

# Maksimalt oksygenopptak

Asbjørn Støylen, Dr. med.

ISB  
NTNU

<http://folk.ntnu.no/stoylen/lectures/#student>

## Innhold:

- Litt arbeidsfysiologi
- Om testen
- Hvordan teste
- Indikasjoner

## Maksimalt oksygenopptak

- Maksimalt oksygenopptak er et mål for organismens maksimale evne til oksygenopptak per tidsenhet og er brukt som en indikasjon på utholdenhetsnivået.
- Den beregnes som regel ved måling av ekspirasjonsvolumet og analyse av konsentrasjonen eller mengden av CO<sub>2</sub> avgitt og O<sub>2</sub> opptatt
- Ved riktig bruk av testprosedyre, O<sub>2</sub>-analysator og annet testutstyr vil usikkerheten ved VO<sub>2</sub>-målingene være på ca ± 2%

## Hvordan måles det?

- Belastningsenhet
  - Tredemølle / sykkel
- Analyseenhet m / programvare
  - Maske/munnstykke pluss slanger
  - Flowanalysator – kalibreres før test
  - Gassanalysator – CO<sub>2</sub> og O<sub>2</sub> – to-punkts kalibreres før test
  - PC
- Kyndig tester som kan utstyret og gjennomføre en protokoll
- For pasienter:
  - Lege
  - EKG
  - Beredskap som ved AKG

## Arbeidsmåtenes betydning for maksimalt oksygenopptak

- Dynamisk arbeid med bruk av store muskelgrupper blir ofte satt som en betingelse for å kunne oppnå VO<sub>2max</sub>
- Løp/gange på tredemølle og bruk av ergometersykkel er de to mest vanlige arbeidsformene.
- VO<sub>2max</sub> på ergometersykkel er vanligvis fra 5-10% lavere enn ved løp/gange i motbakke
- Dersom arbeidet utføres med mindre muskelgrupper vil VO<sub>2max</sub> kunne være 70-90% i forhold til VO<sub>2max</sub>-verdier oppnådd ved jogging i motbakke

## Hvordan utføres testen?

- Sykkel
  - Stabil og målbar belastning
  - Mulig å få blodtrykk
  - Mer stabilt EKG
- Tredemølle
  - Individuelt tilpasset belastning
  - Begrenses ikke av lokal melkesyre i lårene
  - Belaster hjertet mer komplett
  - Lettere å tilpasse alle

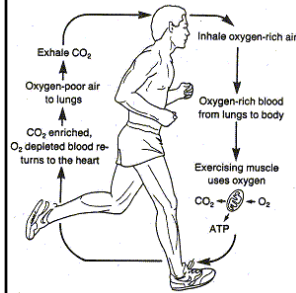
## Forskjeller i maksimalt oksygenopptak

TABLE 6-1  
MEAN VALUES FOR MAXIMAL OXYGEN UPTAKE ATTAINED IN VARIOUS TYPES OF EXERCISE IN ORDINARY AND SPECIALLY TRAINED SUBJECTS.

Type of exercise	Ordinary subjects	Specialy trained subjects
Running uphill	100	100
Arms and legs	100	100-115
Running horizontally	95-98	
Cycling, upright	92-96	100-108
Cycling, supine	82-85	
One leg, upright	65-70	75-80
Arms	65-70	105-115
Step test	97	
Rowing	100	100-115
Skiing	100	100-112
Swimming	85	100

All values are expressed as percentage of the maximal oxygen uptake attained at uphill treadmill running, which represents the 100% reference value. For literature references, see Table 1 in Astrand, 1976, and Chap. 14.

## Oksygenforbruk:



- **Tilbud:**
  - Lunger
    - ventilasjon - diffusjon
  - Hjerte - pumpekapasitet
  - Vasodilatasjon
  - Blod - transportkapasitet
    - Hb
    - Saturasjon
- **Forbruk:**
  - Oksydativ kapasitet
    - Ekstraksjon
    - Oksydativ forbrenning

St. Olav Ergospirometry Report

Last Name: [redacted] First Name: [redacted] ID: 313 Test ID: 335 Date: 24.10.2007 Duration of test: 0:08:20

Time [h:m:s]	Marker	svO2 [l/min]	spec.VO2 [ml/min/kg]	R	svCO2 [l/min]	HR [1/min]	svO2/HR [ml]	VE [l/min]	fb	Eq. O2
0:00:30		0,25	2,15	0,52	0,21	64	2,6	8,0	10	19,2
0:01:00		1,99	17,26	0,88	1,74	103	19,2	50,6	29	25,7
0:01:30		2,80	24,23	0,85	2,38	111	25,2	66,5	29	24,0
0:02:00		2,98	25,80	0,88	2,61	113	26,7	70,8	29	24,0
0:02:30		3,06	26,47	0,89	2,73	114	26,7	74,2	29	24,6
0:03:00		3,10	26,84	0,93	2,87	116	26,7	77,8	30	25,4
0:03:30		3,18	27,54	0,94	2,97	118	27,7	81,7	32	26,0
0:04:00		3,29	29,39	0,97	3,30	123	27,7	91,9	35	27,4
0:04:30		3,69	32,00	0,99	3,67	128	28,9	101,8	37	27,9
0:05:00		3,84	33,31	1,00	3,84	130	29,6	108,9	40	28,7
0:05:30		4,11	35,65	1,01	4,16	134	30,7	119,4	43	29,4
0:06:00		4,70	40,69	1,00	4,71	142	33,1	136,7	48	29,5
0:06:30		4,98	43,19	1,00	4,99	146	34,1	146,9	49	29,9
0:07:00		4,97	43,10	1,03	5,11	151	32,9	154,1	51	31,4
0:07:30		5,02	43,46	1,05	5,25	153	32,8	157,8	52	31,9
0:08:00		5,04	43,70	1,07	5,40	155	32,5	159,6	54	32,1
0:08:20		5,02	43,47	1,09	5,46	157	32,0	158,9	54	32,1

## VE: ventilasjon

- **Total luft (l/min)**
  - Økt i forhold til oksygenopptak ved lungesykdom
  - Maks ventilasjon ( $VE_{max}$ ) måles som % av maks voluntær respirasjon (MVV) - i hvile normalt < 70% av  $VE_{max}$ 
    - Økt hos lungepasienter
    - Ofte nedsatt hos hjertepasienter - NB: Stuvning
  - MVV måles direkte, eller estimeres som  $FEV_1 \times 35$  - krever full spirometri i tillegg

St. Olav Ergospirometry Report

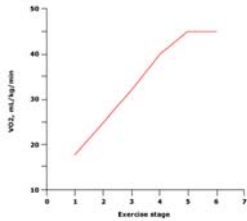
Last Name: [redacted] First Name: [redacted] ID: 313 Test ID: 335 Date: 24.10.2007 Duration of test: 0:08:20

Time [h:m:s]	Marker	svO2 [l/min]	spec.VO2 [ml/min/kg]	R	svCO2 [l/min]	HR [1/min]	svO2/HR [ml]	VE [l/min]	fb	Eq. O2
0:00:30		0,25	2,15	0,52	0,21	64	2,6	8,0	10	19,2
0:01:00		1,99	17,26	0,88	1,74	103	19,2	50,6	29	25,7
0:01:30		2,80	24,23	0,85	2,38	111	25,2	66,5	29	24,0
0:02:00		2,98	25,80	0,88	2,61	113	26,4	70,8	29	24,0
0:02:30		3,06	26,47	0,89	2,73	114	26,8	74,2	29	24,6
0:03:00		3,10	26,84	0,93	2,87	116	26,7	77,8	30	25,4
0:03:30		3,18	27,54	0,94	2,97	118	27,0	81,7	32	26,0
0:04:00		3,29	29,39	0,97	3,30	123	27,5	91,9	35	27,4
0:04:30		3,69	32,00	0,99	3,67	128	28,9	101,8	37	27,9
0:05:00		3,84	33,31	1,00	3,84	130	29,6	108,9	40	28,7
0:05:30		4,11	35,65	1,01	4,16	134	30,7	119,4	43	29,4
0:06:00		4,70	40,69	1,00	4,71	142	33,1	136,7	48	29,5
0:06:30		4,98	43,19	1,00	4,99	146	34,1	146,9	49	29,9
0:07:00		4,97	43,10	1,03	5,11	151	32,9	154,1	51	31,4
0:07:30		5,02	43,46	1,05	5,25	153	32,8	157,8	52	31,9
0:08:00		5,04	43,70	1,07	5,40	155	32,5	159,6	54	32,1
0:08:20		5,02	43,47	1,09	5,46	157	32,0	158,9	54	32,1

## Maks VO<sub>2</sub>

	AT (Vent. Eq.)	svO2 Max.	R = 1
Time	[h:m:s]	0:07:30	0:05:00
svO2	[l/min]	2,99	5,08
spec.VO2	[ml/min/kg]	25,92	44,02
svCO2	[l/min]	2,63	5,32
R		0,88	1,05
VE	[l/min]	71,37	158,98
HR	[1/min]	113	154

## VO<sub>2max</sub> under arbeid

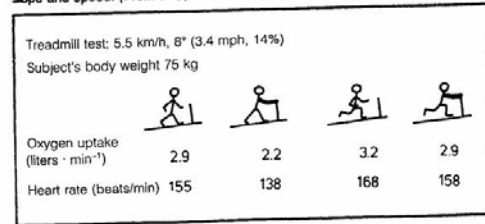


Kriteriet for VO<sub>2max</sub>:

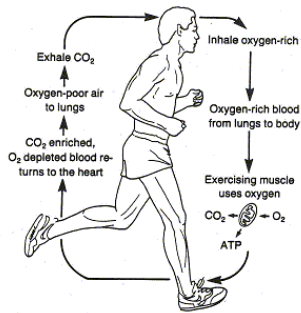
Når VO<sub>2</sub> ikke øker mer (evt. faller) ved en fortsatt økning i arbeidsbelastning benyttes dette som et hovedkriterium på at VO<sub>2max</sub> er nådd

## Men:

**Figure 8-3**  
Factors which influence the oxygen uptake when testing a subject on the treadmill at a given slope and speed. (From P-O, Astrand, 1982.)



## Oksygenforbruk:



- Tilbud
- Lunger
- ventilasjon - diffusjon
- Hjerte - pumpekapasitet
- Blod - transportkapasitet
- Forbruk
- Oksydativ kapasitet
- Ekstraksjon
- Oksydativ forbrenning

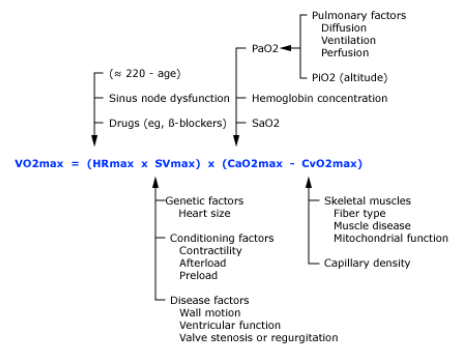
## Ficks formel:

- $VO_2 = CO \times (A-V O_2 \text{ differanse})$
- $VO_2 = CO \times (O_2 \text{ ekstraksjon})$
- VO<sub>2</sub> i hvile er ca 3,5 ml/kg/min = 1 MET
- $VO_{2max} = CO_{max} \times (O_2 \text{ ekstr})$

## Blood flow distribution at rest and at maximal exercise

	Rest (% total)	Max exercise (% total)
Splanchnic	24	1
Skeletal muscle	21	88
Kidneys	19	1
Brain	13	3
Skin	8	2
Heart	3	4

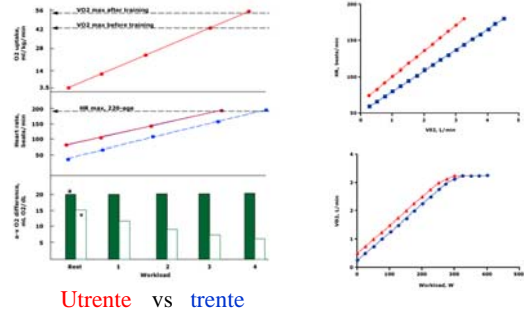
## Begrensninger:



## Hvor ligger begrensningen?

- Lungene gir ingen begrensning hos friske
- Ficks formel:  $VO_{2max} = CO_{max} \times (O_2 \text{ ekstr})$ 
  - $CO_{max} = SV_{max} \times HR_{max}$
- Periferi:
  - Lite utviklet hos utrente, men som regel tilpasset aktivitetsnivået – kondisjon.
  - Pas. med ekstrem aktivitetsbegrensning oftest både sentralt og perifert begrenset.
    - KOLS, Hjertesvikt, Ekstrem inaktivitet (bare perifert)
  - Perifer begrensning kan heves med muskulær utholdenhetstrening

## Trening



Utrente vs trente

## Absolutt (l/min) og relativ (ml/kg/min) $VO_{2max}$

- Prestasjonsevne: relativ
  - Vekten er belastningen.
- Men vektavhengig.
  - Endringer i vekt uten endringer i hjertefunksjon vil påvirke relativ  $VO_{2max}$ .
  - Foreslåtte modifikasjoner – lite brukt:
    - $ml / kg^{0,67} / min$
    - $ml / \sqrt[3]{kg^2} / min$

## Normalverdier menn (ml/kg/min)

Percentile	Age				
	20-29	30-39	40-49	50-59	60+
<i>Men</i>					
90	51.4	50.4	48.2	45.3	42.5
80	48.2	46.8	44.1	41.0	38.1
70	46.8	44.6	41.8	38.5	35.3
60	44.2	42.4	39.9	36.7	33.6
50	42.5	41.0	38.1	35.2	31.8
40	41.0	38.9	36.7	33.8	30.2
30	39.5	37.4	35.1	32.3	28.7
20	37.1	35.4	33.0	30.2	26.5
10	34.5	32.5	30.9	28.0	23.1

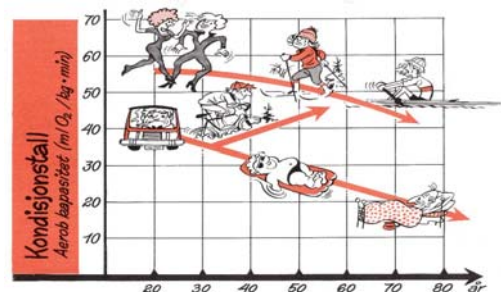
ACSM

## Normalverdier kvinner (ml/kg/min)

Percentile	Age				
	20-29	30-39	40-49	50-59	60+
<i>Women</i>					
90	44.2	41.0	39.5	35.2	35.2
80	41.0	38.6	36.3	32.3	31.2
70	38.1	36.7	33.8	30.9	29.4
60	36.7	34.6	32.3	29.4	27.2
50	35.2	33.8	30.9	28.2	25.8
40	33.8	32.3	29.5	26.9	24.5
30	32.3	30.5	28.3	25.5	23.8
20	30.6	28.7	26.5	24.3	22.8
10	28.4	26.5	25.1	22.3	20.8

ACSM

## Kondisjonen avtar med alderen:



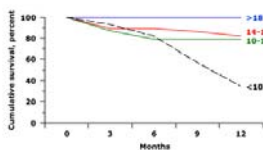
## Reduksjon med alder:

- ↓ HR max
- ↓ Diastolisk funksjon?
- ↓ Systolisk funksjon??
- ↓ Aktivitet!
- ↑ Vekt!

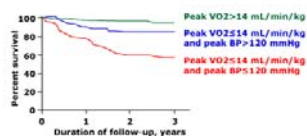
## Arbeidsøkonomi

- Oksygenforbruk på en standard belastning
- Bør måles på en belastning som ligger under anaerob terskel
- Variasjonen i arbeidsøkonomien blant individer som jobber på samme intensitet, varierer normalt med 15%, og i ekstreme tilfeller kan den komme opp i 30%
- Anatomiske egenskaper, mekaniske ferdigheter, nevro-muskulære ferdigheter og lagring av elastisk energi (tekniske ferdigheter).
- Stor betydning for prestasjonsevne, og derved for opplevd fysisk form, spes. viktig for de som har sentrale begrensninger i  $VO_{2max}$

## $VO_{2max}$ og prognose



Mancini et al Circulation 1991



Osada et al, JACC 1998

St. Olav

Phone number: \_\_\_\_\_ Fax: \_\_\_\_\_

### Ergospirometry Report

Last Name: \_\_\_\_\_ Date of Birth: .1956  
 First Name: \_\_\_\_\_ Height [cm]: 187,0  
 ID: 313 Weight [kg]: 115,4  
 Test ID: 335 Date: 24.10.2007 Duration of test: 0:08:20

Time [h:m:s]	Marker	sVO2 [l/min]	spec.VO2 [ml/min/kg]	R	sVCO2 [l/min]	HR [1/min]	sVO2/HR [ml]	VE [l/min]	f <sub>b</sub> [1/min]	Eq. O2
0:00:30		0,25	2,15	0,52	0,21	64	2,6	8,0	10	19,2
0:01:00		1,99	17,26	0,88	1,74	103	19,2	50,6	29	25,7
0:01:30		2,80	24,23	0,85	2,38	111	25,2	66,5	29	24,0
0:02:00		2,98	25,80	0,88	2,61	113	26,4	70,8	29	24,0
0:02:30		3,06	26,47	0,89	2,73	114	26,8	74,2	29	24,6
0:03:00		3,10	26,84	0,93	2,87	116	26,7	77,8	30	25,4
0:03:30		3,18	27,54	0,94	2,97	118	27,0	81,7	32	26,0
0:04:00		3,39	29,39	0,97	3,30	123	27,5	91,9	35	27,4
0:04:30		3,69	32,00	0,99	3,67	128	28,9	101,8	37	27,9
0:05:00		3,84	33,31	1,00	3,84	130	29,6	108,9	40	28,7
0:05:30		4,11	35,65	1,01	4,16	134	30,7	119,4	43	29,4
0:06:00		4,70	40,69	1,00	4,71	142	33,1	136,7	48	29,5
0:06:30		4,98	43,19	1,00	4,99	146	34,1	146,9	49	29,9
0:07:00		4,97	43,10	1,03	5,11	151	32,9	154,1	51	31,4
0:07:30		5,02	43,46	1,05	5,25	153	32,8	157,8	52	31,9
0:08:00		5,04	43,70	1,07	5,40	155	32,5	159,6	54	32,1
0:08:20		5,02	43,47	1,09	5,46	157	32,0	158,9	54	32,1

## Respiratorisk kvotient

		AT (Vent. Eq.)	sVO2 Max.	R = 1
Time	[h:m:s]	0:01:50	0:07:30	0:05:00
sVO2	[l/min]	2,99	5,08	3,88
spec.VO2	[ml/min/kg]	25,92	44,02	33,64
sVCO2	[l/min]	2,63	5,32	3,88
R		0,88	1,05	1,00
VE	[l/min]	71,37	158,98	111,81
HR	[1/min]	113	154	131

## Respiratorisk kvotient $R = VCO_2/VO_2$

- (Glucose)  $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O$   
( $RQ = 1.0$ )
- Name of the substance: RQ
- Carbohydrates:1
- Triolein (Fat): 0.7
- Oleic Acid (Fat): 0.71
- Tripalmitin (Fat): 0.7
- Proteins: 0.8 - 0.9
- Malic acid:1.33
- Tartaric acid:1.6
- Oxalic Acid: 4.0

## Intensitete vs. Kaloriforbrenning

- Lav aerob intensitet: R ≈ 0,7: Fettforbrenning
- Høy aerob intensitet: R ≈ 1,0: Karbohydratforbrenning
- Lav intensitet best for slanking?
- NEI.
  - Høy intensitet: Høyere totalforbrenning
  - KH forbrenning følges av fettforbrenning
  - Høy intensitet følges av mer økt hvileforbrenning
- Studier viser: Høy intensitet forbrenner mer fett over 24 timer

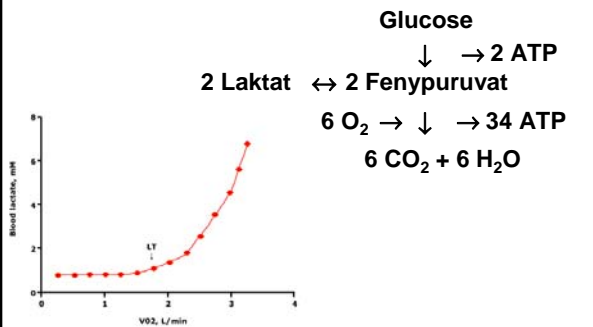
J Ex Physiol online, 8:39-44, 2005

## Anaerob terskel

		AT (Vent. Eq.)	sVO2 Max.	R = 1
Time	[h:m:s]	0:01:50	0:07:30	0:05:00
sVO2	[l/min]	2,99	5,08	3,88
spec.VO2	[ml/min/kg]	25,92	44,02	33,64
sVCO2	[l/min]	2,63	5,32	3,88
R		0,88	1,05	1,00
VE	[l/min]	71,37	158,98	111,81
HR	[1/min]	113	154	131

59% av VO<sub>2max</sub>

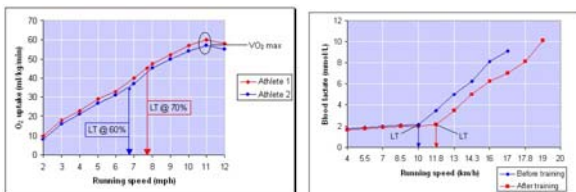
## Anaerob terskel



## Anaerob terskel

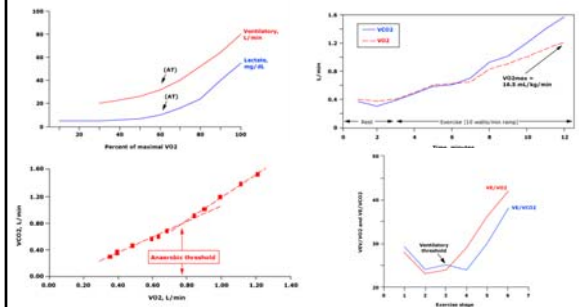
- Når produksjonen av laktat overstiger evnen til å forbrenne den aerobt (perifert).
- Dette gir opphopning av melkesyre. Også selv om intensiteten ikke øker videre. Lokal muskelfatigue.
- Dette skjer før den totale oksydative kapasiteten er brukt opp, så det er fortsatt evne til å øke oksygenopptaket noe.
- Anaerob terskel ligger altså < R=1
- Def: Normalt er Lactat < 2 mmol/l, AT er ved Lactat ≥ 4 mmol/l
- **2Lactate + 2HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> ↔ 2Lactate<sup>-</sup> + 2 H<sub>2</sub>O + 2CO<sub>2</sub>**
- Utlufting av CO<sub>2</sub>
- VE øker mer enn VO<sub>2</sub> – andpusten
- Normalt ca 55%. Kan hos ekstremt utrente ligge < 40% Veltrente oftest > 70%

## Anaerob terskel



**Anaerob terskel: S-Laktat > 2 (4)mmol/l**  
**Anaerob terskel representerer den maksimale intensiteten som kan opprettholdes over tid**

## Anaerob terskel /ventilatorisk terskel



## Hjelpekriterier for $VO_{2max}$

- Respiratorisk utvekslingskvotient (R) på minst 1.05.
- Laktatkonsentrasjon i blodet like etter testen på mer enn 6mM/L.
- Ved  $VO_{2max}$  er HR på ca 95% av  $VO_{2max}$ , dvs.  $HR_{max}$  er gjerne 6 – 10 slag > HR ved  $VO_{2max}$

Ergospirometry Report		Phone number:								
St. Olav		Fax:								
Last Name: ♂	Date of Birth: .1956									
First Name: ID: 313	Height [cm]: 187,0									
Test ID: 335	Weight [kg]: 115,4									
Date: 24.10.2007	Duration of test: 0:08:20									
Time [h:m:s]	Marker	svO2 [l/min]	spec.VO2 [ml/min/k]	R	svCO2 [l/min]	HR [1/min]	svO2/HR [ml]	VE [l/min]	fb	Eq. O2
0:00:30		0,25	2,15	0,52	0,21	64	2,6	8,0	10	19,2
0:01:00		1,99	17,26	0,88	1,74	103	19,2	50,6	29	25,7
0:01:30		2,80	24,23	0,85	2,38	111	25,2	66,5	29	24,0
0:02:00		2,98	25,80	0,88	2,61	113	26,4	70,8	29	24,0
0:02:30		3,06	26,47	0,89	2,73	114	26,8	74,2	29	24,6
0:03:00		3,10	26,84	0,93	2,87	116	26,7	77,8	30	25,4
0:03:30		3,18	27,54	0,94	2,97	118	27,0	81,7	32	26,0
0:04:00		3,39	29,39	0,97	3,30	123	27,5	91,9	35	27,4
0:04:30		3,69	32,00	0,99	3,67	128	28,9	101,8	37	27,9
0:05:00		3,84	33,31	1,00	3,84	130	29,6	108,9	40	28,7
0:05:30		4,11	35,65	1,01	4,16	134	30,7	119,4	43	29,4
0:06:00		4,70	40,69	1,00	4,71	142	33,1	136,7	48	29,5
0:06:30		4,98	43,19	1,00	4,99	146	34,1	146,9	49	29,9
0:07:00		4,97	43,10	1,03	5,11	151	32,9	154,1	51	31,4
0:07:30		5,02	43,46	1,05	5,25	153	32,8	157,8	52	31,9
0:08:00		5,04	43,70	1,07	5,40	155	32,5	159,6	54	32,1
0:08:20		5,02	43,47	1,09	5,46	157	32,0	158,9	54	32,1

## Eq $O_2$ ventilatorisk ekvivalent = $VE / VO_2$

- Hvor mye puster vi pr l  $O_2$  vi bruker
- Økt både i hvile og anstrengelse hos lungepasienter
- Øker gradvis med anstrengelse jfr. Anaerob terskel
- Eq  $O_{2max}$  Normalt ca 30 (25- 35)
- Ikke påvirket hos hjertepasienter. OBS - STUVNING

## Protokoller:

- Bruce
- Modifisert Bruce
- Balke
- Naughten
- Individuelt
- Pasienten bør være godt oppvarmet
- En test bør ta 8 – 12 min

## Avslutning av test:

- $VO_{2peak}$ : Det maksimale oksygenopptak som oppnås
- $VO_{2max}$ : det maksimale oksygenopptak pasienten har
- Kriterier på oppnådd  $VO_{2max}$ :
  - Platå:  $VO_{2max}$  øker ikke / går ned, tross økning i intensitet, men obs, pasientene kan avlaste ved å ta mer vekt på armene, slik at intensiteten reelt går ned
  - $R \geq 1,05$

## Tolkninger av resultater

	Lunge- sykdom	Hjerte- sykdom	Utrent	Lav innsats
$VO_{2max}$	↓	↓	↓	↓
Eq $O_2$	↑	N	N	N
R	< 1	N	N	< 1

## Tolkninger av resultater

**Table 21.** Classification of Exercise Capacity in Patients With Heart Failure, Based on Peak Oxygen Uptake and Ventilatory Anaerobic Threshold<sup>182</sup>

Class	Impairment	Peak VO <sub>2</sub> (mL/kg/min)	VAT (mL/kg/min)
A	None to mild	>20	>14
B	Mild to moderate	16–20	11–14
C	Moderate to severe	10–16	8–11
D	Severe	<10	<8

VO<sub>2</sub> indicates oxygen uptake, and VAT, ventilatory anaerobic threshold.

ACC 2002

## Indikasjoner i kardiologien:

- Utredning av dyspnoe
- Prognostisk ved hjertesvikt
- Funksjonelt nivå ved klaffesykdom?
- Testing før tilpasset trening?

## Indikasjoner ACC 2002:

- **Class I** - There is evidence and/or general agreement that exercise testing with ventilatory gas analysis should be performed in the following settings:
  - To evaluate exercise capacity and the response to therapy in patients with heart failure who are being considered for heart transplantation.
  - To assist in the differentiation between cardiac and pulmonary causes of exercise-induced dyspnea or impaired exercise capacity when the cause is uncertain.

## Indikasjoner ACC 2002:

- **Class IIa** - The weight of evidence or opinion is in favor of the usefulness of exercise testing with ventilatory gas analysis in the following setting:
  - To evaluate exercise capacity when indicated for medical reasons when estimated exercise capacity from exercise test time or work rate are unreliable.

## Indikasjoner ACC 2002:

- **Class IIb** - The weight of evidence or opinion is less well established for the usefulness of exercise testing with ventilatory gas analysis in the following settings:
  - To evaluate the response to specific therapeutic interventions when improvement in exercise tolerance is important goal or end point.
  - To determine the intensity for exercise training as part of comprehensive cardiac rehabilitation.

## Indikasjoner ACC 2002:

- **Class III** - There is evidence and/or general agreement that exercise testing with ventilatory gas analysis is not useful in the following setting:
  - Routine use to assess exercise capacity.