

# Teoretická část

## Časová a prostorová sumace u kosterního svalu

### 1 Myografie a elektromyografie

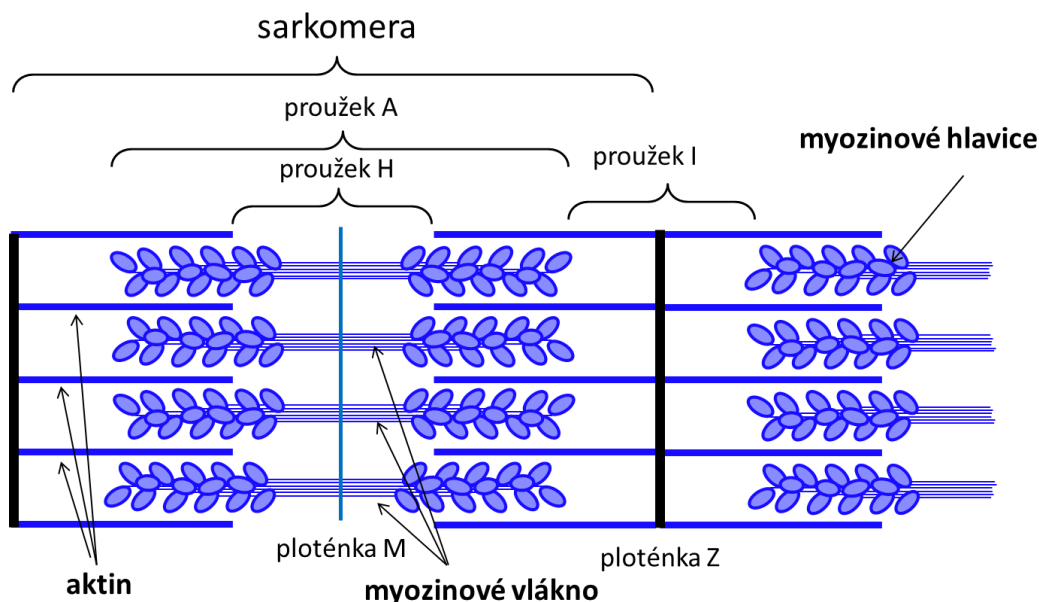
Myografie je metoda umožňující registraci kontrakce kosterního svalu. Naopak elektromyografie (EMG) je metoda sloužící k registraci elektrické aktivity svalu z tělesného povrchu diskovými elektrodami, nebo přímo z vlastního svalu vpichovými elektrodami.

### 2 Stavba svalového vlákna

Základem svalového vlákna jsou kontraktilní filamenta: aktin a myozin. Tenké myofilamentum je tvořeno aktinem. K aktinu se přikládá vlákno tropomyosinu asociované s troponinovým komplexem, který také přímo interaguje s aktinem. Navázání  $\text{Ca}^{2+}$  na troponin vede ke konformační změně tropomyosin-troponinového komplexu a odhalení vazebných míst na aktinu pro "hlavové" úseky myozinu.

Základní jednotkou tlustého myofilamenta je protein myozin. Tlusté myofilamentum je tvořeno tyčinkovitým úsekem, z kterého se oddělují globulární "hlavové" úseky. Každý hlavový úsek má ATPásovou aktivitu a obsahuje i vazebné místo pro aktin.

Tenké a tlusté myofilamenta jsou ve svalovém vlákne pravidelně uspořádány do sarkomer ohraničených Z-liniemi (Obrázek 1). Z-linie tvoří aktinová vlákna přecházející z jedné sarkomy do druhé. Na příčném řezu má sarkomera hexagonální uspořádání. Středovou strukturou je vlákno myozinu obklopené v místě překrytí aktinovými vlákny.



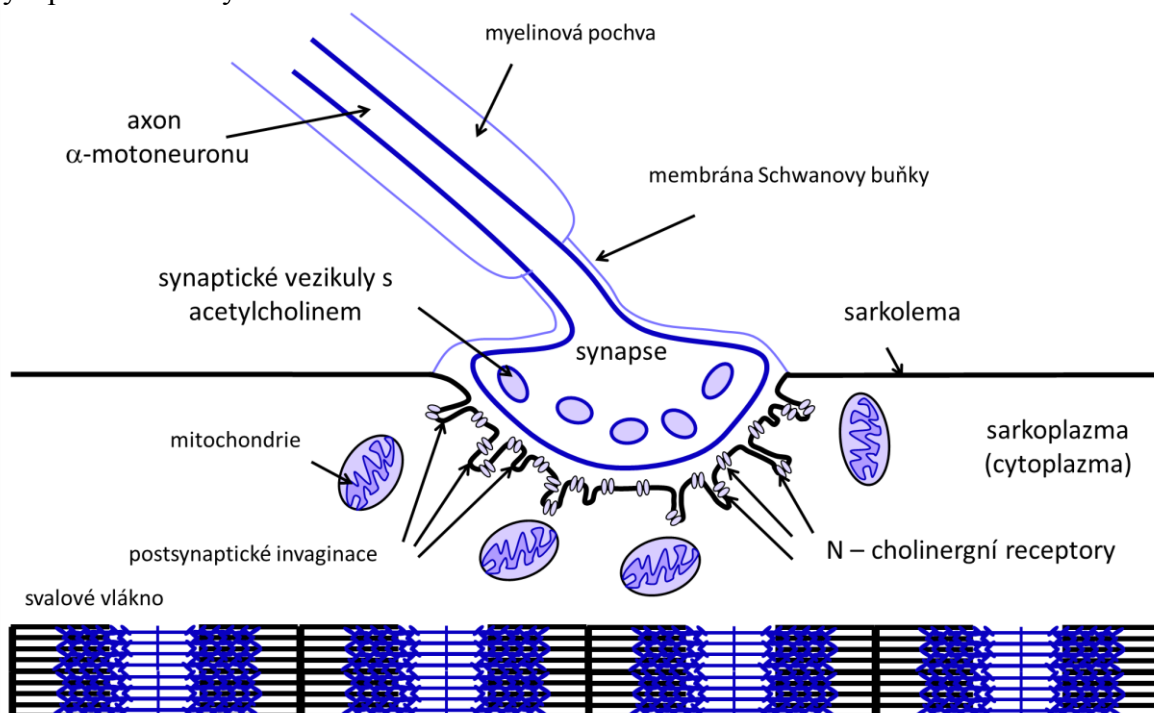
OBRÁZEK 1 STAVBA SVALOVÉHO VLÁKNA KOSTERNÍHO SVALU

**Typy svalových vláken:**

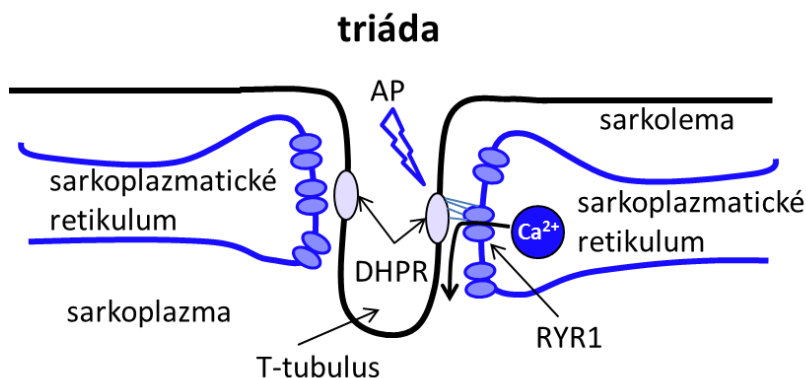
- **S** (pomalé) – málo se unaví, výhodné při dlouhodobém výkonu, mnoho mitochondrií, dobře prokrvené, mnoho myoglobinu
- **F** (rychlé) – rychlé kontrakce, rychle se unaví, hodně glykogenu, málo myoglobinu

**3 Spřažení excitace – kontrakce u kosterního svalu****Elektrická aktivace svalu**

Kosterní sval je inervován alfa motoneurony uloženými v předních rožích míšních. Akční potenciál šířící se po eferentních (odstředivých) axonech saltatorním typem vedení k oblasti nervového zakončení rozšiřujícího se do podoby *nervosvalové ploténky* (Obrázek 2). Dojde k vylití mediátoru acetylcholinu z nervového zakončení do extracelulárního prostoru – synaptické štěrbině.

**OBRÁZEK 2 NERVOSVALOVÁ PLOTÉNKA**

Acetylcholin se váže na acetylcholinové receptory (nikotinové) na postsynaptické membráně inervovaného svalu. Svou vazbou na acetylcholinový receptor způsobí otevření sodíkových kanálů a vznik depolarizačního *ploténkového potenciálu*. Pokud depolarizace na membráně svalového vlákna (sarkolemě) přesáhne prahovou hodnotu, vzniká akční potenciál. Akční potenciál se šíří po sarkolemě i do oblasti t-tubulů. T-tubuly představují vychlípeninu cytoplasmatické membrány do sarkoplazmy (cytoplasma svalového vlákna). V oblasti T-tubulů dochází k aktivaci DHPR (Dihydropyridinových receptorů), které jsou spřaženy s RyR (Ryanodinovými) 1 receptory na sarkoplasmatickém retikulu. Sarkoplasmatické retikulum je membránová organela schopná skladovat, uvolnit a odčerpávat  $\text{Ca}^{2+}$  ionty. T-tubuly se dvěma přilehlými cisternami sarkoplasmatického retikula vytvářejí v kosterní svalovině triády (Obrázek 3). Aktivace RyR 1 vede k vyplavení  $\text{Ca}^{2+}$  iontů ze sarkoplasmatického retikula. Koncentrace vápenatých kationtů v cytoplasmě následně vzroste až o čtyři řády a volné vápenaté kationty se difúzí šíří ke kontraktinímu aparátu (vlákna aktin a myozin) a váží se na troponin.



**OBRÁZEK 3 TRIÁDA JE KOMPLEX T-TUBULU (VCHLÍPENINA SARKOLEMY) A DVOU SARKOPLAZMATICKÝCH RETIKUL.**

### Mechanické děje ve svalu

Kontrakce svalu je aktivní děj, jejímž podkladem je vznik reverzibilních vazeb a vzájemným posun kontraktálních vláken: aktinu a myozinu. Tato interakce je řízena regulačním tropomyosin-troponinovým komplexem. Vápenaté ionty, které se po vzniku akčního potenciálu vylily ze sarkoplazmatického retikula do cytoplazmy, se navazují na troponin. Dojde tak ke konformační změně tropomyosin-troponinového úseku, čímž se na aktinu odhalí vazebná místa pro myozinové hlavice. Myozin má k vazebnému místu na aktinu silnou afinitu a dojde tak k vytvoření vazby mezi oběma vlákny. Každý hlavový úsek myozinu má zároveň ATP-ázovou aktivitu. Štěpení ATP je nezbytné proto, aby mohlo docházet ke vzájemnému posunu myozinu po aktinu: ohyb a uvolnění myozinové hlavice z aktinu (navázání hlavice na aktin ATP nevyžaduje). Není-li přítomen vápník v cytoplasmě, nedochází ke spojení vláken. Je-li přítomen vápník v cytoplasmě, ale je nedostatek ATP, dochází k trvalému spojení aktinu a myozinu a „zatuhnutí svalového vlákna“ (příčina posmrtného rigor mortis). Nepřichází-li další akční potenciál, jsou vápníkové ionty rychle „vyklizeny“ zpět do sarkoplazmatického retikula pomocí vápníkové ATP-ázy. Snížení koncentrace vápníkových iontů v sarkoplasmě a jejich disociace z komplexu vytvořeného s troponinem C vedou k zakrytí vazebných míst na aktinu pro myozinové hlavice. Aktin a myozin se tak rozpojují a nastává relaxace.

## 4 Motorická jednotka

Množství svalových vláken inervované jedním alfa motoneuronem nazýváme jako motorickou jednotku. Velikost motorické jednotky se liší dle typu svalu. Nejmenší motorickou jednotku najdeme v okohybných svalech, což zajišťuje dokonalou přesnost pohybu. Naopak největší motorické jednotky se nacházejí v antigravitačním posturálním svalstvu.

## 5 Stupňování síly kontrakce u kosterního svalu

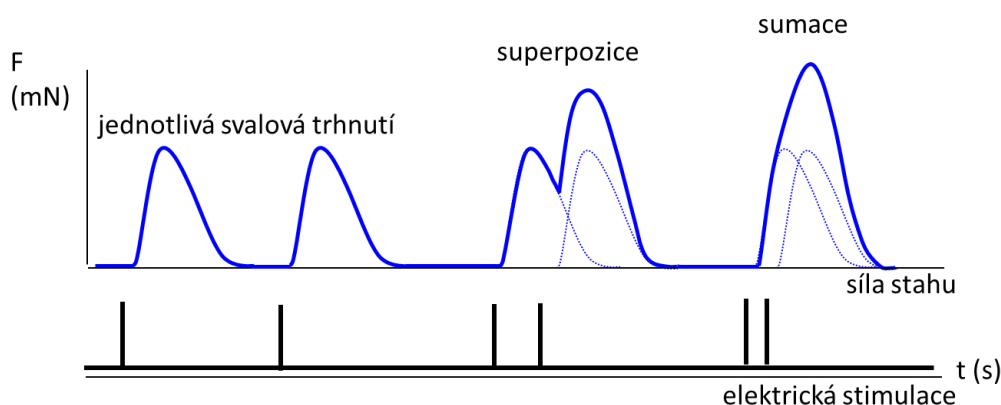
Odpovědí na podráždění alfa motoneuronu je stah svalových vláken, inervovaných tímto motoneuronem. Jedna kontrakce svalu vyvolaná jedním podnětem se nazývá *svalové trhnutí*. Myografický záznam má část vzestupnou, odpovídající postupnému zkracování, vrchol a část sestupnou, odpovídající postupnému ochabování (Obrázek 5). Trvání vzestupné a sestupné části křivky je rozdílné u různých svalů a u téhož svalu se mění v závislosti na stavu svalové

tkáně a na zevních faktorech (např. teplota). Stupňování síly stahu kosterního svalu se zajišťuje dvojím způsobem, a to prostorovou a časovou sumací.

### Časová sumace

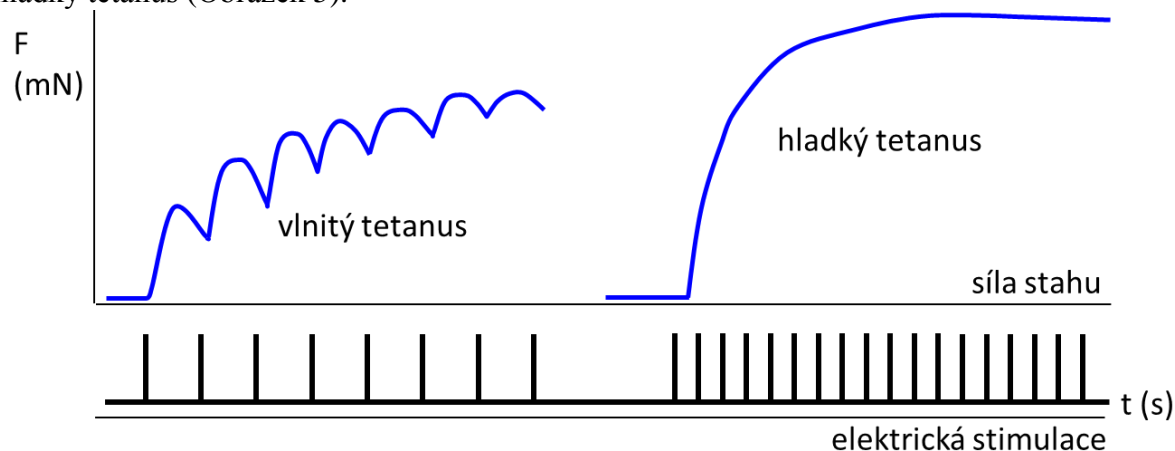
Časová sumace spočívá ve zkracování intervalu mezi podrážděním, tedy zvyšováním frekvence akčních potenciálů. Jednotlivý izolovaný podnět vede k trhnutí svalového vlákna, ale nevede k maximálnímu možnému zkrácení. Zvýšení frekvence akčních potenciálů vede k stimulaci svalového vlákna v průběhu předcházejícího trhnutí, tedy v době, kdy svalové vlákno nestačilo plně relaxovat na klidovou délku a dochází ke dvěma možným stavům – superpozici nebo sumaci (Obrázek 4). Při superpozici nastupuje druhý podnět v průběhu ochabování vlákna (na sestupné části křivky), u sumace se objevuje dříve a to v období vlastního zkracování (na vzestupné části křivky).

Zvyšování frekvence podnětů vede k častějšímu vyplavování vápníku do cytoplazmy, vápník není vyklízen zpět do sarkoplazmatického retikula dostatečně rychle a jeho koncentrace v plazmě zůstává vysoká a dokonce se lehce zvyšuje. Větší počet odhalených vazebných míst na aktinu pro myozin umožňuje více vazeb mezi vlákny a síla stahu tak roste.



**OBRÁZEK 4 ČASOVÁ SUMACE: VTAH SÍLY STAHU A FREKVENCE PODNĚTŮ.**

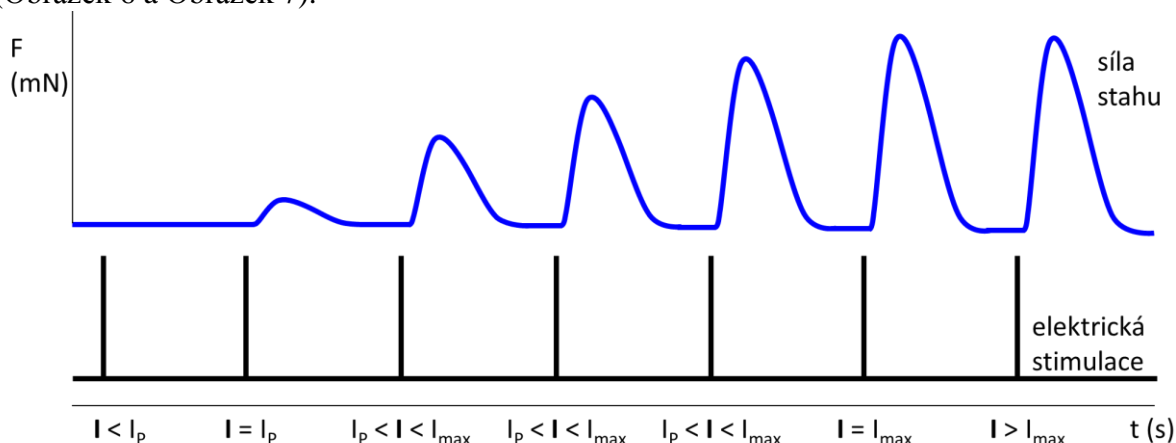
Dráždíme-li pak sérií rytmických podnětů, dostaneme trvalý – tetanický stah. Při nižší frekvenci dráždění (odpovídá frekvenci vedoucí k superpozici) vzniká neúplný – vlnitý tetanus při vyšší frekvenci dráždění (odpovídá frekvenci vedoucí k sumaci) vzniká úplný – hladký tetanus (Obrázek 5).



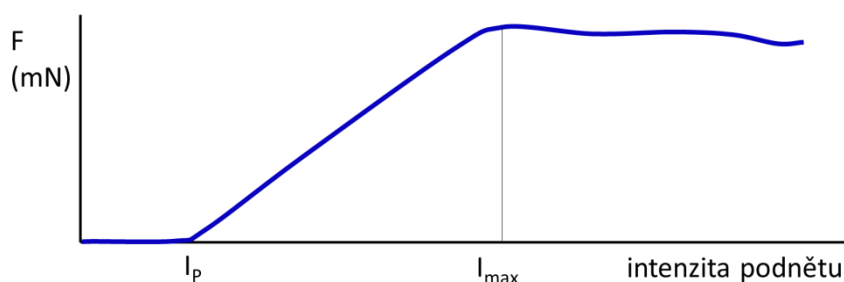
**OBRÁZEK 5 ČASOVÁ SUMACE: VZNIK HLADKÉHO A VLNITÉHO TETANU.**

## Prostorová sumace

Při prostorové sumaci dochází k současné aktivaci většího počtu alfa motoneuronů, tzn. nábor motorických jednotek a tím podmíněnou kontrakci svalových vláken. Množství aktivovaných motorických jednotek je přímo závislé na velikosti intenzity  $I$  a době jejího působení, tzn. čím větší je intenzita podnětu, tím vyšší bude síla stahu. Toto ovšem platí pouze v určitých hranicích. Je-li intenzita podnětu nižší než prahová intenzita  $I_p$ , žádná motorická jednotka se neaktivuje a ke kontrakci nedojde. Naopak přesáhne-li intenzita podnětu maximální intenzitu  $I_{max}$ , s dalším zvyšováním intenzity se síla stahu nebude stupňovat. V tomto okamžiku se na kontrakci podílí všechny motorické jednotky daného svalu a více jich už nabrat nelze (Obrázek 6 a Obrázek 7).

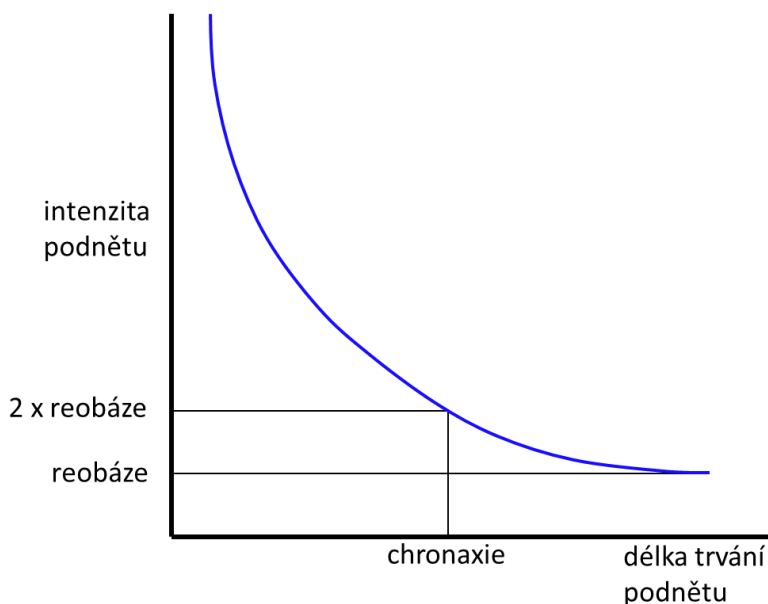


**OBRAZÉK 6 PROSTOROVÁ SUMACE KOSTERNÍHO SVALU. JE-LI PODNĚT  $I$  MENŠÍ NEŽ PRAHOVÁ HODNOTA PODNĚTU  $I_p$ , KE KONTRAKCI SVALU NEDOJDE. PŘEVÝŠÍ-LI  $I$  PRAHOVOU HODNOTU, PRVNÍ MOTORICKÉ JEDNOTKY SE AKTIVUJÍ A JSOU POZOROVÁNA SVALOVÁ TRHNUTÍ. S NARŮSTAJÍCÍM  $I$  ROSTE SÍLA STAHU. PŘESÁHNE-LI  $I$  MAXIMÁLNÍ HODNOTU  $I_{max}$ , VŠECHNY MOTORICKÉ JEDNOTKY JSOU JIŽ AKTIVOVÁNY A SÍLA STAHU SVALU SE NEZVYŠUJE.**



**OBRAZÉK 7 PROSTOROVÁ SUMACE GRAF: ZÁVISLOST SÍLY STAHU NA INTENZITĚ PODNĚTU**

Čím vyšší je intenzita podnětu, tím kratší může být trvání podnětu, aby byla vyvolána kontrakce, a naopak. Na této závislosti jsou definovány termíny reobáze a chronaxie. Reobáze reprezentuje nejnižší intenzitu, která je ještě schopna vyvolat kontrakci, tento podnět však musí trvat velmi dlouho. Naopak chronaxie představuje dobu, po kterou je k vyvolání kontrakce nutno působit intenzitou rovnou dvojnásobku reobáze (Obrázek 8).



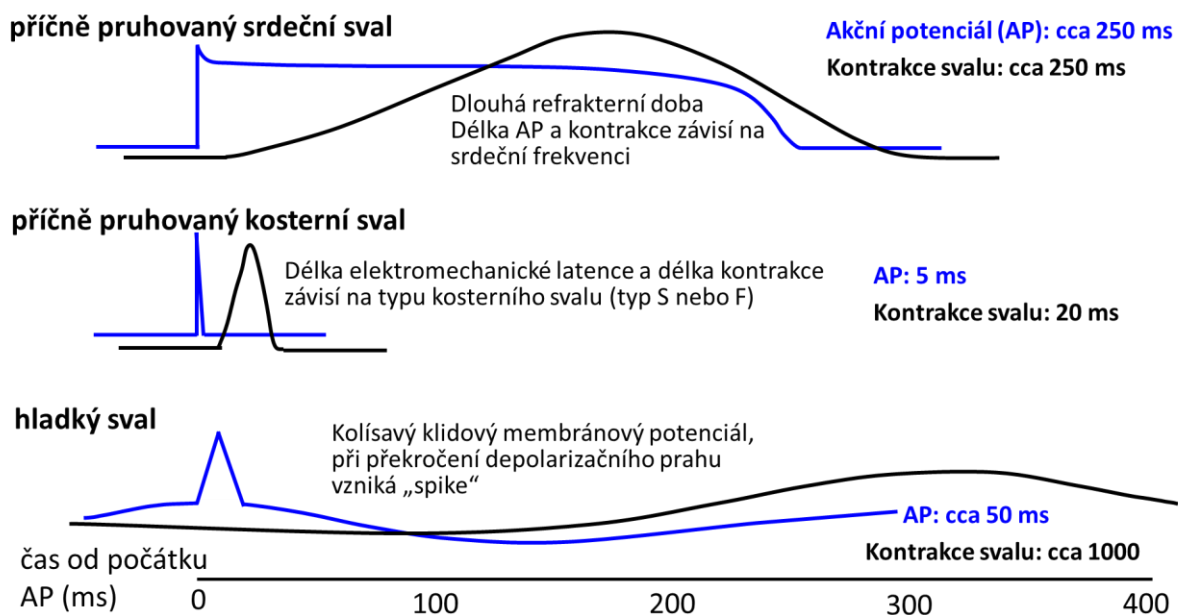
**OBRAZÉK 8 VZTAH INTENZITY PODNĚTU A DÉLKY TRVÁNÍ PODNĚTU, KTERÉ JSOU NUTNÉ PRO VYVOLÁNÍ STAHU. REOBÁZE PŘEDSTAVUJE NEJMENŠÍ INTENZITU PODNĚTU, KTERÁ JE NUTNÁ PRO VYVOLÁNÍ STAHU, BYĚ BY PODNĚT MUSEL TRVAT VELICE DLOUHOU DOBU. CHRONAXIE JE DÉLKA TRVÁNÍ PODNĚTU, KTERÁ JE NUTNÁ PRO VZNIK STAHU, JE-LI INTENZITA PODNĚTU ROVNÁ DVĚMA REOBÁZÍM.**

## 6 Srdeční sval

Přestože příčně pruhovaný srdeční sval má mnoho společného s příčně pruhovaným kosterním, funkce srdečního svalu vedla k mnoha fyziologickým odlišnostem mezi oběma typy. Popisování hladkého svalu by bylo nad rámec tématu. Proto je doporučeno podívat se v učebnici na fyziologické rozdíly mezi typy svalu. Zde budou vyjmenovány jen některé příklady.

Jedním z rozdílů je délka akčního potenciálu a délka stahu. Kosterní sval má akční potenciál trvající 5 ms a kontrakci dlouhou cca 20 ms, zatímco buňka komorového pracovního myokardu má akční potenciál dlouhý cca 250 ms a stejně dlouho trvající kontrakci (Obrázek 9). Akční potenciál srdeční buňky je významně prodloužený kvůli refrakterní fázi (fáze plató), ve které nemůže vzniknout další akční potenciál. Tímto se srdeční sval brání vzniku tetanického stavu, který by byl život ohrožující.

**Pozor**, uvedená trvání akčních potenciálů a délky stahu jsou pouze orientační a slouží k porovnání obou typů svalů. Délka akčního potenciálu srdečního svalu je velice proměnná v závislosti na srdeční frekvenci a umístění buňky (síně či komory). Délka kontrakce kosterního svalu závisí na typu svalu, S nebo F.

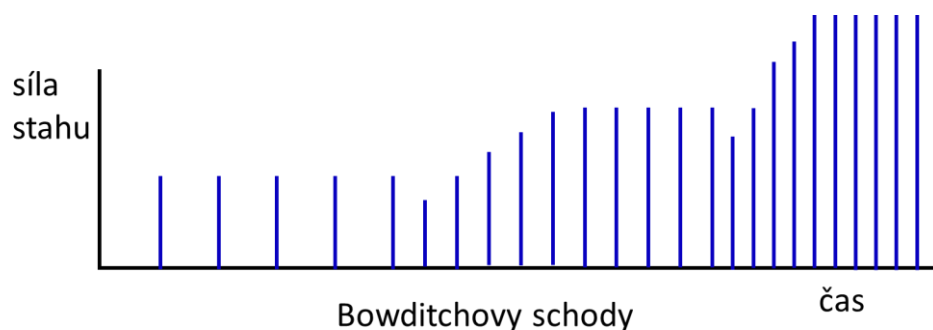


**OBRÁZEK 9 SROVNÁNÍ TRVÁNÍ AKČNÍCH POTENCIÁLŮ (AP, MODŘE) A KONTRAKCÍ JEDNOTLIVÝCH TYPŮ SVALŮ (ČERNĚ): SRDEČNÍ, KOSTERNÍ A HLADKÝ SVAL. GRAFY JSOU NA ČASOVÉ OSE ZAROVNÁNY PODLE POČÁTKŮ AP. AMPLITUDA AP A SÍLA STAHU JSOU POUZE RELATIVNÍ, ZDE NEJSOU UVEDENÉ REÁLNÉ POMĚRY.**

### Homeometrická autoregulace (frekvenční je)

Ačkoliv v srdečním svaly nemůže vzniknout časová sumace v pravém slova smyslu, existuje zde jistá analogie, která se nazývá frekvenční jev (homeometrická autoregulace). V principu se zvyšující se srdeční frekvencí roste síla srdeční kontrakce. Příčina je opět podobná (ne však stejná) jako v případě kosterního svalu – svou úlohu zde hraje vápník. Srdeční sval ovšem využívá nejen intracelulárního vápníku (z retikula) ale i extracelulárního vápníku. Se zvyšující se srdeční frekvencí roste poměr koncentrace intracelulárního ku extracelulárnímu vápníku, což posiluje sílu stahu. Kdybychom vyjmuli srdeční svalové vlákno a měřili sílu kontrakce v závislosti na frekvenci podnětů, dostali bychom tzv. Bowditchovy schody (Obrázek 10).

Homeometrická autoregulace umožňuje zvyšovat nebo alespoň udržet sílu srdeční kontrakce i při vyšší srdeční frekvenci, kdy nejsou srdeční komory dostatečně plněny krví kvůli zkrácení plnicí fáze diastoly. Bez tohoto mechanismu by došlo k poklesu systolického objemu (objem krve vypuzený srdcem během jedné kontrakce) kvůli Frank-Starlingově principu (viz dále).

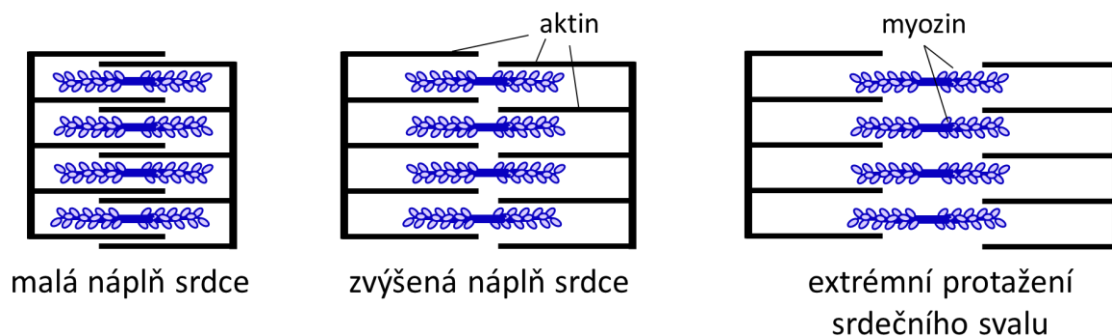


**OBRÁZEK 10 FREKVENČNÍ JEV. ZÁVISLOST SÍLY KONTRAKCE VLÁKNA SRDEČNÍHO SVALU NA SRDEČNÍ FREKVENCÍ. VERTIKÁLNÍ LINKY PŘEDSTAVUJÍ JEDNOTLIVÉ KONTRAKCE. BEZPROSTŘEDNĚ PRVNÍ STAH PO ZVÝŠENÍ SRDEČNÍ FREKVENCE JE SNÍŽENÝ. POTÉ SE SÍLA KONTRAKCE ZVYŠUJE, DOKUD SE NEUSTÁLÍ NA URČITÉ HODNOTĚ.**

### Heterometrická autoregulace (Frank-Starlingův princip)

Heterometrická autoregulace srdečního svalu vychází ze vztahu protažené svalového vlákna a síly následné kontrakce: se zvyšující se náplní srdce (protažení srdečního svalu) roste síla stahu. Příčiny tohoto jevu jsou dva: 1) vzájemný vztah aktinu a myozinu při různém protažení vláken (Obrázek 11), 2) protažení vlákna zvyšuje citlivost troponinu k vápníku.

Náplň komor se v každém srdečním cyklu dokonce i v klidu lehce mění, taktéž v náplni pravé a levé komory jsou lehké odchylky. Kromě toho jakákoliv fyzická aktivita rychle změní žilní návrat krve do srdce a náplň komor. Starlingův princip tyto odchylky snadno a rychle kompenzuje: větší náplň komory, více krve je vypuzeno. Zabrání se tak městnání krve před srdcem, ke kterému by docházelo, kdyby tato regulace byla ponechána na pomalejších regulačních reflexních mechanismech.



**OBRÁZEK 11 OBRÁZEK: FRANK-STARLINGŮV PRINCIP. JE-LI NÁPLŇ SRDEČNÍ KOMORY MALÁ, VLÁKNA AKTINU SE PŘEKRÝVAJÍ A JE TAK ZABRÁNĚNO NAVÁZÁNÍ NĚKTERÝCH MYOZINOVÝCH HLAVICÍ – SÍLA STAHU JE NIŽŠÍ. JE LI NÁPLŇ KOMOR ZVÝŠENA, AKTINOVÁ VLÁKNA SE NEPŘEKRÝVAJÍ A JE K DISPOZICI VÍCE VAZEBNÝCH MÍST PRO MYOZINOVÉ HLAVICE – SÍLA STAHU SE ZVÝŠÍ. V EXTRÉMNÍCH PATOLOGICKÝCH PŘÍPADAČECH JE SRDEČNÍ SVAL ROZTAŽEN TAK, ŽE DOCHÁZÍ K ROZPOJENÍ AKTINOVÝCH A MYOZINOVÝCH VLÁKEN – SÍLA STAHU PRUDCE KLESÁ.**



# Teoretická část

## Reflexy u člověka

### Reflex

Reflex je mimovolní odpověď organismu na podráždění receptorů, jejímž podkladem je reflexní oblouk. Každý reflexní oblouk je tvořen receptorem, aferentní dráhou (dostředivá), centrem, eferentní dráhou (odstředivá) a efektor (ve stejném pořadí). Smyslem reflexů je ochrana (snížení intenzity škodlivého podnětu) nebo korekce nechtěných změn.

Vyvolání reflexu vede k stereotypní reflexní odpovědi, která je do jisté míry pod vlivem nadřazených struktur CNS. Na alfa motoneuronu tedy dochází k integraci signálů z vyšších oddílů CNS, především motorické kůry a z drážděných receptorů cestou aferentních drah. Čím více synapsí se nachází v reflexním oblouku a čím komplexnější je reflex, tím více může být modulován z vyšších nervových center.

**Jelikož jednotlivé reflexy mají striktně definované dráhy, jejichž poškození vede k změně reflexní odpovědi, umožňuje vyšetření reflexů přesně topicky lokalizovat místo léze nervového systému.**

### Typy reflexů

#### Podle receptoru

- Proprioreceptorový – receptor je součástí efektorového orgánu (proprioreceptor – šlachové tělíčko, svalové vřetenko, receptory v kloubech)
- Exteroreceptorový – efektorový orgán je jinde než receptor, může být více efektorových orgánů (receptory tlaku, tepla, chladu, bolesti,...)
- Interoreceptorový (viscerální)
- Smyslové (receptorem je smyslový orgán: oko, ucho včetně vestibulárního systému, chuťové a čichové buňky,...)

#### Podle efektorů

- Somatické (např. proprioreflexy)
- Autonomní (vegetativní, např. baroreflex, dávicí nebo kýchací reflex,... mnoho autonomních reflexů obsahuje i somatickou složku)

#### Podle získání reflexu

- Vrozené – nepodmíněné
- Získané – podmíněné

#### Podle toho, kde je centrum reflexu

- Centrální – centrum v CNS (mozek, mícha)
- Extracentrální – centrum mimo CNS (gangliový, axonový reflex)

#### Podle počtu neuronů (počtu synapsí mezi aferentním a eferentním neuronem)

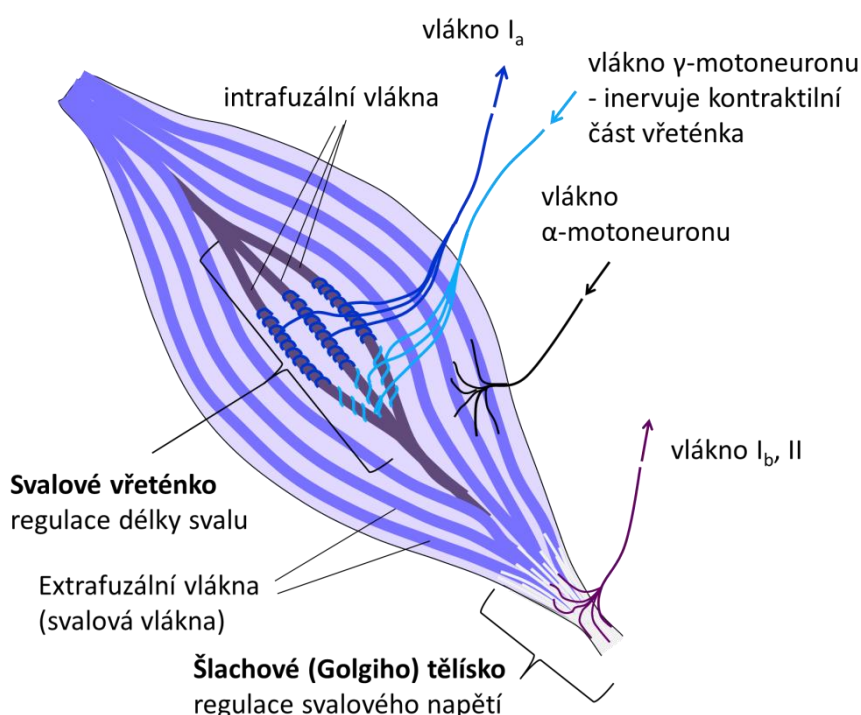
- Monosynaptické (např. napínavý reflex)
- Bisynaptické – do reflexní dráhy je zařazen jeden interneuron (např. obrácený napínavý reflex)

- Polysynaptické – do reflexního oblouku je zařazen dva a více interneuronů (např. flexorový a extenzorový reflex)

Praktikum bude zaměřené na jednodušší reflexy.

## Proprioreceptory a proprioreflexy

Proprioreceptory jsou tzv. vlastní (z lat. proprius, vlastní) recety, které se účastní proprioreflexů. Proprioreflex je reflex, kde receptor je umístěn v efektorovém orgánu. Do proprioreceptorů patří svalové vřeténko, šlachové (Golgiho) tělíčko a receptory v kloubech (Obrázek 12). Svalové vřeténko je receptorem *napínacího reflexu* a šlachové tělíčko je receptorem *obráceného (inverzního) napínacího reflexu*. Vzhledem k umístění receptorů v pohybovém systému je jejich hlavní funkcí registrace a regulace polohy a pohybu těla a udržování svalového tonu a rovnováhy (odolávání gravitaci).



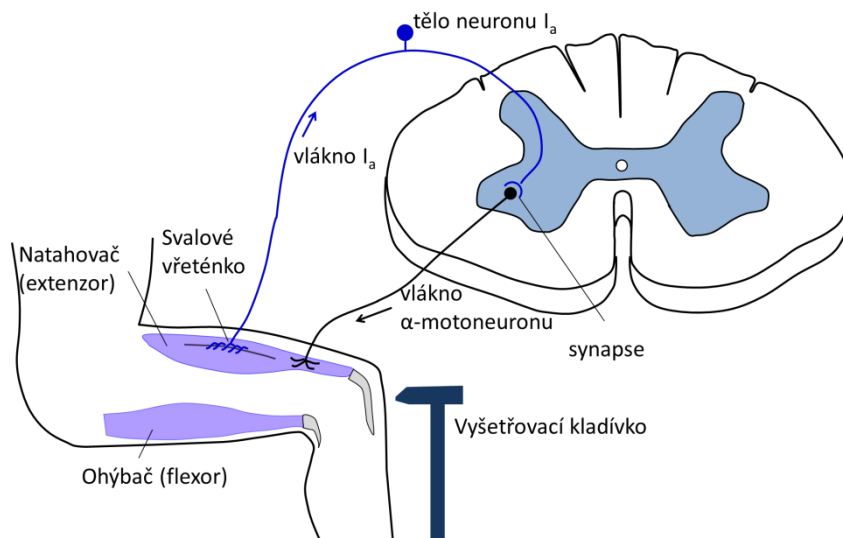
**OBRÁZEK 12 PROPRIORECEPTORY: SVALOVÉ VŘETÉNKO A ŠLACHOVÉ TĚLÍSKO**

### Napínací reflex – regulace nechtěného protažení svalu

Receptorem napínacího reflexu je svalové vřeténko. Svalové vřeténko je umístěno paralelně s ostatními (extrafuzálními) svalovými vlákny (obrázek). Skládá se z intrafuzálního vlákna, které má nekontraktilní střed a kontraktilní konce. Na nekontraktilní části vřeténka jsou umístěna zakončení aferentního nervového vlákna typu Ia. Tato zakončení jsou citlivá na protažení. Kontraktilní část vřeténka je inervována eferentním  $\gamma$ -motoneuronem, které může měnit délku vřeténka.

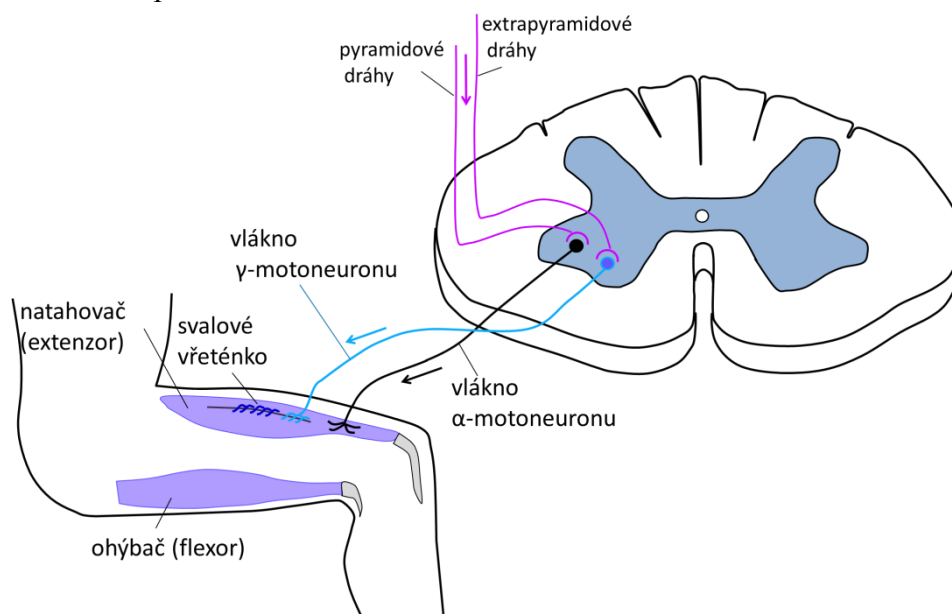
Funkcí napínacího reflexu je regulovat nechtěná protažení svalu. Dojde-li k takovému protažení, protáhnou se i nekontraktilní části svalového vřeténka, což je zaznamenáno nervovými zakončeními. Informace o protažení svalu je vedena Ia nervovými vlákny do zadních míšních rohů (Obrázek 12). V míše se přepojuje přes jednu excitační synapsi na  $\alpha$ -motoneuron, který inervuje ten stejný sval, ve kterém je podrážděné vřeténko umístěno.

Reakcí na podráždění svalového vřeténka je stah příslušného svalu. Vzhledem k jednoduchosti reflexu a jedné synapsi v reflexním oblouku, je tento reflex velice standartní a rychlý.



**OBRÁZEK 13 NAPÍNACÍ REFLEX. REFLEX JE VYVOLÁVÁN ŤKNUTÍM VYŠETŘOVACÍHO KLAĐÍVKA NA ŠLACHU, ČÍMŽ DOJDE K LEHKÉMU LEČ NECHTĚNÉMU PROTAŽENÍ SVALU PŘÍSLUŠEJÍHO ŠLAŠE. TEDY AČKOLIV ŤKÁME NA ŠLACHU, DRÁŽDĚNO JE SVALOVÉ VŘETÉNKO.**

V případě, že z vyšších nervových center přijde povel k záměrnému protažení svalu, dojde k inhibici jak  $\alpha$ -motoneuronu inervujícího sval, tak  $\gamma$ -motoneuronu inervujícího kontraktilní část svalového vřeténka (Obrázek 14). Sval i svalové vřeténko se zároveň prodlouží a tak nedojde k vyvolání reflexu. Cílem  $\gamma$ -motoneuronu je regulovat protažení vřeténka a tím i jeho citlivost na protažení svalu.

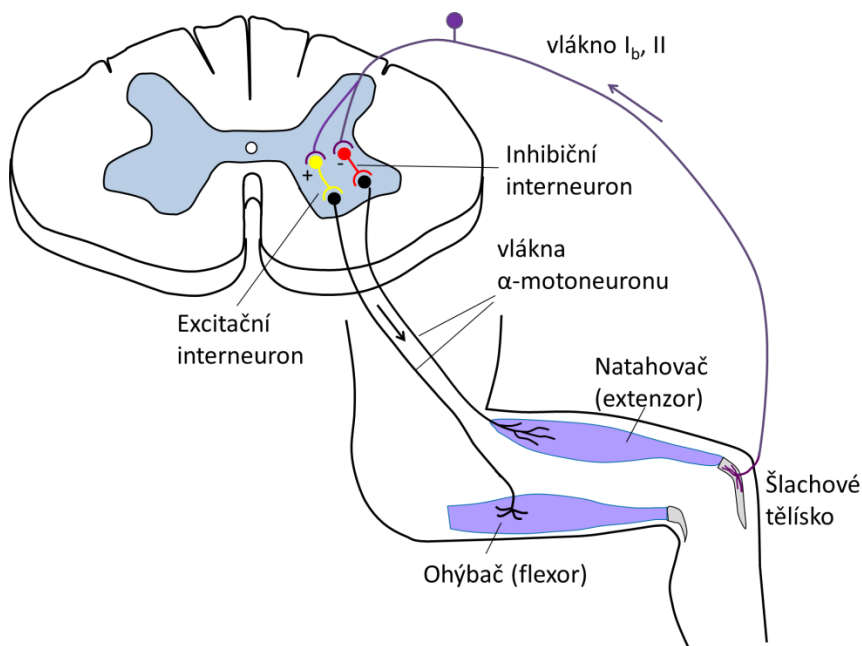


**OBRÁZEK 14 FUNKCE  $\gamma$ -MOTONEURONU**

### Obrácený napínací reflex

Receptorem obráceného napínacího reflexu je šlachové (Golgiho) tělísko. Tělísko je ke zbylým svalovým vláknům umístěno sériově a registruje napětí ve svaly. Z tělíska vedou

nervová aferentní vlákna I<sub>b</sub> nebo II do zadních míšních rohů (Obrázek 15). Zde se nervová vlákna přepojují přes jeden inhibiční interneuron na  $\alpha$ -motoneuron daného svalu. Zároveň dojde k přepojení přes jeden excitační interneuron na  $\alpha$ -motoneuron antagonistického svalu. Při zvýšeném napětí ve svalu a podráždění šlachového tělíska dojde k relaxaci příslušného svalu a kontrakci antagonistického svalu. Tento reflex chrání sval a šlachy před natržením. Citlivost šlachového tělíska je výrazně menší než svalového vřeténka, proto tyto reflexy většinou nepůsobí proti sobě. Inverzně napínací reflex je vyvolán až silným napětím ve šlachách.



**OBRÁZEK 15 OBRÁCENÝ NAPÍNACÍ REFLEX**

## Únikové reflexy: flexorový a zkřížený extenzorový reflex

Reakcí na bolestivý podnět (podráždění nociceptoru) je reflexní odtažení dané části těla od zdroje bolesti – *flexorový reflex*. Například při šlápnutí na hřebík dojde k flexi (pokrčení) nohy v koleni. Je-li podnět intenzivní, dojde nejen k flexi poškozené končetiny, ale zároveň i k extenzi (natažení) druhé nohy – *zkřížený extenzorový reflex*. Extenze druhé nohy umožní zachovat stabilitu. Informace se přenáší i do sousedních míšních segmentů, kde jsou aktivovány analogické motoneurony. Cílem těchto ochranných reflexů je zabránit poškození tkáně jejím oddálením od zdroje poškození. Jedná se o polysynaptické míšní *exteroreceptorové reflexy*, které jsou regulovány z vyšších nervových center. Například chceme-li chodit po žhavém uhlí, bude tento reflex značně utlumen.

# Teoretická část

## Reflex Achillovy šlachy

### Vyšetření reflexu Achillovy šlachy

Reflex Achillovy šlachy se řadí do skupiny propioceptivních monosynaptických reflexů. Reflex je vyvolán úderem na Achillovu šlachu specifickým reflexním kladívkem zvaným trigger. Náraz triggeru na šlachu vede k protažení svalu a tím podráždění svalových vřetének v musculus triceps surae. Informace o podráždění svalových vřetének je přenášena aferentními vlákny nervus tibialis do míšních segmentů L5-S2. Zde se aferentní vlákna zakončují na příslušných alfa motoneuronech, které stimulují cestou eferentních vláken nervus tibialis kontrakci musculus triceps surae. Vyšetřující pozoruje plantární flexi v kotníku vyšetřovaného.

Reflexní odpověď svalu je tvořena dvěma komponentami - elektrickou odpovědí a mechanickou odpovědí. Elektrická odpověď je představovaná depolarizací membrán svalových vláken. Sumací všech svalových vláken svalu vzniká **sumační akční svalový potenciál (CMAP)**, který je možno snímat povrchovými elektrodami (elektromyograficky) a u kterého se hodnotí velikost (amplituda) a zpoždění od podnětu (latence).

Na základě různého stimulačního impulzu rozlišujeme dva typy reflexu. T-reflex je vyvolaný úderem triggeru na šlachu svalu vedoucí vždy ke kvantitativně rozdílné odpovědi. Naopak H-reflex je spuštěn elektrickým impulzem submaximální intenzity. Stimulační elektroda je umístěná v blízkosti nervus tibialis ve fossa poplitea a vyvolává pokaždé skoro identickou odpověď svalu.

Mechanickou odpověď svalu (jeho zkrácení a návrat do původní délky - relaxaci) registrujeme např. pomocí **kloubního goniometru**, připevněného na lýtko a nohu. Jedná se o dvě plastové krabičky spojené ohebným drátem, ve kterém se nachází dvě optická vlákna. Úhel mezi krabičkami, tedy míra ohnutí drátu, určuje množství světla procházejícího optickými vlákny. Pohyb v kloubu se tak převádí na elektrický signál na výstupu snímače. Derivací pak získáme rychlost kontrakce a relaxace. Jiný způsob měření mechanické odpovědi reflexu Achillovy šlachy představuje např. indukční snímač a magnet umístěný na patě. Toto měření se dříve využívalo v klinice při orientačním vyšetření funkce štítné žlázy, případně ke kontrole terapie její poruchy, kdy se hodnoty tímto způsobem získaných parametrů upravují až jako poslední. Při hyperfunkci je mechanická odpověď zkrácena, při hypofunkci je naopak prodloužena.

### Funkce štítná žláza

Štítná žláza je žlázou s vnitřní sekrecí produkující hormony ovlivňující metabolismus celého našeho těla. Vlastní žláza je uložena v oblasti krku před tracheou a je tvořena dvěma laloky spojenými istmem. Vlastní parenchym je tvořen žlázovými folikuly. V jejich centru se nachází koloid, tvořící zásobárnu thyroïdních hormonů. Folikuly jsou obklopeny bohatě se větvícími fenestrovanými kapilárami a parafolikulárními C-buňkami produkující hormon kalcitonin.

Produkce thyroïdních hormonů je závislá na dostatečném příjmu jódu, který je esenciální součástí jejich lipofilní molekuly. Jód je vstřebáván do folikulárních buněk z krve v podobě jodidu a enzymem tyreoperoxidázou je oxidován na elementární jód a pumpován do koloidu. Zde se váže na tyrozylové zbytky proteinu tyreoglobulinu bohatě zastoupeného v koloidu,

jehož molekula obsahuje více než 100 tyrozinových aminokyselin. Spojením jodovaných mono a diiodtyrosylů vznikají vlastní tyroidní hormony trijodthyronin (T3) a tetrajodthyronin (T4, či tyroxin). T3 je aktivní forma, která na periférii vzniká dejodací z T4 enzymem 5'-dejodázou. Obě formy hormonu jsou v krvi transportovány ve vazbě na proteiny – tyroxin-vázající globulin a albumin.

## Účinky

Thyroidní hormony, jako všechny lipofilní hormony, prostupují přes cytoplasmatickou membránu a váží se na intracelulární receptory – thyroideální receptor. Receptory s navázanými hormony vytváří dimery a prostupují do jádra, kde ovlivňují transkripci genů. Účinky se projeví zvýšenou produkcí Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> ATPázy, zmnožením mitochondrií a jejich krist, beta receptorů a zvýšená produkce enzymů glykolýzy, lipolýzy a glukoneogeneze.

## Hypertyreóza

Hyperthyreóza je onemocnění spojené s nadměrnou produkcí thyroideálních hormonů. Pacient je typicky hyperaktivní, roztěkaný a emočně labilní. Objektivně pozorujeme astenického pacienta s výrazným třesem a zvýšené pocení. Většina pacientů má také výrazný bilaterální exoftalmus, způsobený zmnožením vazivové tkáně v orbitě. Vyšetřením pacienta odhalíme zvýšení rychlosti reflexu Achillovy šlachy, tachykardii se zvýšeným tlakem a často doprovázenou i palpitacemi.

## Hypotyreóza

Nedostatek thyroideálních hormonů známý jako hypotyreóza se u dospělých projevuje celkovým zpomalením, snížením intelektu, únavností a apatií. Kvůli snížení bazálního metabolismu pacienti postupně přibírají na váze. V oblasti krku a obličeje vzniká typický otok zvaný myxedém. Vlasy a chlupy ztrácí svou kvalitu a pacienti mají často studenou periférii, časté jsou i pocity chladu. Při vyšetření je typická bradykardie a snížení rychlosti reflexů Achillovy šlachy.

U dětí se hypotyreóza projevuje jako kretenismus. Děti trpí disproporciálním nanismem (tělesné proporce nejsou zachovány), výrazným zpomalením psychomotorického vývoje, apatií, bradykardií a problémy s udržení tělesné teploty.

# Teoretická část

## Vyšetření vzpřímeného postoje

Vzpřímený postoj je vlastnost člověku typická. Jeho udržení je detailně koordinováno vzájemně spolupracujícími aktivními systémy – kostrou těla spolu s antigravitačním posturálním svalstvem. **Přesnou koordinaci zajišťuje CNS na základě informací přicházejících z proprioreceptorů ve svalech a šlachách, taktilní receptory na chodidlech, zrak a vestibulární systém.**

Řízení vzpřímeného postoje centrálním nervovým systémem spočívá v neustálé korekci výchylek našeho těžiště vůči rovnovážné poloze, což se projevuje změnou tonu antigravitačního svalstva. Tyto změny jsme schopni detekovat za pomoci stabilometrie v podobě momentů opěrných sil detekovaných na ploše. Jedná se o mechanicko-elektrický převodník s automatickým vyrovnáváním vlivu hmotnosti subjektu na stabilometrické signály. Projevem posturální aktivity jsou permanentní výchylky těla okolo vertikály. Parametry těchto výchylek, jejich velikost, četnost aj. charakterizují biomechaniku vzpřímeného postoje a jsou podkladem k přesnému určení jeho poruch. Výchylky lze zapsat v čase jako stabilogram, nebo ve vektorové formě jako statokinesigram.

Stabilometr ve spojení s počítačem umožňuje objektivní hodnocení stability vzpřímeného postoje člověka v různých testech (např. Bracht-Rombergův test v neurologii), hodnocení účinnosti vestibulárního systému při udržování vzpřímeného postoje, záznam vestibuloposturálních reakcí vyvolaných drážděním galvanickým proudem, teplem, pohybem, rehabilitační cvičení vzpřímeného postoje pomocí zpětnovazebné informace, biomechanickou analýzu a trénink vzpřímeného postoje při rozličných druzích sportu (střelci, vzpěrači apod.).

# Teoretická část

## Závrat' a nystagmus

*Závrat'* neboli *vertigo*, je subjektivně vnímaný pocit ztráty rovnováhy, rotace okolí nebo rotace těla v prostoru. Objektivně může být závrat' provázena ztrátou rovnováhy, nystagmem, pocením, bledostí, změnami dechové a tepové aktivity a subjektivním pocitem na zvracení (nauzeou).

*Nystagmem* rozumíme rytmické pohyby očních bulbů, skládající se ze dvou komponent: pomalé deviace očních bulbů k jedné straně a prudkého, rychlého trhnutí opačným směrem (sakády). Nystagmus je příznakem patologie vestibulárního systému nebo mozečku. Naopak, fyziologicky nystagmus dělíme na *optokinetický nystagmus* a *postrotační nystagmus*.

### Při hodnocení nystagmu v klinice hodnotíme:

- *směr* – určuje se podle rychlé sakadické složky (např. nystagmus „bije“ doprava nebo doleva), ačkoliv vlastní reflexní odpověď na dráždění labyrintů je pomalá výchylka a rychlá složka představuje pouze její kompenzaci zprostředkovanou mozkovým kmenem.
- *frekvenci* – rychlý nebo pomalý nystagmus a amplitudu – hrubý a jemný nystagmus
- *rovinu* – horizontální, vertikální, diagonální, krouživý
- *stupeň* – nystagmus přítomný pouze při pohledu ve směru rychlé složky (1. stupeň), přítomný i při pohledu přímém (2. stupeň) nebo i při pohledu ve směru pomalé složky (3. stupeň).

### Postrotační nystagmus

Tento nystagmus může být pozorován jednak po rotaci na točité židli anebo ve stoje, kdy jedinec koná aktivní rotaci. Při rotaci s hlavou v předklonu o 30° se nachází horizontální kanálek právě v rovině rotace a dochází k největšímu dráždění vláskových buněk. Při náhlém zastavení proudící endolymfa díky své setrvačnosti ještě chvíli v kanálku rotuje a dráždí vláskové buňky vyvolávající u vyšetřovaného pocit stálého pohybu. Spoje vestibulárních jader převádějí informaci do jader řídicích oční pohyby (vyvolávající nystagmus), míchy (vyvolávající nestabilitu postoje a chůze s tendencí k pádu) a do retikulární formace podmiňující vegetativní příznaky jako je nauzea, bledost atd. Směr pomalé složky očních pohybů kopíruje směr toku endolymfy. Směr rychlé trhavé složky očních pohybů a tedy i směr nystagmu bude proti směru rotace.

Kromě postrotačního nystagmu existuje ještě perrotanční nystagmus, který lze pozorovat v počátečních okamžicích rotace. V tuto chvíli se endolymfa svou setrvačností pohybuje proti směru rotace a směr nystagmu tedy bude ve směru rotace.

### Optokinetický nystagmus

Tento nystagmus představuje pravidelné pohyby očí zajišťující stabilizaci obrazu pozorovaného objektu v místě neostřejšího vidění na sítnici (ve žluté skvrně). Vyskytuje se při stabilní poloze hlavy. Pomalá sledovací složka nystagmu umožňuje fixaci pohybujícího se předmětu, rychlá sakadická složka nystagmu umožní přeskočení pozornosti na jiný předmět. Tento nystagmus lze pozorovat i při rovnoměrném pohybu hlavy bez zrychlení, například během jízdy autem konstantní rychlostí při sledování míhajících se objektů podél silnice.