

# **3. PŘEDNÁŠKA – SIGNÁLY NERVŮ A SVALŮ**

- Úvod do EMG**

- historie EMG
  - geneze EMG
  - snímání EMG

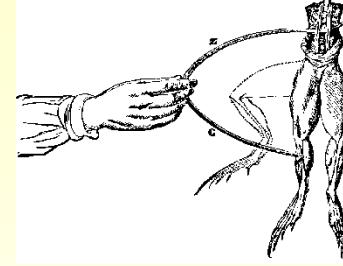
- Aplikace EMG**

- diagnostické EMG
  - kineziologické EMG
  - ovládání protéz

- Zpracování EMG**

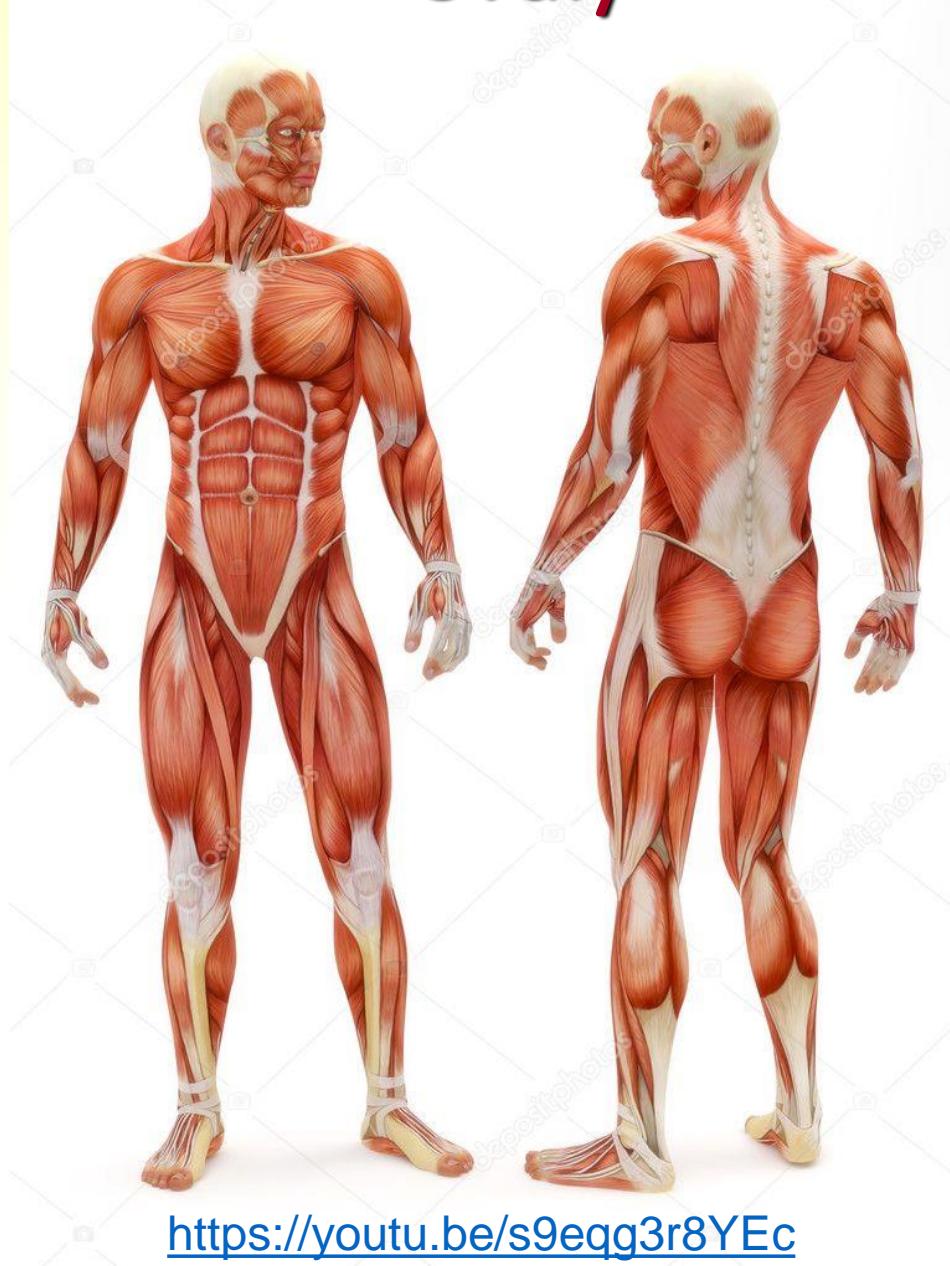
- artefakty
  - obálky
  - kvantitativní charakteristiky

# Historie EMG



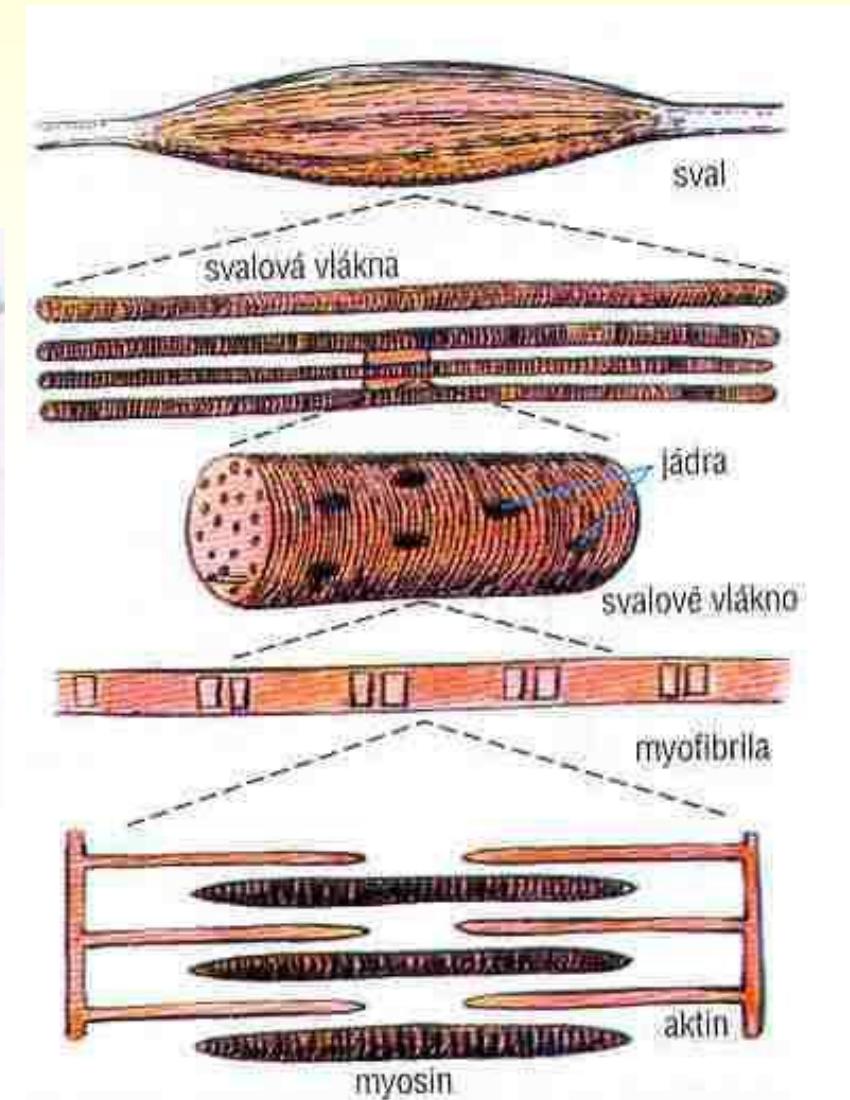
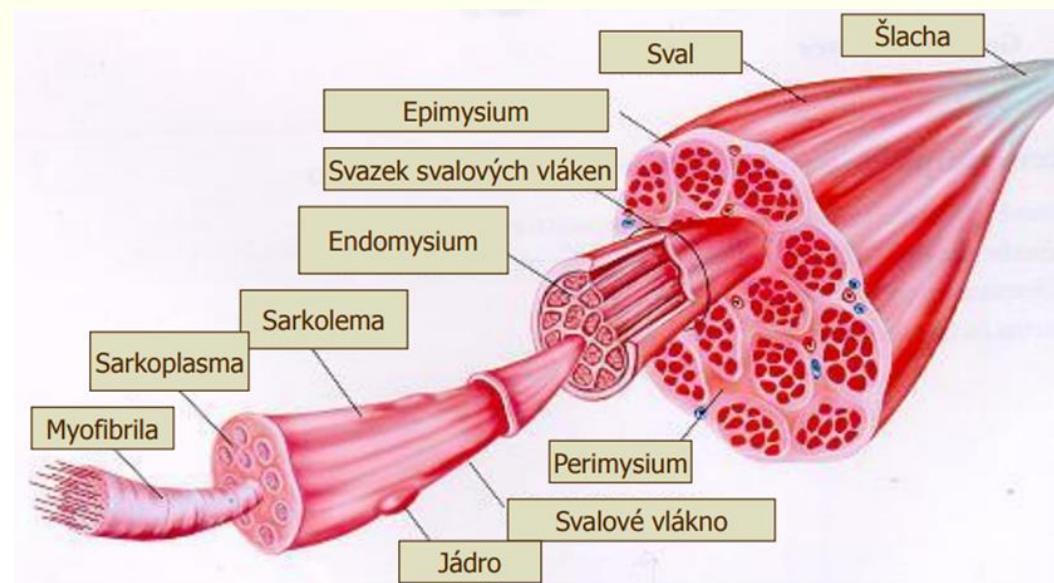
- **1791 - Luigi Galvani (Itálie)**  
pozoroval vztah mezi elektřinou a svalovou kontrakcí
- **19. století**  
vyvolání svalových záškubů působením elektrického proudu
- **1907 - Louis Lapicque (Francie)**  
model buněčné membrány
- **1918 - Arthur E. Baines (Anglie)**  
první použil kabelový model šíření vzruchu
- **1928 - R. Proebster (Německo)**  
první signál z dysfunkčního svalu
- **1929 - použití jehlové elektrody**  
následuje rychlý rozmach klinické myografie
- **2.pol. 20.století**  
návrhy elektronické protézy ruky

# Svaly

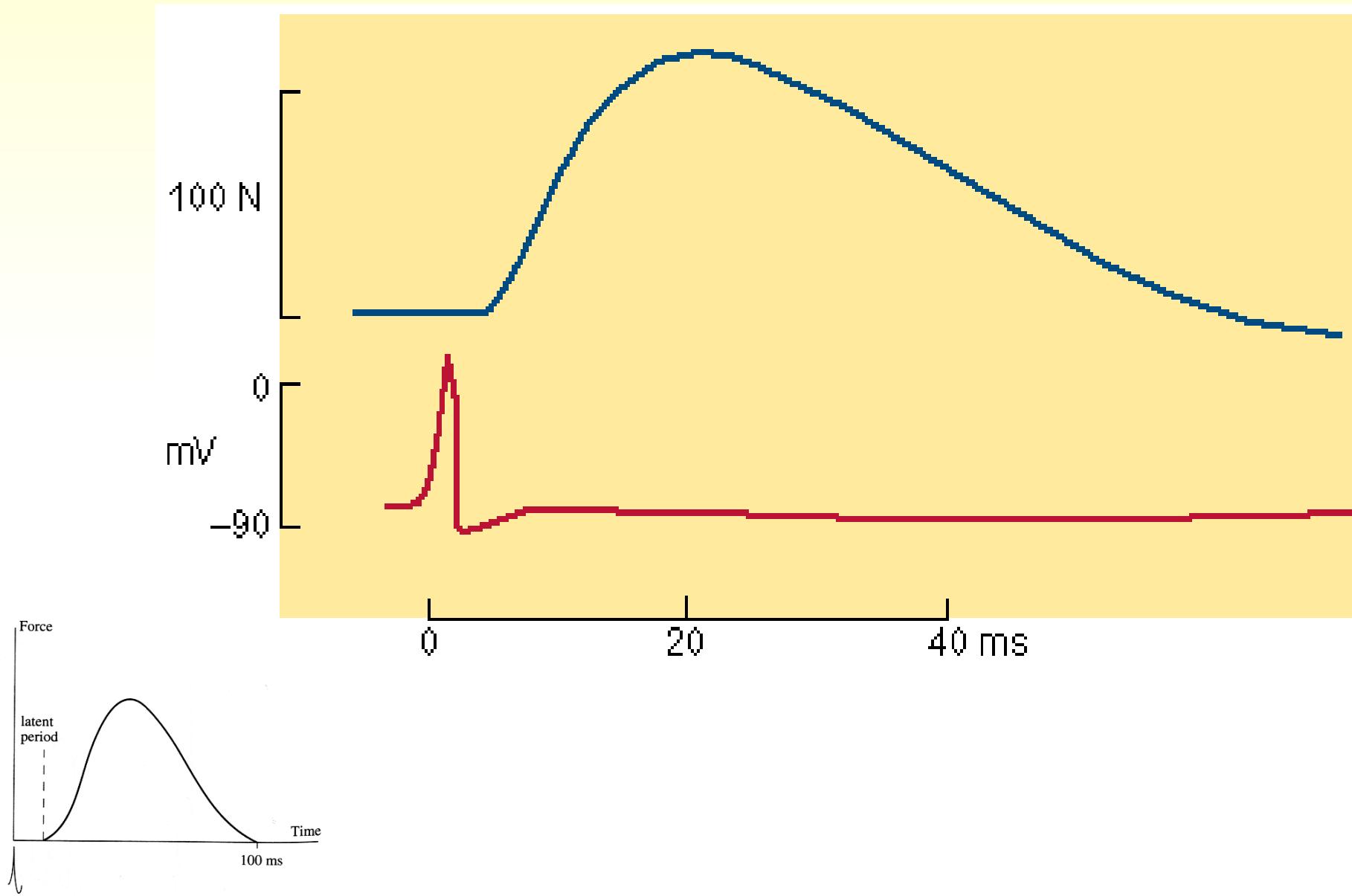


<https://youtu.be/s9eqg3r8YEc>

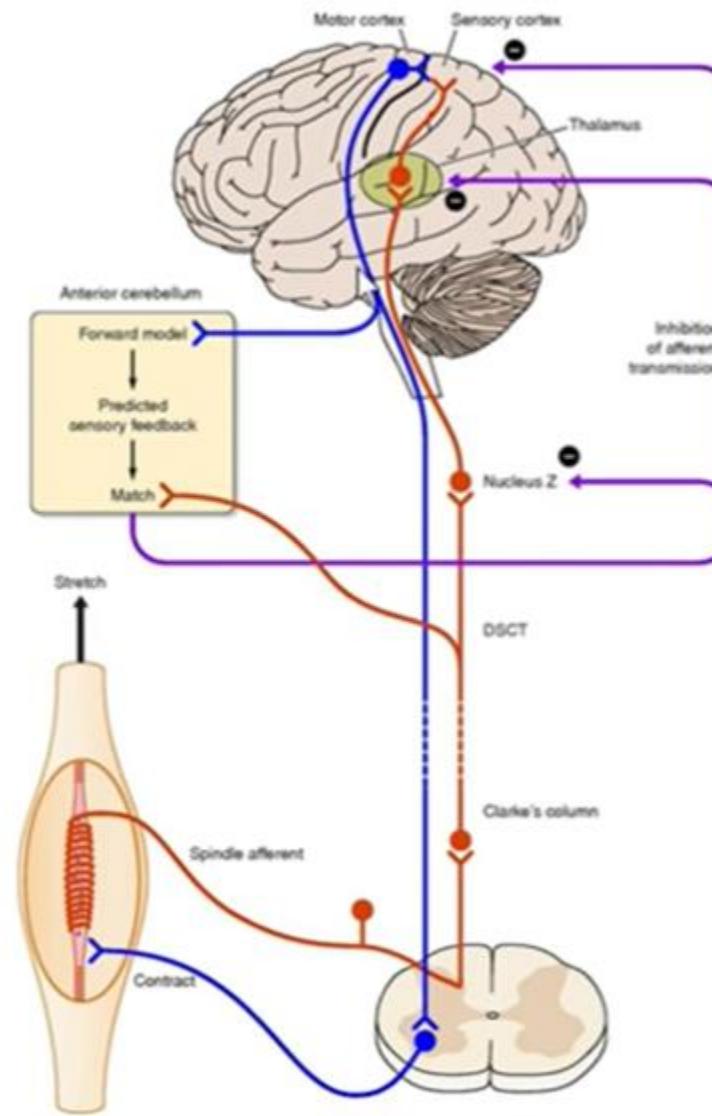
# Struktura kosterního svalu



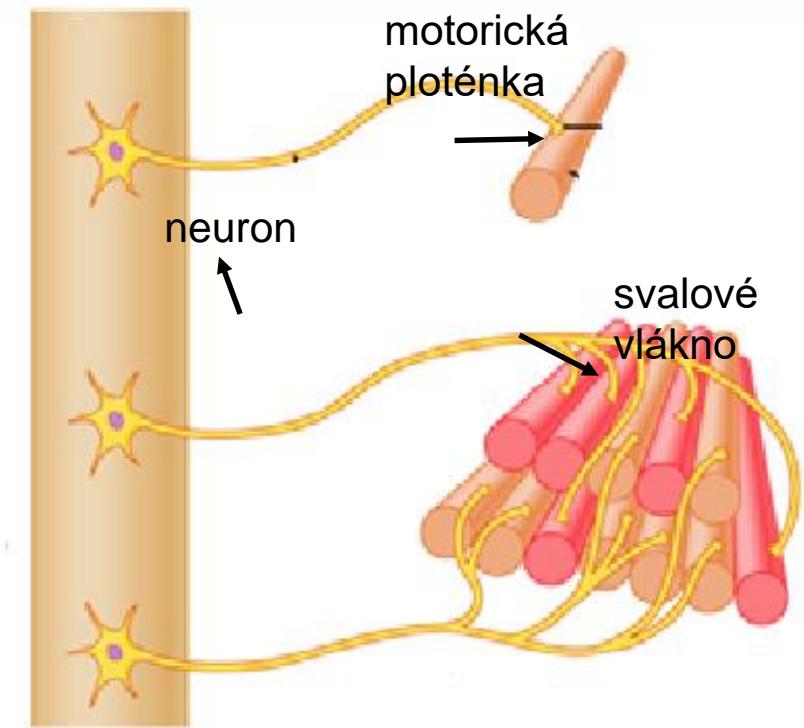
# Sled dějů při svalové kontrakci



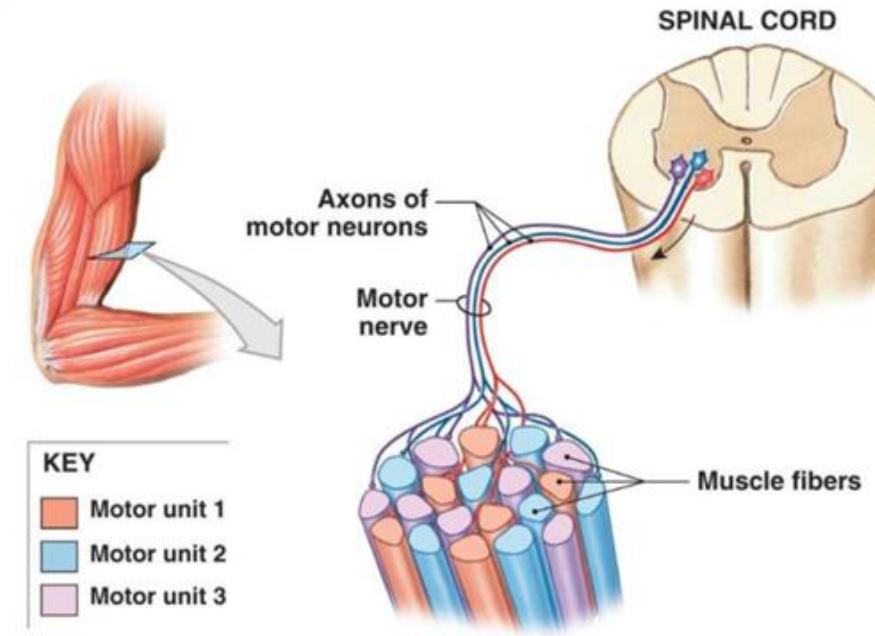
# Přenos informace ke svalu



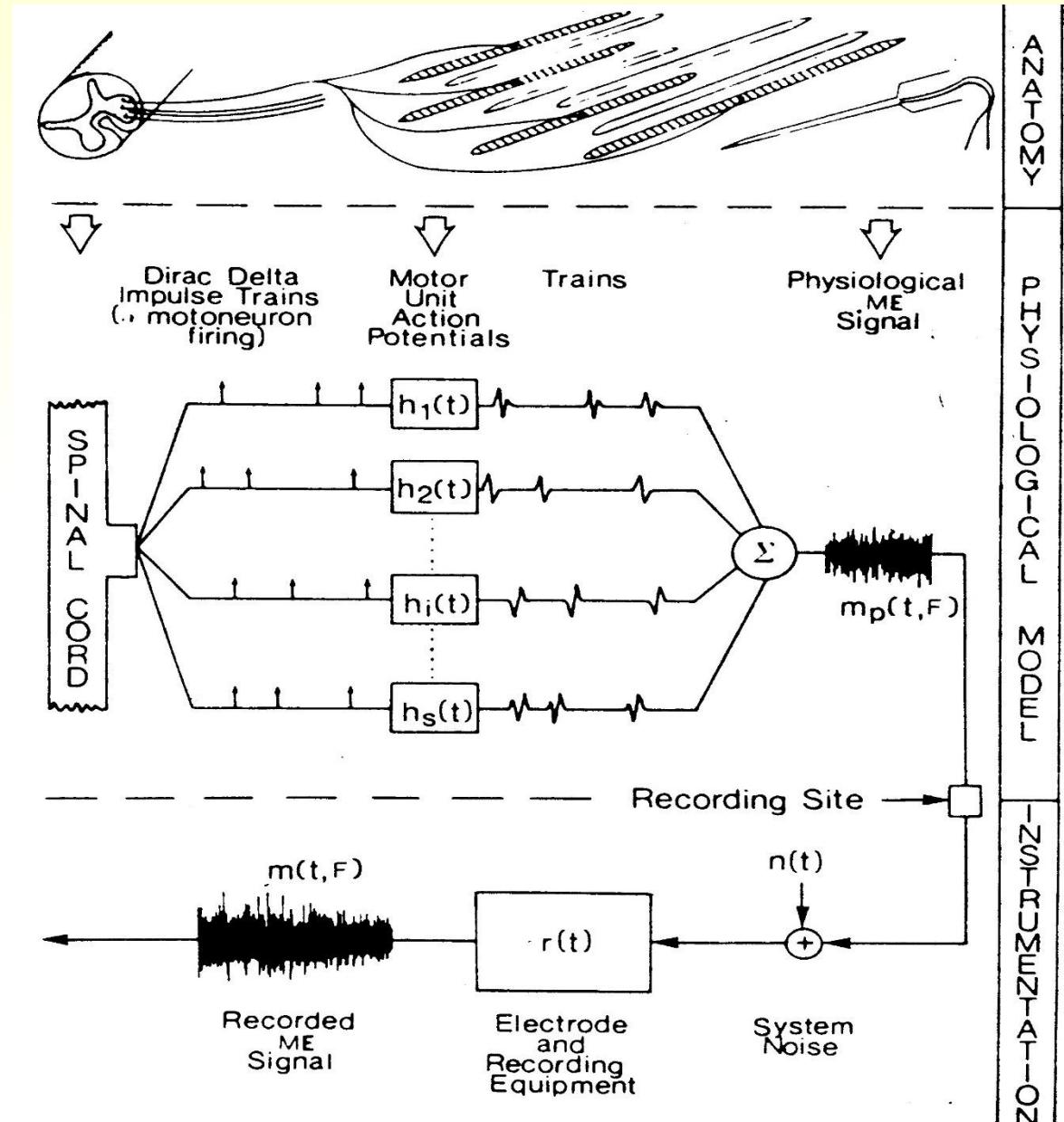
# Motorická jednotka



motorická  
jednotka



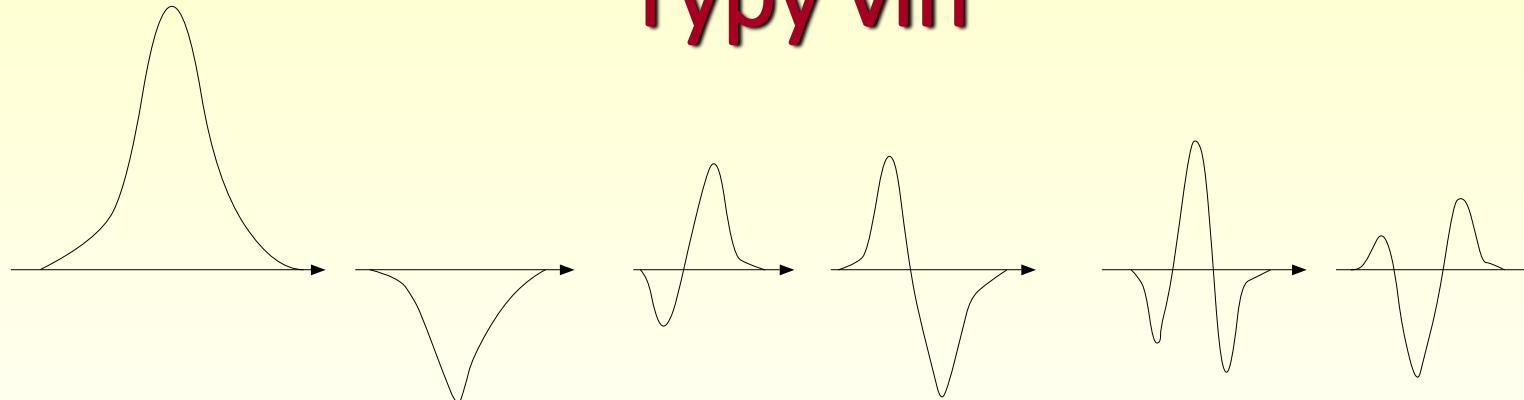
# Motorická jednotka a generování EMG



# Velikost motorických jednotek (MU)

sval	celkový počet nervových vláken	celkový počet svalových vláken	počet MU	počet svalových vláken v MU
<b>Platysma (sval v podkoží krku)</b>	1826	27100	1096	~25
<b>Svaly na ruce (ukazováček)</b>	199	40500	119	~340
<b>Svaly dolních končetin (lýtka)</b>	965	1120000	579	~1934

# Typy vln

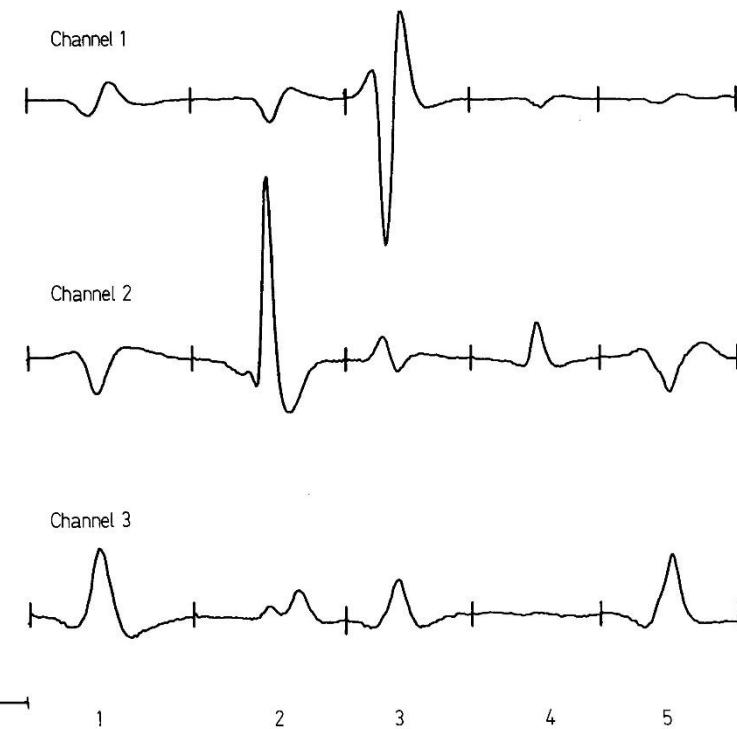


Monofázické vlny

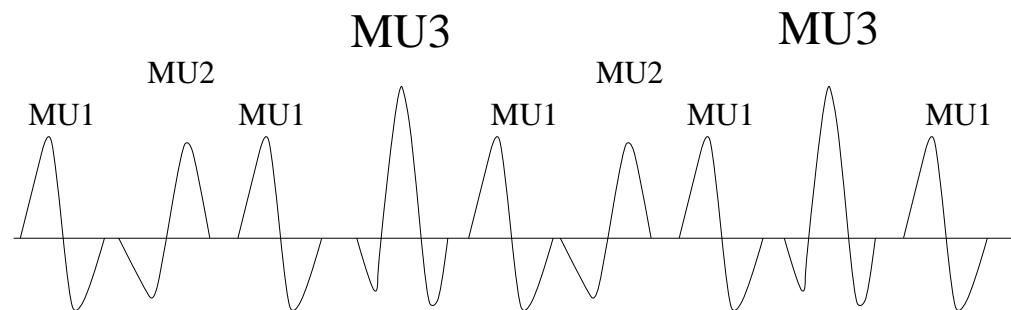
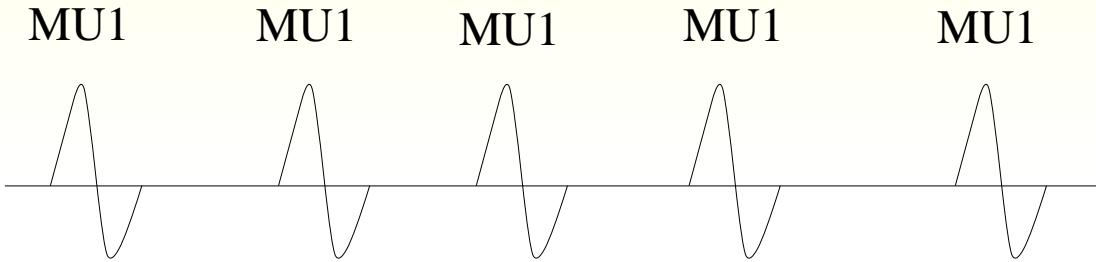
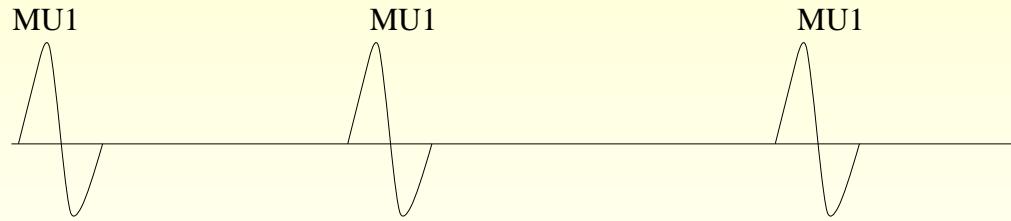
Bifázické vlny

Trifázické vlny

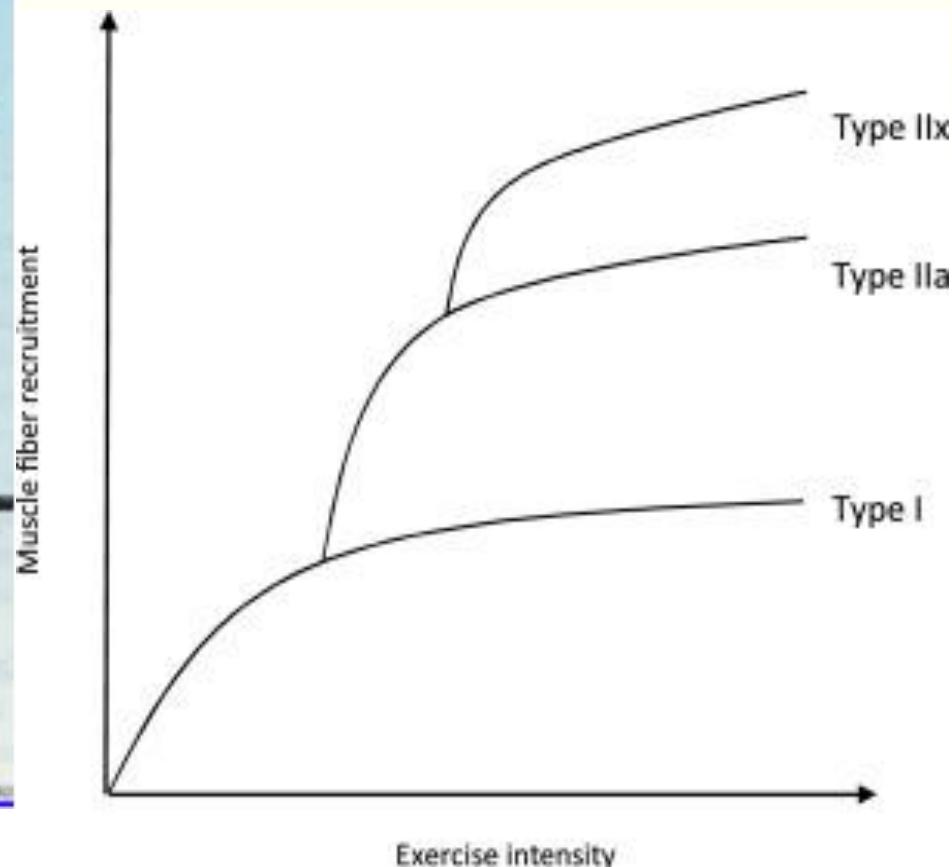
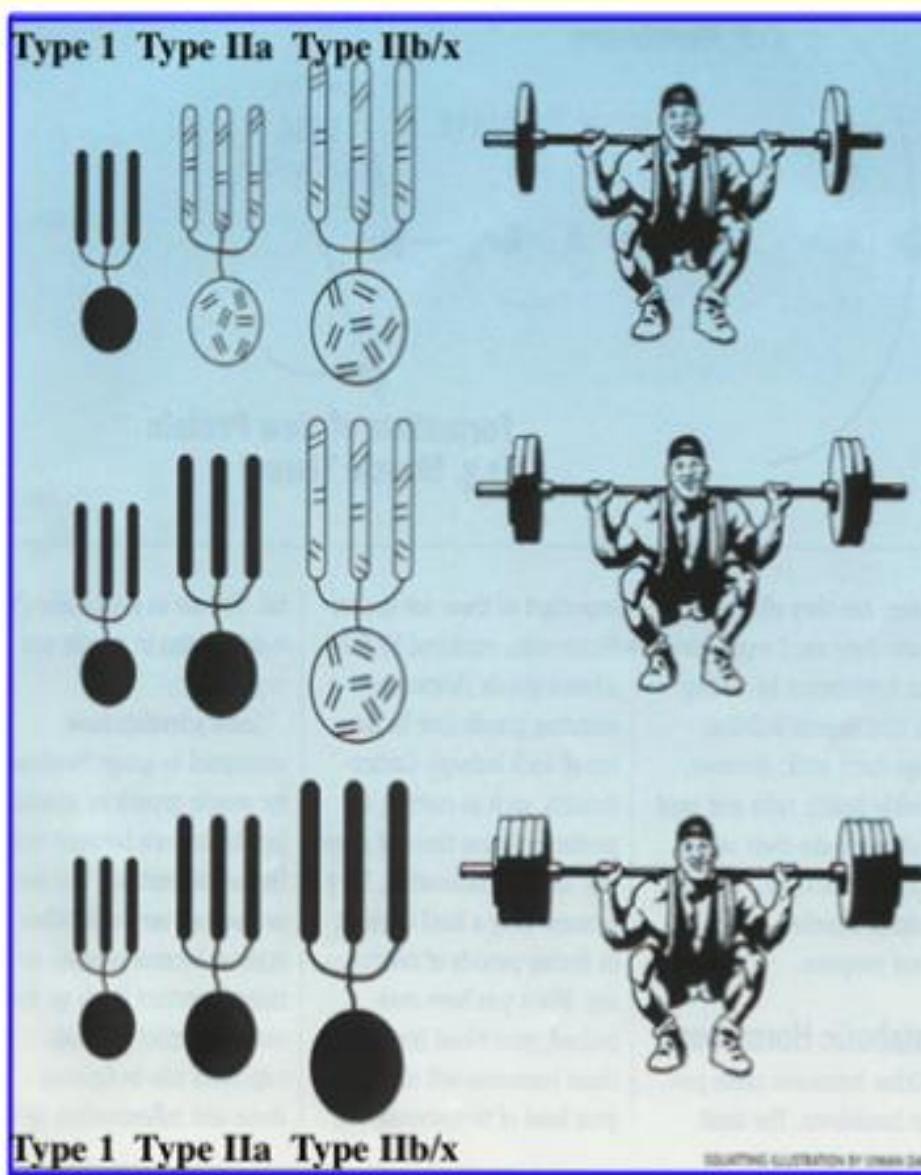
## Akční potenciály normálních MU



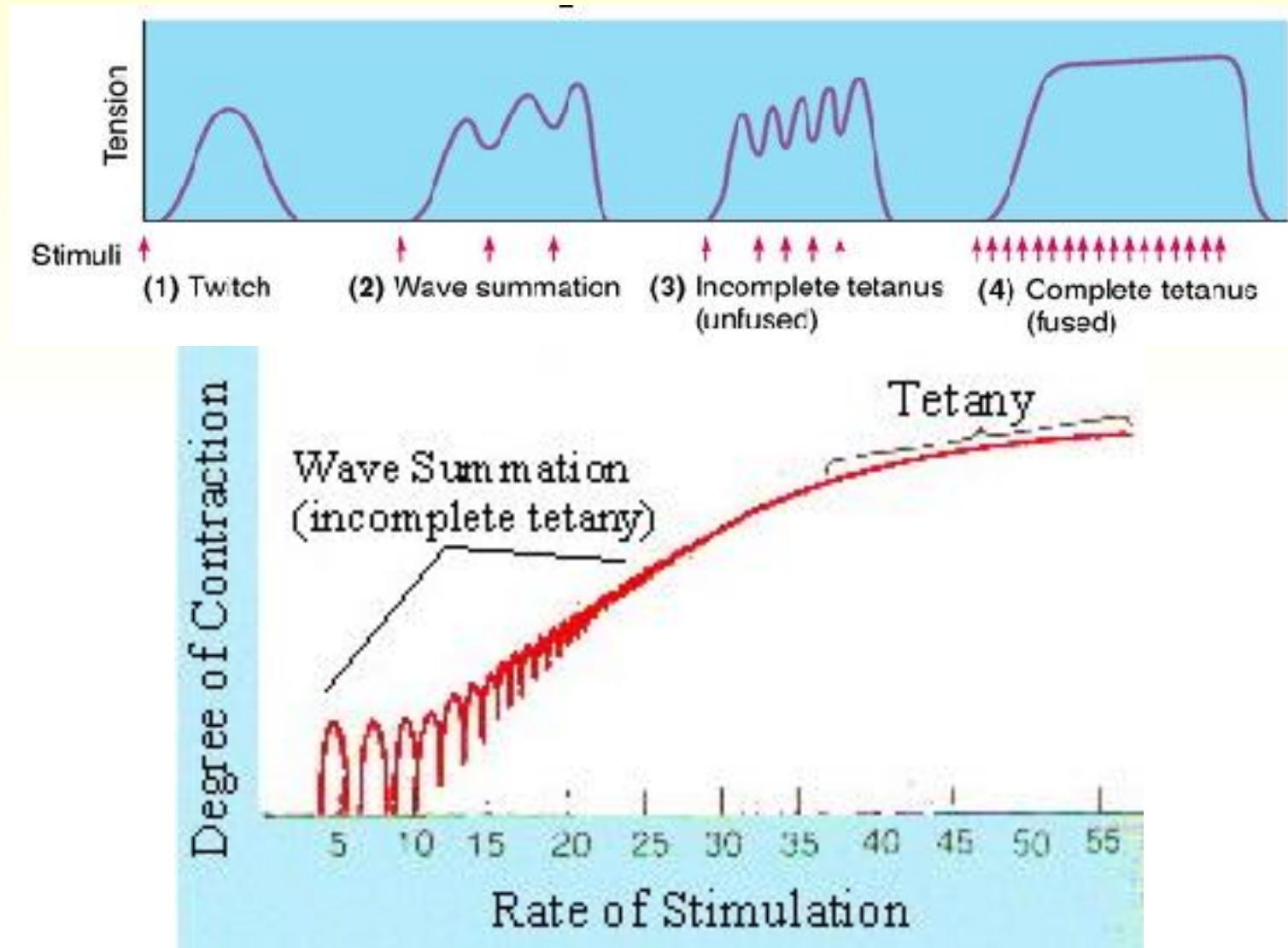
# Nábor motorických jednotek



# Zapojování svalů

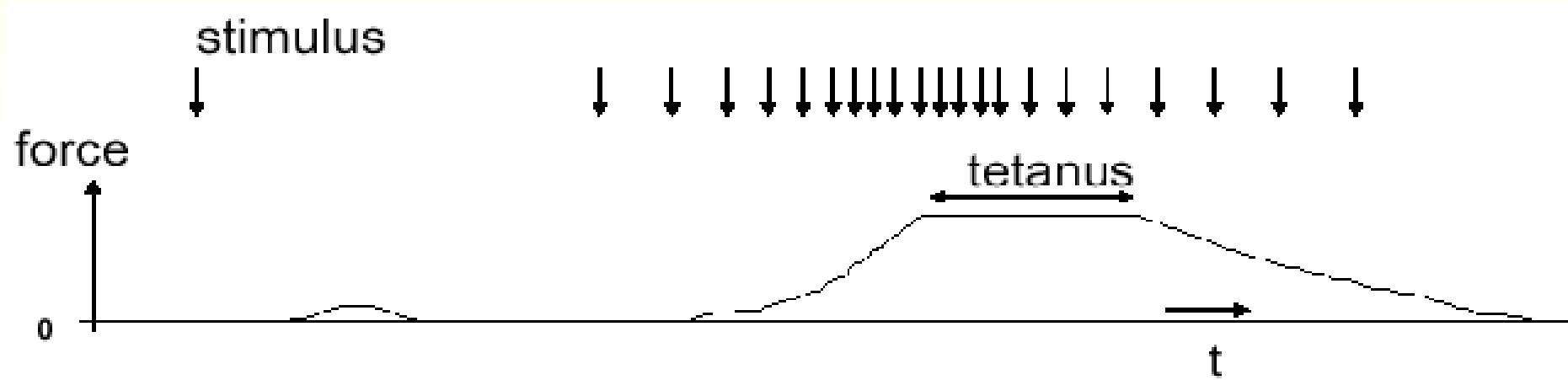


# Závislost síly svalu na stimulační frekvenci



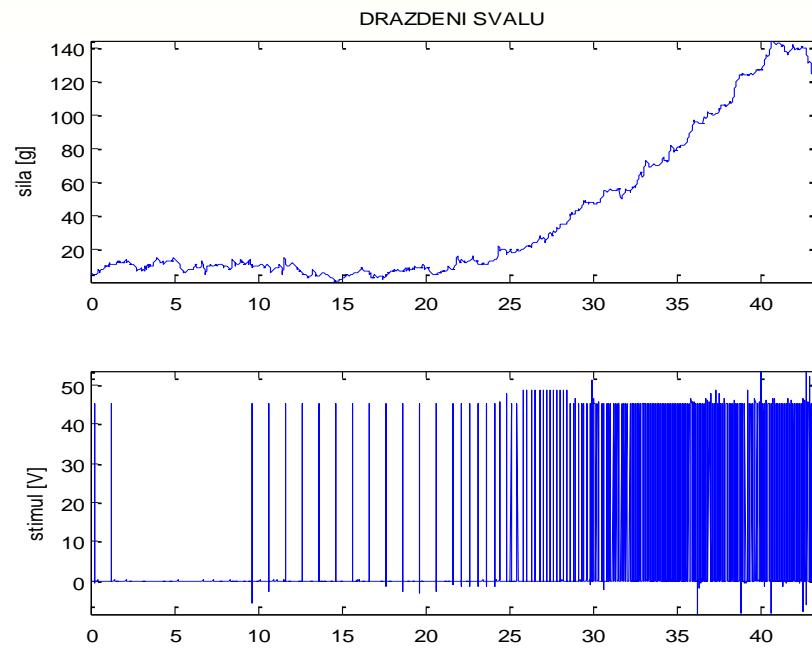
# Závislost síly svalu na stimulační frekvenci

- Síla svalu je regulována pomocí náboru motorických jednotek a budící frekvence



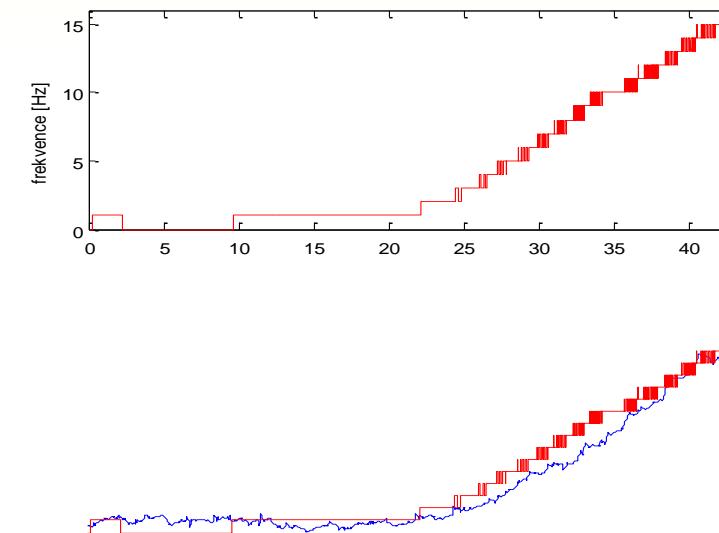
- frekvenční modulace
- stejná svalová síla může vznikat zapojením menších motorických jednotek na vyšších frekvencích nebo větších motorických jednotek na frekvencích nižších

# Závislost síly svalu na stimulační frekvenci



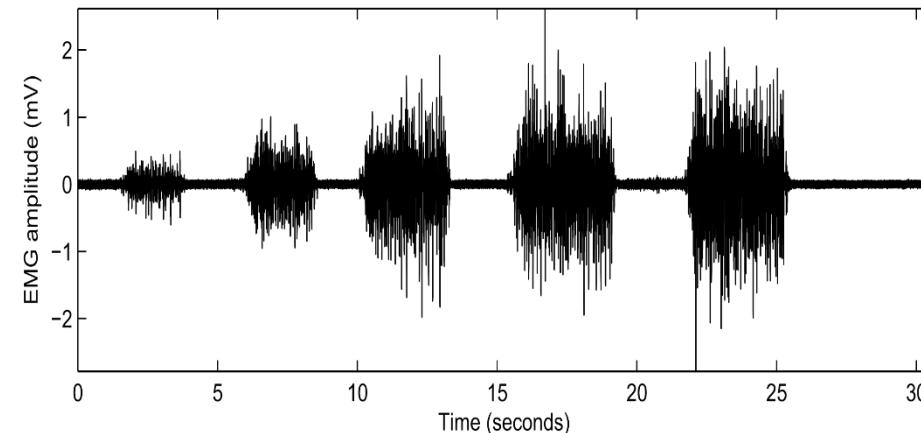
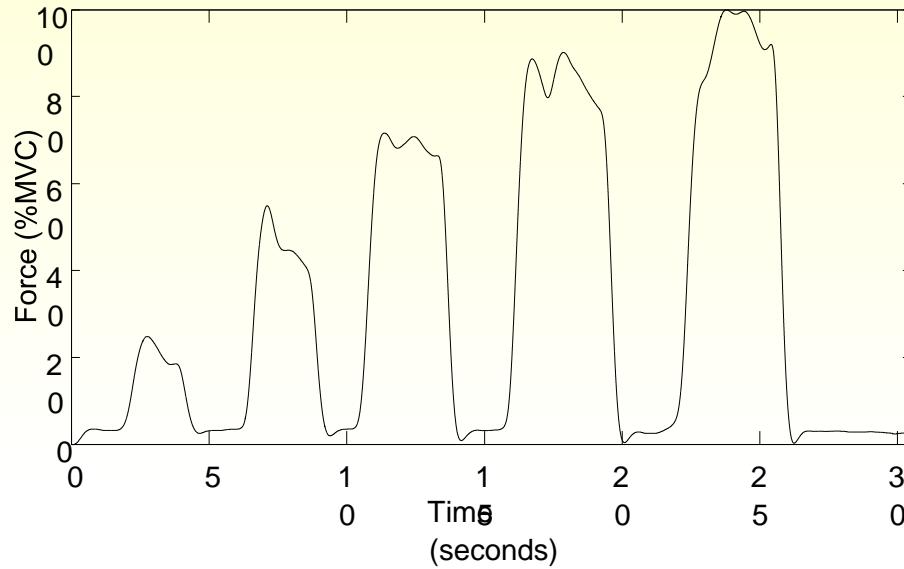
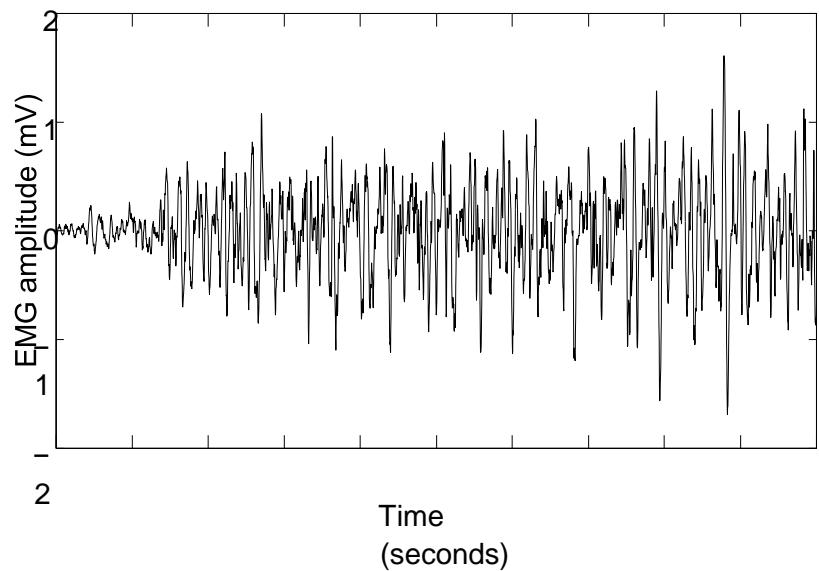
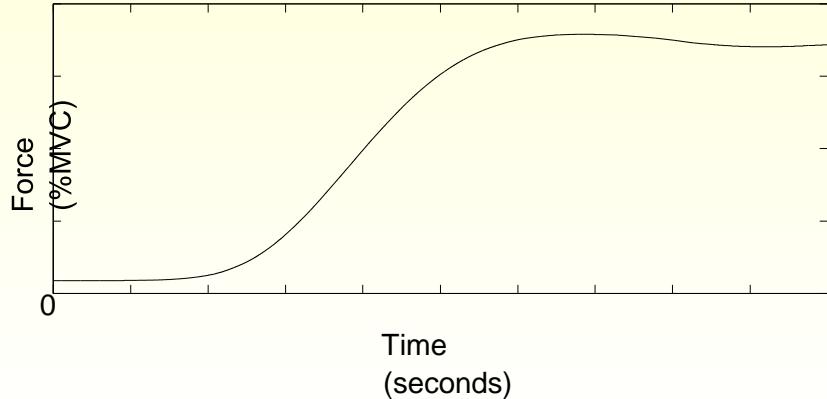
```
x = load('sval01L.txt');  
fs = 1000;
```

```
p = [(diff(x(:,2)) > 20; 0];  
y = filter([ones(fs,1)], 1, p);
```



<https://www.youtube.com/watch?v=fGMDq3ay7Ro>

# EMG signál a síla kontrakce



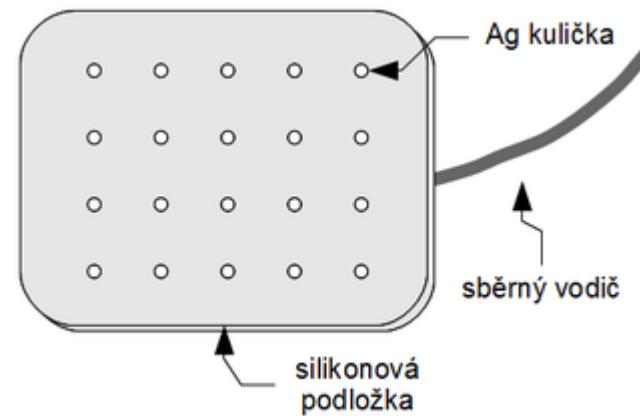
# Typy elektrod

- **Povrchové elektrody**  
(snímají sumaci signálů v prostoru pod elektrodou)

Bagnoli - povrchové



Nihon-Kohden  
Povrchové, diskové



# Typy elektrod

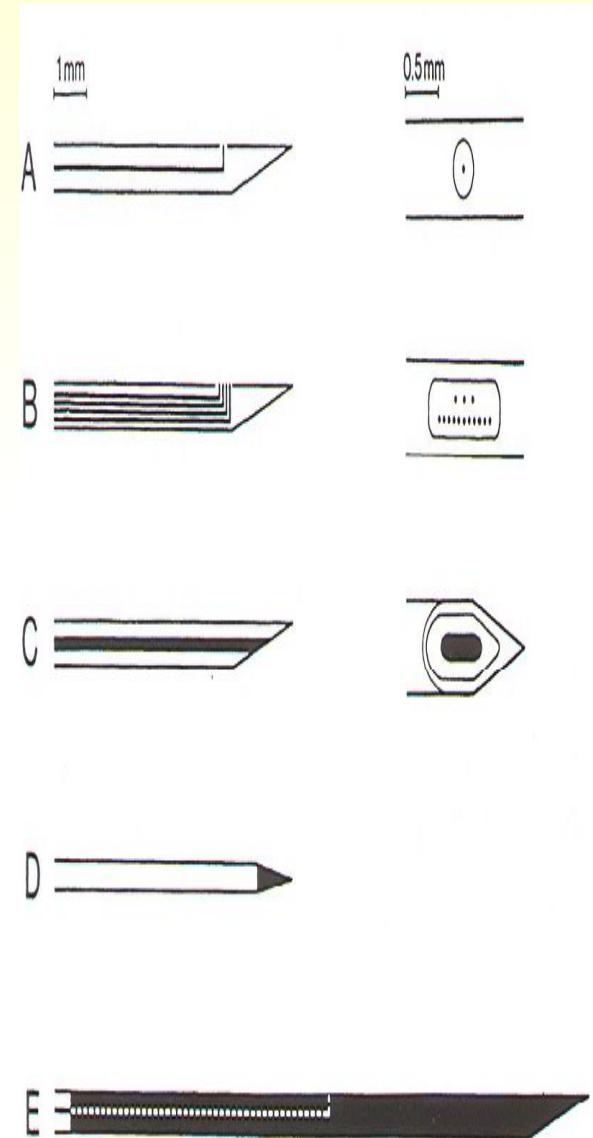
- **Jehlové elektrody vpichové**  
(slouží k připojení do určitých svalových skupin)



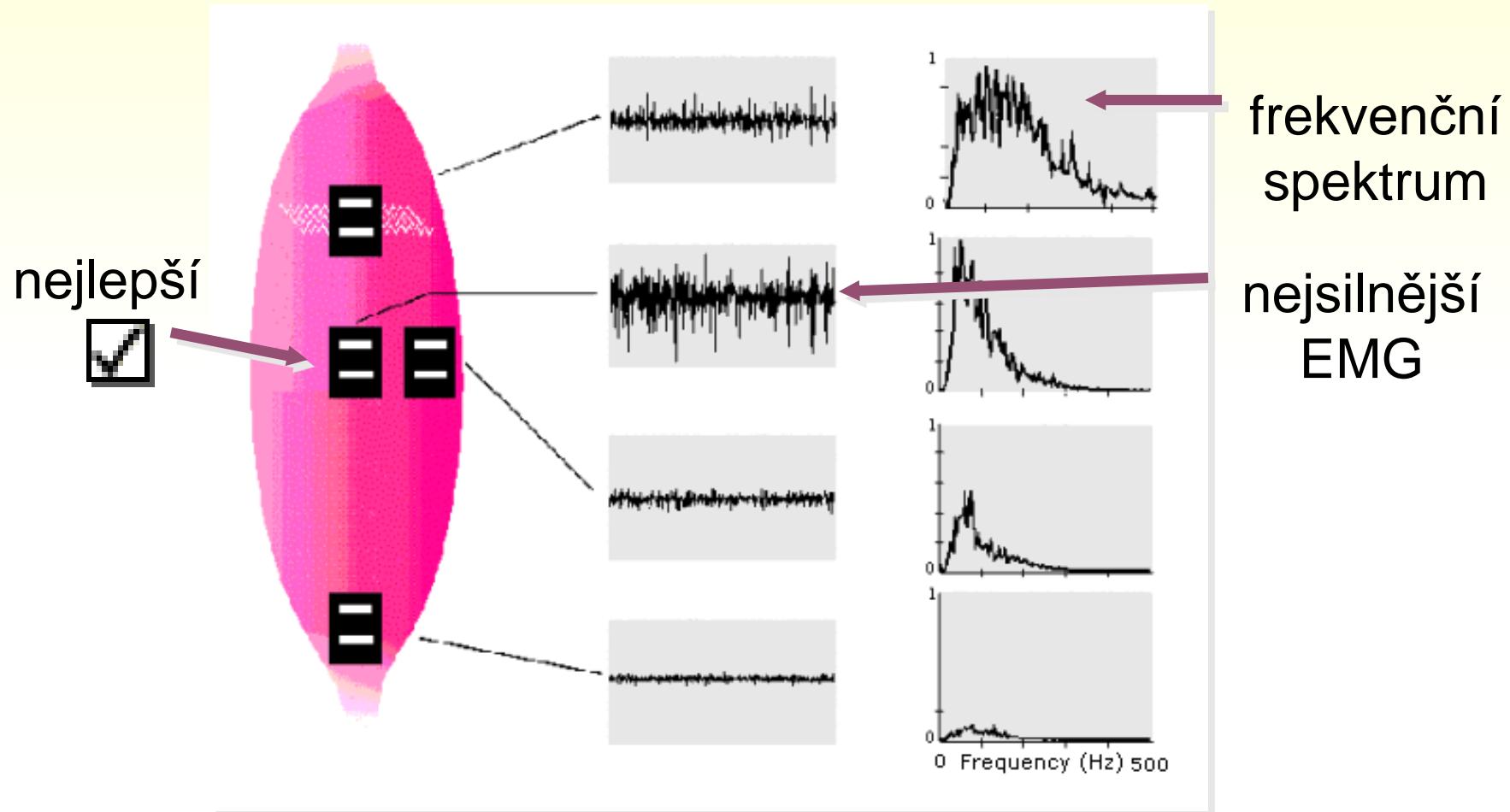
Nihon-Kohden  
jehlové



Nihon-Kohden  
koncentrické



# Umístění povrchové elektrody



# Elektromyografie

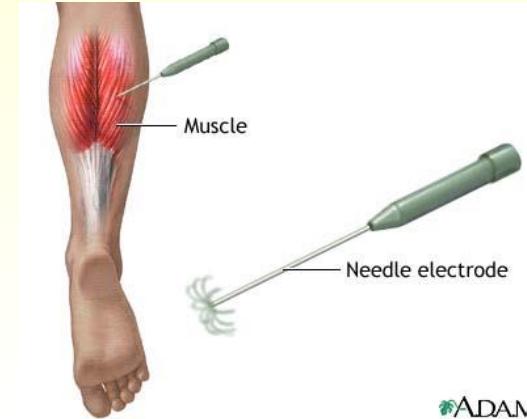


## • aplikace

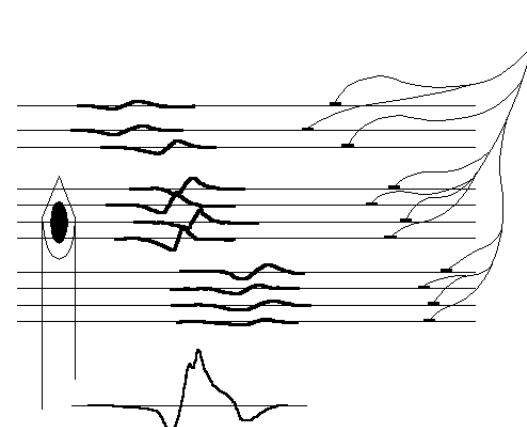
- Diagnostické EMG
  - jehlová EMG
  - kondukční studie
- Kineziologické EMG
  - analýza únavy
- Ovládání protéz
- Další použití

# Jehlová EMG (Nativní EMG)

- snímání při úplném uvolnění svalu
- tenká jehla do svalu
- minimálním riziko krvácení
- změnou polohy jehly ve svalu je vyhledávána optimální pozice pro záznam akčních potenciálů motorických jednotek
- porovnání parametrů akčních potenciálů motorických jednotek (např. trvání, amplituda, počet fází)



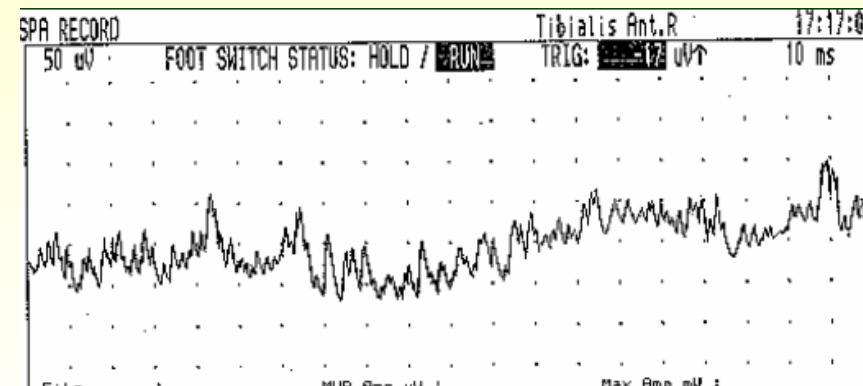
©ADAM



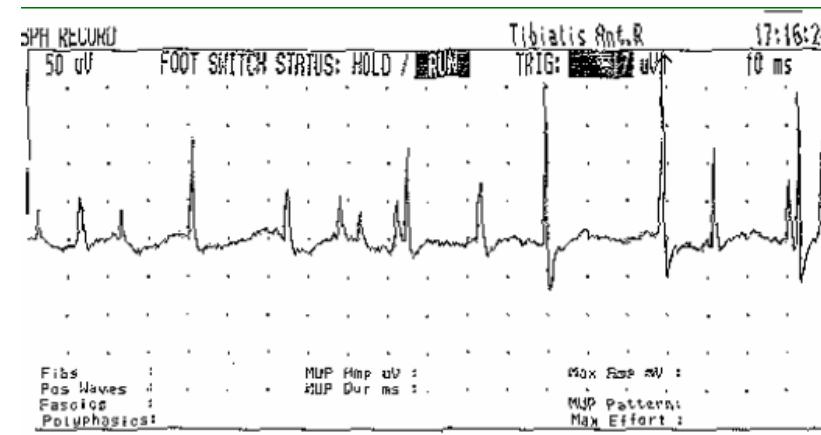
# „Normální“ EMG aktivita

## Klidová spontánní aktivita

- za fyziologického stavu **není v relaxovaném svalu žádná elektrická aktivita**
- inzerční aktivita
- ploténková aktivita
  - ploténkový šum
  - ploténkové hroty



ploténkový šum

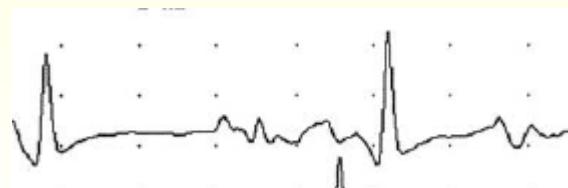


ploténkové hroty

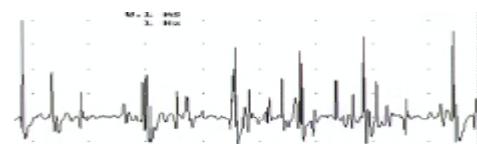
# „Normální“ EMG aktivita

## Volní aktivita

- Nábor a analýza motorických jednotek



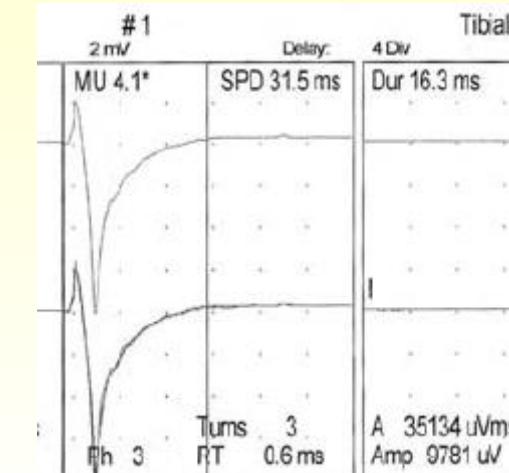
- Interferenční vzorec



Minimální kontrakce

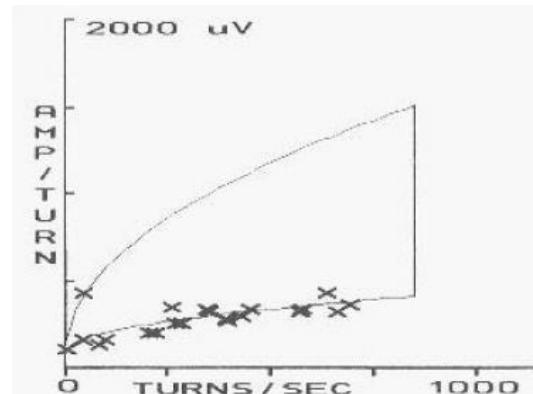


Střední kontrakce 30-40%

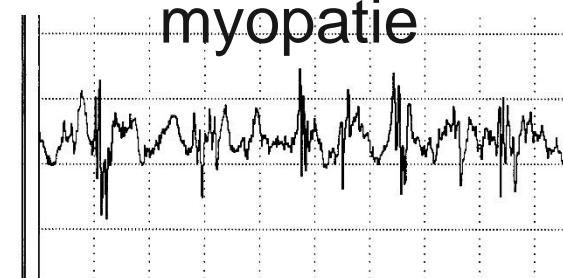
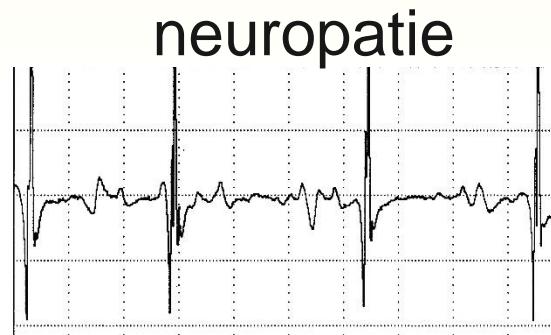
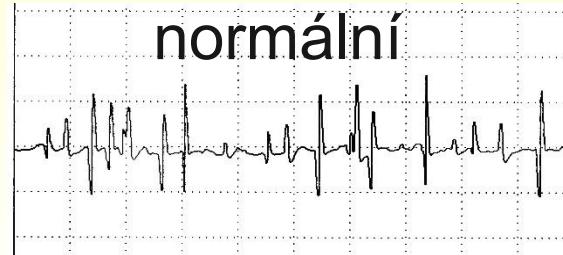


Maximální kontrakce

- Willisonova analýza



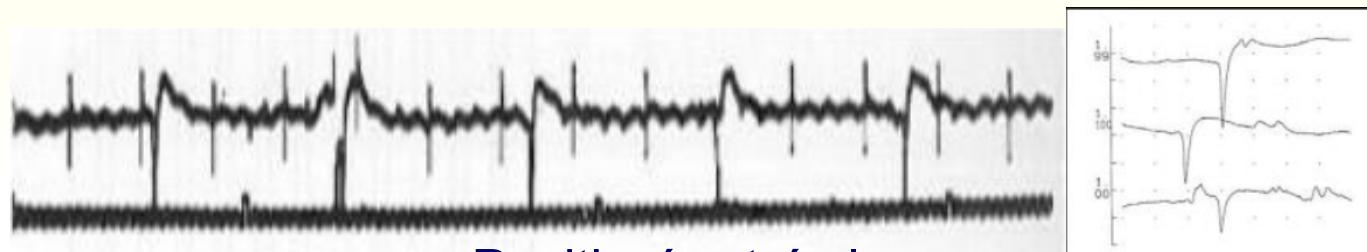
# Vliv onemocnění na akční potenciály motorických jednotek



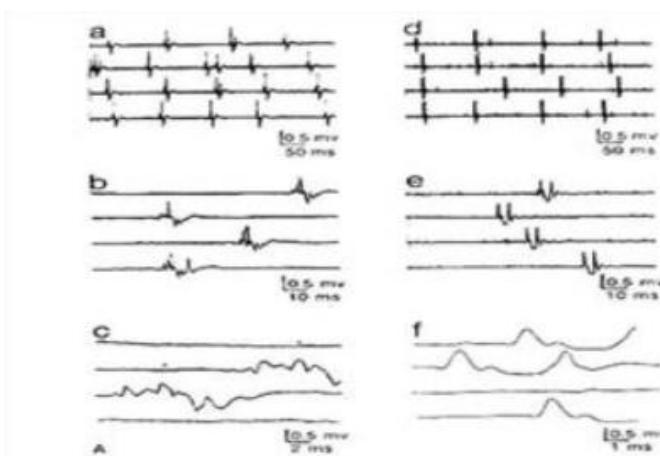
# „Abnormální“ EMG aktivita



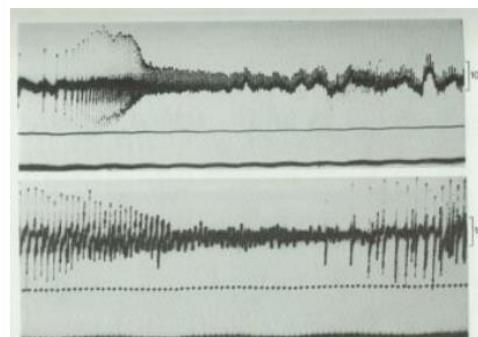
Fibrilační potenciály denervovaného svalu



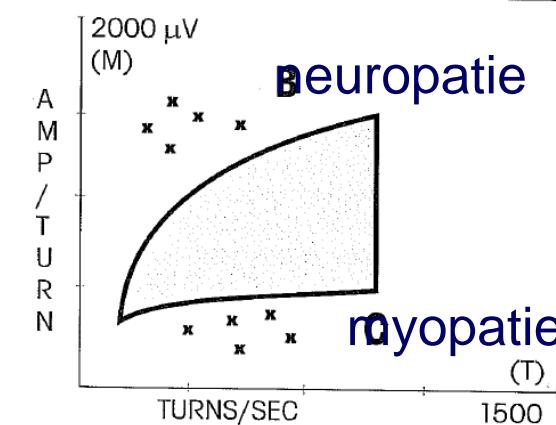
Positivní ostré vlny



Fascikulační potenciály



Myotonické výboje

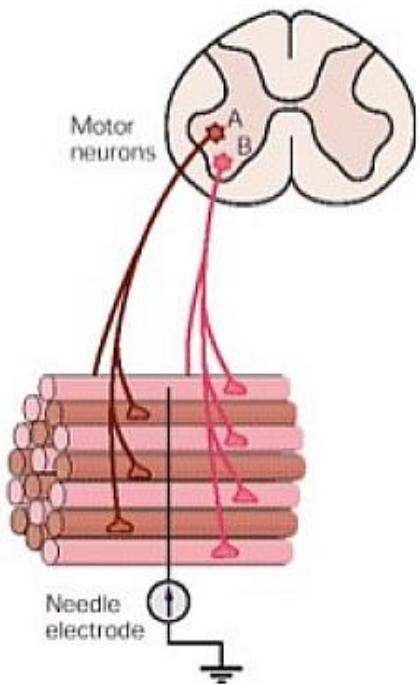


# Jehlová EMG – „audiomyogram“

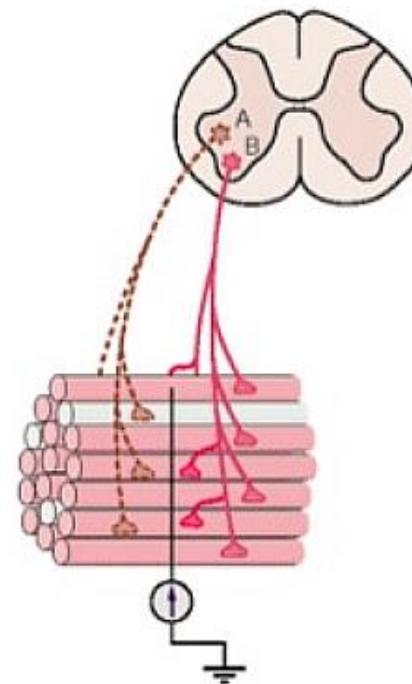
potenciál	příčina	charakter zvuku	frekvence	
ploténkový šum	MEPP	mušle	20-40 Hz	Neprav.
ploténkový potenciál	terminální větvení axonu	prskající tuk na páni	5-50 Hz	Neprav.
fibrilace	denervované svalové vlákno	déšť na střeše nebo tikot hodin	0.5-10 Hz	Pravidelné
positivní ostrá vlna	denervované svalové vlákno	déšť na střeše nebo tikot hodin	0.5-10 Hz	Pravidelné
myotonický výboj	transversální tubuly	startování motorky	20-150 Hz	zesilující-zeslabující
fascikulace	motoneuron nebo axon	pop corn	0.1-10 Hz	Neprav.
komplexní repetitivní výboj	efapse u denervovaných vláken	zvuk motoru	5-100 Hz	pravidelné
myokymie	motoneuron nebo axon	pochodující vojáci	5-60 Hz	skupinky
neuromyotonie	motoneuron nebo axon	zvonění	150-250 Hz	zeslabující

# Jehlová EMG

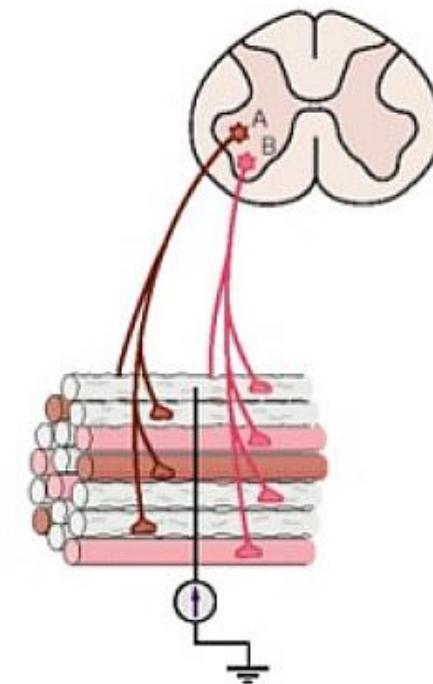
A Normal muscle



B Denervated muscle



C Myopathy



EMG záznam

I.

Rest



II.

Slight contraction



III.

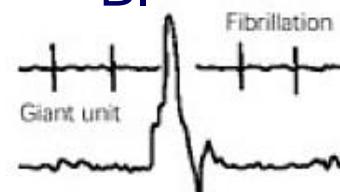
Maximal contraction



A.

B.

C.



Fibrillation

Giant unit

Fibrillation

Small polyphasic units

Reduced interference pattern

Fibrillation

Small polyphasic units

Full interference pattern

1 mV

5 mV

100  $\mu$ V

500  $\mu$ V

500  $\mu$ V

# EMG vyšetření

MNC	Pozice	Latence [ms]	Amplituda [mV]	CV [m/s]	Amp % [%]	Vzdálenost [mm]
Medianus-Pravá	Wrist - APB	3,9	12,0	--	--	--
Ulnaris-Pravá	Wrist - ADQ	2,5	8,0	--	--	--
Ulnaris-Levá	Wrist - ADQ	3,4	4,5	--	--	--
Medianus-Levá	Wrist - APB	4,5	6,4	--	--	--

SNC	Pozice	Latence peak [ms]	Amplituda [mV]	CV [m/s]	Vzdálenost [mm]
Median-Palm-II, Wrist- Pravá	Palm - Digit II	1,6	29,4	67	75
	Wrist - Palm	3,8	18,6	53	100
Ulnaris x Medianus Dig IV- Pravá	Ulnaris - Digit IV	3,7	9,0	67	160
	Medianus - Digit IV	3,8	10,5	52	150
Median-Palm-II, Wrist- Levá	Palm - Digit II	1,9	24,9	60	80
	Wrist - Palm	3,9	19,1	39	80
Ulnaris x Medianus Dig IV- Levá	Ulnaris - Digit IV	3,4	17,9	56	140
	Medianus - Digit IV	4,0	7,9	43	140

F-Vlna	M-Latence [ms]	M-Amplituda [mV]	Fmin [ms]	F-M [ms]	F / M [%]
Medianus-Pravá	4,0	12,0	29,0	25,1	80,0
Ulnaris-Pravá	2,4	7,8	28,4	25,9	100,0
Ulnaris-Levá	3,4	4,7	29,1	25,8	100,0
Medianus-Levá	4,5	8,2	29,4	24,9	71,0

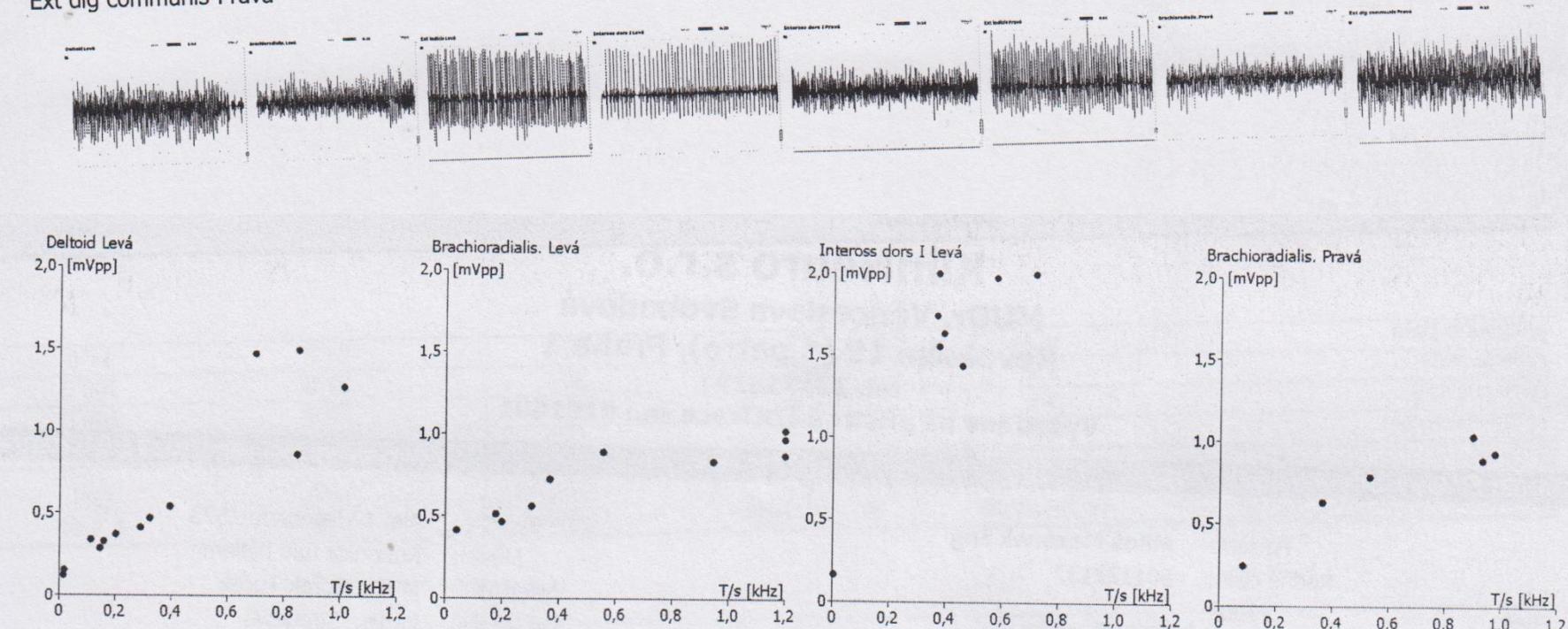
# EMG vyšetření

## Jehlová EMG

Deltoid-Levá  
Brachioradialis.-Levá  
Ext indicis-Levá  
Inteross dors I-Levá  
Inteross dors I-Pravá  
Ext indicis-Pravá  
Brachioradialis.-Pravá  
Ext dig communis-Pravá

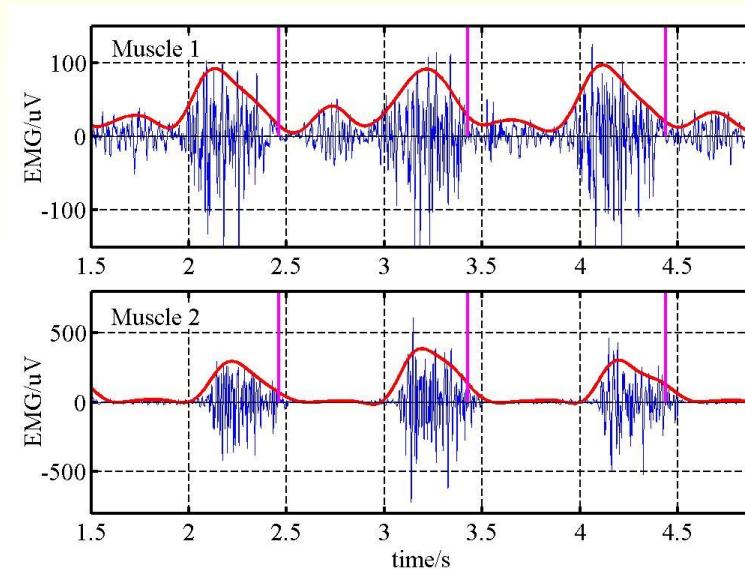
## Poznámky

--IP 5/5, Fib 0, PSW 0, AMP N, Dur N, Willson v normě  
--IP 5/5, Fib 0, PSW 0, AMP N, Dur N, Willson v normě  
--IP 3-4/5, Fib 0, PSW 0, AMP +2, FFR + Dur N, Willson neurogenní  
--IP 3-4/5, Fib 0, PSW 0, AMP +2, FFR + Dur N, Willson neurogenní  
--IP 5/5, Fib 0, PSW 0, AMP N, Dur N, Willson v normě  
--IP 4/5, Fib 0, PSW 0, AMP +1, FFR + Dur N, Willson neurogenní  
--IP 5/5, Fib 0, PSW 0, AMP N, Dur N, Willson v normě  
--IP 5/5, Fib 0, PSW 0, AMP N, Dur N, Willson v normě



**Závěr: EMG nález svědčí pro středně těžku chronickou radikulopatiю C8 obostranně s větším postižením vlevo, Aktuálně nejsou známky léze n medianus či ulnaris bilat ani přední porce kořenů C5-7 bilat.**

# Kineziologická povrchová elektromyografie



detail dvou kanálů EMG s obálkou a vyznačenou segmentací na pohybové cykly

# Kineziologická SEMG

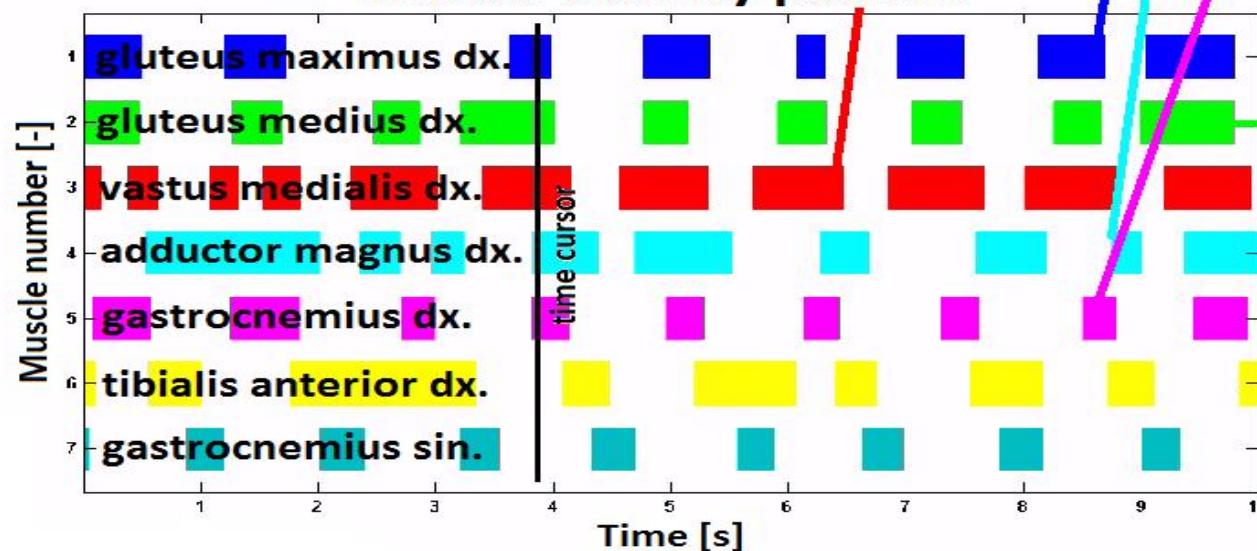
## Video



## Muscle activity animation

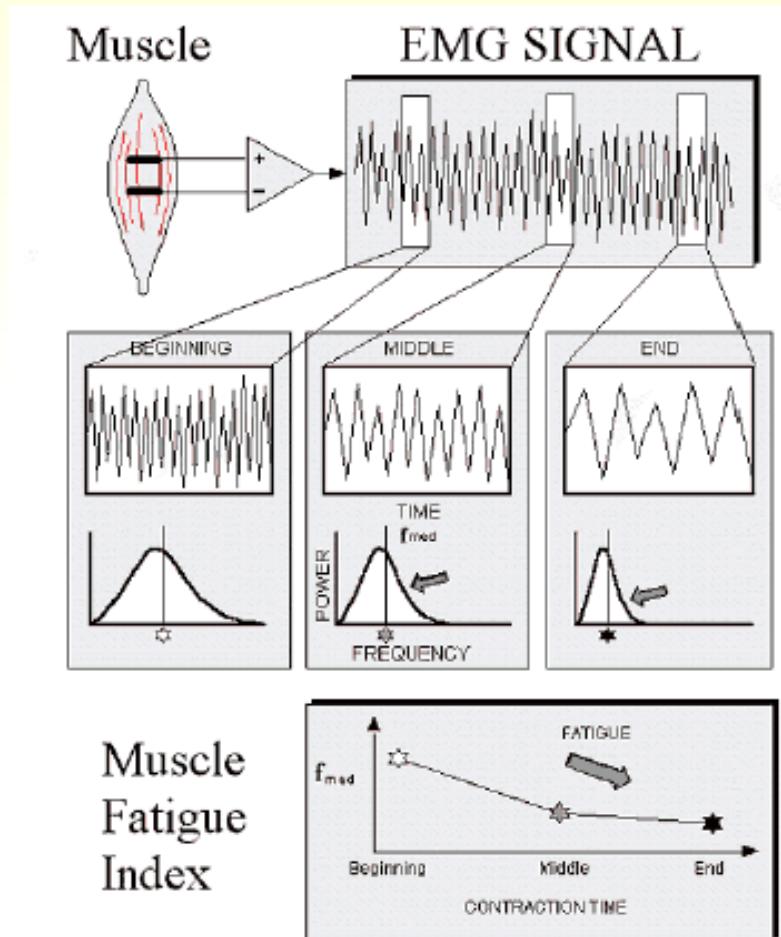


## Muscle activity pattern

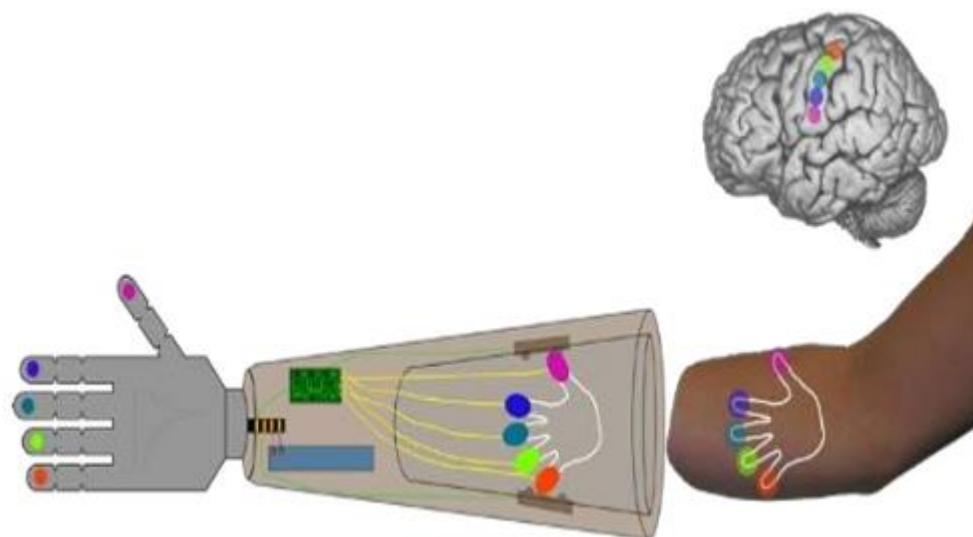
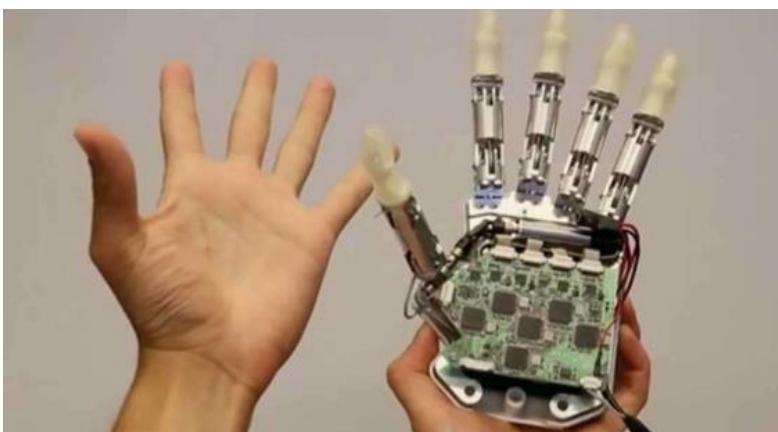
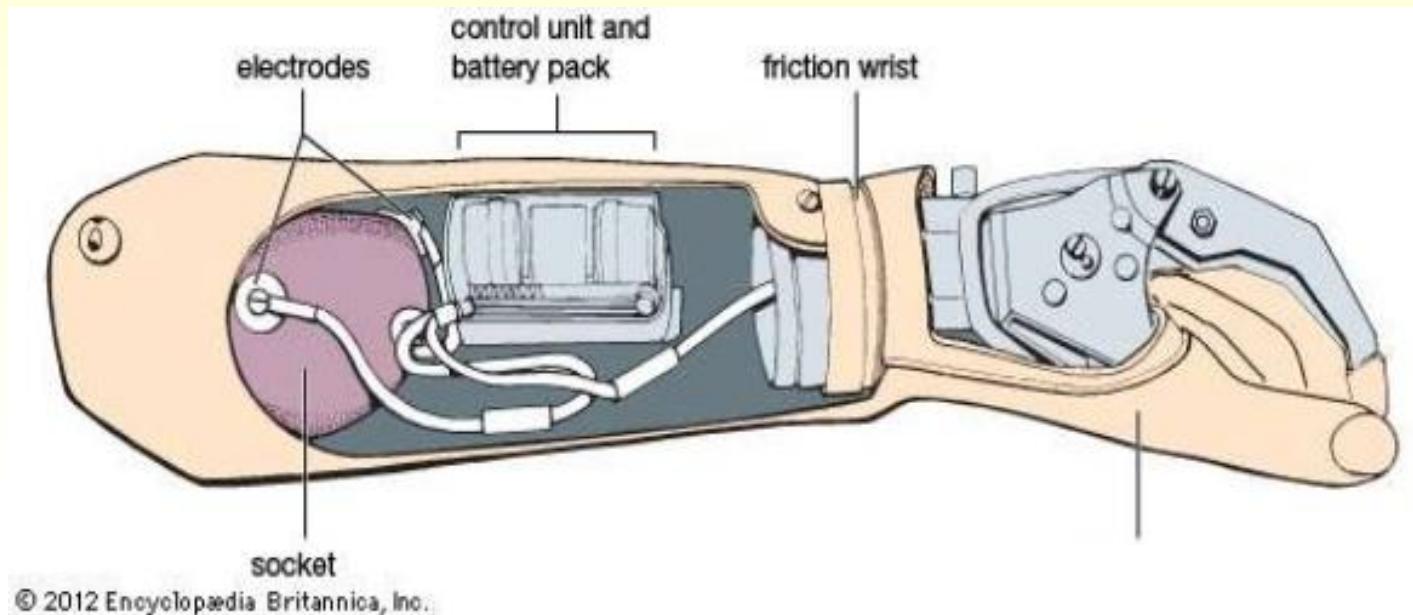


# Kineziologická SEMG analýza únavy

- základem je sekvenční Fourierova analýza
- výběr délky okna (1 až 5 s)
- **překrývání segmentů** zvyšuje rozlišení
- potřeba rozhodovacího **prahu** pro stanovení meze únavy



# Ovládání myoprotéz



# Myoelektrické protézy ottobock.

<https://www.ottobock.cz/protetika/>

Systém pažní protézy  
DynamicArm

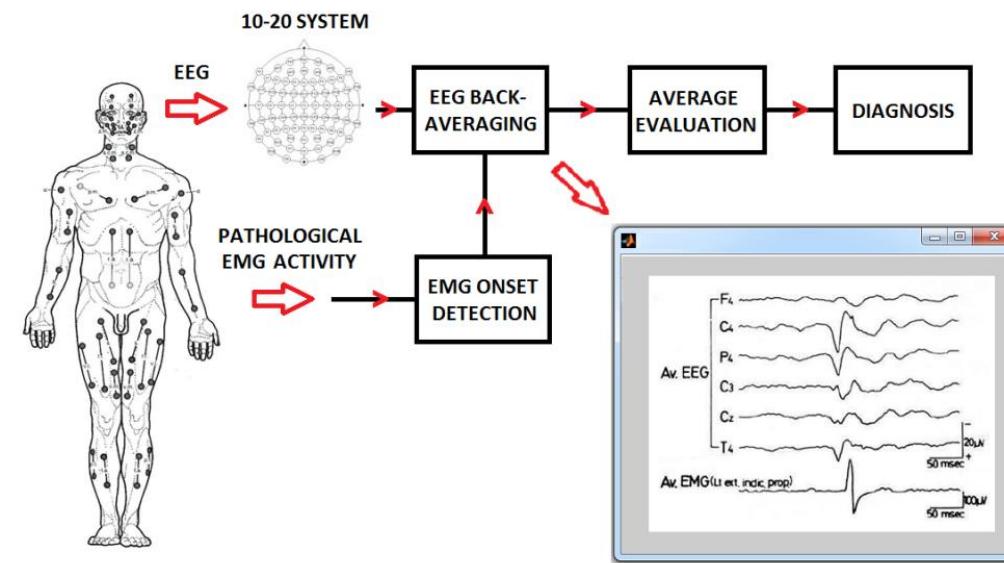


bebionic Hand | myoelektrická ruka



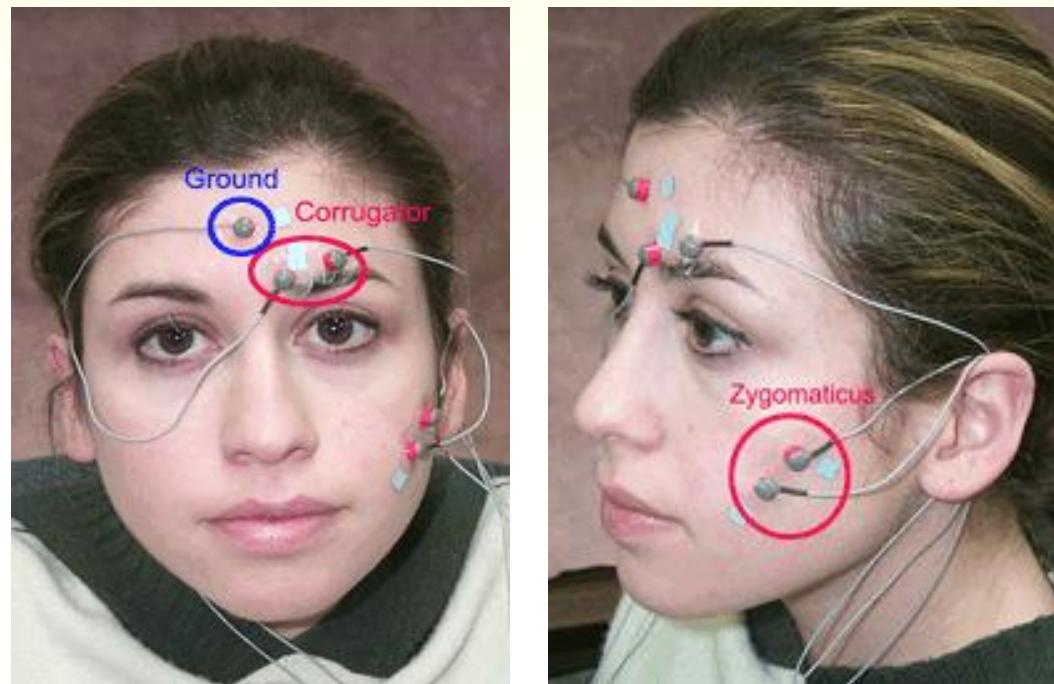
# Další použití EMG

- Detekce myoklonických záškubů
- Lokalizace zdroje v CNS



# Další použití EMG

fEMG



- zloba
- slzy
- radost
- překvapení

# ZPRACOVÁNÍ EMG SIGNÁLU

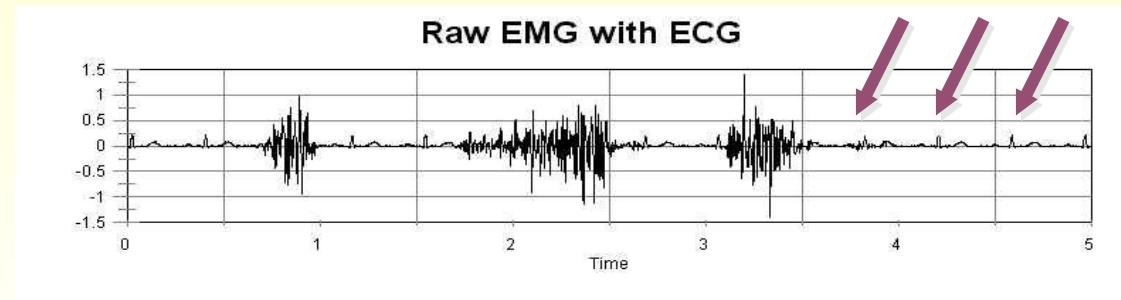
- EMG signál
  - Artefakty
  - EMG obálky
  - Cyklické EMG
  - Kvantitativní charakteristiky
    - časová oblast
    - frekvenční oblast
  - Pokročilé metody (dekompozice)

# EMG signál

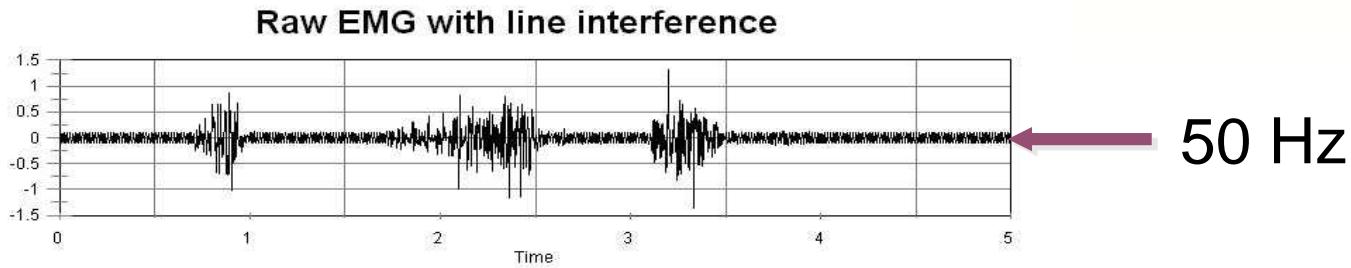
- frekvenční spektrum 20 – 500 Hz
- => minimální vzorkovací frekvence **1000 Hz**
- střední hodnoty a mediánové frekvence EMG signálu neunaveného svalstva jsou okolo 70 až 80 Hz
- z těchto důvodů by se nemělo používat úzkopásmových zádrží k potlačení síťových brumů
- obtížné stanovení “úrovně” kontrakce

# Artefakty

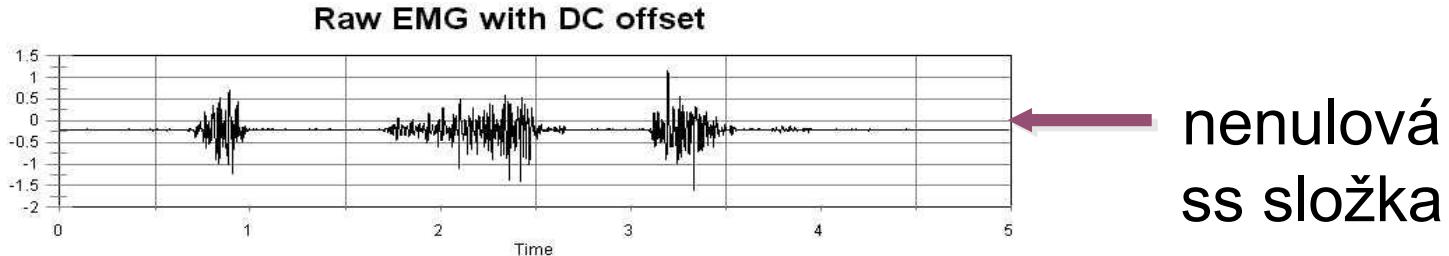
EKG artefakt



síťový brum

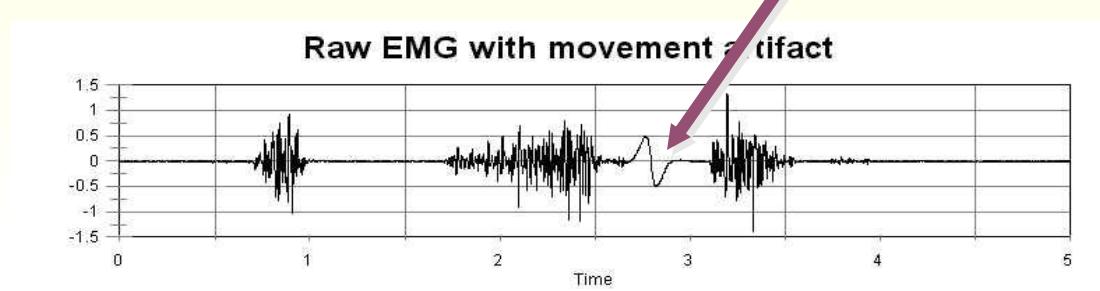


stejnosměrná složka



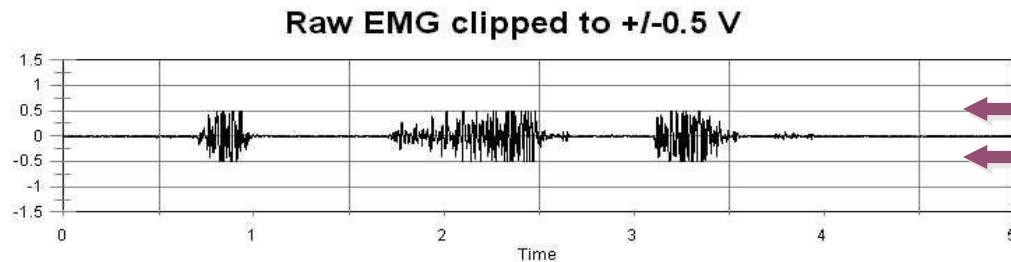
# Artefakty

- pohybový artefakt



Pohyb  
elektrody

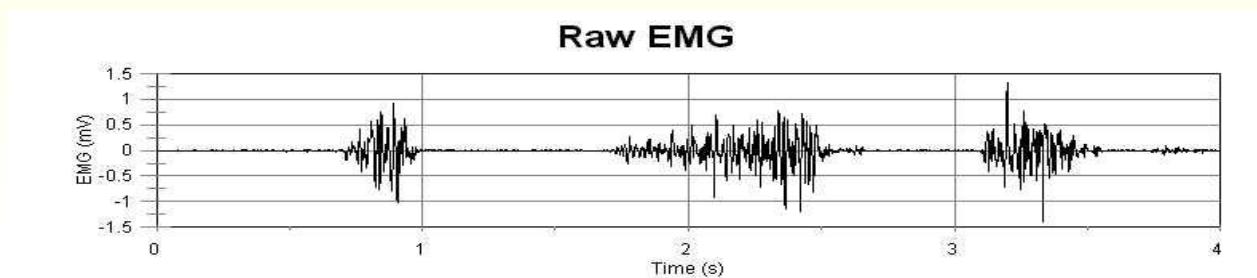
- saturace zesilovače (+/- 0.5V)



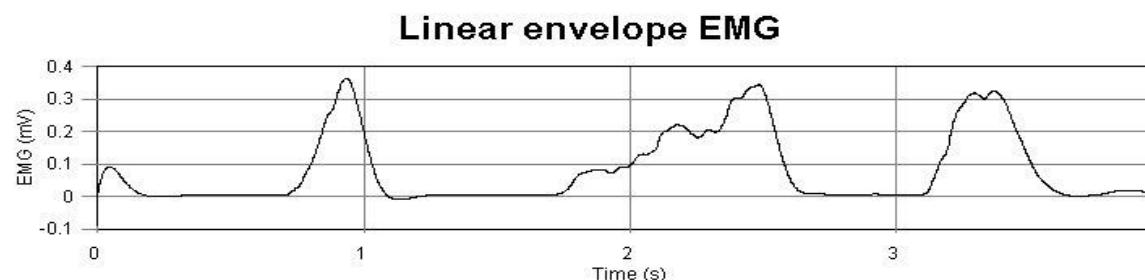
klipping  
+/- 0.5 V

# Obálkové EMG

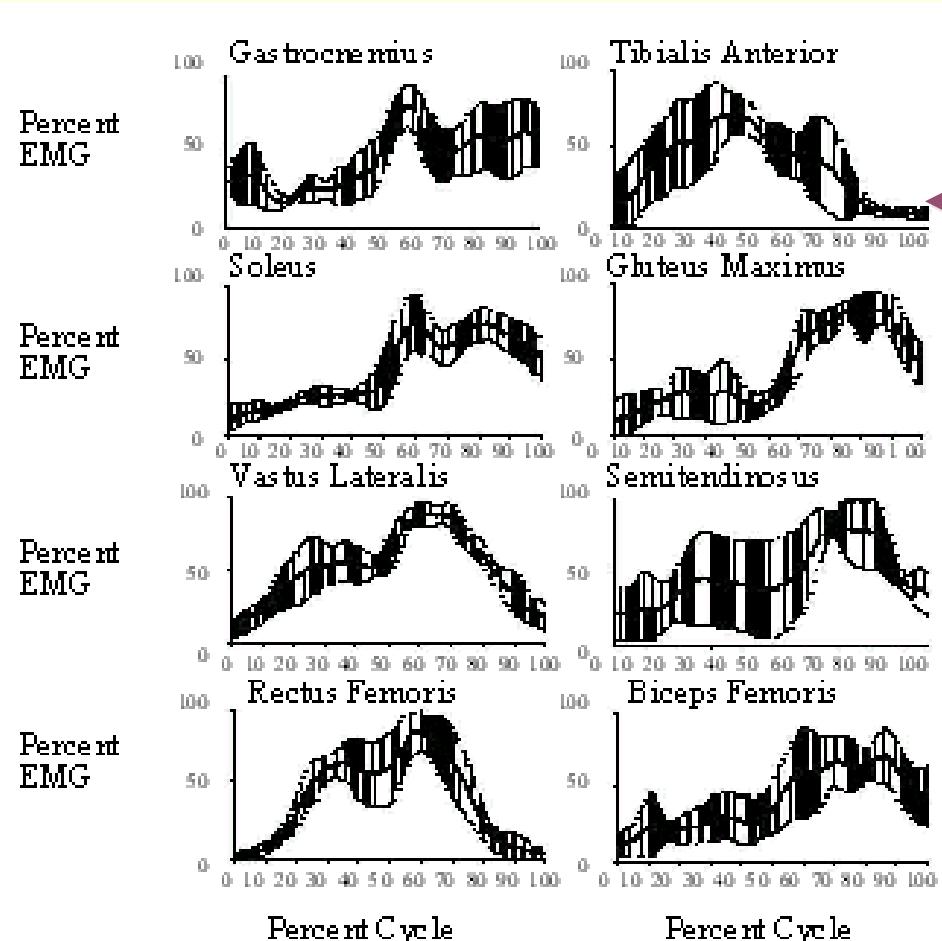
- (pásmově omezené) EMG



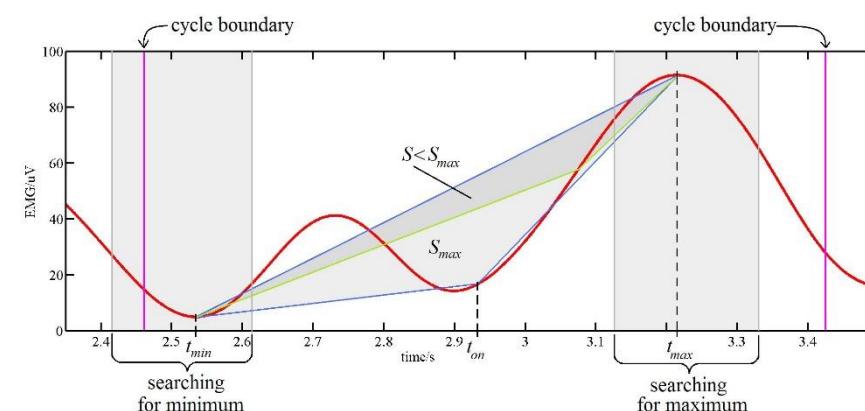
- obálkové EMG (mezní frekvence 4 Hz)



# Cyklické EMG

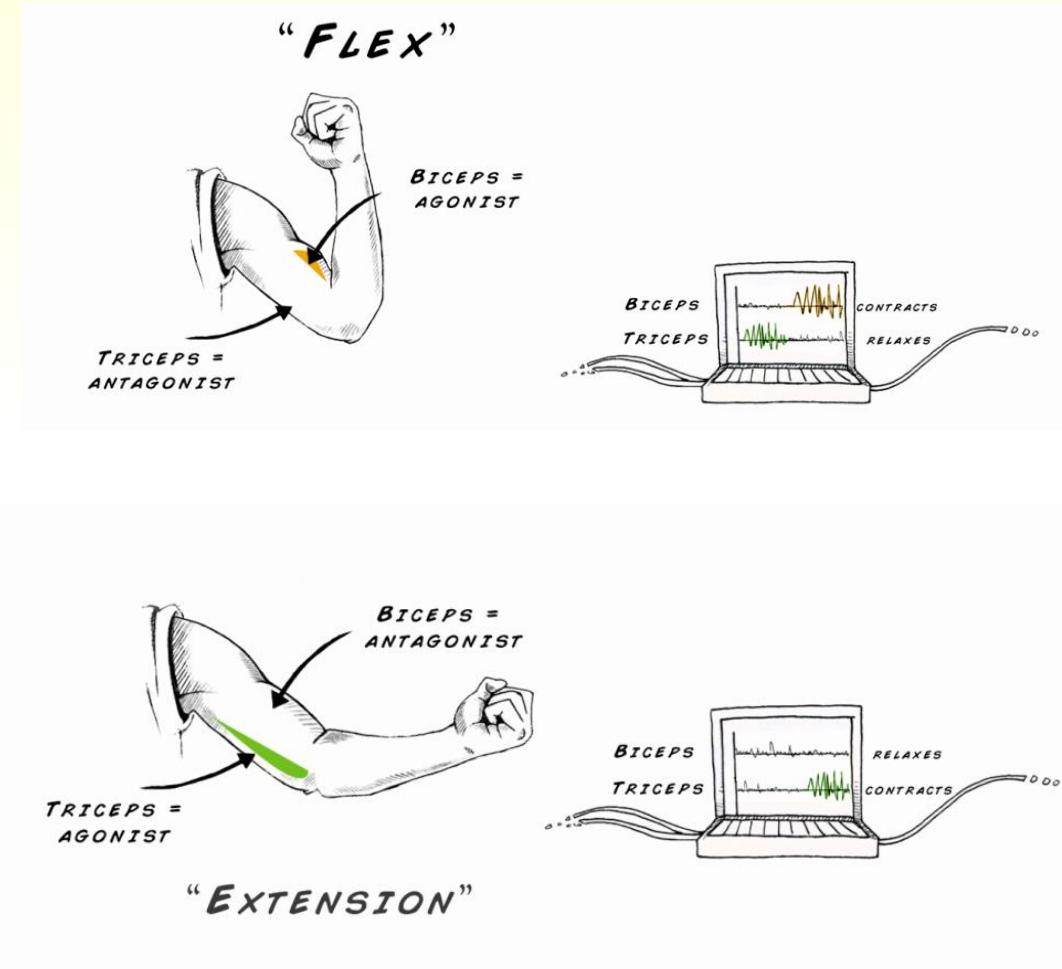


střední hodnota  
 $\pm \text{std}$

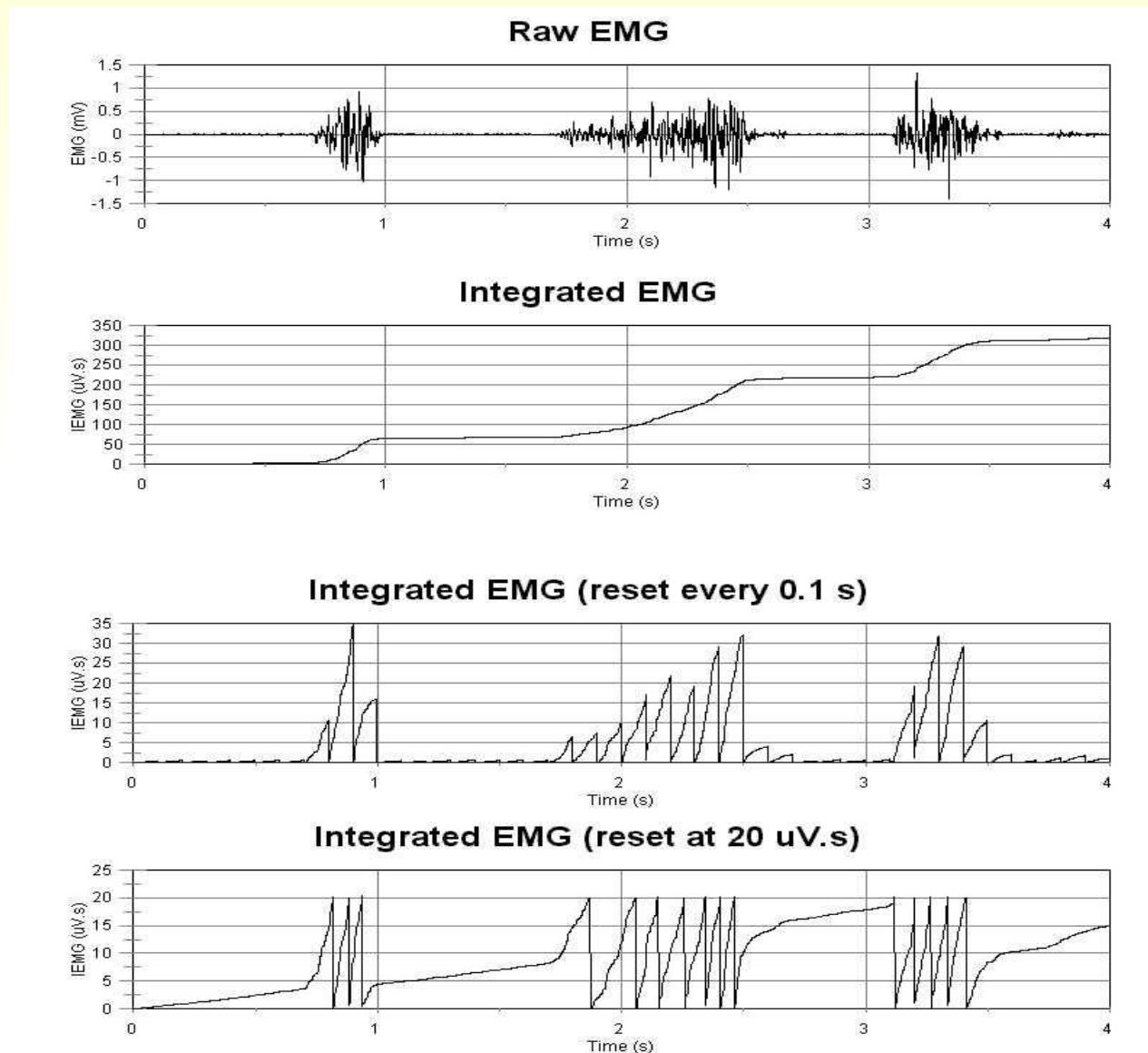


trojúhelníková detekce počátku na  
obálce EMG

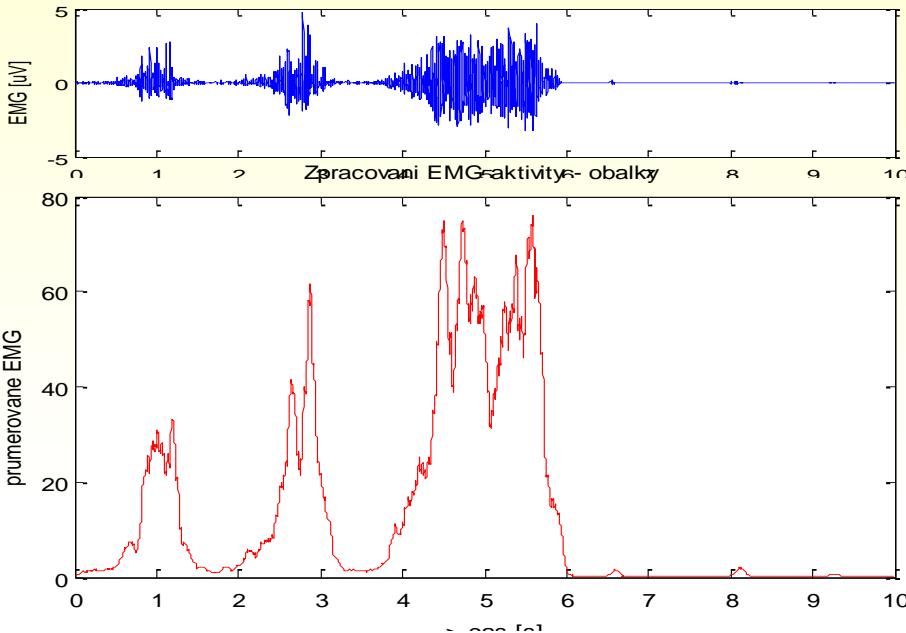
# Koaktivace agonisty a antagonisty



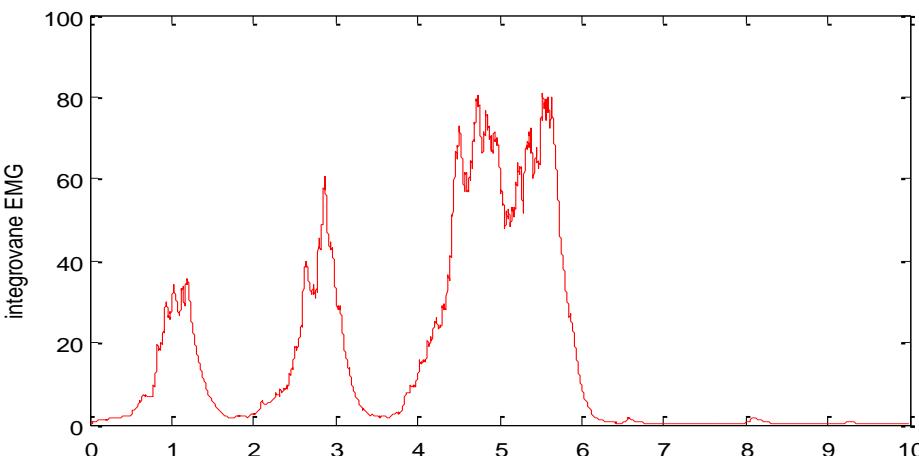
# Integrované EMG (iEMG)



# Příklad obálkového EMG



Výpočet průměrovánoho  
EMG s použitím filtru  
klouzavých průměrů



Výpočet integrovaného  
EMG pomocí číslicového  
integrátoru

# Kvantitativní charakteristiky EMG

- Viz příloha KVANT\_CHAR.pdf (*časová oblast*)

Electromyography ( EMG ) Feature Extraction Toolbox

- <https://www.sce.carleton.ca/faculty/chan/index.php?page=matlab>

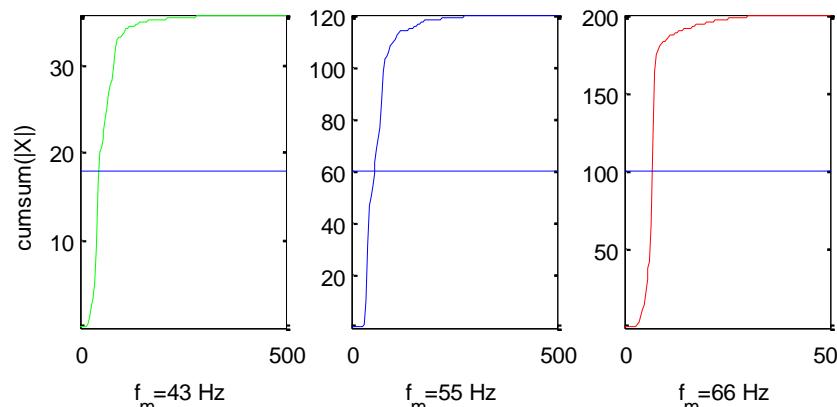
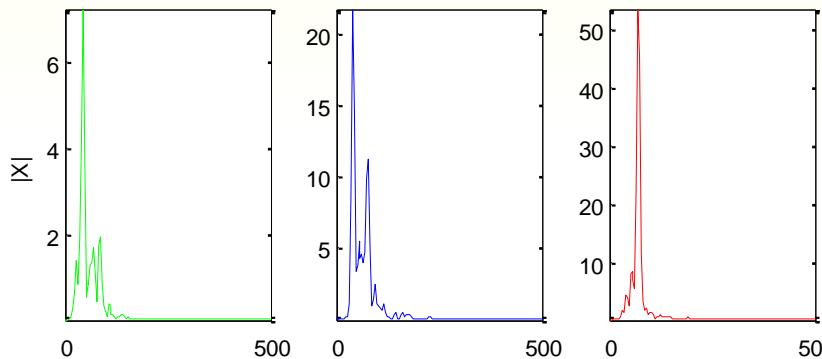
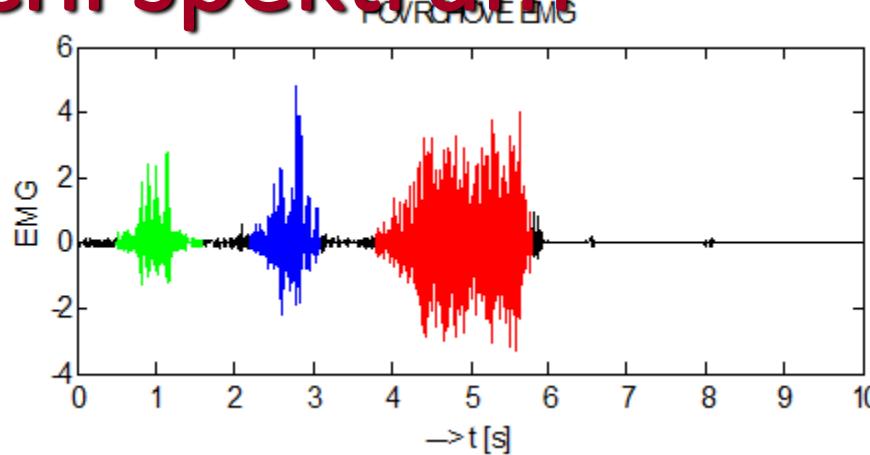
Software Library – Adrian D.C.Chan

- <https://www.sce.carleton.ca/faculty/chan/index.php?page=matlab>

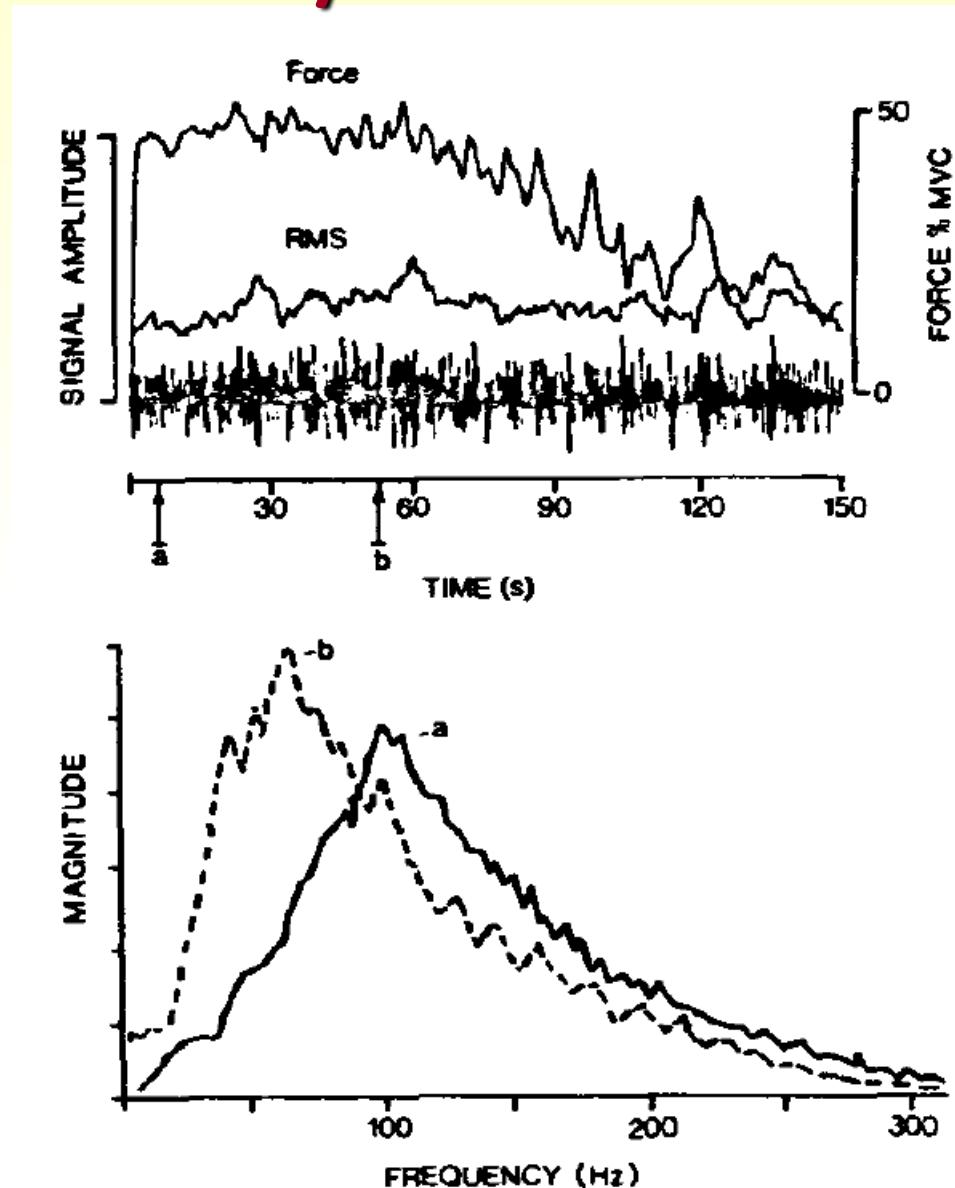
# Kvantitativní charakteristiky EMG ve spektrální oblasti

- Mediánová frekvence
- První spektrální moment
- Druhý spektrální moment

# Frekvenční spektrum



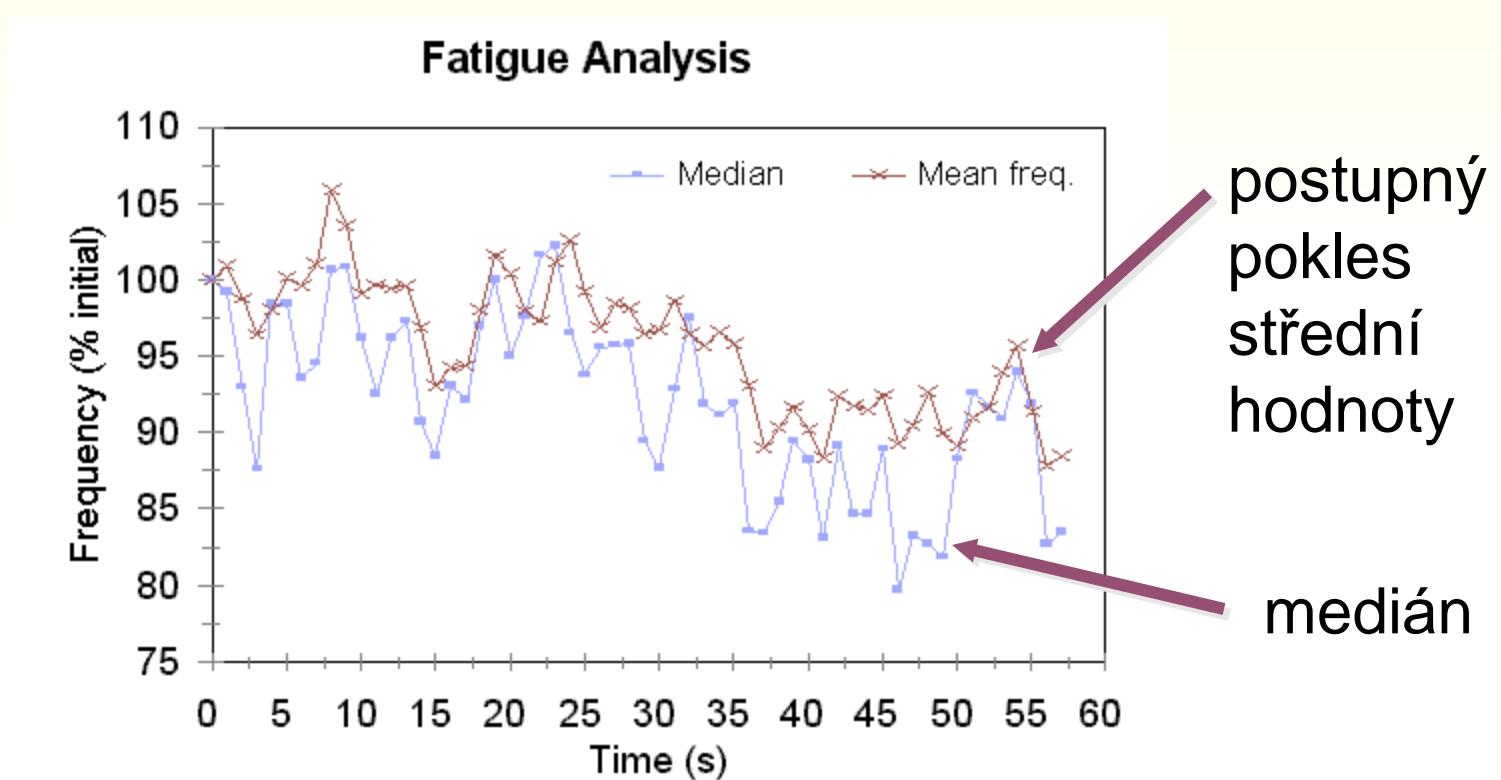
# Analýza únavy



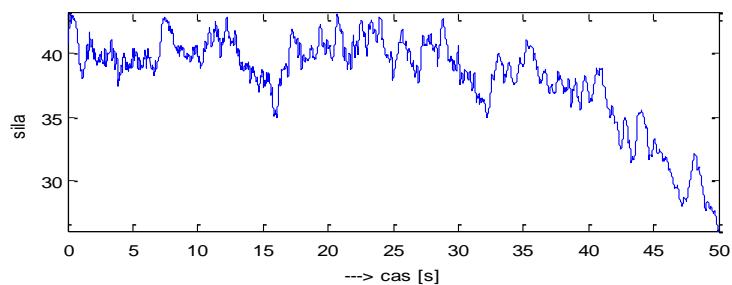
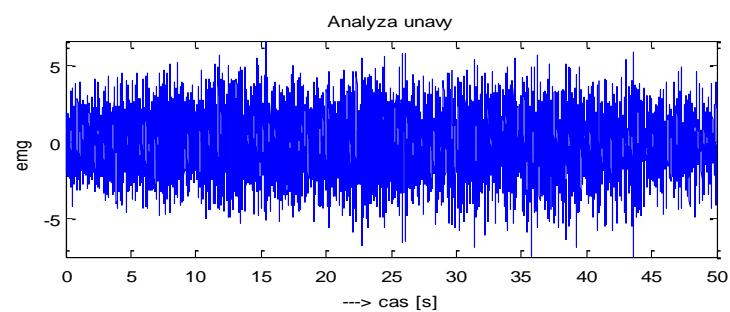
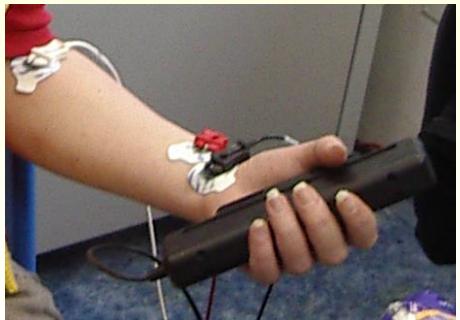
Únava svalu: zvýšení nízkých frekvencí a pokles vysokých frekvencí EMG

# Příklad analýzy únavy

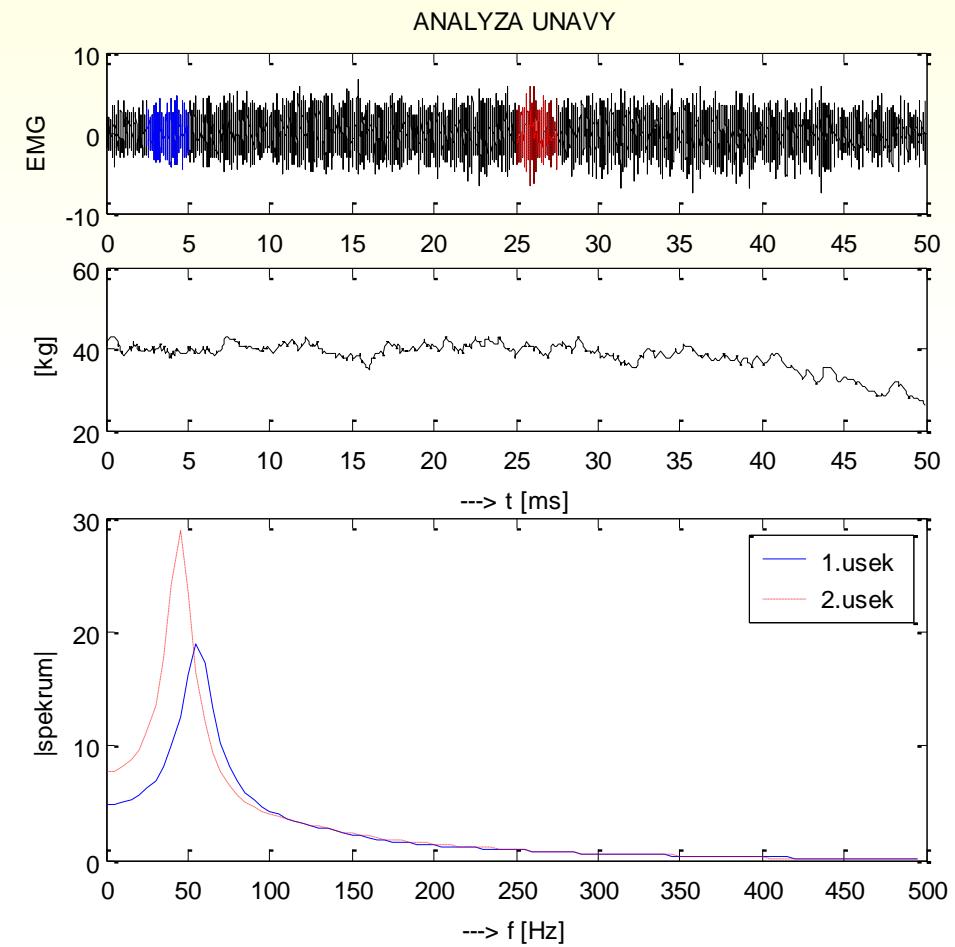
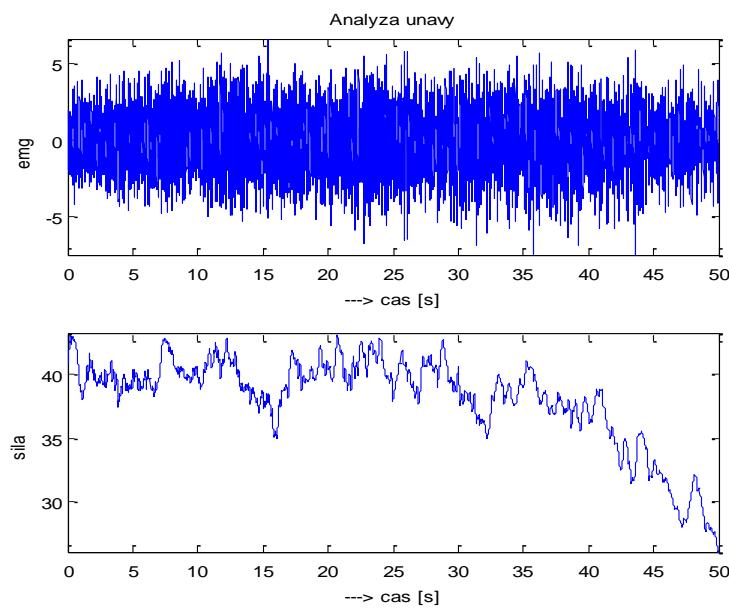
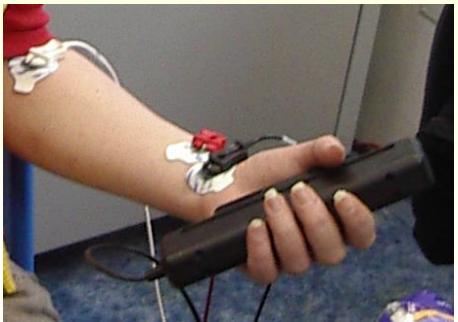
- erector spinae 60 sekund (50% překrytí)



# Příklad analýzy únavy

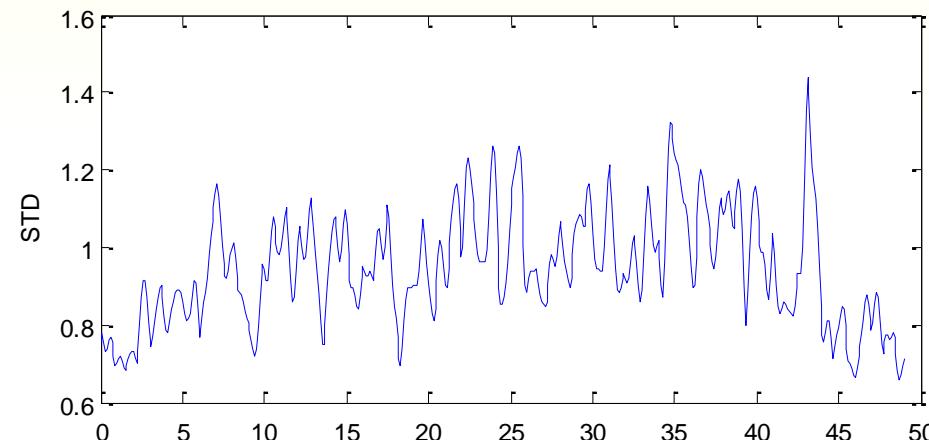


# Příklad analýzy únavy



# Příklad analýzy únavy

časový průběh *směrodatné odchylky* EMG aktivity



$fs=1000;$

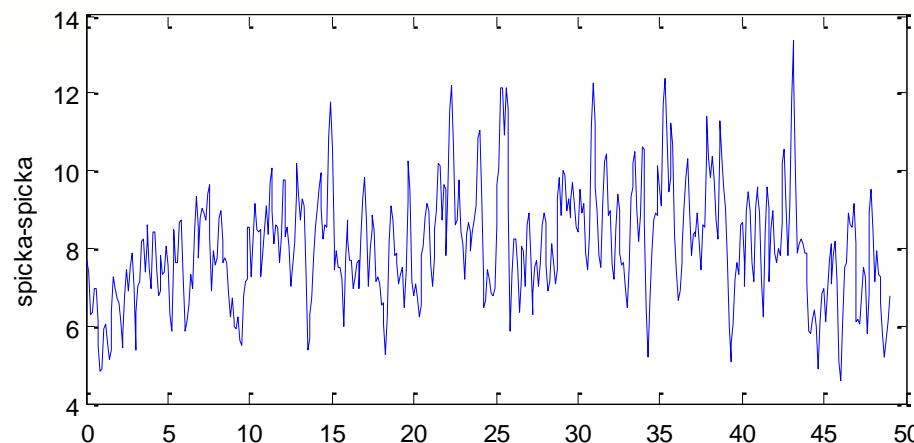
$delka\_okna = 1000;$

$posun\_okna = delka\_okna/10;$

$odch(k)=std(segment);$

# Příklad analýzy únavy

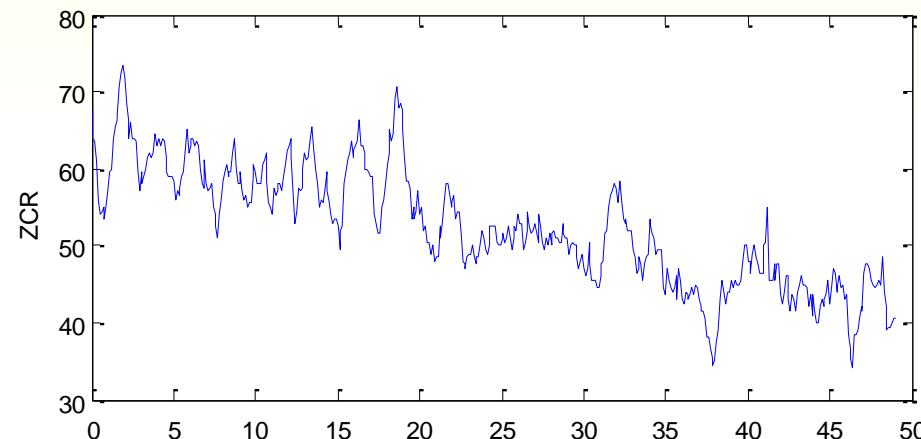
časový průběh EMG aktivity „špička-špička“



$sp\_sp(k) = \max(\text{segment}) + \text{abs}(\min(\text{segment}))$ ;

# Příklad analýzy únavy

časový průběh počtu průchodů nulou

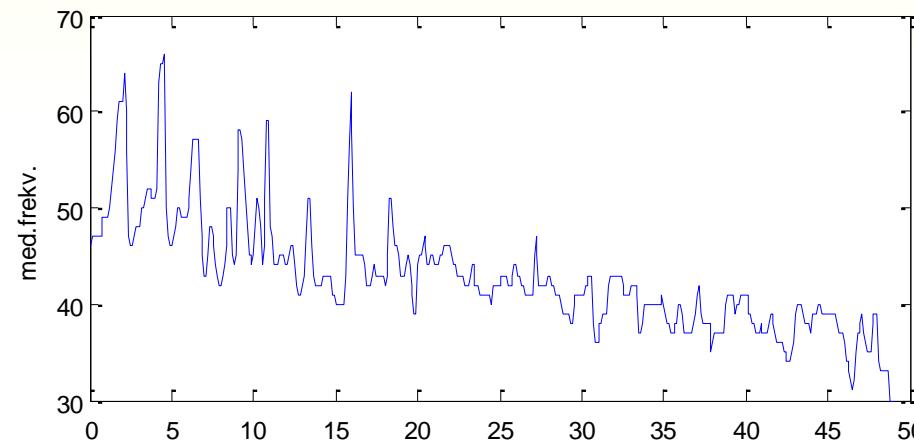


$zcr = \text{sum}(\text{abs}(\text{diff}(\text{segment}>0)));$

$ZCR(k) = zcr * fs / (2 * \text{length}(\text{segment}));$

# Příklad analýzy únavy

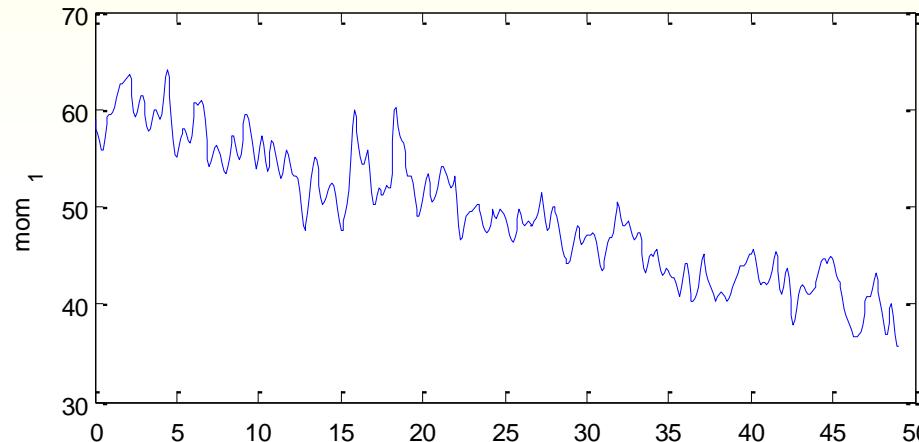
časový průběhu *mediánu* – frekvence rozdělující výkonové spektru na dvě stejně veliké poloviny



```
f_med=find(cumsum(SPEKTRUM)<=max(cumsum(SPEKTRUM)/2));  
med_f(k)=f(f_med(end));
```

# Příklad analýzy únavy

časový průběh *prvního spektrálního momentu* – frekvence těžiště spektra



**První spektrální moment** je dán váhovaným průměrem spektrálních čar **I**

$$mom_1 = \frac{\sum \mathbf{f} \cdot \mathbf{I}}{\sum \mathbf{I}}$$

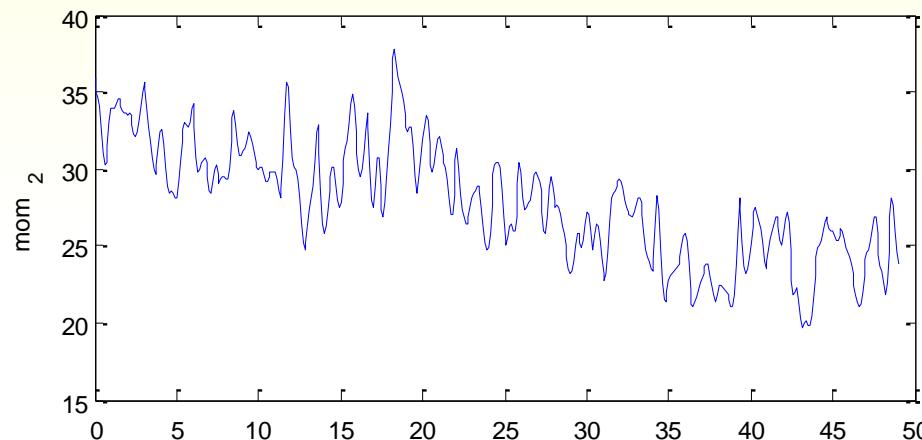
kde **f** je vektor příslušných frekvencí.

Představuje těžiště rozložení energie ve spektru

NN = length(SPEKTRUM);  
f = [0:NN-1]'\*fs/length(SEGMENT);  
mom\_1(k) = sum(f.\*SPEKTRUM)./sum(SPEKTRUM);

# Příklad analýzy únavy

časový průběh druhého spektrálního momentu – rozprostření spektra



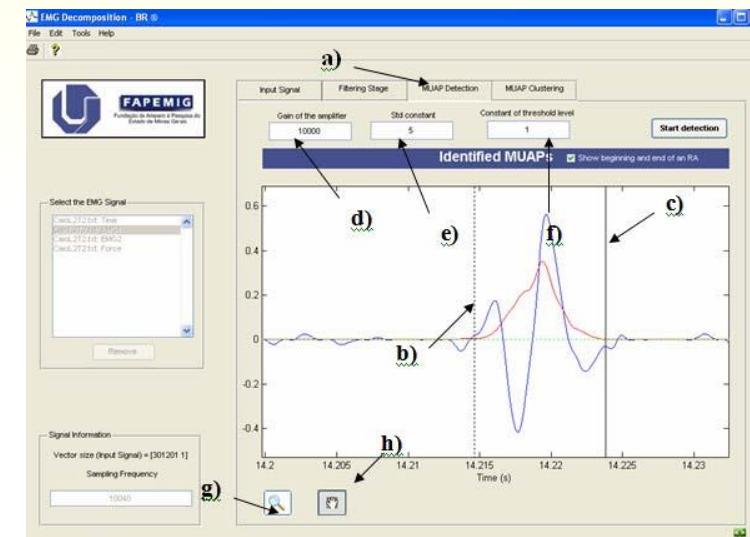
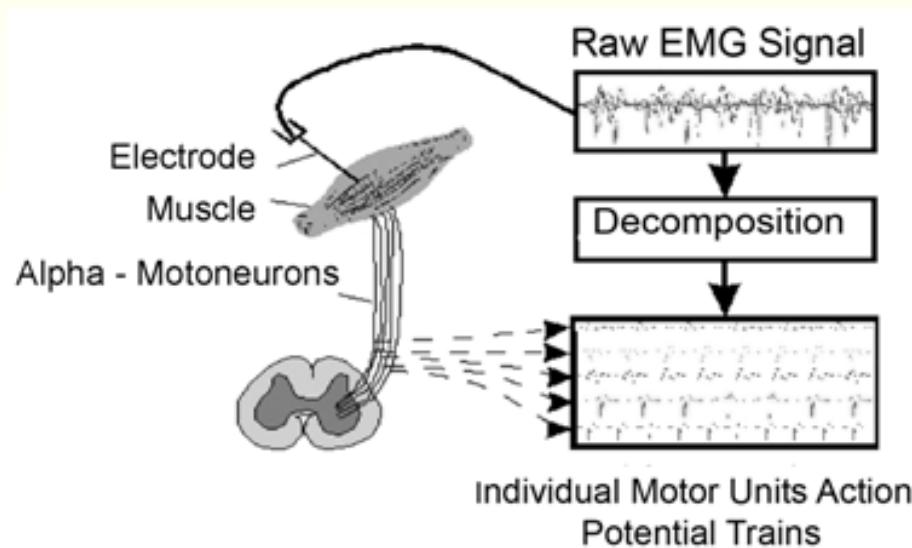
**Druhý spektrální moment** je analogický statistickému rozptylu a je indikátorem rozprostření spektra

$$mom_2 = \sqrt{\frac{\sum f^2 \cdot I}{\sum I} - \left( \frac{\sum f \cdot I}{\sum I} \right)^2}$$

`mom_2(k) = sqrt(sum((f.^2).*SPEKTRUM)/sum(SPEKTRUM) - mom_1(k).^2);`

# Dekompozice EMG

- dekompozice intramuskulárního i povrchových EMG signálů



<https://www.youtube.com/watch?v=0eoGGj9SDeE>

# Klasifikace EMG signálů

<https://backyardbrains.com/experiments/RobotHand>

