

# 2. PŘEDNÁŠKA

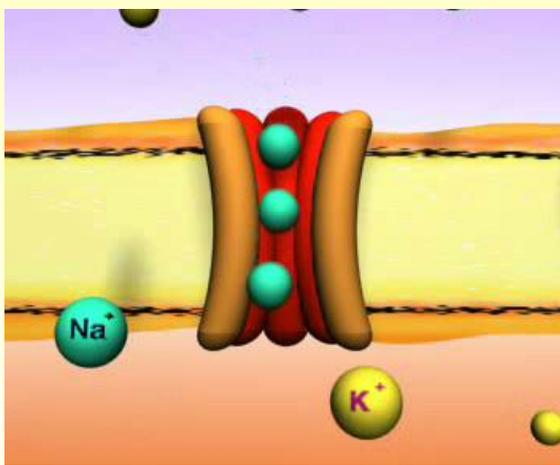
6. října 2022

- **geneze bioelektrických signálů**
- **modelování neuronu**
  - modelování elektrických vlastností buněčné membrány
  - teorie vedení
  - Hodgkinův – Huxleyho model
  - modelování axonů
- **měření rychlosti šíření podél ulnárního nervu**
- **úvod do EMG** (historie, geneze, snímání)
- **aplikace EMG**
  - diagnostické EMG
  - kineziologické EMG
  - ovládání protéz
- **zpracování EMG**
  - artefakty
  - obálky
  - kvantitativní charakteristiky
    - v časové oblasti
    - ve spektrální oblasti

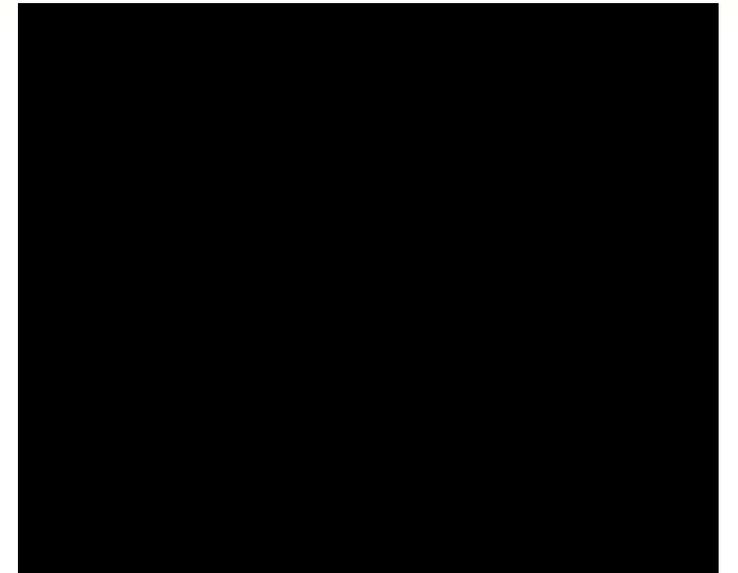
# Elektrické vlastnosti živých organismů

- **organismus jako celek**
- **system**
  - kardiovaskulární
  - nervový
  - trávicí
- **orgán**
  - srdce
  - mozek
- **tkáň**
  - nervová
  - svalová
- **buňka**
  - neuron
  - buňky srdečního svalu
- **buněčná membrána**

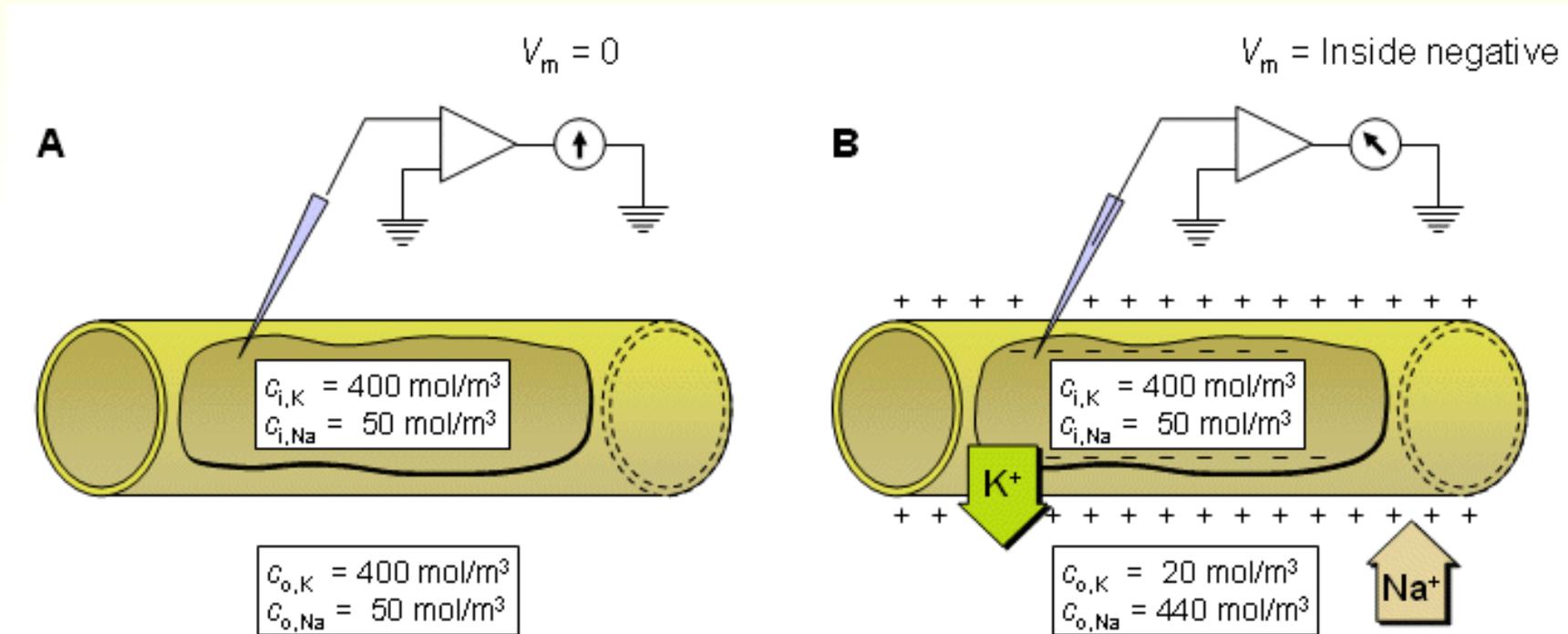
# Klidový membránový potenciál



	Vně buňky	Uvnitř buňky
Na <sup>+</sup>	150 mM	15 mM
K <sup>+</sup>	5,5 mM	150 mM
Ca <sup>+2</sup>	2.4 mM	~50 nM
Mg <sup>+2</sup>	1.2 mM	4 mM
Cl <sup>-</sup>	125 mM	9 mM
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	28 mM	10 mM
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	1 mM	2 mM
Phosphates	4 mM	75 mM
pH	7.4	7.0



# Klidový membránový potenciál



# Klidový membránový potenciál

Nernstova rovnice (1888)

každý iont má svůj rovnovážný potenciál

$$V_x = \frac{RT}{F} \ln \frac{[X]_o}{[X]_i}$$

$$V_x = 61 \cdot \log \frac{[X]_o}{[X]_i} \text{ mV}$$

Rovnovážné koncentrace

iont X	$[X]_o$	$[X]_i$	$E_x$
K <sup>+</sup>	5,5	150	-90 mV
Na <sup>+</sup>	150	15	62 mV
Cl <sup>-</sup>	125	9	-71 mV

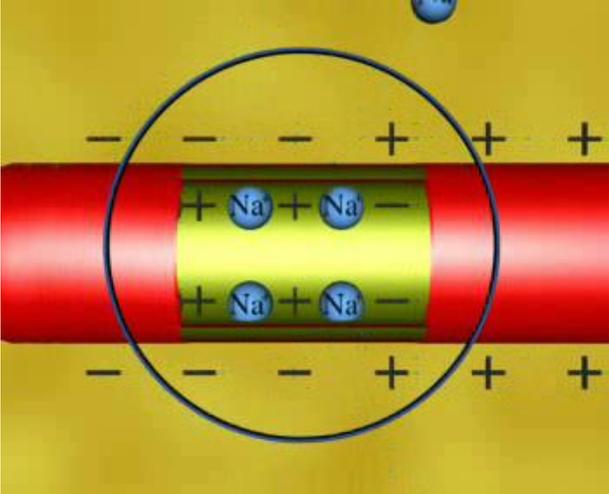
# Klidový membránový potenciál

Goldmannova rovnice

$$V_m = \frac{RT}{F} \ln \frac{P_K [K^+]_o + P_{Na} [Na^+]_o + P_{Cl} [Cl^-]_i}{P_K [K^+]_i + P_{Na} [Na^+]_i + P_{Cl} [Cl^-]_o}$$

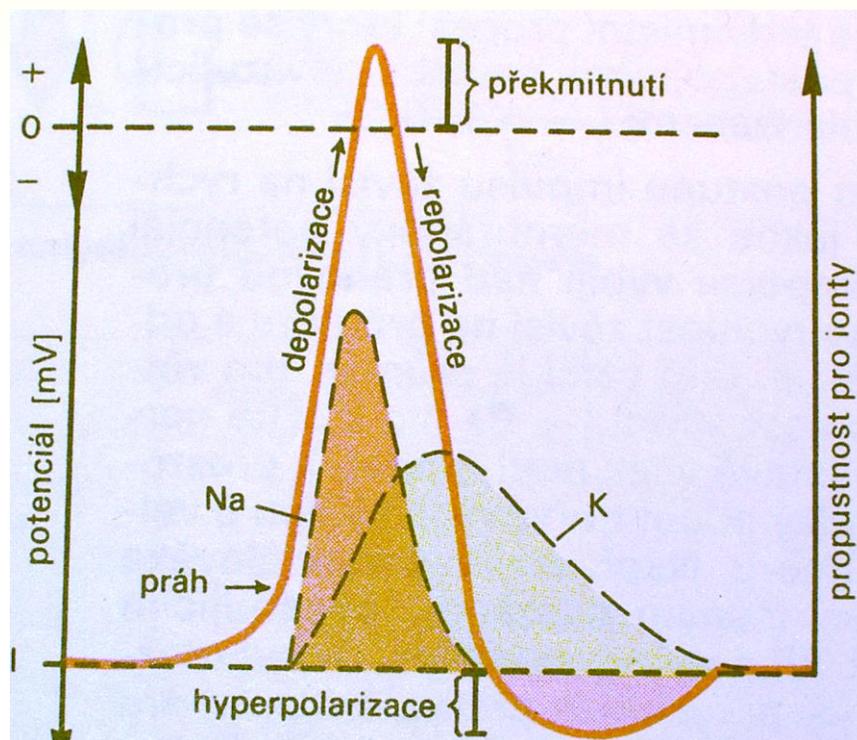
iont X	$P_X$	$[X]_o$	$[X]_i$
K <sup>+</sup>	1	5,5	150
Na <sup>+</sup>	0,03	150	15
Cl <sup>-</sup>	0,1	125	9

-73 mV

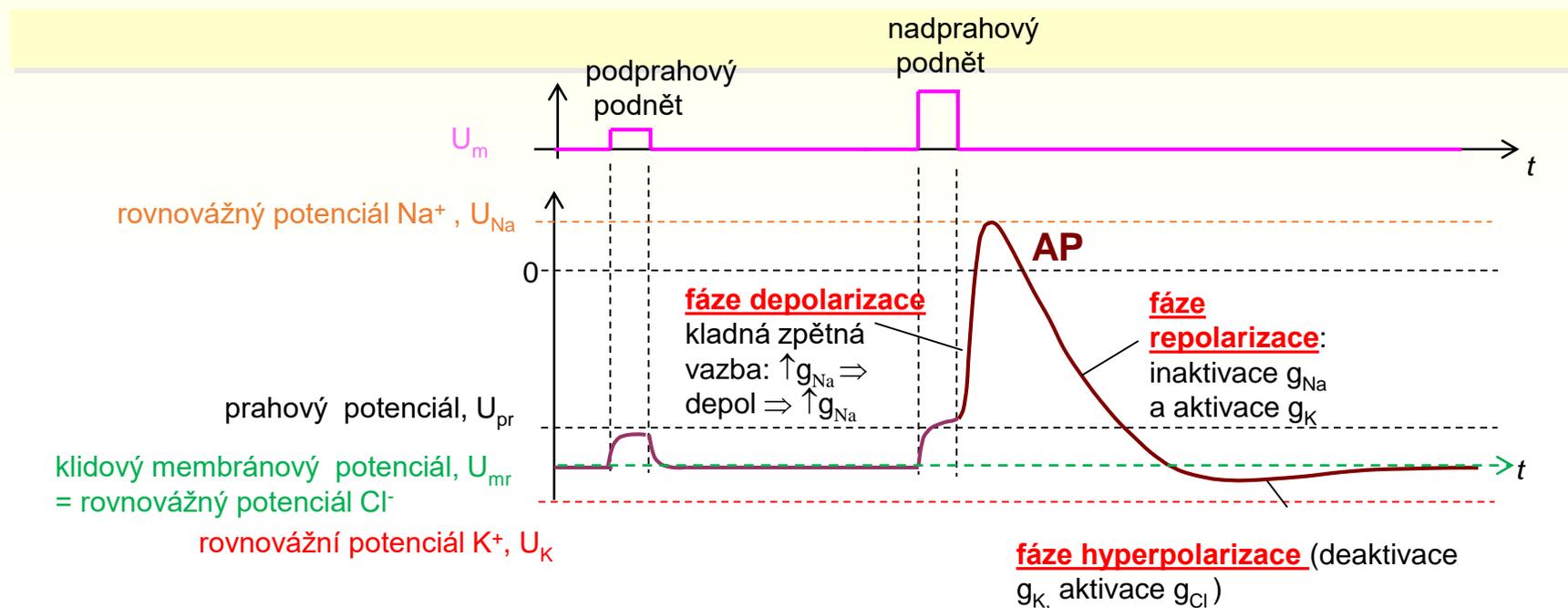


# Akční membránový potenciál

GBI\_2B15\_02A

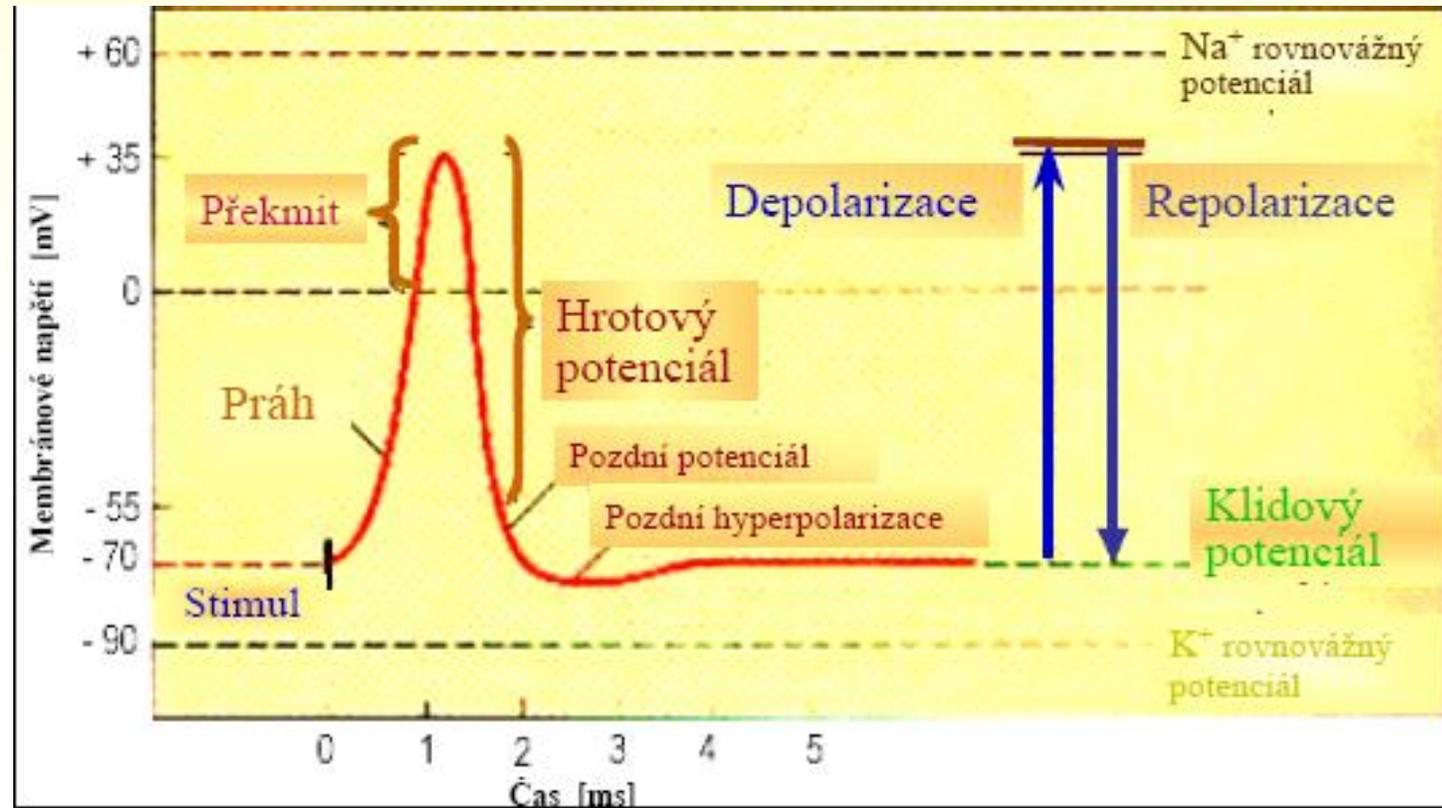


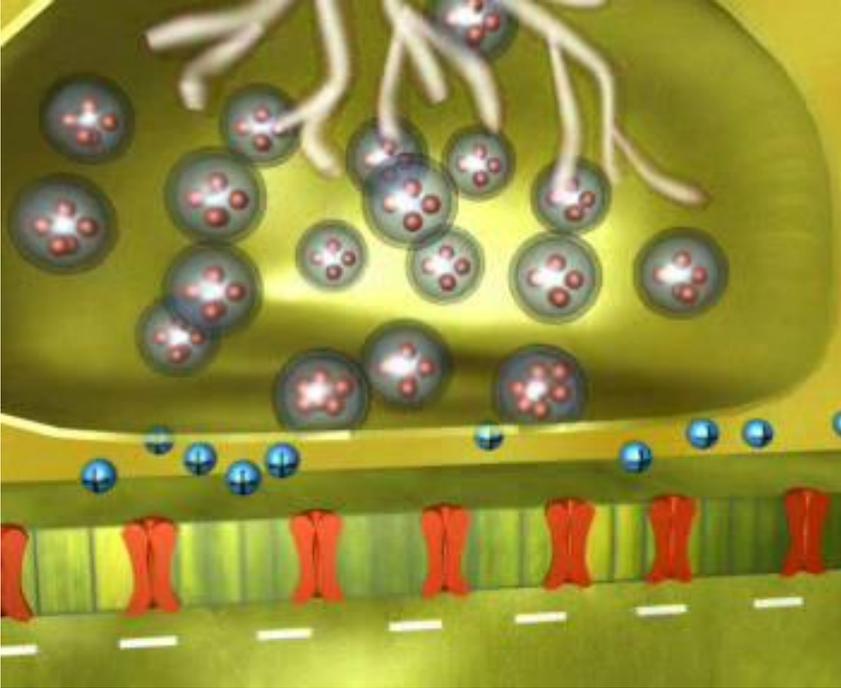
# Popis akčního potenciálu



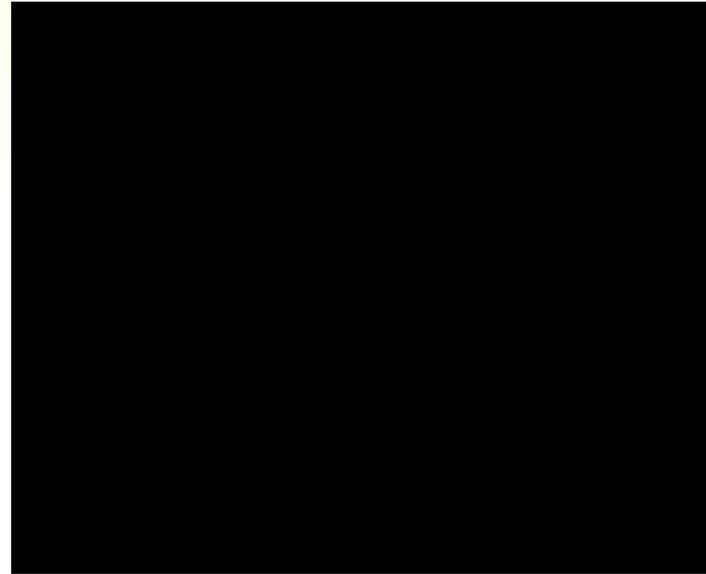


# Popis akčního potenciálu

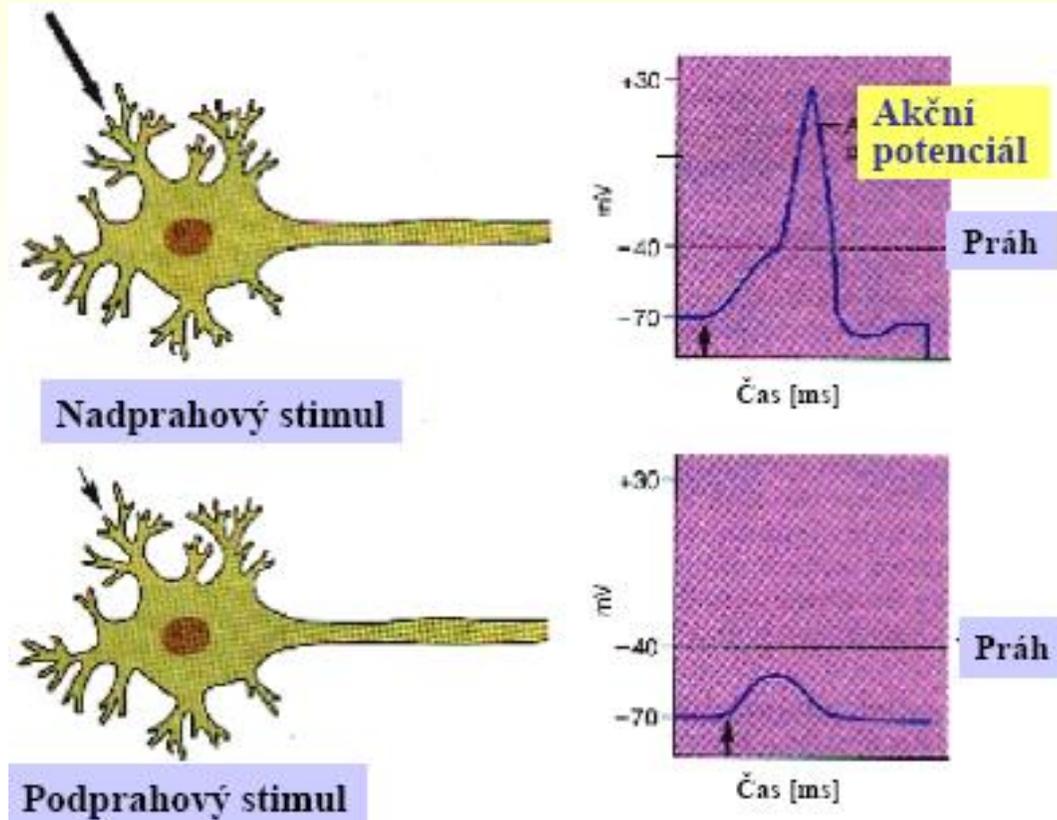




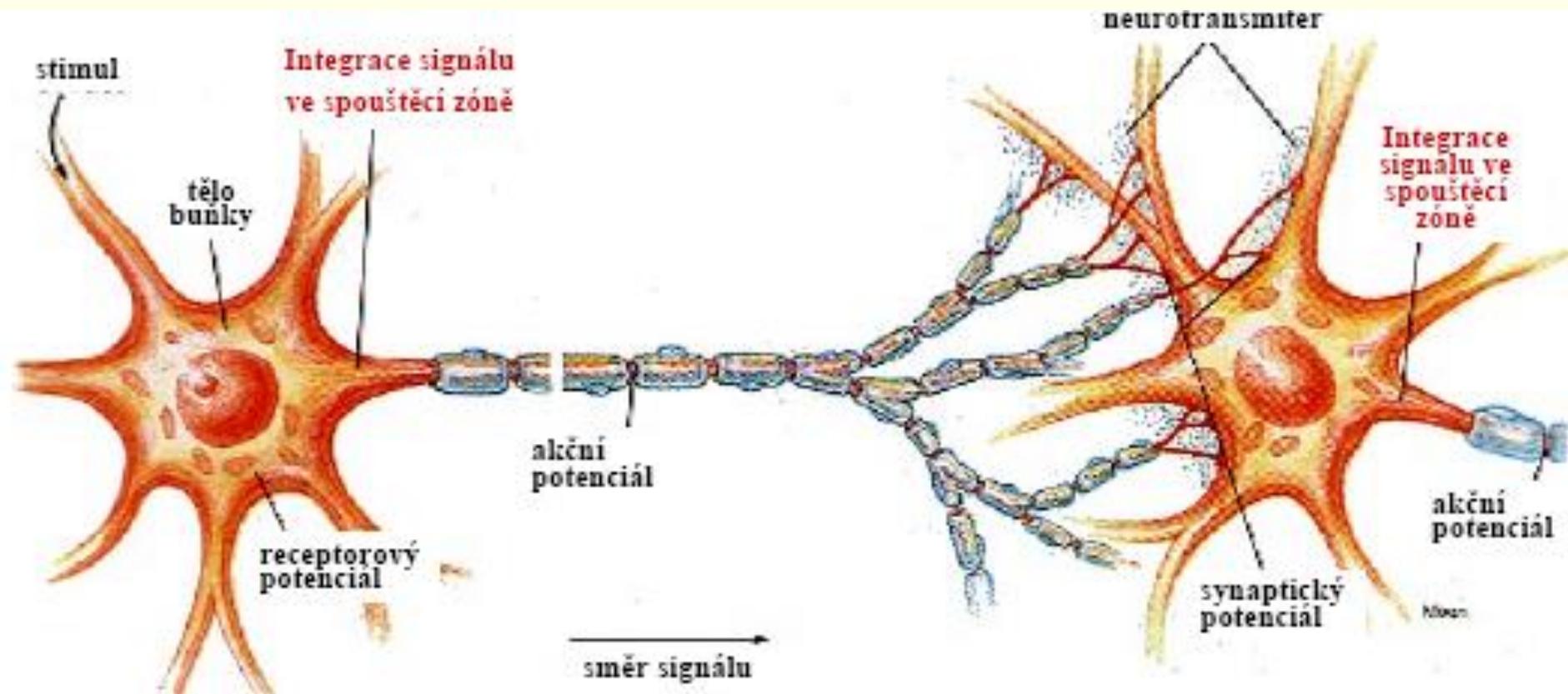
# Vedení proudu



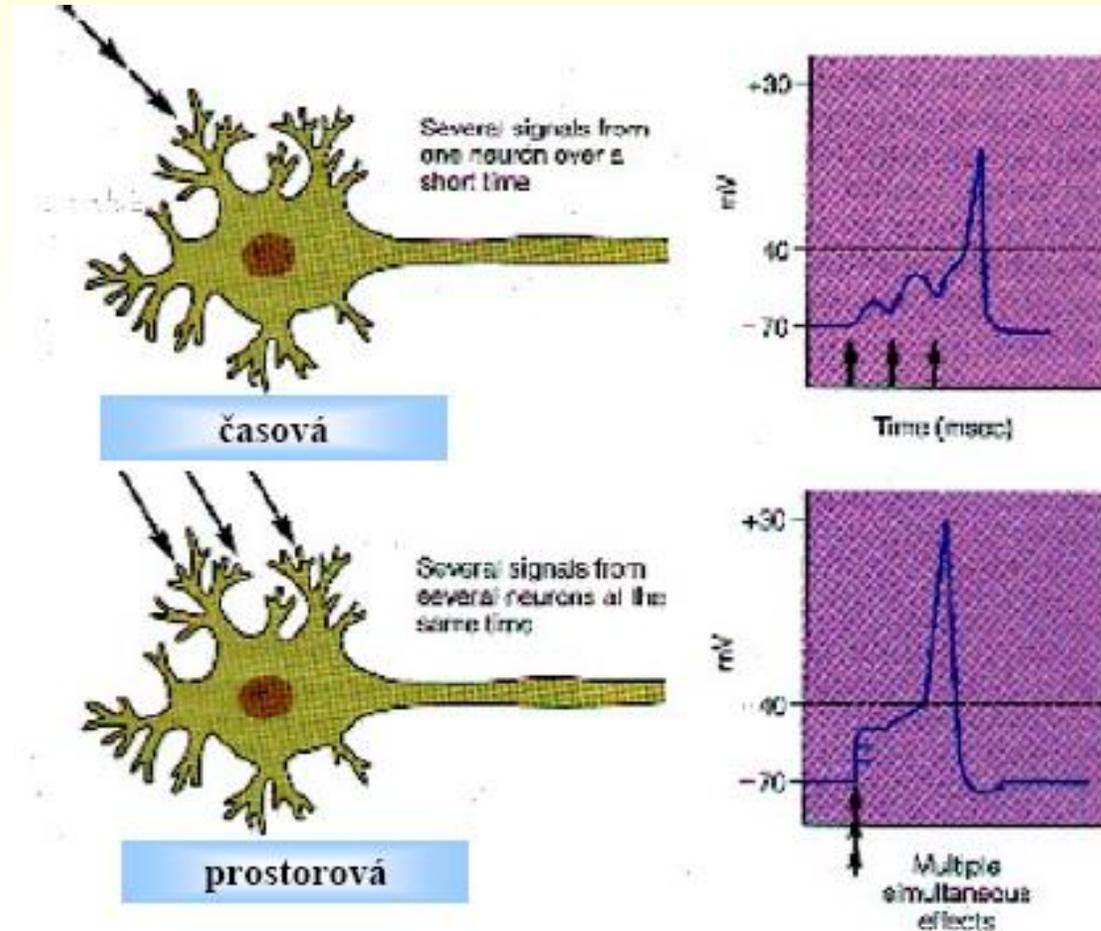
# Vznik akčního potenciálu



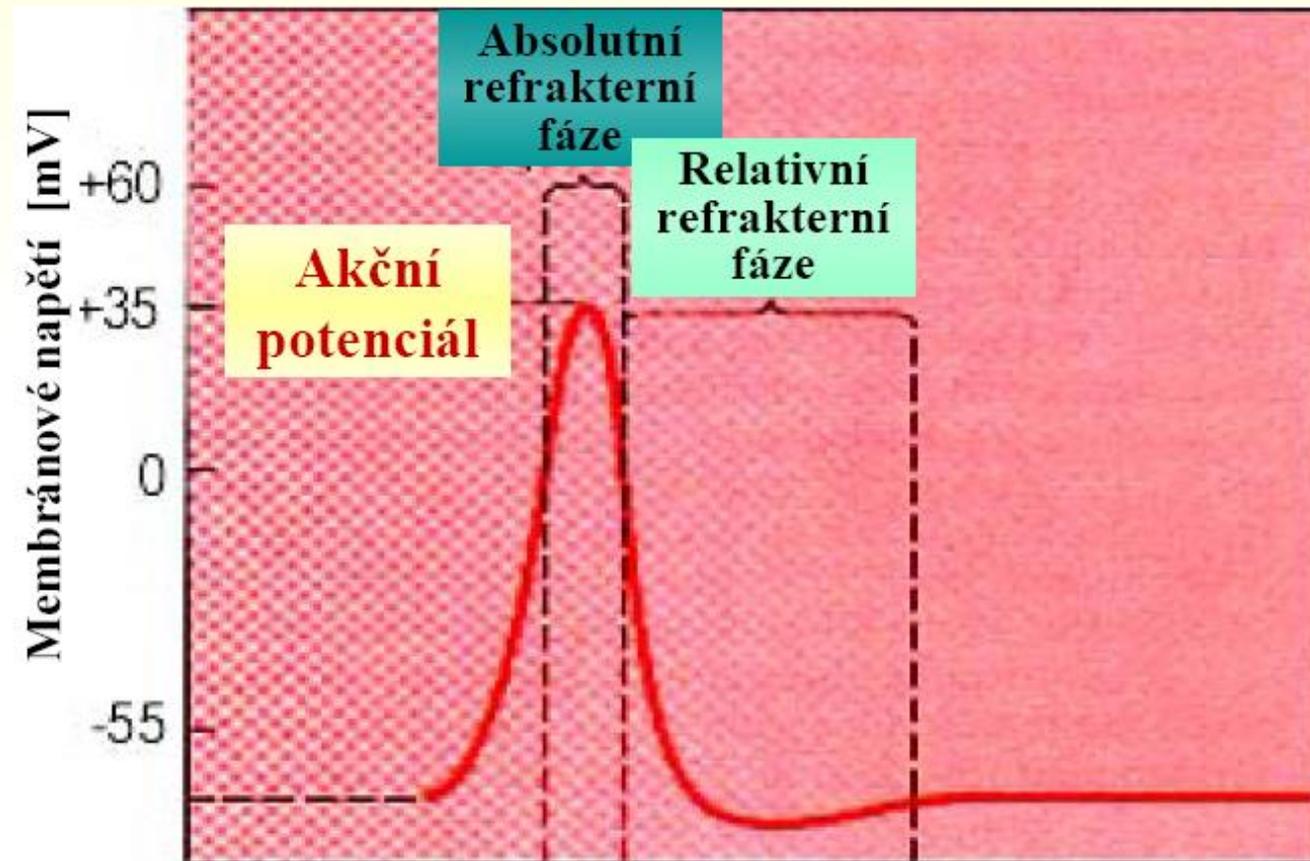
# Vedení vzruchu mezi nervovými buňkami



# Sumace vzruchů



# Akční potenciál



# Refrakterní fáze

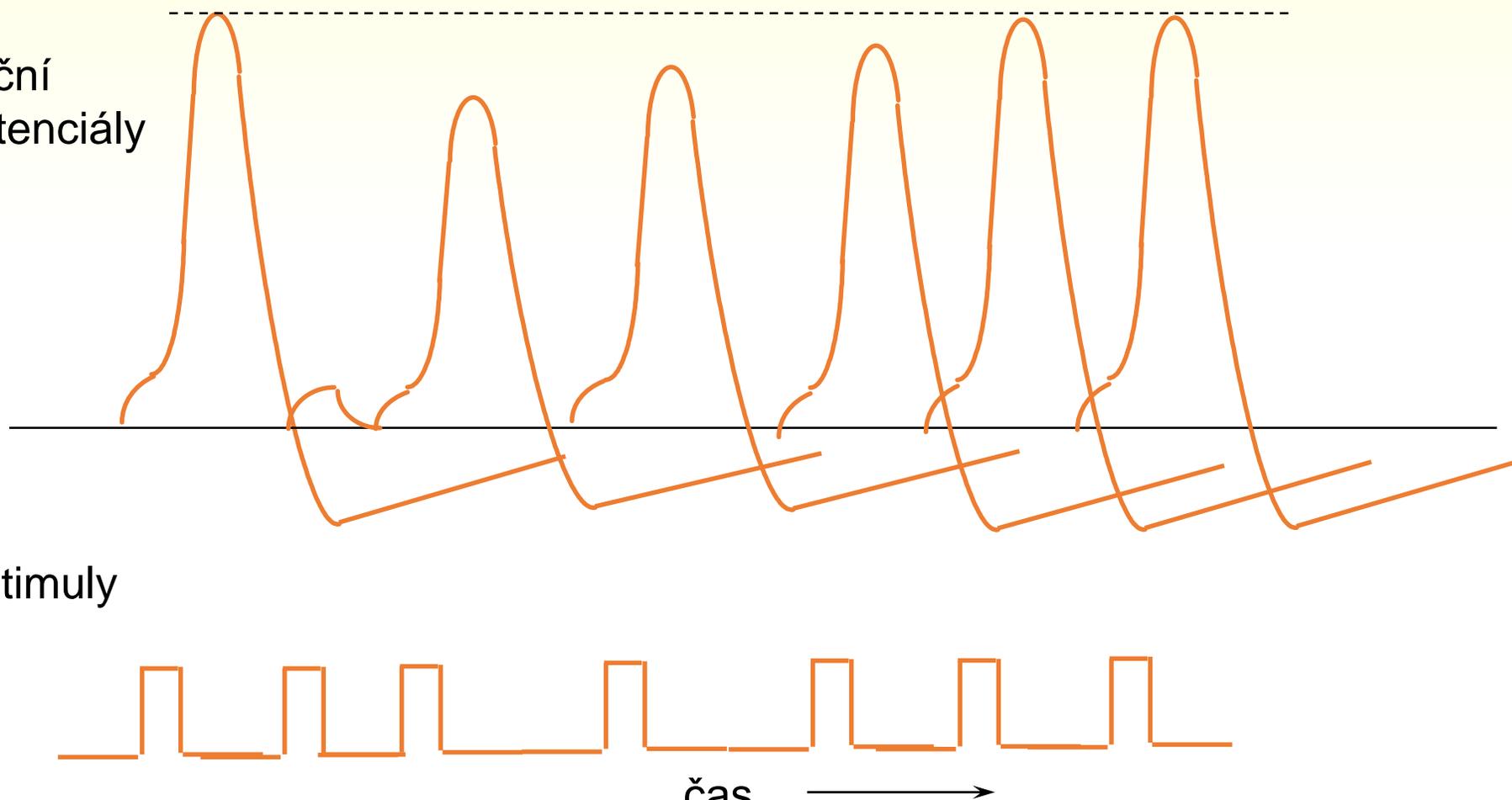
Absolutní  
refrakterní fáze

Relativní refrakterní fáze

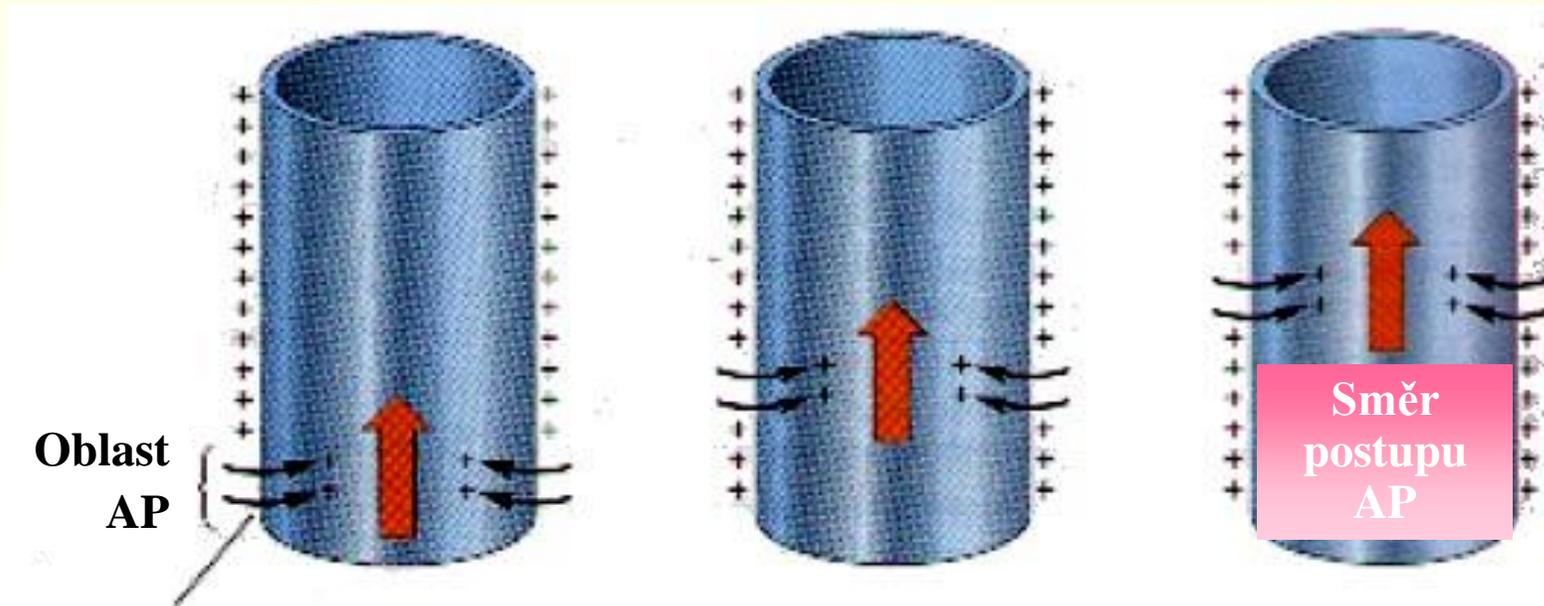
Akční  
Potenciály

Stimuly

čas



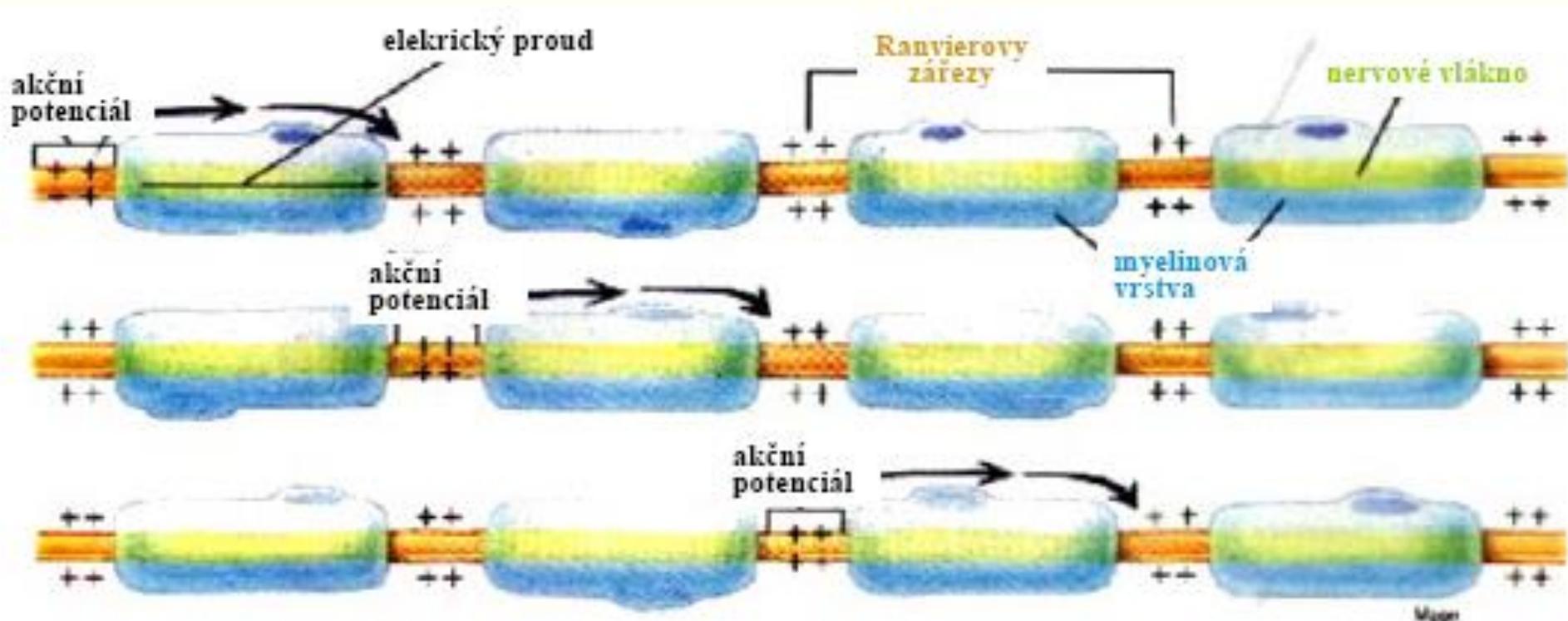
# Vedení vzruchu po membráně



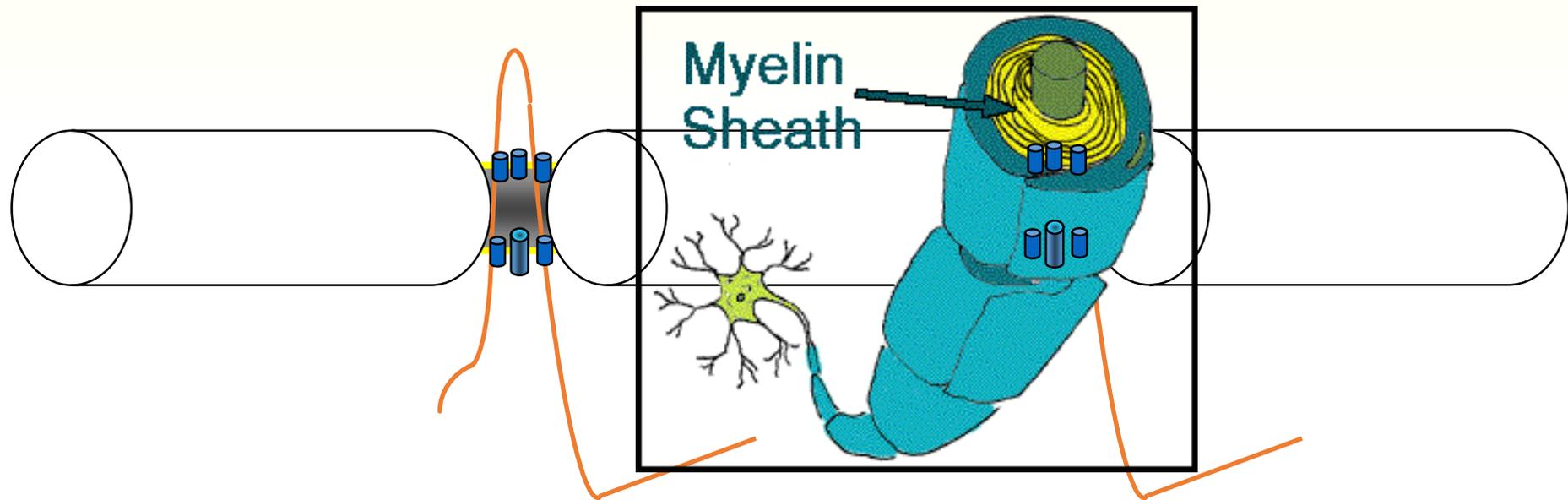


# Vedení vzruchu po (myelinizovaném) nervovém vlákně

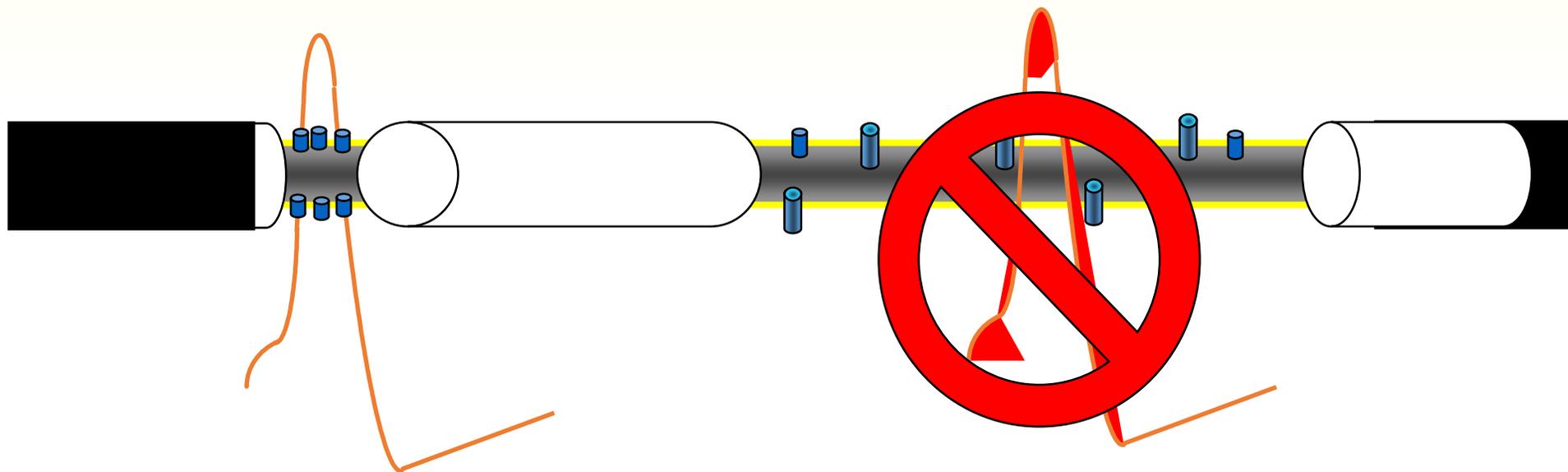
saltatorické - skokem



# Rychlost šíření



# Roztroušená skleróza



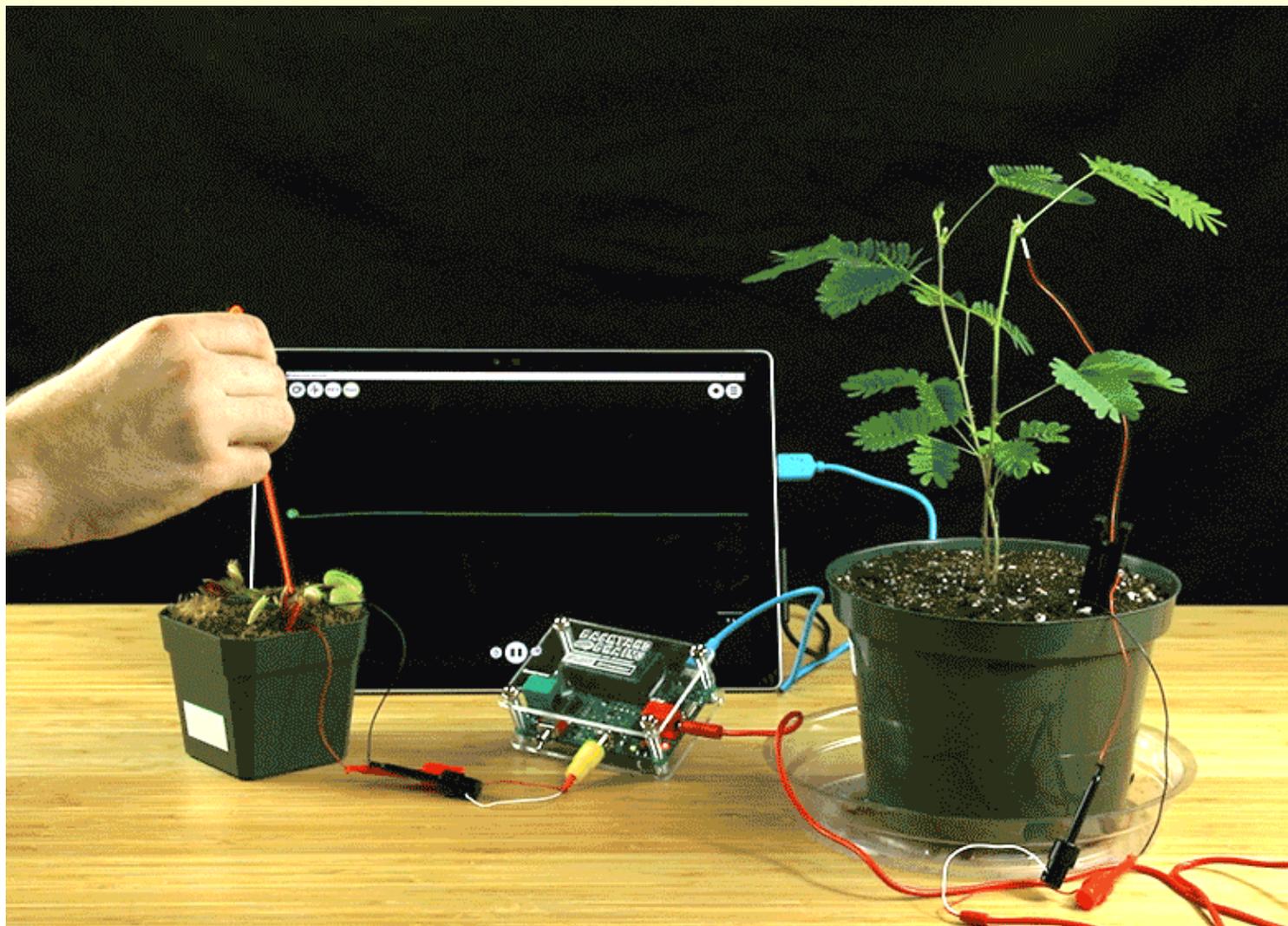
Porušení myelinu vede ke zhoršení šíření akčních potenciálů.  
Akční potenciály se šíří pomaleji, případně vymizí.

# Rychlost šíření

Buňka	Průměr ( $\mu\text{m}$ )	Rychlost (m/s)
Axon chobotnice	500	50
Axon kraba	30	10
Nerv kočky (nemyelinizovaný)	0.3 – 1.3	0.7 – 2.3
Nerv kočky (myelinizovaný)	2 – 20	10 – 100

- Zvětšení průměru axonu zvyšuje rychlost šíření akčního potenciálu
- Myelin zvyšuje rychlost šíření

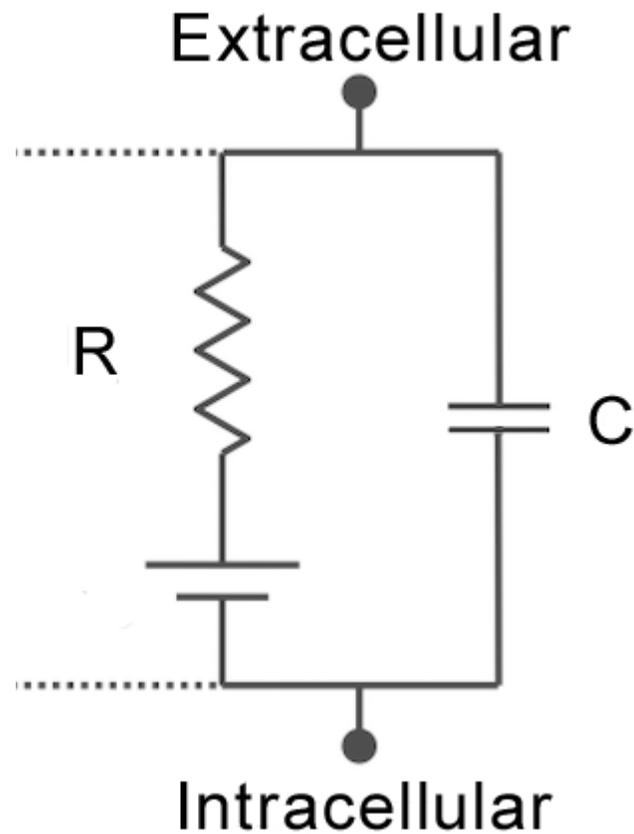
Dionaea muscipula  
Venus Flytrap  
Mucholapka podivná



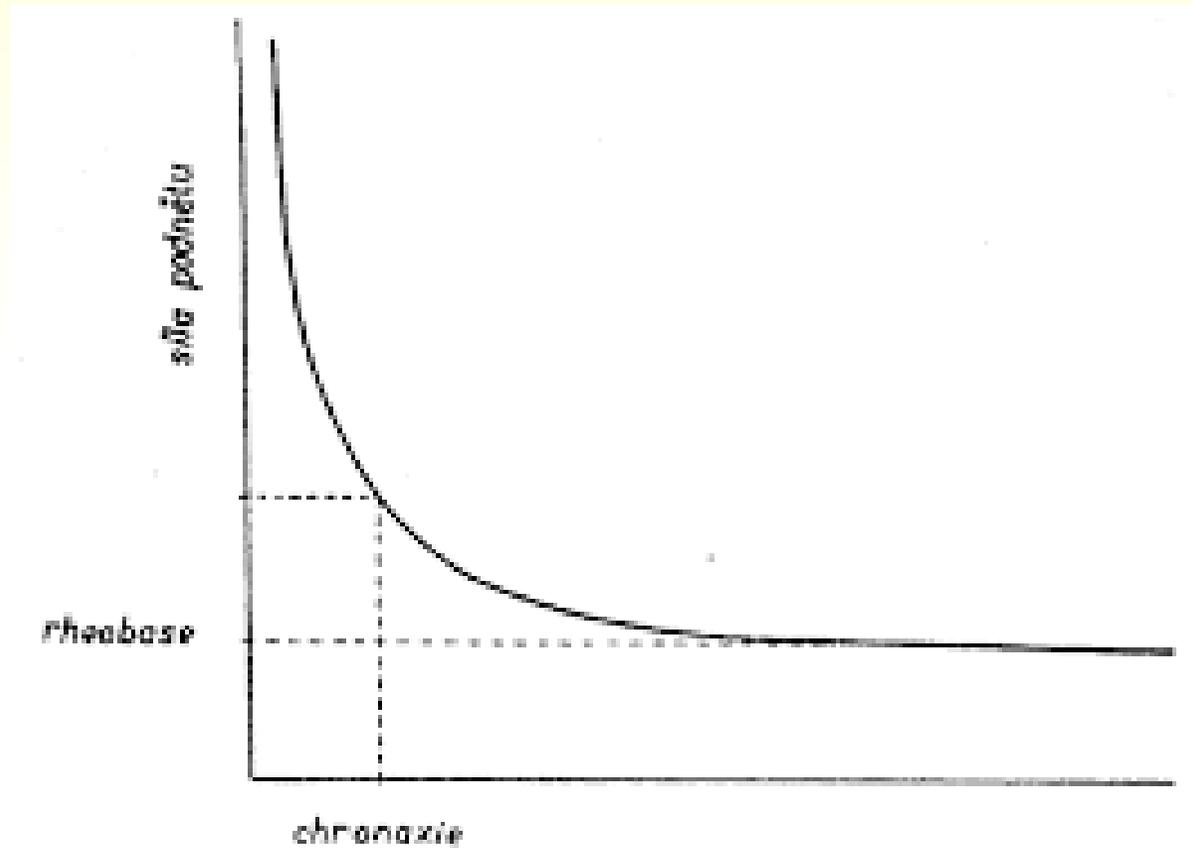
Sensitive Mimosa  
Mimosa Pudica  
Citlivka stydlivá

# Modelování elektrických vlastností buněčné membrány

1907 Louis Lapicque

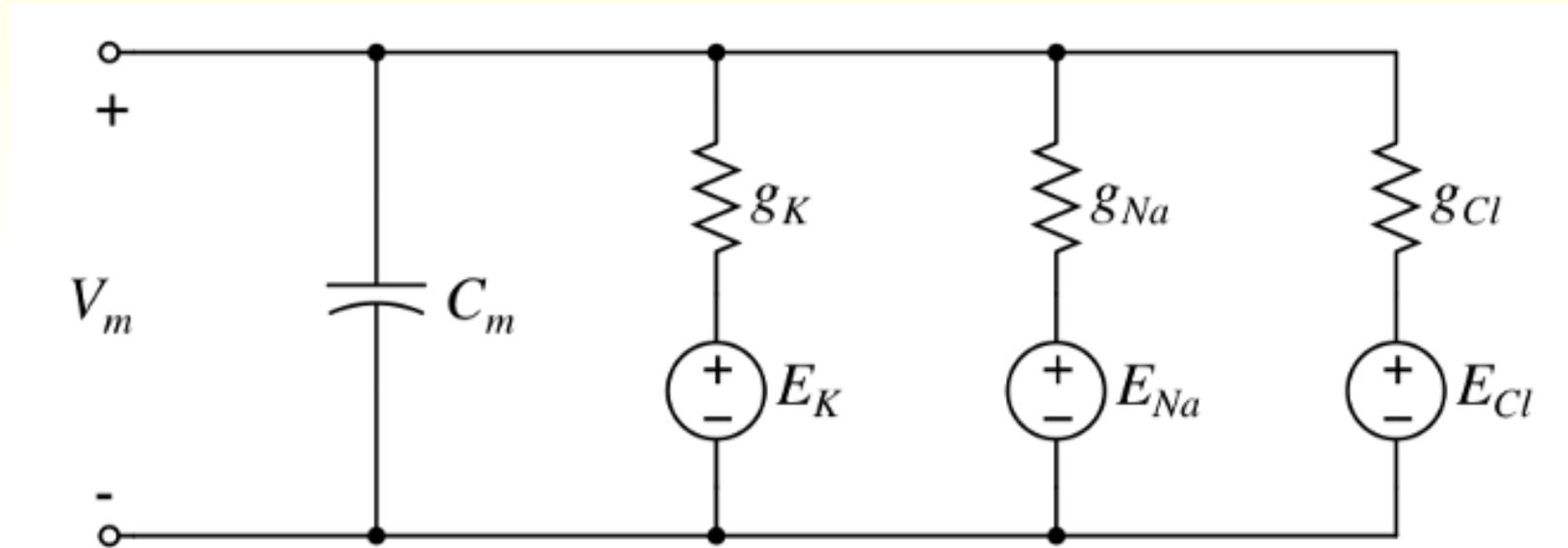


# Modelování elektrických vlastností buněčné membrány



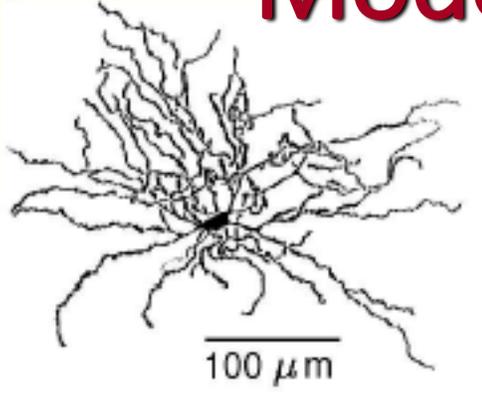
# Modelování membrány

pro výpočet klidového potenciálu



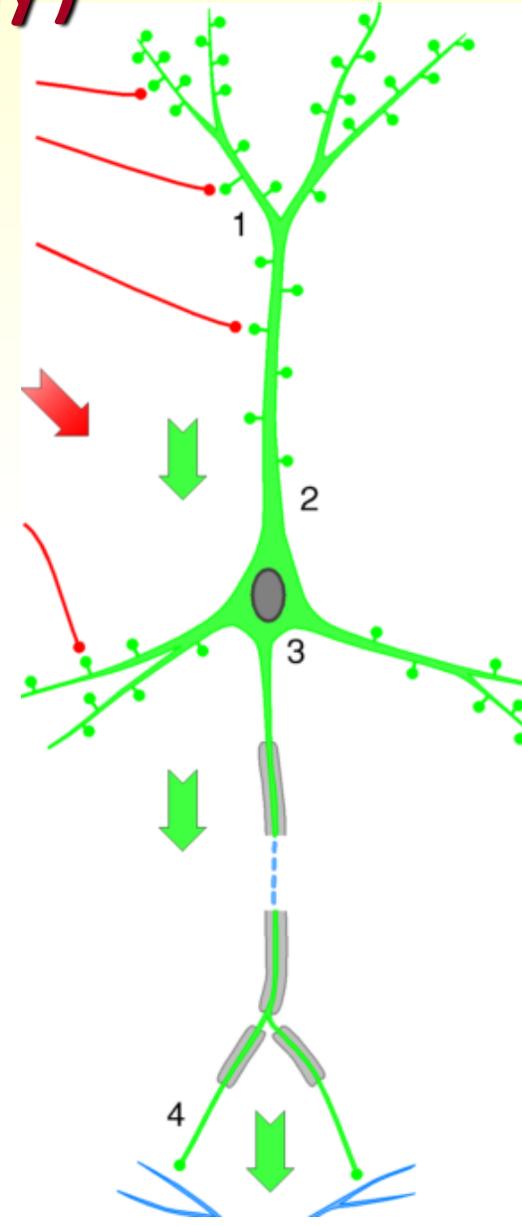
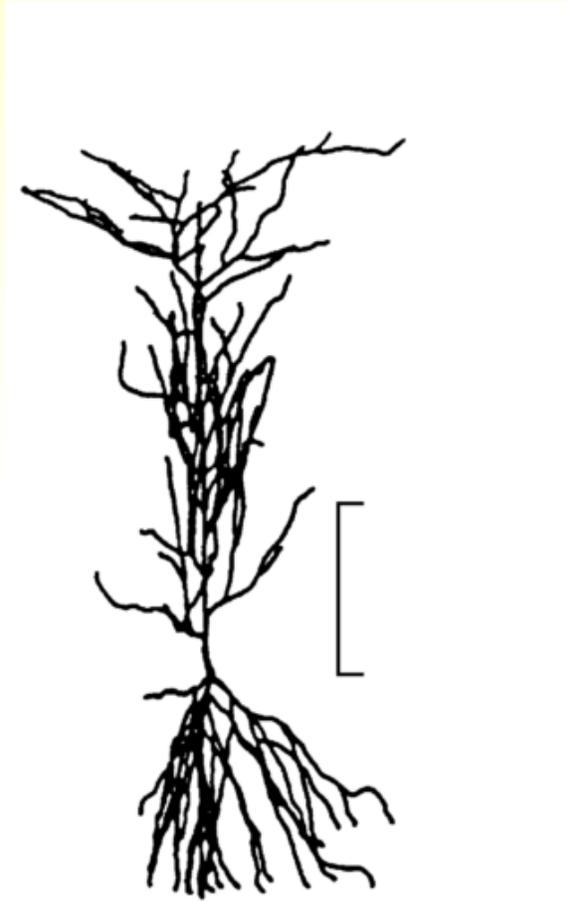


# Modelování neuronu

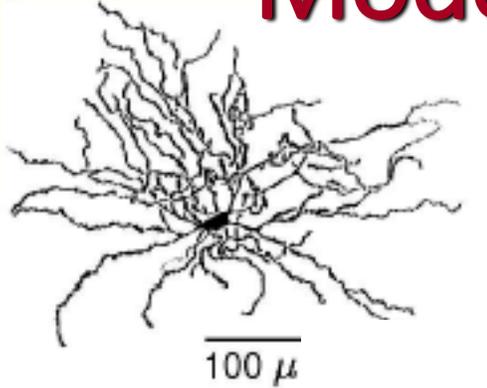


- Modelování těla (somy)
- Modelování dendritů
- Modelování synapsí
- Modelování axonů

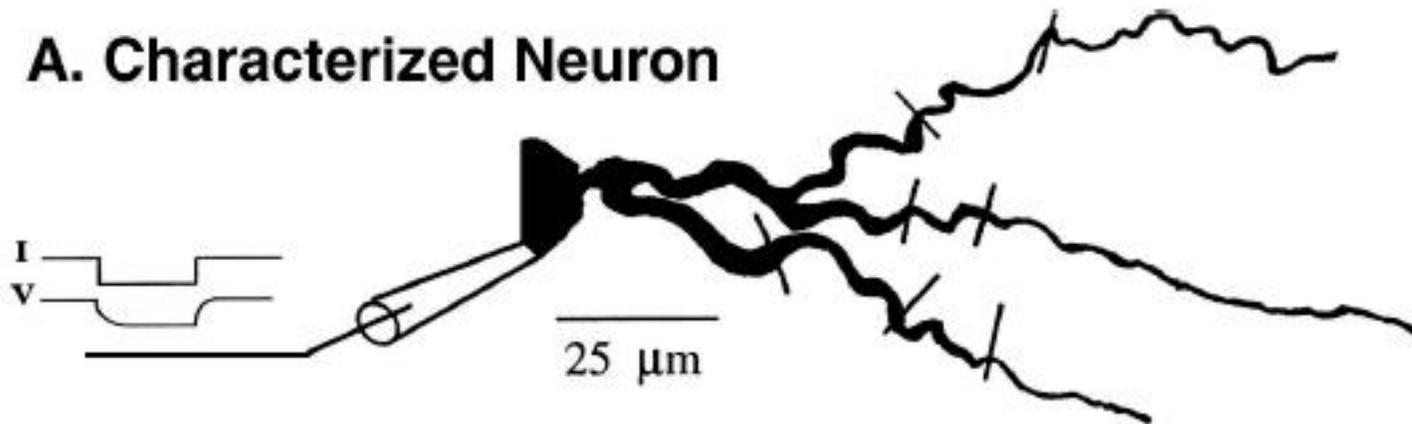
# Modelování těla (somy)



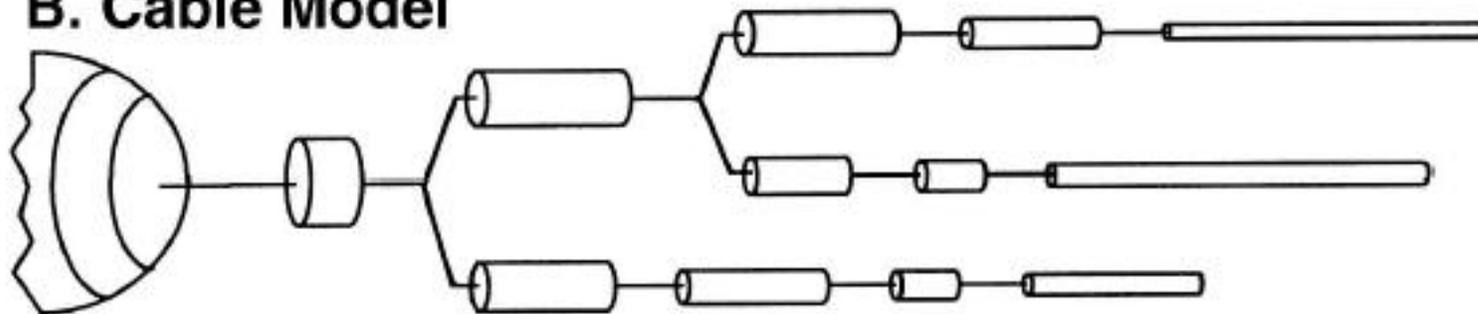
# Modelování dendritů



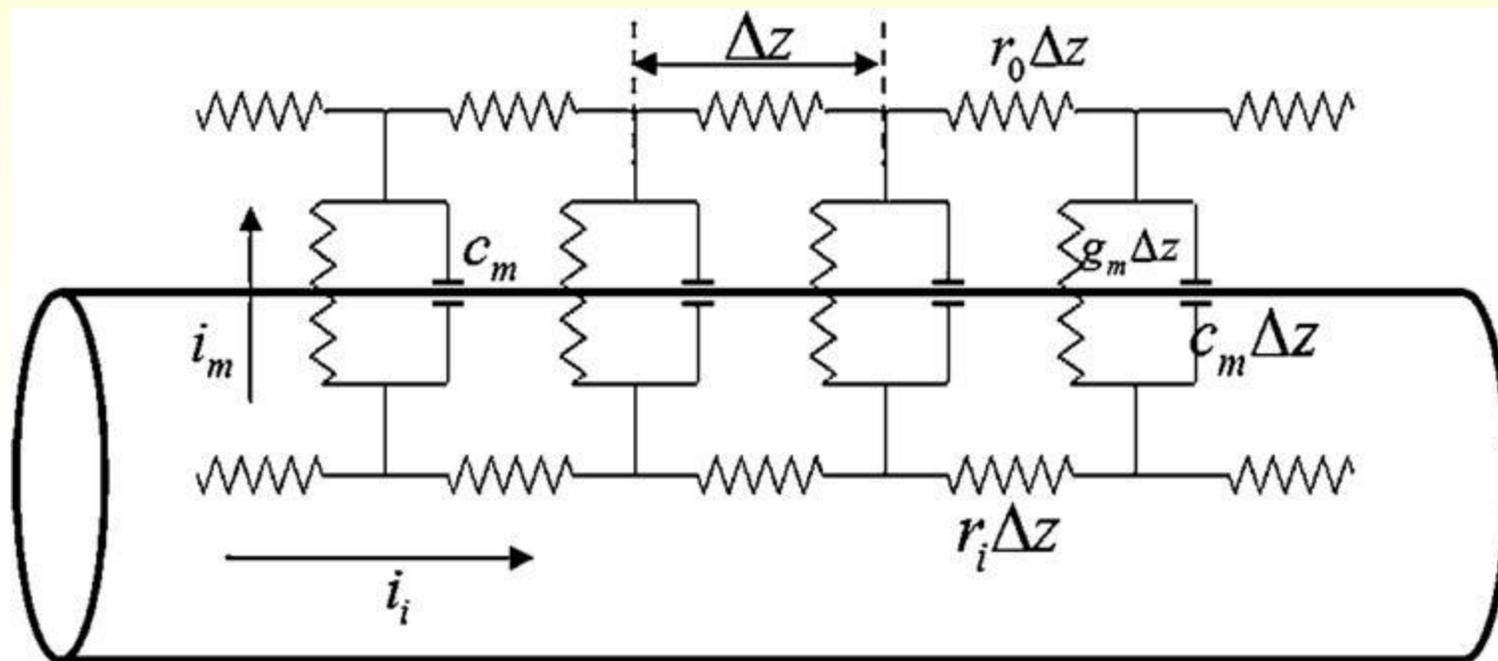
**A. Characterized Neuron**



**B. Cable Model**



# Teorie vedení



LENGTH CONSTANT

$$\lambda = \sqrt{\frac{r_M}{r_I}}$$

RESISTANCE OF NEURON MEMBRANE

INTERNAL NEURON RESISTANCE

$z$

$$\lambda^2 \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = \tau \frac{\partial V}{\partial t} + V$$

TIME CONSTANT

RESISTANCE OF NEURON MEMBRANE

$$\tau = r_M c_M$$

CAPACITANCE OF NEURON MEMBRANE

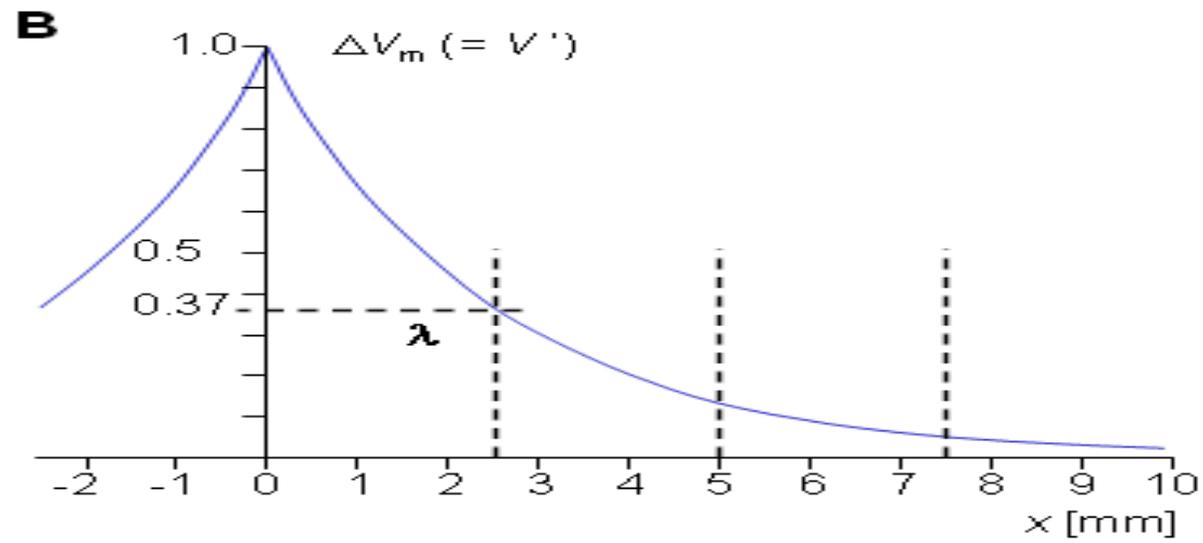
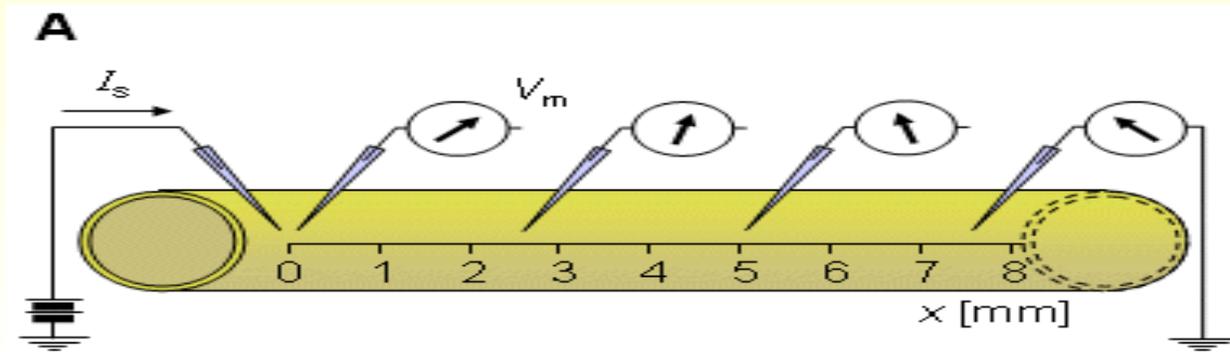
# Teorie vedení

- Popisuje tok proudu a šíření potenciálu v lineárních (pasivních) dendritech
- Analýza signálů – přenos dendrity

# Teorie vedení

- Předpoklady:
  - Neuvažujeme napětově závislé kanály
  - Membrána je pasivní a rovnoměrná
  - Uvažujeme délku a čas, nikoliv průměr
- Metoda je nepřesná, avšak užitečná
- Zjednodušující předpoklady umožňují modelování bez velké ztráty fyziologické podstaty

# Teorie vedení



# Modelování synapsí

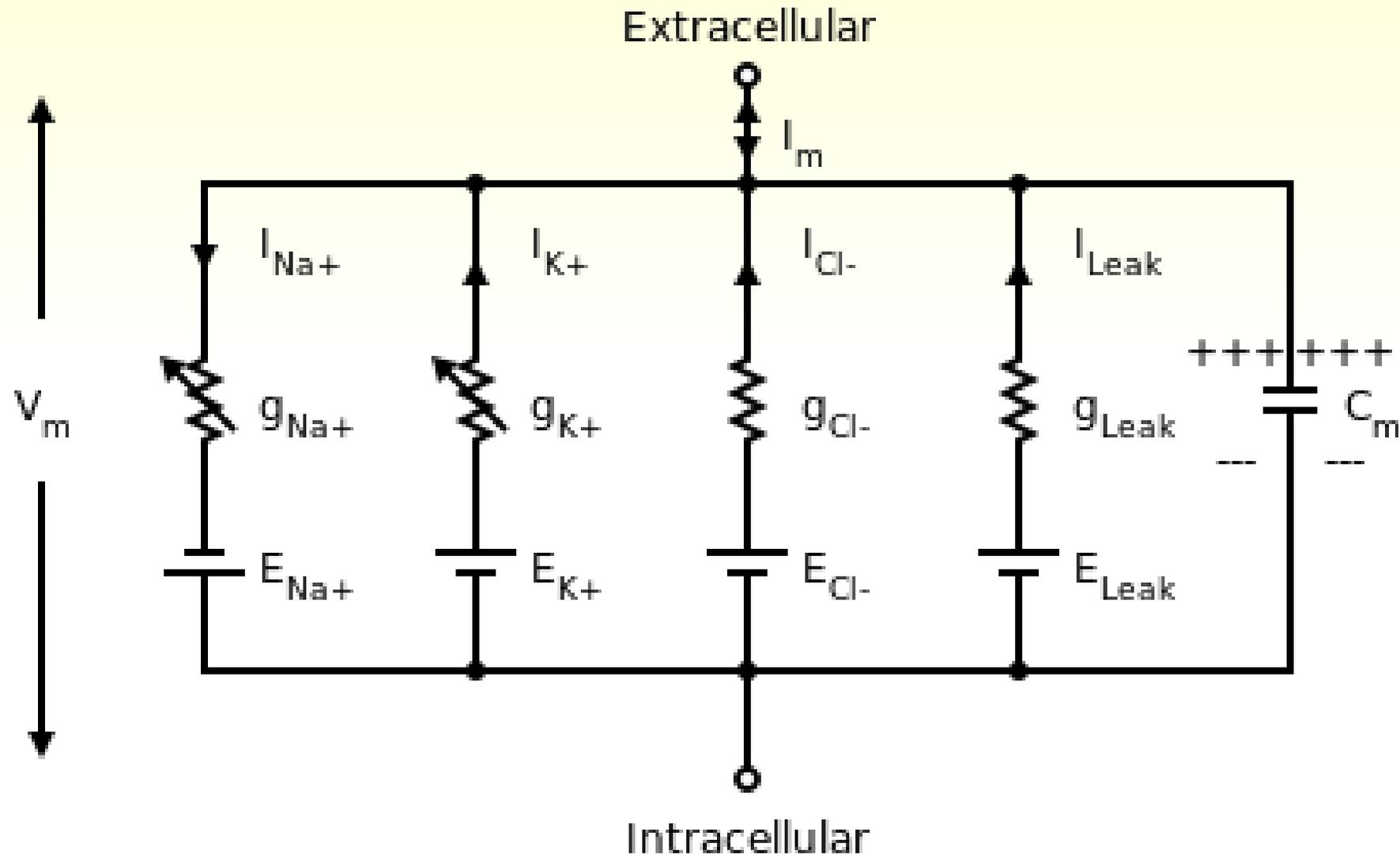




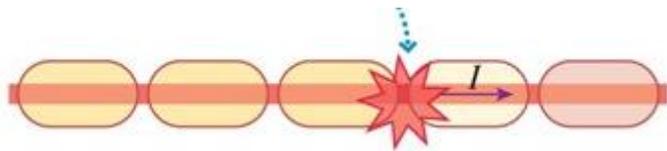
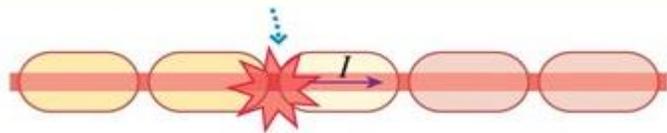
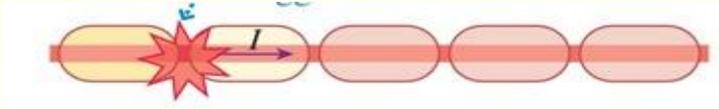
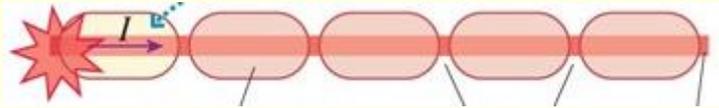
# Modelování axonů



# Hodgkin–Huxley model - 1952

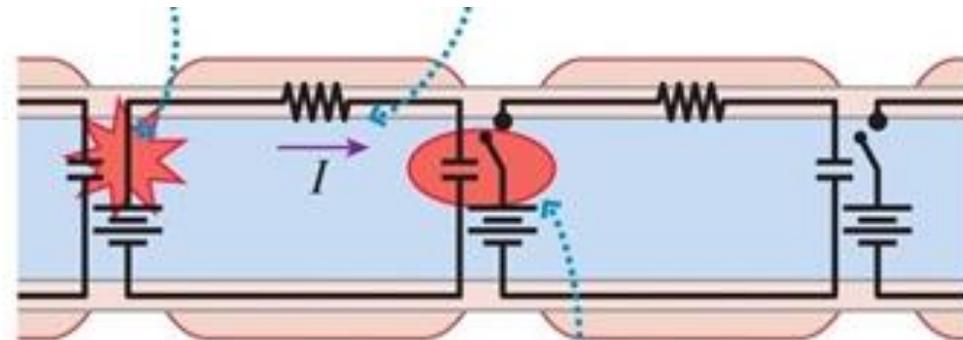
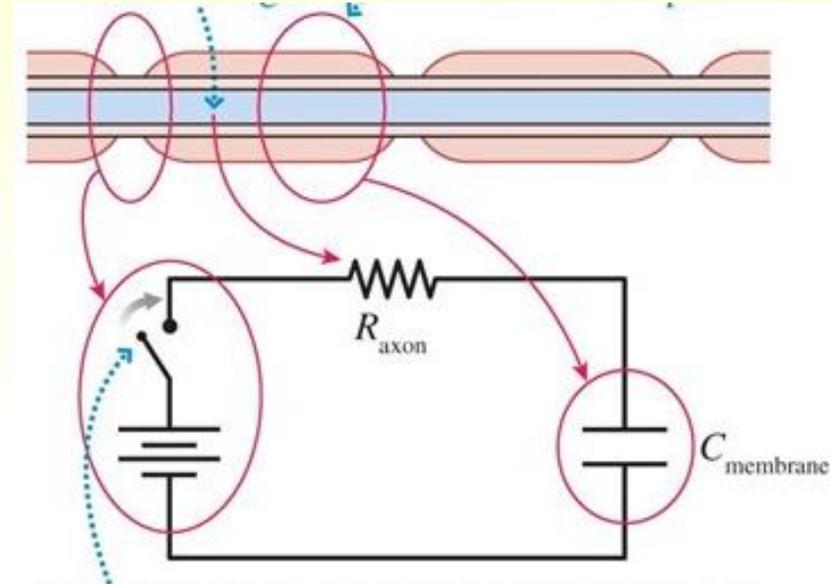


# Modelování axonů jako RC obvodů



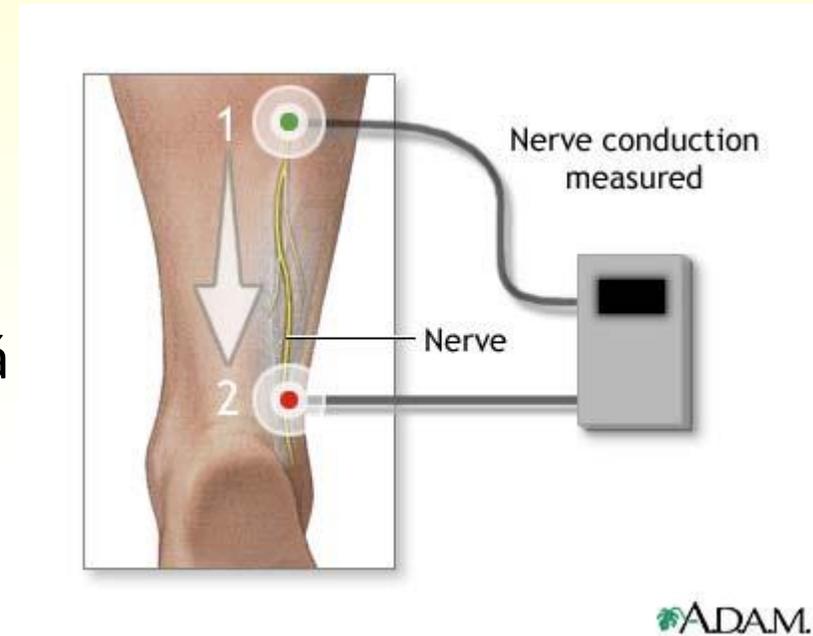
$$v = \frac{L_{node}}{\tau} = \frac{1 \times 10^{-3} \text{ m}}{40 \times 10^{-6} \text{ s}} = 25 \text{ m/s}$$

$$\tau = RC = (2.5 \times 10^7 \text{ } \Omega)(1.6 \times 10^{-12} \text{ F}) = 4 \times 10^{-5} \text{ s} = 40 \text{ } \mu\text{s}$$



# Elektroneurogram – kondukční studie

- stimulační a snímací elektrody
- nerv je stimulovaný elektrickým impulsem, vyvolávajícím zášklub
- stimulace může být někdy nepříjemná
- cílem vyšetření:
  - je porovnání rychlosti vedení v nervu
  - velikosti potenciálu ve svalu s věkovou normou
  - abnormální hodnoty:
    - poškození nervu úrazem, chronickým tlakem, zánětem, metabolickou poruchou nebo toxickými látkami
    - odlišení léze
      - demyelinizační
      - axonální

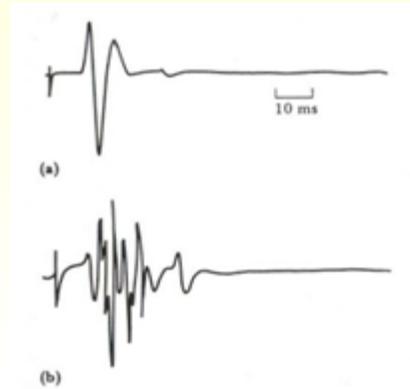


# Kondukční studie

Odpověď svalu na stimulační impuls

normální

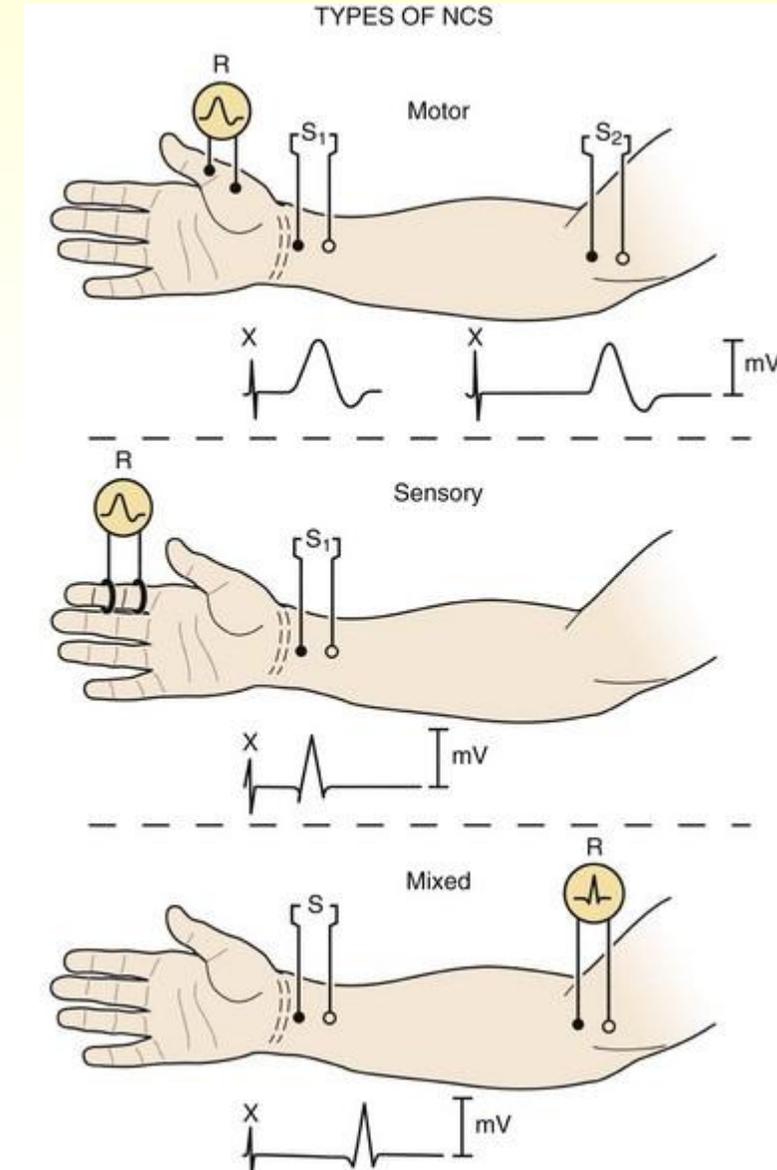
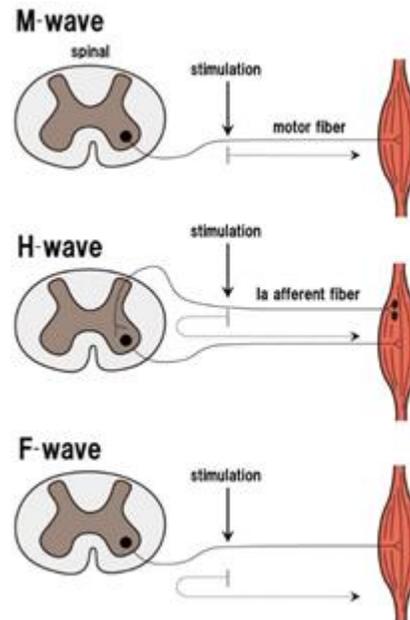
patologická



Přímá odpověď: M-vlna

Pozdní odpovědi: F-vlna

H-reflex



Pacient: ██████████  
 r.č.: ██████████  
 Adresa: ██████████  
 Výška: 1,6 m

Age: 75 Years 9 Months  
 z.p.: 111  
 Dg.: G 61.9

# Kondukční studie

## Sensory NCS

Nerve / Sites	Rec. Site	Latency ms	Peak Ampl $\mu$ V	Distance cm	Velocity m/s
<b>L SURAL - Lat Malleolus</b>					
1. Lýtko	Zevní kotník	2,00	13,5	10	50,0
<b>R SURAL - Lat Malleolus</b>					
1. Lýtko	Zevní kotník	2,05	23,3	10	48,8
<b>L SUP PERONEAL - Foot</b>					
1. Nad kotníkem	Nárt	3,10	1,5	12	38,7

## KT Sens

Nerve / Sites	Rec. Site	Latency ms	Peak Ampl $\mu$ V	Distance cm	Velocity m/s
<b>L MEDIANUS - 2 prst</b>					
1. Dlaň	II	1,85	9,8	7,3	39,5
2. Zápěstí	II	3,60	19,0	7,5	42,9
<b>R MEDIANUS - 2 prst</b>					
1. Dlaň	II	0,00			
2. Zápěstí	II	4,20	6,6	14,7	35,0
<b>L MEDIANUS - x ULNAR 4, prst</b>					
1. zápěstí - ulnar	IV	2,85	7,9	14,2	49,8
2. zápěstí - median	IV	3,50	6,0	14,2	40,6
<b>R MEDIANUS - x ULNAR 4, prst</b>					
1. zápěstí - ulnar	IV	2,90	9,3	14,2	49,0
2. zápěstí - median	IV	3,80	6,0	14	36,8

## Motor NCS

Nerve / Sites	Lat. ms	Amp. mV	Dist. cm	RV m/s
<b>L TIBIAL (KNEE) - AH</b>				
1. Ankle	4,80	6,9		
2. Knee	13,30	4,5	38,2	44,9
<b>L COMM PERONEAL - EDB</b>				
1. Ankle	5,50	5,1		
2. Fib Head	11,90	5,0	29	45,3
3. Knee	13,55	5,1	8,5	51,5

## KT Motor

Nerve / Sites	Lat ms	Amp mV	Dist cm
<b>R MEDIANUS - APB KT</b>			
1. Zápěstí	8,80	0,4	8
<b>L MEDIANUS - APB KT</b>			
1. Zápěstí	4,75	3,5	8

## F Wave

Nerve	Mean F Lat ms	Min F Lat ms	Max F Lat ms	% F %	Mean F Amp mV
L TIBIAL (KNEE) - AH	52,09	51,50	52,40	100	0,2
L COMM PERONEAL - EDB	50,48	49,55	51,35	75	0,2

## Tabulka EMG

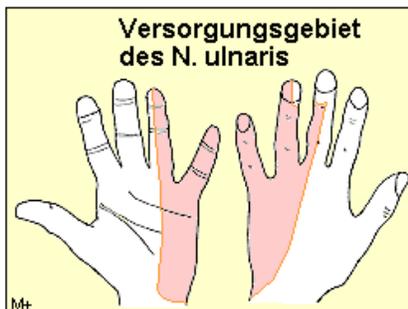
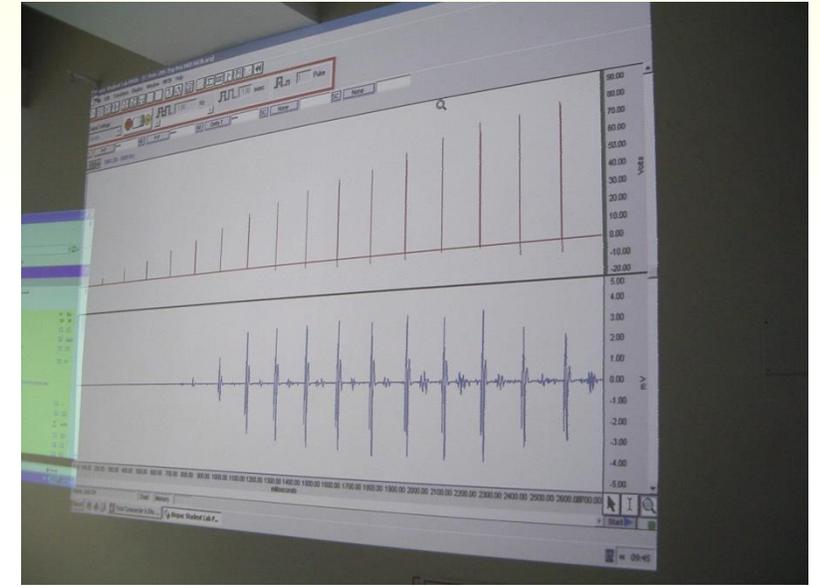
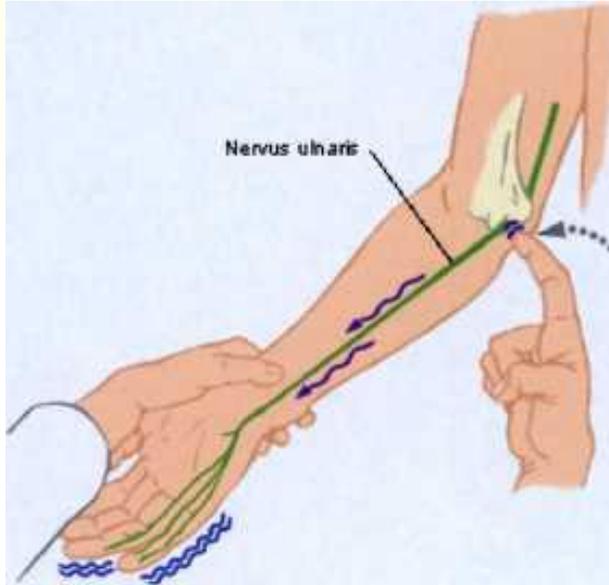
	Spontaneous					MUAP			Recruitment	Reduction
	IA	Fib	PSW	Fasc	H.F.	Amp	Dur.	PPP	Pattern	Klasifikace
L. TIB ANTERIOR	N	None	None	None		N	N	N	N	5

## Závěr:

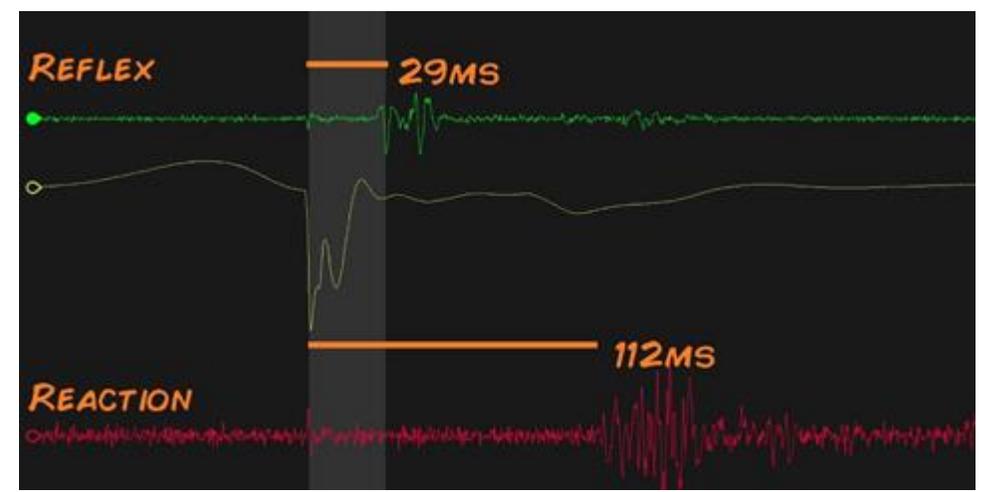
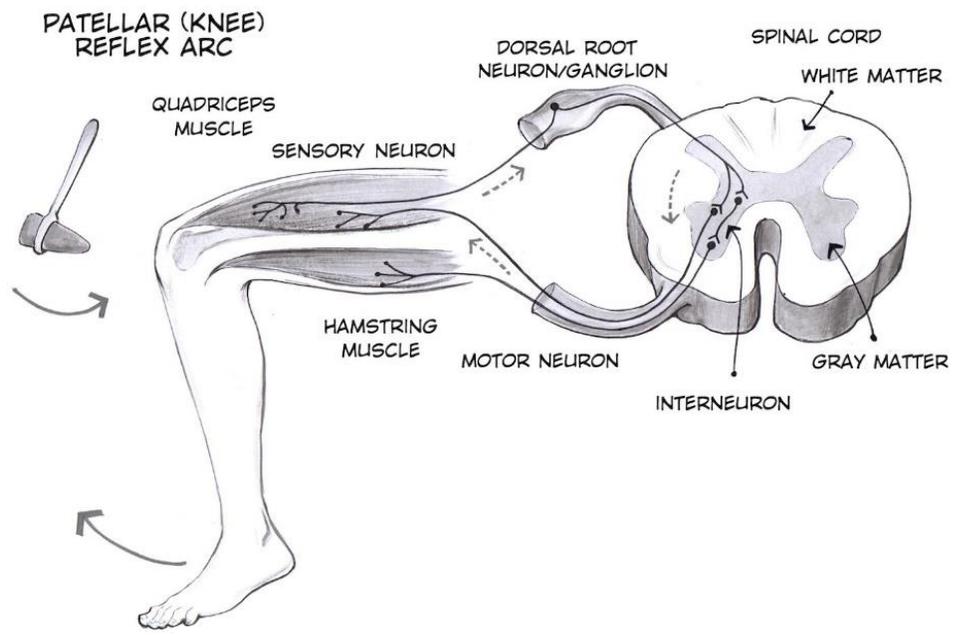
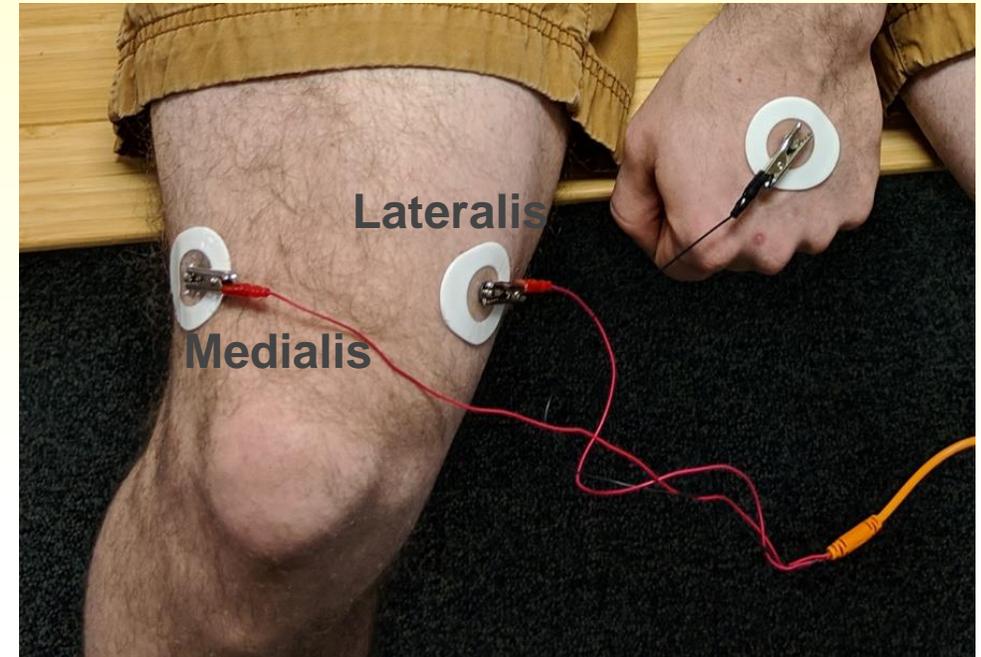
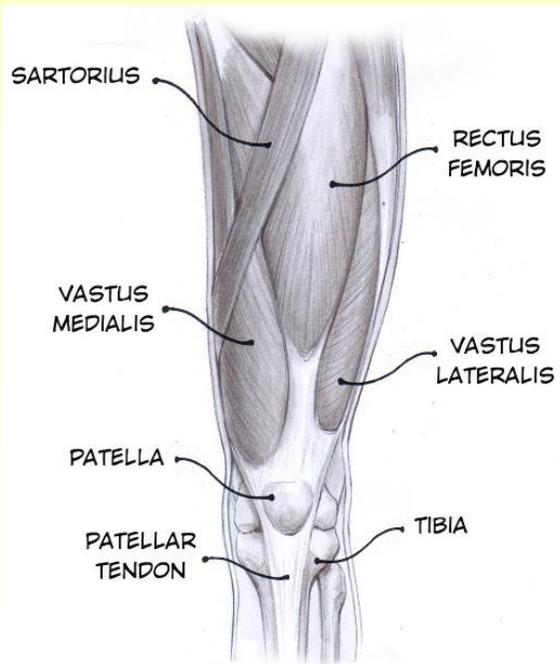
EMG vyšetření neprokázalo polyneuropatii HK či DK, ani významnější radikulopatii L5, svědčí pro středně těžkou kompresivní lézi n. medianus v oblasti zápěstí vlevo, vpravo je téměř úplná axonopatie tohoto nervu (dle anamnézy již 15 let).

MUDr. ██████████

# Šíření vzruchu ulnárním nervem



# Patelární reflex



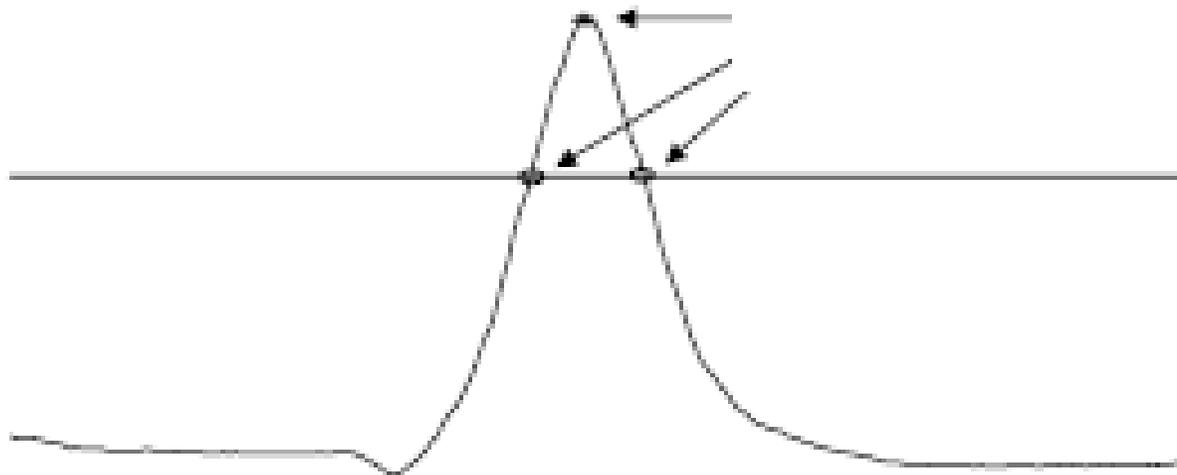


# Automatická detekce počátků (a konců) dějů

- prahování

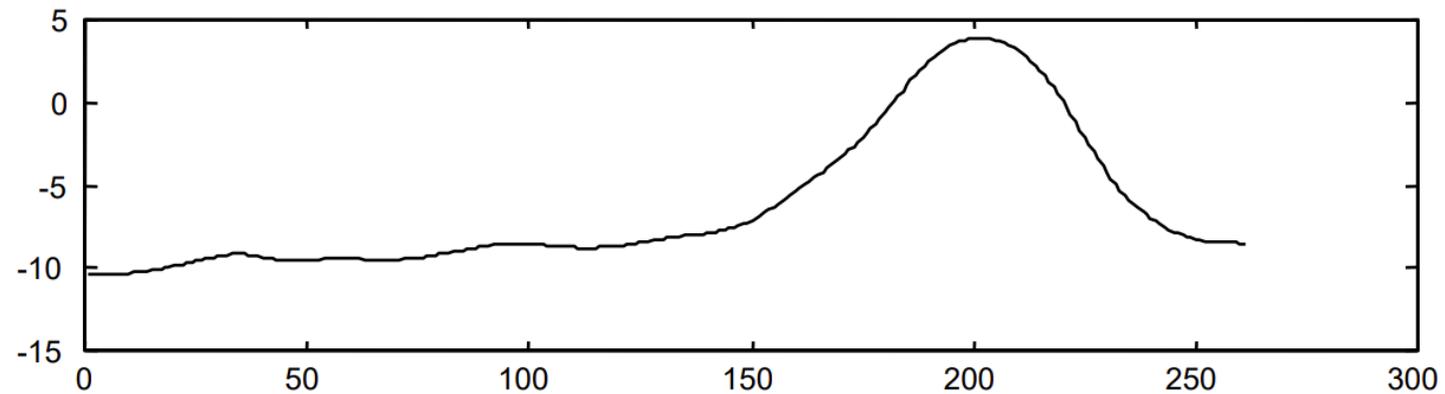
- Běžné problémy:

- šum,
- interference,
- posuny základní linie

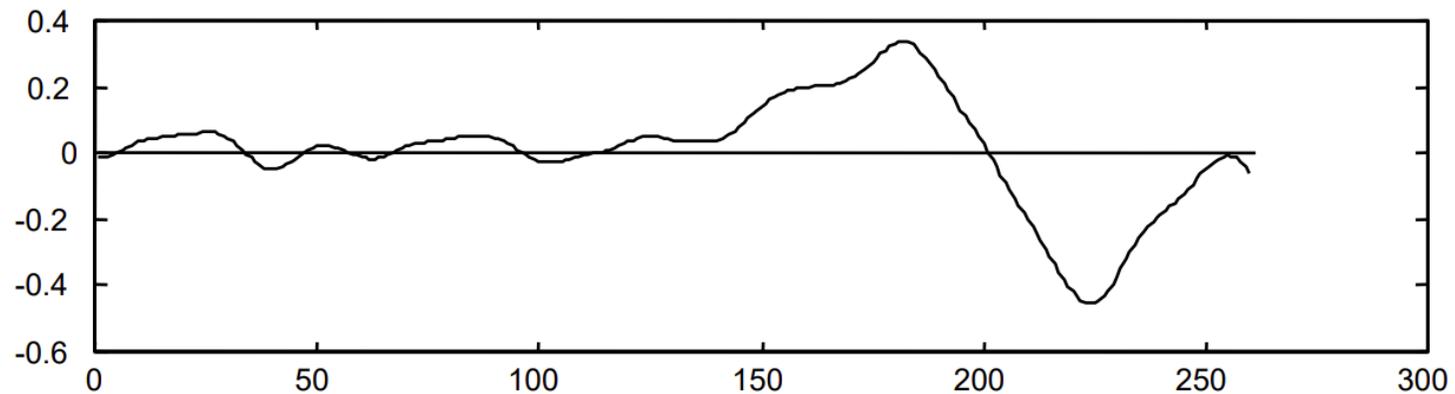


# Detekce počátků

- prahování derivace



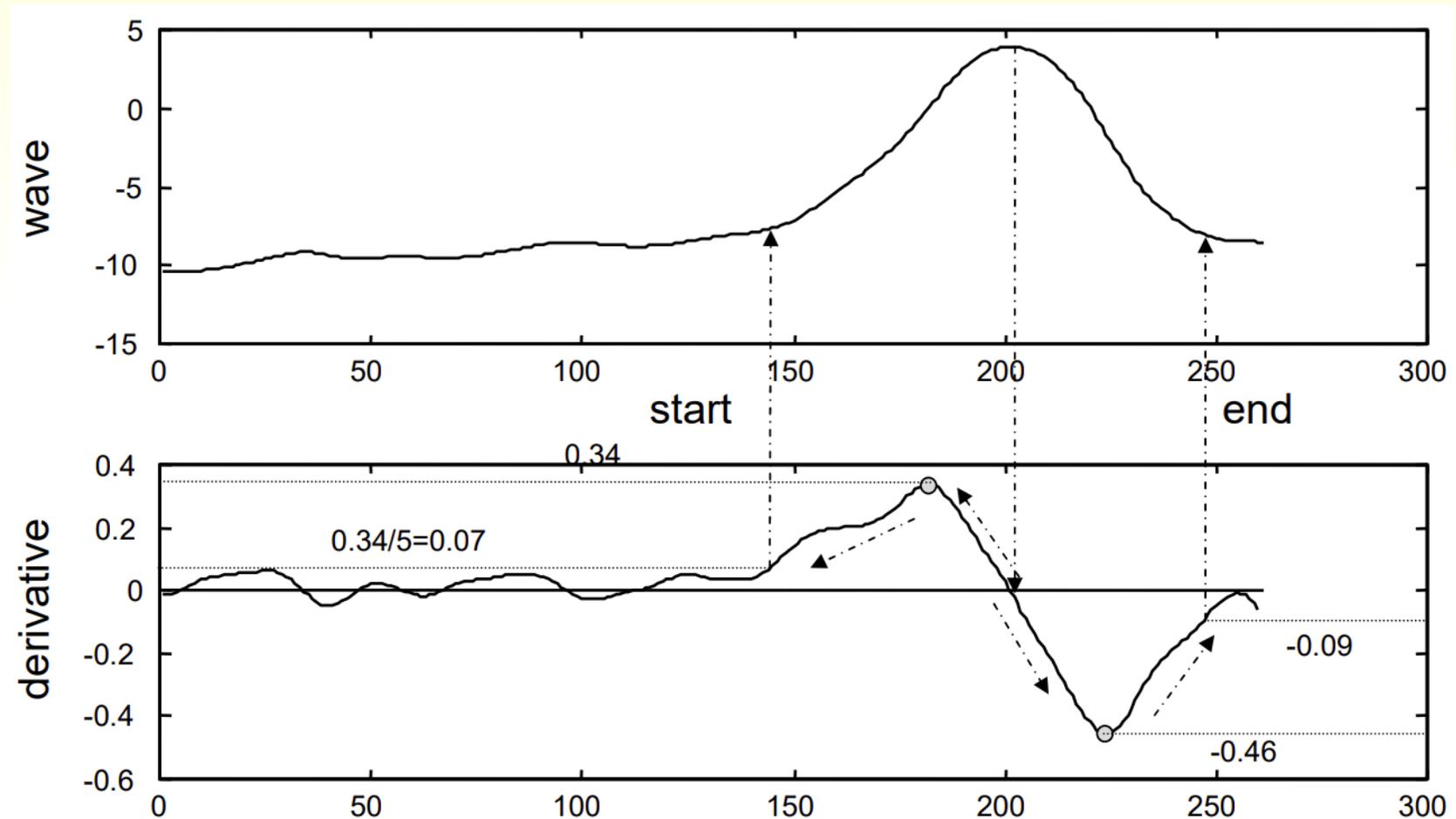
original signal



derivative

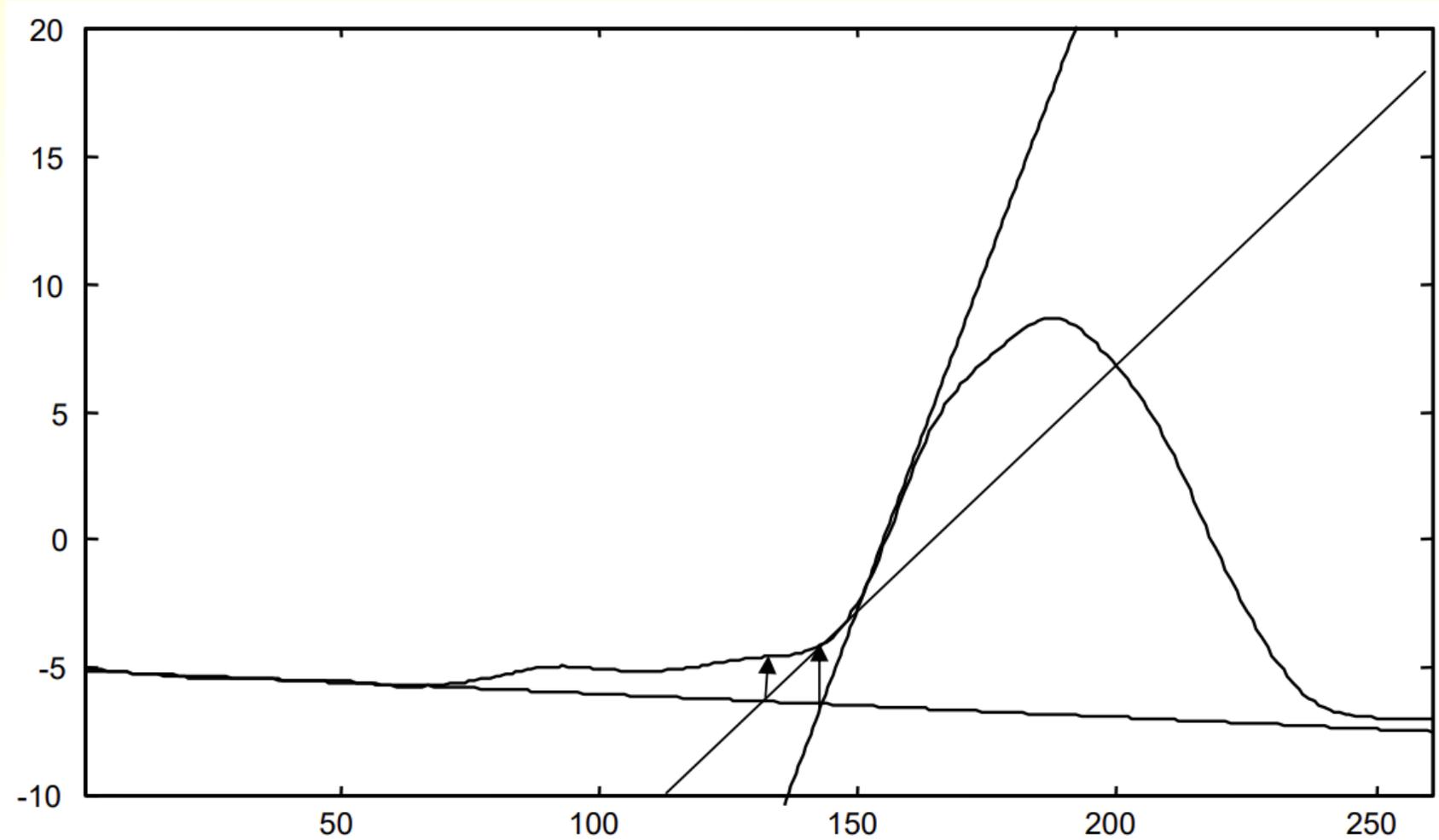
# Detekce počátků

- prahování derivace



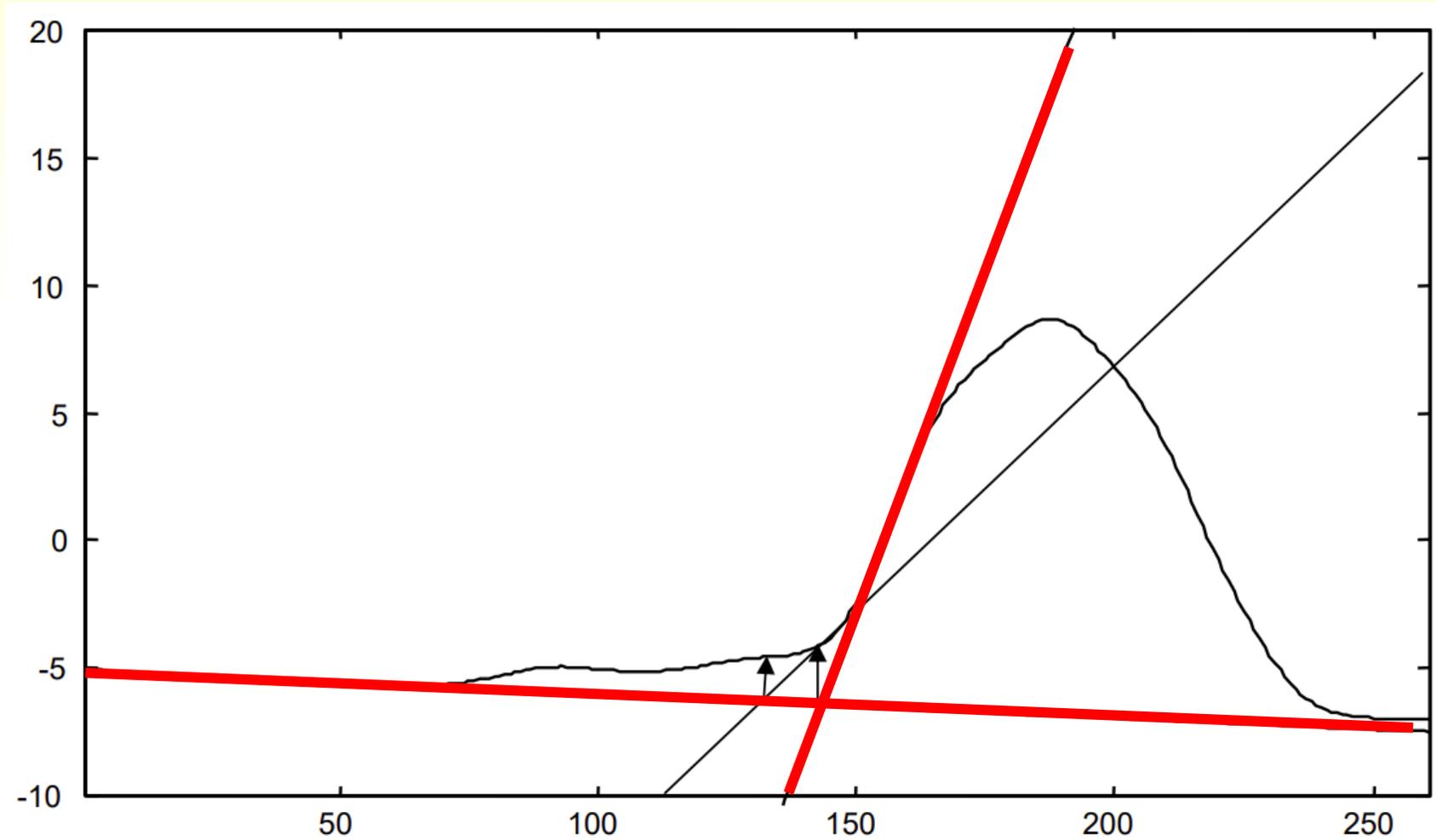
# Detekce počátků

- průsečík přímk



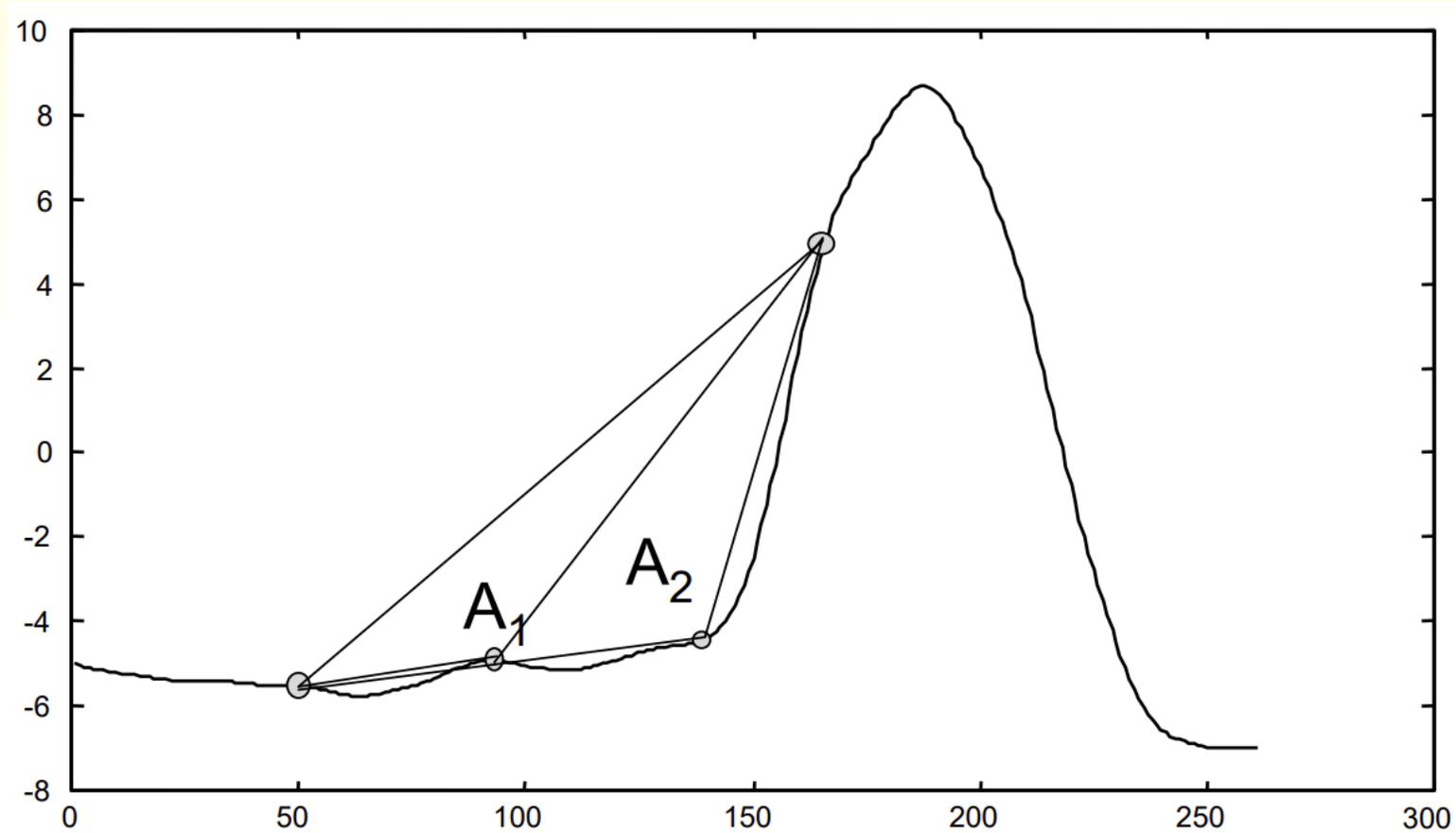
# Detekce počátků

- průsečík přímek



# Detekce počátků

- trojúhelníková metoda

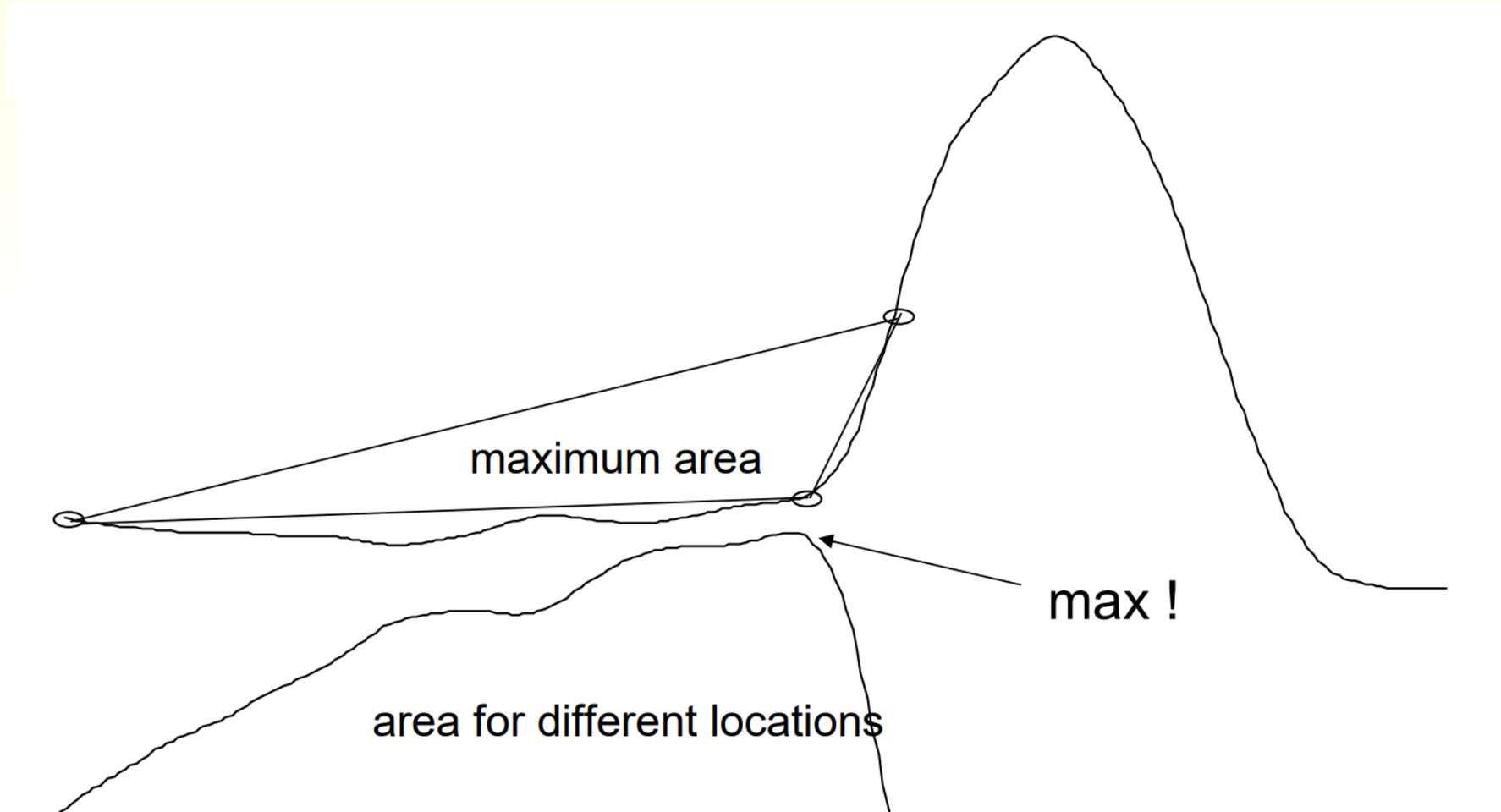


$$A_1 < A_2$$

# Detekce počátků

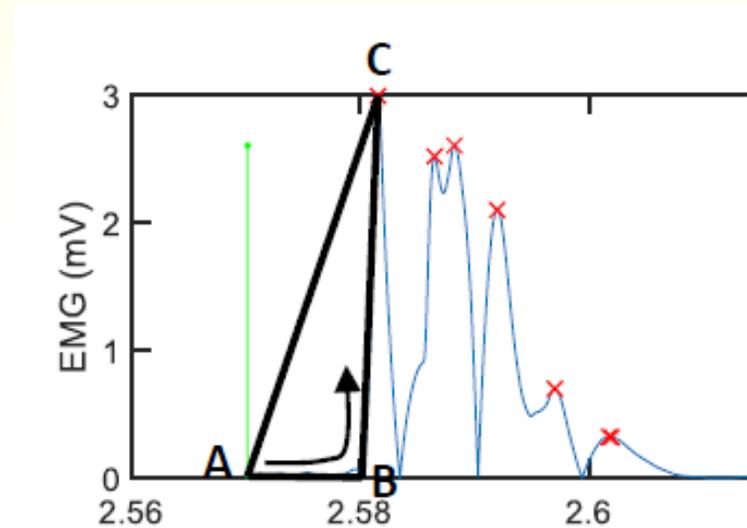
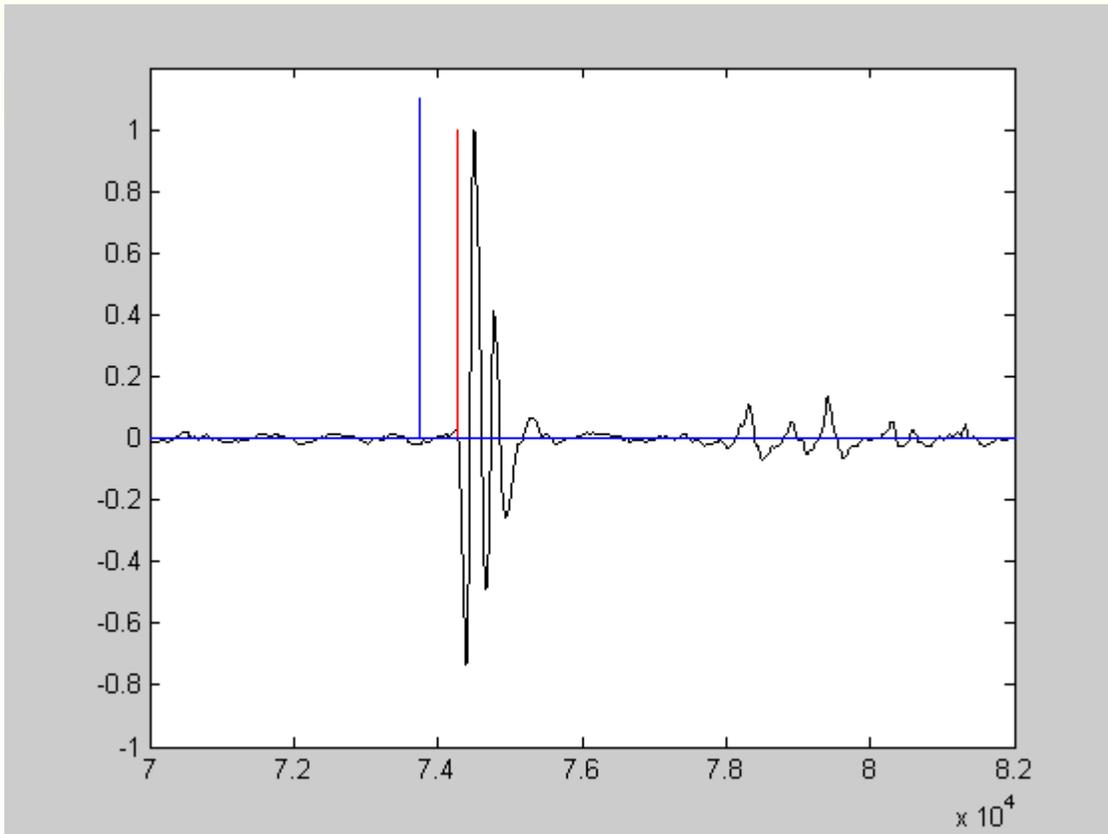
- trojúhelníková metoda

velmi robustní



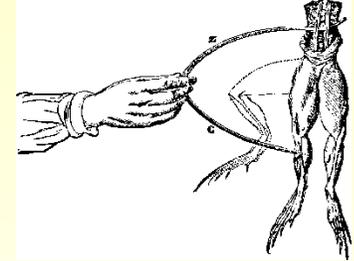
# Detekce počátků

- aplikace trojúhelníkové metody při určení latence
- rychlost vedení vzruchu = dráha [m] / latence [sec]





# 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**

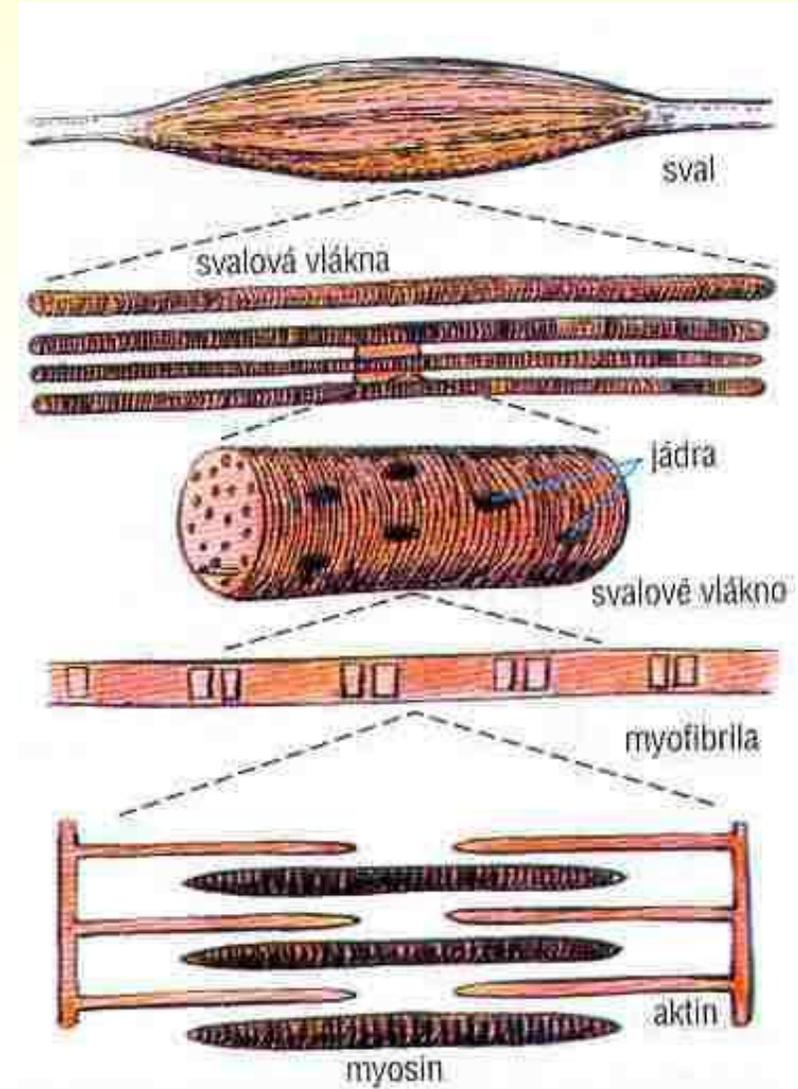
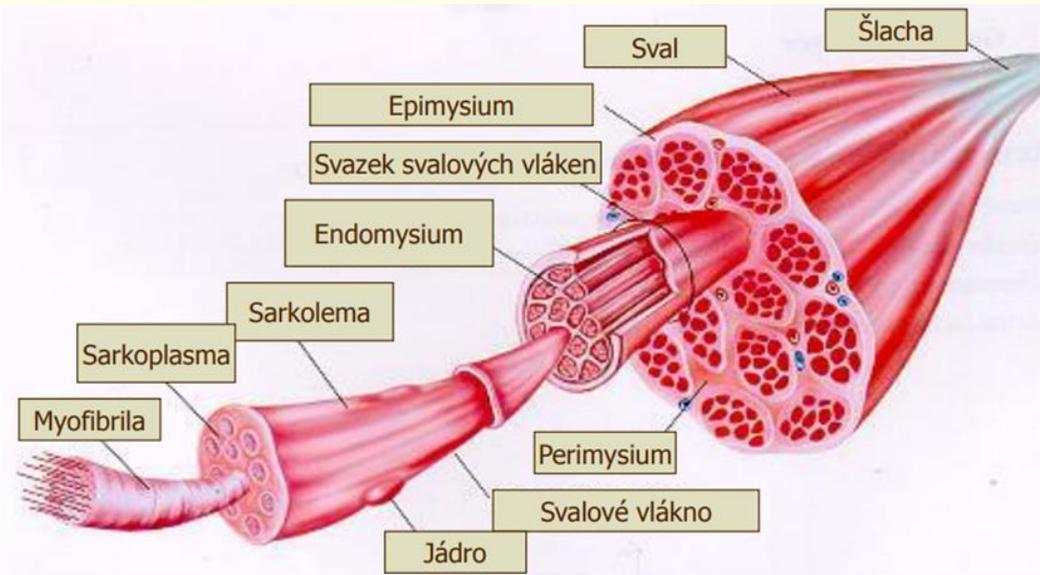
návrhy elektronické protézy ruky

# Svaly

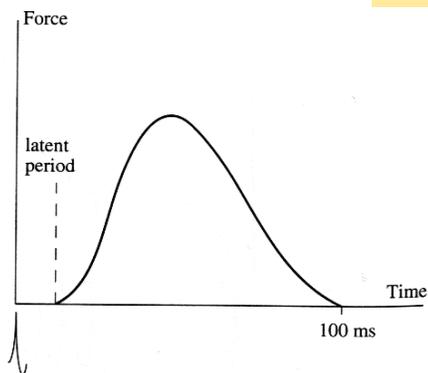
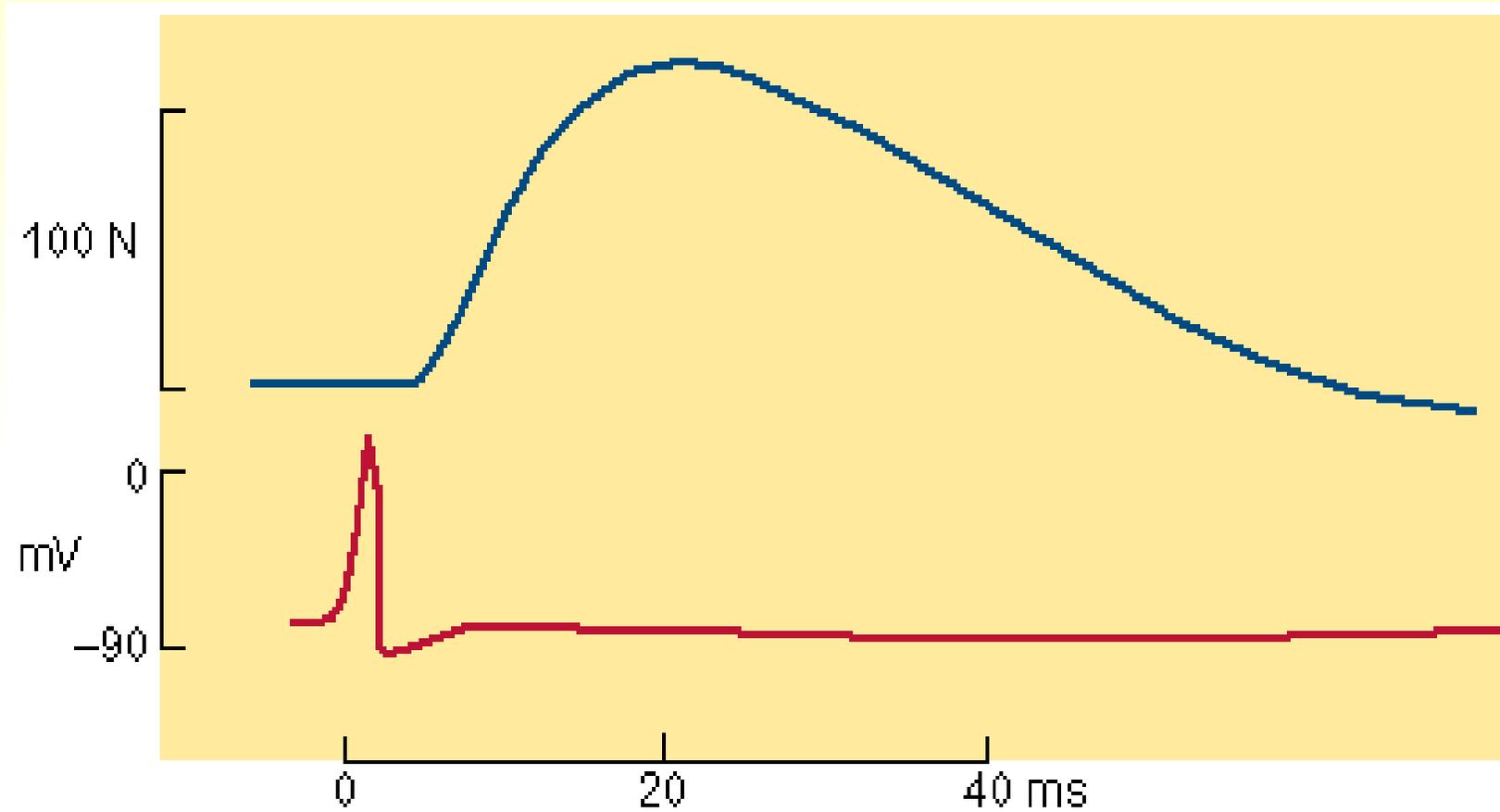


<https://youtu.be/s9eqg3r8YEc>

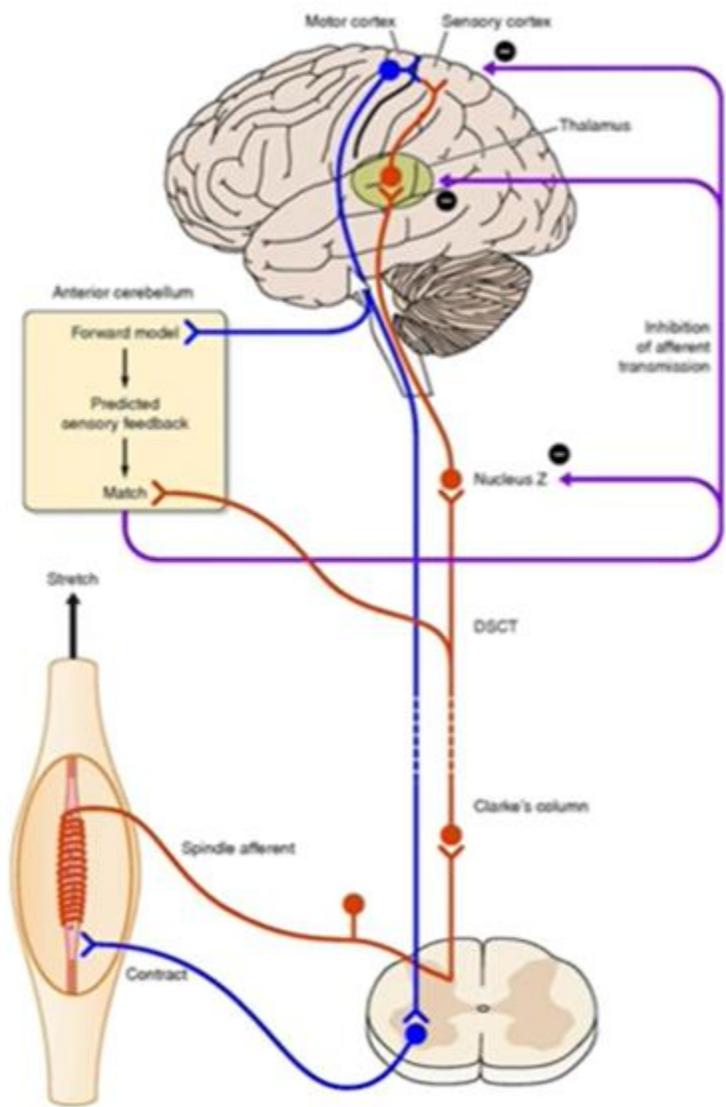
# Struktura kosterního svalu



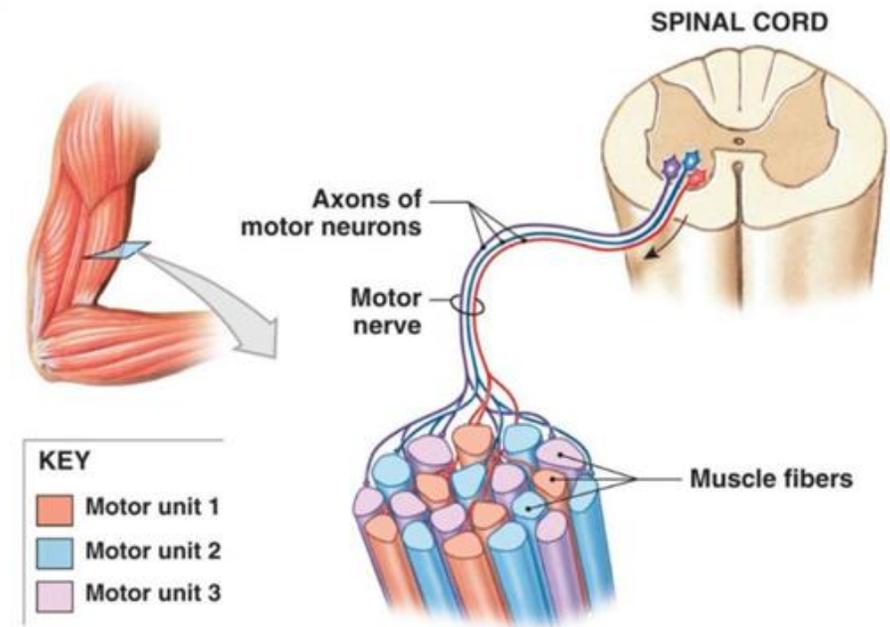
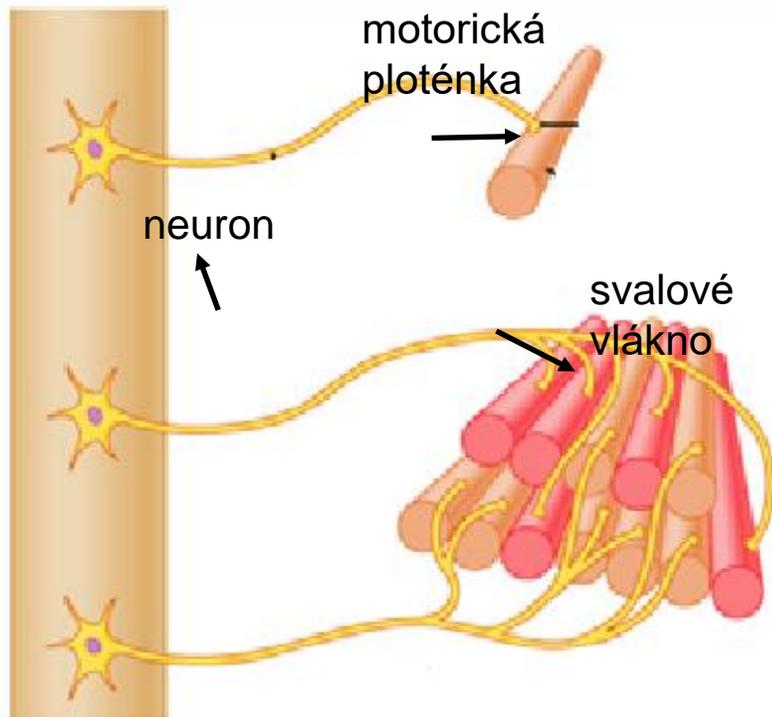
# Sled dějů při svalové kontrakci



# Přenos informace ke svalu

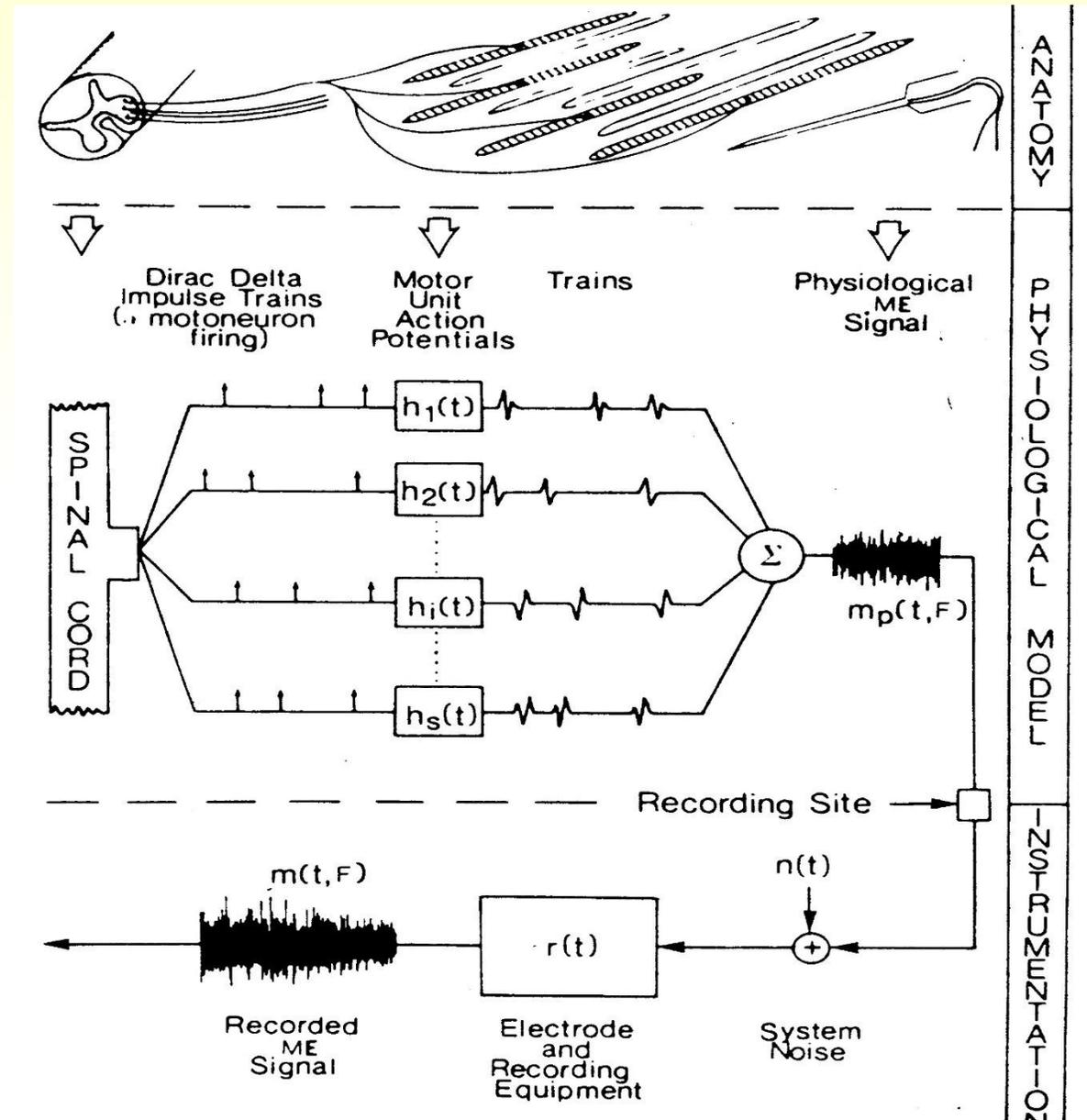


# Motorická jednotka



motorická  
jednotka

# Motorická jednotka a generování EMG

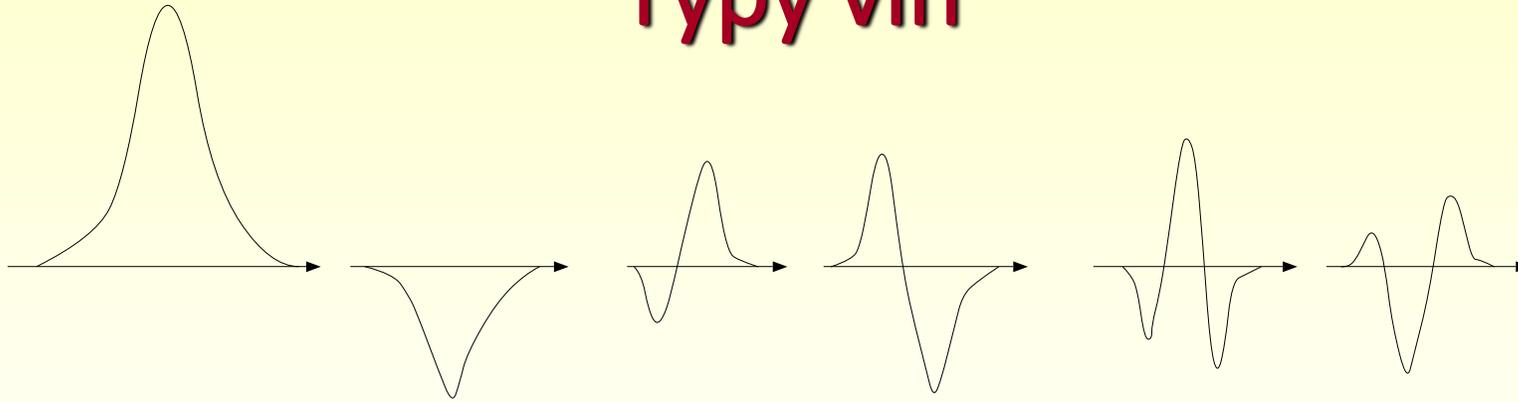


# Velikost motorických jednotek (MU)

sva	celkový počet nervových vláken	celkový počet svalových vláken	počet MU	počet svalových vláken v MU
Platysma (sva v podkoží krku)	1826	27100	1096	~25
Svaly na ruce (ukazováček)	199	40500	119	~340
Svaly dolních končetin (lýtko)	965	1120000	579	~1934



# Typy vln

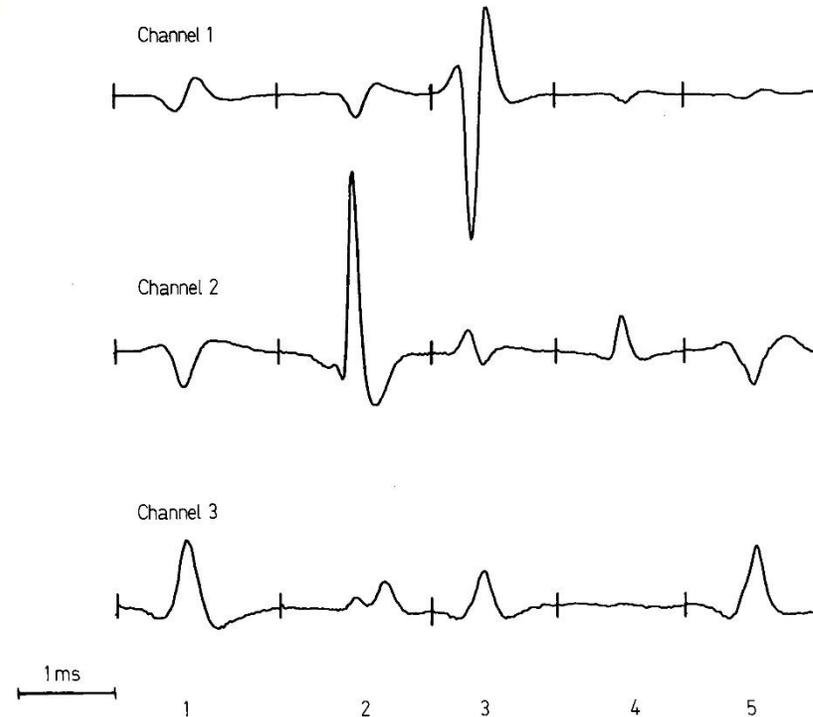


Monofázické vlny

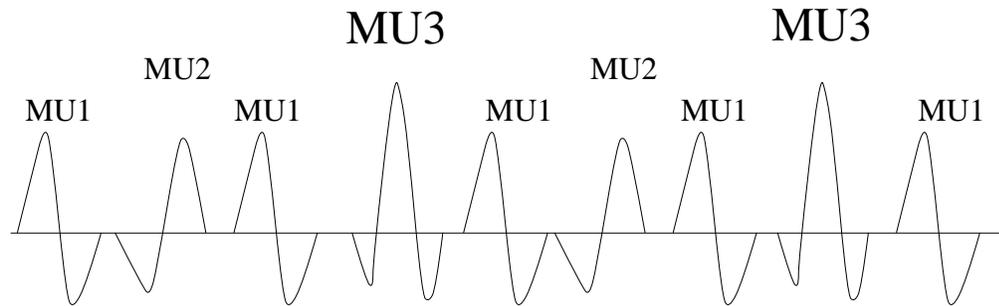
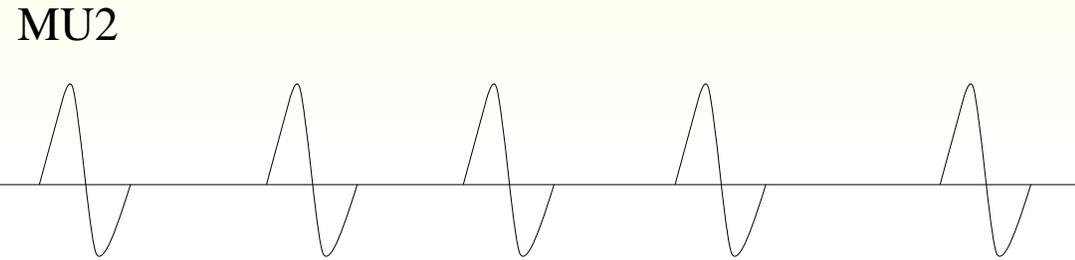
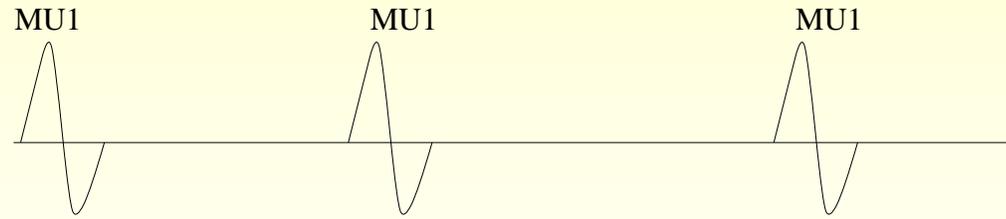
Bifázické vlny

Trifázické vlny

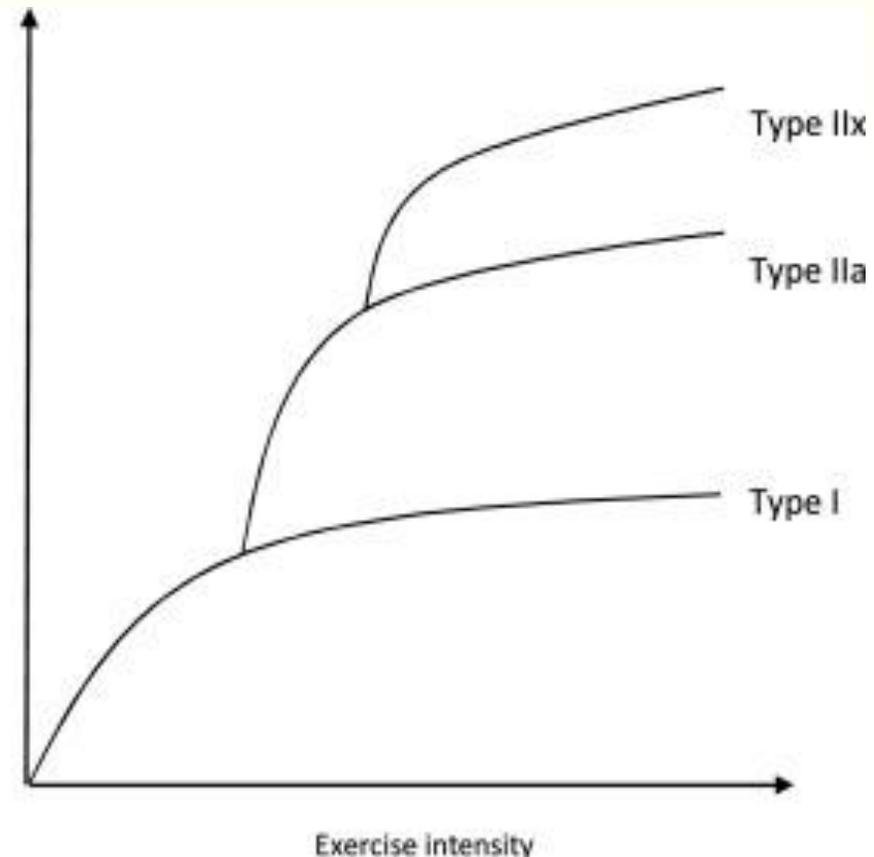
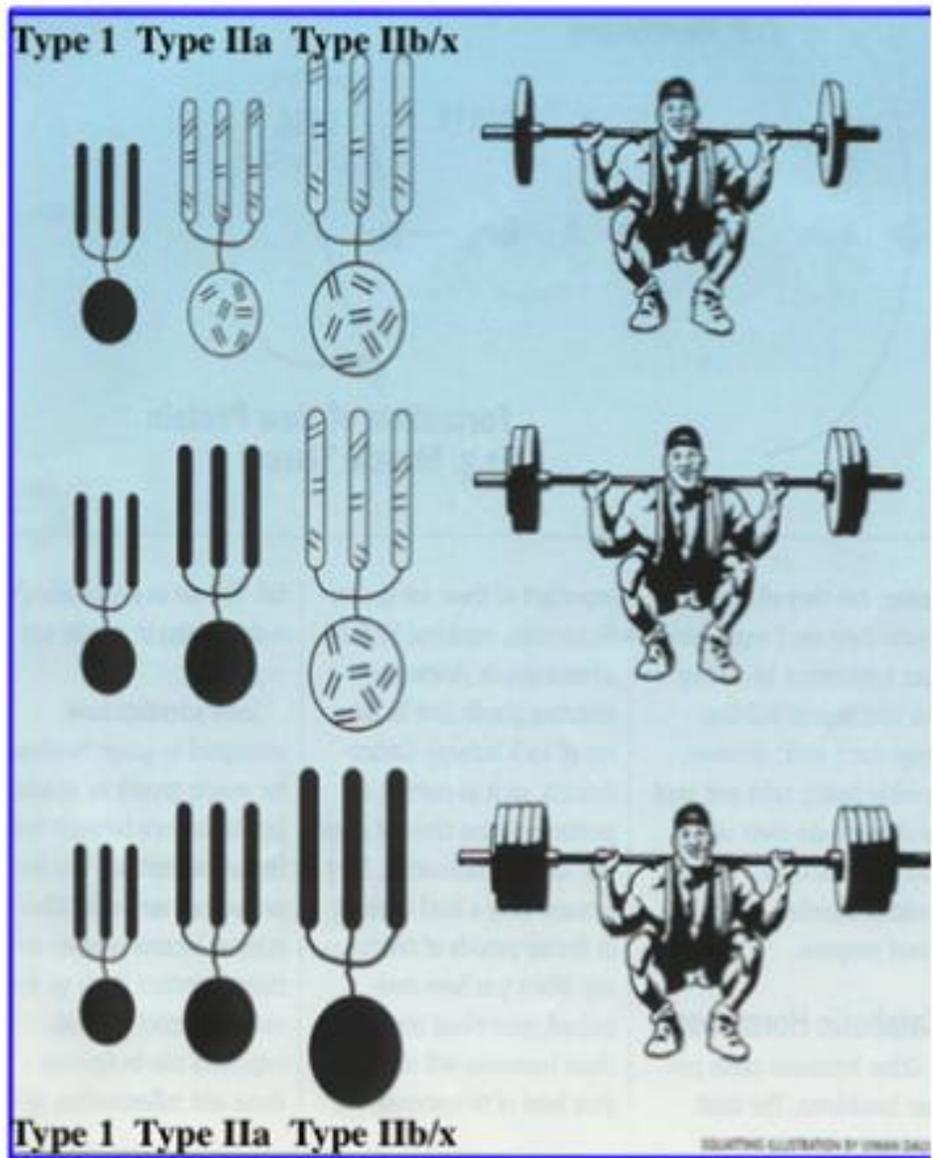
## Akční potenciály normálních MU



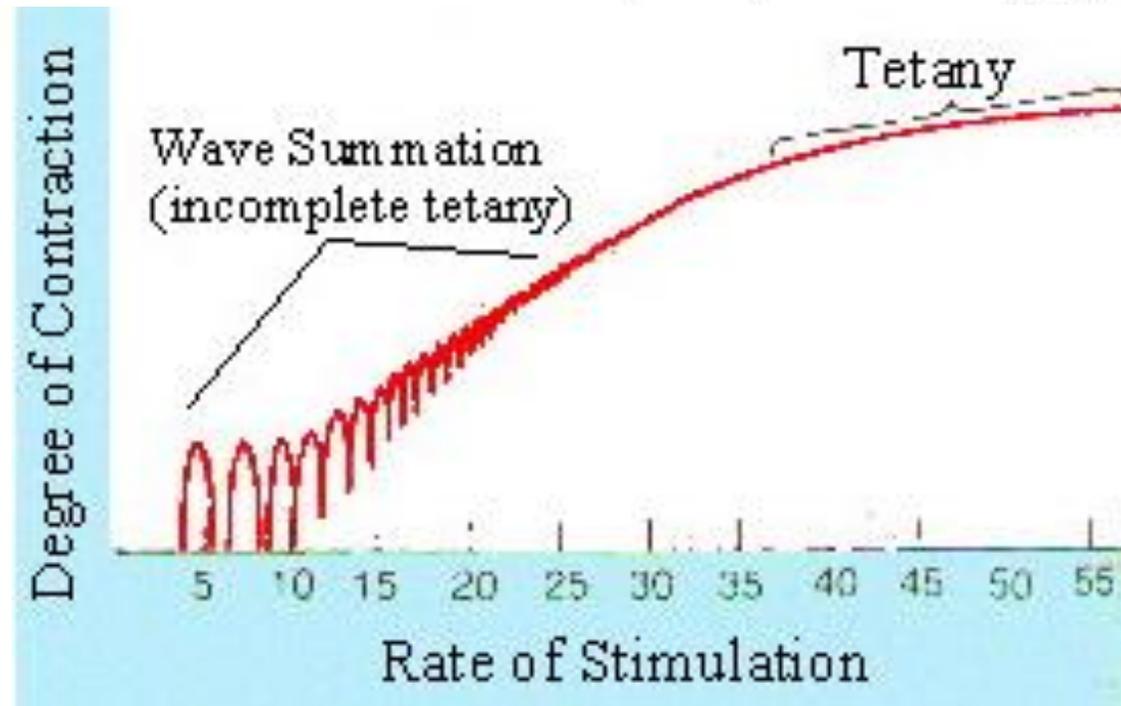
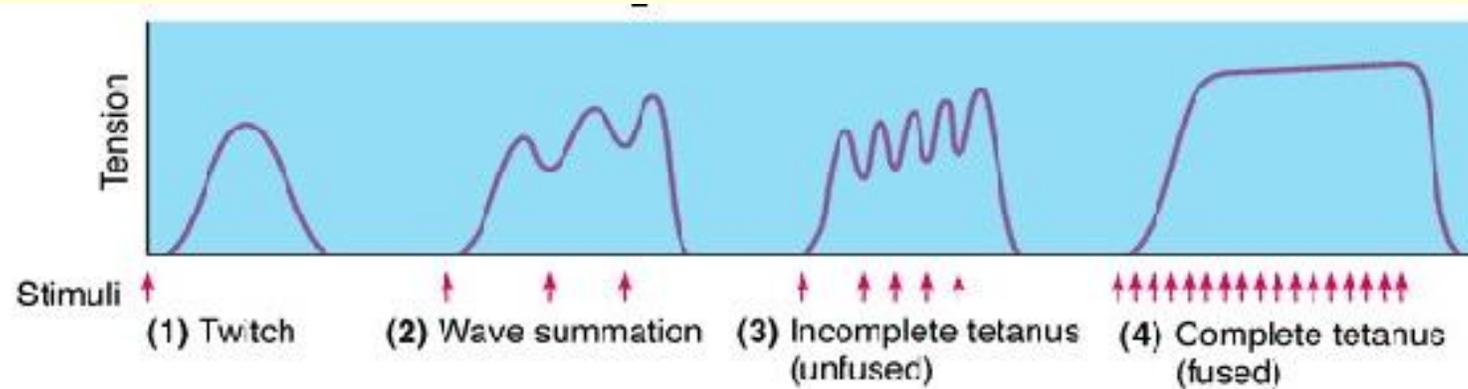
# Nábor motorických jednotek



# Zapojování svalů

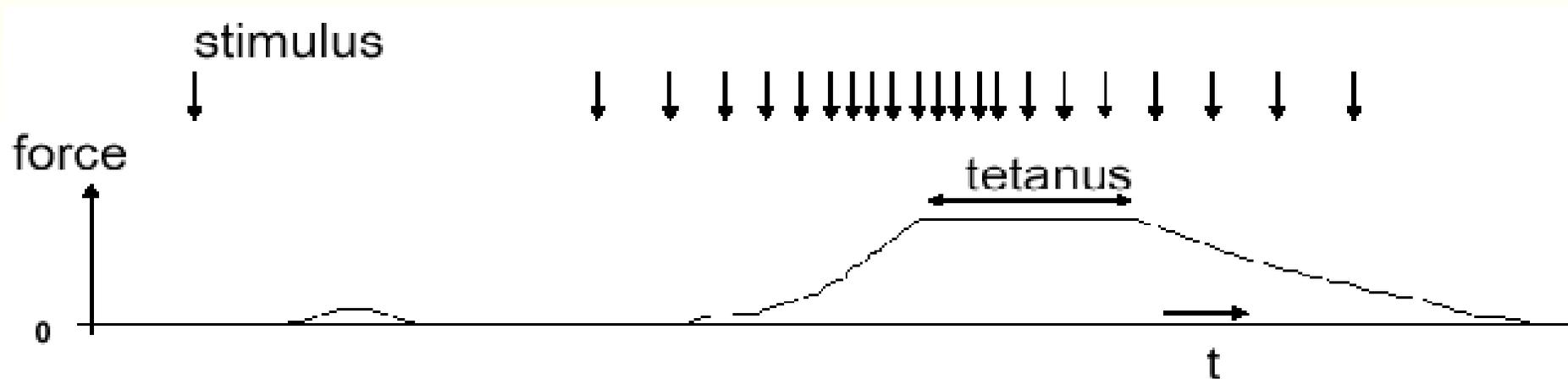


# Závislost síly svalu na stimulační frekvenci



# Závislost síly svalu na stimulační frekvenci

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



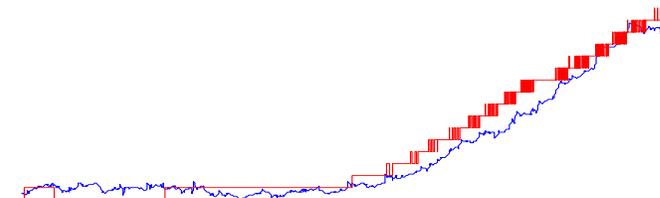
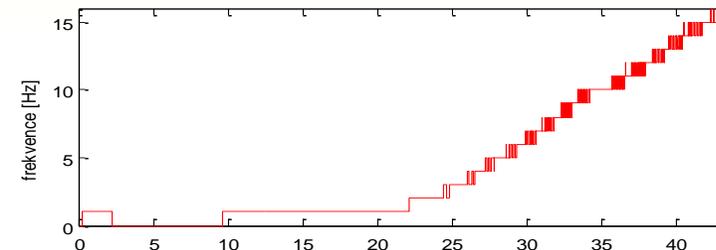
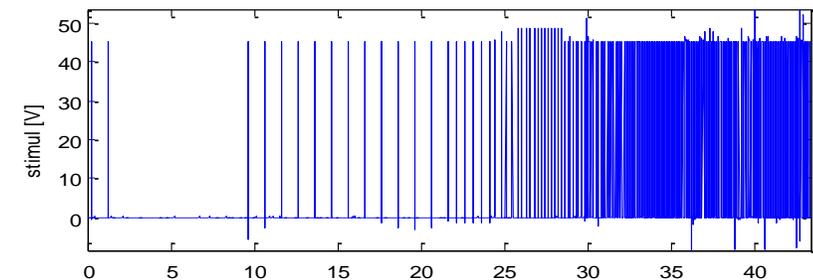
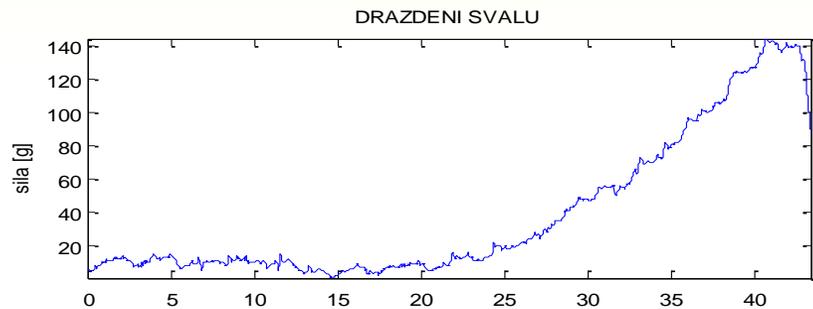
- frekvenční modulace
- stejná svalová síla může vznikat zapojením menších motorických jednotek na vyšších frekvencích nebo větších motorických jednotek na frekvencích nižších

# Závislost síly svalu na stimulační frekvenci

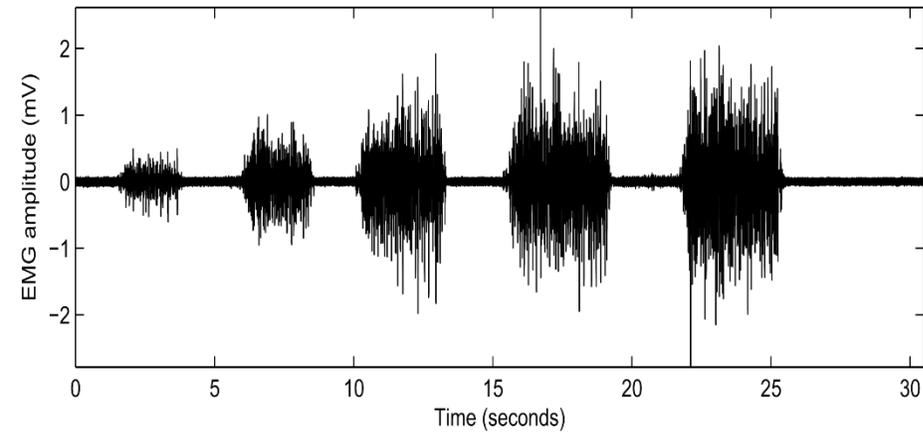
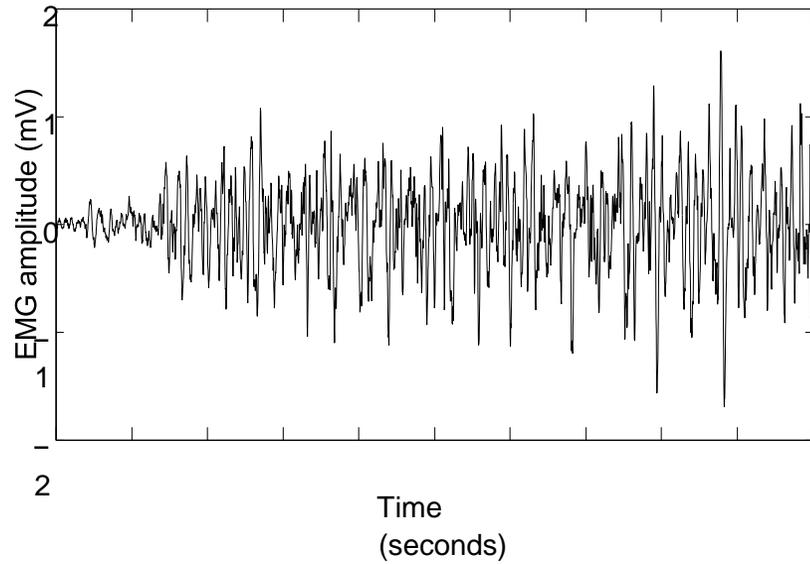
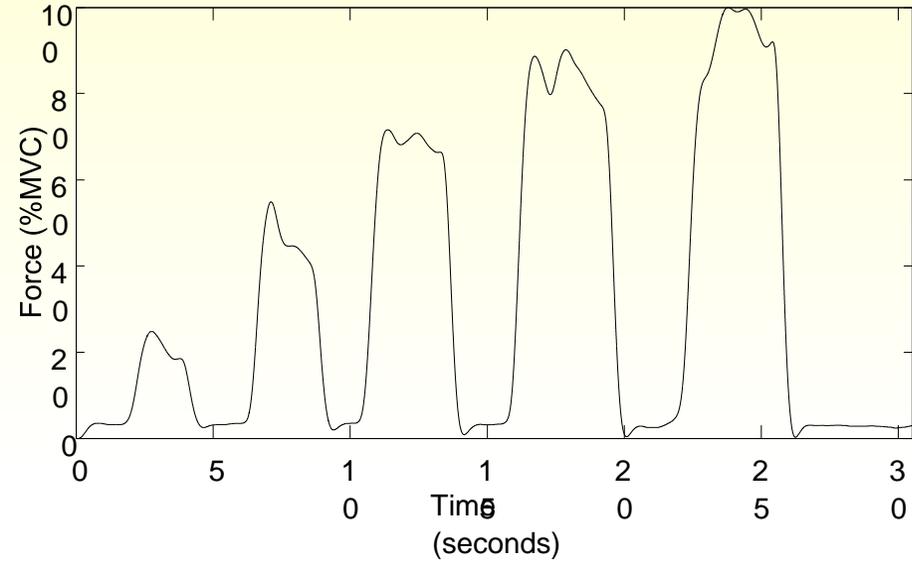
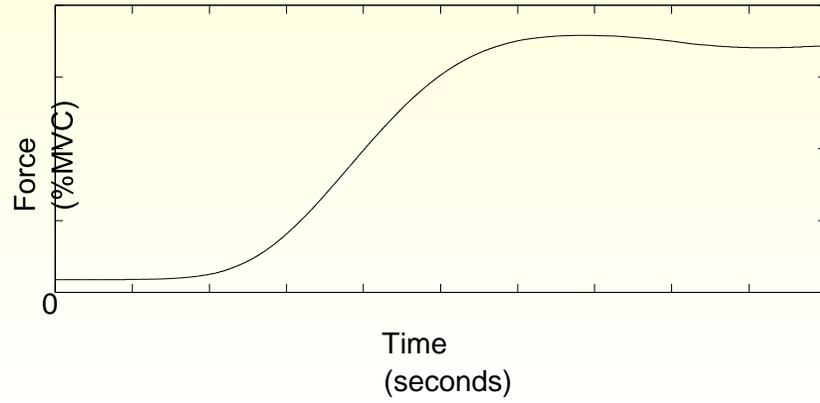


```
x = load('sval01L.txt');  
fs = 1000;
```

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



# EMG signál a síla kontrakce



# Typy elektrod

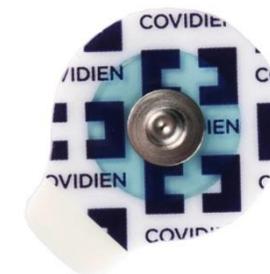
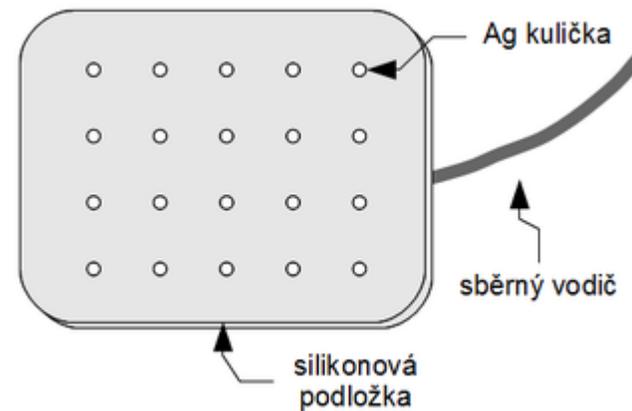
- **Povrchové elektrody**  
(snímají sumaci signálů v prostoru pod elektrodou)



Bagnoli - povrchové



Nihon-Kohden  
Povrchové, diskové





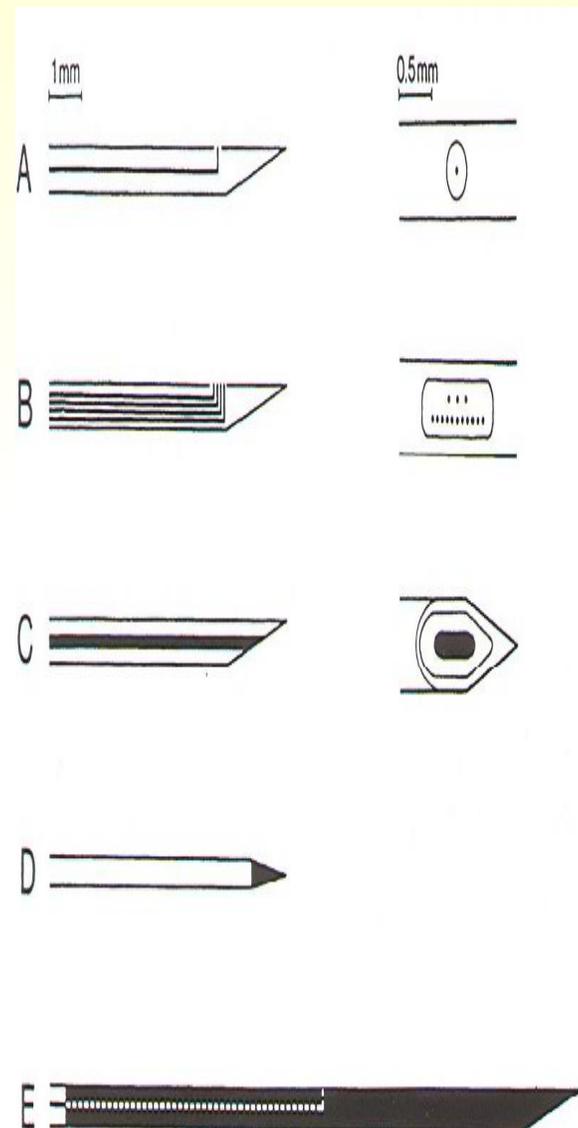
# Typy elektrod

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

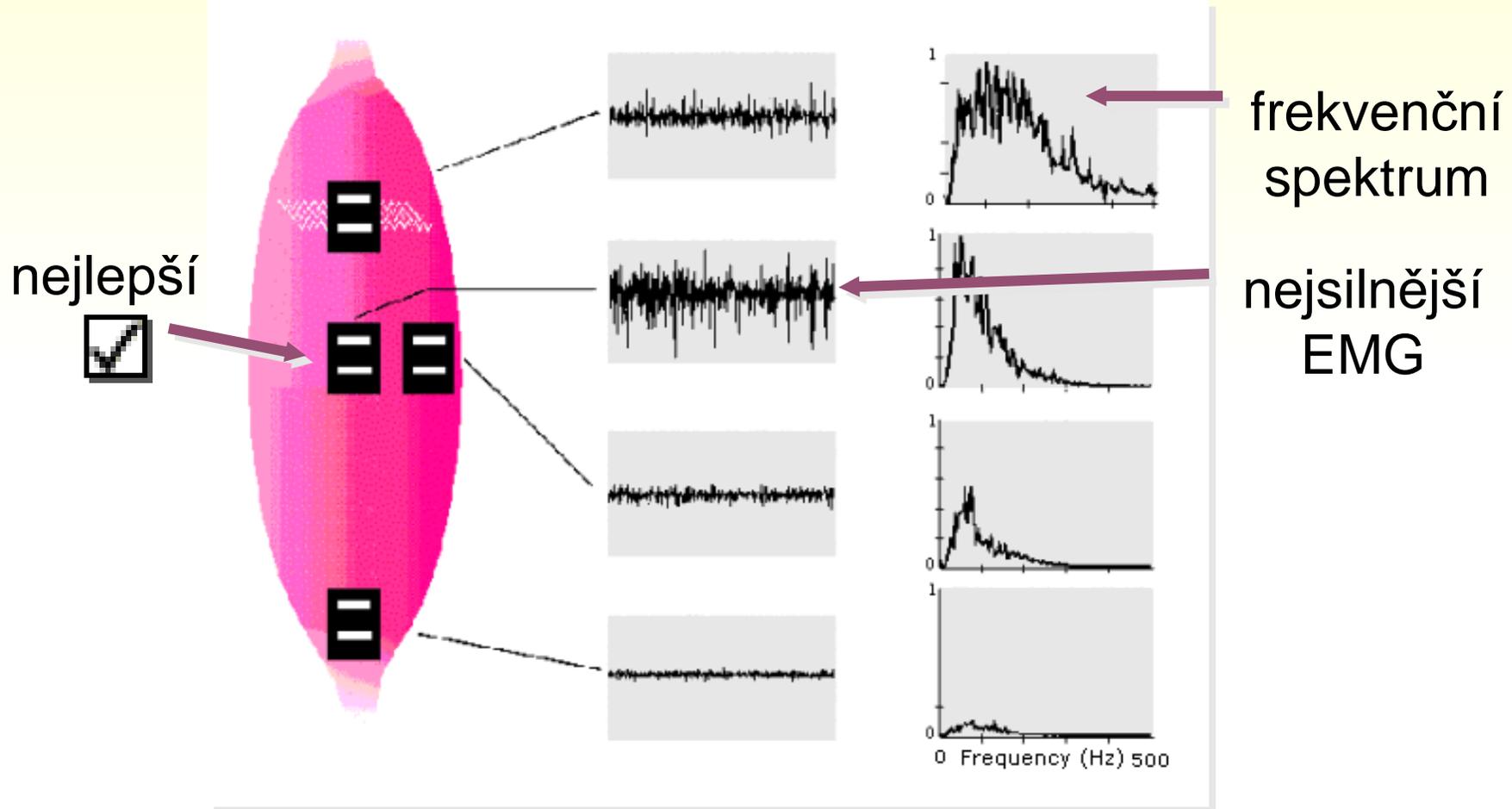


Nihon-Kohden  
jehlové

Nihon-Kohden  
koncentrické



# Umístění povrchové elektrody



# Elektromyografie

<https://www.youtube.com/watch?v=59Bixyvt5g8>

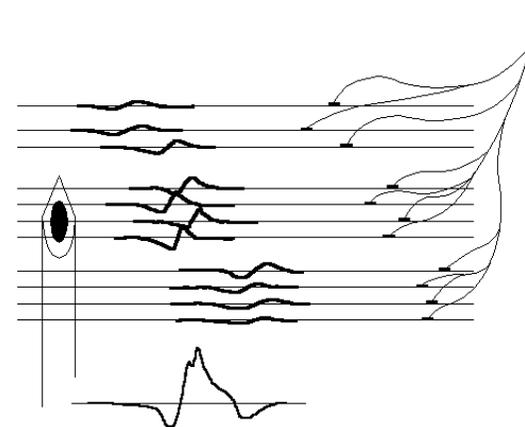
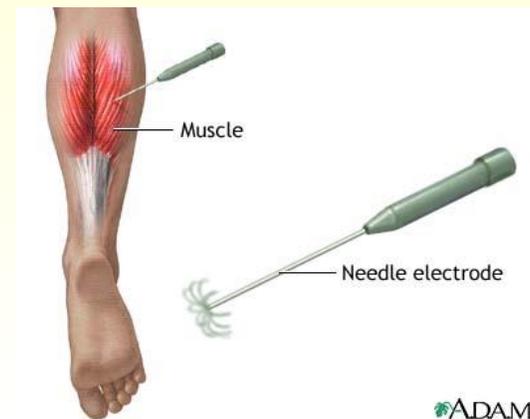


## • aplikace

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

# Jehlová EMG (Nativní EMG)

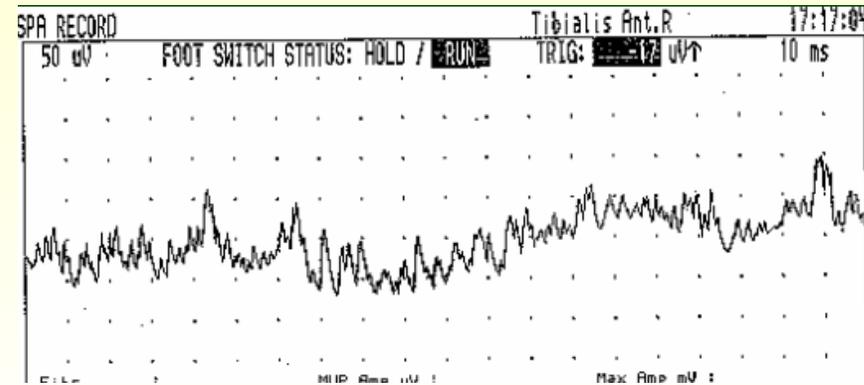
- snímání při úplném uvolnění svalu
- tenká jehla do svalu
- minimálním riziko krvácení
- změnou polohy jehly ve svalu je vyhledávána optimální pozice pro záznam akčních potenciálů motorických jednotek
- porovnání parametrů akčních potenciálů motorických jednotek (např. trvání, amplituda, počet fází)



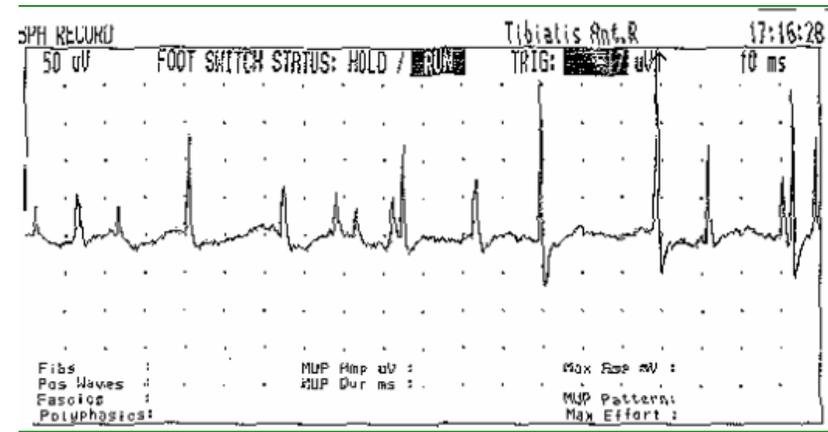
# „Normální“ EMG aktivita

## Klidová spontánní aktivita

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



ploténkový šum

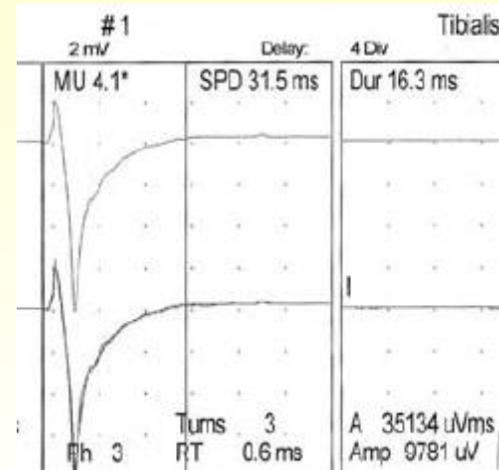
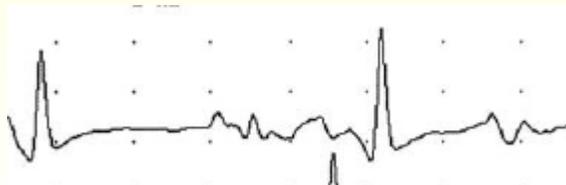


ploténkové hroty

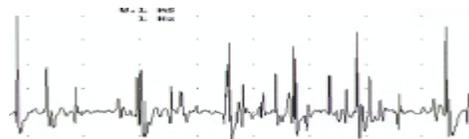
# „Normální“ EMG aktivita

## Volní aktivita

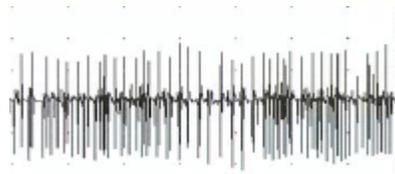
- Nábor a analýza motorických jednotek



- Interferenční vzorec



Minimální kontrakce

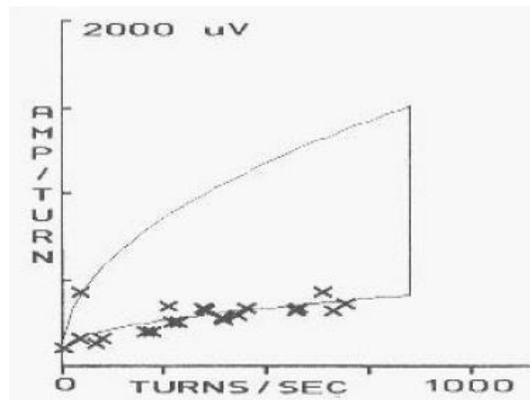


Střední kontrakce 30-40%

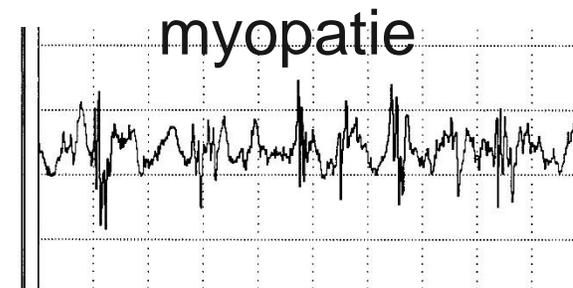
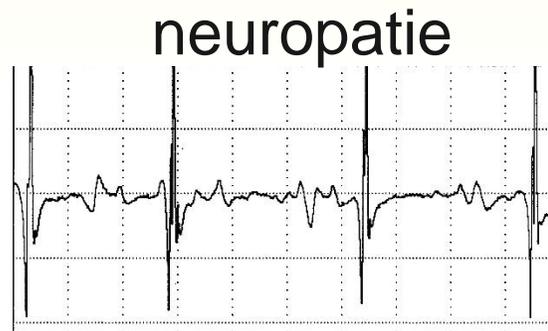
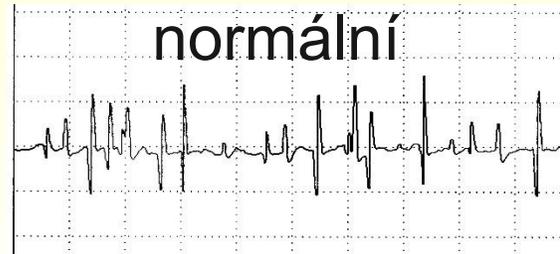


Maximální kontrakce

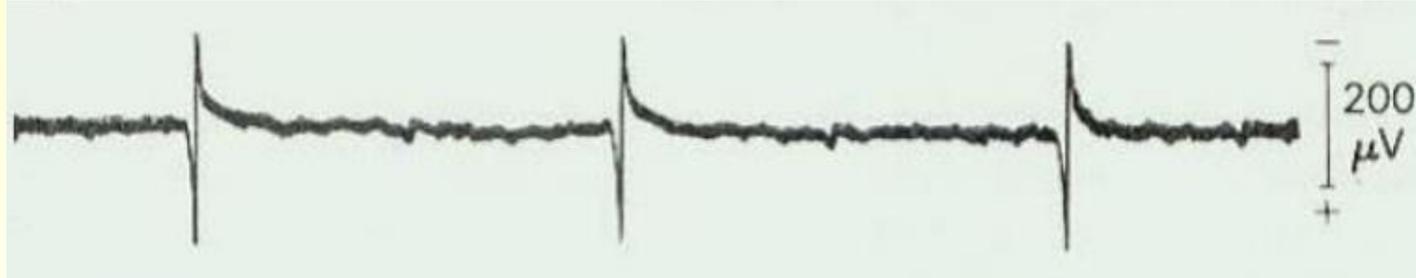
- Willisonova analýza



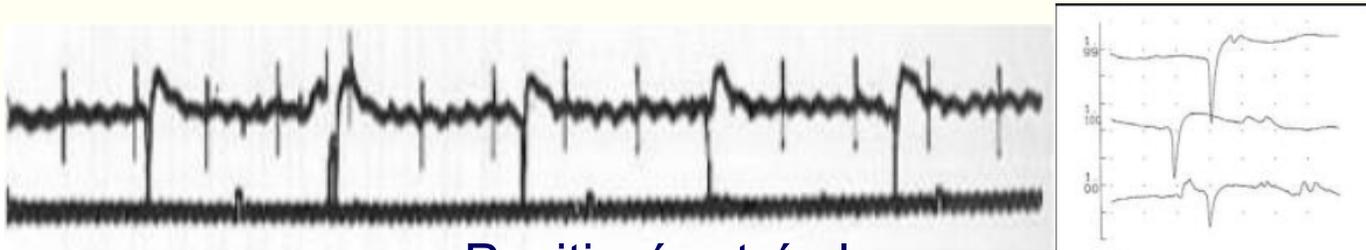
# Vliv onemocnění na akční potenciály motorických jednotek



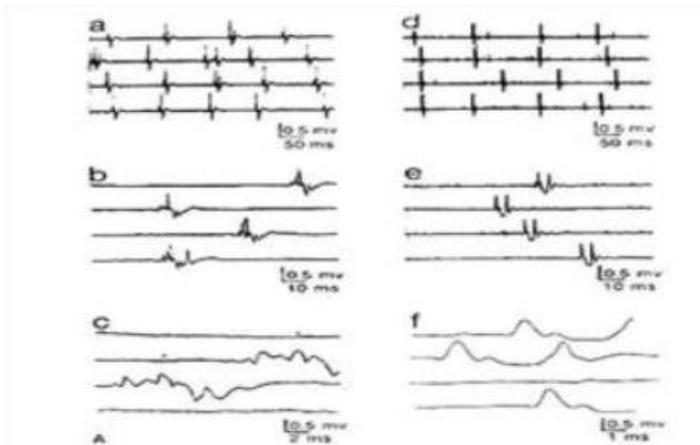
# „Abnormální“ EMG aktivita



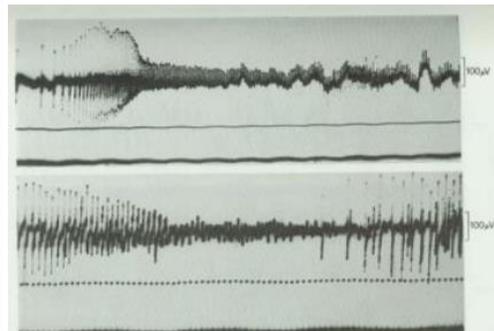
Fibrilační potenciály denervovaného svalu



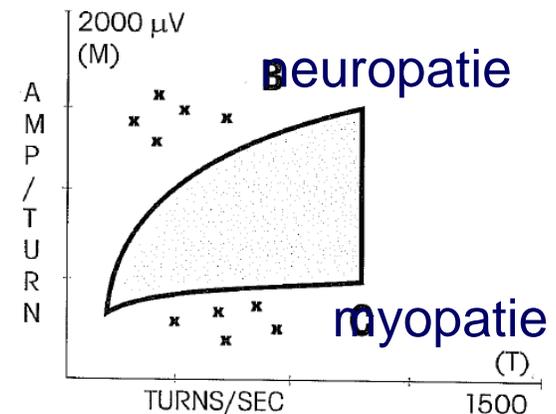
Positivní ostré vlny



Fascikulační potenciály



Myotonické výboje

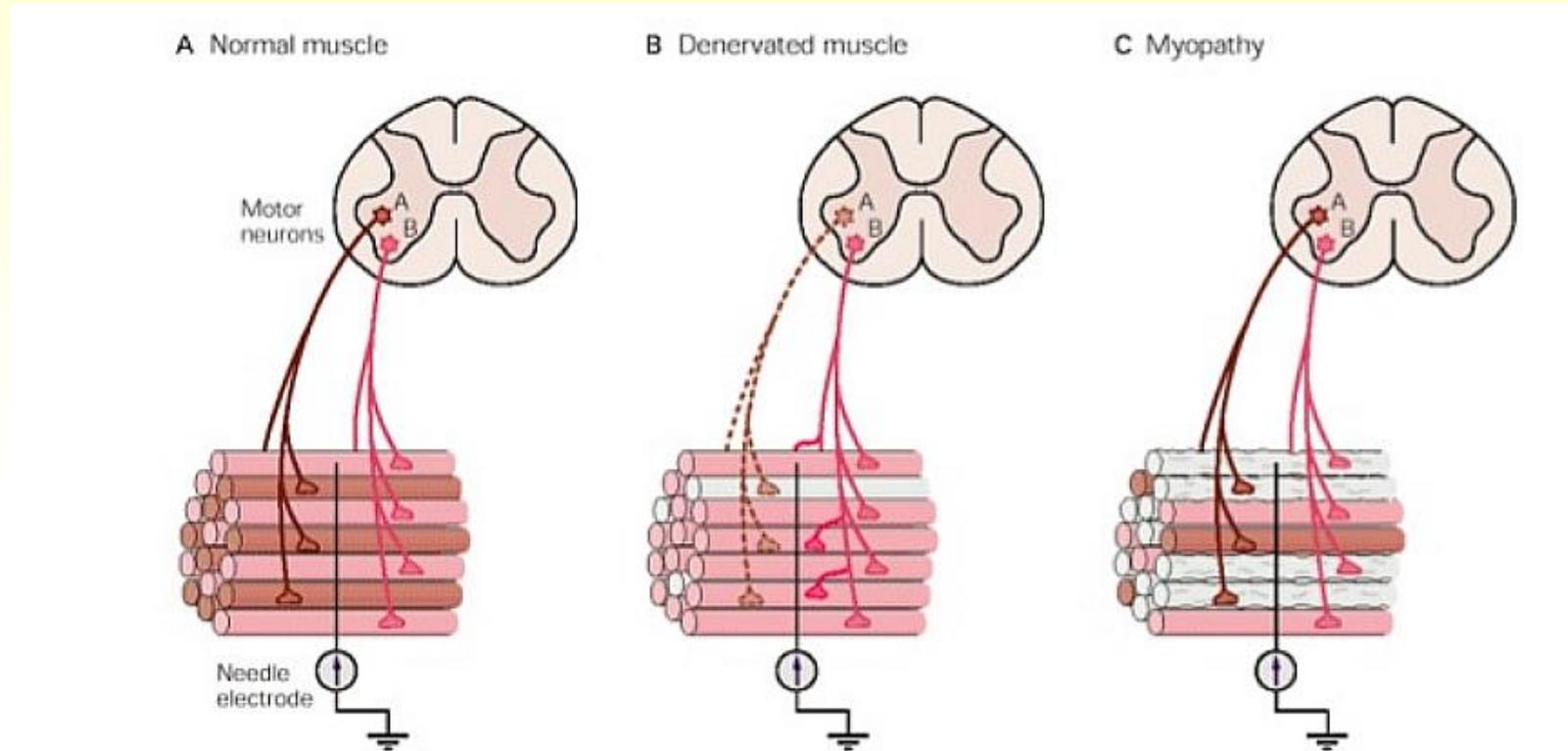




# Jehlová EMG – „audiomyogram“

potenciál	příčina	charakter zvuku	frekvence	
ploténkový šum	MEPP	mušle	20-40 Hz	Neprav.
ploténkový potenciál	terminální větvení axonu	prskající tuk na pánvi	5-50 Hz	Neprav.
fibrilace	denervované svalové vlákno	děšť na střeše nebo tikot hodin	0.5-10 Hz	Pravidelné
pozitivní ostrá vlna	denervované svalové vlákno	děšť 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



## EMG záznam

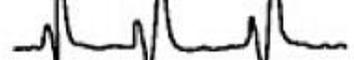
I.

Rest



II.

Slight contraction



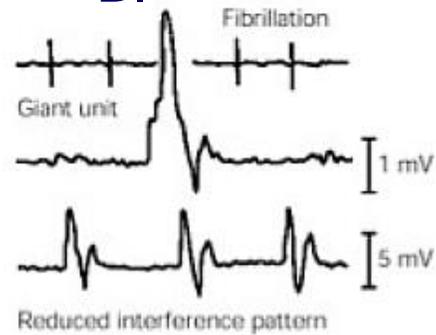
III.

Maximal contraction

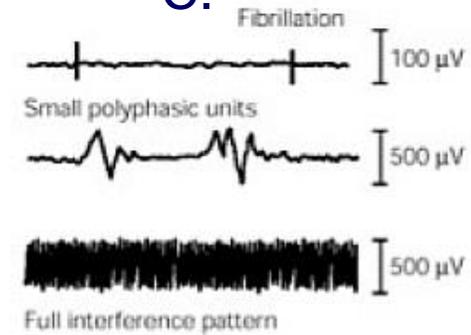


A.

B.



C.



# 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

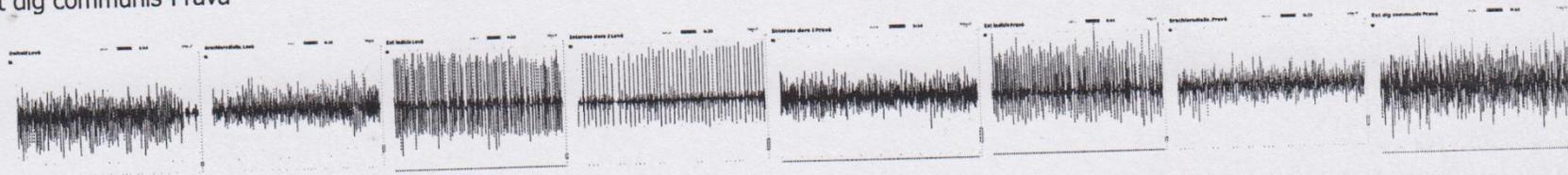
# EMG vyšetření

## Jehlová EMG

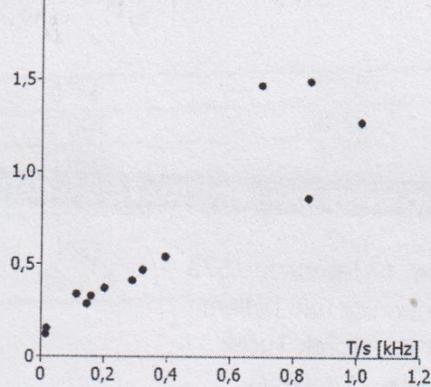
Deltoid-Levá  
Brachioradialis.-Levá  
Ext indicis-Levá  
Inteross dors I-Levá  
Inteross dors I-Pravá  
Ext indicis-Pravá  
Brachioradialis.-Pravá  
Ext dig communis-Pravá

## Poznámky

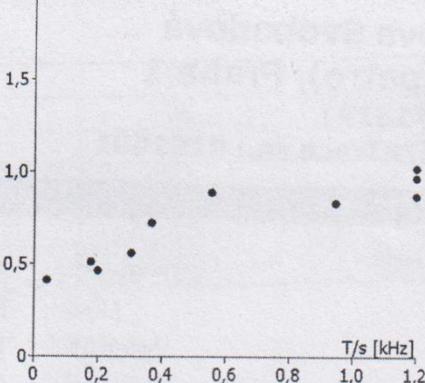
--IP 5/5, Fib 0, PSW 0, AMP N, Dur N, Willson v normě  
--IP 5/5, Fib 0, PSW 0, AMP N, Dur N, Willson v normě  
--IP 3-4/5, Fib 0, PSW 0, AMP +2, FFR + Dur N, Willson neurogenní  
--IP 3-4/5, Fib 0, PSW 0, AMP +2, FFR + Dur N, Willson neurogenní  
--IP 5/5, Fib 0, PSW 0, AMP N, Dur N, Willson v normě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



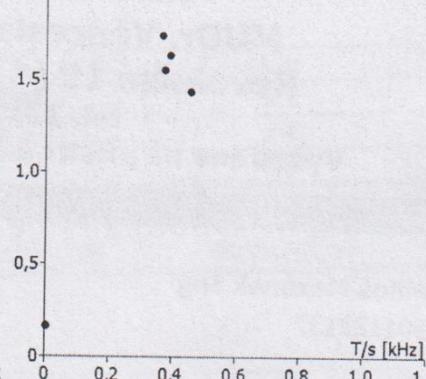
Deltoid Levá  
2,0 [mVpp]



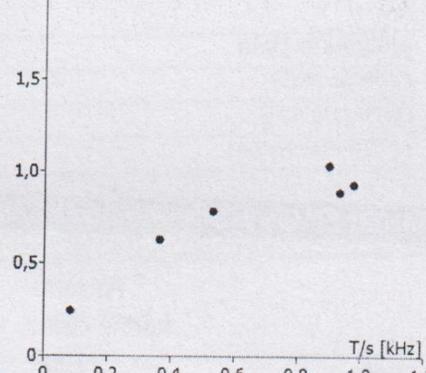
Brachioradialis. Levá  
2,0 [mVpp]



Inteross dors I Levá  
2,0 [mVpp]

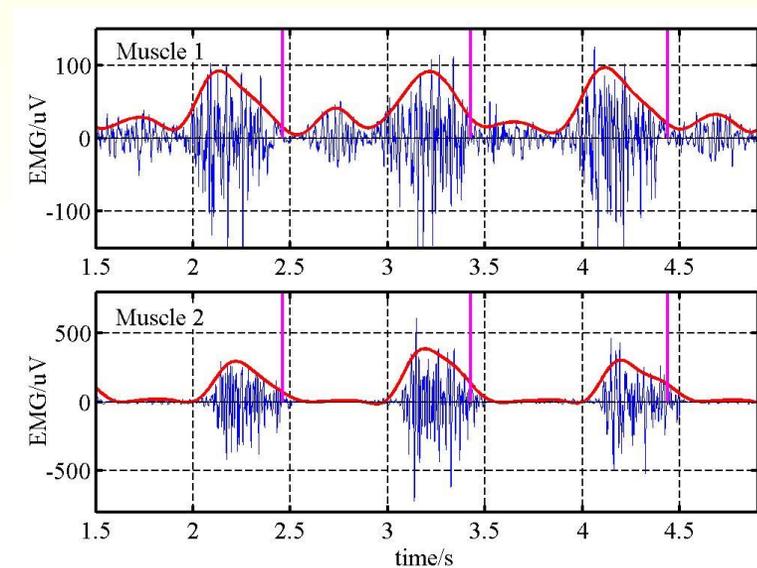


Brachioradialis. Pravá  
2,0 [mVpp]



**Závěr: EMG nález svědčí pro středně těžkou chronickou radikulopatii 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

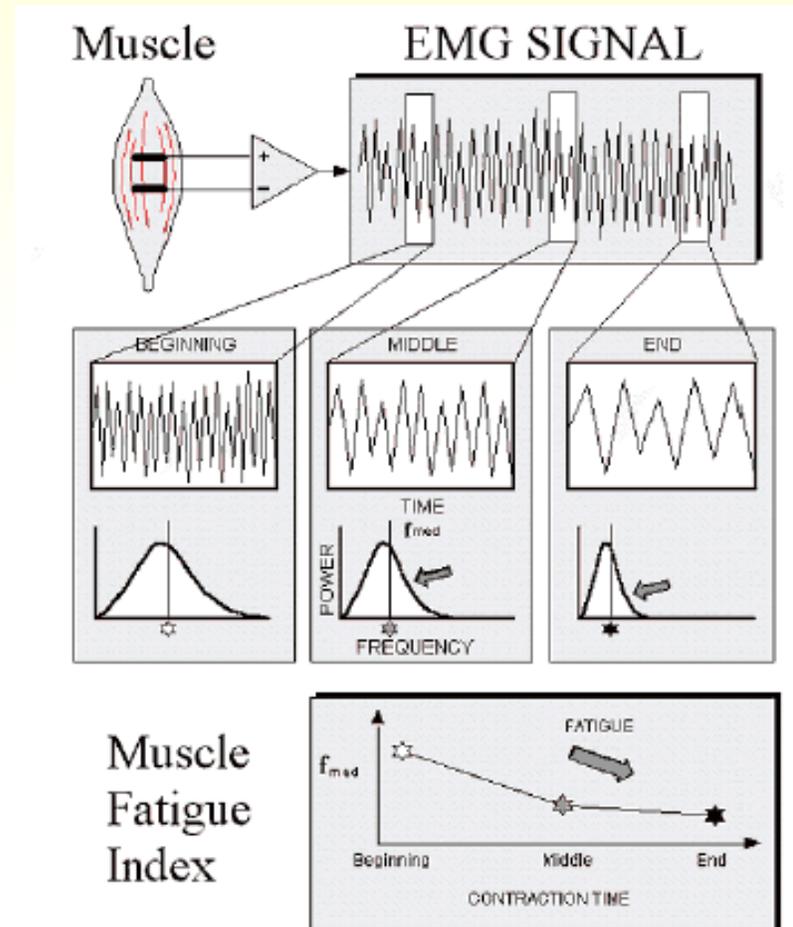


detail dvou kanálů EMG s obálkou a vyznačenou segmentací na pohybové cykly

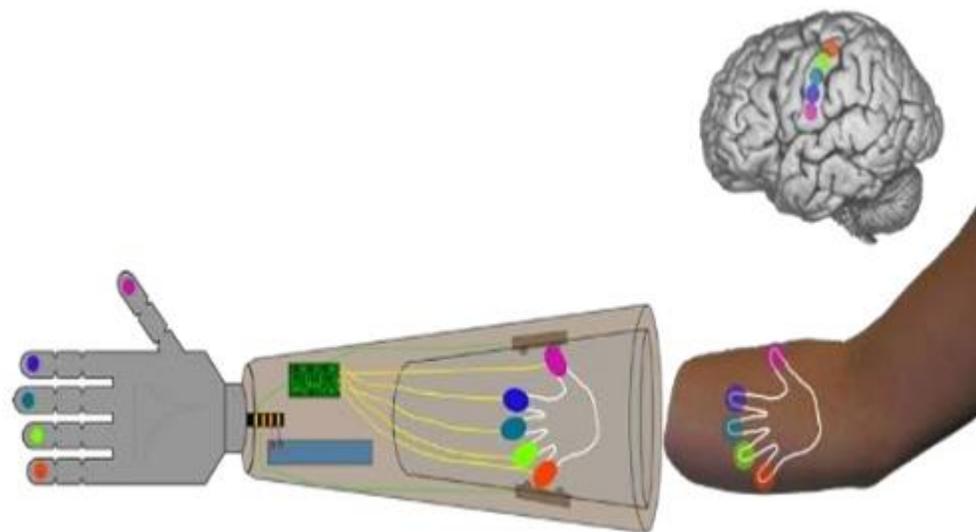
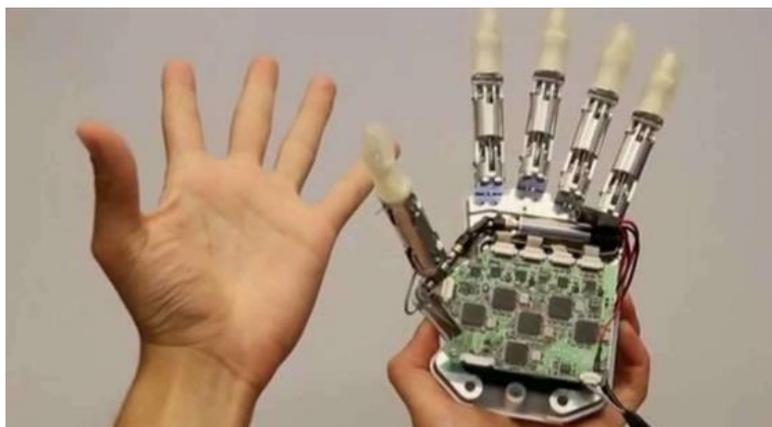
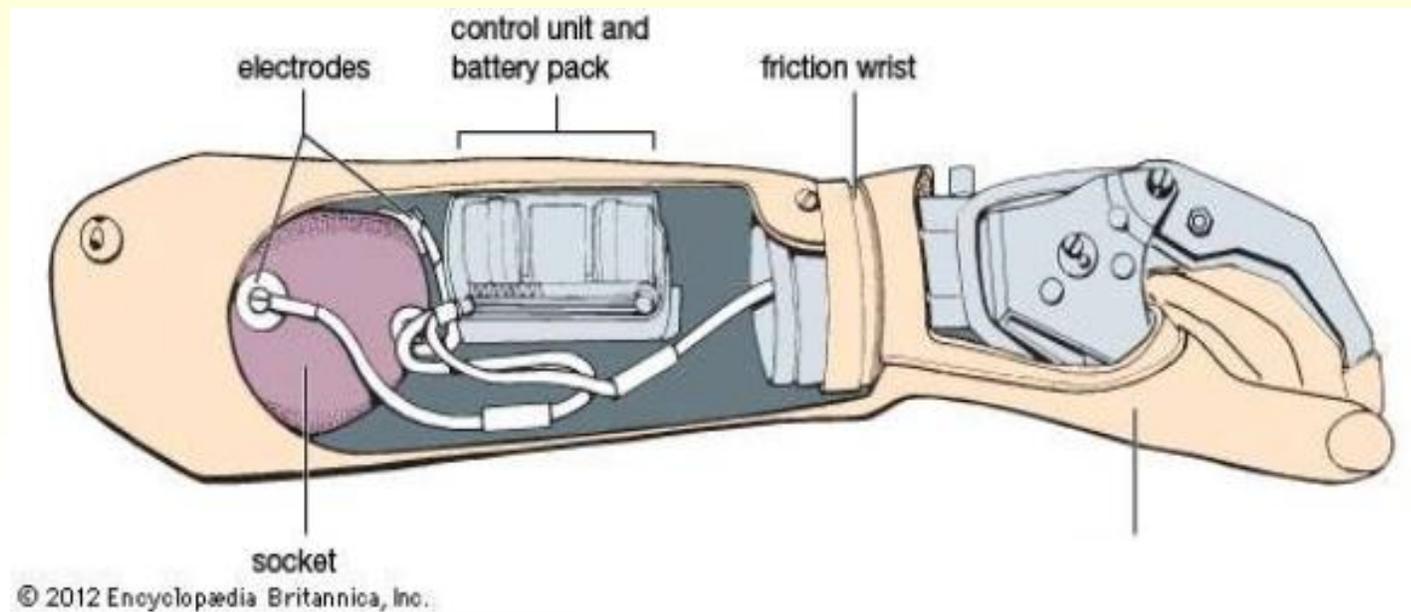


# Kineziologická SEMG analýza únavy

- 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/>

<https://www.protos.cz/>

System pažní protézy  
DynamicArm



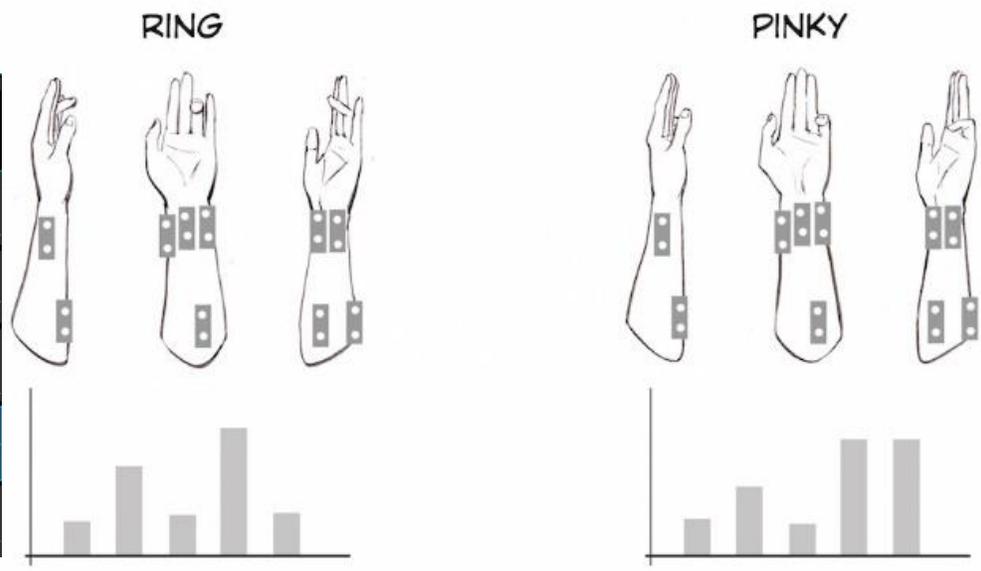
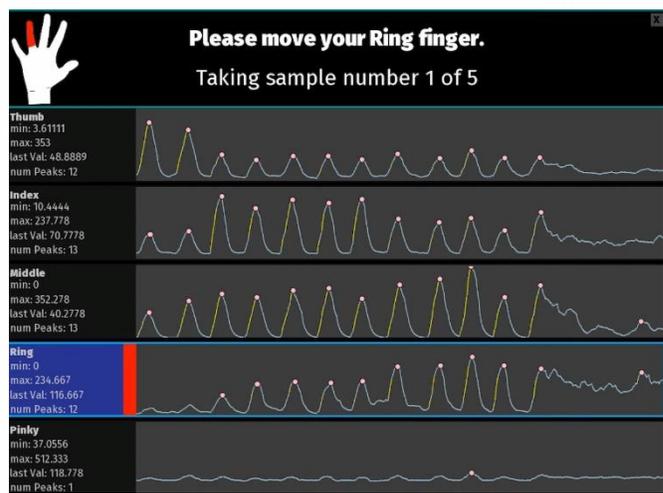
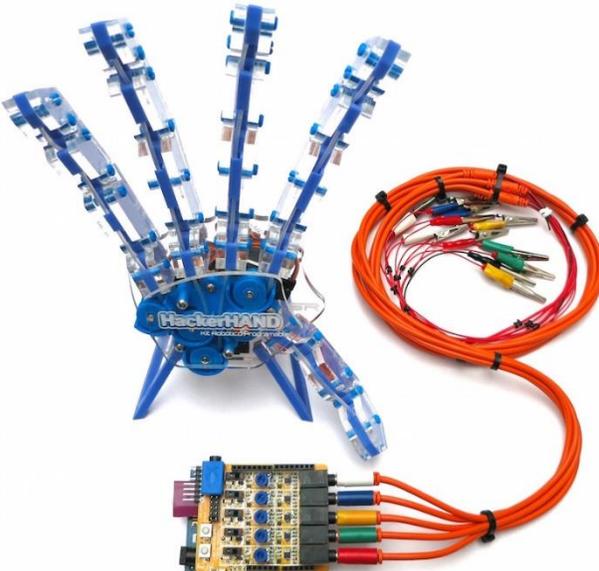
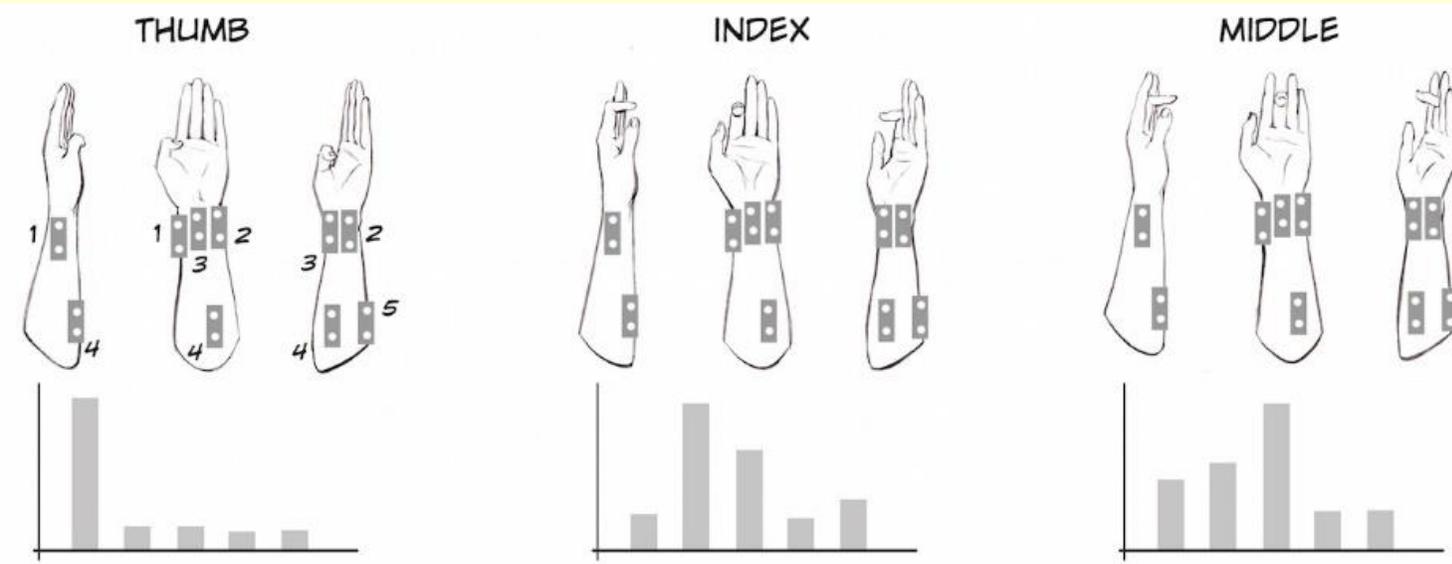
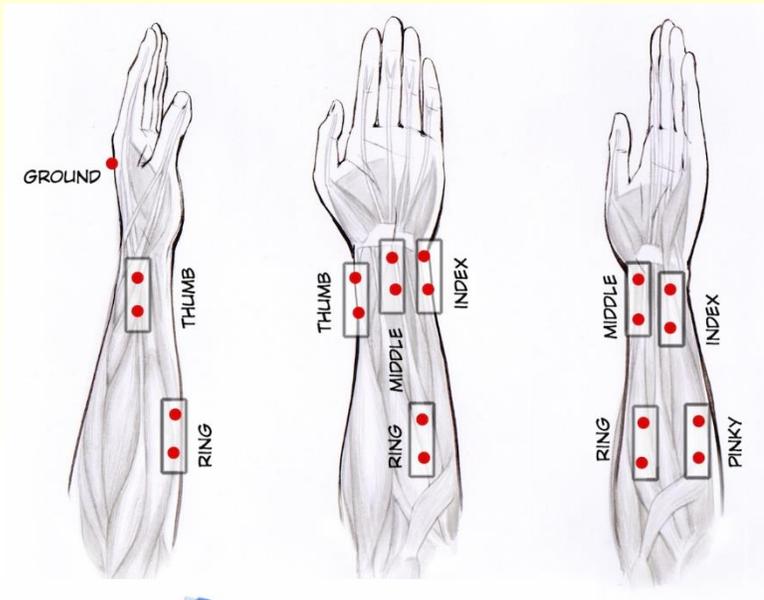
bebionic Hand | myoelektrická ruka



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

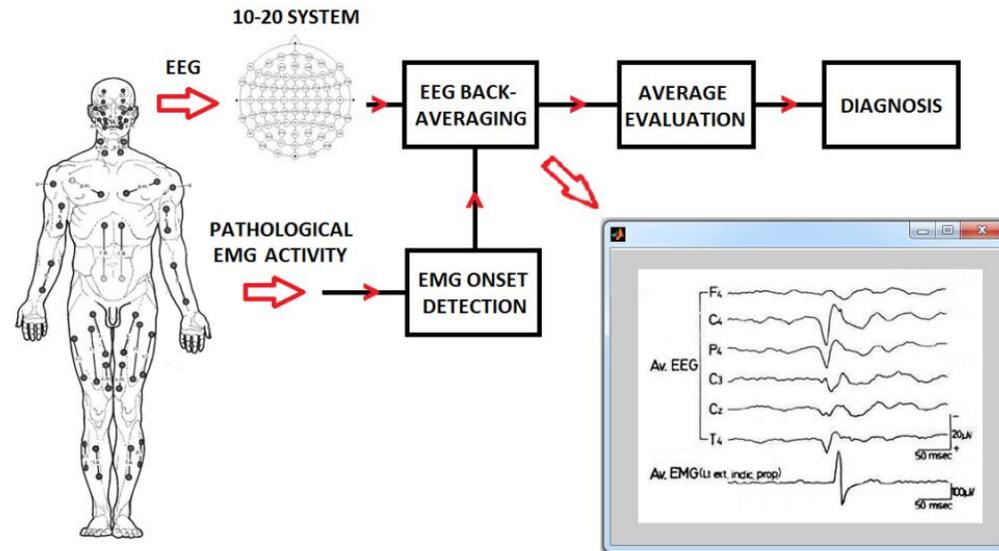
# Klasifikace EMG signálů

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



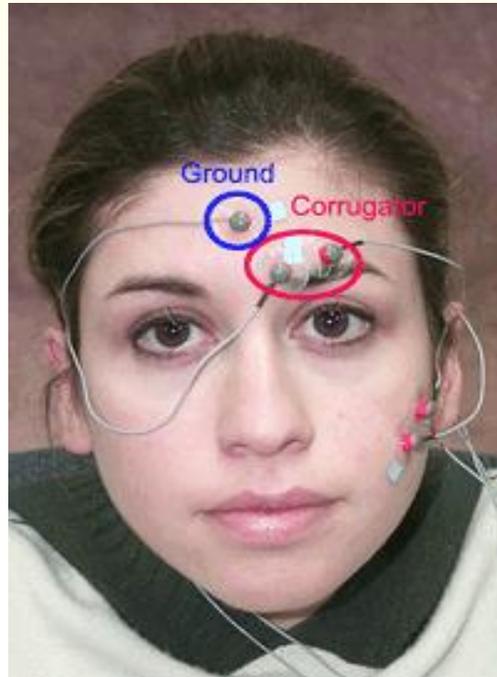
# Další použití EMG

- Detekce myoklonických záchvatů
- Lokalizace zdroje v CNS

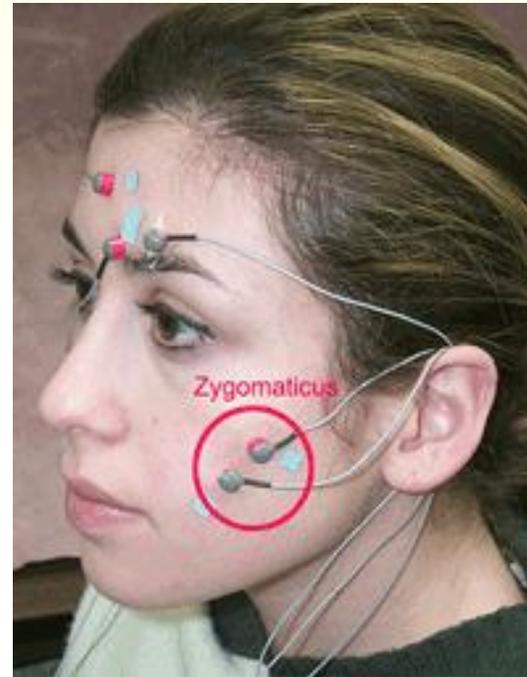


# Další použití EMG

fEMG



- zloba
- slzy



- radost
- překvapení

# ZPRACOVÁNÍ EMG SIGNÁLU

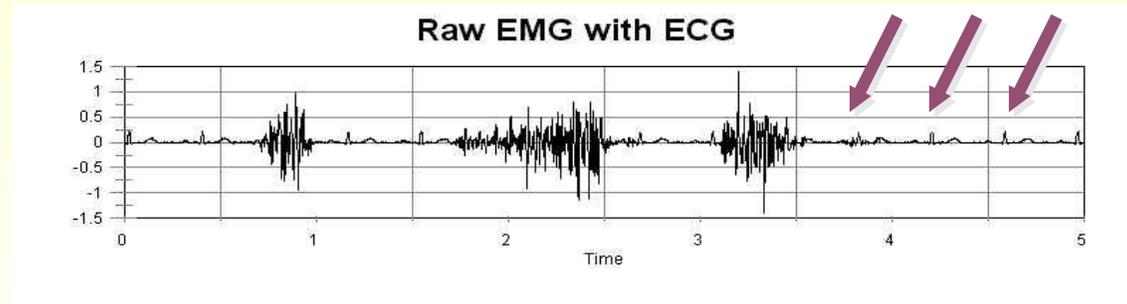
- **EMG signál**
  - Artefakty
  - EMG obálky
  - Cyklické EMG
  - Kvantitativní charakteristiky
    - časová oblast
    - frekvenční oblast
  - Pokročilé metody (dekompozice)

# EMG signál

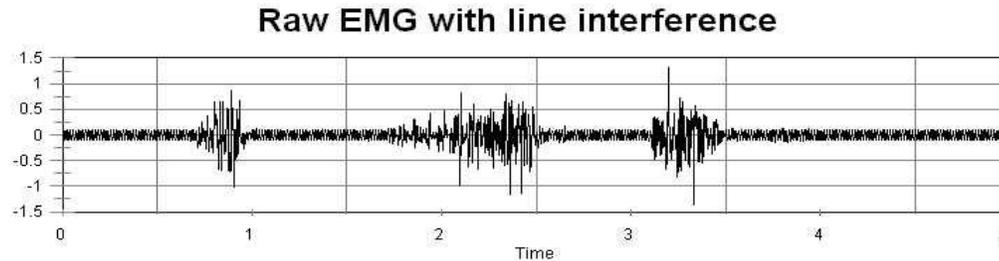
- frekvenční spektrum 20 – 500 Hz
- => minimální vzorkovací frekvence **1000 Hz**
- **střední hodnoty a mediánové frekvence** EMG signálu neunaveného svalstva jsou okolo 70 až 80 Hz
- z těchto důvodů by se nemělo používat **úzkopásmových zadržů** k potlačení síťových brumů
- obtížné stanovení “úrovně”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

# Artefakty

EKG artefakt

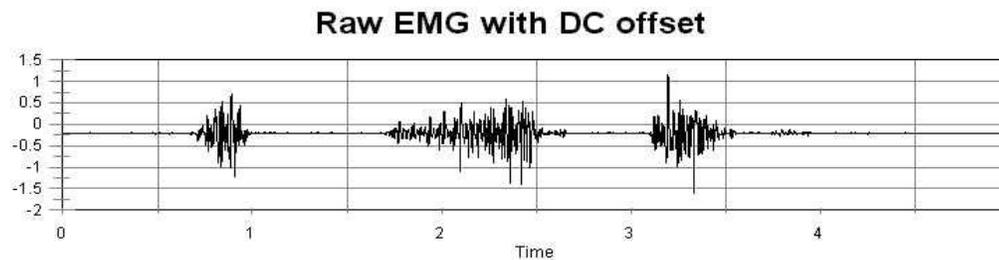


síťový brum



50 Hz

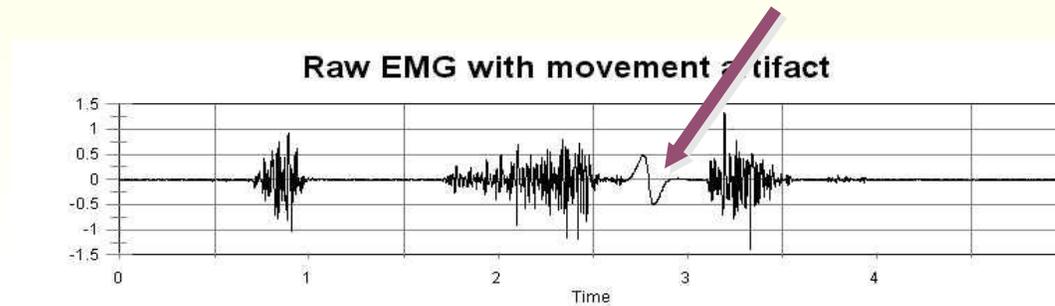
stejnoseměrná složka



nenulová  
ss složka

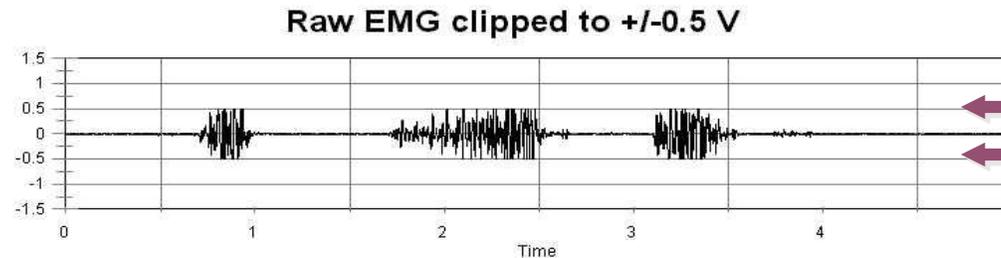
# Artefakty

- pohybový artefakt



Pohyb  
elektrody

- saturace zesilovače (+/- 0.5V)

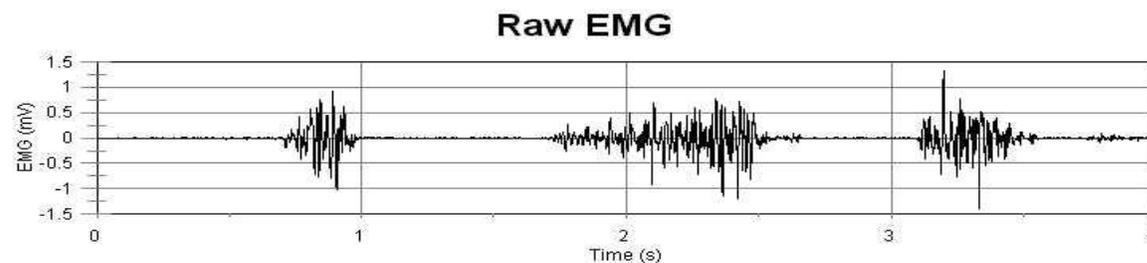


klipping  
+/- 0.5 V

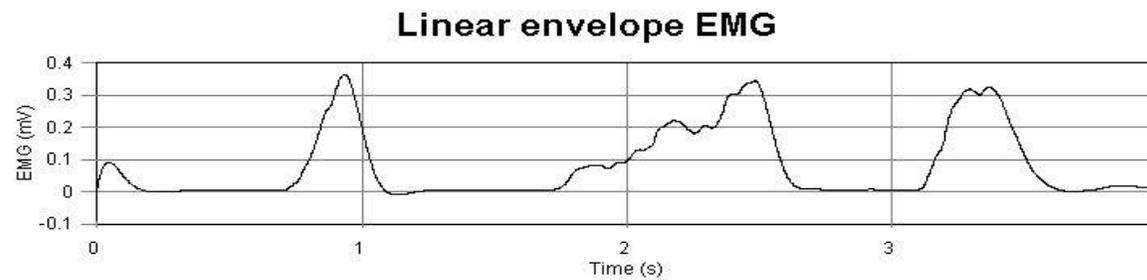


# Obálkové EMG

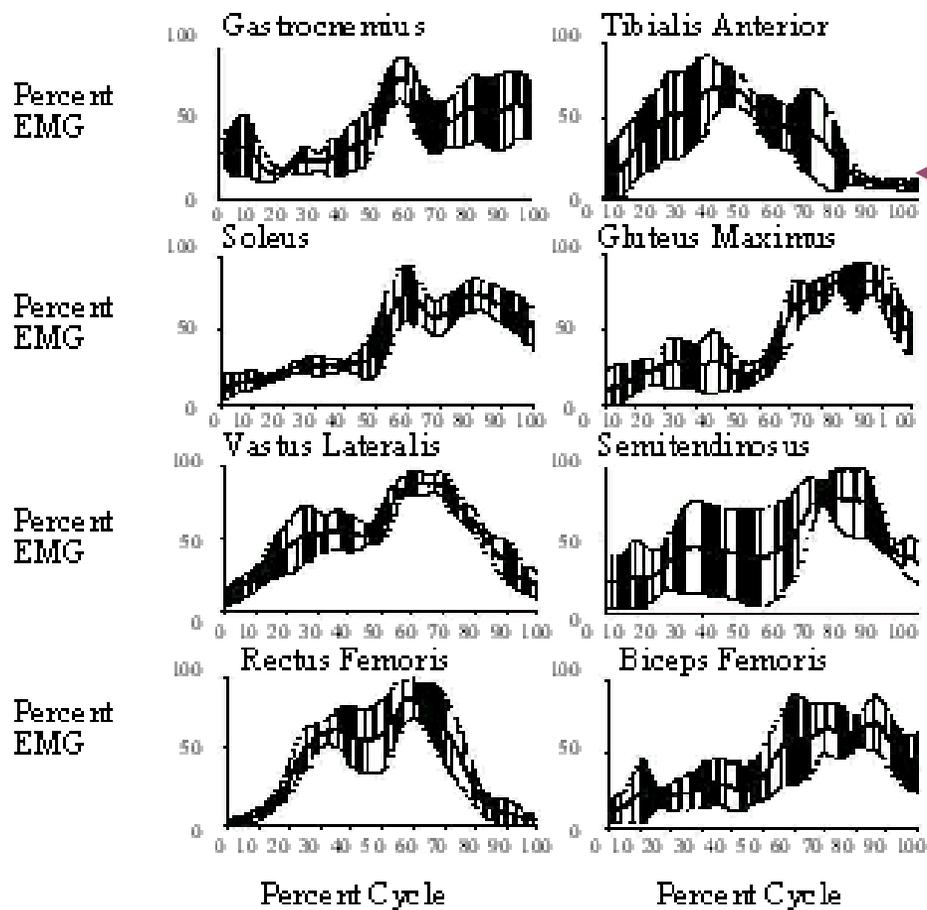
- (pásmově omezené) EMG



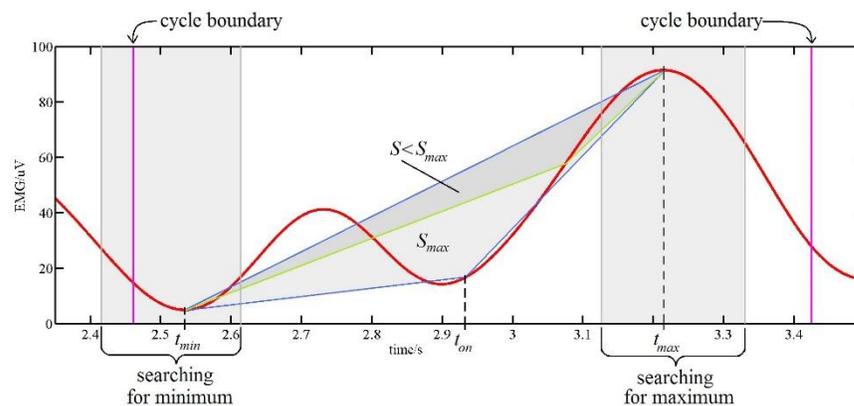
- obálkové EMG (mezní frekvence 4 Hz)



# Cyklické EMG

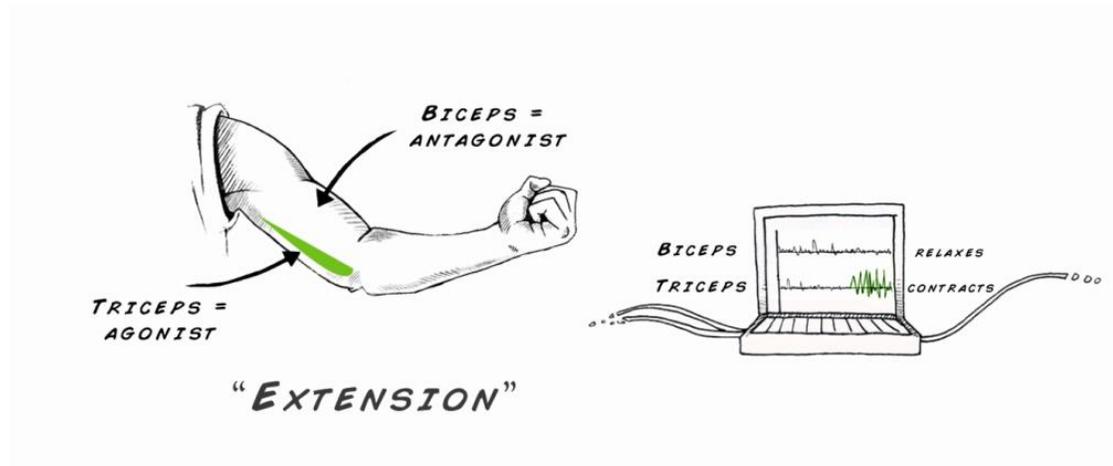
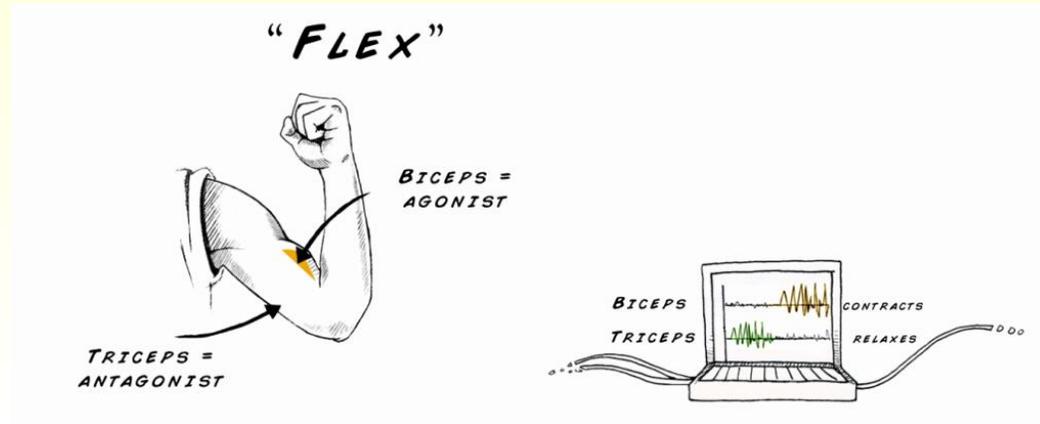


střední hodnota  
+/-std



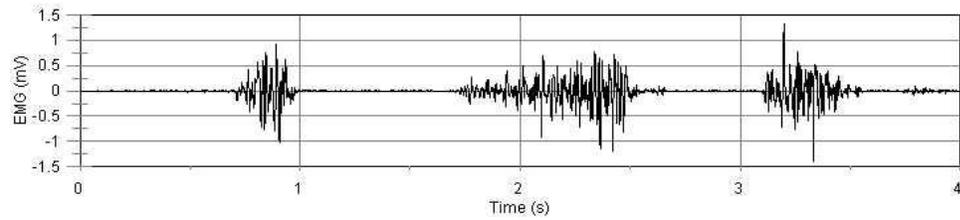
trojúhelníková detekce počátku na obálce EMG

# Koaktivace agonisty a antagonisty

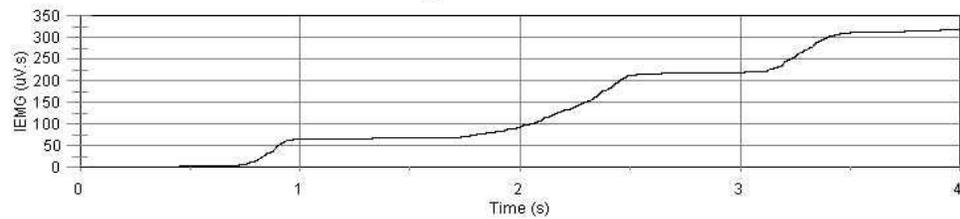


# Integrované EMG (iEMG)

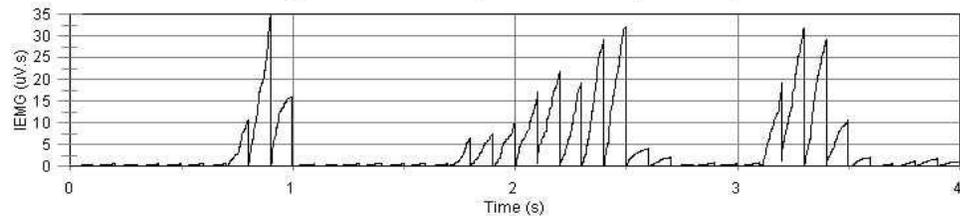
Raw EMG



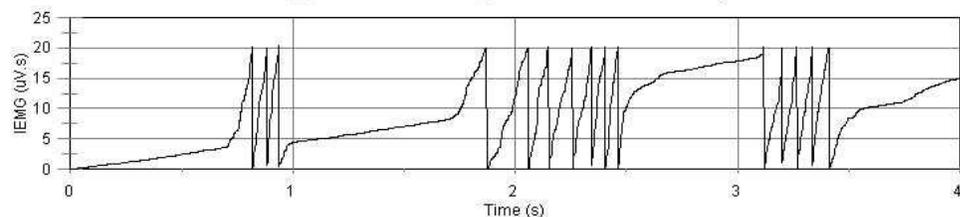
Integrated EMG



Integrated EMG (reset every 0.1 s)



Integrated EMG (reset at 20 uV.s)



```
cumsum(abs(emg))
```

```
delka_okna=200; i_emg1=[];
```

```
for start = 0:delka_okna:length(emg)-delka_okna,
```

```
segment = emg(start+1:start+delka_okna);
```

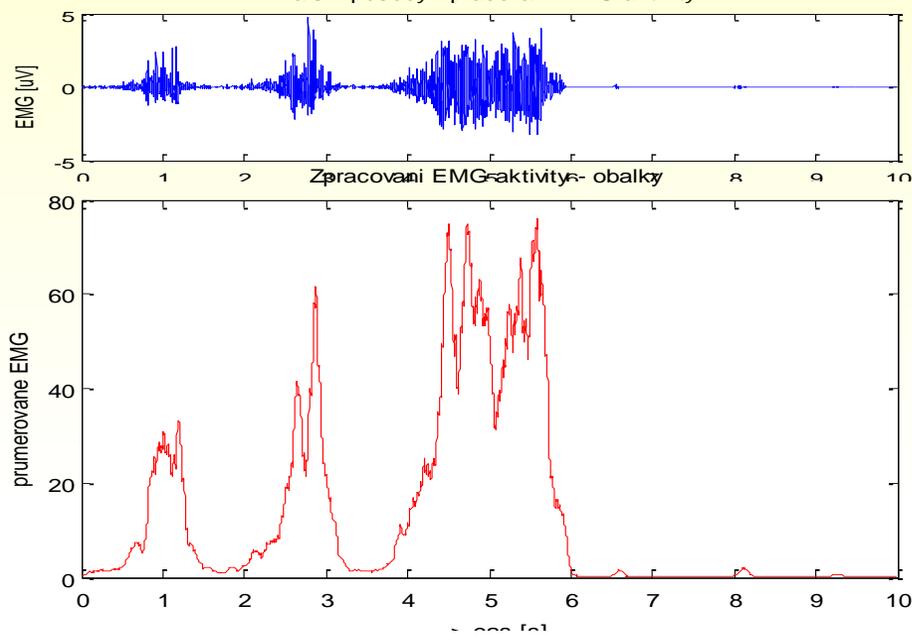
```
i_emg1=[i_emg1;cumsum(abs(segment))];      k=k+1;  end;
```

```
i_emg2=[]; prah=150; CS=cumsum(abs(emg)); K=fix(max(CS)/prah);
```

```
for k=1:K+1 i_emg2=[i_emg2; CS(find (prah*(k-1)<CS & CS<prah*k))-(k-1)*prah];
```

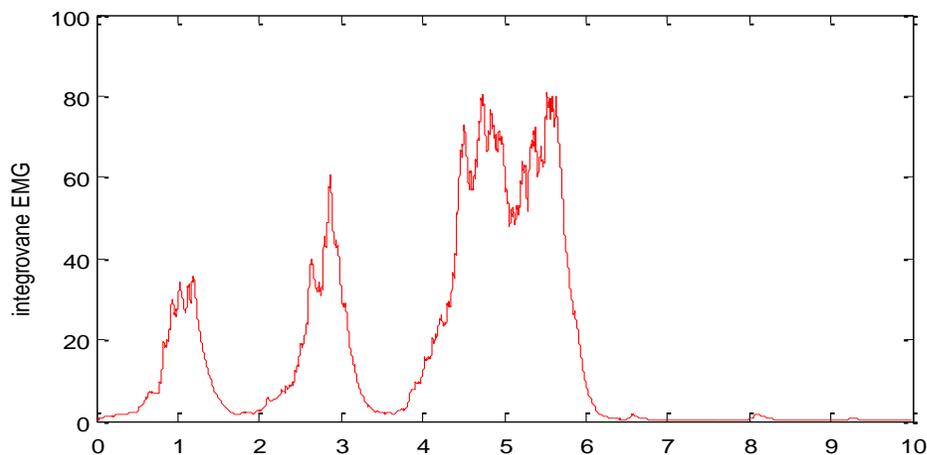
```
end;
```

# Příklad obálkového EMG



```
plot(t,filter([ones(k,1)]/k,1,abs(x(:,2))), 'r')
```

Výpočet průměrovaného EMG s použitím filtru klouzavých průměrů



```
plot(t,filter(1,[1 -.99],abs(x(:,2))), 'r')
```

Výpočet integrovaného EMG pomocí číslcového 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>

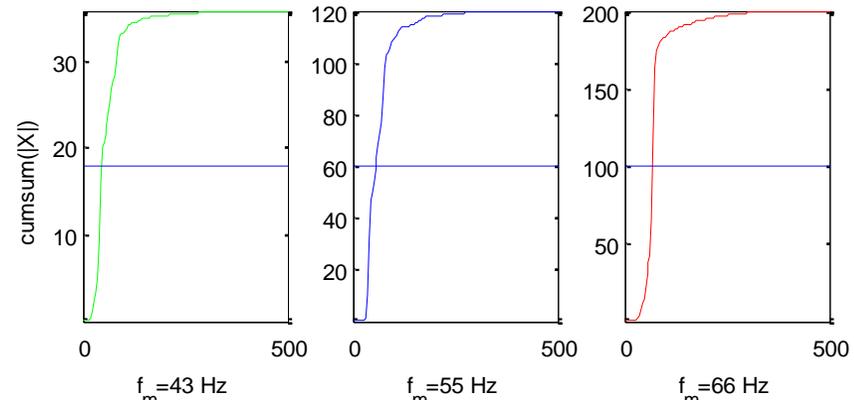
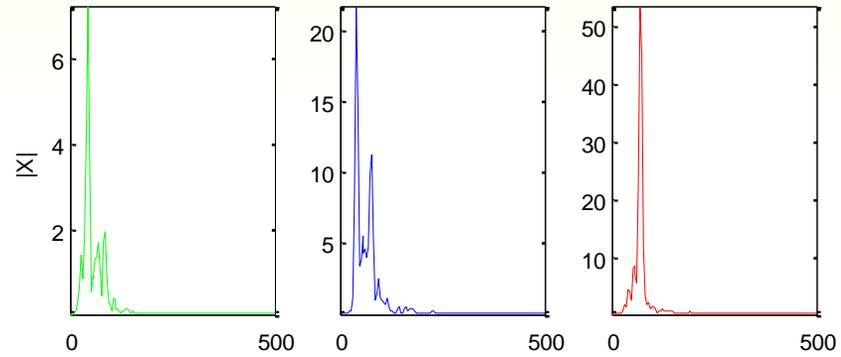
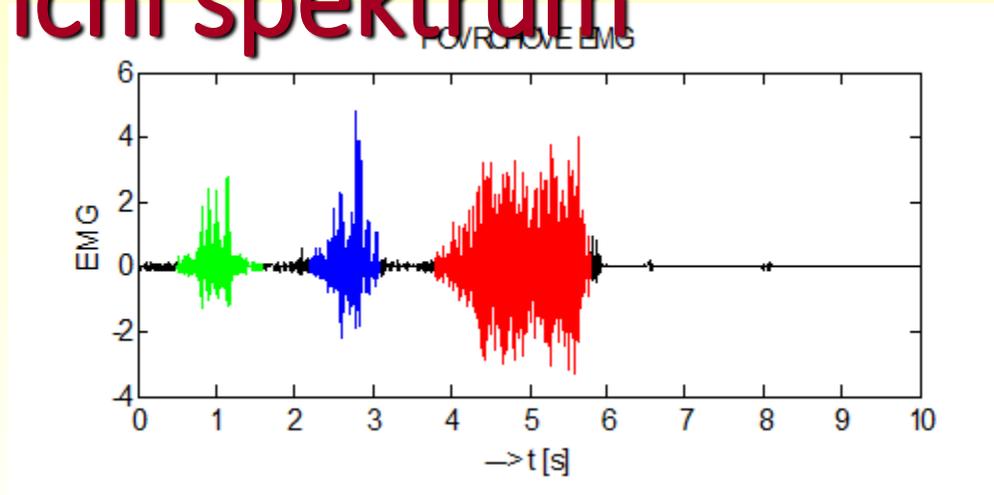
Software Library – Adrian D.C.Chan

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

# Kvantitativní charakteristiky EMG ve spektrální oblasti

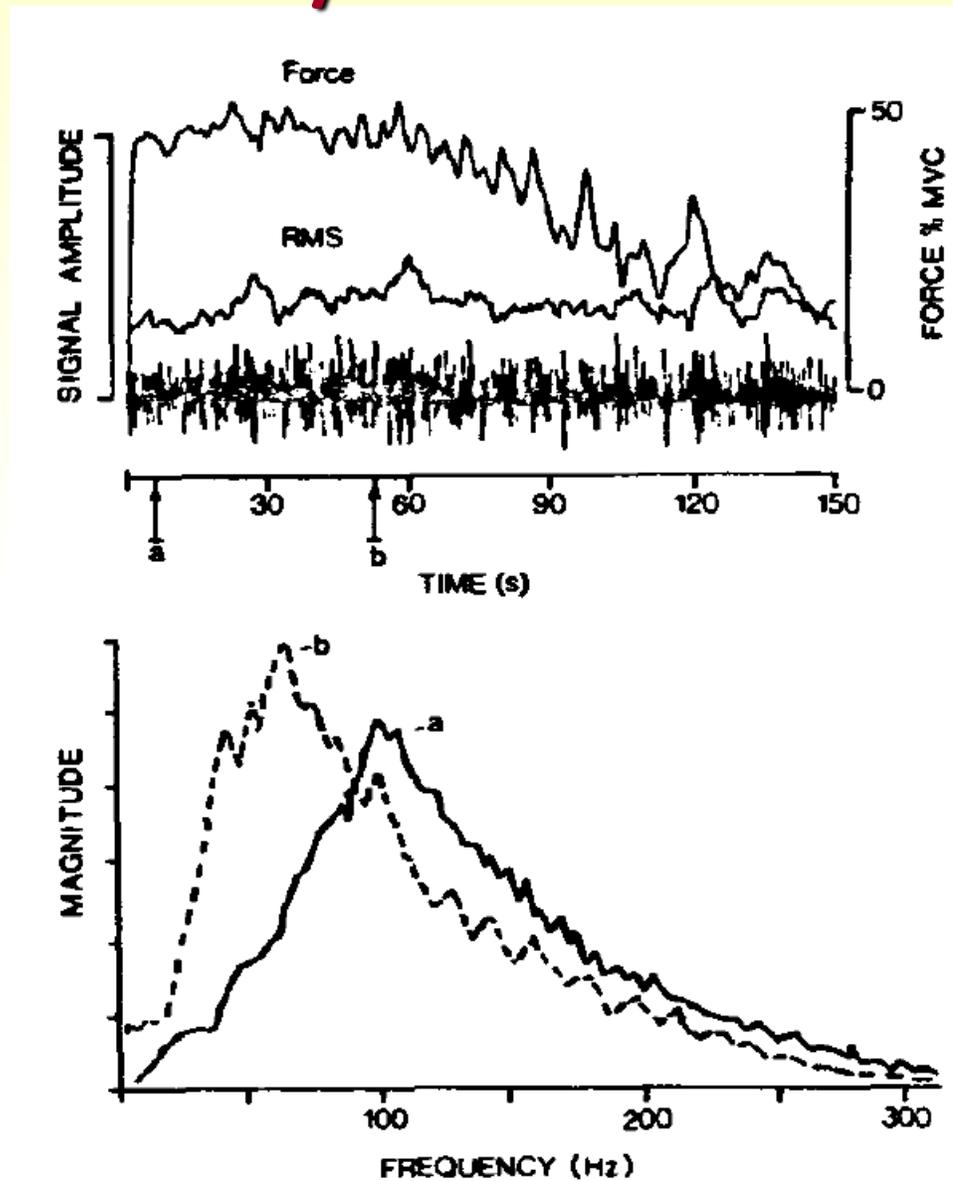
- Mediánová frekvence
- První spektrální moment
- Druhý spektrální moment

# Frekvenční spektrum





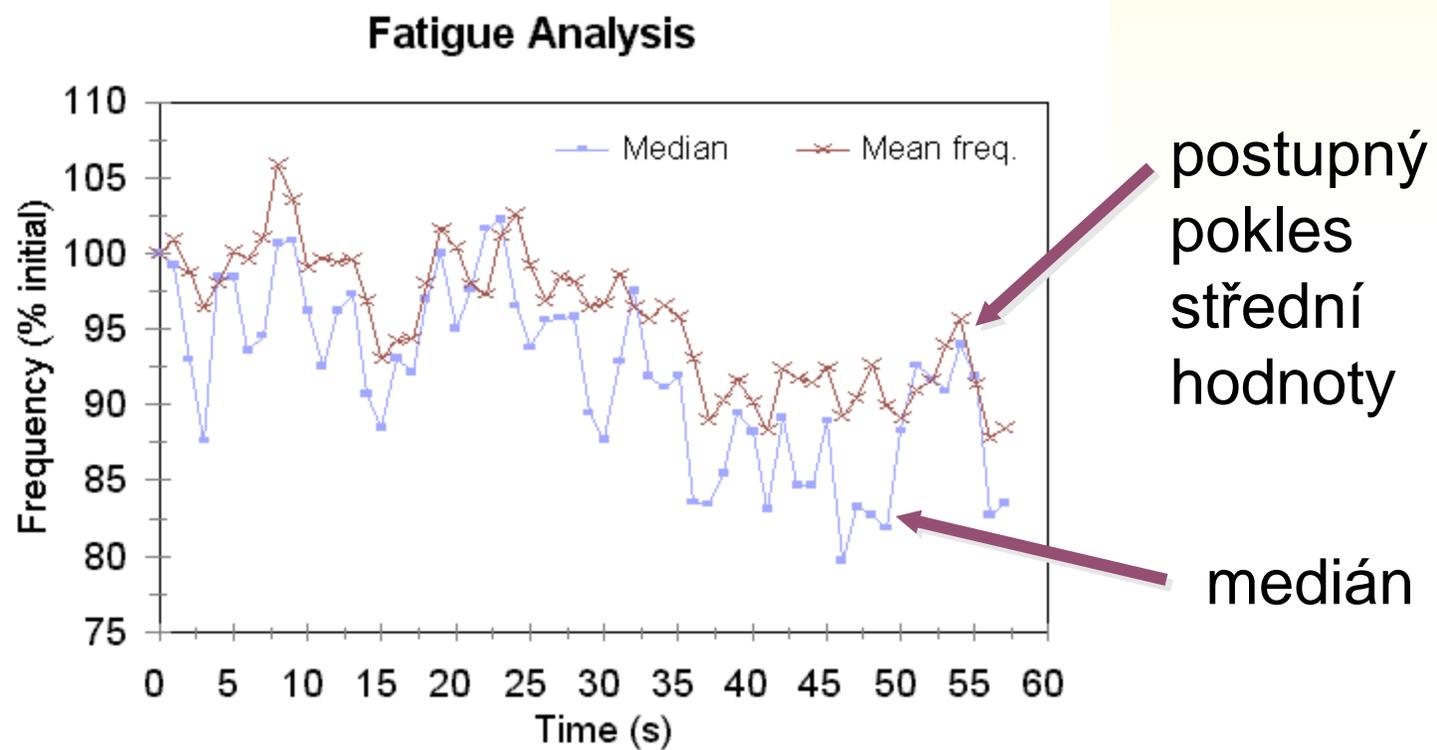
# Analýza únavy



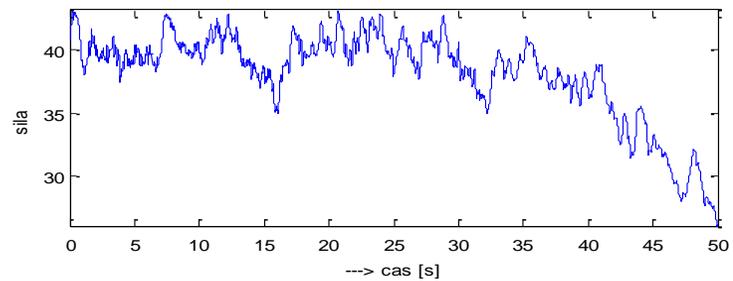
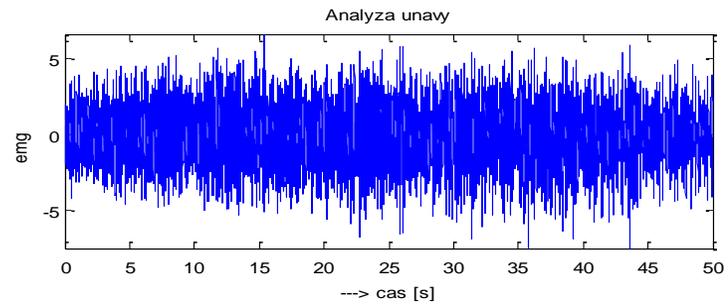
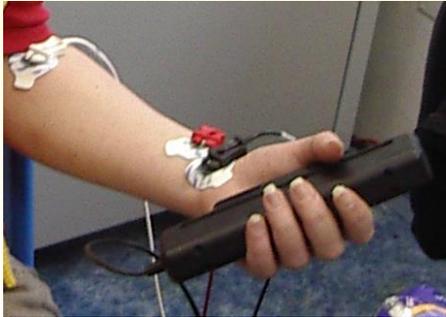
Únava svalů: zvýšení nízkých frekvencí a pokles vysokých frekvencí EMG

# Příklad analýzy únavy

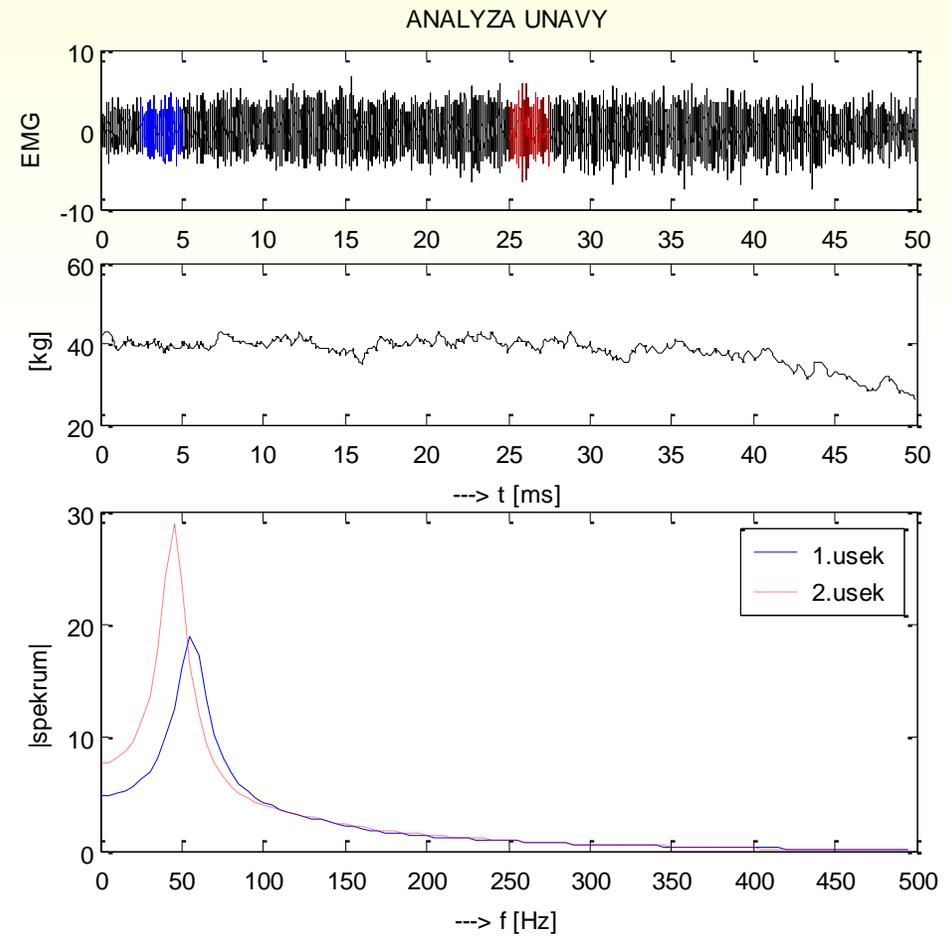
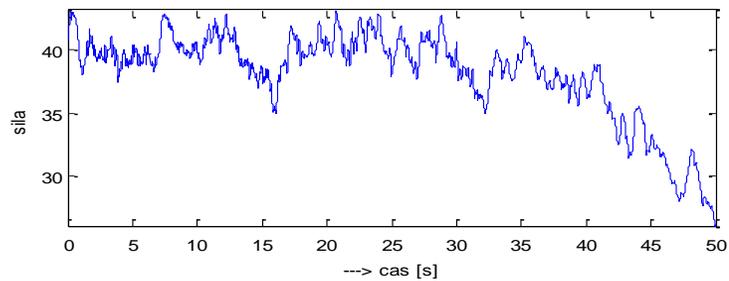
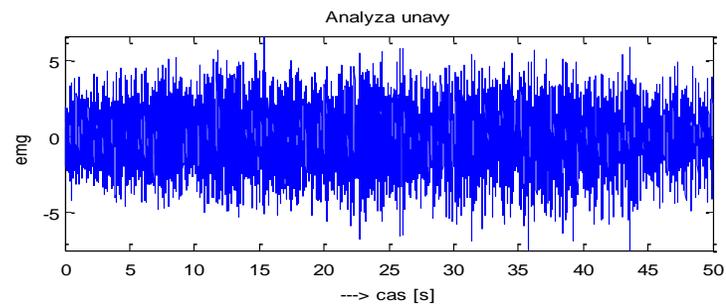
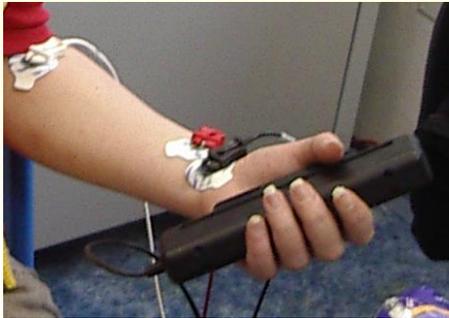
- erector spinae 60 sekund (50% překrytí)



# Příklad analýzy únavy

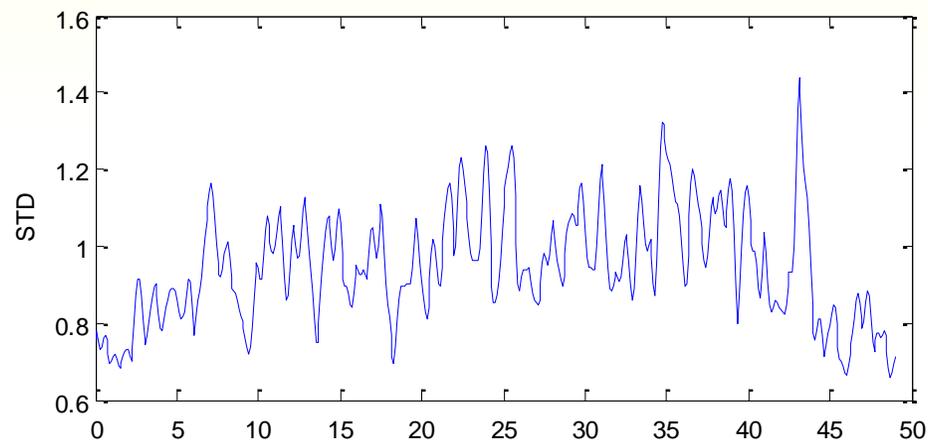


# Příklad analýzy únavy



# Příklad analýzy únavy

časový průběh *směrodatné odchylky* EMG aktivity



```
fs=1000;
```

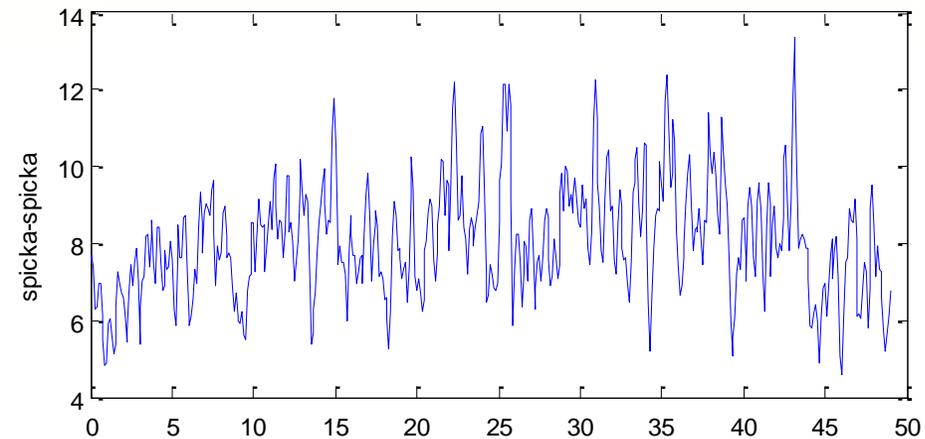
```
delka_okna = 1000;
```

```
posun_okna = delka_okna/10;
```

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

# Příklad analýzy únavy

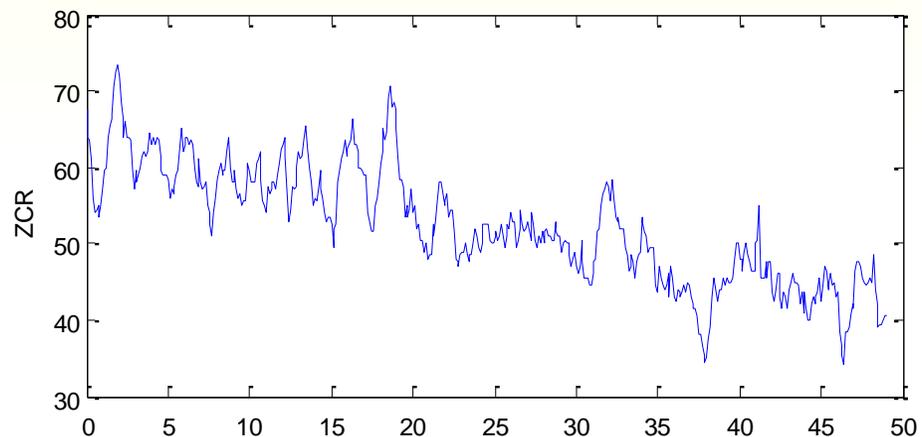
časový průběh EMG aktivity „špička-špička“



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

# Příklad analýzy únavy

časový průběh *počtu průchodů nulou*

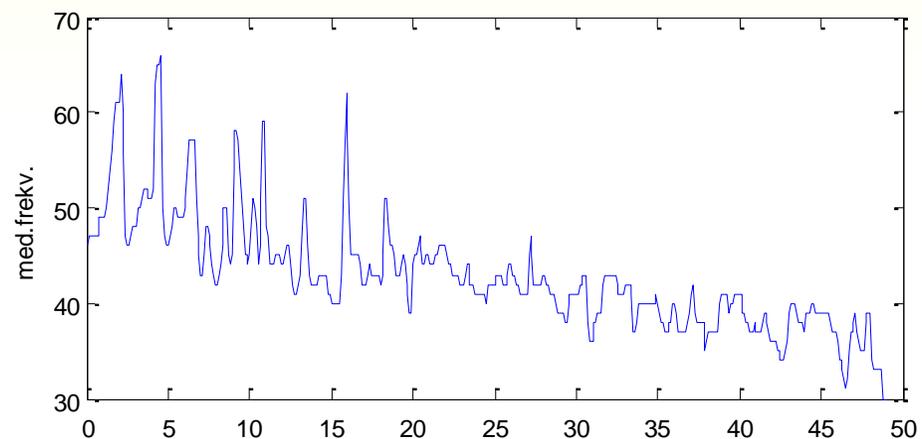


```
zcr = sum(abs(diff(segment>0)));
```

```
ZCR(k) = zcr*fs/(2*length(segment));
```

# Příklad analýzy únavy

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

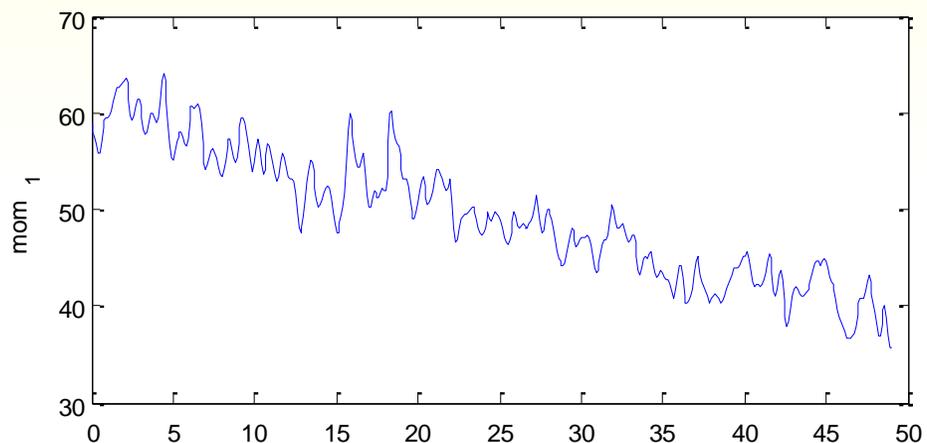


```
f_med=find(cumsum(SPEKTRUM)<=max(cumsum(SPEKTRUM)/2));  
med_f(k)=f(f_med(end));
```



# 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

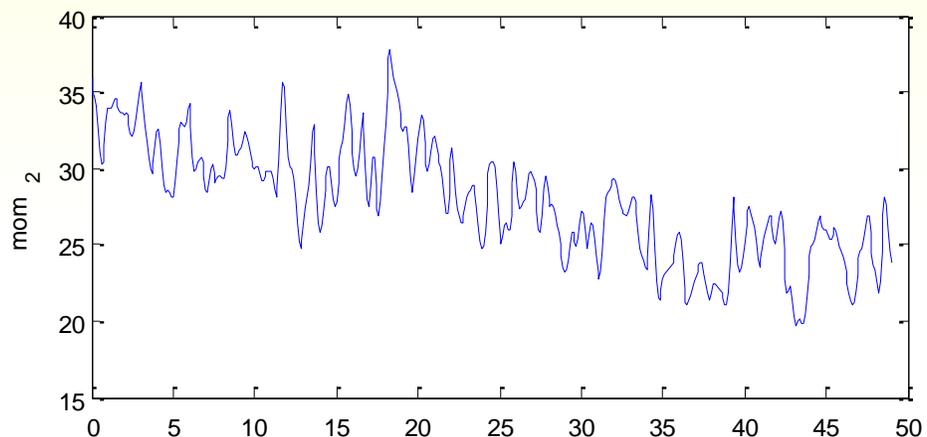
`NN = length(SPEKTRUM);`

`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

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

$$mom\_2(k) = \text{sqrt}(\text{sum}((\mathbf{f}.\wedge 2).\text{*SPEKTRUM})/\text{sum}(\text{SPEKTRUM}) - \text{mom\_1}(k).\wedge 2);$$

# Dekompozice EMG

- dekompozice intramuskulárního i povrchových EMG signálů

