

Kliniska arbetsprov

– metoder för diagnos och prognos



Lennart Jorfeldt Olle Pahlm (red.)

Studentlitteratur

Arbetsfysiologi

SFE 6nov2024 Anna Strömberg, PhD, ST-läkare klinfys Karolinska Sjukhuset



Karolinska
Institutet

 **KAROLINSKA**
UNIVERSITETSSJUKHUSET

Arbetsfysiologi

- Central cirkulation
 - Perifer cirkulation
 - Ventilation
 - Metabolism
-
- Syreupptag (VO_2)



Aerob arbetsförmåga kan mätas i watt och syreupptag



- På ergometercykel är verkningsgraden liknande mellan olika individer – lätt att kvantifiera arbetet som patienten utför och jämföra med referensmaterial.

Arbetsbelastning		Syreupptagning liter/minut
Watt	kpm/min	
50	300	0,9
100	600	1,5
150	900	2,1
200	1200	2,8
250	1500	3,5
300	1800	4,2
350	2100	5,0
400	2400	5,7

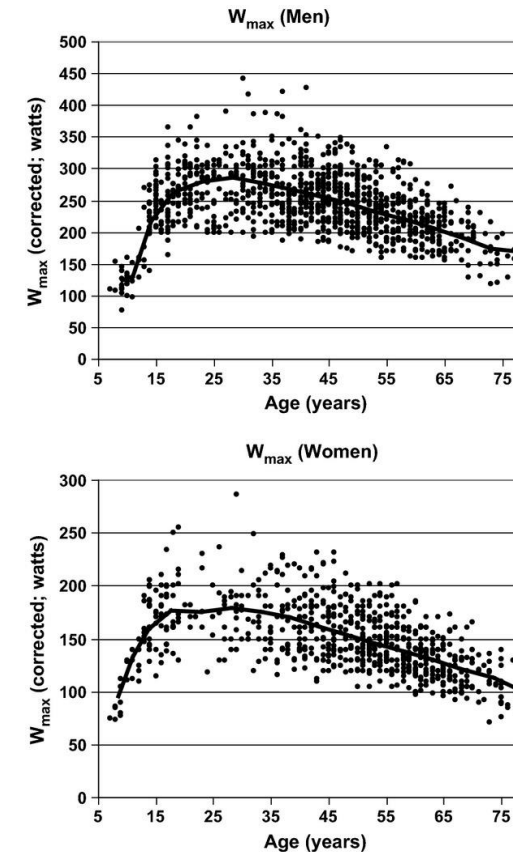
Belastningen avspeglar syreupptaget vid steady state mycket väl på ergometercykel.

Åstrand I.

Nationellt referensmaterial arbetsförmåga i Watt

Data från standardiserade arbetsprov bedömda som normala, utförda i Kalmar 2004 – 2012

- Inkluderar pat 7-80 åå remitterade för att utföra arbetsprov
- Exklusionskriterier bl.a. användning av betablockad och blodtryckssänkande läkemedel
- 1790 patienter inkluderade (1043 män och 747 kvinnor)



- Brudin L, Jorfeldt L, Pahlm O. Comparison of two commonly used reference materials for exercise bicycle tests with a Swedish clinical database of patients with normal outcome. Clinical Physiol Func Imaging (2014); 34:297-307.

Nationellt referensmaterial för VO_2 peak – högst uppmätt syreupptag

- Study of Health in West Pomerania (SHIP), nordöstra Tyskland
- Cross-sectional studie, 1203 frivilliga individer (577 män, 626 kvinnor) i åldern 25-85 inkluderade, utförde ergospirometri på cykel.
- Exklusionskriterier bl.a. tidigare hjärtinfarkt, grenblock, pacemaker, hjärtsvikt, onormal spirometri, anemi, självrapporterad lungsjukdom, neuromuskulär sjukdom.
- Beta-blockad tillåtet och visades ej ha effekt på peak VO_2
- Rökning påverkade VE/VCO_2 hos båda könen och VO_2 peak hos män
- Stark korrelation mellan ålder, kön, längd och vikt och uppmätt VO_2 peak

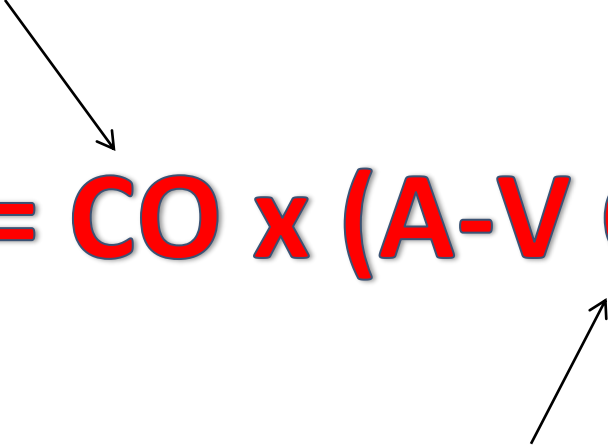
Gläser et al. Influence of age, sex, body size, smoking, and beta blockade on key gas exchange exercise parameters in an adult population. Eur J Cardiovasc Prev Rehabil. 2010 Aug;17(4):469-76.

Fick's ekvation

- Syreupptag (VO_2) = Hjärtminutvolym x AV_{O_2} -differens
- VO_2 max – maximalt syreupptag – när VO_2 ej ökar trots stigande belastning – plåtå i VO_2
- VO_2 peak – högst uppmätta syreupptaget

Fick's ekvation

Cardiac output = Slagvolym x hjärtfrekvens = Hjärtminutvolym


$$VO_2 = CO \times (A-V O_2\text{-differens})$$

$$AV O_2 \text{ diff} = Hb \times 1,34 \times (S a_{O_2} - S v_{O_2})$$

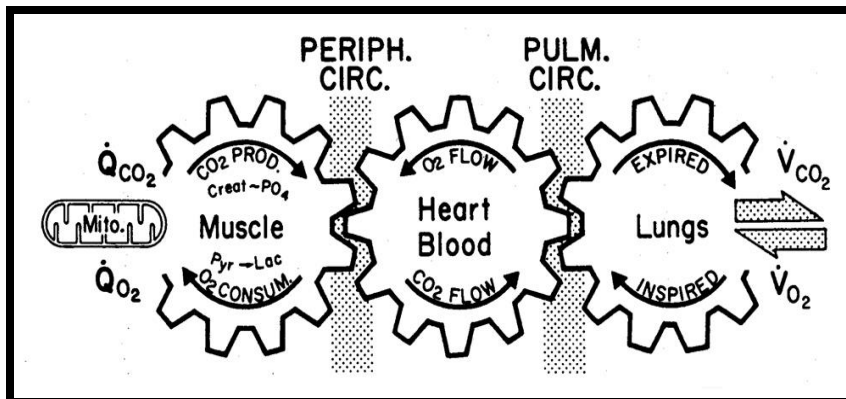
Skillnad i syreinhåll mellan arteriellt och venöst blod

VO₂ (syreupptag) mäts i L/min eller viktjusterat i ml/kg/min

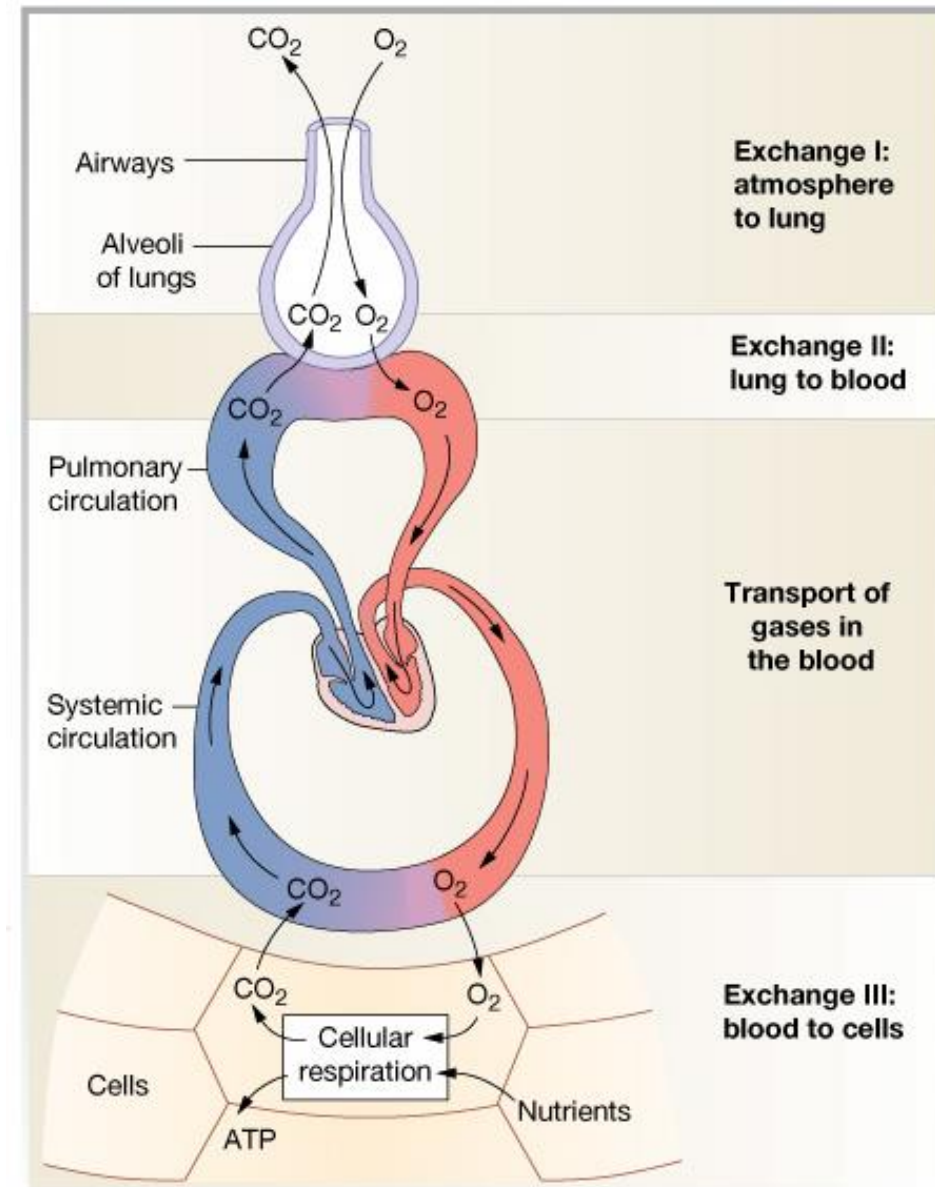
I vila är VO₂ ca 3,5 ml/kg/min

Arbetsfysiologi

1. Ventilation
2. Diffusion av andningsgaser
3. Central cirkulation (CO)
4. Perifer cirkulation, O₂ transport
5. Perifer O₂ extraktion
6. Muskulär förbränning, oxidation
7. Venöst återflöde (CO)



Wasserman K et al; Principles of Exercise Testing and Interpretation



Centrala cirkulationen

Hjärtminutvolym ökar linjärt med arbetsbelastning

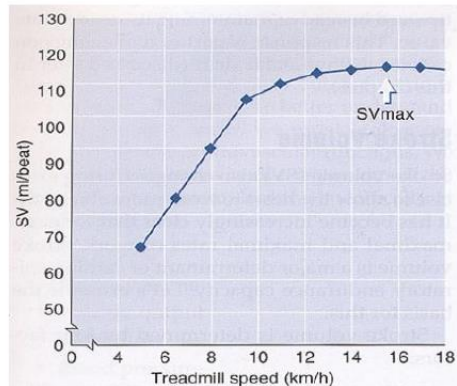
Preload
Afterload
Kontraktilitet

$$SV \times HR = CO$$

Autonoma ns

- Sympaticus
 - Parasympaticus
- Hormoner
- Katekolaminer

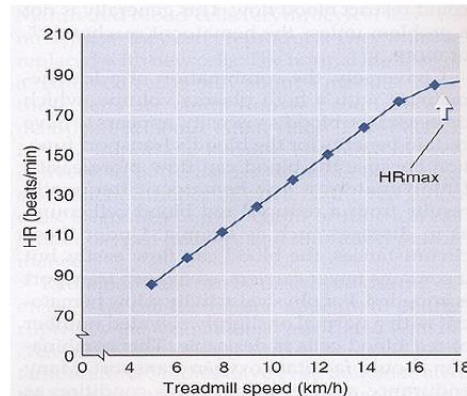
Slagvolym x Hjärtfrekvens = hjärtminutvolym



▲ **Figure 7.11** Changes in stroke volume (SV) while a subject walks, jogs, and runs with increasing speed on a treadmill. The stroke volume increases in direct proportion to the increase in speed up to about 40% to 60% of maximal exercise intensity.

x ~ 1,5 (-2)

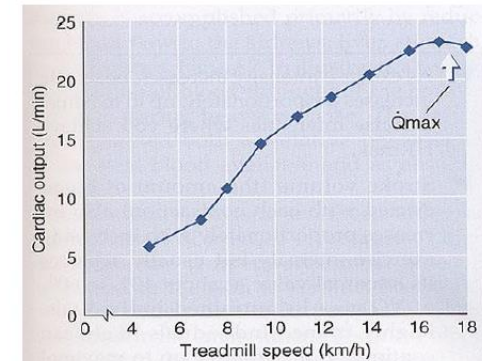
x



▲ **Figure 7.10** Changes in heart rate (HR) while a subject walks, jogs, and runs with increasing speed on a treadmill. The heart rate increases in direct proportion to the increase in speed, eventually reaching a maximal rate (HRmax).

x 2-4

=

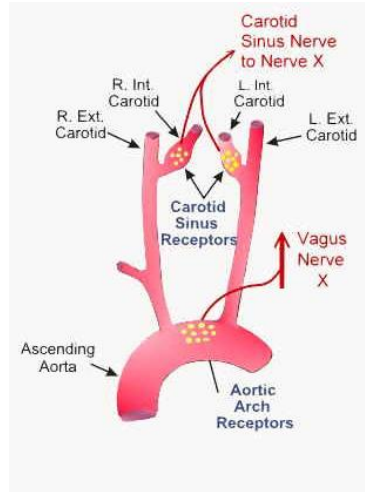


▲ **Figure 7.14** Changes in cardiac output ($\dot{Q}$) while a subject walks, jogs, and runs with increasing speed on a treadmill. The cardiac output increases in direct proportion to the increase in speed, eventually reaching a maximal value ($\dot{Q}_{max}$).

x 3-8

Reglering av hjärtminutvolym i vila

Hjärtminutvolym = Blodtryck / total perifer blodkärlsresistans



Nervös reglering av cirkulationen

Impulser till kardiovaskulärt center i förlängda märgen

- från baroreceptorer, kemoreceptorer
- Från högre hjärncentra, "central command"

Impulser från kardiovaskulärt center i förlängda märgen

- Sympaticus & parasympaticus, katekolaminer, effekt på hjärta och kärl

Reglering av hjärtminutvolym under arbete

Vid muskelarbete kommer hjärtminutvolymen och blodtrycket att öka,
Det sker en omställning av baroreceptorn till att acceptera högre blodtryck.



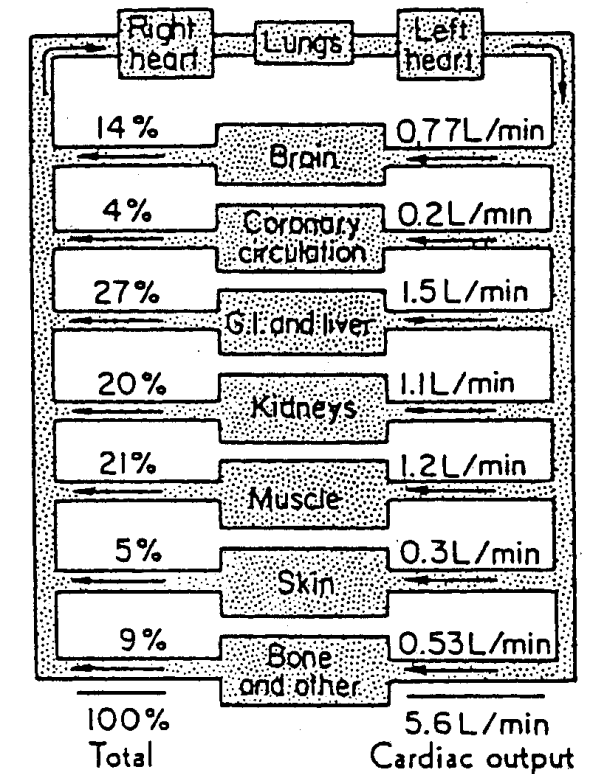
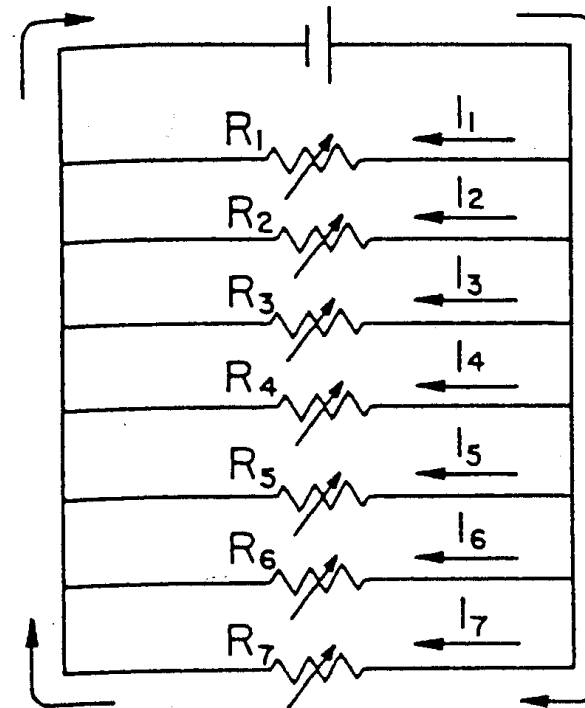
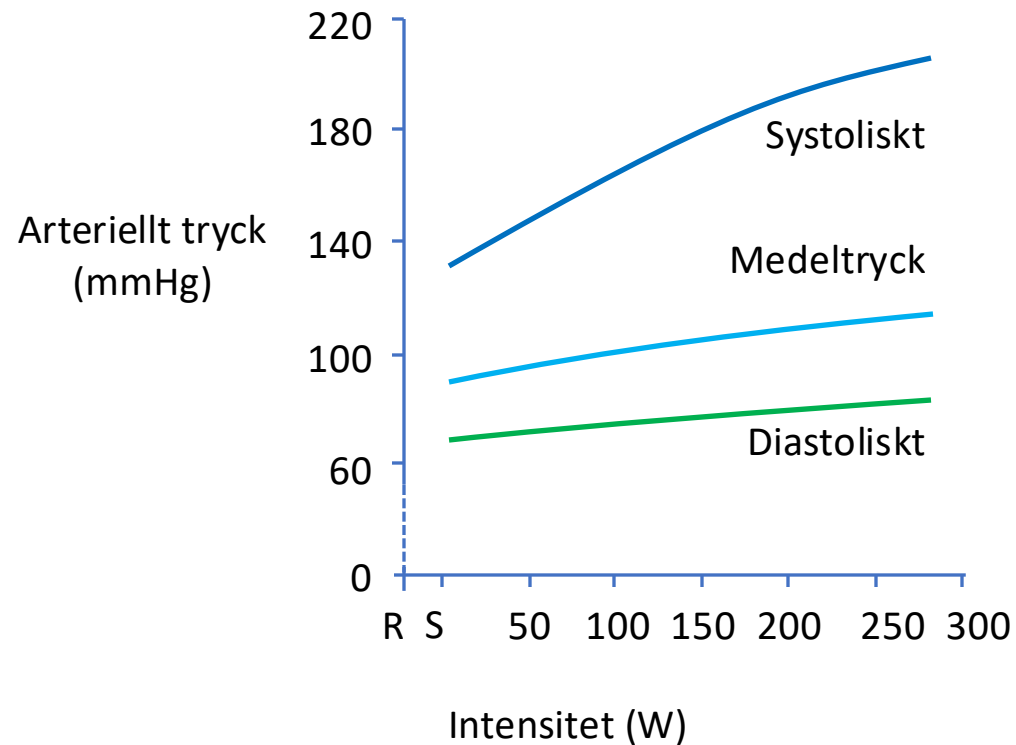
Muskelarbete



Omställning av Baroreceptorn

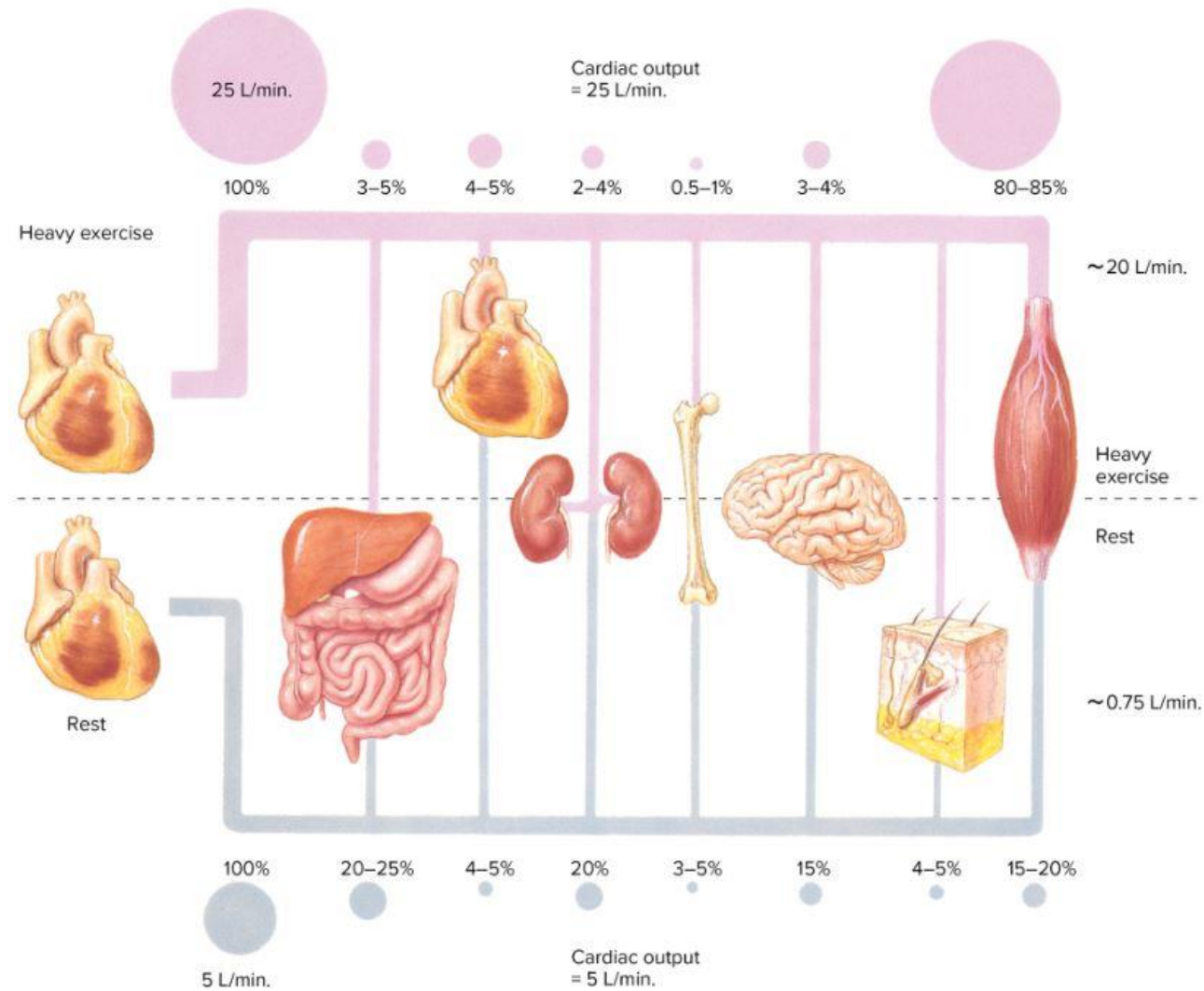
Som börjar verka
inom ett större
tryckintervall

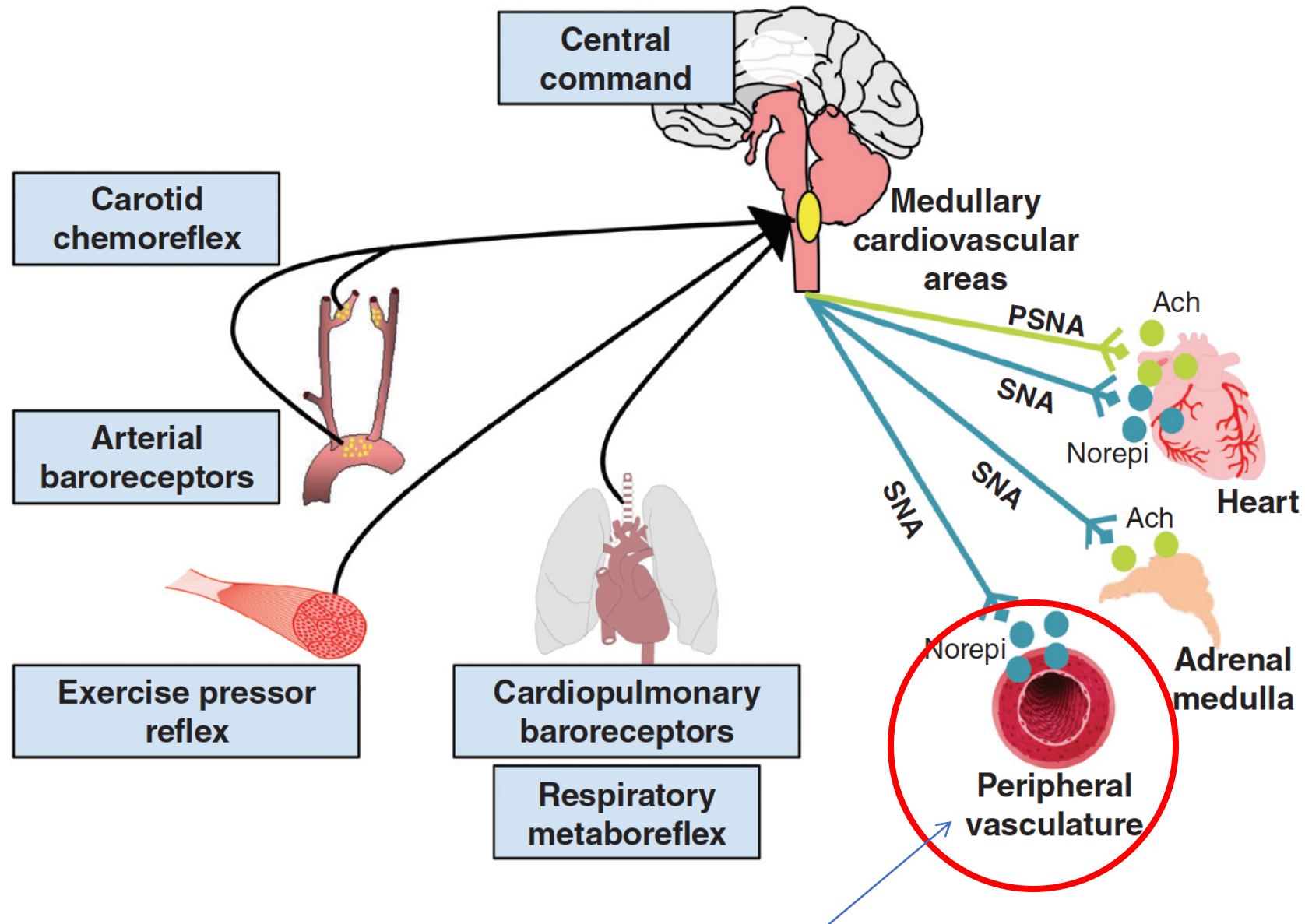
Medelartärtryck = hjärtminutvolym (CO) x total perifer resistans (TPR)



Saltin et al 1968, Ekblom et al 1968, Hartley et al 1969.

Redistribution av blodflöde vid hårt fysiskt arbete





Funktionell sympatikus – i arbetande muskler motverkas vasokonstriktionen genom lokala aktiva substanser



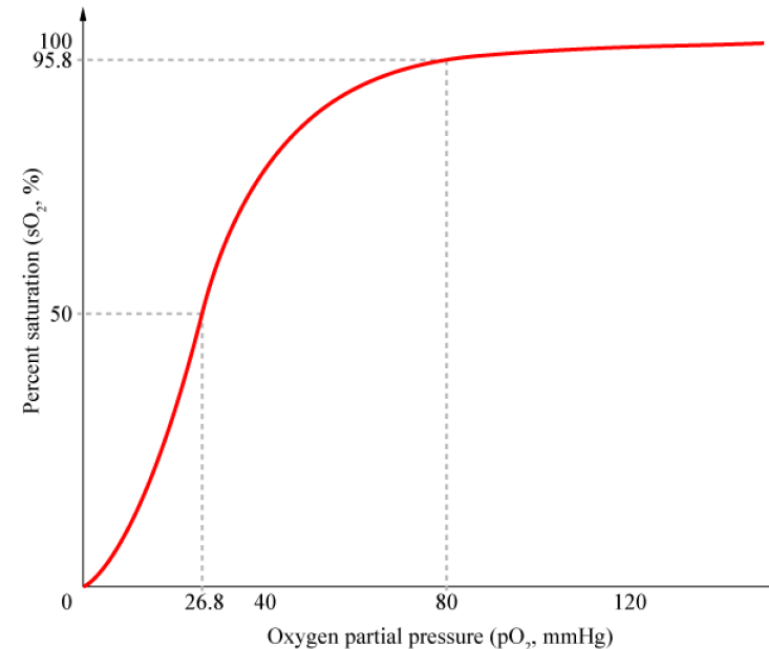
Poiseuille's law (1840):

$$\text{Flöde} = \frac{\pi \times \Delta P \times r^4}{8 \times \text{viskositet} \times \text{längd}}$$

$$\dot{V}O_2 = CO \times (A-V O_2\text{-differens})$$

Ökad A-VO₂ differens vid arbete

- Redistribution av blod till arbetande muskler som konsumerar mkt O₂
- Sänkt O₂ koncentration i vävnaden
- Ökad temperatur och CO₂, sänkt pH vid arbete, minskar syrets affinitet till hemoglobin

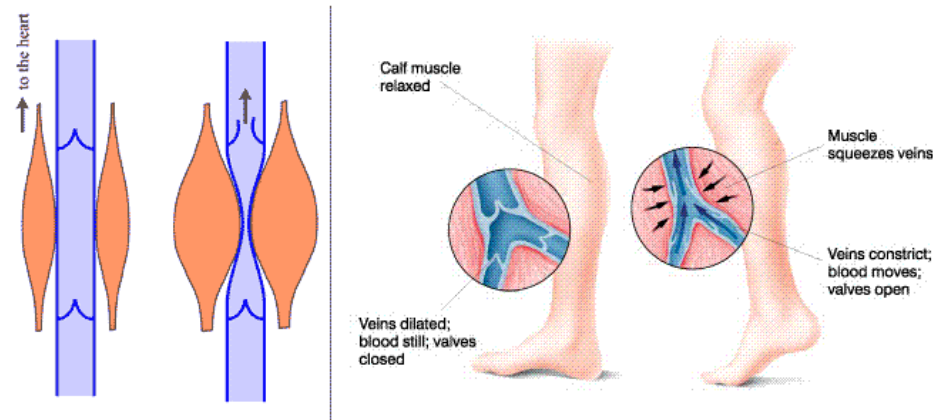


$$VO_2 = CO \times (A-V O_2\text{-differens})$$

Venöst återflöde

Ökas vid arbete genom:

- Muskelpumpen - skelettmuskeln kramar blod till hjärtat
- Andning suger blod upp till bröstkorgen vid inandning
- Omfördelning av blodvolym från icke arbetande vävnad



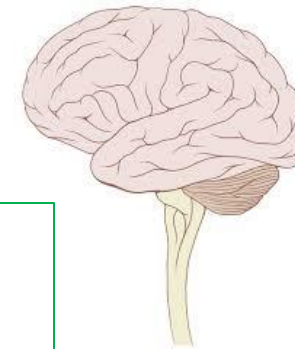
Reglering av andning

Hjärnan, inklusive "central command"

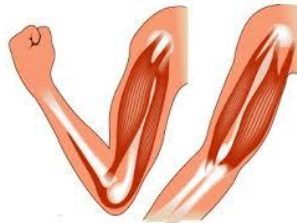


Inandning
Utandning

**Andningscentrum i
hjärnstammen**



Ergoreceptorer i muskler/leder

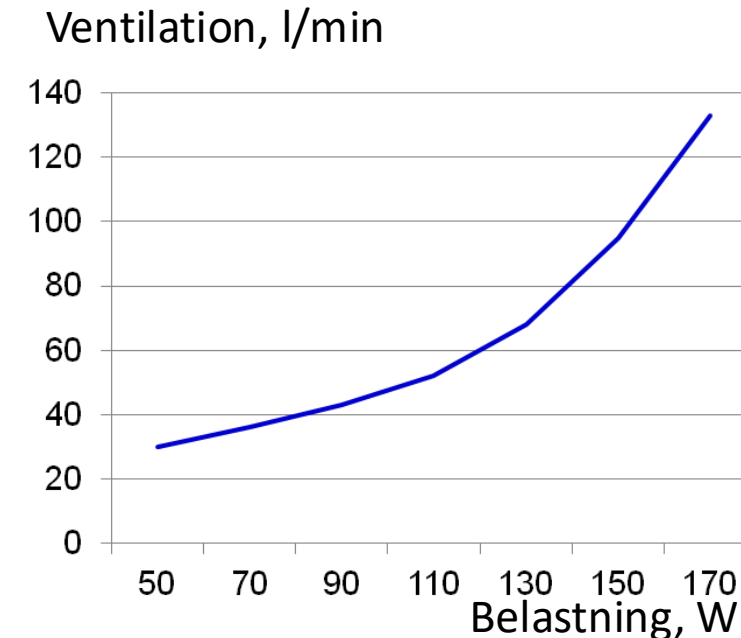


Kemoreceptorer
Centrala och perifera
 $p\text{CO}_2$, pH, O_2

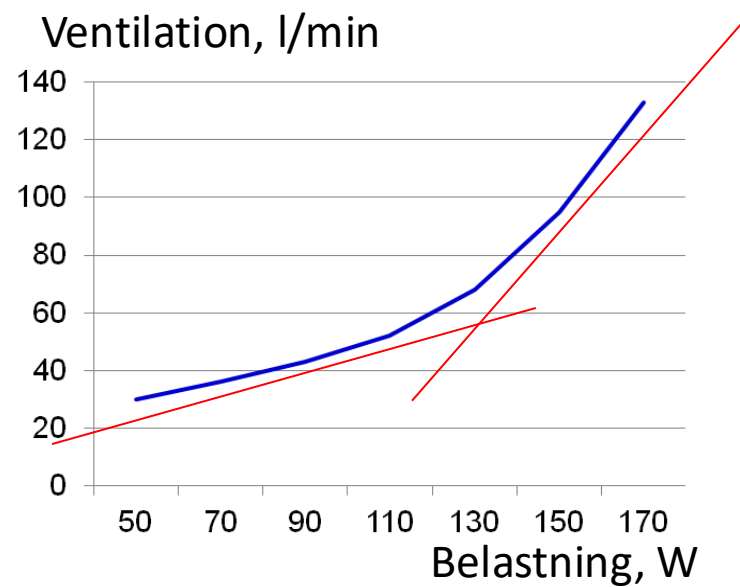
Ventilation under arbete

$V_E = \text{ventilation} = \text{tidalvolym} \times \text{andningsfrekvens}$

- Tidalvolymen ökar, når ca 50-60% av vitalkapaciteten
- Andningsfrekvensen ökar
- Ventilationen kan öka x30 eller mer
- Lungblodflödet ökar
- Fysiologisk dead space (V_D / V_T) minskar tack vare ökad tidalvolym



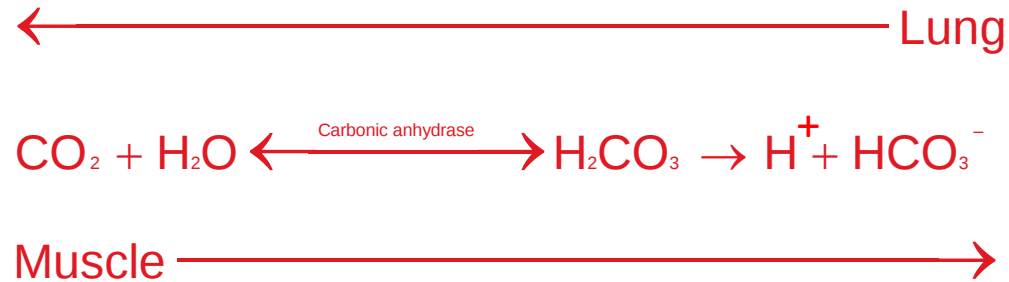
Koldioxid driver ventilationen



Ventilation ökar linjärt mot belastning fram till "ventilatoriska tröskeln"

Ventilation och syra-bas balans - bikarbonatbufferten

- Ventilation sänker H^+ i blodet genom att vädra ut CO_2 .



- **Ökad ventilation resulterar i ökad utvädring av CO_2 .**
 - Sänker PCO_2 och H^+ koncentrationen $\rightarrow$ (pH ökar).
- **Sänkt ventilation resulterar i ökning av CO_2**
 - Ökar PCO_2 and H^+ koncentration (pH sjunker).

RER – respiratory exchange ratio

$$\text{RER} = \text{VCO}_2/\text{VO}_2$$

RER ca 0,7-0,8 i vila

Ren fettmetabolism ger $\text{RER} \approx 0,7$

Kolhydratmetabolism ger $\text{RER} \approx 1,0$

Hyperventilation ger höga värden

Vid ökat arbete ökar anaerob metabolism → ökad nivå laktat → **ökad CO_2 i blodet via bikarbonatbufferten. RER ökar till >1.0**

Muskelmetabolism: energisystemen i arbetande muskel

Anaerob metabolism

- Spjälkning av fosfokreatin
- Anaerob glykolys



Aerob metabolism

- Aerob kolhydratoxidation
- Aerob fettoxidation

Aerob förbränning

➤ Aerob kolhydratoxidation

Muskelglykogen, blodglukos, leverglykogen

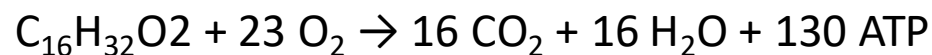


6 CO₂ produceras, 6 O₂ åtgår; RQ = 1,0

Energieffektivitet, 6 ATP per C-atom. Syrekrav, 6 ATP per O₂.

➤ Aerob fettoxidation

Plasma FFA, TG-plasma, TG-fettväv, TG-muskel



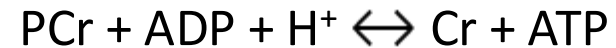
16 CO₂ produceras, 23 O₂ åtgår; RQ = 0,71

Energieffektivitet, 8,1 ATP per C-atom. Syrekrav, 5,6 ATP per O₂.

Muskelmetabolism: energisystem i arbetande muskel

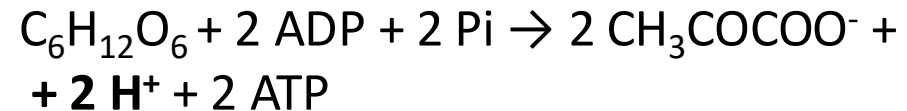
Anerob energiproduktion

➤ Spjälkning av kreatinfosfat



➤ Anaerob glykolys

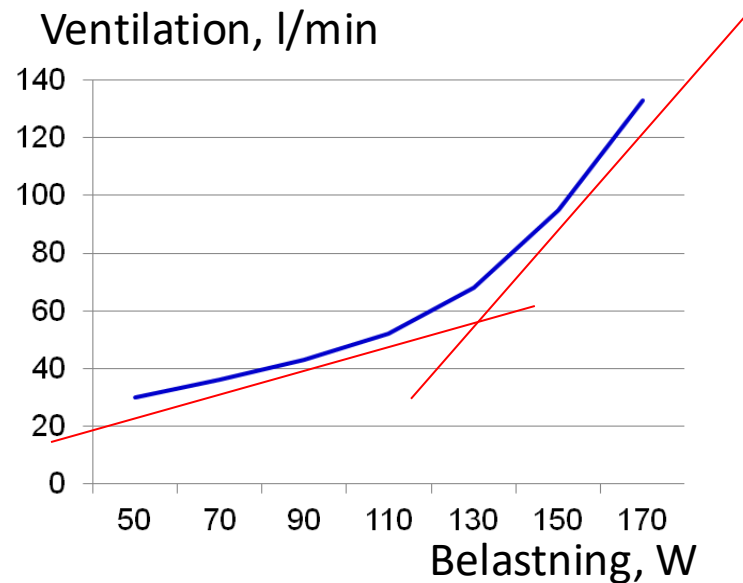
Glukos → 2 x laktat + 2 ATP



Vad händer när vi börjar bilda laktat?

Bikarbonatbuffert: $\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ \leftrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 \leftrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

Andnings"drive": $\text{PCO}_2 \uparrow$, $\text{pH} \downarrow$ stimulerar andningscentrum via kemoreceptorer att öka ventilationen



RER ökar till >1.0

Kliniska arbetsprov

– metoder för diagnos och prognos



Lennart Jorfeldt Olle Pahlm (red.)

Studentlitteratur

SFE 6nov2024 Anna Strömberg, PhD, ST-läkare klinfys Karolinska Sjukhuset



**Karolinska
Institutet**

KAROLINSKA
UNIVERSITETSSJUKHUSET