REFLEXNÍ OVLIVNĚNÍ SVALOVÉHO NAPĚTÍ PROPRIOCEPTIVNÍM VSTUPEM – TEORETICKÁ VÝCHODISKA

Reflex affecting of muscle tone by proprioceptive input – theoretical starting points

12: 91–99, 2010
ISSN 1212-4117

Eva Macková¹, Ivan Dylevský²

¹ČVUT Kladno, Fakulta biomedicínského inženýrství

²UK Praha, Fakulta tělesné výchovy a sportu

Summary

The work presented here offers an analysis of the literature dealing with the rigidity and tone of skeletal muscles, spasticity and mechanoreceptors in the locomotor apparatus, nerve reflexes associated with the muscle tone control and topographic and directional specificity between the skin and intensity of the stretching reflex and H-reflex of skeletal muscles. The purpose of the search for the literature is to provide a scientific basis for a derivation of hypotheses for dissertation theses, the scope of which is the effect of the skin receptor stimulation on the muscle tone in selected muscles in healthy individuals and in patients with central motoneuron syndrome. The analysis of the literature demonstrated that the muscle tone has its passive (EMG silent) and active (EMG active) components. The passive component is given by viscoelastic characteristics of muscle tissues, i.e. of muscle fibres and interstitial connective tissue. The research indicates that the connective tissue also contains contractile cells, thus being also capable of active contractions. The active component is given by nervous reflexes, which are induced by a muscle extension: by the stretching segmental reflex and transcortical reflex. These reflexes are active in enhanced requirements for the joint stabilization. The spasticity can be defined as a disorder of the sensomotor system characterized by an increase in the muscle tone depending on the rate of the extension. The spasticity is one of components of central motoneuron syndrome together with an attenuation of flexor reflexes, muscle weakness and loss of the skill. An important role in this process belongs to changes in the activation of the stretching reflex due to the hyperexcitability of alpha motoneurons and reduction in the inhibition by descendent motor ways. Studies of proprioceptors can be divided into morphological and electrophysiological ones. In terms of the function, the evaluation is of importance, according to which it is possible to differentiate one from another receptors with slow adaptation (static) detecting the joint situation and receptors with a rapid adaptation (dynamic) detecting the joint movement. The results of this study justify the following formulation of principal hypotheses for our work: 1) we can expect that irritation of skin receptors induces statistically significant changes in the tension of selected muscles and 2) we can expect the specificity between directions of the skin tension and facilitation or inhibition of the muscle tone. The analysis of the literature also significantly contributed to the formation of a homogeneous experimental group, particularly due to conclusions indicating that one group cannot simultaneously include patients with CMP and transversal medullar lesion since in terms of neurophysiology, these are no identical pathological conditions. A finding is also of importance that an increase in the passive muscle rigidity by connective tissue contractures or muscle fibrosis negatively affects the reflex action on skeletal muscles.

Souhrn

Předkládaná práce uvádí rozbor literatury týkající se tuhosti a napětí kosterního svalu, spasticity, mechanoreceptorů v pohybovém aparátu, nervových reflexů spojených s řízením svalového napětí a topografické a směrové specifity mezi kůží a intenzitou napínacího a H-reflexu kosterních svalů. Cílem řešerše je získat vědecké podklady pro vyvození hypotéz pro dizertační práci, jejímž tématem je vliv stimulace kožních receptorů na svalové napětí ve vybraných svalectech u zdravých jedinců

a u pacientů se syndromem centrálního motoneuronu. Rozbor literatury ukázal, že napětí svalu má pasivní (EMG němou) a aktivní (EMG aktivní) složku. Pasivní složka je daná viskoelastickými vlastnostmi tkání ve svalu, tedy svalových vláken a vmezeřeného vaziva. Výzkumy dokazují, že vazivo obsahuje také kontraktilní buňky a že tedy dokáže aktivně kontrahovat. Aktivní složka je dána nervovými reflexy, které jsou vyvolány protažením svalu, a to napínacím reflexem segmentovým a reflexem transkortikálním. Tyto reflexy se uplatňují při zvýšené potřebě stabilizace kloubu. Spasticitu lze definovat jako poruchu senzomotorického systému charakterizovanou zvýšením svalového tonu v závislosti na rychlosti protažení. Spasticita je jednou ze složek syndromu centrálního motoneuronu společně s oslabením flexorových reflexů, svalovou slabostí a ztrátou zručnosti. Významnou roli přitom hrají změny v aktivaci napínacího reflexu v důsledku hyperexcitability alfa motoneuronů a snížení inhibice sestupnými motorickými drahami. Studie proprioreceptorů lze rozdělit na morfologické a na elektrofyziologické. Funkčně významné je hodnocení, podle kterého se v kloubu, ve svalu i v kůži rozlišují receptory s pomalou adaptací (statické), které registrují polohu kloubu, a receptory s rychlou adaptací (dynamické), registrující pohyb kloubu. Výsledky této studie nás opravňují k formulaci základních hypotéz pro naši práci: 1) můžeme očekávat, že dráždění kožních receptorů vyvolá statisticky významné změny v napětí ve vybraných svaích a 2) můžeme očekávat specifitu mezi směrem tahu kůže a facilitací či inhibicí svalového napětí. Rozbor literatury také významně přispěl k tvorbě homogenního experimentálního souboru zejména díky závěrům, ze kterých vyplývá, že do jedné skupiny nelze zařazovat současně pacienty s CMP a s transversální lézí míšni, protože se z hlediska neurofyziologického nejedná o identické patologické stavy. Významné je rovněž zjištění, že zvýšení pasivní svalové tuhosti vazivovými kontrakturami či fibrózou svalu negativně ovlivňuje reflexní působení na kosterní svaly.

Klíčová slova: sval – svalové napětí – elasticita – H-reflex – napínací reflex

ÚVOD

Cévní mozková příhoda (CMP) je primárně onemocněním cévní soustavy. Ischemie v oblasti mozku způsobená trombózou či spasmem tepny vede k nevratnému poškození centrálního motoneuronu kortikospinální (pyramidové) dráhy. Následně dochází ke spasticitě a hemiparéze.

Vývoj spasticity má charakteristický průběh. V prvních dnech po CMP (přibližně 1 týden) dochází ke generalizované svalové hypotonii. V dalším průběhu se postupně vyvíjí spasticita, již nikoli generalizovaná, postihující extenzorové (antigravitační) svaly.

K terapii spasticity je užíváno metod, jejichž cílem je ovlivnit změněné svalové napětí. Jedná se například o metody elektroléčebné, farmakologické a rehabilitační. V rehabilitační léčbě se užívají zejména metody na neurofyziologickém podkladě. Cílem dalších postupů (například polohování či strečink) je prevence vazivových kontraktur.

Hlavním nedostatkem rehabilitačních metod je především časové omezení efektu léčby. Je tedy vhodné hledat další možnosti terapie

založené na reflexním podkladě, neboť svalové napětí je řízeno reflexně, které mohou ovlivnit spasticitu pokud možno trvale.

Hlavním motivem naší práce jsou pozitivní klinické zkušenosti se stimulací kožních a kloubních receptorů při léčbě změněného svalového napětí u pacientů bez strukturálního narušení centrálního nervového systému, s využitím tzv. svalových řetězců. Rádi bychom zjistili, zda mají tyto klinické zkušenosti neurofyziologický podklad a zda by jich bylo možné využít také k léčbě spasticity u pacientů s ložiskovým postižením centrálního nervového systému.

Cílem tohoto rozboru literatury je vyhledat a kriticky zhodnotit vědecké poznatky, týkající se řízení svalového napětí u zdravého člověka a jeho změn u pacientů postižených spasticitou a využít tohoto rozboru k formulaci hypotéz pro náš vlastní výzkum v této oblasti.

Tuhost a tonus svalu

Davidoff (1992) reviduje na základě přehledu literatury tradiční (Sherringtonovy) názory na vznik svalového napětí, podle nichž je svalové napětí výsledkem pouze monosynaptického

napínacího reflexu a tonické svalové napětí v antigravitačních svalech dolních končetin je odpovědné za udržování postury.

Do řízení svalového napětí však zasahují různé úrovně centrálního nervového systému. Na úrovni míšni se jedná o tzv. gama klíčku. Jejím receptorem jsou intrafuzální svalová vlákna svalových vřetének a efektozem extrafuzální svalová vlákna kosterního svalu. Gama klíčka je pod řídicím vlivem retikulospinální dráhy, jejíž axony končí u gama motoneuronů předních rohů míšních. Tato dráha je výrazně ovlivňována především mozečkovými okruhy. Do řízení napětí kosterních svalů dále zasahují další sestupné dráhy tzv. extrapyramidového systému, a to dráha vestibulospinální, která realizuje vstupní signály z vestibulárního aparátu, a dráha rubrospinální, uplatňující se především při součinnosti kořenových kloubů končetin (ramena a kyčle). Na korové úrovni se uplatňují vlivy starých korových a podkorových oblastí (limbický systém), čímž se realizují vlivy emoční a sexuální.

Novější poznatky však konstatují, že se na klidovém napětí svalu významně podílejí také mechanické (nereflexní) mechanismy. Viskoelastické svalové síly mohou vyrovnávat malé výchylky těla během klidného stoje. Z přehledu je dále zřejmé, že míšní reflexní odpovědi nejsou stereotypní, ale závisí na výchozí aktivitě interneuronů, u kterých se scházejí (konvergují) vstupy z nejrůznějších periferních receptorů a z descendentních nervových drah. Během protahování svalu jsou vyvolávány také transkortikální odpovědi s dlouhou latencí. Lze tedy shrnout, že odpovědi na protažení svalu nejsou uniformní a neměnné, ale mění se podle momentálních požadavků.

Podobně popisuje vlivy na svalový tonus a jeho řízení Sinkjaer (1997). Jsou to: 1) pasivní a vnitřní vlastnosti svalového systému kolem kloubu (tzv. nereflexní složka), 2) mechanický vliv napínacího reflexu a 3) supraspinální řízení napínacího reflexu. K těmto závěrům dospěl na základě měření napínacího reflexu a H-reflexu.

Masi a Hannon (2008) definují na základě rozboru literatury klidový svalový (myofasciální) tonus jako pasivní tah kosterního svalu způsobený jeho vnitřními (EMG negativními), molekulárními, viskoelastickými vlastnostmi. Projevuje se jako pasivní odpor k protažení svalu, který významně přispívá k udržování posturální

stability. Naproti tomu kontrakce svalových vláken zvyšuje svalové napětí při potřebě zvýšené stabilizace kloubu.

Schleip et al. (2005, 2006) přicházejí s novou hypotézou, že pasivní tuhost kosterního svalu může být způsobena také aktivní kontrakcí nitrosvalové pojivové tkáně, a to zejména u tonických (posturálních) svalů. Pasivní svalová tuhost (passive muscle stiffness) je také nazývána jinými termíny jako například: pasivní elasticita, pasivní svalová compliance, klidový tonus nebo pasivní svalový tonus. Fascie jsou tradičně považovány za pasivní prvek. Existují však již důkazy pro to, že ve vazivu se nacházejí buňky, které jsou schopné aktivní kontrakce na způsob hladkých svalových buněk. Nová hypotéza je dle autorů podpořená následujícími argumenty: 1) tonické svaly obsahují více perimysia (vymezeného vaziva) než fázické svaly, 2) specificky uspořádaný kolagen v perimysiu je schopný nést zátěž, 3) jejich vlastní histologická pozorování svědčí pro to, že perimysium obsahuje velké množství myofibroblastů, což je třída fibroblastů s kontraktální kinetikou podobnou hladkým svalovým buňkám, 4) *in vitro* pokusy ukazují schopnost vaziva kontrahovat díky přítomnosti myofibroblastů. Tato kontrakce je tak silná, že je schopná ovlivnit muskuloskeletální dynamiku.

Napětí svalu má pasivní (EMG němou) a aktivní (EMG aktivní) složku. Pasivní složka je daná viskoelastickými vlastnostmi tkání ve svalu, tedy svalových vláken a vymezeného vaziva. Ukazuje se, že vazivo obsahuje kontraktální buňky a že tedy dokáže aktivně kontrahovat. Aktivní složka je daná nervovými reflexy, které reagují na protažení svalu, a to napínacím reflexem segmentovým a reflexem transkortikálním. Tyto reflexy se uplatňují při zvýšené potřebě stabilizace kloubu.

Spasticita

Mayer (1997) zpracoval přehled názorů na spasticitu. Podle tohoto review lze spasticitu definovat jako: poruchu senzomotorického systému charakterizovanou zvýšením svalového tonu v závislosti na rychlosti protažení a se zvýšením šlachových reflexů, které jsou výsledkem hyperexcitability napínacího reflexu.

Spasticita je jednou ze složek syndromu centrálního motoneuronu společně s oslabením

flexorových reflexů, svalovou slabostí a ztrátou zručnosti. Alfa motoneurony se stávají hyperexcitabilními na míšní segmentové úrovni. Mezi míšní lézí a postižením na úrovni mozku je však významný rozdíl. V prvním případě (míšní léze) narůstá excitabilita motoneuronů pomalu u svalů flexorových i extenzorových. V druhém případě (postižení mozku) narůstá excitabilita rychle, a to především u antigravitačních (extenzorových) svalů.

Rozdíly v projevech spasticity u CMP a u míšní léze popisují také Woolacott a Burne (2006), kteří studovali tonický napínací reflex u pacientů s poraněnou míchou. Zjistili, že pomalé, pasivní protahování spastických svalů u těchto pacientů nevedlo k vyvolání napínacího reflexu. V tomto případě se tedy tonický napínací reflex nepodílel na klinických projevech svalové hypertonie. Uzavírají, že se na hypertonii u porušené míchy musí podílet jiný reflexní mechanismus. Tento výsledek kontrastuje s výsledky podobných studií u CMP, kdy protahování spastických svalů i malou frekvencí vyvolává zřetelný tonický napínací reflex. Z toho vyplývá, že spasticita u těchto dvou stavů (míšní léze a CMP) není totožná.

Toft (1995) studoval napínací reflex u zdravých a u spastických pacientů. U zdravých pacientů našel výraznou mechanickou odpověď vyvolanou napínacím reflexem u flexorů i u extenzorů planty. U pacientů se spasticitou byla mechanická odpověď u extenzorů planty srovnatelná s odpovědí u zdravých, naproti tomu u flexorů planty nebyla odpověď žádná.

Chronická spasticita může podle autora vést ke změnám reologických vlastností postižených svalů. Tuhost, vazivové kontraktury a fibróza mohou bránit normálnímu řízení polohy a pohybu končetiny. Při klinickém vyšetření je třeba přísně rozlišovat mezi svalovým odporem způsobeným spasticitou a odporem způsobeným změnou reologických vlastností svalu (fibróza, vazivová kontraktura). Vhodnou metodou k odlišení obou stavů je EMG.

Ivanhoe a Reistetter (2004) charakterizují spasticitu jako senzomotorický fenomén spojený se změnami odpovědi nervového motorického systému na senzorní podráždění (vstup). Poranění centrálního nervového systému vede ke ztrátě descendní inhibice, svaly se stávají hyperaktivními. To je zprostředkováno cestami napínacího reflexu v několika jeho oblastech.

Katz a Rymer (1989) provedli review týkající se spastického hypertonu a studovali mechanismus jeho vzniku a možnosti jeho měření. Spasticitu definují podobně jako Mayer (1997) – výše v tomto textu. Všímají si zejména napínacího reflexu, který hraje ve vývoji spasticity dominantní roli. Zdůrazňují, že existují dva hlavní parametry, které mohou ovlivnit patologii napínacího reflexu, a to: 1) úhlový spouštěcí bod napínacího reflexu a 2) velikost síly, potřebné k takovému natažení kloubu, aby došlo k vyvolání napínacího reflexu. Dřívější práce tyto dva faktory nerozlišovaly.

Spasticitu lze definovat jako poruchu senzomotorického systému charakterizovanou zvýšením svalového tonu v závislosti na rychlosti protažení. Spasticita je jednou ze složek syndromu centrálního motoneuronu společně s oslabením flexorových reflexů, svalovou slabostí a ztrátou zručnosti. Významnou roli přitom hrají změny v aktivaci napínacího reflexu díky hyperexcitabilitě alfa motoneuronů a snížení inhibice sestupnými motorickými dráhami. Je však rozdíl mezi lézí míšní a mezi postižením na úrovni mozku. V prvním případě (míšní léze) narůstá excitabilita motoneuronů pomalu jak u flexorů, tak extenzorů. V druhém případě (postižení mozku) narůstá excitabilita rychle, a to především u antigravitačních svalů. Chronická spasticita může vést ke změnám reologických vlastností postižených svalů, protože zvýšená tuhost svalů, vazivové kontraktury, atrofie a fibróza mohou bránit normálnímu řízení polohy a pohybu končetiny.

Pro hodnocení velikosti spasticity (kvantifikaci) se používají různé způsoby: klinické škály, biomechanické hodnoty, modely pendula a elektrofyziologická měření. Zdá se, že biomechanické metody nejvíce korelují s klinickým stavem pacienta. Autoři dále zdůrazňují, že spastická hypertonie je jen jednou ze složek syndromu centrálního motoneuronu. Dalšími projevy jsou ztráta zručnosti, slabost, únavnost, oslabování různých reflexů. A právě tyto ostatní faktory mohou ovlivňovat dysabilitu pacienta více než změny svalového napětí.

Mechanoreceptory

Kolenní kloub byl mnohokrát studován z hlediska výskytu, lokalizace a stavby mechanoreceptorů.

Halata et al. (1985) zde popsali tři typy receptorů – volná nervová zakončení, Ruffiniho

tělíska a Paciniho tělíska. Volná nervová zakončení jsou uložena pod synoviální výstelkou a uvnitř vazivové vrstvy kloubního pouzdra v blízkosti cév. Ruffiniho tělíska jsou přítomná ve vazivové vrstvě kloubního pouzdra a v kloubních vazech. Paciniho tělíska jsou umístěna ve vazivové vrstvě v blízkosti úponů kloubního pouzdra, v meniscích a v periostu.

Sjölander et al. (1989, 2002) a Sojka et al. (1989) studovali přítomnost proprioreceptorů v ligamenta cruciata kolenního kloubu kočky a jejich vliv na napětí svalů kolem kolenního kloubu. Zjistili přítomnost Ruffiniho a Paciniho tělísek, Golgiho tělísek a volných nervových zakončení. I mírné napětí zkřížených ligament vyvolává reflexní reakce ve svaích kolem kolene, které mění tuhost kloubu a zasahuje do koordinace svalových kontrakcí prostřednictvím dopředné vazby (reciproční inhibice).

Zimny (1988) provedl review týkající se sestavy, distribuce a funkce kloubních mechanoreceptorů a doplňuje, kromě výše uvedených mechanoreceptorů, Golgiho šlachové tělísko, které je lokalizované v kloubních vazech. Koncentrace mechanoreceptorů je větší v oblastech kloubu, které mají vztah k největším rozsahům pohybu a zřejmě představují první linii obrany před poškozením kloubu při dosahování krajních rozsahů pohybu.

Stejně složení mechanoreceptorů v kloubu uvádějí Johansson et al. (1991a). Navíc uvádějí, že i velmi malé změny v napětí vazů vyvolávají velkou reflexní odezvu ve změnách svalového napětí kolem kloubu, jeho funkční stability a tím v přípravě kloubu na zatížení.

Zvláštní pozornost je věnována zkříženým vazům kolena (ligg. cruciata genus).

Johansson et al. (1991b) popisují ve zkřížených vazech kolene stejné složení mechanoreceptorů jako předchozí autoři (volná nervová zakončení, Ruffiniho a Paciniho tělíska a Golgiho šlachové tělísko), které informují CNS nejen o poškozeních kloubu a o změnách chemismu uvnitř kloubu, ale také o charakteristikách pohybu a o protažení ligament v souvislosti s polohou kloubu. Aferentace z ligament do centrálního nervového systému se podílí na stálé kontrole svalového napětí kolem kloubu, řízení svalové koordinace cestou dopředné vazby (reciproční inhibice) a preprogramování koordinovaných svalových kontrakcí s cílem zajistit stabilitu kloubu.

Weiss et al. (2009) popisují rychle a pomalu se adaptující kloubní receptory a vypracovali

techniku pro selektivní dráždění kloubních mechanoreceptorů různými frekvencemi vibrací (Paciniho tělíska 128 Hz, rychle se adaptující mechanoreceptory 32–64 Hz). Pomalu se adaptující mechanoreceptory (SA, slow adapting) rozdělili na SA1, které jsou drážděné krajní polohou v kloubu, a SA2 v kůži, které jsou drážděné natažením kůže. Sledovali projekci dráždění mechanoreceptorů do thalamu a zjistili, že dochází ke konvergenci cest z více mechanoreceptorů stejného typu na jeden thalamický neuron cestou drah zadních provazců.

Macefield (2005) rozděluje mechanoreceptory kloubu, svalu a kůže na dvě základní skupiny – rychle se adaptující a pomalu se adaptující. K rychle se adaptujícím řadí Meissnerova a Paciniho tělíska, k pomalu se adaptujícím řadí Merkelovy buňky a Ruffiniho tělíska. Kožní mechanoreceptory zaznamenávají síly působící normálně (kolmo k povrchu kůže) a tangenciálně.

Podobně Rowe et al. (2005) a Munger a Ide (1988) rozdělují mechanoreceptory v kůži na pomalu a rychle se adaptující. Pomalu se adaptující receptory (SA, slow adapting) označují jako statické a reagující na setrvalý tah kůže. Rozlišují ještě dvě podskupiny – SA1, ke kterým řadí Merkelovy buňky, a SA2, ke kterým řadí Ruffiniho tělíska. Do skupiny rychle se adaptujících receptorů v kůži řadí Meissnerova a Paciniho tělíska. Stejně receptory se stejnou funkcí se nacházejí na chlupaté kůži končetin. Halata (1993) popisuje v kůži volná nervová zakončení, dále Merkelovy buňky jako receptory s pomalou adaptací (SA1), Ruffiniho tělíska jako receptory napětí a Paciniho tělíska jako rychle se adaptující receptory, detektory akcelerace.

Studie proprioreceptorů lze rozdělit na morfologické a na elektrofyziologické. Dle morfologického pohledu rozlišujeme celou řadu typů receptorů podle jejich stavby. Funkčně významnější je hodnocení druhé, podle kterého se v kloubu, ve svalu i v kůži rozlišují receptory s pomalou adaptací (statické), které registrují polohu kloubu, a s rychlou adaptací (dynamické), registrující pohyb kloubu. Různé studie prováděly dráždění kožních receptorů elektrostimulací, vibracemi různých frekvencí a tangenciálním tahem kůže.

Reflexy spojené s řízením svalového napětí

Lin a Crago (2002) vytvořili model napínacího

reflexu m. soleus u decerebrované kočky, který vychází z modelů nervové a svalové složky. Model obsahuje dva proprioreceptory (svalové vřeténko a Golgiho šlachové tělísko) a jejich nervová aferentní vlákna (Ia, Ib a II), pool alfa motoneuronů s jejich reflexními spoji, větve alfa motoneuronů k intrafuzálnímu svalovému vláknům (beta inervace) a extrafuzální svalová vlákna. Díky tomuto modelu bylo možné předpovědět celou řadu mechanických vlastností napínacího reflexu včetně linearizačního efektu (lišící se velikost protažení a jeho směr) a závislosti na momentální síle a výchozí délce svalu.

Ashby et al. (1987) ve svém review uzavírají, že poruchy centrálního motoneuronu způsobují: 1) změny v aktivitě segmentového míšního reflexu. Například vzrůstají šlachové reflexy a „spasticita“, kterou se zde rozumí rostoucí napínací reflex jako reakce na rychlost protažení, klonus, odpověď sklapovacího nože a uvolnění flečních reflexů; 2) narušená schopnost aktivovat motoneurony rychle a selektivně. Volní pohyby mohou být omezené kokontrakcí antagonistických svalů, segmentovými reflexy a kontrakturami vaziva.

Dietz (1987) se zabýval rolí reflexů v lokomoci. Popisuje, že během normální zdravé chůze jsou potlačované monosynaptické míšní napínací reflexy a aktivované polysynaptické reflexy, které řídí svalové kokontrakce k udržení stability. Naopak segmentové napínací reflexy jsou aktivované při rychlých pohybech (běh, skákání) a přispívají k aktivaci extenzorových svalů dolních končetin. U dětí do dvou let věku stejně jako u pacientů se spastickou parézou jsou polysynaptické reflexy redukovány nebo zcela chybí. Jsou přítomné pouze izolované monosynaptické reflexy. Z toho vyplývá, že dochází k reciproční modulaci poly- a monosynaptických reflexních mechanismů. Oba mechanismy jsou závislé na supraspinální kontrole. Pokud tato kontrola není ještě dostatečně zralá (malé děti) nebo je porušená (spastická paréza), pak dochází k nedostatečné inhibici monosynaptických napínacích reflexů a chybějící facilitaci polysynaptických reflexů.

Toft (1995) studoval napínací reflex u zdravých a u spastických pacientů. U zdravých pacientů nalezl výraznou mechanickou odpověď vyvolanou napínacím reflexem u flexorů i u extenzorů platný. U pacientů se spasticitou byla mechanická odpověď u extenzorů planty

srovnatelná s odpovědí u zdravých, naproti tomu u flexorů platný nebyla odpověď žádná.

Morita et al. (2001) studovali vliv porušených descendentních, inhibičních drah v míše u spastických pacientů na funkční stav kosterních svalů ve srovnání se zdravými subjekty. Sledovali m. soleus při provádění dorzální a plantární flexe planty. Zjistili, že u zdravých na rozdíl od spastických pacientů vyvolává dorzální flexe planty inhibici m. soleus, zatímco plantární flexe jeho facilitaci. Stejný výsledek nastal se stimulací n. peroneus communis. Sledovali také stav n. femoralis při těchto pohybech. Zjistili, že dorzální flexe planty tento nerv inhibuje, zatímco plantární flexe facilituje. Studii uzavřeli konstatováním, že abnormální regulace reciproční inhibice u spastických pacientů vede k abnormální modulaci napínacího reflexu při volných pohybech. Ztráta nárůstu reciproční inhibice při zahájení pohybu dorzální flexe nohy může být zodpovědná za vyvolání nechťených napínacích reflexů a ke kokontrakci antagonistických svalů.

Evarts a Fromm (1981) provedli rozbor literatury, týkající se vlivu transkortikálních reflexů, které vycházejí z extero- a proprioreceptorů, na řízení pohybu. Segmentální a transkortikální reflexy mají hlavní úlohu v korekci narušené stability kloubu vyvoláváním malých aktivních pohybů (svalových kontrakcí). Exteroceptivní reflexy generují intenzivní svalové odpovědi a mají zásadní význam pro reakce na zevní stimuly. Uvnitř motorické kůry dostává kaudální oblast exteroceptivní informace z kůže a rostrální oblast z proprioreceptorů. Transkortikální reflexy zprostředkované pyramidovou dráhou mají vlastnosti analogické segmentálním (míšním) proprioceptivním reflexům. Tj. změny ve svalové délce vyvolávají výboje v motoneuronech pyramidové dráhy, které působí proti změně délky svalu a tím zajišťují stabilitu. Tato odpověď je zřejmě přítomná jak u reflexů vyvolaných drážděním kožních, tak proprioceptivních receptorů.

S řízením svalového napětí a tudíž i s řízením lokomoce má největší souvislost napínací reflex. Rozlišujeme napínací reflex segmentový (monosynaptický) a supraspinální (polysynaptický), který má delší latenci. Během normální zdravé chůze jsou monosynaptické míšní napínací reflexy potlačovány a polysynaptické reflexy, které řídí svalové kokontrakce k udržení stability během chůze, aktivovány. S tímto sou-

visí také reciproční inhibice svalových kontrakcí. U dětí do dvou let věku stejně jako u pacientů se spastickou parézou jsou polysynaptické reflexy redukovány nebo zcela chybí a jsou přítomné pouze izolované monosynaptické reflexy. Z toho vyplývá, že dochází k reciproční modulaci poly- a monosynaptických reflexních mechanismů. Oba jsou závislé na supraspinální kontrole. Pokud tato kontrola není dostatečně zralá (malé děti) nebo je porušená (spastická paréza), pak nedochází k inhibici monosynaptických napínacích reflexů a facilitaci polysynaptických reflexů.

Kožní reflexy

Celá řada studií se zabývala vlivem kožní elektrostimulace na modulaci napínacího reflexu a H-reflexu (oba reflexy mají co do činění se svalovým napětím).

Sayenko et al. (2007, 2009) prováděli elektrostimulaci kůže plosky nohy v oblasti paty a v oblasti metatarzů u zdravých jedinců. Předpokládali, že rozdílná lokalizace elektrické stimulace kůže plosky nohy bude mít za následek rozdílné změny svalového napětí v m. soleus. Výsledky ukázaly, že stimulace kůže paty vedla k významnému zvýšení facilitace napínacího reflexu m. soleus, kdežto stimulace v oblasti metatarzů vedla ke snížení napínacího reflexu i H-reflexu v tomtéž svalu.

Morita et al. (2001) sledovali H-reflex m. soleus u zdravých jedinců při počínající dorzální flexi a při počínající plantární flexi planty. Při dorzální flexi docházelo k depresi a při plantární flexi k facilitaci H-reflexu m. soleus. Ke zvýšení deprese či facilitace H-reflexu docházelo se zvětšením dorzální či plantární flexe. Tyto výsledky porovnávali autoři s výsledky stejných měření u spastických pacientů s roztroušenou sklerózou. U těchto pacientů dorzální flexe planty nezpůsobovala depresi H-reflexu v m. soleus a plantární flexe vedla k facilitaci H-reflexu v m. soleus, avšak menší než u zdravých jedinců. Sledovali rovněž změny v aktivitě n. femoralis (inervace m. quadriceps femoris – pozn. autora) při pohybech v kotníku. Zjistili, že při dorzální flexi planty se facilitace n. femoralis snižuje a při plantární flexi zvyšuje. Tyto změny byly mnohem významnější u zdravých jedinců.

Knikou et al. (2007) studovali efekt kožní stimulace plosky nohy a současných pohybů (flexe a extenze) v kyčelním kloubu u pacientů

s poraněnou míchou. Zjistili, že stimulace nn. plantares facilituje H-reflex v m. soleus při současně extenzi v kyčli. Současně docházelo k depresi flekčního reflexu.

Nakajima et al. (2006) stimulovali různé oblasti plosky nohy (pata, přední mediální oblast a přední laterální oblast) a zaznamenávali reflexní odezvu z m. soleus a z m. tibialis anterior. Zjistili, že stimulace paty a přední mediální oblasti aktivuje m. soleus a inhibuje m. tibialis anterior. Stimulace přední laterální oblasti způsobuje reciproční výsledek. Studii uzavřeli s tím, že existuje významná lokální specifita mezi drážděním různých oblastí kůže plosky nohy a aktivací svalů bérce.

Nakajima et al. (2009) sledovali modulaci kožních reflexů v m. peroneus longus při elektrostimulaci kůže plosky nohy na patě, v přední mediální a v přední laterální oblasti nohy u zdravých jedinců. K facilitaci reflexů v m. peroneus longus docházelo nejvíce při stimulaci kůže v přední mediální oblasti při současném provádění plantární flexe a everze. Naopak při dorzální flexi se reflexi výrazně zmenšovaly.

Zehr et al. (2001) studovali přítomnost reflexů mezi horními a dolními končetinami. Stimulovali elektricky kůži na dorzální straně ruky (inervace z n. radialis) a dorzální straně nohy (inervace z n. peroneus superficialis) a sledovali reflexní odezvu v některých svalech horní a dolní končetiny. Zjistili, že stimulace kůže ruky vyvolává reflexní odpovědi ve svalech dolní končetiny, a naopak.

Existuje zřejmě topografická specifita mezi drážděnou oblastí kůže (kožní propioceptory) a reflexní aktivací kosterních svalů. Studie byly prováděné převážně na dolní končetině. Kůžka plosky nohy byla elektricky stimulována a změny byly sledované ve svalech bérce (zejména m. soleus a m. tibialis anterior), ale také na stehně. Dráždění v oblasti paty a přednoží na palcové (mediální) straně vede k aktivaci m. soleus a extenzorů kolene, dráždění v oblasti přednoží na laterální (malíkové) straně vede k aktivaci m. tibialis anterior. Podobné změny v aktivaci svalů způsobují i pohyby planty. Dorzální flexe aktivuje m. tibialis anterior a inhibuje m. soleus, plantární flexe působí opačně. Existuje také reflexní propojení horních a dolních končetin. Stimulace kožních receptorů nohy aktivuje svaly horní končetiny, a naopak.

ZÁVĚRY A HYPOTÉZY

Hlavním cílem naší práce je experimentálně ověřit, zda dráždění kožních receptorů tangenciálním tahem kůže ovlivní tonus svalů u osob se svalovým hypertonem bez ložiskového postižení centrálního nervového systému a u pacientů se syndromem centrálního motoneuronu. Tyto metody se klinicky používají v oblasti rehabilitace s pozitivními výsledky (Tichý, 2009). Zkušenosti ukazují, že existuje směrová specifita mezi směrem kožního tahu a ovlivněním svalového napětí buď v flexorových, nebo v extenzorových svaích.

Hypoteticky předpokládáme, že tangenciální tah kůže na končetinách ovlivní svalové napětí u zdravých lidí i u pacientů se syndromem centrálního motoneuronu. Tento předpoklad vychází z předloženého rozboru literatury. Byly studovány reflexní souvislosti mezi drážděním kůže a mezi napětím kosterních svalů. Nejčastější modelovou situací je dráždění různých oblastí kůže plošky nohy, které je provázené změnami svalového napětí v dorzálních a plantárních flexorech planty.

Na základě předloženého rozboru literatury můžeme předpokládat, že tangenciální tahové dráždění kožních receptorů ovlivní svalové napětí v tzv. patologických svalových řetězcích. Existence těchto změn má oporu ve výše uvedených vědeckých studiích, ve kterých autoři potvrzují souvislost mezi drážděním kůže a facilitací reflexů flekčních nebo extenčních svalových skupin. Všichni autoři v našem přehledu potvrzují statisticky významný vliv kožního dráždění na modulaci napínacího reflexu a H-reflexu ve vybraných svaích (Morita et al., 2001; Sayenko et al., 2007; Knikou et al., 2007 a další).

Rozdíly v reakcích vidí někteří autoři mezi zdravými jedinci a osobami postiženými syndromem centrálního motoneuronu (Toft, 1995; Morita et al., 2001). Zatímco u zdravých byla reflexní odpověď flexorových a extenzorových svalů přibližně stejná, u nemocných pacientů byla výrazně rozdílná. Flexorové svaly nereagovaly téměř vůbec, zato extenzorové svaly reagovaly srovnatelně se zdravými jedinci.

Tento rozdíl mezi zdravými a nemocnými vidí někteří autoři ve dvou základních příčinách: 1) ve změnách v aktivitě segmentového míšního reflexu a 2) v narušené schopnosti aktivovat motoneurony rychle a selektivně u pacientů se syndromem centrálního motoneuronu (Ashby et al., 1987).

Dále můžeme hypoteticky předpokládat, že bude existovat specifita mezi směrem tahu kůže a aktivací či inhibicí vybraných kosterních svalů a zřejmě bude mít vliv i lokalizace reflexního opatření. Pro to svědčí výsledky studií, u kterých například dráždění kožních receptorů v oblasti paty zvyšují reflexní odpověď v m. triceps surae, kdežto dráždění v oblasti přednoží na malíkové straně zvyšuje reflexní odpověď v m. tibialis anterior (Nakajima et al., 2006, 2009).

Pro náš výzkum má velký význam vytvoření nehomogennější možné experimentální skupiny probandů trpících syndromem centrálního motoneuronu. Z literárních údajů vyplývá, že není možné do jedné skupiny zařadit pacienty s CMP a s transversální lézí míšní. U míšní léze totiž při pomalém protahování svalů narůstá excitabilita motoneuronů pomalu u svalů flexorových i extenzorových. U CMP narůstá excitabilita rychle, a to výhradně svalů extenzorových (Mayer, 1997; Woolacott, Burne, 2006).

Další významnou skutečností, která by mohla negativně ovlivnit výsledky naší práce, je vliv vaziva pohybového aparátu na reflexní odpověď. Vazivo je považováno za pasivní složku pohybového aparátu. Existují však již důkazy, že pasivní tuhost kosterního svalu (nazývaná také pasivní elasticita, pasivní svalová compliance, pasivní svalový tonus apod.) může být zvýšená aktivní kontrakcí nitrosvalové pojivové tkáně, a to zejména u tonických (posturálních) svalů, které mají zvýšený obsah vaziva (Schleip et al., 2005, 2006). Byly objeveny vazivové buňky (myofibroblasty), které jsou schopné aktivní kontrakce podobně jako hladké svalové buňky.

Chronická spasticita může vést ke změnám reologických vlastností svalů. Zvýšená tuhost vaziva, vazivové kontraktury a fibróza negativně ovlivní reaktivitu kosterních svalů. Proto je potřeba přísně odlišovat, zda je zvýšený odpor svalů k protažení způsobený aktivní složkou, tedy spasmem svalových vláken, nebo pasivní složkou, tedy zvýšenou tuhostí svalového vaziva (Toft, 1995).

LITERATURA

- ASHBY, P., MAILIS, A., HUNTER, J.: The evaluation of „elasticity“. *Can J Neurol Sci.* 1987, vol. 14, dodatek 3., s. 497–500.
- DAVIDOFF, R. A.: Skeletal muscle tone and the misunderstood stretch reflex. *Neurology.* 1992, vol. 42, no 5, s. 951–963.

- DIETZ, V.: Role of peripheral afferents and spinal reflexes in normal and impaired human locomotion. *Rev Neurol*. Paris: 1987, vol. 143, no 4, s. 241–254.
- EVARTS, E. V., FROMM, C.: Transcortical reflexes and servo control of movement. *Can J Physiol Pharmacol*. 1981, vol. 59, no 7, s. 757–775.
- HALATA, Z.: Sensory innervation of the hairy skin (light- and electronmicroscopic study). *J invest dermatol*. 1993, vol. 101, dodatek 1., s. 75–81.
- HALATA, Z., RETTIG, T., SCHULZE, W.: The ultrastructure of sensory nerve endings in the human knee joint. *Anat Embryo*. Berlin: 1985, vol. 172, no 3, s. 265–275.
- IVANHOE, C. B., REISTETTER, T. A.: Elasticity: the misunderstood part of the upper motor neuron syndrome. *Am J Phys Med Rehabil*. 2004, vol. 83, dodatek 10., s. 3–9.
- JOHANSSON, H., SJÖLANDER, P., SOJKA, P.: Receptors in the knee point ligaments and their role in biomechanics of the joint. *Crit Rev Biomed Eng*. 1991(a), vol. 18, no 5, s. 341–368.
- JOHANSSON, H., SJÖLANDER, P., SOJKA, P.: A sensory role for the cruciate ligaments. *Clin Orthop Relat Res*. 1991 (b), 268:161–78.
- KATZ, R. T., RYMER, W. Z.: Spastic hypertonia: mechanisms and measurement. *Arch Phys Med Rehabil*. 1989, vol. 70, no 2, s. 144–55.
- KNIKOU, M., KAY, E., SCHMIT, B. D.: Parallel facilitatory reflex pathways from the foot and hip to flexors and extensors in the injured human spinal cord. *Exp Neurol*. 2007, vol. 206, no 1, s. 146–158.
- LIN, C. C., CRAGO, P. E.: Neural and mechanical contributions to the stretch reflex: a model synthesis. *Ann Biomed Eng*. 2002, vol. 30, no 1, s. 54–67.
- MACEFIELD, V. G.: Physiological characteristics of low-threshold mechanoreceptors in joints, muscle and skin in human subjects. *Clin Exp Pharmacol Physiol*. 2005, vol. 32, no 1–2, s. 135–144.
- MASI, A. T., HANNON, J. C.: Human resting muscle tonus (HRMT): narrative introduction and modern concepts. *J Bodyw Mov Ther*. 2008, vol. 12, no 4, s. 320–332.
- MAYER, N. H.: Clinicophysiological concepts of elasticity and motod dysfunction in adults with an upper motoneuron lesion. *Muscle Nerve Suppl*. 1997, vol. 6, s. 1–13.
- MORITA, H., CRONE, C., CHRISTENHUIS, D., PETERSEN, D. T., NIELSEN, J. B.: Modulation of presynaptic inhibition and disynaptic reciprocal Ia inhibition during voluntary movement in spasticity. *Brain*. 2001, vol. 124, no 4, s. 826–837.
- MUNGER, B. L., IDE, C.: The structure and function of cutaneous sensory receptors. *Arch Histol Cytol*. 1988, vol. 51, no 1, s. 1–34.
- NAKAJIMA, T., SAKAMOTO, M., RAZIE, T., ENDOH, T., KOMIYAMA, T.: Location specificity of plantar cutaneous reflexes involving lower limb muscles in humans. *Exp Brain Res*. 2006, vol. 175, no 3, s. 514–525.
- NAKAJIMA, T., SAKAMOTO, M., RAZIE, T., ENDOH, T., KOMIYAMA, T.: Location-specific modulations of plantar cutaneous reflexes in human (peroneus longus muscle) are dependent on coactivation of ankle muscles. *Exp Brain Res*. 2009, vol. 195, no 3, s. 403–412.
- ROWE, M. J., TRACEY, D. J., MAHNS, D. A. et al.: Mechanosensory perception: Are there contributions from bone-associated receptors? *Clin Exp Pharmacol Physiol*. 2005, vol. 32, no 1–2, s. 100–108.
- SAYENKO, D. G., VETTE, A. H., OBATA, H., ALEKHINA, M. I., AKAI, M., NAZAZAWA, K.: Differential effects of plantar cutaneous afferent excitation on soleus stretch and H-reflex. *Muscle Nerve*. 2009, vol. 39, no 6, s. 761–769.
- SAYENKO, D. G., VETTE, A. H., OBATA, H., ALEKHINA, M. I., AKAI, M., NAZAZAWA, K.: Facilitation of the soleus stretch reflex induced by electrical excitation of plantar cutaneous afferents located around the heel. *Neurosci Lett*. 2007, vol. 415, no 3, s. 294–298.
- SCHLEIP, R., KLINGLER, W., LEHMANN-HORN, F.: Active fascial contractility: Fascia may be able to contract in a smooth muscle-like manner and thereby influence musculoskeletal dynamics. *Med Hypotheses*. 2005, vol. 65, no 2, s. 273–277.
- SCHLEIP, R., NAYLOR, I. L., URSU, D. et al.: Passive muscle stiffness may be influenced by active contractility of intramuscular connective tissue. *Med Hypotheses*. 2006, vol. 66, no 1, s. 66–71.
- SINKJAER, T.: Muscle, reflex and central components in the control of the ankle joint in healthy and spastic man. *Acta Neurol Scand Suppl*. 1997, vol. 170, s. 1–28.
- SJÖLANDER, P., JOHANSSON, H., SOJKA, P., REHNHOLM, A.: Sensory nerve endings in the cat cruciate ligaments: a morphological investigation. *Neurosci Lett*. 1989, vol. 102, no 1, s. 33–38.
- SJÖLANDER, P., JOHANSSON, H., DIUPSIOBAC, M.: Spinal and supraspinal effects of activity in ligament afferents. *Electromyogr Kinesio*. 2002, vol. 12, no 3, s. 167–176.
- SOJKA, P., JOHANSSON, H., SJÖLANDER, P. et al.: Fusimotor neurons can be reflexly influenced by activity in proprioceptors from the posterior cruciate ligament. *Brain Res*. 1989, vol. 483, no 1, s. 177–183.
- TICHÝ, M.: *Dysfunkce kloubu. VII. Řetězení a viscerovertebrální vztahy*. Praha: Miroslav Tichý, 2009.
- TOFT, E.: Mechanical and electromyographic stretch responses in spastic and healthy subjects. *Acta Neurol Scand Suppl*. 1995, vol. 163, s. 1–24.
- WEISS, N., OHARA, S., JOHNSON, K. O., LENZ, F. A.: The human thalamic somatic nucleus (central caudal) show neuronal mechanoreceptor-like response to optima stimuli for peripheral mechanoreceptors. *J Neurophysiol*. 2009, vol. 101, no 2, s. 1033–1042.
- WOOLACOTT, A. J., BURNE, J. A.: The tonic stretch reflex and spastic hypertonia after spinal cord injury. *Exp Brain Res*. 2006, vol. 174, no 2, s. 386–396.
- ZEHR, E. P., COLLINS, D. F., CHUA, R.: Human interlimb reflexes evoked by electrical stimulation of cutaneous nerves innervating the hand and foot. *Exp Brain Res*. 2001, vol. 140, no 4, s. 495–504.
- ZIMNY, M. L.: Mechanoreceptors in articular tissues. *Am J Anat*. 1988, vol. 182, no 1, s. 16–32.

Eva Macková a Ivan Dylevský
evaznojmo@seznam.cz