

## Energiomsætning i hvile og under muskelarbejde. Nyttevirkning.

### Neutralitetsregulering.

#### Formål:

- 1) At bestemme energiomsætningshastigheden i hvile og under muskelarbejde, herunder at bestemme nyttevirkningen under muskelarbejde
- 2) At bestemme konditalet ( $\dot{V}_{O_2 \text{ max}}$ ) direkte og indirekte
- 3) At bestemme  $O_2$ -gælden efter arbejde.
- 4) Undersøgelse af "arterielle"  $P_{O_2}$ ,  $P_{CO_2}$  og pH værdier under muskelarbejde.
- 5) At demonstrere respiratorisk acidose og alkalose samt metabolisk acidose på forsøgspersonen.
- 6) At illustrere begrebet "respiratorisk steady state"
- 7) At illustrere sammenhængen mellem ventilation, alveolær ventilation, skadeligt rum, respirationsfrekvens, alveolære  $O_2$ - og  $CO_2$ -fraktioner og -tensioner,  $O_2$ -optagelse,  $CO_2$ -afgift og puls.

#### Resultater og databehandling:

For alle værdier, der er udregnet er i øvelsesvejledningen angivne formler benyttet.

Resultater og beregninger til Energiomsætningsøvelsen			
Hold: 408		Dato: onsdag d. 14. december	
Forsøgspersonens navn: Christian Eismark			
Køn: M	Alder (år): 21	Højde: 176 cm	Vægt: 69 kg
Siddehøjden til os hyoideum: 66 cm		Beregnet dødt rum: $V_{D-mænd} = 140 + 7 \cdot (\text{siddehøjde} - 68) + 70(\text{mundstykket}) \Leftrightarrow$ $V_{D-mænd} = 140 + 7 \cdot (66 - 68) + 70 = 196\text{ml}$	
Barometerstand, kPa: 99,3	Barometerstand, mm Hg: 745	Rumtemperatur: 19 grader	Pers. overflade: 1,85 m <sup>2</sup>
P <sub>H20</sub> , rum tp 2,2 kPa		P <sub>H20</sub> , rum tp : 16,477 mmHg	
P <sub>H20 37C</sub> : 6,3 kPa		P <sub>H20 37C</sub> : 47,067 mmHg	

**Skema 2:**

	Hvile	Hyper-ventilation	"6% CO <sub>2</sub> " Målt FICO <sub>2</sub>	Arbejde		Iltgæld			Enhed
				1	3	1	2	3	
Opsamlings-periodens længde	7,5	5	5	5	5	5	5	5	Min
Puls	78	97	68			86	78	77	Min <sup>-1</sup>
Antal respirationer	98	210	68	76	93				
Respirationsfrekvens	13	42	13,6	15,2	18,6				Min <sup>-1</sup>
V <sub>E,ATPS</sub>	79,3	241,5	82,7	105,3	214,7	91,4	57,9	49	L
V <sub>E,STPD</sub>	71,1	216,4	74,1	94,4	192,4	81,9	51,9	43,9	L
V <sub>E,BTPS</sub>	79,3	241,4	82,7	105,3	214,6	91,4	57,9	49	L
V <sub>T,BTPS</sub> = V <sub>E,BTPS</sub> * (respirationer) <sup>-1</sup>	0,81	1,15	1,22	1,39	2,31				L
$\dot{V}_{E,BTPS} = V_{E,BTPS} * \text{(varighed)}^{-1}$	15,9	48,3	16,5	21,1	42,9	18,3	11,6	9,8	L*m in <sup>-1</sup>
$\dot{V}_{E,STPD} = V_{E,STPD} * \text{(varighed)}^{-1}$	9,5	43,3	14,8	18,9	38,5	16,4	10,4	8,8	L*m in <sup>-1</sup>
$\dot{V}_{A,BTPS} = (V_{T,BTPS} - V_{D,BTPS}) * \text{frekvens}$	8	40,1	13,9	18,1	39,3				L*m in <sup>-1</sup>

**Skema 3: Luft**

	Hvile	Hyper-ventilation	"6% CO <sub>2</sub> "	Arbejde		Iltgæld			Enhed
				1	3	1	2	3	
P <sub>ECO2</sub>	2,65	1,65	5,15	3,63	4,41	3,45	3,02	2,99	kPa
F <sub>ECO2</sub>	2,9	1,8	5,5	3,9	4,7	3,7	3,2	3,2	%
P <sub>EO2</sub>	16,4	18,2	16,6	15,0	14,6	16,0	16,1	15,9	kPa
F <sub>EO2</sub>	17,7	19,5	17,9	16,1	15,7	17,2	17,3	17,0	%
F <sub>EN2</sub> = 100%-F <sub>EO2</sub> -F <sub>ECO2</sub>	79,4	78,7	76,6	80	79,6	79,1	79,5	79,8	%
F <sub>ACO2</sub>	5,7	2,1	5,4	4,5	5,1				%
F <sub>AO2</sub>	35,2	23,5	21,3	18,7	17,1				
P <sub>ACO2</sub> = F <sub>ACO2</sub> * (P <sub>B</sub> - 6,3)	5,3	2	5	4,2	4,8				kPa
P <sub>AO2</sub> = F <sub>AO2</sub> * (P <sub>B</sub> - 6,3)	32,7	21,8	19,8	17,4	15,9				kPa
V <sub>I,STPD</sub> = V <sub>E,STPD</sub> * F <sub>EN2</sub> * (F <sub>IN2</sub> ) <sup>-1</sup>	9,5	43,1	14,5	19,1	38,8	16,4	10,4	8,9	L*m in <sup>-1</sup>

### Skema 4 Udregning

	Hvil e	Hyper- ventilatio n	”6% CO <sub>2</sub> ”	Arbejde		Iltgæld			Enhe d
				1	3	1	2	3	
$V_{O2}=V_{I,STPD}*F_{IO2}-V_{E,STPD}*F_{EO2}$	0,32	0,61	0,38	0,97	2,1	0,63	0,4	0,37	L*mi n <sup>-1</sup>
$V_{CO2}=V_{ESTPD}*F_{ECO2}-V_{I,STPD}*F_{ICO2}$	0,27	0,77	-0,05	0,73	1,8	0,6	0,3 3	0,28	L*mi n <sup>-1</sup>
$R=V_{CO2}*(V_{O2})^{-1}$	0,84	1,25	-0,31	0,75	0,86	0,96	0,8 3	0,75	
Hvilestofskiftet	6,65								kJ*mi n <sup>-1</sup>
Basalstofskiftet =39,4									kcal* m <sup>-2</sup> *tim e <sup>-1</sup>
									kJ*mi n <sup>-1</sup>
Energiomsætning under arbejde				19,7	43,3				kJ*mi n <sup>-1</sup>
Nyttevirkning				0,15	0,21				

### Skema 5 Blod

	Hvil e	Hyper- ventilatio n	”6% CO <sub>2</sub> ” Målt FICO <sub>2</sub>	Arbejde		Iltgæld			Enhed
				1	3	1	2	3	
Blodprøve nr.	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5			B-6	
pH	7,40 7	7,487	7,339	7,389	7,36 2			7,37 1	
P <sub>CO2</sub>	4,31	3,27	5,14	4,45	4,53			4,27	kPa
P <sub>O2</sub>	7,72	6,8	13,6	10,1	10,7			16,4	kPa
HCO <sub>3</sub> -(akt) [HCO <sub>3</sub> ]	19,9	18,4	20,2	19,7	18,8			18,1	Mmol* l <sup>-1</sup>
CO <sub>2</sub> (total i plasma) [TCO <sub>2</sub> ]	39,5	36,2	41,6	39,8	38			36,9	Vol %*
BE (i blod) [ABE]	-3,3	-3,2	-4,6	-4,0	-5,3			-5,8	Mmol* l <sup>-1</sup>
BE (hele org.) [SBE]	-3,9	-4,5	20,6	-4,4	-5,6			-6,2	Mmol* l <sup>-1</sup>
Standard-HCO <sub>3</sub> [SBC]	21,5	21,6	97,3	21,0	20,0			19,7	Mmol* l <sup>-1</sup>
HB's mætningsgrad [SAT]	90%	88,7%	97,3%	94,8 %	95,1 %			98,5 %	

\*vol % = ml gas (STPD) \* 100 ml blod<sup>-1</sup>

### Skema 6:

Sammenhængen mellem ydre arbejde og pulsfrekvens		
Alder: 21 år		Forsøgspersonens navn: Christian Eismark
Periode Watt:	Minut	Puls
50	1	81
	2	85
	3	86
	4	85
	5	88
100	1	103
	2	107
	3	107
	4	105
	5	105
1505	1	121
	2	126
	3	129
	4	126
	5	124

#### 1: Sammenhold de beregnede alveolære gastensioner med de på blodprøverne målte.

Vores beregnede gastensioner (skema 3) fortæller os, at der er højere ilttension i lungerne i forhold til arterierne (skema 5). Dette gør, at vi får ilten til at diffundere fra alveolerne ind til blodet, da det er her ilttensionen er lavest. Der er også tydeligt, at CO<sub>2</sub> tensionen og totalt i plasma stiger, ved 6 % CO<sub>2</sub>. Første opsamling (i hvile) er sket over en periode på 7,5 minut (mener vi, men det vides ikke med sikkerhed præcis hvor lang tid), hvilket kan forklare de lidt høje værdier sammenlignet med de andre.

#### 2: Definer begreberne respiratorisk kvotient = RQ = metabolisk udvekslingskvotient samt respiratorisk udvekslingskvotient = R. Angiv betingelserne for at R = RQ. Den under hyperventilationen ekstra udskilte CO<sub>2</sub> beregnes og sættes i relation til det på blodprøverne fundne i total CO<sub>2</sub>.

RQ er forholdet mellem kroppens faktiske kuldioxiddannelse og iltforbrug.


$$RQ = \frac{V_{CO_2}}{V_{O_2}} = \frac{\text{Cellernes } CO_2 - \text{dannelse}}{\text{Cellernes } O_2 - \text{forbrug}}$$

Ved ren kulhydratforbrænding er RQ=1, ved fedtforbrænding = 0,7 og ved proteinomsætning = 0,8.

Man kan ikke måle RQ, da det vi optager og udskiller gennem respirationen ikke nødvendigvis svarer til forholdet i kroppen. Derfor bruger man normalt R, da kuldioxidudskillelsen og iltoptagelsen gennem ventilationen let kan måles.

R er et forhold mellem to luftflows og er således uden enhed:

$$R = \frac{\dot{V}_{CO_2}}{\dot{V}_{O_2}} = \frac{CO_2 - \text{udskillelse}}{O_2 - \text{udskillelse}}, \text{ dette er selvfølgelig målt på ventilationen.}$$

Ved steady state er  $R=RQ$ . En person kan antages at være i steady state når vedkommende ikke hyper- eller hypoventilerer, når personen er i hvile, eller når koncentrationen af laktat under et arbejde er konstant. Koncentrationen af laktat er konstant såfremt personen arbejder aerobt, ikke afbetaler iltgæld efter arbejdsstop, og startperioden med oparbejdelse af iltdeficit er overstået. 

Vi bruger skema 4 til at bestemme den udskilte  $CO_2$  via lungerne:

$$(V_{CO_2 \text{ hvile}} - V_{CO_2 \text{ hyper}}) \cdot \text{periodelængde} = \left( 0,77 \frac{l}{\text{min}} - 0,27 \frac{l}{\text{min}} \right) \cdot 5 \text{ min} = 2,5l$$


for vores blodprøvesvar:


Her ser vi at  $[TCO_2]$  er faldet med 3,3 vol % (39,5vol%-36,2vol%).

Vi bruger herefter at:

$$\dot{V}_{CO_2} = \text{bloodflow} \cdot CO_{2 \text{ plasma}} = \frac{5500 \text{ ml blod}}{\text{min}} \cdot \frac{3,3 \text{ mL}}{100 \text{ ml blod}} = 181,5 \frac{\text{ml}}{\text{min}}$$


Over en periode af 5 min giver dette:

$$181,5 \frac{\text{ml}}{\text{min}} \cdot 5 \text{ min} = 0,9l \quad \text{$$

Dette afspejler mængden af  $H_2CO_3$  og  $HCO_3^-$ , der forsvinder under hyperventilation. Dette stemmer fint overens med, at vores bicarbonatbuffer forsøger at regulere pH tilbage til 7,4. Vi kan se at vores kuldioxidtension er faldet ved at kigge på  $pCO_2$  fra blodprøverne, hvor det fremgår at denne er faldet med:  $4,31 \text{ kPa} - 3,27 \text{ kPa} = 1,03 \text{ kPa}$ , hvilket igen støtter op omkring vores teori, der siger, at bufferligningen vil gå imod dannelsen af mere  $CO_2$  for at få pH tilbage til udgangspunktet, hvorfor vi nødvendigvis må få lavere koncentrationer af  $H_2CO_3$  og  $HCO_3^-$ . Desuden ses der at pH er lidt forhøjet ved hyperventilationen, hvilket igen støtter op omkring resultatet, da vores voluminer ikke passer giver det mening, at kroppen endnu ikke selv vha. Bikarbonatbufferen har dannet den samme mængde  $CO_2$ , der kræves for at udligne pH og dermed den tabte mængde  $CO_2$  gennem respirationen. 

### 3: Redegør for hvordan det vil gå med $CO_2$ udskillelse og RQ under fortsat hyperventilation.

Forekommer der under forsøget andre situationer, hvor R er anderledes fra RQ? Redegør for hvordan det vil gå med forholdet mellem R og RQ hvis varigheden af sådanne situationer udstrækkes.

Under fortsat hyperventilation vil  $CO_2$  udskillelsen fortsætte og til sidst skabe en respiratorisk alkalose, der så vil føre til et fald i  $CO_2$  udskillelsen. RQ er under hyperventilation mindre end R, og vil ikke ændre sig derfra. 

Ved forsøget med 6 % CO<sub>2</sub> er R mindre RQ, da diffusionskraften henover alveolevæggen bliver mindre for CO<sub>2</sub>. Personen vil begynde at hyperventilere, og på den måde få normaliseret forholdet mellem R og RQ.

### Angiv størrelsen af organismens depoter af O<sub>2</sub> og CO<sub>2</sub>:

Vi antager: at FRC=2,7 L

30 % af blodet er arterielt og 70 % er venøst.

#### Iltdepoter

$$\text{Lungerne: } FRC \cdot F_{AO_2} = 2,7L \cdot 0,352 = 950ml$$

$$\text{Bundet til arterielt hæmoglobin: } 0,3 \cdot V_{blod} \cdot 200 \frac{ml_{O_2}}{l} = 0,3 \cdot 5,5l \cdot 200 = 330ml$$

$$\text{Bundet til venøst hæmoglobin: } 0,7 \cdot V_{blod} \cdot 150 \frac{ml_{O_2}}{l} = 0,7 \cdot 5,5l \cdot 150 \frac{ml_{O_2}}{l} = 577,5ml$$

$$\text{Fysisk opløst: } 0,022 \cdot 1000ml \cdot 40l \cdot \frac{45mmHg}{760mmHg} = 50ml$$

I alt: 1907,5 ml



#### Kuldioxiddepoter:

$$\text{Lungerne: } FRC \cdot F_{ACO_2} = 2,7L \cdot 0,057 = 153ml$$

$$\text{Total CO}_2 \text{ i arterielt blod: } 0,3 \cdot V_{blod} \cdot 500 \frac{ml_{CO_2}}{l} = 0,3 \cdot 5,5l \cdot 500 = 825ml$$

$$\text{Bundet til venøst hæmoglobin: } 0,7 \cdot V_{blod} \cdot 540 \frac{ml_{CO_2}}{l} = 0,7 \cdot 5,5l \cdot 540 = 2079ml$$

$$\text{Fysisk opløst: } 0,022 \cdot 1000ml \cdot 40l \cdot \frac{45mmHg}{760mmHg} = 50ml$$

I alt: 3107 ml+bikarbonat (ca. 20 l)



### 4. Anfør hvor stor iltgælden var efter muskelarbejdet. Redegør for de processer, der kan forklare fænomenet iltgæld.

Vi beregner iltgælden:

$$\text{iltgæld} = \Delta \dot{V}_{O_2} \cdot \text{periodelængde} = (\text{iltoptagelse ved endt arbejde} - \text{iltoptagelse ved hvile}) \frac{1}{\text{min}} \cdot 15 \text{ min} \Leftrightarrow$$

$$\text{iltgæld} = (0,63 - 0,32) \frac{1}{\text{min}} \cdot 15 \text{ min} = 4,65l \Leftrightarrow$$



Ved begyndende muskelarbejde sker en øjeblikkelig stigning i energiforbruget, og dermed iltkravet fra de arbejdende muskler. Da iltoptagelsen er noget tid om at imødekomme kravet fra musklerne, vil der opstå en forskel mellem denne og iltbehovet, hvilket i denne periode benævnes iltdeficiten.

Under disse omstændigheder vil musklerne derfor producere energi fra musklernes ATP- og PCr-lagre, blodets iltdepoter i form af hæmoglobinbunden ilt, myoglobinbunden ilt i musklerne selv, samt anaerob glykolyse.

Efter nogen tid opnås steady state niveauet, hvor iltbehov og iltoptagelse er i ligevægt. Efter endt muskelarbejde vil iltoptagelsen overstige det behov, der stilles af de hvilende muskler. Denne forskel benævnes iltgælden, og opstår, da der skal kompenseres for energidannelsen under perioden med iltdeficit. Under iltgælden resyntetiseres ATP og PCr, lactat omdannes og anvendes til opbygning af glykogen, og hæmoglobin og myoglobin mættes igen med ilt.

Det ses dog, at iltgælden overstiger iltdeficitet, da hvileenergiomsætningshastigheden er øget som følge af øget legemstemperatur og udskillelse af katecholaminer (adrenalin, noradrenalin), der bl.a. øger lipolysen.



**5: Anfør hvilke ændringer i organismens syre-base forhold ses under henholdsvis hyperventilation, CO<sub>2</sub>-ånding samt under og efter muskelarbejde. Diskuter de fundne ændringer i blodgasværdier, pH samt afledte størrelser.**

Bikarbonatbufferreaktionen: 
$$\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$$

Ved hyperventilation vil man opleve en respiratorisk alkalose, idet man udvasker CO<sub>2</sub> fra blodet og ligevægten for reaktionen vil forskyde sig mod venstre og gøre blodet mere basisk. Man kompenserer for dette ved at hæmme sekretionen af H<sup>+</sup> fra samlerørene, der vil genoprette normal blod pH.

Ved 6% CO<sub>2</sub> -indånding ses en respiratorisk acidose, idet man forskyder ligevægten i bikarbonatbufferen mod H<sup>+</sup>.

Dette vil medvirke i en kompensation med sekretion af H<sup>+</sup> fra samlerørene, der vil resultere i en stigning i HCO<sub>3</sub> koncentrationen og derved genoprette normal blod pH.

Under muskelarbejdet ses en metabolisk acidose idet musklerne danner lactat, der kommer i blodbanen og sænker pH.

Der kompenseres for dette ved at øge ventilationen under muskelarbejdet, en såkaldt respiratorisk compensation.

Efter muskelarbejdet vil pH, jf. overstående omkring iltgæld, genoprettes til normal fysiologisk værdi, altså stige mod 7,35-7,4.

**6: Diskuter teorier til forklaring af respirationsændringerne under muskelarbejde med stigende belastning. Redegør for om forsøgsresultaterne kan bidrage til belysning heraf.**

Under muskelarbejde stiger blodkoncentrationen af laktat, hvilket som sagt under anaerob glykolyse ikke kan omdannes til pyruvat hurtigt nok, hvilket fører til den omtalte metaboliske acidose, også kaldet laktatacidose.

Under denne tilstand stiger blodets PCO<sub>2</sub>, hvilket vil føre til en øget diffusion af CO<sub>2</sub> fra over blod-hjerne-barrieren, hvorpå H<sup>+</sup> stiger i CSF (cerebrospinalvæsken) og pH falder dermed. I medulla oblongata sidder centrale kemoreceptorer, der reagerer på ændringer i CSF's [H<sup>+</sup>], hvorpå der sendes signal til respirationsmuskulaturen. I tilfælde af en høj [H<sup>+</sup>] vil respirationen stige, hvorpå der udåndes mere CO<sub>2</sub>, og PCO<sub>2</sub> dermed falder i både CSF og blodet.



**7: Redegør for forskellen mellem plasmas (aktuelle) bicarbonat koncentration og den teoretiske standardbikarbonatkoncentration. Redegør for hvad rationalet er for anvendelsen af begrebet standardbikarbonat:**

Ved standard HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> forstås koncentration af HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> i plasma fra blod i ligevægt, ved 37 °C, med en gasfase med PCO<sub>2</sub> = 40 mmHg og PO<sub>2</sub> = 100 mmHg (dvs. arterielle blod under omstændigheder, hvor de respiratoriske afvigelser er elimineret, og blodet derfor fuldt iltet)

Ved aktuel bikarbonat koncentration forstås aktuelle koncentration af HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> i arterielt plasma ved aktuelle værdier for PCO<sub>2</sub> og PO<sub>2</sub>.

Forskellen ligger altså i de varierende partialtryk for O<sub>2</sub> og CO<sub>2</sub>, der opstår under blodcirkulationen.






**8. Angiv hvad der forstås ved base excess. Redegør for hvorfor forskellen mellem en funden standardbikarbonat værdi og den normale værdi for standardbikarbonat er forskellig fra base excess.**

Base excess defineres som det overskud af baser (inkluderet  $H_2CO_3$ ) som er i blodet sammenlignet med normalt blod (altså den mængde syre som skal tilsættes for at få blodets pH tilbage til 7,4). Base excess kan udregnes med ligningen:


$$\text{Base excess} = 0,93 \cdot \left( [HCO_3^-] - 24,4 + 14,8 \cdot (pH - 7,4) \right)$$

Hvis BE er negativt, er der et overskud af syre.


Det funde værdi for standard- $HCO_3^-$  hos forsøgspersonen i hvile, er 21,5 mM ved  $pH = 7,407$ , hvilket giver et negativt base excess, altstå et overskud af syre! 

Ved hyperventilation i hvile ekspirerer man en større mængde kuldioxid, hvilket medfører at  $P_ACO_2$  falder (og den modsvarende  $P_aCO_2$ ). Dermed stiger blodets pH-værdi, idet at  $H^+$  mindsker gennem bicarbonat-buffersystemets ligning:



Dette leder til respiratorisk alkalose. Bemærk at dette ikke sker ved muskelarbejde, idet der dannes laktat (syre) ved muskelarbejde som modvirker alkalosen. 


**9. Redegør for hvorfor blod til undersøgelse af syre-base parametre skal være arterieblod, taget anaerobt, hepariniseret og kølet hurtigt ned til 0 grader, hvis bestemmelsen ikke kan foretages straks.**

En rask persons arterielle kuldioxid-tension, er parallel med den alveolære kuldioxid-koncentrationen. Målingerne kan ikke udføres på veneblod, idet gassammensætningerne ville være misvisende, idet ilt har afgivits til vævet og koldioxid er optaget. Hepariniseringen udføres for at modvirke koagulering. Blodet køles ned til 0 grader for at standse eventuelle kemiske reaktioner. I øvelsen anlægges venflon, men idet at personens hånd er opvarmet i varmtvandsbad åbnes de arteriovenøse anastomoser så at blodprøverne bliver af arterialiseret blod. Blodet tages anaerobt for at forhindre interaktion med omgivende luft og dermed ændringer i blodets gassammensætning. 

## 10. Redegør for under hvilke forudsætninger EOH kan beregnes af O<sub>2</sub>-optagelseshastigheden.

Sammenhængen mellem iltoptagelse/iltforsbrug og energiomsætningshastighed EOH (stofskifte) findes i den kaloriske ækvivalent (KÆ):

$$K\ddot{A}E = EOH / V_{O_2}$$


Denne ligning gælder ved en steady state, det vil sige ved hvilesituationer og arbejdsituationer med konstant arbejdsintensitet (med undtagelse af de første minutter efter arbejdsstart og høj intensive arbejdsituationer). 

## 11. Kommenter en eventuel forskel mellem det fundne hvilestofskifte og den af tabellen aflæste standardenergiomsætningshastighed (=basalstofskifte=BMR).

Hvilestofskiftet (=hvile-EOH) = BMR, beregnes som produktet af ilts kaloriske værdi ved et givet R

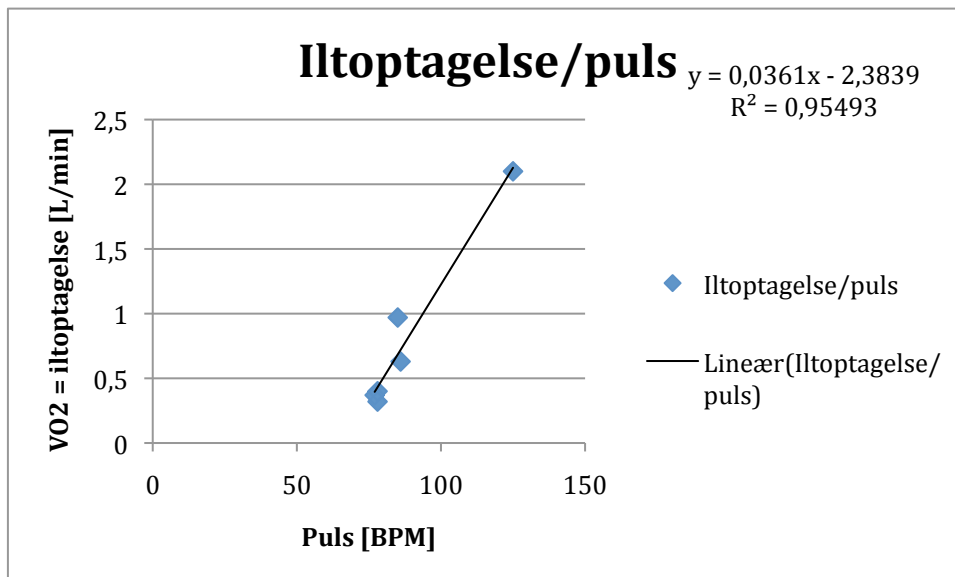
- Stofskifte = O<sub>2</sub>,kalorisk kvotient · V<sub>O<sub>2</sub></sub>

Basalstofskiftet er aflæst til: BMR<sub>forsøgsperson</sub> = 39,4  $\frac{kcal}{time \cdot m^2}$ , dette omregnes til kJ/min:

$$BMR \frac{39,4 \frac{kcal}{time \cdot m^2}}{60 \frac{min}{time}} \cdot 4,186 \frac{kJ}{kcal} \cdot 1,85 m^2 = 5,09 \frac{kJ}{min}$$
 

Denne værdi er rigtigt nok lavere end hvilestofskiftet fra forsøget 6,65  $\frac{kJ}{min}$  (skema 4), hvilket også er logisk, eftersom basalstofskiftet nødvendigvis må være lavere.

**12: Anfør i et diagram sammenhængen mellem puls og iltoptagelseshastighed i hvile, i arbejdsforsøg 1 og 3 samt i de 3 perioder efter arbejdet:**



Sammenhængen mellem iltoptagelse og puls er givet ved en ret linje gennem punkterne:

$$V_{O_2} = 0,0361 \cdot puls - 2,3839$$

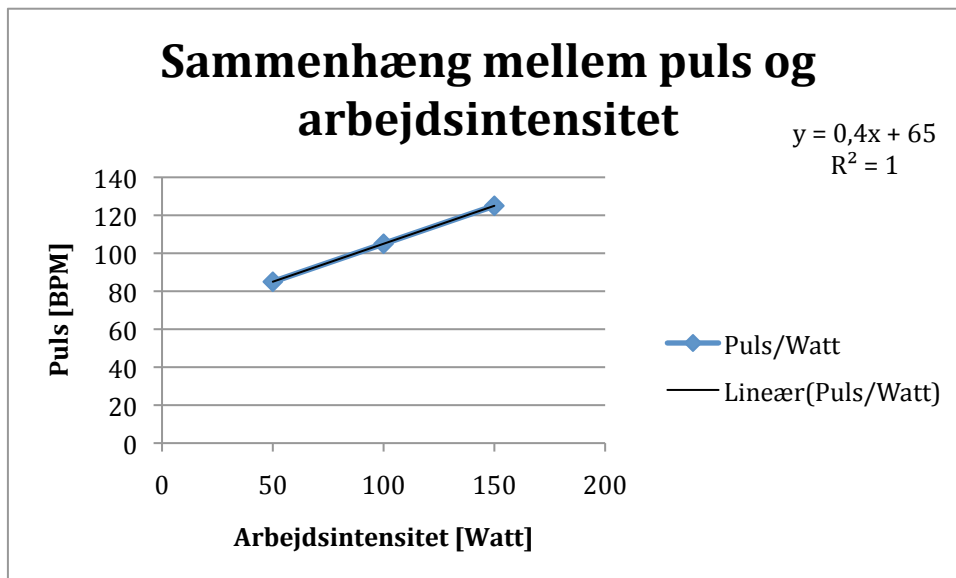
**13: Beregn forsøgspersonens maksimale iltoptagelse pr. kg. pr. minut ("konditallet") og kommenter resultatet (se side 11). Dette skal gøres ud fra de forskellige arbejdsbelastninger (50,100 og 150 W).**

$$\text{Konditallet er defineret som } kondital = \frac{\dot{V}_{O_2 \max}}{\text{kropsvægt}} = \frac{ml \cdot O_2}{\min \cdot kg}$$

Vores persons maxpuls er teoretisk:

$$\text{Maxpuls} = 220 - \text{alder} = 220 - 21 = 199$$

Vi laver et plot over arbejdsintensitet og gennemsnitspuls under de respektive arbejdsintensiteter og får:



Vi kender den teoretiske maxpuls og kan via tendenslinjen udregne os frem til den maksimale arbejdsintensitet:

$$\text{puls} = 0,4 \cdot \text{arbejdsintensitet} + 65 \Leftrightarrow \text{arbejdsintensitet} = \frac{\text{puls} - 65}{0,4} \Leftrightarrow$$

$$\text{maxarbejdsintensitet} = \frac{\text{maxpuls} - 65}{0,4} = \frac{199 - 65}{0,4} = 335 \text{ watt}$$

Vi antager at nyttevirkningen ved cykling er 23 % og at iltens energetisk ækvivalent er 21 kJ/(liter O<sub>2</sub>)

Vi kan herefter udregne personens kondital:

$$\text{fuldarbejdsenergi} = \frac{335 \text{ watt}}{23\%} \cdot 100\% = 1456,52 \text{ watt} = 1456,52 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$


Dette omregner vi til kJ/min:

$$\frac{1456,52 \frac{\text{J}}{\text{s}}}{1000 \frac{\text{J}}{\text{kJ}}} \cdot 60 \frac{\text{s}}{\text{min}} = 87,39 \frac{\text{kJ}}{\text{min}}$$

Vi bruger denne værdi til at finde  $\dot{V}_{O_2 \text{ max}}$ :

$$\dot{V}_{O_2 \max} = \frac{87,39 \frac{kJ}{\min}}{21 \frac{kJ}{lO_2}} = 4,16 \frac{lO_2}{\min} = 4160 \frac{mlO_2}{\min}$$

Herefter kan vi beregne personens kondital:

$$kondital = \frac{\dot{V}_{O_2 \max}}{kropsvægt} = \frac{4160 \frac{ml \cdot O_2}{\min}}{69kg} = 60,3$$



Ifølge tabel 3 i vejledningen ligger et normalt kondital på en mand på 21 år mellem 44-51. Christian har et kondital på 60,3, hvilket er meget højt. Dette passer dog godt på Christian eftersom han dyrker meget motion og løber maraton.

#### **14: Sammenlign den direkte målte maksimale iltoptagelse og den beregnede værdi.**


##### **Diskuter fordele og ulemper ved en direkte vs. indirekte bestemmelse.**

Vi tager den største værdi fra den direkte måling=58,7, mens vi ved den indirekte måling fik 60,3. Det ses at den indirekte måling er en smule højere end den direkte måling.

En direkte måling af forsøgspersonens iltoptagelse, er målt direkte under forsøget. Dette er en langt mere effektiv metode, som kræver færre folk til at udføre. Jo flere der indgår i forsøgsopstillingen, desto mere øges risikoen for fejlkilder og en forkert administration af forsøget. Målingen er en mere invasiv og omfattende end den indirekte.

En indirekte måling er en efterfølgende teoretisk beregnet værdi. Da der evt. kan være fejl i de udregnede værdier, blod- og gasprøverne, tidstagningen, pulstællingen, på- og afmontering af Douglassækken og utætheder i systemer, er denne metode ikke lige så sikker som en direkte måling, men dog mindre omfattende. Desuden laves der kun en submaksimal test ved den indirekte måling. Det vil sige at hele beregningen er lavet under antagelse af, at forsøgspersonens maxpuls er 220-puls. Ergometercyklen tager ikke hensyn til om forsøgspersons muskelmasse i armene, som derfor ikke vil blive udnyttet ved testen. 

#### **15. Andre fysiologiske forhold og problemer med relation til øvelsen, der kan behandles i rapporten:**

i.) Det anatomiske døde rum er den mængde luft der findes i de konduktive luftveje (dvs. næsehulen, mundhulen, svælget, trahea og bronchierne). Det er defineret som et område 



lunge, hvori der ikke sker luftudveksling med blodet. Størrelsen er omkring 150 mL, afhængig af personens højde og størrelse.

Det fysiologiske døde rum omfatter luften fra det anatomiske døde rum, samt fra de alveolære områder. Her sker der ikke nogen udveksling mellem ilt og kuldioxid. Dette skyldes en skæv fordeling af alveolær ventilation og perfusion. Størrelsen af det fysiologiske rum afhænger af perfusion og ventilationsændringer. Denne vil for det meste være konstant. Hos lungesygte patienter kan det fysiologiske døde rums størrelse være øget, grundet uligvægten mellem perfusion og ventilation.



ii.) Nytttevirkningen er forholdet mellem det fysisk udøvet arbejde og den totale energi. Denne vil stige under fysisk arbejde. Faktorer der kan have betydning for nytttevirkningen:

- Arbejdsformen, da nytttevirkningen kan afhænge af arbejdets hastighed og længde.



nytttevirkningen falder med stigende arbejdsintensitet. Hvis træningstilstanden er forbedret, øges nytttevirkningen.

- Mængden af mitochondrier i musklerne.
- Iltmængden (iltindtagelsen kan være nedsat ved obstruktive lungelidelser, såsom kronisk bronkitis og emfysem).
- Luftfugtighed og omgivelsernes temperatur (ved høj luftfugtighed/temperatur vil organismen have sværere ved at udøve hårdt fysisk arbejde, og vil derfor ikke have en høj nytttevirkning).
- 

iii.) Iltoptagelsen er det iltvolumen som kroppen optager fra ventilationen pr. tid. Ilt er perfusionslimeret. Faktorer der øger perfusionen øger også iltoptagelsen. Faktorer der kan begrænse iltoptagelsen ved muskelarbejde:

- Ventilation (i teorien, men der er kun en brøkdel af denne der bliver brugt til at ventilere blodet, resten udåndes med luften).
- Perfusion (den mængde ilt der trænger over blodbanen i alveolerne) Perfusionen kan være nedsat ved forstørret diffusionsvæg, f.eks. ved lungesygdomme som kronisk bronkitis og emfysem.
- Anæmi (hos anæmiker, eller andre bløder sygdomme, hvor mængden af røde blodceller er nedsat). Ilt bindes til hæmoglobin (fire ilt til hver hæmoglobinmolekyle),



og iltoptagelsen er derfor direkte afhængig af hæmoglobinniveauet i blodet. EPO øger dannelsen af røde blodlegemer.

- Hjertets pumpefunktion og cardiac output

#### iiii.) Fysisk udmattelse

Fysisk udmattelse skyldes en intramuskulær ophobning af laktat ud fra pyruvat ved anaerobt arbejde. Under aerob arbejde med en iltoptagelse tæt på det maksimale, vil mangel af energikilderne, altså en utilstrækkelighed af lungerne, hjertet og kredsløbet medfører udmattelse. Glukogendepoterne vil være opbrugt, og der vil blive forbrændt fedt og protein. Da fedt og protein har en mindre kalorisk ækvivalent end kulhydrat, vil en forbrænding af disse give en mindre energi ved samme iltoptagelse, og kroppen vil hurtigere blive udmattet. Når glukogendepoterne er tomme, vil musklerne ikke kunne phosphorylere ADP og AMP til ATP.

Aerob træning vil kunne øge den maksimale iltoptagelse og kondital, og forlænge tiden op til udmattelse. Dette skyldes at der vil være en øget iltlevering til arbejdende muskler og øget iltekstraktion af blodets ilt til musklerne (øget slagvolumen). Det vil medføre en stigning i de oxidative enzymer i muskelfibrenes mitokondrier, og den oxidative energiomsætning er øget. Det vil også øge kroppens evne til at omsætte og udnytte frie fedtsyrer som energikilde, og dermed spare på glykogendepoterne.

#### Træthed

Træthed er et uspecifikt syndrom, der kan skyldes psykiske lidelser eller somatiske sygdomme. Mangel på fysisk aktivitet kan medføre betydelig reduktion i fysisk kapacitet. Da træthed ikke nødvendigvis har noget med Glukose eller ATP mængden at gøre, vil fysisk arbejde generelt ikke være svækket. Udmattelse vil dog finde sted efter hårdt tids arbejde.

BLOGO.I

Time min	Load W	RPM 1/min	HR 1/min	V'E L/min	V'O2 ml/min	V'CO2 ml/min	VO2/kg ml/ min/kg	RER
00:05	0	58	84	16	556	419	8.1	0.75
00:20	100	64	91	20	819	550	11.9	0.67
00:30	100	60	91	17	646	454	9.4	0.70
00:40	100	61	96	25	1062	732	15.4	0.69
00:50	100	61	99	32	1657	1081	24.0	0.65
01:00	100	57	105	32	1515	995	22.0	0.66
01:10	100	55	110	30	1544	1031	22.4	0.67
01:20	100	59	112	27	1438	928	20.8	0.65
01:30	100	56	108	27	1458	936	21.1	0.64
01:40	100	54	108	27	1390	894	20.2	0.64
01:50	100	56	111	25	1277	824	18.5	0.65
02:00	100	56	109	34	1880	1216	27.2	0.65
02:10	100	56	107	34	1641	1157	23.8	0.71
02:20	100	68	118	35	1769	1256	25.6	0.71
02:30	100	66	125	40	1819	1342	26.4	0.74
02:40	100	67	127	48	2132	1633	30.9	0.77
02:50	100	63	123	37	1630	1305	23.6	0.80
03:00	100	75	120	40	1759	1397	25.5	0.79
03:10	100	62	121	48	1736	1546	25.2	0.89
03:20	100	61	117	37	1478	1254	21.4	0.85
03:30	100	55	106	36	1521	1238	22.0	0.81
03:40	100	61	115	43	1690	1416	24.5	0.84
03:50	100	60	121	32	1226	1064	17.8	0.87
04:00	100	59	116	44	1927	1585	27.9	0.82
04:10	100	67	121	39	1615	1339	23.4	0.83
04:20	100	88	127	38	1498	1230	21.7	0.82
04:30	100	80	125	21	999	774	14.5	0.77
04:40	100	72	116	37	1899	1363	27.5	0.72
04:50	100	68	122	38	1772	1328	25.7	0.75
05:00	100	65	116	43	1739	1416	25.2	0.81
05:10	100	71	123	45	2107	1735	30.5	0.82
05:20	145	82	129	49	1839	1578	26.6	0.86
05:30	145	84	131	58	1881	1772	27.3	0.94
05:40	145	84	137	47	1816	1559	26.3	0.86
05:50	145	78	134	52	2036	1753	29.5	0.86
06:00	145	78	137	40	1765	1417	25.6	0.80
06:10	145	84	139	51	2111	1691	30.6	0.80
06:20	190	82	137	52	1918	1688	27.8	0.88
06:30	190	80	141	61	2364	1997	34.3	0.84
06:40	190	83	144	60	2103	1965	30.5	0.93
06:50	190	84	148	62	2291	2097	33.2	0.92
07:00	190	84	148	69	2485	2300	36.0	0.93
07:10	190	87	151	66	2294	2170	33.3	0.95
07:20	235	80	153	69	2516	2311	36.5	0.92
07:30	235	83	155	76	2567	2464	37.2	0.96
07:40	235	84	153	75	2540	2476	36.8	0.97
07:50	235	82	153	71	2492	2386	36.1	0.96
08:00	235	84	155	74	2819	2502	40.9	0.89
08:10	235	87	155	80	2880	2684	41.7	0.93
08:20	280	86	155	81	2796	2691	40.5	0.96
08:30	280	87	157	83	3067	2976	44.4	0.97
08:40	280	87	157	82	3079	3040	44.6	0.99
08:50	280	88	162	86	3119	3110	45.2	1.00
09:00	280	88	162	91	3170	3228	45.9	1.02
09:10	280	90	164	107	3422	3597	49.6	1.05
09:20	325	84	162	109	3370	3660	48.8	1.09
09:30	325	85	164	105	2991	3311	43.3	1.11
09:40	325	87	166	132	3969	4335	57.5	1.09
09:50	325	88	169	128	3586	4060	52.0	1.13
10:00	325	88	166	126	3546	4130	51.4	1.16
10:10	325	96	169	139	3716	4327	53.9	1.16



Time min	Load W	RPM 1/min	HR 1/min	V'E L/min	V'O2 ml/min	V'CO2 ml/min	VO2/kg ml/ min/kg	RER
10:20	370	87	166	139	3682	4323	53.4	1.17
10:30	370	88	171	140	3841	4445	55.7	1.16
10:40	370	93	171	155	3889	4688	56.4	1.21
10:50	370	86	160	147	3708	4554	53.7	1.23
11:00	370	72	171	166	4049	4915	58.7	1.21
11:03	0	7	171	140	3770	4518	54.6	1.20

00:11 **Reference**

05:11 **Test**

11:05 **Recovery**

#### AT table

	Time	Load	HR	V'CO2	V'O2	V'E	RER	VO2/kg
Vslope	08:00	235	155	2502	2819	74	0.89	40.9
RER = 1	08:50	280	162	3110	3119	86	1.00	45.2
EqO2	08:30	280	157	2976	3067	83	0.97	44.4
Manual	08:20	280	155	2691	2796	81	0.96	40.5

XLABLOGO.BMP

Panum Institutet  
XLAB  
Flemming Dela

14/12/2011 11:47:31AM

