km/time varer turen

$$\text{tid} = \frac{\text{strækning}}{\text{fart}} = \frac{10 \text{ km}}{12 \text{ km / time}} = \frac{10 \text{ km}}{12 \text{ km / 60 min}} = 50 \text{ min}$$

Det samlede energiforbrug er

$$\begin{aligned} \text{energiforbrug} &= 1,0 \frac{\text{kJ}}{\text{min} \cdot \text{kg}} \cdot \text{tid} \cdot \text{masse} \\ &= 1,0 \frac{\text{kJ}}{\text{min} \cdot \text{kg}} \cdot 50 \text{ min} \cdot 80 \text{ kg} = 4,0 \text{ MJ} \end{aligned}$$



Bukserne er begyndt at stramme.

Energiindhold

Energiindholdet i fødevarer udtrykkes ved hjælp af den såkaldte brændværdi, B_m .

Hvis man spiser eller drikker massen m af et eller andet, kan man bruge brændværdien til at regne ud, hvor meget energi man får tilført. Brændværdien angiver nemlig, hvor meget energi, E , der frigøres, når man indtager 1 gram af fødevareren.

$$E = B_m \cdot m$$

Den frigjorte energi E måles i enheden joule (J).



Energiindholdet i forskellige fødevarer

Fødevarer Energiindhold pr. gram (brændværdi)

	kJ/g
agurk	0,3
appelsin	1,5
bacon, rå	26,0
sodavand	1,8
hvidvin	2,6
yoghurt	3,6
kakaomælk	3,1
kalkun	5,3
letmælk	2,0



Dejligt med en løbetur.

De fire hovedgrupper

I det man spiser, er det proteinerne, kulhydraterne, fedtet og alkoholen, der frigiver energi. Vand, vitaminer og mineraler indeholder ikke energi, men er selvfølgelig i andre sammenhænge vigtige for kroppen.

Der er ikke lige meget energi pr. gram i disse fire hovedgrupper:

	Energiindhold
Protein	17 kJ/g
Fedt	38 kJ/g
Kulhydrat	17 kJ/g
Alkohol	30 kJ/g

Hvileenergistofskifte og vægt

Selv om en person slet ikke laver noget fysisk, skal kroppen bruge energi til at få organerne til at fungere og til at holde kropstemperaturen omkring cirka 37 °C.

Når en person er i hvile, kaldes kroppens energiomsætning – den energi, der bruges pr. sekund – for *hvileenergistofskiftet*. Vil man bestemme hvileenergistofskiftet direkte (mest nøjagtigt), må man bestemme iltoptagelsestakten. Det er dog ret besværligt.



Energiindholdet er meget forskelligt i forskellige fødevarer.



Man kan "brænde" noget energi af på mange måder.



Der findes imidlertid flere empiriske modeller, der kan benyttes, når man skal regne en persons hvileenergistofskifte ud.

En godt og hurtigt bud på hvileenergistofskiftets størrelse fås ved at multiplicere personens masse med 1,16 W/kg.

$$\text{Hvilestofskifte} = \text{masse} \cdot 1,16 \cdot \frac{\text{W}}{\text{kg}}$$

Aleksanders hvileenergistofskifte

Aleksander, der vejer 70 kg, vil ved denne beregningsmetode få et hvileenergistofskifte på $70 \text{ kg} \cdot 1,16 \text{ W/kg} = 81,2 \text{ W}$. Dette giver et samlet energiforbrug pr. døgn på ca. 7 MJ (et døgn er 86.400 sekunder, og der forbruges 81,2 J pr. sekund).

Man kan også benytte Harris–Benedict formlen, som tager hensyn til køn, vægt, højde og alder.

Harris–Benedict formlen

Energiomsætning pr. døgn, mænd:

$$(66,5 + (13,75 \cdot \text{masse i kg}) + (5,003 \cdot \text{højde i cm}) - 6,775 \cdot \text{alder}) \cdot 4.186 \text{ J}$$

Energiomsætning pr. døgn, kvinder:

$$(655,1 + (9,563 \cdot \text{masse i kg}) + (1,850 \cdot \text{højde i cm}) - (4,676 \cdot \text{alder})) \cdot 4.186 \text{ J}$$

En ung mands energiomsætning

Er man fx en ung mand på 20 år, 184 cm høj og har massen 75 kg, finder man følgende energiomsætning pr. døgn:

$$(66,5 + (13,75 \cdot 75) + (5,003 \cdot 184) - 6,775 \cdot 20) \cdot 4.186 \text{ J} = 7,88 \text{ MJ}$$

Havde man benyttet førstnævnte metode til bestemmelse af energiomsætningen, havde man fået

$$75 \cdot 1,16 \cdot 86.400 \text{ J} = 7,52 \text{ MJ}$$

Vores energiforbrug – 2

Desværre kan man ikke finde én formel eller én tabel, hvor man nøjagtigt kan se, hvor meget energi man forbruger ved forskellige aktiviteter. Det er nemlig meget individuelt, så sådanne eviggyldige formler og tabeller findes ikke. I afsnittet *Vores energiforbrug – 1* ovenfor, er vist et par metoder, der passer nogenlunde, til bestemmelse af energiforbruget.

En alternativ måde til bestemmelse af energiforbruget ved forskellige aktiviteter er at multiplicere hvilestofs-kiftet med en faktor:

Aerobic	5-7
Børnepasning	3
Dans	5-6
Dans, hurtig (fx disco, folk, square)	5,5
Fjerne ukrudt	4,5
Golf	4,5
Gymnastik	4,5
Håndbold	8
Madlavning	2,5
Rengøring	3,5
Ridning	4
Samleje	3-4
Tennis	7

Tallene – som hvilestofs-kiftet skal multipliceres med er fundet empirisk vha. måling af puls og en vurdering af nyttevirkning, se *nyttvirkning* side 13.

En times tennis

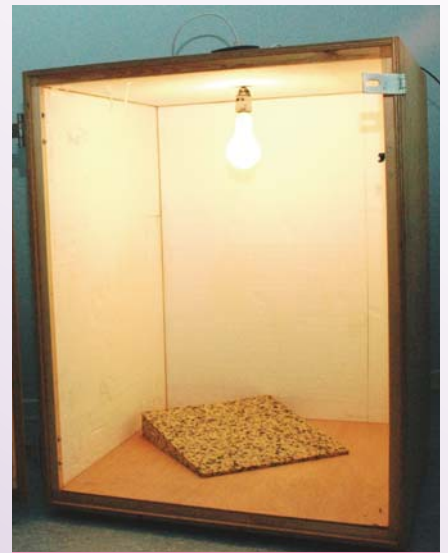
Fx øges energiomsætningen i kroppen med en faktor syv, når man spiller tennis. Spiller man derfor tennis i en time findes energiforbruget således for en person, der vejer 70 kg:

$$\text{Hvilestofskifte} = 70 \text{ kg} \cdot 1,16 \cdot \frac{\text{W}}{\text{kg}} = 81,2 \text{ W}$$

$$\begin{aligned} \text{Energiforbrug (1 time)} &= \text{hvilestofskifte} \cdot \text{tid} \cdot \text{faktor} \\ &= 81,2 \text{ W} \cdot 3.600 \text{ s} \cdot 7 = 2,0 \text{ MJ} \end{aligned}$$



Tennis er en ret energikrævende sport.



Ekspérimentel bestemmelse af hvileenergi- stofskefttet – indirekte metode

Man kan bestemme en persons hvileenergistofskefte, ved at placere denne i en isoleret kasse.

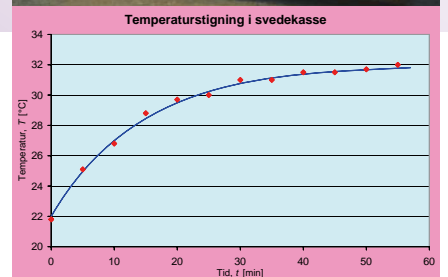
Når personen er placeret i kassen, vil den energiomsætning, der finder sted i kroppen, resultere i, at temperaturen i kassen stiger. Når temperaturen nærmer sig en konstant værdi er personens energiafgivelse pr. tid lig med energiafgivelsen fra kassen (dynamisk ligevægt). Temperaturstigningen er et udtryk for den energiomsætning, der har fundet sted. Sammenhængen mellem temperaturstigning og energiomsætning kan bestemmes ved at undersøge, hvordan temperaturen stiger i kassen, hvis der alene befinder sig en tændt pære (fx 100 W) inden i denne.

Når der er en person i kassen, vil luftfugtigheden også øges. Den øgede vanddampmængde skal derfor også medregnes i den samlede energiomsætning.

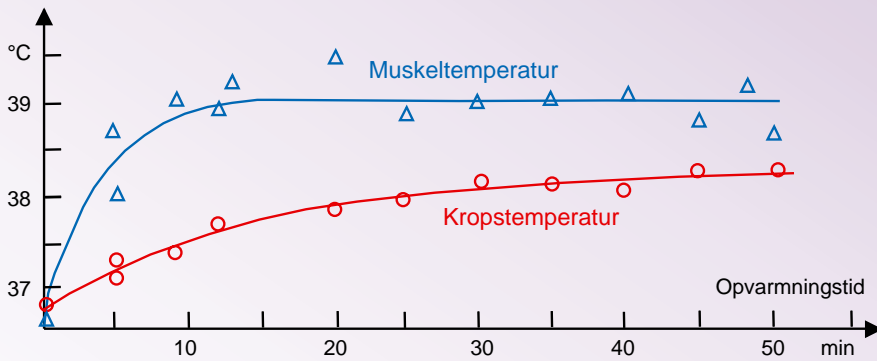
Jeg sveder – heldigvis!

Når kroppen skal forberedes til kraftigt arbejde som i idrætsaktiviteter, foretages opvarmningsaktiviteter af kortere eller længere varighed. Formålene med opvarmningsaktiviteterne er mange. Dels mindskes risikoen for skader, dels opnås en forbedret energiomsætning, idet enzymaktiviteten, der medvirker ved de kemiske energiomsætninger, er temperaturafhængige.

Ved forskellige idrætsaktiviteter er nyttevirkningen ca. 25%. Det betyder, at ca. 75% af effekten, hvormed man omsætter energi, bliver til varme. Varmeenergien afsættes i første omgang i selve muskeltvævet, men efterhånden ledes varmen ud til resten af kroppen. Den afsatte varmeenergi viser sig ved en temperaturstigning. Figuren herunder viser temperaturen målt i låret (muskeltemperatur) og endetarm (kropstemperatur) efter opvarmningsarbejde af forskellig varighed.



En 100 W pære er tændt og varmer kassen op. Man kan se på grafen, at 100 W pæren giver en temperaturstigning på 10 °C. Det betyder altså, at en temperaturstigning på 1°C svarer til 10 W.



Temperaturen i henholdsvis arbejdende lårmuskel og kroppen som helhed som funktion af opvarmningstiden.
 Kilde: Asmussen og Hohwü Christensen.

Som det er vist på figuren ovenfor, bliver kropstemperaturen konstant efter et stykke tid. Dette betyder at varmeproduktionen og varmetabet fra kroppen er lige store. I kroppens muskler er ligevægtstemperaturen under arbejde ca. 39 °C, hvorimod ligevægtstemperaturen i en bilmotor nemt kommer op på 80 – 90 °C.

Temperaturregulering

Kroppen har 4 forskellige mekanismer, der kan regulere temperaturen.

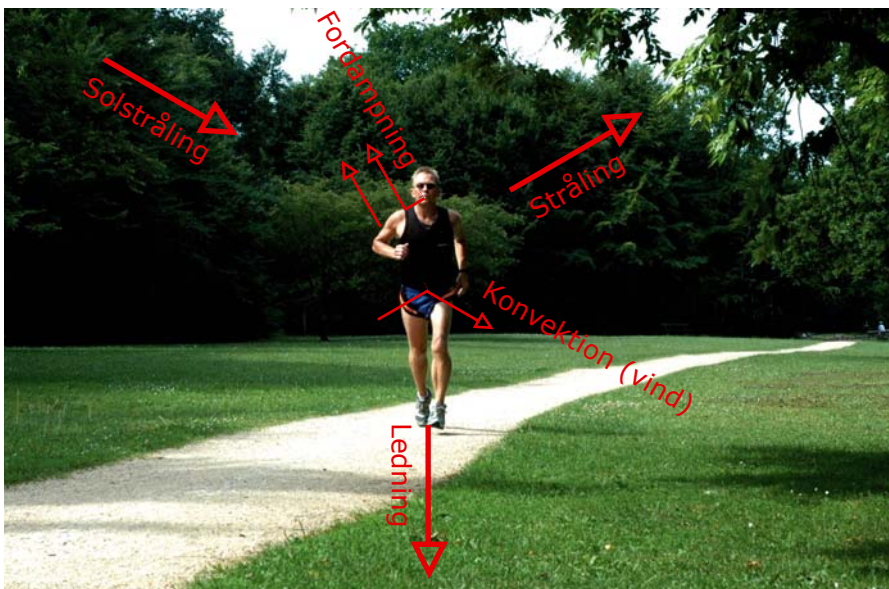
Varmeledning

Når en kropsdel berører noget i omgivelserne, der har en anden temperatur, ledes der varme til eller fra kroppen. Ved varmeledning sker der ikke stoftransport. Energien ΔE , der ved ledning transporteres fra et varmt område til et koldt område med temperaturerne T_v og T_k , afhænger af temperaturforskellen ($T_v - T_k$), arealet A og tykkelsen L af materialet som varmen passerer igennem, samt *varmeledningsevnen* λ (en materialeparameter) og tidsintervallet Δt , hvori varmetransporten foregår.

$$\Delta E = \lambda \cdot \frac{A}{L} \cdot (T_v - T_k) \cdot \Delta t$$

Varmeledningsevnen for nogle materialer er gengivet i tabellen.

Varmeledningsevne	
STOF	λ W m · °C
Vand	0,56
Luft	0,026
Let tøj	0,04
Fedt	0,2



Kroppen kan skille sig af med varmen på fire måder: svedfordampning, strålingsvarme, konvektion (opvarmning af forbigående luft) og varmeledning (ved kontaktberøring med omgivelserne).

Varmeledning i menneskets største organ

Huden er menneskets største organ og opdeles sædvanligvis i over-, læder- og underhud. Hudens samlede tykkelse er ca. 3 mm og har en varmeledningsevne på $0,2 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$. Når man sidder stille, omsætter kroppen energi med ca. 100 W. Varmen transporteres med blodet til de yderligt liggende mindste blodårer, kapilærerne. Herfra sker der en varmeledning ud til overfladen. Hudens overfladeareal for en typisk person er 2 m^2 .

Hvor stor skal temperaturforskellen være mellem kapilærer og overfladen af huden være for at denne effekt kan transporteres væk via varmeledningen?

Effekten, hvormed energien, der skal transporteres ud gennem huden, er

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t}, \text{ hvor } \Delta E = \lambda \cdot \frac{A}{L} \cdot (T_v - T_k) \cdot \Delta t$$

Løses ligningen med hensyn til temperaturforskellen fås:

$$(T_v - T_k) = \frac{P \cdot L}{\lambda \cdot A} = \frac{100 \text{ W} \cdot 0,003 \text{ m}}{0,2 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 1,5 \text{ m}^2} = 1^\circ\text{C}$$

Det kræver således en temperaturforskell på 1°C mellem blodet i kapilærerne og huden for at borttransportere varme med effekten 100 W. I varme omgivelser kan det være svært eller helt umuligt at komme af med varmen ved ledning.

Konvektion

Hvis kroppen er varmere end omgivelserne vil luften omkring kroppen varmes op. Den opvarmede luft vil stige til vejrs og ny kølig luft strømme ind mod huden.

Fordampning

Når sved fordampes, tages varmen til fordampningen fra huden, som derved afkøles.

På heftets hjemmeside www.nfa.fys.dk er det beskrevet, hvordan fordampningsvarmen kan beregnes.


Stråling

Kroppen udsender varmestråling (infrarødt lys) på samme måde som de varmestrålere, der benyttes på udendørs caféer. Effekten der udsendes fra et (sort) legeme med arealet A og absolut temperatur T er:

$$P = \sigma \cdot A \cdot T^4$$

hvor konstanten $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$ kaldes Stefan-Boltzmann konstanten.

Kelvintemperaturen fås ved at lægge 273 til Celciustemperaturen, $T_{\text{kelvin}} = T_{\text{celsius}} + 273$.



Det er godt at svede når man dyrker sport. Allan Zachariassen ved EM i Athen 1982.



Selvfølgelig har du udstråling

En løber i stramtsiddende sort løbetøj er ude at motionere en dag, hvor temperaturen er 20 °C. Temperaturen på såvel hud som løbetøjet er 35 °C. Hudens overfladeareal er som før 2 m². Effekten hvormed han afgiver energi ved stråling er forskellen mellem den strålingseffekt han selv udsender, og den han modtager fra omgivelserne:

$$\begin{aligned} P &= \sigma \cdot A \cdot (T_{\text{person}}^4 - T_{\text{omgivelser}}^4) \\ &= 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot 2 \text{ m}^2 \cdot (308^4 - 293^4) \text{ K}^4 = 185 \text{ W} \end{aligned}$$

Det skal bemærkes, at kroppen og omgivelser ikke udgør en rigtig *sortlegemestråler*, hvorfor modellens resultat skal tages med et *gran salt*.

Nyttevirkning – hvorfor er det vigtigt?

Når man skal koge noget vand, er det ikke lige meget, hvordan man gør. I hvert fald ikke hvis man tænker energimæssigt. Der er meget stor forskel på, om man opvarmer vandet i en gryde eller i en el-kedel. I el-kedlen går der meget mindre energi til spilde end hvis man bruger gryden. Den energi man udnytter (E_{nytte}) i forhold til den energi man har brugt (E_{omsat}) kaldes nyttevirkningen

$$\eta = \frac{E_{\text{nytte}}}{E_{\text{omsat}}}$$

Spild af varme

Skal man varme 1,0 L koldt vand (10 °C) op til kogepunktet i en el-kedel, aflæser man på en energimåler, at man bruger 554 kJ (= E_{omsat}).

Man kan regne ud, at man skal bruge 377 kJ (= E_{nytte}) til opvarmning (fra 10 °C til 100 °C) af 1 L vand.

Det skal man altid, lige meget hvilken opvarmningsmåde man benytter sig af.

Nyttevirkningen for el-kedlen er

$$\eta = \frac{E_{\text{nytte}}}{E_{\text{omsat}}} = \frac{377 \text{ kJ}}{554 \text{ kJ}} = 0,68$$

Der forsvinder altså 32 % af den tilførte energi til omgivelserne.

Nyttevirkning af kroppens arbejde

Når man arbejder, motionerer eller spiller bold, forbrændes de næringsstoffer, som kroppen har optaget med føden. En del af den frigjorte kemiske energi omdannes til nyttig energi i form af fx kinetisk energi. Resten går til opvarmning af kroppen og fordampning af vand. Hvis man vil bestemme nyttevirkningen ved forskellige former for arbejde kan man lade forsøgspersonen arbejde i svedekassen (indirekte bestemmelse, se side 10) eller bestemme iltoptagelsen under det pågældende arbejde, eksempelvis med et vippepirometer, se side 19.



Når man bestiger et bjerg, er nyttevirkningen kun omkring 20 %.

På arbejde i svedekassen

For at bestemme kroppens nyttevirkning eksperimentelt, skal man have bestemt

P_{arbejde} = Effekten af det udførte arbejde

P_{krop} = Effekten af kroppens opvarmning

P_{varme} = Effekten af kroppens varmeafgivelse til omgivelser (såvel arbejds- som hvilestofs-kiftebidraget)

$P_{\text{fordampning}}$ = Effekten af fordampningen
– altså via vanddampindholdet i luften

P_{hvile} = Hvilestofs-kiftet

Man kan nu beregne nyttevirkningen således (se hjemmesiden www.nfa.fys.dk for nærmere forklaring).

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

Bjergbestigning

Når man bestiger et bjerg, er den nyttiggjorte energi lig med tilvæksten i potentiel energi. Man kan beregne tilvæksten i potentiel energi ved formlen

$$E_{\text{nytte}} = E_{\text{potentiel}} = m \cdot g \cdot h$$

hvor m er bjergbestigerens masse, $g = 9,82 \text{ N/m}$ (tyngdeaccelerationen) og h er højdeforskellen.

Hvis bjergbestigeren, der vejer 82 kg er kravlet 2.000 m op, er tilvæksten i potentiel energi

$$E_{\text{nytte}} = E_{\text{potentiel}} = 82 \text{ kg} \cdot 9,82 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 2.000 \text{ m} = 1,61 \cdot 10^6 \text{ J} = 1,6 \text{ MJ}$$

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.

Den samlede energi E_{omsat} , som kroppen omsætter under opstigningen, er, hvis vi antager, at nyttevirkningen er 20 % (= 0,20)

$$\eta = \frac{E_{\text{nytte}}}{E_{\text{omsat}}} \Leftrightarrow E_{\text{omsat}} = \frac{E_{\text{nytte}}}{\eta} \Leftrightarrow E_{\text{omsat}} = \frac{1,6 \text{ MJ}}{0,20} = 8,0 \text{ MJ}$$

Hjertet

– en kredsløbspumpe

Hjertet som organ er naturligvis af central betydning, idet hjertet pumper blodet med oxygen, næringsstoffer, m.m. til kroppens celler og transporterer kuldioxid, affaldsstoffer m.m. fra cellerne.

Hjertet består af to halvdele, som hver indeholder et forkammer (atrium) og et hjertekammer (ventrikel). Forkamrene er forbundet med hjertekammerne via hjerteklapper. Hjertets venstre halvdel modtager iltrigt blod fra lungerne og sender blodet videre ud til kroppen, hvor iltet afgives til cellerne. Højre halvdel modtager det iltfattige blod fra kroppen og pumper dette videre til lungerne, hvor blodet igen ilttes. Blodet pumpes rundt i et lukket kredsløb. Blodårer, som fører iltrigt blod, kaldes arterier, og årer, der fører iltfattigt blod, kaldes vener.

Et simpelt diagram af hjertet, opfattet som en firekammeret pumpe, er vist i figuren. Pilene viser hvordan blodet strømmer mellem hjertekammerne. Hjertets regelmæssige afslapnings- og sammentrækningsperioder resulterer i henholdsvis fyldning og tømning af hjertekammerne for blod.

I afslapningsfasen kommer iltet blod fra lungerne ind i venstre forkammer (VF) og iltfattigt blod fra kroppen ind i højre forkammer (HF). Ved fyldningen af kamrene stiger trykket, hvorved blodet flyder ned i henholdsvis venstre og højre hjertekammer (VH og HH).

Ved hjertemusklens sammentrækning forøges trykket og blodet i hjertekammerne presses henholdsvis ud i kroppen og ud til lungerne.

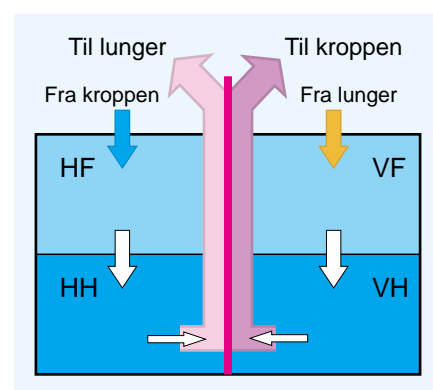
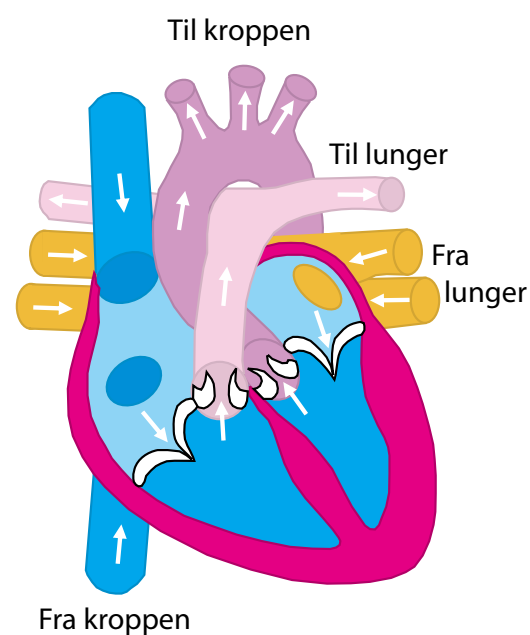
Slagvolumen Det volumen blod, hver hjertehalvdel pumper pr. slag, kaldes slagvolumenet, V_{slag}

Pulsfrekvens Antallet af slag, hjertet slår pr. minut, kaldes pulsfrekvensen, f_{puls}

Minutvolumen Blodvolumenet, som hjertet kan pumpe ud pr. minut, betegnes minutvolumenet, V_{minut}

Sammenhængen mellem de tre størrelser er:

$$V_{\text{minut}} = f_{\text{puls}} \cdot V_{\text{slag}}$$



Hjertet som 4-kammermodel set forfra. Blodet kommer fra lungerne og pumpes ud i kroppen via hjertets venstre halvdel. Hjertets højre halvdel modtager blodet retur fra kroppen og videresender dette til lungerne.



Minutvolumen for utrænede og en trænet person

For en utrænede person er hvilepuls ca. 70 slag pr. minut og slagvolumen ca. 70 mL. En beregning af hjertets minutvolumen giver da

$$V_{\text{minut}} = 70 \text{ min}^{-1} \cdot 70 \text{ mL} = 4.900 \frac{\text{mL}}{\text{min}} = 4,9 \frac{\text{L}}{\text{min}}$$

Hjertet pumper altså ca. 5 L blod ud i kroppen pr. minut, når man er i hvile.

En trænet persons hjerte kan i hvile pumpe de ca. 5 L blod ved en lavere puls, idet hjertet hos en veltrænede person har et større slagvolumen, ofte omkring 100 – 120 mL.

Med et slagvolumen på 120 mL vil pulsen i dette tilfælde kunne nøjes med at være ca. 40 (slag pr. minut).

Omdrejningstælleren og pulsret viser, hvor hårdt der arbejdes.

”Rugbrødsmotoren” på arbejde

Svarende til bilens omdrejningstæller angiver pulsfrekvensen kropsmotorens omdrejningstal. Når omstændighederne kræver, at bilen og kroppen skal yde større effekt, skal motorerne op i omdrejninger. For kroppen betyder dette, at pulsfrekvensen f_{puls} stiger. Ligeledes øges slagvolumen og begge dele bidrager til forøgelsen af hjertets minutvolumen. Pumpemotoren har dermed gjort sin del for at efterkomme det forøgede effektkrav fra kroppen ved overgang til hårdere arbejde.

Iltoptagelseshastigheden, $\frac{V_{\text{O}_2}}{\Delta t}$ afhænger ud over minut-

volumenet også af, hvor god man er til at udnytte ilten i blodet, der pumpes rundt. Jo bedre man er til at udnytte ilten i blodet, jo større vil differencen (forskellen) være mellem blodets iltindhold i arterierne og venerne. Man taler om den arterio-venøse ilt-differens pr. liter blod

$$\frac{V_{\text{O}_2}^{\text{arterie}} - V_{\text{O}_2}^{\text{vene}}}{V_{\text{blod}}}$$

Kroppens ilt-optagelseshastighed kan nu beregnes som produktet af den arterio-venøse ilt-differens pr. liter blod og minutvolumenet. Princippet kaldes Fick's princip.

Ilt-optagelseshastighed:
$$\frac{V_{\text{O}_2}}{\Delta t} = \frac{V_{\text{O}_2}^{\text{arterie}} - V_{\text{O}_2}^{\text{vene}}}{V_{\text{blod}}} \cdot V_{\text{minut}}$$

Iltoptagelseshastighed – utrænnet / trænnet person

For den utrænede person i forrige eksempel fandt vi hjertets minutvolumen til at være 4,9 L/min. Den arterio-venøse ilt-differens pr. liter blod for en utrænnet person er ca. 0,05 L ilt pr. liter blod. Vi kan da beregne iltoptagelseshastigheden til

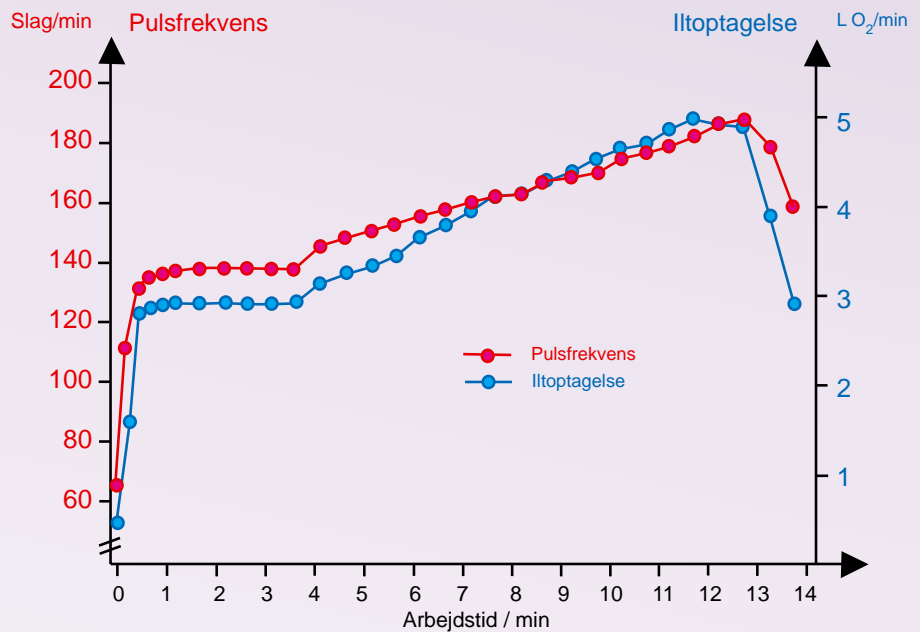
$$\frac{V_{O_2}}{\Delta t} = \frac{V_{O_2}^{\text{arterie}} - V_{O_2}^{\text{vene}}}{V_{\text{blod}}} \cdot V_{\text{minut}} = \frac{0,05 \text{ L}(O_2)}{1 \text{ L}(\text{blod})} \cdot 4,9 \frac{\text{L}(\text{blod})}{\text{min}} \approx 0,25 \frac{\text{L}(O_2)}{\text{min}}$$

I hvile er iltoptagelseshastigheden altså ca. 0,25 L ilt pr. minut. Den trænede person kan opnå hvileiltoptagelseshastigheden på 0,25 L ilt pr. minut *billigere*, idet en veltrænnet person har en større arterio-venøs ilt-differens på ca. 0,07 L ilt pr. liter blod.

Den trænede person udnytter altså mere af ilten i blodet og hjertet behøver derfor ikke at pumpe 4,9 L blod ud pr. minut for at opnå en iltoptagelseshastighed på 0,25 liter ilt pr. minut. En beregning giver i dette tilfælde 3,6 L blod pr. minut, hvilket igen betyder, at den trænede hjerterpuls ikke behøver at være så høj som den utrænede.

Målinger af puls-frekvens og iltoptagelseshastighed som funktion af arbejdstid for en testperson på ergometercykel. Graferne er diskuteret i teksten.

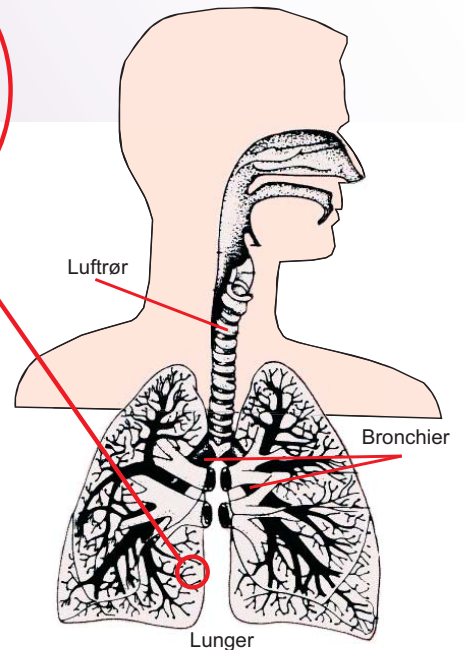
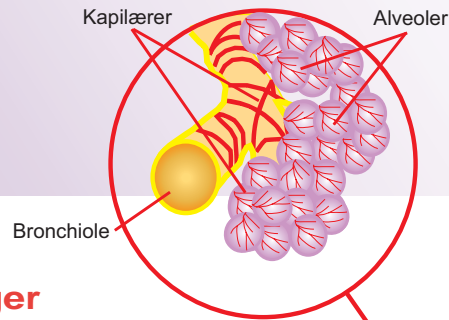
Kilde: Jens Bangsbo.



Kroppens maksimale iltoptagelseshastighed

Grafen viser forløbet af målinger af puls-frekvens og iltoptagelseshastighed for en testperson på ergometercykel. Personen cyklede først med en belastningseffekt på 200 W de første 4 minutter. Herefter blev effekten øget med 35 W hvert minut indtil udmattelse.

Som det fremgår af grafen følges puls og iltoptagelseshastighed pænt ad. På grafen ses endvidere, at pulsen og iltoptagelseshastigheden hurtigt indenfor de første 4 minutter indstiller sig på et konstant niveau. Herefter stiger puls og iltoptagelseshastigheden stort set lineært indtil det 12. minut, hvor personens maksimale iltoptagelseshastighed på ca. 5 L O₂ pr. minut er nået. Ca. 1 minut efter finder udmattelse sted.



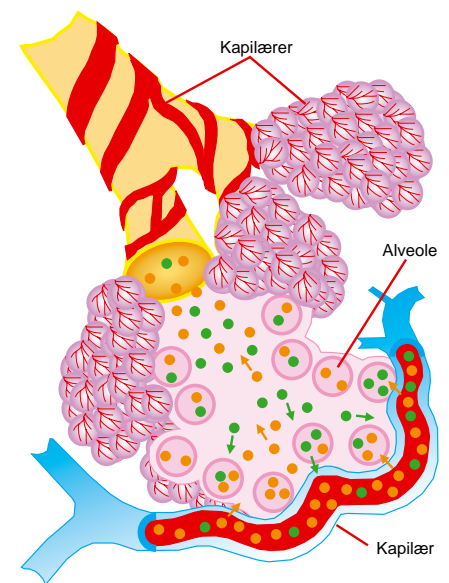
Luftens vej fra atmosfæren ned i lungerne

Åndedrætssystem og lunger

Figuren viser luftens vej i lungerne. Luftens vej kommer via et finere og finere forgrenet rørsystem ned i lungerne. Luftrøret deler sig i to bronchier, som derefter deler sig mange gange i bronchioler, der til sidst indeholder små sækformede udposninger – *alveoler*. Det er mellem alveolerne og de mindste blodårer – kapilærer – at udvekslingen af ilt og kuldioxid foregår.

Den fysiske proces, hvormed ilt og kuldioxid transporteres mellem lungerne og blodet kaldes *diffusion*. Diffusion af stof gennem en cellemembran forekommer, når der er en koncentrationsforskel (svarende til en trykforskel) af stoffet på de to sider af membranen (og membranen er gennemtrængelig for stoffet). Jo større koncentrationsforskel og tyndere lag, jo hurtigere bliver diffusionen. Nettodiffusionen af den konkrete molekyltype er fra området med høj koncentration (stort deltryk af den pågældende gas) mod området med lav koncentration.

På figuren her er vist en bronchiole med sine alveoler (violette), som er omgivet af kapilærer. I alveolerne er koncentrationen af ilt (de grønne kugler) stor og koncentrationen af kuldioxid (orange kugler) lille. I kapilærene er forholdene omvendt. Der vil derfor foregå en diffusion af ilt fra lungerne over i blodet i kapilærene og en diffusion af kuldioxid fra blodet over i alveolerne i lungerne.



Diffusion af O_2 (grønne kugler) fra alveolerne over i kapilærene, og diffusion af CO_2 (orange kugler) fra kapilærene over i alveolerne.

Åndedrættet – nogle begreber

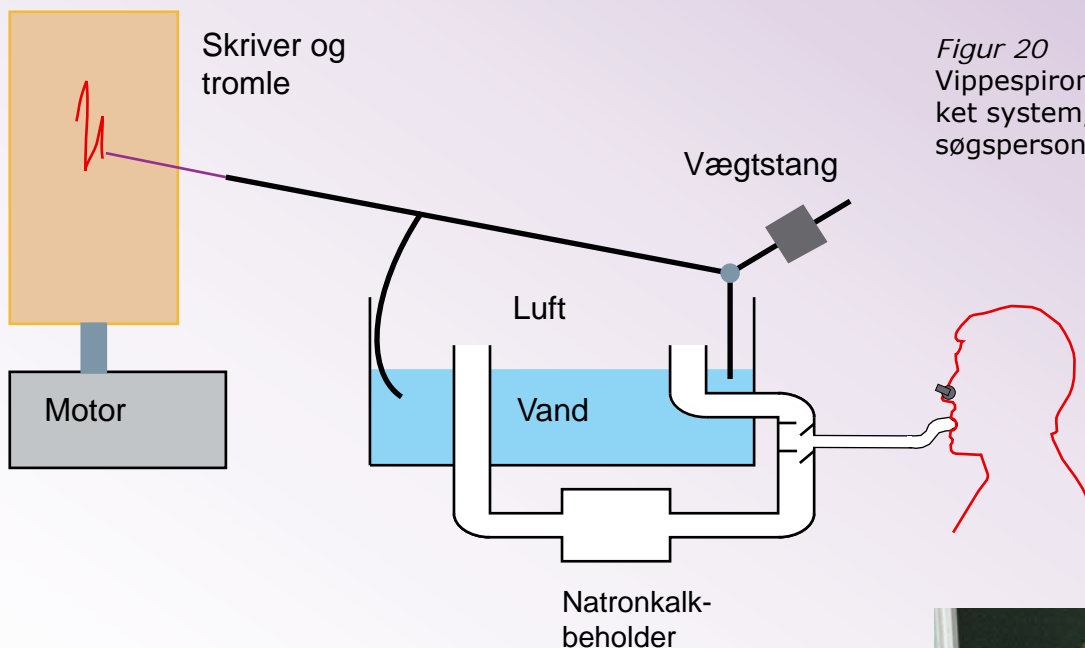
Åndedrætsdybden Det volumen luft, man trækker ned i lungerne ved normal vejrtrækning kaldes åndedrætsdybden, $V_{\dot{a}}$

Åndedrætsfrekvens Antallet af vejrtrækninger pr. minut betegnes åndedrætsfrekvensen, $f_{\dot{a}}$

Lungeventilationen Det samlede luftvolumen, man trækker ned i lungerne pr. minut, kaldes lungeventilationen, V_{lunge}

Den matematiske model for sammenhængen mellem de tre størrelser er den samme, som den vi fandt gældende for hjertets vedkommende.

For lungeventilationen gælder
$$V_{\text{lunge}} = f_{\dot{a}} \cdot V_{\dot{a}}$$



Figur 20
Vippespirometeret udgør et lukket system, hvorigennem forsøgspersonen trækker vejret



Den utrænede person igen

I hvile er åndedrætsdybden ca. 0,5 L og åndedrætsfrekvensen ca 12 min^{-1} . Lungeventilationen i hvile er da

$$V_{\text{lunge}} = f_{\text{å}} \cdot V_{\text{å}} = 0,5 \text{ L} \cdot 12 \text{ min}^{-1} = 6 \text{ L/min}$$

Vi så tidligere, at iltoptagelseshastigheden i hvile var 0,25 L ilt pr. minut. Atmosfærisk luft indeholder ca 20% ilt, hvilket betyder, at det volumen ilt, der i hvile trækkes ned i lungerne er 20% af $6 \text{ L/min} = 1,2 \text{ L/min}$.

Vi udnytter i hvile kun ca. en femtedel af ilten der trækkes ned i lungerne – resten udåndes igen (et held for dem, vi skal give kunstigt åndedræt!).

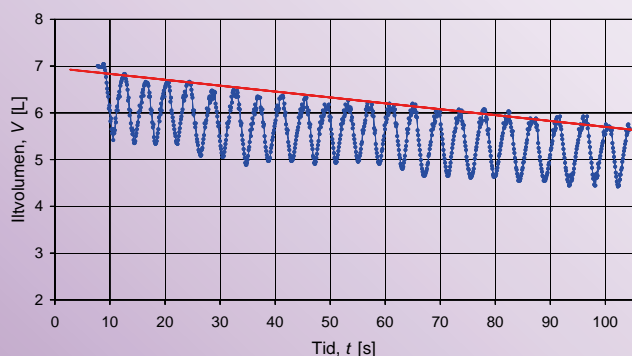
Sådan kan du bestemme iltoptagelseshastigheden

Med et såkaldt vippespirometer kan vi bestemme iltoptagelseshastigheden hos forsøgspersoner. Princippet i et vippespirometer er skitseret i figuren.

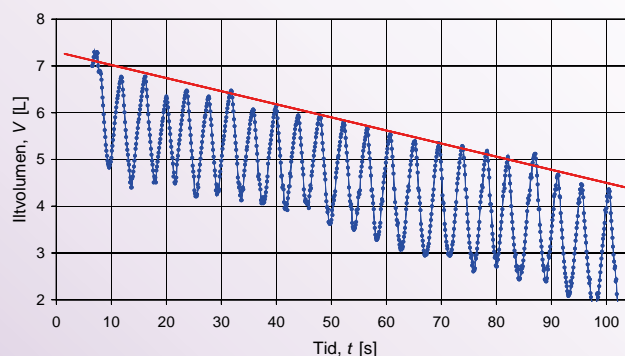
Det består af et kar, hvorpå der kan monteres et vipbart, hult låg. Karret fyldes med vand, låget påsættes og afbalanceres med kontravægten. Det hule låg trykkes i bund, hvorefter spirometeret fyldes med medicinsk ilt. Vippespirometeret udgør med sit vipbare låg et lukket system, hvorigennem forsøgspersonen trækker vejret.

Den CO_2 , som forsøgspersonen udånder, absorberes i en beholder med natronkalk, så kun den ilt der er tilbage i udåndingsluften, returnerer til systemet. Spirometerlåget vil, efterhånden som forsøgspersonen bruger ilten, bevæge sig ned mod vandoverfladen. Lågets bevægelser som følge af personens vejtrækning registreres her med en pen, men kan også registreres med en elektronisk afstandsmåler og dataopsamling på computer.

I hvile – siddende på cyklen



Let cykling



Iltoptagelseshastigheden i siddende stilling

Ovenstående graf viser data for en forsøgsperson i siddende stilling, V_{O_2} som funktion af tiden t . Spirometerlågets bevægelser er registreret med en bevægelsescensor. Lågets position som funktion af iltvolumenet i vippespirometeret er foretaget ved kalibrering. Det giver os mulighed for at afbilde iltvolumenet i spirometeret som funktion af tiden (der er målt 10 gange i sekundet).

I den første situation, hvor personen sidder i hvile på ergometercykel, er der indlagt en linie tilpasset toppene. Man kan få bestemt hældningskoefficienten til $-0,0126$ L/s. Forsøgspersonen optager altså $0,0126$ L ilt pr. sekund svarende til en iltoptagelseshastighed i den 'sædvanlige' enhed på $0,76$ L/min. Af grafen kan man også aflæse åndrætsdybden og åndedrætsfrekvensen.

På grafen kan aflæses ca. 14 åndedrag på 60 sekunder, dvs. åndedrætsfrekvensen er $f_a = 14 \text{ min}^{-1}$.

Det ses ligeledes, at der bruges ca. $1,3$ L O_2 på $\Delta t = 105$ s. Iltoptagelseshastigheden i siddende stilling er altså

$$\frac{\Delta V_{O_2}}{\Delta t} = \frac{1,3 \text{ L}}{\frac{105}{60} \text{ min}} = 0,74 \frac{\text{L}}{\text{min}}$$

Nyttevirkning – bestemt med vippespirometer

Nyttevirkningen ved cykling kan findes ved at måle den effekt man cykler med, P_{cykel} , og effekten, hvormed kroppen omsætter energi, P_{krop} , udtrykt ved iltoptagelseshastigheden $\frac{V_{O_2}}{\Delta t}$.

I forsøget ovenfor (let cykling) arbejder personen på cyklen med effekten 125 W. Iltoptagelseshastigheden kan vha. grafen bestemmes til

$$\frac{\Delta V_{O_2}}{\Delta t} = 1,68 \frac{\text{L}_{O_2}}{\text{min}}$$

hvilket svarer til effekten $P_{\text{person}} = 560$ W, se side 5. Nytevirksomheden ved cykling bestemt ved direkte metode er således 22% .

$$\eta = \frac{P_{\text{cykel}}}{P_{\text{person}}} = \frac{125 \text{ W}}{560 \text{ W}} = 0,223 \approx 22\%$$

Data fra eksperiment med vippespirometer.

Til venstre ses hvordan iltvolumenet i vippespirometeret aftager når forsøgspersonen sidder stille på cyklen.

Til højre er vist de tilsvarende data ved let cykling.



Fit for movement?

Bilers evne til at køre hurtigt og ubesværet i bakket terren afhænger bl.a. af motorens effekt, men også bilens vægt har betydning. Noget tilsvarende gør sig gældende for vægten af menneskekarosseriet og effekten af menneskemotoren.

En stor person har større blodmængde, større lunger, muskelmasse etc. sammenlignet med en lille person. Derfor har en stor person (alt andet lige) sædvanligvis en større maksimal iltoptagelseshastighed, dvs. en større maksimal (aerob) effektomsætning end en lille person. En stor person har imidlertid også en større kropsmasse at skulle bevæge. Et godt mål for forskellige personers evne til at bevæge sig i forhold til sine omgivelser er netop den maksimale iltoptagelseshastighed pr. kg legemsvægt, som også kaldes konditallet. Konditallet er i princippet et mål for den specifikke aerobe effekt – effekten pr. masse med enheden W/kg.

Et ikke prangende kondital

En person, der vejer 50 kg, og som har en maksimal iltoptagelseshastighed på 2.000 mL pr. minut, har et kondital på

$$K = \frac{2.000 \frac{\text{mL}}{\text{min}}}{50 \text{ kg}} = 40 \frac{\text{mL}}{\text{kg} \cdot \text{min}}$$

Til direkte bestemmelse af konditallet kræves specialudstyr.

Konditallet

- den maksimale iltoptagelseshastighed pr. kg legemsvægt

$$K = \frac{V_{O_2, \max}}{\Delta t \cdot m}$$

Store biler og store kroppe.



Bestemmelse af kondital

Bestemmelse af kondital

Man kan bestemme konditallet på mange forskellige måder. Af definitionen fremgår det, at man skal måle den maksimale iltoptagelseshastighed. Det gøres normalt med et ret kompliceret måle- og analyseudstyr.

Heldigvis findes der simplere metoder til måling af konditallet. Vi vil her benytte os af disse:

- Ryhmings step-test
- Harvards steptest
- To-punktstest på ergometercykel
- Coopers løbetest

I Coopers løbetest skal man løbe så langt man kan på 12 minutter. Det er altså den tilbagelagte afstand, der er afgørende for konditallet.

I de tre førstnævnte tests er det pulsen man benytter ved bestemmelse af konditallet. Pulsen i hvile er omkring 60 – 70 hjerteslag/min. Veltrænede personer kan dog have en noget lavere hvilepuls (ca. 40 hjerteslag/min).

Hvis vi begynder at arbejde eller motionere, stiger pulsen, fordi musklerne kræver ekstra ilt. Er man i god form stiger pulsen ikke så meget, som hvis man er i dårlig form. Dette skyldes flere forhold bl.a. større blodmængde og slagvolumen samt bedre udnyttelse af ilten i blodet (større arterio-venøs ilt-differens). Den veltrænede kan binde mere ilt til blodet og behøver derfor ikke at sende lige så meget iltet blod ud til musklerne, som den utrænede er nødt til. Derfor kan antal hjerteslag pr. minut være lavere for den trænede.

Pulsen kan bestemmes med en elektronisk pulsmåler eller manuelt på fx halsen. Hvor meget pulsen stiger, afhænger også af den effekt, hvormed kroppen omsætter energi. Eller sagt på en anden måde, hvor hårdt vi arbejder. I idræt anvendes derfor ofte ordet arbejdsbelastning i stedet for ordet effekt.

Ryhmings steptest

I denne test skal forsøgspersonen træde op på en skammel. Skæmlens højde er for mænd 40 cm og for kvinder 33 cm. Efter ca. 6 minutter er pulsen nogenlunde konstant. Pulsen bestemmes umiddelbart efter.

Arbejdet udføres i takt til en metronom, der indstilles til 90 slag pr. minut. Forsøgspersonen skal foretage op- og nedstigningen i løbet af 4 slag. Udførelsen af arbejdet kræver en vis energiomsætning og dermed en bestemt mængde ilt. Den person, der har den laveste puls, transporterer derfor mest oxygen rundt i kroppen pr. hjerteslag og siges derfor at være i den bedste form.

Til bestemmelse af konditallet benyttes et nomogram. Nomogrammet indeholder tre variable.

- Pulsen
- Personens masse
- Den maksimale iltoptagelseshastighed

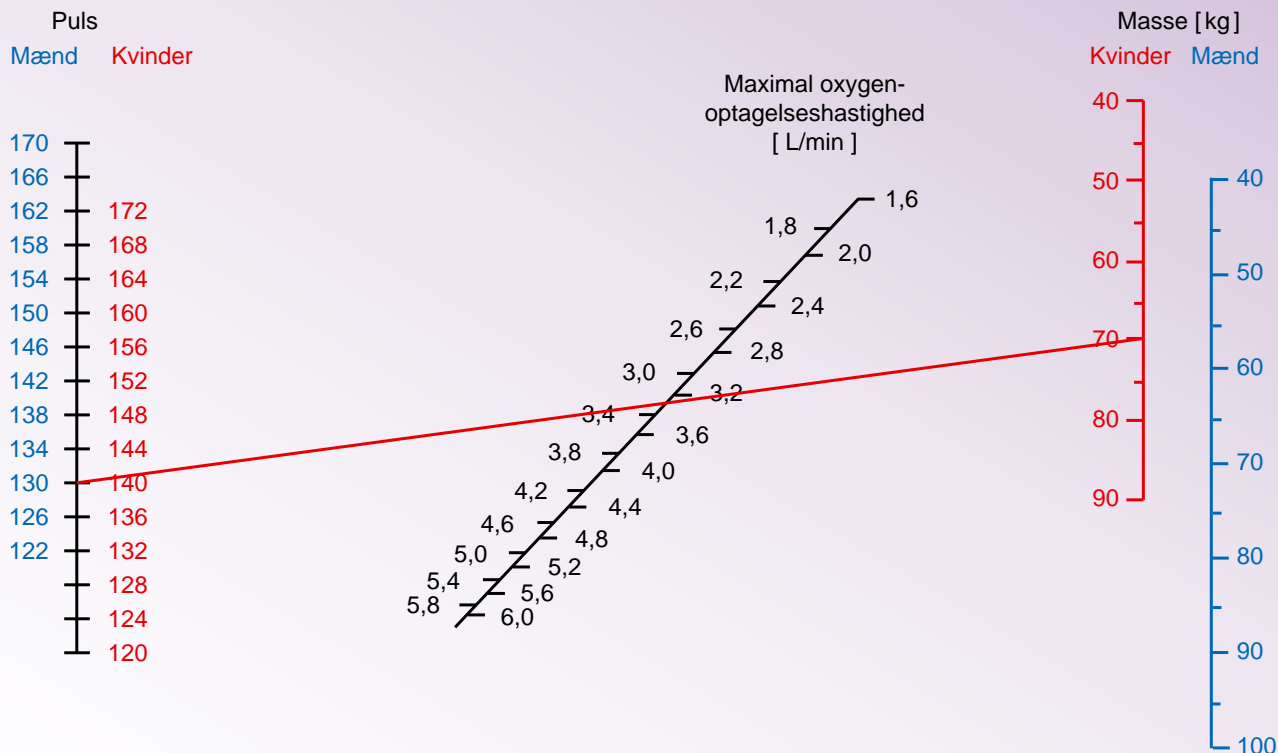
I testen kendes pulsen og personens masse. Disse to værdier markeres i diagrammet og forbindes med en ret linje. Herefter aflæses den maksimale oxygenoptagelseshastighed. Konditallet findes herefter ud fra definitionen.

Christoffers kondital

Ved Ryhmings steptest har man målt Christoffers puls til 162 efter de 6 minutters arbejde. Christoffer har lige vejlet sig og har en vægt på 70 kg. På nomogrammet på næste side den maksimale iltoptagelseshastighed aflæses til 2,8 L/min.

Dette giver Christoffers kondital

$$K = \frac{2.800 \frac{\text{mL}}{\text{min}}}{70 \text{ kg}} = 40 \frac{\text{mL}}{\text{kg} \cdot \text{min}}$$



Harvard steptest

I denne test skal en person træde op og ned af en skammel 30 gange i minuttet. Man skal helst have to skamler. En skammel til de mindste (under 160 cm) på 35 cm og til de høje (over 180 cm) på 50 cm. Til at holde takten bør man benytte en metronom. Har man ikke en metronom, kan man få en person til fx at sige *op* hvert andet sekund.

Forsøgspersonen skal træde op og ned af skamlen i fire minutter. Herefter sætter personen sig ned og slapper af i ét minut. Pulsen måles i 30 sekunder, og der holdes pause i 30 sekunder. Dette gentages tre gange.

Når man har målt pulsen de tre gange, kan man beregne det såkaldte *Fitness Index* (FI)

$$FI = \frac{\text{Arbejdstid i sekunder}}{\text{Puls}_1 + \text{Puls}_2 + \text{Puls}_3} \cdot 100$$

Hvis forsøgspersonen må give op efter fx 3 min = 180 s, er dette arbejdstiden i formlen. Læg også mærke til, at det ikke er den øjeblikkelige puls, man måler, men det er det samlede antal pulsslæg i et halvt minut, der tælles.

Isabellas Fitness Index

Isabella har fået målt pulstællingerne til 65, 54 og 43.

$$FI = \frac{240}{2 \cdot (65 + 54 + 43)} \cdot 100 = 74$$

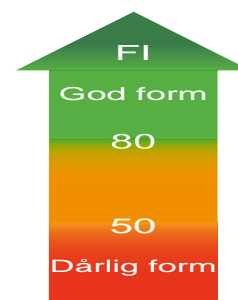
Dette FI-index, som er middelhøjt, finder man ved mange gymnasiepigere. Ligger tallet omkring 50 er man i dårlig form, mens man er i god form, hvis man har et Fitness Index over 80.

Nomogrammet indeholder tre variable – puls, maksimal ilt-optagelseshastighed og masse. Man ser, at en 70 kg tung kvinde med en puls på 140 har en maksimal ilt-optagelseshastighed på 3,3 L/minute.

Forsøgsgangen i Harvard steptest kan beskrives således:

Op og ned af skamlen i

4 min	Puls 1 måles
4,5 min	Hvile
5 min	Puls 2 måles
5,5 min	Hvile
6 min	Puls 3 måles
6,5 min	



To-punktstest på ergometercykel

Man kan på forskellig vis bestemme konditallet ved brug af en ergometercykel. I alle testene gælder det om at udføre et bestemt arbejde inden for et bestemt tidsrum og at måle pulsen ved denne arbejdsbelastning.

Her benyttes den såkaldte to-punktstest, hvor konditallet bestemmes ved to forskellige arbejdsbelastninger. Ved begge arbejdsbelastninger cykles i ca. 6 minutter før pulsen bestemmes. Ved første belastning skal pulsen ligge på 100 – 130 slag/min. Ved den anden belastning skal pulsen ligge 30 – 50 slag/min højere.

Konditallet for slank, 18-årig

Lad os nu bestemme konditallet for en person på 18 år, som vejer 60 kg. Han cykler ved arbejdsbelastningerne 100 W og 200 W. Pulsen ved de to forskellige arbejdsbelastninger er målt til

P	100 W	200 W
Pulsslag	100 slag/min	148 slag/min

Ved denne metode gøres nogle antagelser, som har vist sig at være rimelige.

- Der er en lineær sammenhæng mellem pulsen og den effekt, personen cykler ved (arbejdseffekten).

De to punkter afbildes derfor i et koordinatsystem med effekten P ud ad 1.aksen og pulsen ud ad 2.aksen. Man kan sagtens lade personen arbejde ved i alt 4 – 5 belastninger. Det vil give flere punkter til bestemmelse af den bedste rette linje.

- Forsøgspersonens maksimale arbejdspuls sættes til 220 minus alderen.

Den maksimale arbejdspuls er altså $220 - 18 = 202$. På grafen indtegnes nu denne pulsværdi. Den maksimale effekt $P_{\max} = 308 \text{ W}$ bestemmes ud fra det punkt på grafen, der svarer til den maksimale arbejdspuls.

- Nyttetvirkningen ved cykling er 23 % .

Den samlede effekt, som forsøgspersonen yder, er derfor

$$P_{\text{person}} = \frac{P_{\max}}{\eta} = \frac{308 \text{ W}}{0,23} = 1.340 \text{ W}$$

Der er altså et spild på 1.032 W.

- Hvilestofskiftet sættes til 1,2 W pr. kg legemsvægt.

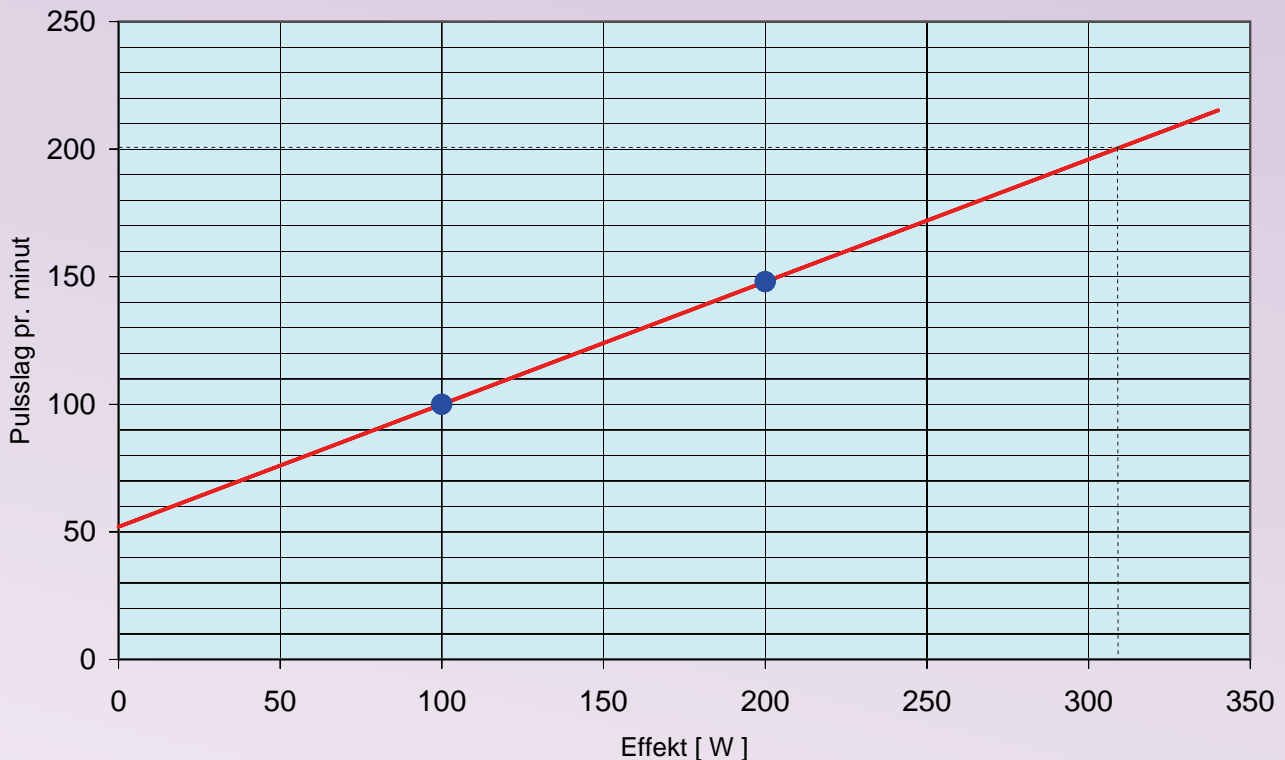
Ud over de 1.340 W, som cyklingen kræver, skal kroppens øvrige funktioner selvfølgelig også fungere, så hvilestofskiftet skal adderes til P_{person} .

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



To-punktstest på ergometercykel.

Puls som funktion af den ydede effekt



Der er en lineær sammenhæng mellem pulsen og arbejds effekten.

Den totale effekt, P_{total} , er derfor

$$P_{\text{total}} = P_{\text{person}} + P_{\text{hvile}} = 1.340 \text{ W} + 72 \text{ W} = 1.412 \text{ W}$$

- For at omsætte 20 J, skal kroppen optage 1,0 mL ilt.

Da kroppen således omsætter 1.412 J/s, kan man bestemme den samlede mængde ilt, kroppen skal bruge pr. sekund

$$\frac{V_{\text{O}_2}}{\Delta t} = \frac{P_{\text{total}}}{20 \frac{\text{J}}{\text{mL}}} = \frac{1.412 \frac{\text{J}}{\text{s}}}{20 \frac{\text{J}}{\text{mL}}} = 71 \frac{\text{mL}}{\text{s}}$$

Når man skal beregne konditallet skal man kende iltoptagelse pr. minut pr. kg legemsvægt. Den samlede iltoptagelse pr. minut er derfor

$$\frac{V_{\text{O}_2}}{\Delta t} = 71 \frac{\text{mL}}{\text{s}} \cdot 60 \frac{\text{s}}{\text{min}} = 4.260 \frac{\text{mL}}{\text{min}}$$

Konditallet findes nu ud fra forsøgspersonens masse, m , som er 60 kg.

$$\text{Kondital} = \frac{V_{\text{O}_2}}{\Delta t} = \frac{4.260 \frac{\text{mL}}{\text{min}}}{60 \text{ kg}} = 71 \frac{\text{mL}}{\text{kg} \cdot \text{min}}$$

Coopers løbetest

I denne test gælder det blot om at løbe så langt man kan på 12 minutter. Jo længere man løber, jo bedre er ens kondital. Hvis man løber en strækning s (i km) på 12 minutter kan konditallet beregnes efter formlen

$$\text{Kondital} = \frac{((s - 0,6)^2 + 3,48)}{0,16}$$

Maria og Thomas løber en Cooper-test

I løbet af de 12 minutter løber den rimelig utrænede Maria 2.150 m, mens Thomas, som dyrker triathlon kommer helt op på at løbe 3.450 m. Det giver

Maria

$$\text{Kondital} = \frac{((2,150 - 0,6)^2 + 3,48)}{0,16} = 37$$

Thomas

$$\text{Kondital} = \frac{((3,450 - 0,6)^2 + 3,48)}{0,16} = 72$$



En Coopertest løbes bedst på et atletikstadion, da det her er nemt at bestemme distancen.

Et godt kondital – en stor fordel !

Man kan spørge sig selv, hvorfor det er vigtigt, at have et godt kondital. Konditallet benyttes som et mål for den form, som en person med en given alder er i. Tabellen på næste side viser vurderingen af kondital for mænd og kvinder i forskellige aldre.

Relativt hårdt belastet?

Prøv at tage din puls efter at have taget trapperne eller løbet i let tempo et kort stykke tid. Sandsynligvis ligger din puls i intervallet 120 – 160 slag pr. minut. Nu tænker du måske – *og hvad så?*

Det er faktisk ikke uden betydning, i hvilken ende af intervallet man ligger, som nedenstående beregninger viser.

Alt er relativt – også træningsindsatsen

Som vist tidligere følges puls og iltoptagelseshastighed pænt ad når de afbildes som funktion af den effekt, man arbejder med, se figurer på side 17 og 25.

Den maximale aerobe effekt en person kan arbejde med, svarer til personens maximale puls. Den maximale puls falder med alderen og kan beregnes som 220 minus alderen. Et mål for den rela-

tive effekt (relative belastning) man arbejder med udtrykt i %, kan vurderes som forholdet mellem den puls man har under arbejdet og den maximale puls.

For en 20-årig person er den maximale puls $(220 - 20)$ pr. min = 200 pr. min. For føromtalte lette løb betyder en arbejds-puls på 120 pr. min, at vedkommende arbejder med en relativ belastning på $(120/200) \cdot 100 \% = 60 \%$. Hvis pulsen er 160, fås tilsvarende, at den relative belastning er 80 %.

En mere realistisk realistisk vurdering får man, hvis man trækker hvilepulsen fra i både tæller og nævner. Med denne beregningsmetode fås:

$$\frac{120 - 60}{200 - 60} \cdot 100 \% = 43 \%$$

Hvis pulsen er 160 fås 71%. Jo større procentdel af ens maximale effekt man arbejder med, jo hårdere føles arbejdet. Med en dårlig kondition vil selv forholdsvis let arbejde føles anstrengende og resultere i en relativ høj puls.

Læs lige næste afsnit inden du måske igen tænker:

– *og hvad så?*

Normalbefolkning, mænd

Alder	Meget lavt	Lavt	Middel	Højt	Meget højt
5–14	< 38	39–43	44–51	52–56	> 57
15–19	< 43	44–48	49–56	57–61	> 62
20–29	< 38	39–43	44–51	52–56	> 57
30–39	< 34	35–39	40–47	48–51	> 52
40–49	< 30	31–35	36–43	44–47	> 48

Normalbefolkning, kvinder

Alder	Meget lavt	Lavt	Middel	Højt	Meget højt
5–14	< 34	35–39	40–47	48–51	> 52
15–29	< 28	29–34	35–43	44–48	> 49
30–39	< 27	28–33	34–41	42–47	> 48
40–49	< 25	26–31	32–40	41–45	> 46

Alle hjerter slår omkring 1 milliard gange!



Sammenligner man hjertepumpemotoren og massen af forskellige pattedyr, får man et overraskende resultat. I nedenstående tabel er oplyst data fra udvalgte pattedyr, hvis masser varierer fra 60 g til 5.000 kg.

Ved at være i god kondition – dvs. have et godt kondital vil ens hvile- og arbejds puls være lavere i det meste af døgnets 24 timer, sammenlignet med hvis man ikke er i form. Denne *besparelse i pulsslæg* overstiger langt den *merudgift i pulsslæg*, man har i forbindelse med konditionstræning!

Dyr	Masse kg	Puls min ⁻¹	Middel- levetid år
Hamster	0,060	450	3
Kanin	1	205	9
Kat	2	150	15
Hund	5	90	15
Menneske	90	60	70
Gris	150	70	25
Ko	800	65	22
Hest	1.200	44	40
Elefant	5.000	30	70



Menneskekroppen som motor er et ud af en række hefter med undervisningsmateriale udarbejdet til Naturvidenskabeligt grundforløb. Hæftet er udformet, så det også kan anvendes i Almen studieforberedelse og i individuelle fag. Hæftets afsnit lægger i høj grad op til et samarbejde med andre fag.

Hæftet introducerer nogle grundlæggende naturvidenskabelige begreber og giver mulighed for samarbejde mellem de naturvidenskabelige fag, men der kan også laves forskellige undervisningsforløb, som vægter fagene forskelligt. Til hæftet er knyttet en hjemmeside

www.nfa.fys.dk

hvor det er muligt at finde yderligere datamateriale, forslag til undervisningsforløb, eksperimentelle undersøgelser, opgaver og uddybninger.

Naturvidenskab for alle

er udgivet af Fysikforlaget med støtte fra Hovedstadens Udviklingsråd og Undervisningsministeriets tips/lottomidler.

Redaktion, illustrationer og layout:
Niels Elbrønd Hansen

Produktionsgruppe:
Bjarne Jeppesen,
Erik Bruun Olesen

Tryk:
Budolfi Tryk, Aalborg

Oplag: 13.500

Forsidefoto:
Trine Flensborg, Sparta,
DM i Atletik 2000

Bagsidefoto:
Mie Elmegaard, Lange-
lands Cykelmotion,
H.C.Andersen Maraton 2006

Billedleverandører:

Erik Bruun Olesen – alle på nær
Lars Tobias Børsting – side 14
Niels Elbrønd Hansen – side 7c
Benny Larsson – side 21
SPORTS FOTO Aps – side 12/13

Forlaget har søgt at finde frem til alle rettighedshavere i forbindelse med brug af billeder. Skulle enkelte mangle, vil der ved henvendelse til forlaget blive betalt, som om aftale var indgået.

Salg: Lmfk-Sekretariatet
Slotsgade 2, 3. sal
2200 København N
www.lmfk.dk
Tlf. 35 39 00 64

www.nfa.fys.dk

ISSN 1901-869X