

# MUSKELFYSIOLOGI

detta bör ni behärska

## **Skelettmuskulatur**

uppbyggnaden från hel muskelcell ner till kontraktila proteiner

tvärstrimmig

flerkärnig

viljekontrollerad

ingen egenaktivitet

energiförsörjning: aerob, anaerob

ingen absolut refraktärperiod

Kalcium via sarcoplasmiskt retikulum SR

Sliding filament hypothesis

nervös kontroll

single twitch (enstaka kontraktioner)

twitch-summation

tetanisk kontraktion

snabba eller långsamma muskelfibrer

längd-tensionssambandet

motorisk enhet

reglering av kontraktionsstyrka via rekrytering av fler motoriska enheter eller via val av stora motoriska enheter

## **Hjärtmuskulatur**

egenaktivitet

nervös kontroll

tvärstrimmighet

gap-junctions

aerob metabolism (fett & kolhydrater)

absolut refraktärperiod

Kalcium via SR + sarcolemma

graderad kontraktion hos en enskild muskelcell

## **Glatt muskulatur**

kalcium via sarcolemma

enkärniga

långsamma

"energisnåla"

icke viljestyrd kontraktion

nervös kontroll

Single-unit glatt muskulatur (viceral typ), var den finns och hur den ser ut

egenaktivitet

gap-junctions

Multi-unit glatt muskulatur, var den finns och hur den ser ut

---

# MUSKELFYSIOLOGI

## hjälp till föreläsningssanteckningar

### Litteratur:

Silverthorn: s396 - 430, fig 14-7h (sid 467) samt s 470-477 fram till "The heart as a pump"  
(Kemisk biologi, civing, nv)

### Nomenklatur

sarcolemma: muskelcellens membran

muskelfiber: muskelcell

Muskelcellens membran kan depolariseras precis som nervcellens.

Depolariseringen initierar en kontraktion av muskelcellen

### Muskeltension

Alla skelettmuskelceller står i förbindelse med ett motoriskt neuron.

Motorisk enhet: Ett motoriskt neuron + de muskelceller som neuronet "styr"

- **stora motorenheter**: ett motoriskt neuron som styr **många** skelettmuskelceller

- **små motorenheter**: ett motoriskt neuron som styr **få** skelettmuskelceller

Depolarisationen av muskelcellens membran ( $\text{Na}^+$ jonkanaler öppnas) sprids in i cellen via T-tubuli och når **Sarcoplasmiskt reticulum (SR)**, ett nätverk med speciella depåer som lagrar  $\text{Ca}^{2+}$ .  $\text{Ca}$ -jonerna frisätts vid depolariseringen  $\Rightarrow$  Kontraktion

## Kontraktionen

**Sarcomer**: den minsta kontraktila enheten hos muskeln.

Kontraktionen uppstår då muskelns sarcomerer kortas. För detaljerad beskrivning hänvisas till boken.

**EN skelettmuskelcells** kontraktion är ej graderad utan sker efter "allt eller intet" principen.

## REGLERA KONTRAKTIONSSTYRKAN HOS EN HEL MUSKEL ?

1. Variera frekvensen av aktionspotentialer i motorneuronet som reglerar muskeln.  
aktionspotential  $\Rightarrow$  tension i ca 100 millisek  
om aktionspotential nr 2 avfyras innan nr 1 helt klingat av så kommer tension nr 2 att summeras till nr 1 och på så sätt ge ett kraftigare svar - **summation**

Om aktionspotentialerna kommer tillräckligt tätt så kommer varje  $100 \times 10^{-3}$  s tension att bli till en jämn ihållande kontraktion - **tetanisk kontraktion**

2. Nervsystemet kan nyttja fler eller färre motoriska enheter  
I en muskel finns det både stora och små motoriska enheter och variation i kontraktionsstyrkan varierar genom:

a) att välja hur många motorneuron som skall aktiveras samt

b) vilka motorneuron; de med många muskelceller eller de med få

Ett graderat svar som åstadkoms genom att fler och fler motoriska enheter engageras kallas **recruitment**

Ett svagt stimulus i centrala nervsystemet retar de motoriska neuron som har den lägsta retningströskeln. Dessa neuron tros kontrollera långsamma, röda, uthålliga muskelfibrer som utvecklar ett minimum av styrka. När stimulus i CNS av de motoriska neuronerna ökar i styrka aktiveras fler och fler motoriska neuron med högre och högre retningströskel och muskelfibrer av typen snabba, vita, starka, snabbt uttröttade engageras också.

**Ett sätt för nervsystemet att minska risken för uttrötning av muskeln** är genom osynkroniserad recruitment. Nervsystemet skiftar motoriska enheter hela tiden och de olika enheterna turas om att upprätthålla muskeltensionen.

**Längd-tensionssambandet** För att muskeln skall kunna utveckla maximal tension krävs det att muskel är "upphängd" i skelettdelarna med en viss utsträckning. Detta för att placera aktin och myosin i ett optimalt läge i förhållande till varandra med ett optimalt överlapp innan kontraktionen startar

Om muskeln hänger "i luften" sjunker den ihop och överlappet blir maximalt. Ingen tension (förkortning av muskeln) är möjlig.

Är muskeln för mycket utsträckt är överlappet minimalt (få överlappningar) och möjligheten för en maximal tension minskar.

**Golgi Sen-organ:** Afferenta nervändar med receptoregenskaper placerade på skelettmuskulaturens sensor. De är känsliga både för muskelns sträckning och för kontraktion. När muskeln sträcks eller kontraheras skickas en signal till CNS med en "lägesrapport" vad gäller muskelns aktuella kontraktionsgrad (oftast)/sträckning. Kan starta en relaxationsreflex vid översträckning av muskeln, för att muskeln inte skall skadas

**Muskelspolen:** Består av en grupp specialiserade muskelfibrer sk *Intrafusala fibrer*. Dessa finns inne i muskeln och dess ändar kontraheras delvis som en vanlig muskelcell när det motoriska neuronet ger signal. De centrala delarna av fibrerna kontraheras inte utan fungerar som sträck-**receptorer**. Sensoriska neuron är virade runt fibrerna och skickar signaler om muskelns tensionsgrad vidare till ryggmärgen. På ändarna av de intrafusala fibrerna finns ändar av motoriska neuron som skickar signaler från CNS.

Båda dessa organ bidrar till finjusteringen av rörelser. Det som gör att vi kan hålla balansen med hjälp av ständiga små korrigeringar av kontraktionsgrad hos olika muskelgrupper.

## **FIBERTYPER**

Myoglobin är ett protein som finns i muskler, som liknar Hemoglobin och som binder syre till sig ännu hellre än vad hemoglobin gör. På detta sätt kan syre lagras i muskeln för att släppas loss snabbt när syrenivån i muskeln sjunker.

**Röda muskelfibrer:** är långsamma, anpassade för långa ihållande kontraktioner. Innehåller mycket myoglobin, många mitokondrier och tröttnas inte ut så lätt. Aerob nedbrytning av bränsle.

Exempel: Långsträckta ryggmuskulaturen

**Vita muskelfibrer:** Snabba kortvariga kontraktioner. specialiserade för finmotoriska rörelser. Saknar myoglobin, går över till anaerob nedbrytning av glykogen då kontraktionen stryper den egna blodtillförseln.

Exempel: Muskler i ögat och i handen.

## HJÄRT-MUSKULATUR

### Skillnader jfr med skelettmuskulatur

- enkärninga celler
- förgrenade celler
- gap-junctionförbindelse mellan cellerna
- $Ca^{2+}$  både från SR och extracellulära vätskan
- lång absolut refraktärperiod för att undvika tetanisk kontraktion
- kan kontrahera utan nervstimulering (pacemakerceller i väggen till H förmak)
- hjärtmuskelcellen är 1/10 så stor som en skelettmuskelcell
- enbart aerob metabolism (många mitokondrier)
- hjärtmuskelcellerna kan utverka *graderade* kontraktioner

## GLATT MUSKULATUR

Finns oftast i ihålliga inre organ: mag-tarmkanal, uterus, blodkärl mm.

### Två typer

Multi-unit: iris, erector-pili, blodkärlsväggar (stora kärl), luftvägar

En motorändplatta/muskelcell

Innerverad av ANS

Ej gap-junctions

Ej pacemakerceller

Single-unit (viceral): mag-tarmkanal, uterus, urinblåsa, små blodkärl

En nervcell försörjer många muskelceller

Innerverad av ANS

Pacemakerceller

Gap-junctions

Kontraherar vid sträckning

### Skillnader jfr med skelettmuskulatur

- saknar T-tubuli och SR (sarcoplasmiskt reticulum)
  - har gap-junctions (vicerala typen)
  - har ganska långsam kontraktion men är mycket uthålliga
  - aerob metabolism
  - $Ca^{2+}$  från extracellulära vätskan
  - kan kontrahera utan nervstimulering (pacemakervävnad, vicerala typen))
-

## EFFEKTER AV TRÄNING

- ↑           **blodcirkulation**
- ↑           **mitokondrier**
- ↑           **myofibriller/muskelcell**

Män har större muskler än kvinnor pga att muskelfibrerna stimuleras att växa av Testosteron (manligt könshormon)

**Mjölksyra:** En av produkterna vid anaerob nedbrytning ⇒ skadligt för vävnaden ⇒ smärta  
**O<sub>2</sub> - skuld:** Vi är andfådda även en stund efter det att vi slutat att springa. Nedbrytning av mjölksyra kostar O<sub>2</sub>.

## IBLAND BLIR DET FEL

(detta behöver ni inte kunna)

**Botulism:** En, i vissa fall, dödlig förlamning av skelettmuskulaturen  
Orsak: Ett bakterietoxin (botulinumtoxin) från dåligt konserverad eller dåligt rökt mat (hindrar acetylcholinfrisättningen från motorneuronen).

**Myastenia Gravis:** Förlamning orsakad av autoimmun attack på acetylcholin receptorerna i motorändplattan.

**Polio:** En virusattack på motorneuron i ryggmärg och hjärna.

**Stelkramp:** En sjukdom orsakad av en vanlig bakterie, Clostridium tetani. Påverkar motorneuron ⇒ ihållande kraftig muskelkontraktion, 40 - 60 % dödlighet. Vaccin finns men inget botemedel.

**Rigor mortis:** "likstelhet". Efter döden sker ett Ca<sup>2+</sup> läckage ⇒ ihållande muskelkontraktion som inte släpper förrän de kontraktila proteinerna börjar att brytas ned.