

LABORATION MUSKEL

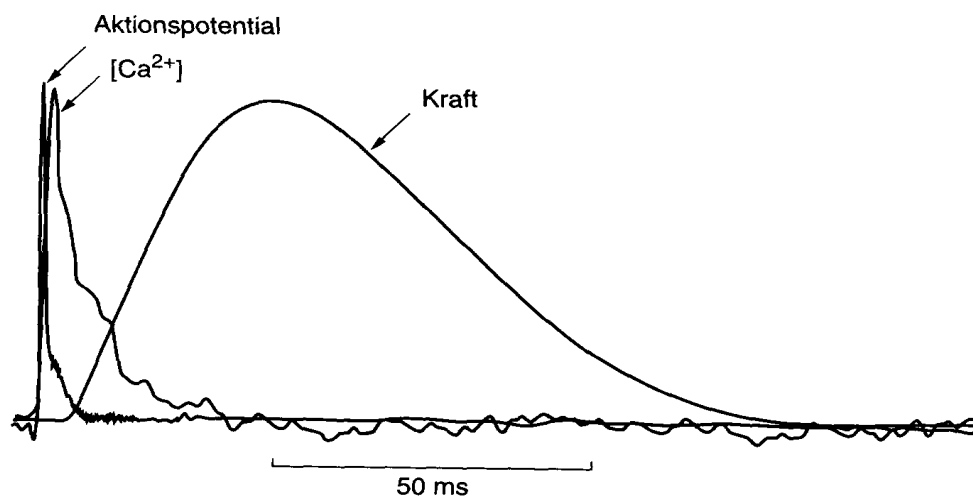
BAKGRUND

När muskeln aktiveras sker det en omvandling av kemisk energi till mekanisk energi i myofibrillerna. Om belastningen inte är alltför stor kommer muskeln att förkorta sig och utföra ett yttre arbete, exempelvis att lyfta en tyngd. Är muskelns båda ändar däremot fixerade så kan inte kontraktionen utåt manifestera sig som en förkortning utan man iakttar i stället en spänningsökning. Även vid en absolut fixering av muskelns båda ändar sker dock en viss inre förkortning av de kontraktile elementen när dessa vid kontraktionen sträcker senor och elastiska filament i muskeln. Det är av intresse att studera muskelkontraktionen både med avseende på förmågan till förkortning och förmågan till spänningsutveckling.

Om muskelns båda ändar är fixerade så säger man att kontraktionen sker isometriskt. För att under sådana betingelser kunna mäta spänningsutvecklingen i muskeln förbinder man dess ena ända med ett registreringssystem med stor styvhet. Då får man en s.k. isometrisk registrering av kontraktionsförloppet. Detta är lämpligt när man vill studera principerna för gradering av skelettmuskels kontraktionskraft.

Single twitch och rekrytering

En kontraktion i den isolerade muskeln kan utlösas genom elektrisk stimulering av den motoriska nerven. En stimuleringspuls av tillräcklig styrka kommer därvid att utlösa aktionspotentialer i de motoriska axonen och via den synaptiska transmissionen i motorändplattan även i muskelfibrernas cellmembraner. Genom denna s.k. excitations-kontraktionskoppling utlöses de konformationsförändringar i myofibrillernas kontraktile protein som utgör själva kontraktionen. Den muskelkontraktion som utlöses av ett enstaka stimulus kallas "single twitch".



Figur 1. Muskelkontraktion utlöst av en enstaka aktionspotential ("single twitch") registrerad under isometriska förhållanden.

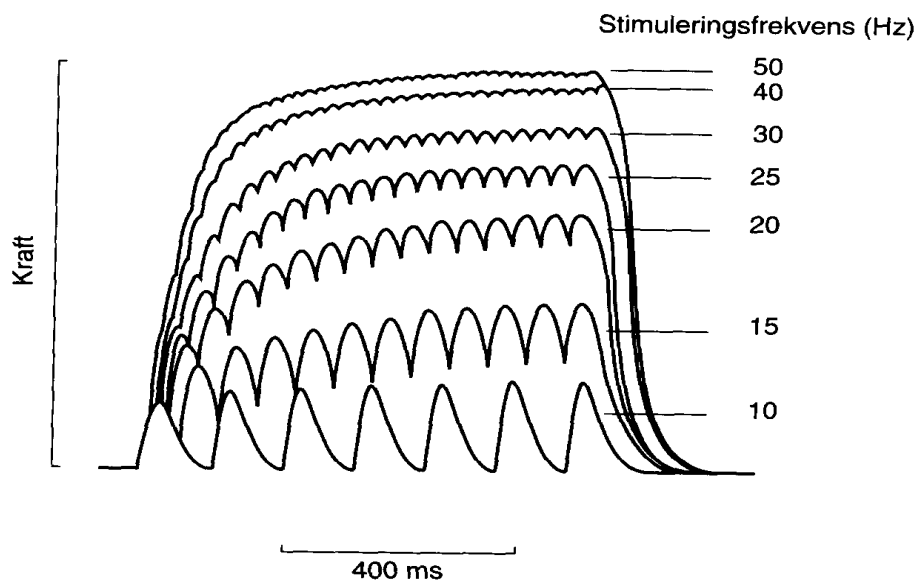
Om stimuleringsintensiteten (dvs. amplituden på den enstaka stimuleringsimpuls som användes) varieras, så kommer också kontraktionssvaret att variera i storlek. Vid svaga stimuli får man ingen "single twitch". Ökas stimuleringsstyrkan gradvis uppkommer en svag kontraktion, som sedan växer med retningen till ett maximum, där ökad retningsstyrka inte medför någon ytterligare ökning i svaret.

Detta kan förklaras av att de olika motoriska axonen har olika retningströskel, och kontraktionssvaret tillväxer allteftersom fler och fler motorenheter engageras i single twitchen vid tilltagande

retningsstyrka. En stimuleringsstyrka som är stark nog att aktivera alla motorenheter ger en "maximal single twitch".

Summation

Eftersom aktionspotentialens refraktärperiod är mycket kort (några ms) jämfört med durationen av en "single twitch" så är muskelcellens membran mottaglig för en ny retning och kan förmedla en ny aktionspotential långt innan det mekaniska svaret och kalciumkoncentrationsökningen efter den första retningen är över. En sådan andra excitation av membranen kommer att leda till en kraftigare kalciumkoncentrationsökning och därmed en kraftigare aktivering av det kontraktile systemet. Dessutom kommer de serieelastiska elementen nu vara partiellt utsträckta, vilket gör att de kontraktile elementen förkortar sig mindre, och muskeln utvecklar mer tension. Upprepade stimuli ger därför en påbyggnad av den isometriska twitch-tensionen s.k. summation. Detta illustreras schematiskt i figur 2.



Figur 2. Summation av muskelkontraktioner när muskeln stimuleras med upprepade stimuleringar i tät följd.

Om muskeln ges en hel serie av impulser får man s.k. tetanus, som först är "vågig" men som vid ytterligare ökning av stimuleringsfrekvensen blir "glatt". Glatt tetanus inträder när tiden mellan stimuleringsimpulserna blir så kort så att inga tecken till muskelrelaxation mellan stimuleringarna är synbara. Den utvecklade kontraktionskraften vid glatt tetanus kan bli flera gånger större än maximal single twitch. Relationen varierar dock mellan olika muskler, och tetanus är ca. 2-10 gånger starkare. Fysiologiskt aktiveras våra muskler normalt i form av en grovvågig tetanus i de olika motorenheterna. Kontraktionen i muskeln som helhet förefaller ändå jämn genom att de olika motorenheterna aktiveras asynkront, dvs. vid lite olika tidpunkter.

Sammanfattningsvis kan skelettmuskeln öka sin kontraktionskraft dels genom att fler och fler motorenheter engageras (**rekrytering**), dels genom att muskelcellerna aktiveras med högre frekvens (**summation**). Båda dessa möjligheter använder CNS i sin kontroll av skelettmuskeln.

Sambandet mellan längd och tension

Med den isometriska registreringen kan man dessutom studera sambandet mellan muskelns längd och tension. När den inaktiva muskeln sträcks från en utgångslängd, där den är helt slapp, till en allt större och större längd, förändras tensionen på ett karakteristiskt sätt. Dels uppvisar muskeln en s.k passiv tension, som iakttas utan elektrisk stimulering. När muskeln sträcks spänns de elastiska strukturerna i muskeln och precis som när man drar ut en metallfjäder eller ett gummiband, så strävar dessa elastiska element i muskeln att dra ihop sig och återta sin ursprungslängd. Passiv tension är den tension som skapas av denna passiva elastiska återfjädring. Den passiva längd-tensionskurvan visas schematiskt i figur 3, "Passiv". Om muskeln vid olika längder stimuleras till en maximal, glatt tetanus ökar tensionen upp till den längd-tensions- kurva, som representerar den totala tensionen (figur 3, "Total"). Den tension som muskeln aktivt utvecklat under kontraktionen utgör skillnaden mellan "Total" och "Passiv" (dvs. "Aktiv").

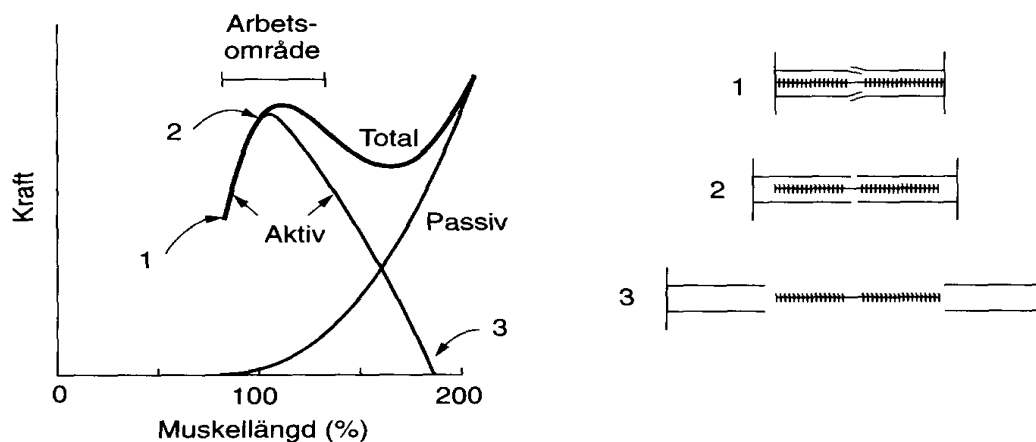


Fig. 3 Förhållandet mellan kraft och muskellängd. Till höger illustreras schematiskt en sarkomer vid olika muskellängder.

Förhållandet mellan muskellängd och tension (aktiv eller passiv) studerar vi inte direkt under den här laborationen, men är viktigt att känna till.

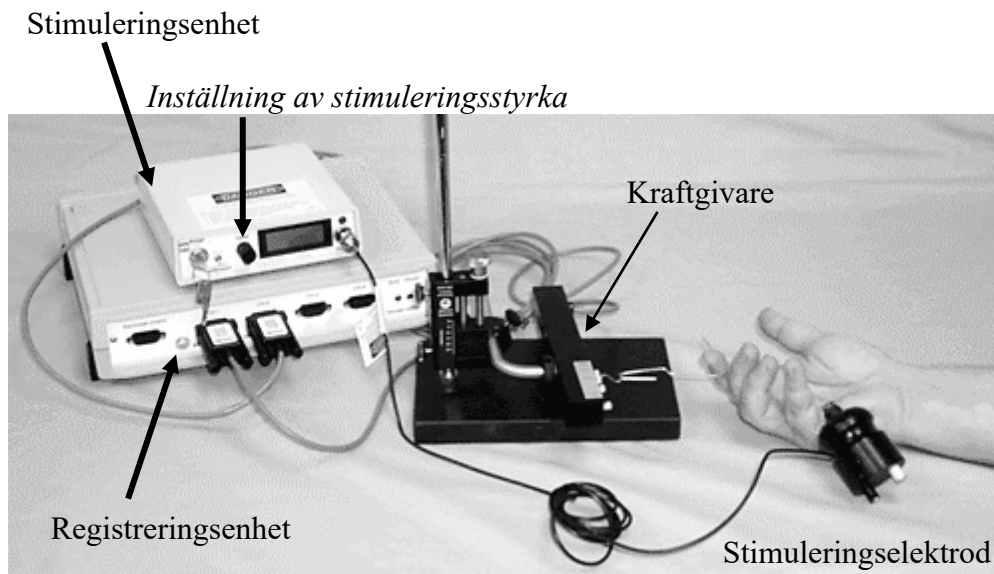
Laboration Muskel: GENOMFÖRANDE

Syfte

1. Att registrera kraften som utvecklas i en muskel vid elektrisk stimulering.
2. Att studera fenomenet summation vid upprepad muskelaktivering.

Utrustning

- Dator med BIOPAC Pro programvara, registreringsenhet (MP30)
- Elektrisk stimuleringsenhet (BSLSTMA)
- Stimuleringselektrod, elektrodgel
- Kraftgivare (SS12LA), stativ och ett utvikt gem
- Tuschpenna för att markera stimuleringspunkten på huden

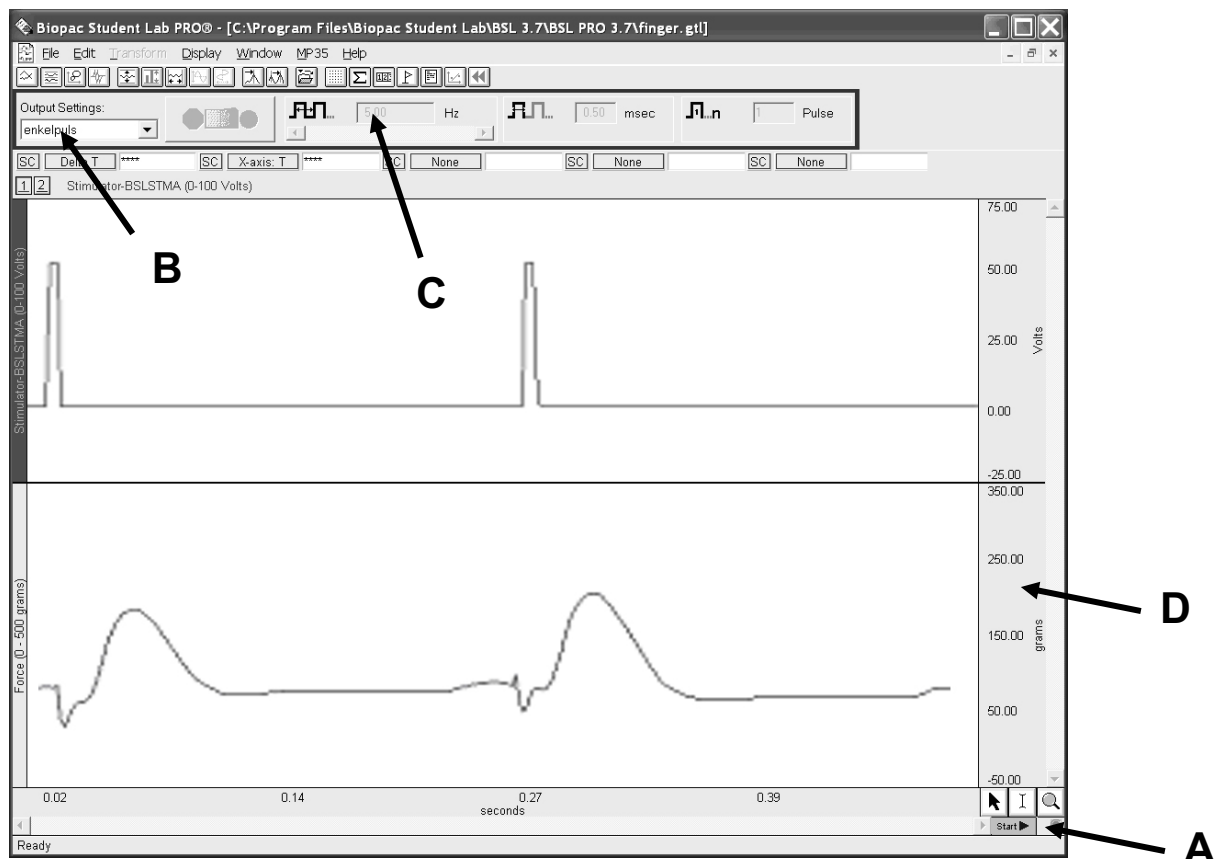


Uppkoppling (se bild):

1. Anslut kabeln "Trigger" från stimuleringsenheten till "Analog Out" på baksidan av registreringsenheten MP35.
2. Anslut kabeln "Reference Output" till CH1 på registreringsenheten (OBS bilden stämmer inte!)
3. Anslut kraftgivaren till CH2 på registreringsenheten (och inte som på bilden...)
4. Anslut stimuleringselektroden till utgången ("Output") på stimuleringsenheten.

Stimuleringen skall vara inställd på 0-100 V. Vrid ned ratten "Level" till 0 V.
Välj "Fixed 15 ms" för visning av den elektriska pulsen (en väljare bredvid ratten).

Styrning av stimulering och registrering:



- Stimulering och registrering startas och stoppas genom att man klickar på knappen "Start" (A).
- Antalet pulser per stimulering kan ändras överst i fönstret (B), välj "enkelpuls", "dubbelpuls" eller "pulståg". Pulsernas frekvens ställs in vid C, se Moment 3.
- Kurvornas skalor kan ev. behöva justeras, klicka vid skalan (D) och ändra "Scale" och ev. "Midpoint" i fönstret som dyker upp.

Det finns en mängd andra funktioner i programmet, t.ex:

- Ni kan 'scrolla' tillbaka och titta på tidigare registrerade data.
- Tidsskalan kan ändras: klicka på den och ändra "Scale" i fönstret som dyker upp (standardinställning i denna labb är 0,25 s).
- Ni kan mäta tider genom att klicka på det lodräta strecket (just ovanför 'Start'). Klicka sedan och dra i registreringen. Den uppmätta tiden visas ovanför registreringarna ('delta T').

Innan ni kan börja behöver kraftgivaren kalibreras med en liten vikt. Be en amanuens om hjälp!

Moment 1: Att hitta rätt stimuleringspunkt

1. Försökspersonen vilar med armen på bordet med handflatan uppåt. Se bild på nästa sida, men koppla *inte* upp något finger mot kraftgivaren ännu.
2. Sätt lite elektrodgel på de två elektroderna på stimuleringselektroden.
3. Placera stimuleringselektroden med elektroderna längs med armen. Den svartmarkerade elektroden (= negativ pol, katod) skall vara närmast handen.
4. Starta stimulering och registrering genom att välja "enkelpuls" (B) och klicka på "Start" (A).
5. Försökspersonen trycker själv in den röda knappen på elektroden, och ökar sedan stimuleringsintensiteten genom att vrida på knapp "Level" på stimuleringsenheten. Öka intensiteten tills det känns någonting alls i huden, ca. 30-70 V beroende på hur bra kontakt det är.

6. Flytta nu stimuleringselektroden försiktigt i små steg och prova att öka stimuleringsintensiteten till ni hittar en bra punkt för att stimulera någon av de långa fingerböjarmuskulerna. En av fingrarna kommer då att "hoppa till" vid stimuleringspulsen.
7. Det kan behövas mer elektrodgel, men blir det för mycket får man torka av armen.
8. Det brukar gå bra att hitta en bra punkt för långfingret *strax nedanför en punkt mitt på underarmen*. Bilden nedan är nästan rätt, men elektroden skall vara lite längre upp på armen. Punkter för ringfingret och pekfingret ligger på var sida om denna punkt och kan i ibland vara lättare att hitta.



9. "Rätt" stimuleringspunkt är mycket liten, och där krävs det relativt sett mindre stimuleringsstyrka, ca. 30-50 V. Fingret rycker nu till utan att det smärtar avsevärt i huden. Ni skall använda denna optimala stimuleringspunkt under hela försöket. Försök markera detta ställe med en tuschpenna.
10. Stoppa registreringen.

Notera: Om det behövs mycket spänning och/eller försökspersonen tycker att det gör väldigt ont så kan ni behöva mer elektrodgel eller justera elektrodläget ytterligare.

Moment 2: "Single twitch" och varierande stimuleringsstyrka.

1. Böj till ett gem som på bilden ovan och haka fast fingret i kraftgivaren vid "500 g".
2. Justera armen och stativet så att fingret drar *lätt* i kraftgivaren i vila. Ni kan behöva justera sittställningen eller hur ni drar i gemet för att detta skall bli rätt.
3. Starta. Notera svaret i kraftgivaren. Detta är en s.k. "single twitch" i muskeln.
Viktigt: Svaret skall bli likadant vid varje stimuleringspuls, om inte så behöver ni träna er på att hålla stimuleringselektroden helt still. Ev. behövs en bättre stimuleringspunkt eller försökspersonen kanske behöver hitta en bättre sittställning.
4. Håll stimuleringselektroden helt stilla och variera stimuleringsstyrkan nedåt och lite uppåt.

Vid vilken spänning uppträder single twitch?

Vad händer när stimuleringsstyrkan ökas? Varför?

Vid vilken spänning ökar det inte mer?

Moment 3: Summation

1. Ändra nu till "dubbelpuls" (B i bilden ovan). Starta med en frekvens på 5 Hz (se ovan, C). Detta ger två elektriska pulser med en frekvens av 5 Hz, dvs. det är 200 ms mellan pulserna. Använd den styrka som tidigare gav en tydlig single twitch.
2. Utlös ett par dubbelstimuleringar, studera kraftsvaret.

3. Öka pulsfrekvensen, först stegvis till 10 Hz (= 100 ms mellan pulserna), därefter stegvis ännu högre frekvens (upp till minst 20 Hz eller ännu högre). Vad händer med kraftkurvan? Studera noga hur den andra pulsen ser ut i relation till den första vid olika frekvenser.

**Vad ser ni när ni stimulerar med två pulser? Vad händer med kraftkurvan?
När uppträder summation och hur ser ni detta?**

Notera: Om kraftkurvan försvinner "över kanten" kan man behöva ändra skalan. Det går att flytta gemet till en annan punkt på kraftgivaren (t.ex. 1000 g, ger mindre känslighet). Det går även att ändra visning av kurvan, klicka på skalan vid 'D' i bilden ovan.

4. Prova därefter med "pulståg" (C) med 5 eller fler stimuleringspulser. Starta med 10 Hz och prova även med 20 Hz eller högre. Studera kraftkurvan.

**Vad ser ni när ni stimulerar med tåg av elektriska pulser?
Hur ser ni summation nu?**

Ev. kan ni välja att ändra tidsskalan (klicka på tidsskalan längst ned i fönstret) och prova med längre serier av stimuleringspulser.

5. Prova slutligen med att koppla bort fingret från kraftgivaren och titta på fingrets rörelse när ni stimulerar på samma sätt med pulståg.

Vad händer när fingret är frikopplat från gemet? Vad är det ni ser? Varför?

Diskussion och redovisning:

1. Vad var målsättningen med laborationen? Vad var det ni stimulerade? Vad var det ni registrerade?
2. "Single twitch": Vad händer med kontraktionskraften när stimuleringsstyrkan ökas? Varför?
3. Summation: Vad menas med summation? När såg ni detta? Vilken pulsfrekvens krävdes och vad motsvarar detta för tidsintervall mellan pulserna? Vad beror summationsfenomenet på?
4. Vad händer med kontraktionskraften vid pulståg? Hur ser det ut när man stimulerar med ett pulståg när fingret är frikopplat från givaren?

Grupper som har som uppgift att redovisa Muskel-laborationen skall dokumentera era kurvor och hur ni gjorde labben, t.ex. med mobilkamera. (Filma gärna t.ex. hur det ser ut när ni gör det allra sista momentet med ett frikopplat finger.)

(Om ni vet hur man gör kan ni använda verktyget "Snipping Tool" i Windows för att ta skärmbilder, men ni måste då tyvärr ha med er ett eget USB-minne för att kopiera över bilderna till era egna datorer. Lab-datorerna är inte nätverksuppkopplade (HT-2022)).