

# KOMPENDIE – ARBETSFYSIOLOGI K2

Siri Holtmann och Gustav Magnusson

Om du finner detta kompendie hjälpsamt så swisha gärna 20 kr eller det som du tycker att just detta dokument är värt för dig.

Swishnummer: 0707471782

Skicka gärna en liten hälsning eller skriv kort och gott "K2 kompendium"

Hallihallå alla monsterdiggare och K2are. Under vår K2 skrev vi ihop en drös kompendier (7 stycken) som baseras mer eller mindre enbart på föreläsningarna vi haft. För oss har det räckt men vi vill påpeka att vi inte kan garantera att allt är korrekt eller att det är heltäckande. Vi har haft superstor hjälp av Lova Widman och Felix Lindell Öhmans kompendie som vi länkar och hoppas nu att även våra anteckningar kan komma någon till pass. Lova och Felix har dessutom skrivit ihop "K2s 10 budord" som är värda att läsa.

Vi väljer att hålla det öppet för alla och heller inte krav på att pröjsa då vi hoppas att det jobbet vi la ned kan gynna andra också.

Har ni några tankar, frågor eller justeringar som ni tycks bör göras får ni hemskt gärna maila oss:

[Siri.holtmann@gmail.com](mailto:Siri.holtmann@gmail.com) eller [gusma171@student.liu.se](mailto:gusma171@student.liu.se)

OBS! Ifall dessa kompendium når T2 en dag vill vi bara påpeka att ni går efter ett nytt curriculum och att vi därmed inte kan försäkra att innehållet stämmer överens med er kursplan.

Lova och Felix's drive:

<https://drive.google.com/drive/folders/19XawJnpYFEgAqiy9e8QfD0eK5jg792ZW>

LYCKA TILL!!!

// Siri och Gustav

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

|                                                                                         |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Arbetsfysiologi.....</b>                                                             | <b>3</b>  |
| <b>Syretransport.....</b>                                                               | <b>3</b>  |
| Ficks lag .....                                                                         | 3         |
| Räkneexempel .....                                                                      | 3         |
| Träningsexempel .....                                                                   | 4         |
| ABSOLUT SYREUPPTAG (LITER/MINUT) OCH KROPPSVIKTSKORRIGERAT SYREUPPTAG (ML/KG/MIN) ..... | 4         |
| <b>Muskeln.....</b>                                                                     | <b>5</b>  |
| Typer av muskelfibrer.....                                                              | 6         |
| <b>Energiutnyttjande under arbete.....</b>                                              | <b>6</b>  |
| ATP-omsättningshastighet .....                                                          | 7         |
| <b>Hjärtfrekvens .....</b>                                                              | <b>7</b>  |
| Nervsystemets påverkan .....                                                            | 8         |
| Maxpuls .....                                                                           | 8         |
| Medelartärtryck under arbete .....                                                      | 8         |
| <b>Hjärtat .....</b>                                                                    | <b>9</b>  |
| Slagvolym .....                                                                         | 10        |
| <b>Ventilation och respiration .....</b>                                                | <b>11</b> |
| Kvoter .....                                                                            | 11        |
| Begränsning.....                                                                        | 12        |
| <b>Långsiktig anpassning till träning.....</b>                                          | <b>12</b> |
| Verkningsgrad.....                                                                      | 12        |
| Mat och träning.....                                                                    | 13        |
| <b>Belastning och intensitet.....</b>                                                   | <b>13</b> |
| <b>Hjärtats adaption .....</b>                                                          | <b>14</b> |
| Ejektionsfraktion, EF.....                                                              | 14        |
| Hjärtstorlek.....                                                                       | 15        |
| <b>Muskelns anpassning .....</b>                                                        | <b>15</b> |
| <b>Träningslära .....</b>                                                               | <b>16</b> |
| Intervallträning .....                                                                  | 16        |
| Begrepp .....                                                                           | 16        |
| <b>Prestation .....</b>                                                                 | <b>17</b> |
| Nyttjandegrad .....                                                                     | 17        |
| Exempel .....                                                                           | 17        |
| Mjölksyatröskel.....                                                                    | 17        |
| <b>Viktiga test att hålla koll på.....</b>                                              | <b>18</b> |
| Enkla test .....                                                                        | 18        |
| Submaximala test .....                                                                  | 18        |
| Maximala test.....                                                                      | 18        |

## ARBETSFYSIOLOGI

### SYRETRANSPORT

Allt muskellarbete en människa utför kräver energi i form av ATP, där själva energin frigörs vid klyvning från ATP till ADP. Syreupptaget är därför viktigt under aerob träning, då syret spelar en avgörande roll i bildningen av ATP i elektrontransportkedjan.

I vila kommer syreåtgången i musklerna vara liten, medan betydligt högre vid hårt arbete. För att mitokondrierna, i bland annat muskelcellerna, ska få tillgång till syre för dess metabolism krävs tre saker:

1. Att syre kan diffundera från alveolen in i blodet, och där binda till hemoglobiner
2. Att syrgasen kan transporteras i blodet till målcellerna, vilket sker som följd av hjärtats arbete
3. Att syret kan extraheras från blodet in i cellen, där det sedan används för aerob metabolism, genom diffusion

### FICKS LAG

**Formel:**  $VO_2 = HMV \times AVO_2\text{-diff.}$

Syreupptaget utgör på detta sätt produkten av mängden blod som passerar cellerna per minut och mängden syre som till cellerna tas upp per liter som passerar.

- »  $VO_2$  står för volymen syrgas och mäts i **l/min**. Måttet avspeglar mängden syre kroppens alla celler tar upp under en minut. I vissa sammanhang kan en prick placeras ovanför, vilket betyder att det rör sig om ett volymflöde.
- »  $HMV$  står för hjärtminutvolymen, och motsvarar den volym hjärtat pumpar ut i kroppen. Mäts i **l/min**.

$AVO_2$ -differensen, även kallat den arteriovenösa syredifferensen, motsvarar mängden syre som tas upp i cellerna. Mäts i **ml/l**.

Denna ekvation kan även brytas ned ytterligare då:

- »  $HMV = \text{Hjärtfrekvens} \times \text{slagvolym}$
- »  $AVO_2\text{-diff.} = a[O_2] \text{ (arteriell syrgaskoncentration)} - v[O_2] \text{ (venös syrgaskoncentration)}$ , där respektive syrgaskoncentration är beroende av **Hb-värdet (g/l)**, **saturationen (syrgasmätnaden, %)** och en **konstant (1.36)** som motsvarar mängden syre hemoglobin kan binda. Hb-värdet kommer vara samma i både arteriellt och venöst blod, och en normal syremättnad i blandat venöst blod är 75%. Blandat venöst blod är det blod som samlas och blandas i v. cava efter att ha passerat olika organ med olika mycket syreåtgång.

### RÄKNEEXEMPEL

| Exempel                       | Värden                                                                                                 | Uträkning                                            |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Arteriovenösa syredifferensen | <ul style="list-style-type: none"><li>» Hb-värde = 150g/l</li><li>» aSatO<sub>2</sub> = 100%</li></ul> | $a[O_2] = 150 \times 1,36 \times 1 = 204\text{ml/l}$ |

|                                    |                                                                                 |                                                                                                                            |
|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                    | » $v\text{SatO}_2 = 75\%$                                                       | $v[\text{O}_2] = 150 \times 1,36 \times 0,75 = 153\text{ml/l}$<br>$\text{AVO}_2\text{-diff.} = 204 - 153 = 51\text{ ml/l}$ |
| Totala syreupptaget, $\text{VO}_2$ | » $\text{HMV} = 5\text{l/min}$<br>» $\text{AVO}_2\text{-diff.} = 51\text{ml/l}$ | $\text{VO}_2 = 5 \times 51 = 255\text{ml/min}$                                                                             |

Ficks lag kan även användas för att bestämma en individs maximala syreupptag ( $\text{VO}_{2\text{MAX}}$ ), genom att mäta upp  $\text{HMV}_{\text{MAX}}$  samt  $\text{AVO}_2\text{-diff.}_{\text{MAX}}$ .

**Slagvolym och  $\text{AVO}_2$  mäts sällan på patienter, medan syreupptag och hjärtfrekvens mäts i större utsträckning.**

### TRÄNINGSEXEMPEL

Två personer, person A och person B, löper en lika lång sträcka i samma tempo. Då både A och B är ungefär lika stora kommer deras  $\text{VO}_2$  samt  $\text{HMV}$  vara lika, eftersom deras muskler behöver utföra samma arbete. Person A har dock en högre puls än B, vilket tyder på att B har en högre slagvolym än A. Detta påverkar de båda löparna på sikt, då A kommer nå sin maxpuls mycket tidigare än B och därmed behöva avbryta tidigare. Person B är mer vältränad än A, vilket ses på slagvolymen som möjliggör en fortsatt ökad  $\text{HMV}$  (och därmed även syreupptag) när person A inte orkar längre.

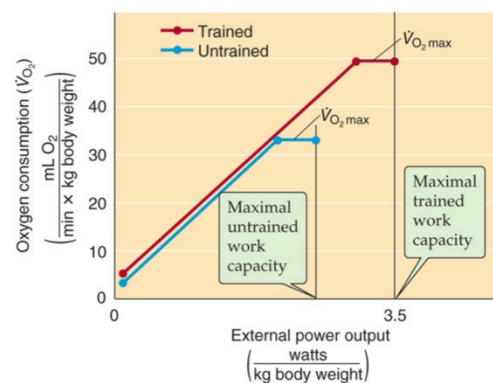


Figure 60-6 Dependence of  $\dot{V}_{\text{O}_2}$  on mechanical power output. Training increases  $\dot{V}_{\text{O}_{2\text{max}}}$ .

### ABSOLUT SYREUPPTAG (LITER/MINUT) OCH KROPPSVIKTSKORRIGERAT SYREUPPTAG (ML/KG/MIN)

Absolut syreupptag innebär det som beskrivits i ovan rubrik om Ficks lag. Den kan bäst appliceras på praktiskt där arbetet som utförs och är oberoende av kroppsvikt t.ex. vid rodd, paddling, simning och cykling (sittande cykling).

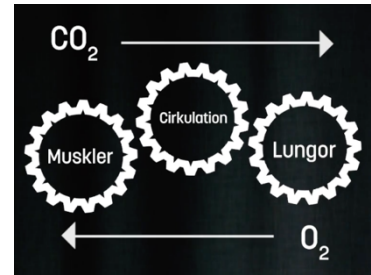
Kroppsviktskorregerat syreupptag är användbart i situationer där  $\text{VO}_2$  i förhållande till kroppsvikt är betydelsefull. Kallas ibland för **testvärde** och är betydelsefull vid t.ex. löpning, skidåkning eller vid gång i trappor. För att beräkna kroppsviktskorregerat syreupptag:

Testvärde (ml/kg/min) x kroppsvikt =  $\text{VO}_{2\text{MAX}}$



## MUSKELN

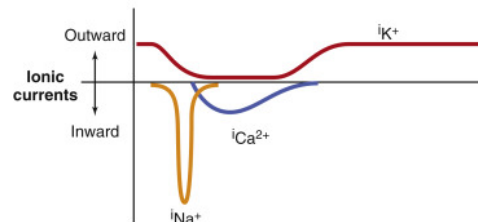
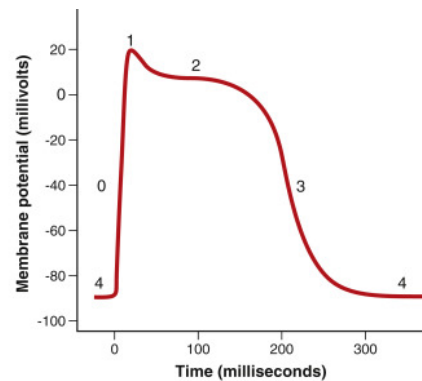
I kroppen samverkar muskler, cirkulation och lungor för att transportera  $O_2$  och  $CO_2$  i kroppen. En muskel består av fler muskelfibrer, vilka alla består av sarkomerer. En sarkomer är kroppens minsta kontraktile enhet, bland annat bestående av proteinerna aktin, myosin och troponin.



### Depolarisation

I dessa celler är vilomembranpotentialen  $-90\text{mV}$ . Vid inströmning av positivt laddade joner skulle denna höjas till  $-70\text{mV}$ . Denna ökning skulle göra att:

1.  $Na^+$ -inflödet genom dess kanaler, enligt Hodgkins cykel, stimuleras kraftigt och ökar snabbt membranpotentialen till  $+10\text{mV}$  (**fas 0**).
2.  $K^+$ -kanalerna detekterar detta och börjar skicka ut  $K^+$  för att sänka potentialen, samtidigt som  $Na^+$ -kanalerna stängs → kort repolarisering (**fas 1**)... men detta kommer motarbetas av  $Ca^{2+}$ -kanalerna som håller potentialen jämn vid  $0\text{mV}$  → hjärtmuskelkontraktion (**fas 2**).
3.  $Ca^{2+}$  förs i detta läge till det sarkoplasmatiske retiklet och fäster till RYR-2 receptorn → en stor mängd  $Ca^{2+}$  släpps ut i cytosolen och binder till troponin, vilket är ett proteinkomplex bestående av tre subenheter.
  - TnT = Binder starkt till tropomyosin
  - TnC = Biner in  $Ca^{2+}$ -joner
  - TnI = Hämmar aktin-myosininteraktion
4. Inbindningen får tropomyosinet att flytta sig → myosinhuvudet kan interagera med aktinet → kontraktion av hjärtmuskulaturen



### Repolarisation

I kontraktionscellerna minskar jonflödet från nodcellerna, vilket stänger  $Ca^{2+}$ -kanalerna.  $Ca^{2+}$  släpper troponin och färdas antingen tillbaka till det sarkoplasmatiske retiklet eller ut ur cellen (ATP-krävande transport). Även  $K^+$ -kanaler öppnas, vilket får potentialen att återigen sjunka till  $-90\text{mV}$  (**fas 3**). Vid denna potential vilar sedan dessa celler tills dess att en ny ström av joner från nodcellen strömmar in (**fas 4**).

## Kontraktion

I vila så tappar myosinhuvudet lite. När ATP binder in till huvudet och fosforyleras så tilar det uppåt mot aktinet, men fäster inte än, som om man spänner upp en musfälla. Både ADP och en fosfat sitter alltså på myosinet. När troponin-tropomyosin kolmexet binder med kalciumjoner kommer de aktiva ytorna på aktinet att friläggas som tidigare beskrivet. Vid signal från motorneuronet kommer spänningen att släppa för att sedan spännas upp på nytt. På detta sätt kan myosinet krasa sig upp för aktin filamentet och skapa en kontraktion.

Själv interagerandet mellan myosinhuvudet och aktinet möjliggörs alltså av ATP. Myosinhuvudet binder därpå in till aktinet, via **energiberoende tvärbryggor**, varpå det börjar "klättra" längs aktinet = kontraktion.

## TYPER AV MUSKELFIBRER

Kroppens muskelfibrer brukar delas in i två olika typer, typ 1 och typ 2.

**Typ 1** motsvarar de långsamma muskelfibrerna som i kroppen bland annat jobbar med vår hållning. Dessa muskelfibrer kan inte utveckla särskilt stor kraft, men kan istället vara aktiva under en längre tid. Dess energi får dem mestadels från aerob metabolism. De är även omgivna av en stor andel kapillärer, vilket ser till att jämt och ständigt förse dessa med syre.

**Typ 2** är i motsats de snabba muskelfibrerna, vilka aktiveras vid ett kraftfullt eller explosivt arbete. Generellt är dessa muskelfibrer snabba och starka, men inte så uthålliga. De kräver därför ATP snabbt, och detta främst genom anaerob metabolism. Många typ 2-fibrer har därför en stor andel glykolytiska enzymer intracellulärt för att möjliggöra den sanna produktionen av ATP.

**Vid ett arbete, oavsett belastning kommer alltid typ 1 att aktiveras först. Kräver sedan arbete ännu mera kraft aktiveras även typ 2.**

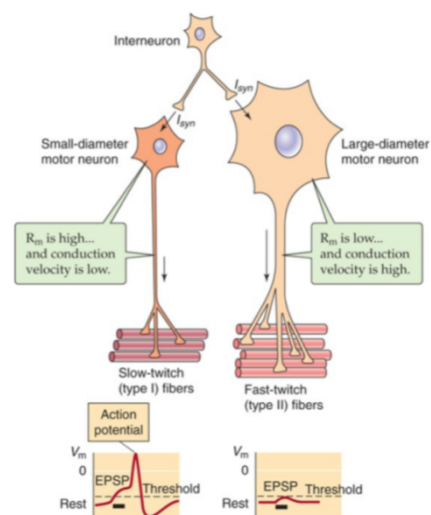


Figure 60-1 The size principle for motor units. Small motor neurons are more excitable, conduct action potentials more slowly, and excite fewer fibers that tend to be slow twitch (type I). Conversely, large motor neurons are less excitable, conduct action potentials more rapidly, and excite many fibers that tend to be fast twitch (type II). EPSP, excitatory postsynaptic potential;  $I_{syn}$ , depolarizing synaptic current;  $V_m$ , membrane potential. (Adapted from Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM. *Principles of Neural Science*, 4th ed. New York: McGraw-Hill, 2000.)

## ENERGIUTNYTTJANDE UNDER ARBETE

Som tidigare nämnt kan endast en rörelse ske genom att musklerna nyttjar ATP för att frigöra energi. I kroppen har vi fyra system som vi kan få ATP ifrån. Vilket av dem vi nyttjar beror på under hur lång tid och under vilka förhållanden.

| Källa            | Tid      | Övrigt                                                                      |
|------------------|----------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Kreatinfosfat    | 8–10 sek |                                                                             |
| Anaerob glykolys | 1-2 min  | Från glukos och glykogen, utan tillgång på syre. Snabb omsättningshastighet |
| Aerob glykolys   | Timmar   | Stort lager genom glykogen                                                  |

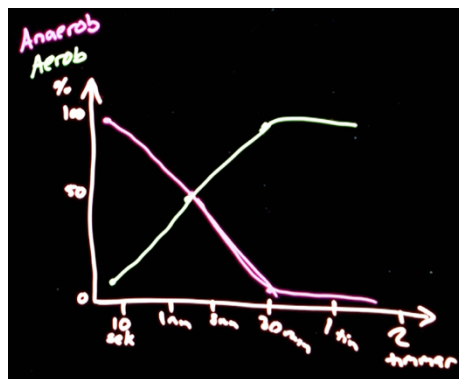
## Nedbrytning av fettsyror

Dagar/Veckor

Långsam omsättningshastighet

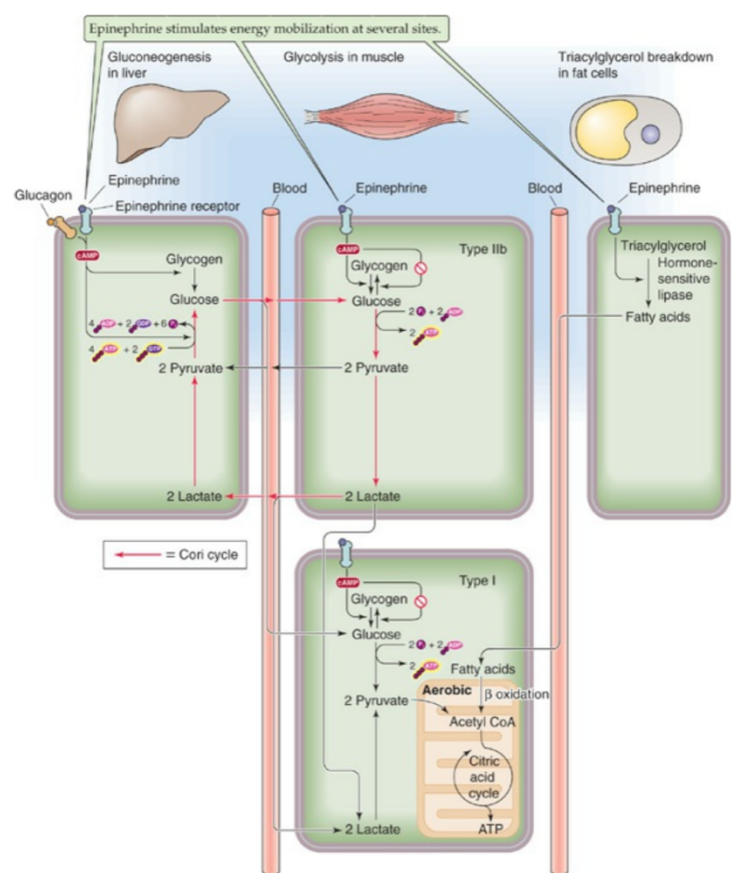
I början av ett arbete fås energi nästintill enbart från de anaeroba systemen (90%), då de aeroba systemen tar LÄNGRE tid att aktiveras. Under längre tids arbete kommer de aeroba systemen dock succesivt ta över mer och mer, för att vid arbete på 30 min eller längre motsvara 90% av ATP-bildningen. Efter ungefär 2 min arbete står både de anaeroba och aeroba systemen för lika stor del av ATP-bildningen. Hur systemen samverkar kan ses på bilden till höger och hur de olika systemen förhåller sig till arbetstid ses i bilden nedan.

**OBS! System = metabolism.**



Desto längre tid du arbetar, desto mer energi förbrukas aerobt:

- » 10 sekunder: 90% anaerobt och 10 % aerobt
- » 2 minuter: 50% anaerobt och 50% aerobt
- » 60 minuter: 2% anaerobt och 98% aerobt



## ATP-OMSÄTTNINGSHASTIGHET

Desto tyngre ett arbete blir, under en desto kortare tid kommer det kunna utföras. Detta är logiskt, men vad beror det egentligen av?

Kreatinfosfatet är den första metabolismen som kickar igång. Detta är, likt ovan skrivet, ett snabbt sätt att få energi då dess peak kommer väldigt tidigt, men det ger även upphov till en otroligt hög ATP-omsättningshastighet

## HJÄRTFREKVENNS

Hjärtfrekvensen, HF, motsvarar hjärtats tempo och redovisas i slag/min. Vid ökad belastning kommer hjärtfrekvensen **linjärt** att stiga till dess att ett max nås. Två avgörande faktorer för HF är...

- » Ålder
- » Gener

... och i regel brukar man säga att den maximala HF sjunker med 1 slag på år när man blir äldre. En välkänd formel för detta är att ens maximala HF är **[220 – ens ålder]**, men vilken har setts vara OPÅLTLIG sett till en enskild individ. Dock har den ansetts godtagbar vid tillämpning på populationer. Standardavvikelsen har uppmätts till omkring 10 slag.

#### Vanliga funderingar

Är genetiskt högt  $HF_{MAX}$  direkt kopplat till genetiskt hög  $VO_{2MAX}$ , och därmed en fördel i konditionsidrotter? Svaret på den frågan är NEJ! Om  $HF_{MAX}$  genetiskt är högre, brukar andra värden som maximal slagvolym eller  $AVO_2$  vara lägre.

Leder konditionsträning till högre  $HF_{MAX}$ ? Svaret på den frågan är något oklart. Studier visar att HF efter en längre tids konditionsträning antingen förblir samma eller till och med sjunker en aning.

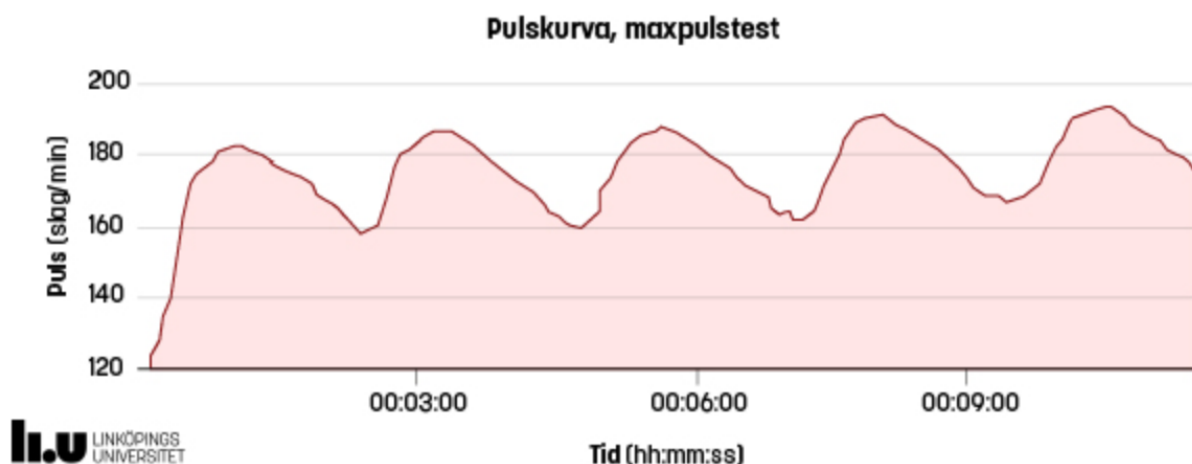
### NERVSYSTEMETS PÅVERKAN

Hjärtfrekvensen styrs av det autonoma nervsystemet, där högre belastning kommer leda till en ökad sympatikusaktivitet samt en minskad parasympatikusaktivitet. Nedan följer saker som kan vara bra att veta:

- » Redan innan ett arbete kommer HF och hjärtats kontraktilitet att öka, kallat **anticipationseffekt**.
- » Utan ett fungerande parasympatikus kommer HF fortsatt vara låg i vila, medan utan ett fungerande sympatikus vid arbete kommer **INTE** ett lika hög maximalt HF att kunna nås.
- » Ökad HF kan hämmas av **Beta-blockare**.

### MAXPULS

För att ta reda på ens maxpuls kan ett så kallat "maxpulstest" genomföras. Detta test inkluderar fyra stycken intervaller, där den sista helst ska ske i backe och med de sista krafterna man har kvar. På detta sätt tros man uppnå sin maximala puls.



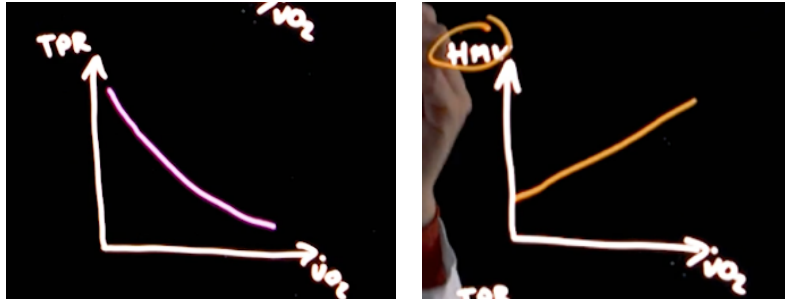
**OBS!** Det har visat sig att maxpulsen kan variera beroende på arbetet som utförs, **LÖPNING > CYKLING > PADDLING**, vilket kan förklaras med att löpning involverar nästintill alla kroppens muskler.

### MEDELARTÄRTRYCK UNDER ARBETE

#### Dynamiskt arbete



**HMV kommer öka linjärt** i takt med att belastning och  $VO_2$  ökar, medan **TPR kommer sjunka exponentiellt** till följd av ökad belastning. Det sistnämnda beror allra främst på att stora artärer dilaterar vid ökat arbete. Detta kommer resultera i att MAP kommer stiga en aning under dynamisk träning, då ökningen i HMV överstiger minskningen i TPR. Det systoliska trycket kommer, likt HMV, öka linjärt, medan det diastoliska trycket förblir oförändrat.



### Statiskt arbete

**HMV ökar INTE nämnvärt, TPR ökar på grund av muskelkontraktion.** De kontraherande musklerna kommer samtidigt komprimera blodkärlen till musklerna vilket gör att MAP stiger. I huvudsak kommer det **diastoliska trycket att öka**.

Sammantaget kommer blodtrycket stiga mer vid statiskt än dynamiskt arbete.

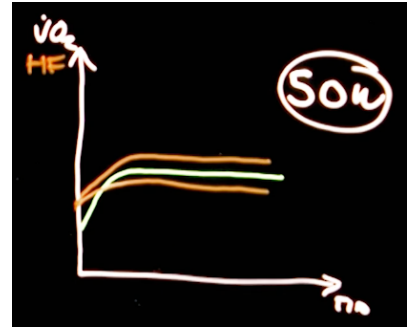
| Parameter                 | Dynamiskt arbete              | Statiskt arbete | Beror på                                                   |
|---------------------------|-------------------------------|-----------------|------------------------------------------------------------|
| Cardiac output, HMV       | Ökar mycket                   | Ökar lite       | HF x SV                                                    |
| Slagvolym                 | Ökar                          | Oförändrat      | EDV – ESV                                                  |
| Diastoliskt blodtryck     | Liten ökning eller oförändrat | Ökar            | Muskelkontraktioner                                        |
| Totala perifera resistens | Sjunker                       | Ökar            | Muskelkontraktioner kan öka. Bortser från övrig reglering. |

### HJÄRTAT

En person med dubbelt så högt maximalt syreupptag ( $VO_2$ ) som en annan person, har lite förenklat även en dubbelt så stor maximal HMV.

- » Normal HMV i vila = 5l/min
- » Hos elitidrottare har HMV i arbete uppmäts till 40l/min, vilket motsvarar en diastolisk fyllnadshastighet på 2l/sek.

Vid ett submaximalt arbete, dvs vid en bestämd belastning, kommer ditt syreupptag att vara konstant, oavsett hur tränad du är, detta beror på att syrebehovet är det samma vid samma arbete. Däremot kommer din hjärtfrekvens att minska vid samma submaximalt arbete om du slutar. Det som har skett är alltså att din slagvolym har blivit högre, samtidigt som din frekvens är lägre, så att minutvolymen är den samma.



$$HMV = HF \times SV$$

Submaximal belastning motsvarar ett visst syreupptag oavsett om man är tränad eller otränad:

- » 30W →  $VO_2$  ca 0,6l/min
- » 50W →  $VO_2$  ca 0,9l/min
- » 100W →  $VO_2$  ca 1,5l/min

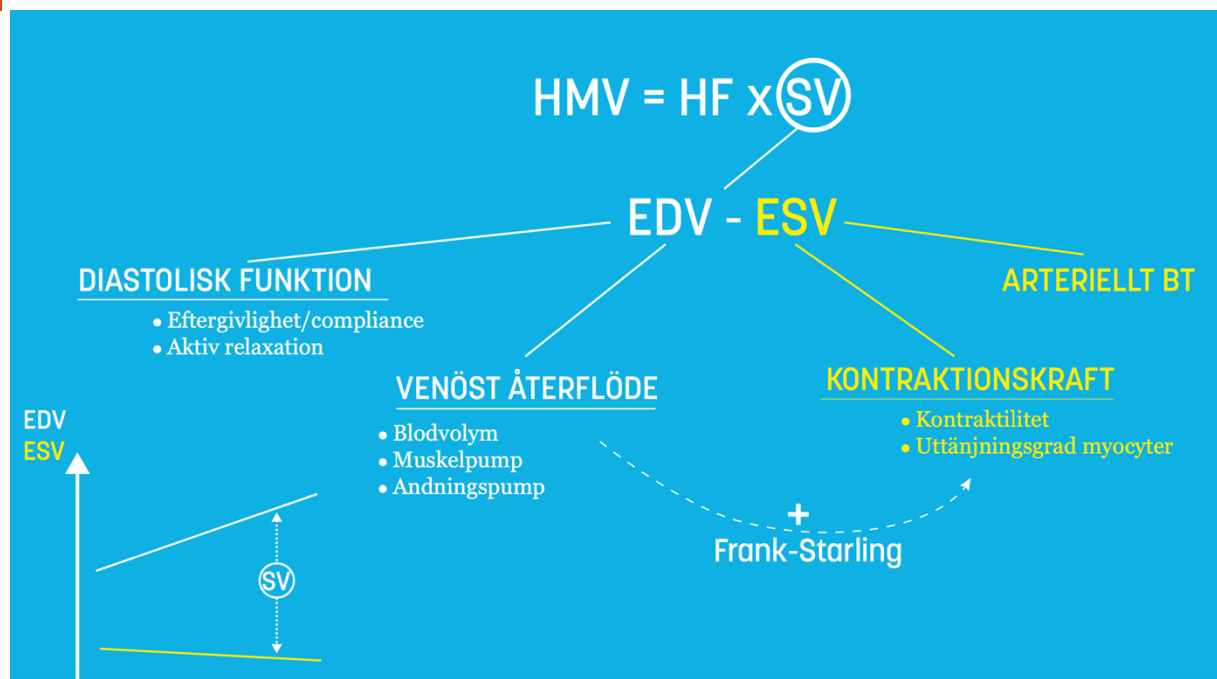
Det som markant skiljer en tränad från en otränad är vårt maximala syreupptag!

För att förstå hur SV har ökat ska vi bryta ned slagvolymen i differensen mellan enddiastolisk volym (EDV) och endsystolisk volym (ESV). Och för att förstå dessa faktorer bryter vi även ned dem enligt nedan.

Eftersom syreupptaget,  $VO_2$ , förblir lika hos en vältränad individ vid ett submaximalt arbete, så kommer även HMV förbli det. Detta påvisar dock att slagvolymen, SV, hos den tränade individen måste ha blivit större, då HF minskat enligt:

$$HMV = HF$$

## SLAGVOLYM



**Formel:**  $SV = EDV - ESV$ , eftersom kamrarna är som mest fyllda i EDV och som minst fyllda i ESV.

#### EDV påverkas av:

- » **Venöst återflöde, vilket i sin tur beror av:**
  - Blodvolym
  - Muskelpumpen (särskilt vid arbete med de nedre extremiteterna eftersom blodet måste trycks upp till hjärtat)
  - Andningspumpen (skapar ett negativt tryck som hjälper blodet att sugas tillbaka till hjärtat)
- » **Diastoliska funktionen i hjärtmuskeln, vilken beror av:**
  - Kamrarnas compliance
  - Aktiv relaxation

#### ESV påverkas av:

- » **Kontraktionskraft, vilken i sin tur beror av:**
  - Uttänjningsgraden av myocyten (VIKTIGAST!)
  - Kontraktiliteten (den kraft som katekolaminsignaleringen producerar i myocyterna)
- » **Arteriella blodtrycket**

Vid ökad slagvolym är det i högsta grad det venösa återflödet samt den ökade kontraktiliteten de faktorer som påverkar. Detta kan förklaras enligt Frank-Starlings hjärtslag:

**Ökat venöst återflöde → ökad uttänjningsgrad → ökad kontraktionskraft → minskad ESV**

Detta leder till att slagvolymen, vid ökad belastning, successivt ökar (enligt bild till höger).

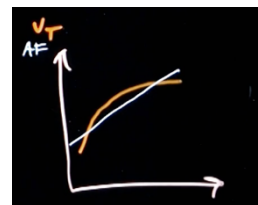
## VENTILATION OCH RESPIRATION

#### Begrepp:

- » Ventilation = Flödet av gas från atmosfären in i lungorna
  - I vila =  $<10\text{ l/min}$
  - Vid arbete →  $150\text{ l/min}$  hos en ung och frisk
- » Respiration = Diffusion av gas mellan alveol och blod, eller blod och cell

Ökningen i ventilation mellan vila och arbete beror av två faktorer:

- » Tidalvolymen,  $V_T$ , stiger potentiellt vid ökat arbete
- » Andningsfrekvensen, AF, stiger linjärt vid ökat arbete



#### KVOTER

##### Ventilatoriska ekvivalenten för koldioxid, $VE/VCO_2$

Denna kvot beskriver sambandet mellan ventilation och koldioxidelemination. Värdet av denna kvot ska i kroppen hållas konstant, så att varken för lite eller mycket koldioxid andas ut. Detta medför att om koldioxidnivån i kroppen sjunker, så kommer även ventilationen att minska.

Reglering av detta styrs av kemoreceptorer i centrala märgen, perifera kemoreceptorer och ergoreceptorer i muskeln (styr tillsammans med kortikala funktioner i hjärnan ventilationen under arbete). Kemoreceptorerna i

centrala mörgen har inte särskilt stor påverkan, då koldioxidhalten inte är särskilt förändrad i det arteriella blodet där.

### Ventilatoriska ekvivalenten för syre, $VE/VO_2$

Denna kvot beskriver sambandet mellan ventilation och syreupptag, och kan förklaras som "hur mycket luft måste ventileras för att 1l syrgas ska kunna tas upp".

### Respiratory exchange ratio (RER), $VCO_2/VO_2$

Beskriver kvoten mellan koldioxidelemination och syrgasupptag, vilket betyder "hur stor andel av det intagna syret används i metabolismen för att bilda koldioxid". **RER kan även säga oss vilken typ av substrat (glukos eller fett) som förbränns vid ATP-bildningen.**

- » Aerob förbränning av glukos  $\rightarrow$  RER = 1.0
- » Aerob förbränning av fett  $\rightarrow$  RER = 0.7
- » I vila förbränns stor andel fett  $\rightarrow$  RER = 0.8–0.85

RER kommer förändras med stigande belastning, då mer och mer glukos kommer att förbrännas (både aerobt och anaerobt). När RER till sist når värden omkring 1.1–1.2 orkar en person i regel inte fortsätta, utan tvingas istället avbryta sitt arbete. Detta beror på, likt kvoten påvisar, att det går åt mer syre än vad som tas upp. RER ökar INTE linjärt med stigande arbete.



## BEGRÄNSNING

Hos friska individer är inte ventilationen en begränsande faktor för arbetsförmågan, utan det är hjärtats kapacitet. Detta kan påvisas genom en beräkning av **Breathing reserve (BR, %)**.

**Formel:**  $MVV - VE_{MAX} = \text{reserv} \rightarrow \text{reserv}/MVV = BR$

$VE_{MAX}$  är en persons maximala ventilation och MVV (maximal volontär ventilation) är en teoretisk beräkning av den maximala ventilationen.  **$MVV = FEV_1 \times 40$** , vilket innebär att en person med  $FEV_1 = 4,0\text{l/s}$  har en MVV på 160l/min.

Den ventilatoriska reserven hos friska individer ligger i normalfallet över 20%, vilket förklarar varför ventilationen hos friska INTE är den begränsande faktorn av arbetsförmågan.

## LÅNGSIKTIG ANPASSNING TILL TRÄNING

En viss belastning kräver ett visst syreupptag, och ett visst syreupptag motsvaras av en viss HMMV. Det är sen tidigare känt att HF är låg hos vältränade individer, vilket beror på att deras slagvolym är avsevärt högre. En annan rimlig förklaring hade varit att de vältränade har större upptag av syre per liter blod som pumpas runt, vilket dock har visat sig inte skilja sig särskilt mellan tränade och otränade individer.

## VERKNINGSGRAD

Vid arbete på en högre effekt kommer innebära en större åtgång av energi.

- » 1 joule (J) = 0.24 cal
- » Arbete i 100s på 100W → energiåtgång 10 000 J = 10 kJ = 24 kcal

**Formel:** effekt x tid = energi  $\leftrightarrow$  energi / tid = effekt

Den muskulära verkningsgraden är 25% av den totala energiförbrukning, vilket motsvarar att musklerna använder sig av 10 kcal vid detta arbete. Resterande 75% kommer att frigöras som **värmeenergi** under detta arbete.

En tränad individ kommer kunna utföra ett arbete med högre effekt, till lägre ansträngningsnivå och ändå göra av med MINDRE energi. Detta på grund av att musklerna inte behöver jobba lika hårt, vilket beror av **arbetsekonomin**.

## MAT OCH TRÄNING

500 kcal motsvarar:

- » 5 bananer
- » 1 chokladkaka
- » 1 ananas

Denna totala energi kan förbrännas genom:

- » = 90 min på 100 W
- » = 45 min på 200 W
- » = 30 min på 300 W

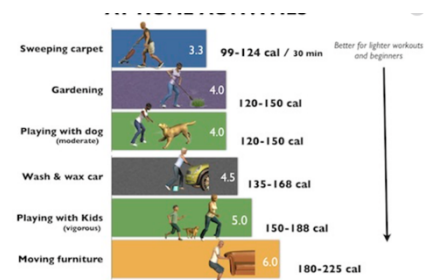
## BELASTNING OCH INTENSITET

Begreppet intensitet kan delas upp i två delar:

**Absolut intensitet** beskriver en individs arbete i bland annat:

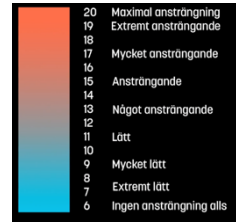
- » Effekt (W)
- » Hastighet (m/s)
- » Energiåtgång (J eller kcal)
- » Tyngd (kg)

I engelsk litteratur kan ofta ordet MET (metabolic equivalent of task) stötas på. 1 MET definieras som "mängden syre, som i sittande vila, åtgår och är lika med 3.5 ml O<sub>2</sub> per kg kroppsvikt x min". Vid ett arbete om 2 MET så kommer syreupptaget vara det dubbla och vid ett arbete om 4 MET så kommer syreupptaget vara fyra gånger större. Båda dessa värden avsett ifrån 1 MET. Vet ej hur detta värde påverkas av längd och ålder?



**Relativ intensitet** kan i sin tur delas in i:

- » Subjektiv intensitet, avser hur individen upplever arbetet och skattas av skalor där en välkänd sådan är borgskalan.
- » Objektiv intensitet, avser mätvärden i förhållande till det maximala. Exempel på detta är puls och syreupptag.



#### Den absoluta och relativa intensiteten skiljer sig från varandra på så sätt att:

- » Den absoluta intensiteten är oberoende av individens prestationsförmåga, medan den relativa intensiteten beror av individens förmåga och vad denne klarar av.
- » Två olika tränade individer kan ha samma **absoluta** intensitet (samma hastighet), men uppleva två helt olika **relativa** intensiteter.
- » Vid bedömning av en individs arbetsförmåga relateras oftast uppmätta värden till referensvärden baserade på kön, ålder, längd och vikt.

## HJÄRTATS ADAPTION

Elitidrottare kan prestera bättre beror till stor del av deras större kapacitet att transportera syresatt blod till kroppen. Vi vet sedan tidigare att en individ maxpuls INTE är påverkbar och att den till och med kan bli lägre hos vältränade. Den högre HMV beror därför av en högre slagvolym, vilken redan visar sig i vila → lägre vilopuls då tillräckligt med blod kan pumpas ut i kroppen under färre slag.

Den högre HMV beror på ökade möjligheter till fyllnad under diastole → större EDV. Detta kan bero av:

- » Fyllnadsfasen i diastole blir längre vid låg hjärtfrekvens
- » Den totala blodvolymen är större hos tränade
- » Förbättrad diastolisk funktion
  - Ökad eftergivlighet i myokardier
  - Mer effektiv relaxation under fyllnadsfasen möjliggör en ökad EDV trots att diastole under arbete förkortas
- » Eccentrisk hypertrofi av hjärtmuskelcellerna, vilket innebär att deras utseende snarare förlängs än förtjockas → ökad innerdiameter och volym



En större EDV kommer ge upphov till en ökad **systolisk potential**. Denna motsvaras av den möjliga blodvolymen hjärtat kan pumpa ut under systole. I vissa fall behövs dock inte hela den systoliska potentialen utnyttjas för att leverera de ca. 3.5 ml syrgas / kilogram kroppsvikt / min vid vila på grund av en väldigt låg åtgång av syre.

**Vid träning:** Hjärtmuskeln växer eccentrict, vägg tjockleken förblir ungefär densamma, hjärtats slagvolym ökar samt även den totala hjärtmuskelmassan.

**Med åldern:** Kammarväggen ökar i tjocklek, innerdiametern minskar och långsammare relaxation. Ejektionsfraktionen (i %) förblir som för en ung person.

## EJEKTIONSFRAKTION, EF

*"Andelen blod som töms ut vid ett slag"*

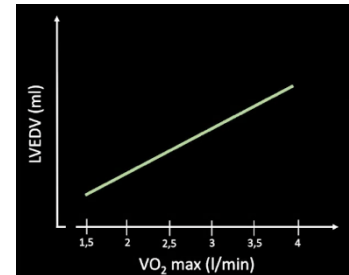
**Formel:**  $EF = (EDV - ESV) / EDV$

Likt ovan skrivet behöver inte EF hos idrottare vara så stor för att vara tillräcklig, vilket har visat sig då tränade generellt har lägre EF i vila.

## HJÄRTSTORLEK

Ett samband finns mellan vänsterkammarens massa/volym och  $VO_{2\text{ MAX}}$ .

**Konditionsträning** har visat sig, på ett effektivt sätt, ge eccentricisk hypertrofi av hjärtat. Detta innebär att vänsterkammarens inre dimensioner ökar i proportion till dess vägg tjocklek (tänk att hjärtmuskulaturen växer utåt" → muskelmassan ökar i vikt.



En annan effekt konditionsträning visat sig har är att den ökar kapillärtätheten i själva hjärtmuskeln samt att kranskärlen får större diameter. Båda dessa anpassningar leder till en förbättrad försörjning av myokardiet, så att det kan jobba hårdare.

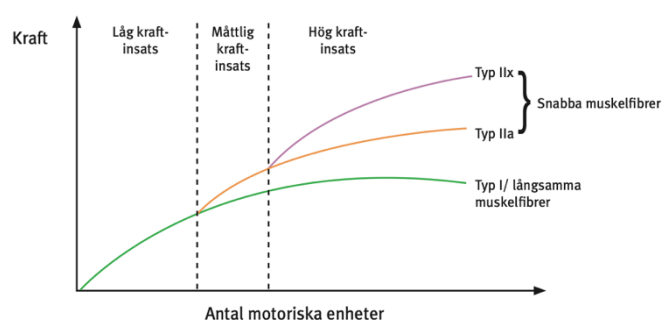
**Styrketräning** har visat sig ha många positiva effekter på muskelbyggnad, men det kommer inte ha några effekter på hjärtmuskulaturen.

## MUSKELNS ANPASSNING

Vid träning kommer musklerna i kroppen successivt anpassa sig efter det de utsätts för. Detta kallas för **specificitetsprincipen**. De två ytterligheterna av detta fenomen är tung styrketräning och konditionsträning.

Innan själva träningen har synlig effekt på musklerna kommer det ske en **neuronal adaption**, där nervsystemet är inblandat. Allt fler motoriska enheter kommer rekryteras samt att fler aktionspotentialer kommer färdas till rätt muskler vid en övning. På detta sätt tränas nervbanorna upp till en övning.

Vid **styrketräning** kommer musklerna till en början öka dess styrkan fort, för att under längre tids träning successivt avta. Träningen kommer utveckla mer kraft och en större hypertrofi, vilket gör att muskeln ökar i storlek. Detta som följd av att det bildas fler kontraktilelement och under en längre tids träning kommer även muskelfibrer typ 2X och typ 2A omfördelas beroende på behovet vid arbetet. Typ 2X är mer explosiva än typ 2A (tänk 100m vs 400m).



Följd av styrketräning kommer dock bli att mitokondrieantalet i muskelcellerna minskar, vilket leder till att muskelcellernas upptag och användning av syre kommer att försämrats. Starka muskler (med få mitokondrier) kommer därför vara mindre uthålliga än svagare (med fler mitokondrier). **OBS! Det är fortsatt viktigt för en konditionsidrottare att träna styrka för att både utveckla mer kraft och ekonomi i sina rörelser.**

**Konditionsträning** kommer snarare ha motsatt effekt jämfört med styrketräningen. Musklerna anpassar sig på ett sådant vis så att syre kan användas på bästa sätt. Mitokondrieantalet kommer både öka och bli allt mer

effektiva, då det bildas fler viktiga katalyserande enzymer för citronsyracykeln. Utöver en effektivisering av användandet av syre i cellerna, kommer även transporten av syret dit förbättras. Detta kommer göras genom en ökad kapillarisering samt en ökad koncentration myoglobin (syrebindande protein) av respektive i musklerna.

Viktigt att ha i åtanke vid både träning och tävling är att trots att hjärtat är den begränsande faktor för arbetsförmågan, så är INTE syreupptagningsförmågan samma sak som prestationen. Till prestation behöver andra faktorer som mjölksyratröskel, uthållighetsaspekter samt teknik vävas in i bilden.

## TRÄNINGSLÄRA

En träningsdos kan delas in i tre delar:

- » Intensitet – Hur hårt?
- » Duration – Hur länge?
- » Frekvens – Hur ofta?
  
- » Duration x Frekvens = Träningsvolym

Genom att variera dessa tre delar kan oändligt många träningsformer skapas.

## INTERVALLTRÄNING

Intervaller innefattar dels träning på hög intensitet, men även viloperioder på lägre intensitet däremellan. En mer tränad person kommer klara av en högre intensitet under de arbetande faserna.

Intervallträning har visat sig ha positiva effekter på både  $VO_{2\text{ MAX}}$  och metabola markörer. Dessa markörer innefattar bland annat:

- » Ökning av mitokondrier (snabbare förbränning)
- » Förbättrad glykemisk kontroll/insulinkänslighet (tiden det tar för blodet att återställa blodsockernivån efter förtäring av socker, fler GLUT4 kommer bildas på cellytan)

Det har även visat sig att högintensiv träning med hög frekvens (intervaller) har bättre effekt på maximal syreupptagningsförmåga än vad medelintensiv träning har, trots av större volym (springa långt och länge). Sen finns det även individer så kallade **non responders** till högintensiv träning. För otränade individer spelar det dock inte någon större roll vilken träning som utförs, men desto mer tränad en individ blir desto mer högintensiv träning krävs. Den högintensiva träningen kräver en stor HVM, vilket stimulerar till en eccentric hypertrofi. Med stor sannolikhet är intensiteten viktig för utvecklingen av eccentric hypertrofi.

## BEGREPP

**Specificitet** innebär att många olika sorters träning (rodd, löpning eller cykling) kommer bidra med en ökad HVM som kan vara behjälplig vid andra aktiviteter, men där de perifera anpassningarna (musklerna du tränar) kommer vara mindre gynnsamma vid en annan aktivitet.

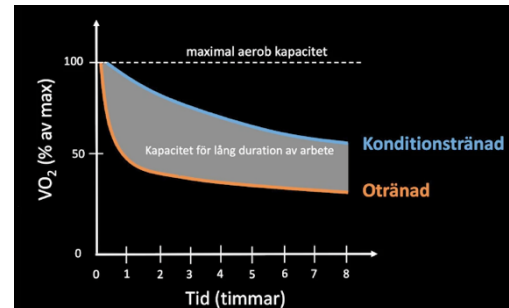
**Progression** innebär att en individ som tränar successivt kommer behöva öka sin träningsdos för att förbättras, men kan ligga på en låg träningsdos för att behålla ex. konditionen.



## PRESTATION

Prestation är ett ord som beskriver ALLA människor fysiska kapacitet och begränsningar.  $VO_{2\text{ MAX}}$  utgör en individs maximala kapacitet och utgör på så vis taket för konditionen, dock så nås detta tak inte särskilt ofta.

En maratonlöpare har väldigt hög  $VO_{2\text{ MAX}}$ , dock används sällan hela deras kapacitet under ett lopp. Avgörande för prestationen är hur stor del av sitt  $VO_{2\text{ MAX}}$  löpare kan utnyttja, och detta kallas för **nyttjandegrad**.



## NYTTJANDEGRAD

Nyttjandegraden beskriver kroppens förmåga att utvinna energi utan att laktatnivåerna stiger signifikant (här inkluderas även kroppens förmåga att snabbt bryta ner bildat laktat), vilket med andra ord innebär hur nära  $VO_{2\text{ MAX}}$  en individ kan arbeta under längre tid.

Vad är det kroppsligt som förbättrar detta ? Enzymer?

## EXEMPEL

|   | $VO_{2\text{ max}}$ | Nyttjandegrad | $VO_{2\text{ vid anaeroba tröskeln}}$ |
|---|---------------------|---------------|---------------------------------------|
| A | 4 l/min             | 80%           | $4 \times 0,8 = 3,2 \text{ l/min}$    |
| B | 3 l/min             | 70%           | $3 \times 0,7 = 2,1 \text{ l/min}$    |

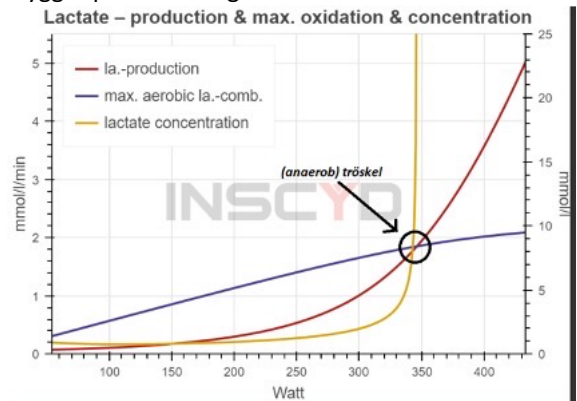
Det totala syreupptaget har stor påverkan på vilken aktivitet de båda personerna kan utföra utan att de blir påtagligt andfådda och därmed tvingas lägga ned. För idrottare är det viktigt att så stor del av dennes totala syreupptag går åt till rätt arbete. Alla biaktiviteter kommer kräva onödiga syreförluster, vilket försämrar arbetet. Detta är anledningen till att idrottare tränar teknik och rörelseeffektivitet.

## MJÖLKSYRATRÖSKEL

Mjölksyratröskeln är synonymt med den anaeroba tröskeln och bygger på förändring i laktatnivå i blodet från låg till hög intensitetsträning. Laktatnivåerna håller sig på en relativt jämn nivå när vi övergår från lätt till medel intensitet, för att sedan öka hastigt då vi når en kritisk intensitet.

Arbete under den anaeroba tröskeln sker aerobt (energiomvandling sker med tillgång av syre och kan pågå över längre tid) och arbete över tröskeln sker anaerobt (utan tillgång av syre, laktatnivåerna ökar och arbetstiden är begränsad).

Den anaeroba tröskeln är mycket individuell, en individ kan ha sin tröskel vid 2,5 mM laktat i blodet medan en annan kan ha sin tröskel vid 6 mM. Det som är intressant med den anaeroba tröskeln är vid vilken hastighet denna inträffar för en individ, då det finns ett mycket nära samband mellan den fart där tröskeln inträffar och en individs prestationsförmåga.



Detta tröskelvärde påverkas bland annat av:

- » Hjärta och lungors kapacitet
- » Antal mitokondrier
- » Kapillärtäthet

Vid arbetsprov med successivt ökande belastning kommer man till en nivå då de syretransporterande funktionerna inte räcker till för att producera den energi som behövs för arbetet, och **anaerob** energiproduktion tillkommer då, alltmer. Därvid ses en tämligen brant ökning av laktathalten i blodet vilket kan mätas om man analyserar laktat. Vid andningsgasanalys avspeglas detta av en stigande respiratorisk utbyteskvot och att testpersonens andningsminutventilation stiger brant för att vädra ut den ökade mängd koldioxid som produceras vid det anaeroba arbetet.

## VIKTIGA TEST ATT HÅLLA KOLL PÅ

### ENKLA TEST

Dessa test behöver ingen utrustning och tillämpas i vardagen på patienter, äldre samt skolungdomar.

**6 minute walk test** - Här testas den maximala gångsträcken under 6 minuter.

**Stair climbing test** – Antalet höjdmeter på 60 sekunder.

Även Cooper och Beep räknas till dessa test!

### SUBMAXIMALA TEST

Dessa tester används för att uppskatta en patients maximala aeroba arbete, vilket främst tillämpas på rehabiliteringskliniker

**Åstrand tester** – Följer en patients fysiska status över tid.

### MAXIMALA TEST

Utförs allra främst på elitidrottare

**VO<sub>2</sub> MAX-test** – Undersöker en idrottares maximala syreupptagningsförmåga