

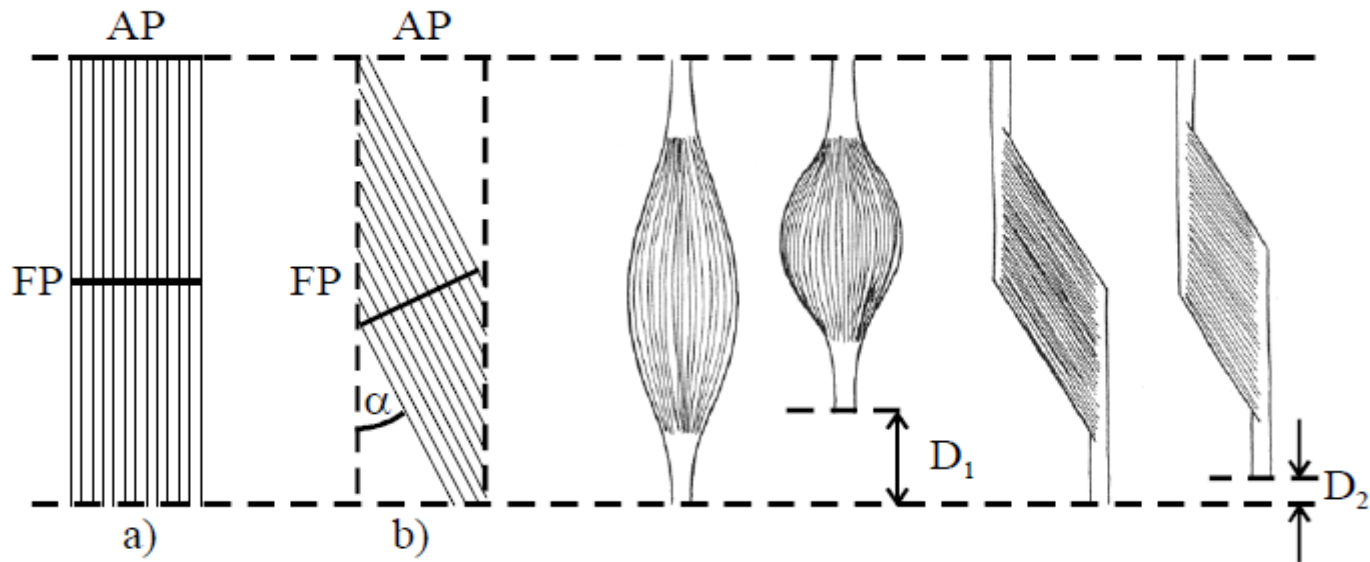
# Mechanické vlastnosti kosterního svalu

mechanické vlastnosti, gradace svalového napětí,  
Hillův tříprvkový model, závislost svalové síly na  
parametrech svalové kontrakce

# Obecné vlastnosti svalového systému

- iritabilita (dráždivost) – odpověď na podnět,
  - konduktivita (vodivost) – vedení vzruchu,
  - kontraktilita (stažlivost) – aktivní změna délky,
  - adaptabilita – přizpůsobení tvaru a možnost regenerace.
- 
- Svalová redundance (nadbytečnost) – více svalů, než je teoreticky třeba – nahraditelnost, stabilita, odlehčení atd.

# Architektura svalu



$\alpha$  – úhel zpeření

FP – velikost fyziologického průřezu

AP – velikost anatomického průřezu

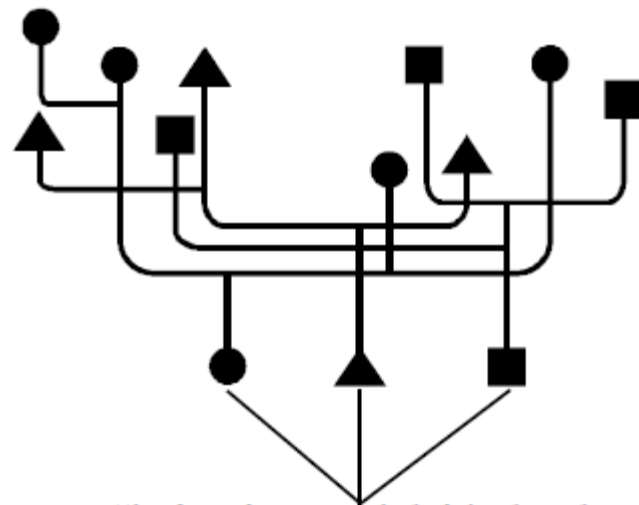
$D_1$  ( $D_2$ ) – velikost zkrácení pro nezpeřený (zpeřený sval)

Nezpeřený sval - větší zkrácení

Zpeřený sval - větší síla

# Motorická jednotka

- Skupina svalových vláken stejného typu inervovaná jedním motoneuronem (tři až tisíce)
- Nejmenší část svalu schopná nezávislé kontrakce
- Její vlákna rozptýlena po svalu mezi vlákny jiných motorických jednotek

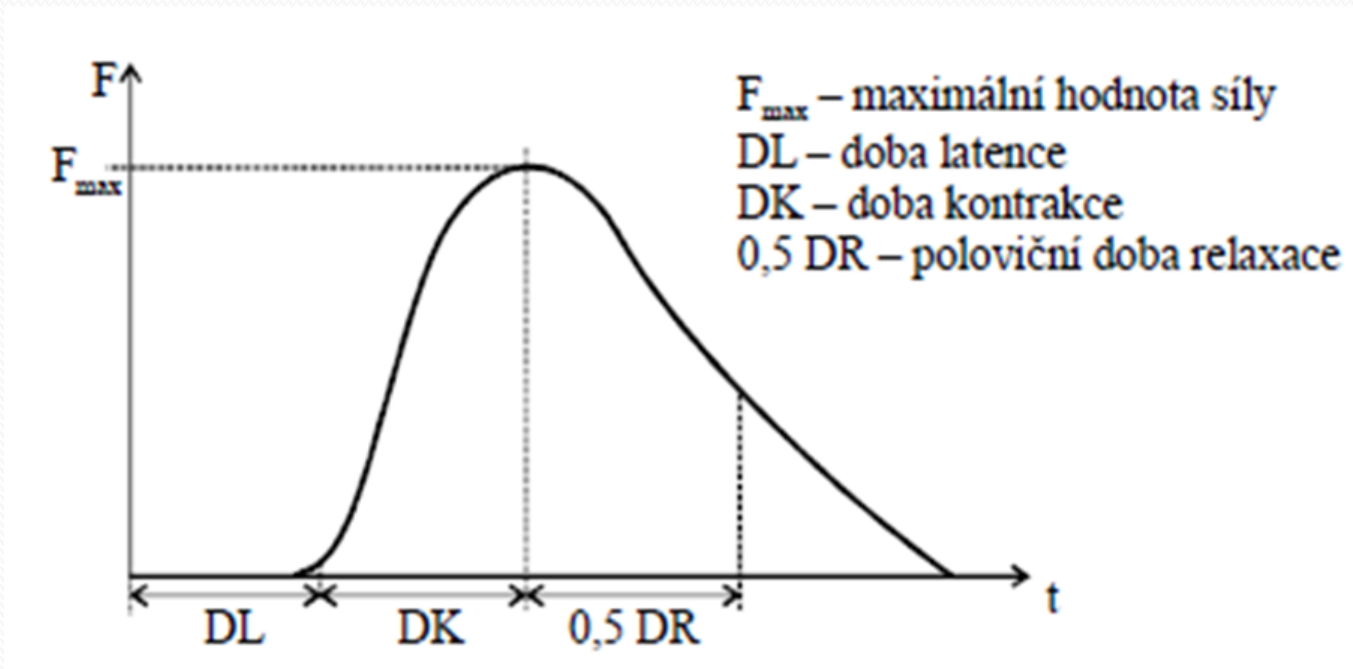


Tři různé motorické jednotky,  
každá je tvořena vlákny stejného typu.

# Aktivita motorické jednotky

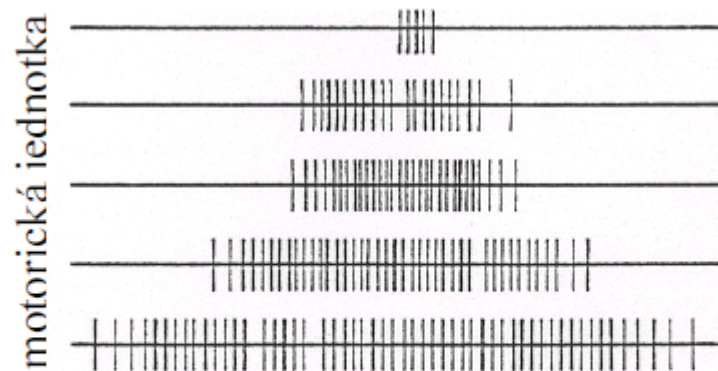
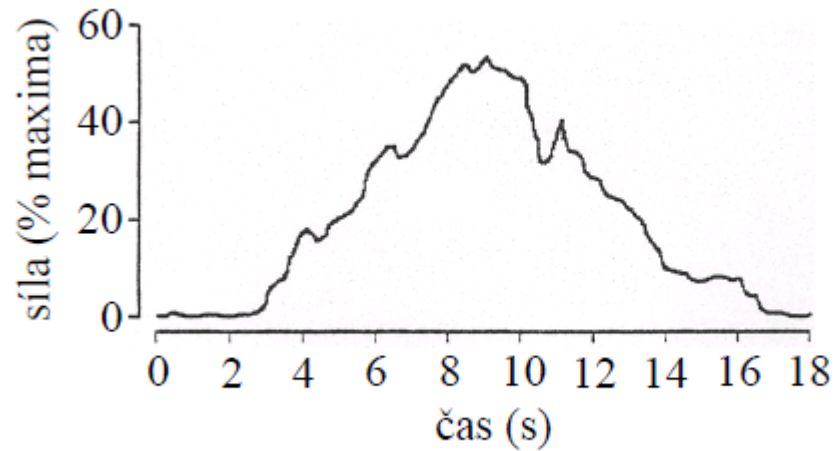
Princip „vše nebo nic“

Závislost síly na čase



# Gradace svalového napětí

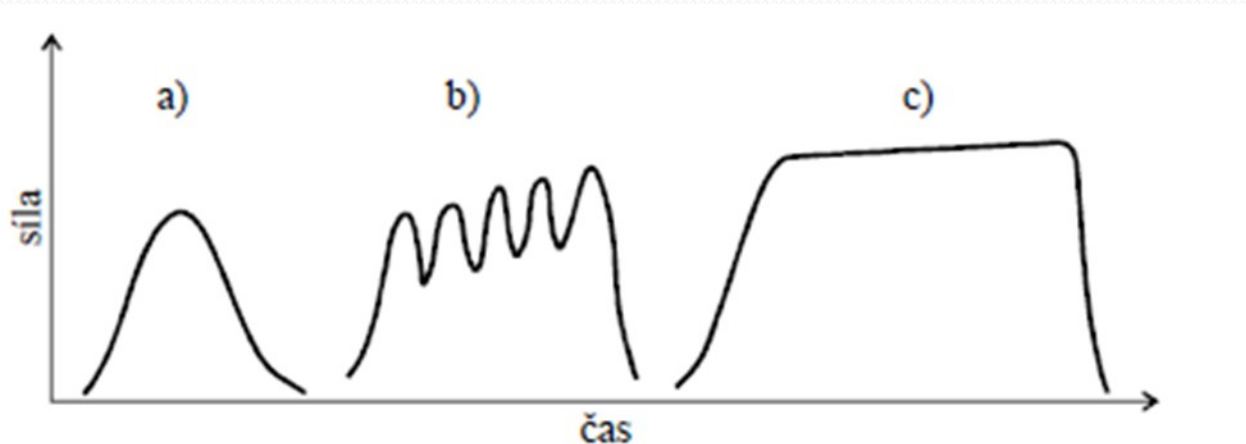
- Pro dosažení odpovídajícího napětí svalu jsou využívány principy prostorové a časové sumace, zapojovány jsou oba mechanismy
- **Prostorová sumace**
  - ke kontrakci motorických jednotek nedochází v jednom okamžiku, vzruch přichází do různých částí svalu fázově posunutý.
  - Podle nároku na sílu se aktivují další jednotky - **Adrian-Bronckův zákon**
  - První se pak odpojují ty, co se připojily jako poslední



Princip prostorové sumace pro pět motorických jednotek  
(upraveno podle Enoka, 2008)

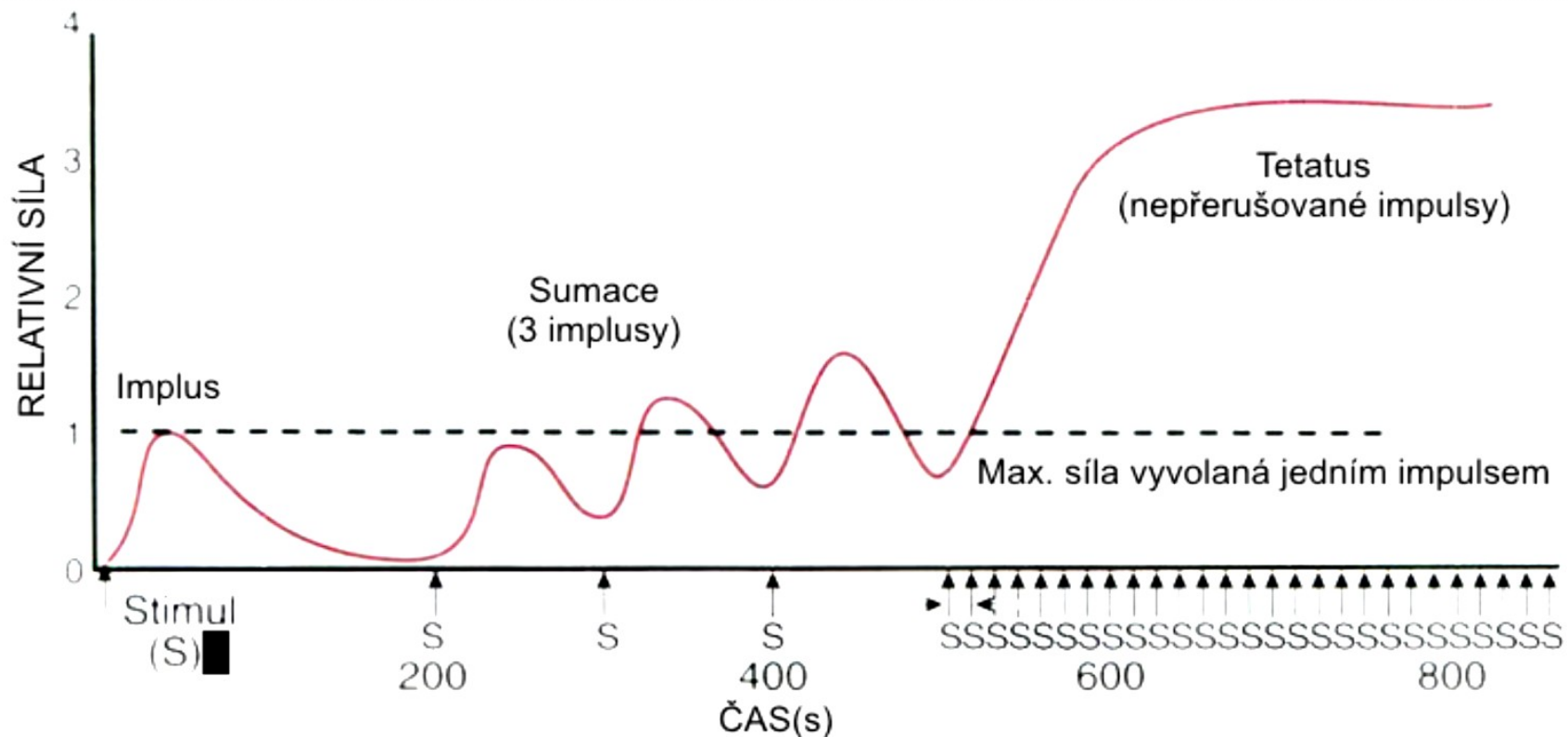
# • Časová sumace

- Zvýšení frekvence vzruchů aktivujících motorickou jednotku
- Postupně nedosahují úplné relaxace (7-10Hz) – neúplný tetanus
- Vyhlazení dílčích maxim (30 Hz) – hladký tetanus
- Pro kratší svaly je třeba vyšší frekvence pro dosažení maximální síly



Závislost síly na čase při záškubu (a), vlnitém tetanu (b) a hladkém tetanu (c)





Variace v tvorbě síly v závislosti na stimulační frekvenci (Kenney, Wilmore, & Costill, 1999).

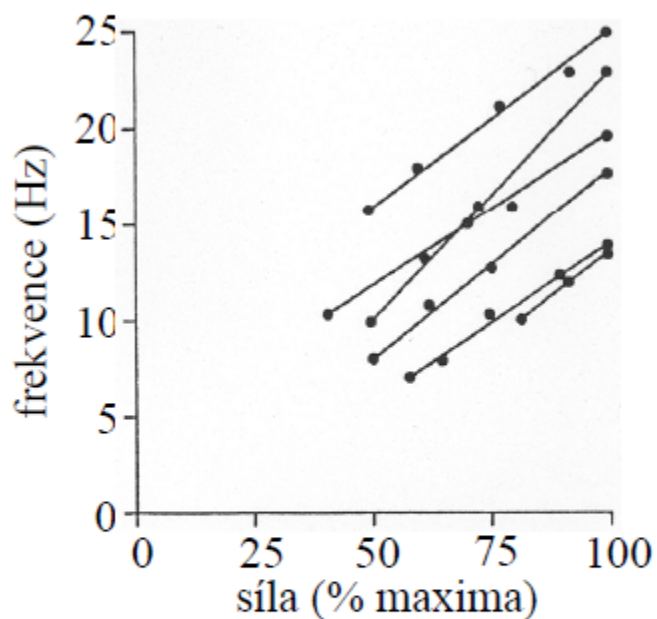
# Gradace svalového napětí

- Zapojuvany oba mechanismy podle druhu pohybu, např.

<i>Úroveň svalového napětí</i>	<i>Způsob gradace</i>
10–30 %	Nárůst frekvence vzruchů 2–30(40) Hz u malého počtu motorických jednotek.
30–70 %	Nárůst počtu zapojených motorických jednotek.
70–100 %	Zvýšení frekvence vzruchů u zapojených motorických jednotek.

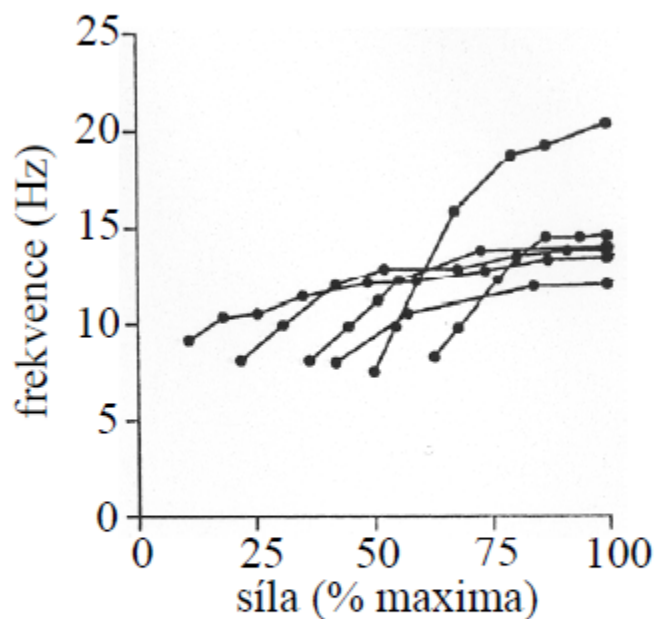
Pro fázické svaly je vztah mezi frekvencí a svalovou silou lineární, pro tonické svaly je tato závislost nelineární, nárůst síly v závěrečné části je méně dynamický.

**fázické motorické jednotky**



vhodnější v dynamických situacích

**tonické motorické jednotky**

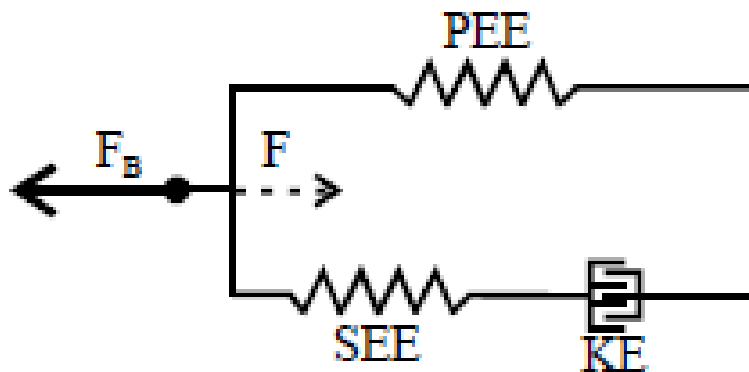


menší síla, menší unavitelnost

**Obr. 4.8** Závislost mezi velikostí síly a frekvencí vzruchů pro tonické a fázické motorické jednotky (upraveno podle Enoka, 2008)

# Hillův tříprvkový model jednotky sval - šlacha

- vyjádření činnosti svalu při různých typech svalové kontrakce (izometrická x anizometrická – koncentrická, excentrická)



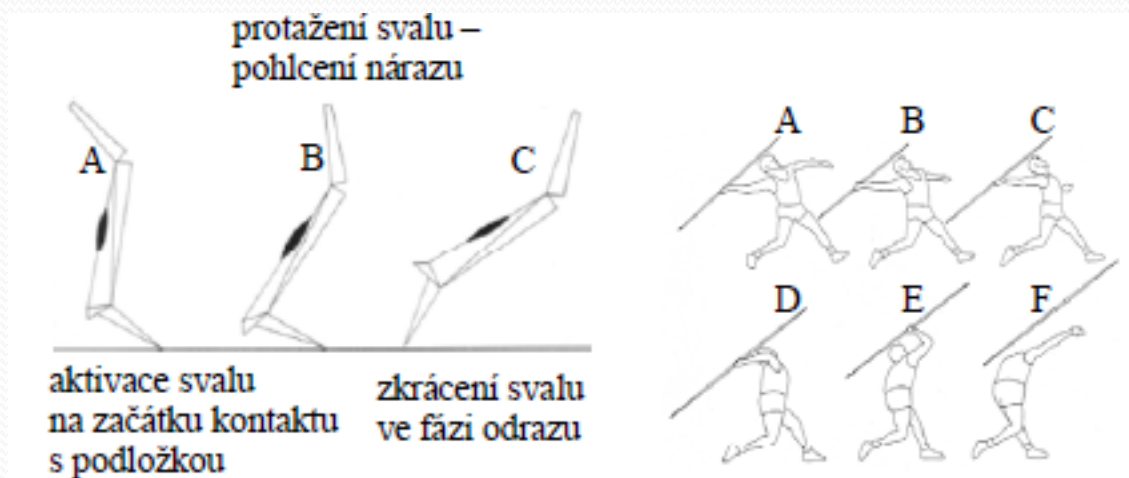
KE – kontraktilní element  
SEE – sériový elastický element  
PEE – paralelní elastický element  
F – tahová síla svalu  
F<sub>B</sub> – síla břemene, působení  
vnějšího prostředí

# Hillův tříprvkový model

- **Kontraktilní element** – (KE; aktinová a myozinová vlákna)
  - Vyjadřuje silově-rychlostní možnosti svalu (sarkomery). Někdy bývá dále rozdělen na dvě složky, kdy myofilamenta ovlivňují velikost síly a efekt viskozity se podílí na rychlostních parametrech.
- **Sériový elastický element** – (SEE; šlacha)
  - Má funkci pružiny. Přenáší mechanickou energii produkovanou KE na okolní prvky a částečně ji pohlcuje. Při pohybech, které jsou typické rychlým střídáním svalové kontrakce, je rozhodující pro ukládání elastické energie.
- **Paralelní elastický element** – (PEE; vazivové struktury svalu )
  - Může působit proti protažení pasivního svalu. To umožňuje zabránit přetržení svalu (při nedostatečné aktivitě KE) při nadměrném působení vnějších sil.

# SSC cyklus (stretch – shortening cycle = protahovací – zkracovací)

- Vnější energie, která způsobuje protažení elastických elementů, se ukládá ve svalech ve formě deformační energie.
- Po excentrické svalové kontrakci lze tuto energii využít pro zrychlení pohybu dané části těla při kontrakci koncentrické
- princip plyometrických cvičení



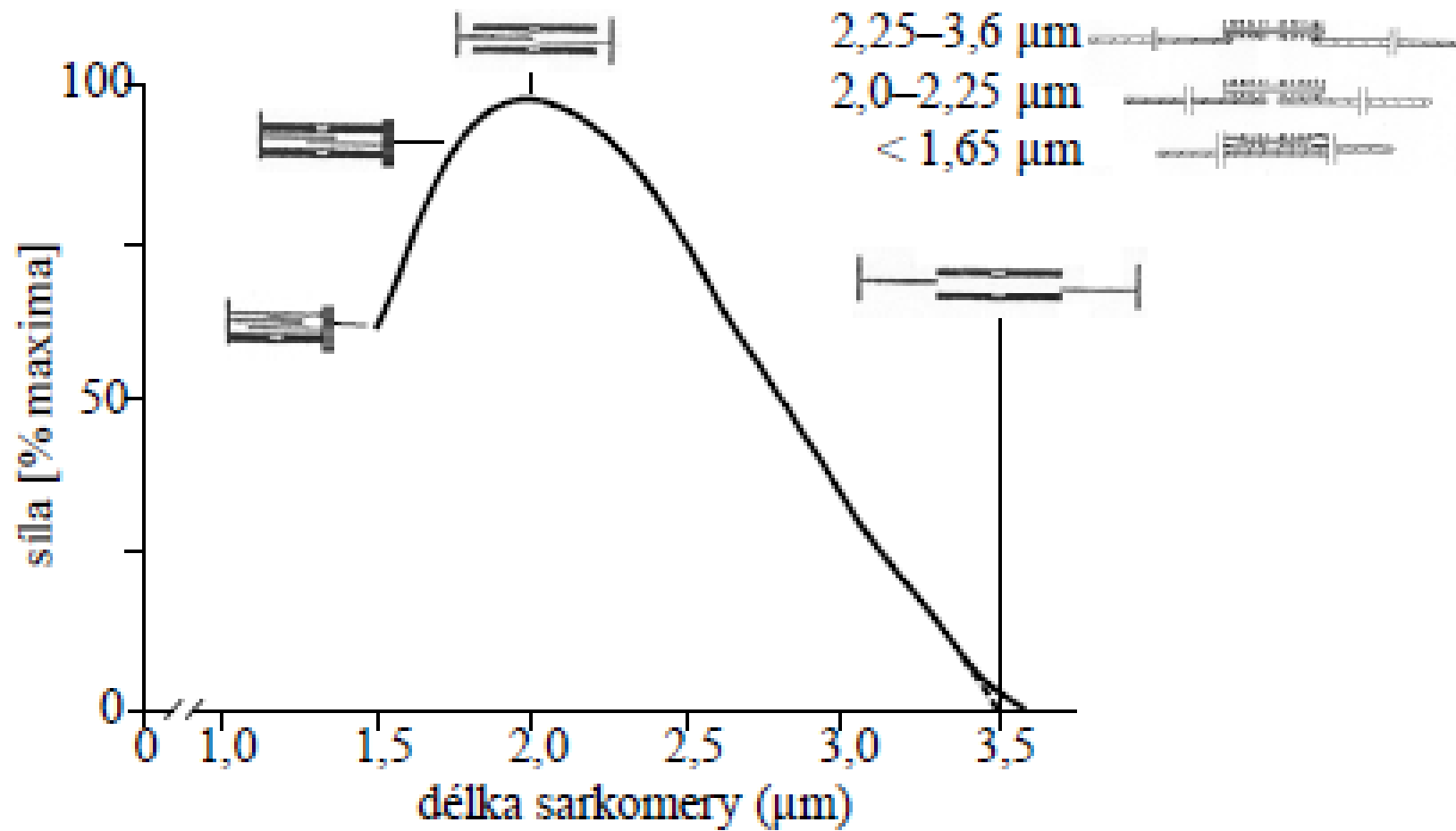
# Závislost svalové síly na parametrech svalové kontrakce

- výsledná svalová síla je součtem aktivní a pasivní síly.
- aktivní síla je určena počtem příčných můstků, počáteční délkou svalových vláken, rychlostí kontrakce, plochou fyziologického příčného průřezu
- pasivní síla závisí na tření v kloubu; odporu vazů, kloubního pouzdra a kůže; stlačování a protahování interartikulárních prvků

# Velikost síly vs. délka sarkomery

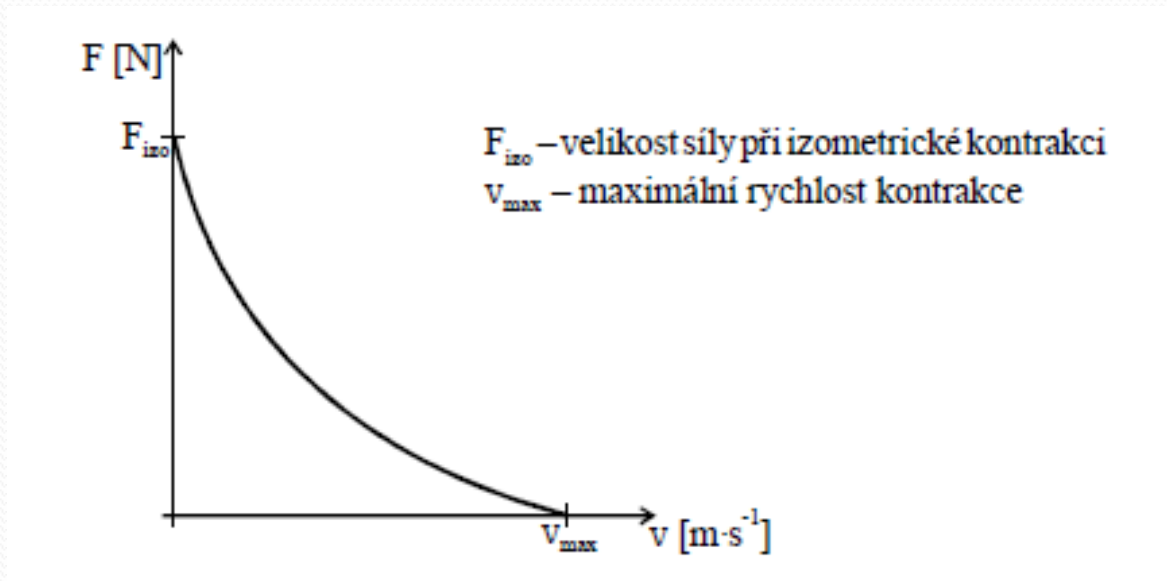
- Maximálního napětí svalového vlákna je dosaženo při délce sarkomery kolem 2,0 až 2,5  $\mu\text{m}$ , kdy je vytvořen maximální počet příčných můstků.
- Při zmenšení délky sarkomery pod 2  $\mu\text{m}$  se aktivní napětí snižuje, protože dochází k překrytí tenkých filament na opačných koncích sarkomery, které jsou opačně polarizované.
- S dalším zmenšením délky je pokles napětí strmý



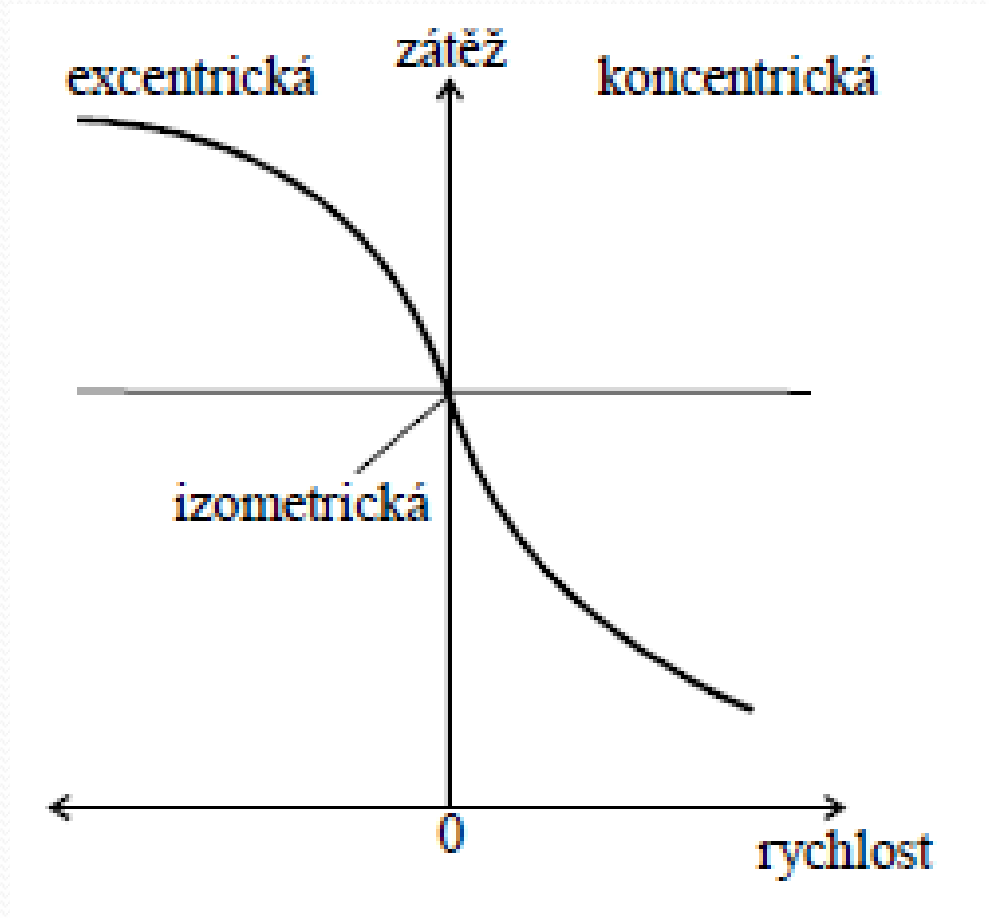


# Velikost síly vs. rychlost kontrakce

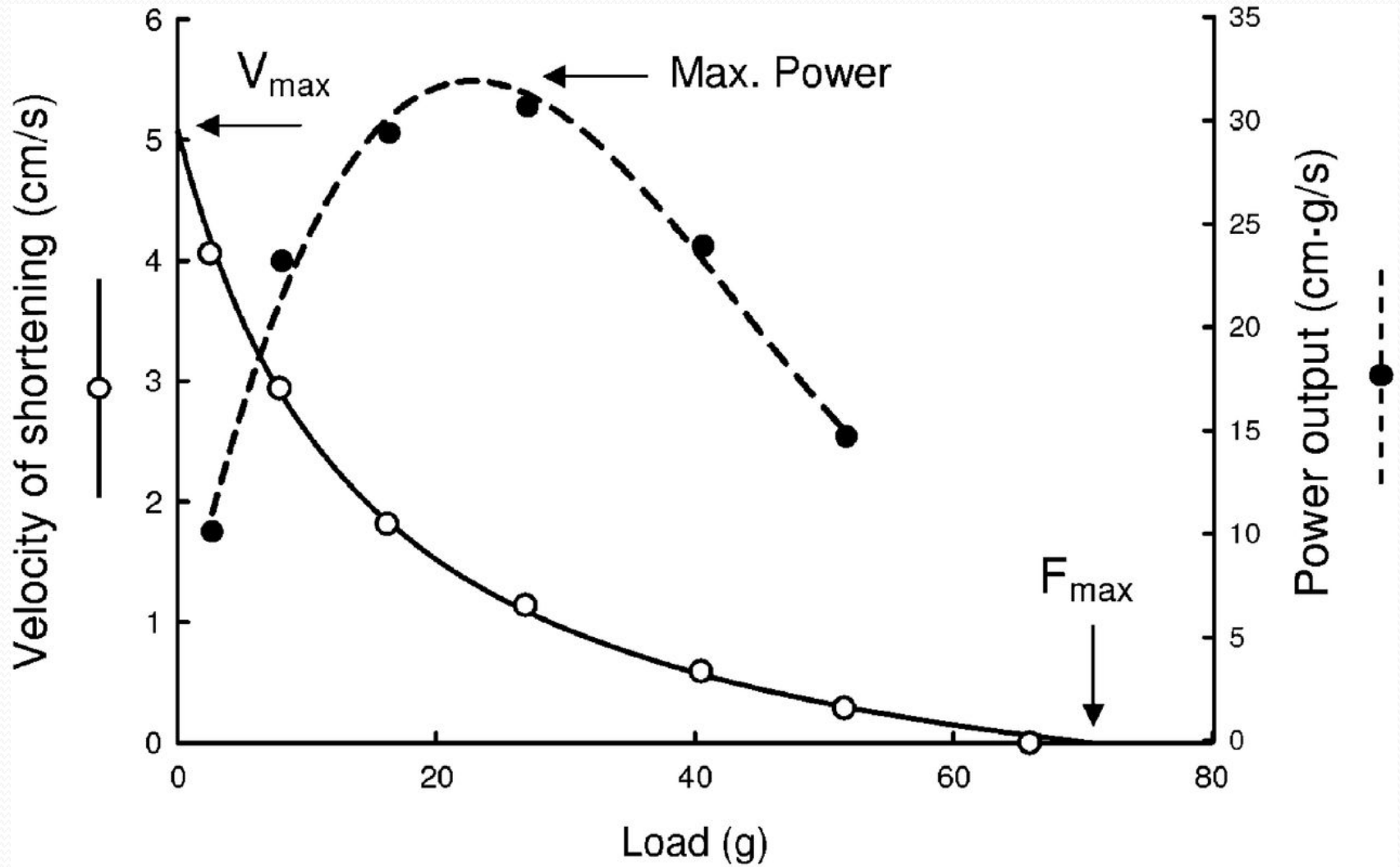
- S rostoucí rychlostí kontrakce se zmenšuje velikost vyvíjené síly



# Velikost zátěže vs. rychlost kontrakce



# Hillova křivka



# Energie při svalové kontrakci

- **Energie při svalové kontrakci**
  - produkce tepla – aktivační + zkracovací
  - Celková energie, uvolněná během pracovní fáze stahu, je dána vztahem ( $w$  = mechanická práce zdvihu):
    - $E = Q_a + Q_z + W$
- **Energie při svalové relaxaci**
  - relaxační teplo, kdy dochází k přeměně potenciální elastické energie uložené v PEE, SEE
- **Výkon svalu při svalové kontrakci**
  - Hillova křivka
  - Maximální výkon je dosažen při zatížení svalu, které odpovídá asi 1/3 velikosti maximální síly při izometrické kontrakci.
- **Účinnost svalu**
  - Přibližně 20 %

# Mechanické vlastnosti svalu

- Faktory: věk, pohlaví, zdravotní stav, denní doba (vliv hormonů), stupeň trénovanosti svalu, teplota atd.
- Pevnost
  - pro lidský sval mezi 0,26 až 0,90 MPa.
  - k nevratným změnám (deformaci) dochází po protažení svalu o 40–50 % klidové (fyziologické) délky. Přetržení svalu nastává až po změně klidové délky svalu na 1,5 až dvojnásobek.
  - pevnost maximálně kontrahovaného svalu – je rozdílná pro různé svaly, přibližná hodnota se pohybuje kolem 1,25 MPa (50–100x **menší než u šlach**)