

# Maksimalt oksygenopptak

Asbjørn Støylen, Dr. med.

ISB  
NTNU

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

# Innhold:

- Om testen
- Litt arbeidsfysiologi
- Hvordan teste
- Indikasjoner

# 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

**Ergospirometry Report**

Last Name: [redacted] Date of Birth: .1956  
First Name: [redacted] 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/k]	R	svCO2 [l/min]	HR [l/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	28,7	101,8	37	27,9
0:05:00		3,84	33,31	1,00	3,84	130	29,7	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<sub>max</sub>) måles som % av maks voluntær respirasjon (MVV) - i hvile normalt < 70% av VE<sub>max</sub>.
    - Økt hos lungepasienter
    - Ofte nedsatt hos hjertepasienter – NB: Stuvning
  - MVV måles direkte, eller estimeres som FEV<sub>1</sub> × 35 – krever full spirometri i tillegg

**Ergospirometry Report**

Last Name: [redacted] Date of Birth: .1956  
First Name: [redacted] 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/k]	R	svCO2 [l/min]	HR [l/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	27,7	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

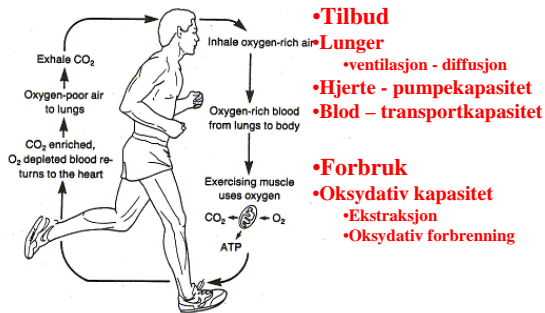
## Maks VO<sub>2</sub>

		AT (Vent. Eq.)	sVO <sub>2</sub> Max.	R = 1
Time	[h:m:s]	0:01:50	0:07:30	0:05:00
sVO <sub>2</sub>	[l/min]	2,99	5,08	3,88
spec.VO <sub>2</sub>	[ml/min/kg]	25,92	44,02	33,64
sVCO <sub>2</sub>	[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

## Absolutt (l/min) og relativ (ml/kg/min) VO<sub>2max</sub>

- Prestasjonsevne: relativ
  - Vekten er belastningen.
- Men vektavhengig.
  - Endringer i vekt uten endringer i hjertefunksjon vil påvirke relativ VO<sub>2max</sub>
  - Foreslåtte modifikasjoner – lite brukt:
    - ml / kg<sup>0,67</sup> / min
    - ml / <sup>3</sup>√kg<sup>2</sup> / min

## Oksygenforbruk:



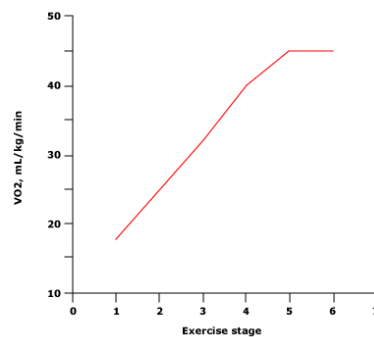
## Ficks formel:

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

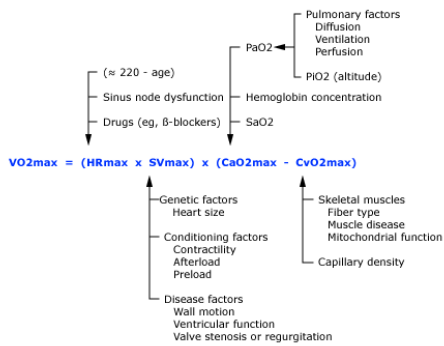
## Blood flow distribution at rest and at maximal exercise

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

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



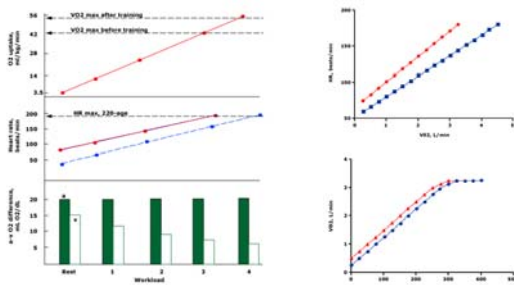
## Begrensninger:



## 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 perifer begrenset.
    - KOLS, Hjertesvikt, Ekstrem inaktivitet (bare perifer)
  - Perifer begrensning kan heves med muskulær utholdenhetstrening

## Trening



Utrente vs trente

## 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

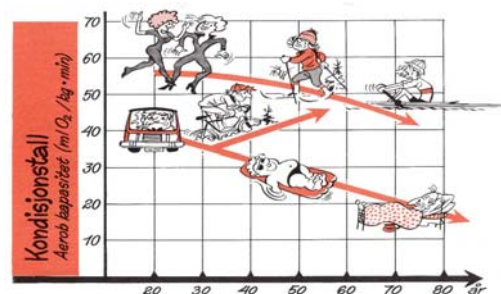
ACSM

## 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

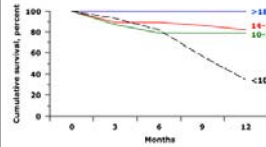
## Kondisjonen avtar med alderen:



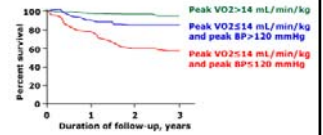
## Reduksjon med alder:

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

## VO<sub>2</sub>max og prognose



Mancini et al Circulation 1991



Osada et al, JACC 1998

St. Olav

Phone number: Fax:

### Ergospirometry Report

Last Name: ID: 313 Date: 24.10.2007 Duration of test: 0:08:20

First Name: 313 Date of Birth: .1956 Height [cm]: 187,0 Weight [kg]: 115,4

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 [l/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

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

## Respiratorisk kvotient $R = VCO_2/VO_2$

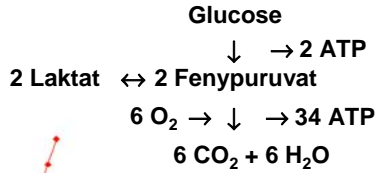
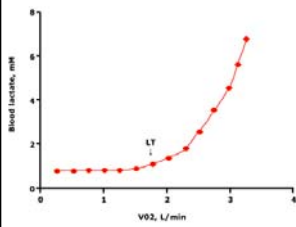
- (Glucose)  $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O$  (RQ = 1.0)
- Carbohydrates:1
- Triolein (Fat): 0.7
- Oleic Acid (Fat): 0.71
- Tripalmitin (Fat): 0.7
- Proteins: 0.8 - 0.9
- Malic acid:1.33
- Tartaric acid:1.6
- Oxalic Acid: 4.0
- Name of the substance: RQ

## Anaerob terskel

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

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

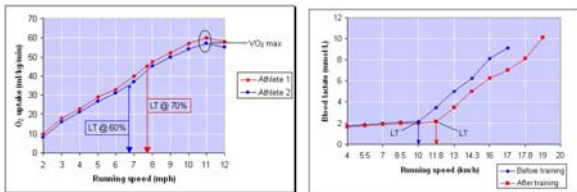
## Anaerob terskel



## Anaerob terskel

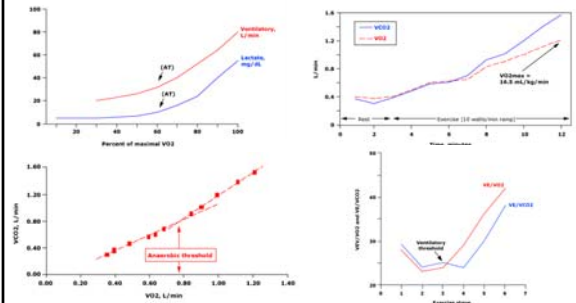
- Når produksjonen av laktat overstiger evnen til å forbrenne den aerobt (perifert).
- Dette gir opphopning av melkesyre. Også selv om intensiteten ikke øker videre. Lokal muskelfatigue.
- Dette skjer før den totale oksydative kapasiteten er brukt opp, så det er fortsatt evne til å øke oksygenopptaket noe.
- Anaerob terskel ligger altså under  $R=1$
- $2 \text{ Lactate} + 2 \text{ HCO}_3^- \leftrightarrow 2 \text{ Lactate}^- + 2 \text{ H}_2\text{O} + 2 \text{ CO}_2$
- Utlufting av  $\text{CO}_2$
- VE øker mer enn  $\text{VO}_2$  - andpusten
- Normalt ca 55%. Kan hos ekstremt utrente ligge < 40% Veltrente oftest > 70%

## Anaerob terskel



Anaerob terskel representerer den maksimale intensiteten som kan opprettholdes over tid

## Anaerob terskel /ventilatorisk terskel



### Ergospirometry Report

Time [h:m:s]	Marker	sVO2 [ml/min]	spec.VO2 [ml/min/k]	R	sVCO2 [l/min]	HR [1/min]	sVO2/HR [ml]	VE [l/min]	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<sub>2</sub> ventilatorisk ekvivalent = VE / VO<sub>2</sub>

- Hvor mye puster vi pr l O<sub>2</sub> vi bruker
- Økt både i hvile og anstrengelse hos lungepasienter
- Øker gradvis med anstrengelse jfr. Anaerob terskel
- Eq O<sub>2max</sub> Normalt ca 30 (25- 35)
- Ikke påvirket hos hjertepasienter. OBS - STUVNING

## 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
  - $VO_{2max}$  10 – 15% høyere enn på sykkel
  - Lettere å tilpasse alle

## 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
$VO_{2max}$	↓	↓	↓	↓
$EqO_2$	↑	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 $VO_2$ (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

$VO_2$  indicates oxygen uptake; and VAT, ventilatory anaerobic threshold.

## 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.

## Hvor gjør vi det?

- **Lungeavdelingen?**
  - Har alt, lege, personell, utstyr, beredskap, men ikke kapasitet.
- **Barneavdelingen?**
  - Har alt, lege, personell, utstyr, beredskap
  - Kapasitet?
- **Hos oss?**
  - Vi har: Lege, overvåkningsutstyr, beredskap.
  - Får vi tredemølle?
  - Vi kan samarbeide med avd. klinisk service som har testkompetanse og testutstyr.