

Univerzita Karlova
Lékařská fakulta v Plzni

Disertační práce

Plzeň 2022

Slavomír ŽÍDEK

Univerzita Karlova
Lékařská fakulta v Plzni

Studijní program: Chirurgie

Vztah funkce míšních drah a šíře kanálu páteřního
v závislosti na změně osy krční páteře

The relationship between the function of the spinal
cord and the width of the spinal canal depending on
the change in the axis of the cervical spine

Disertační práce

Školitel: Doc. MUDr. Irena Holečková, Ph.D.

Plzeň, 2022

MUDr. Slavomír Žídek

Abstrakt:

Úvod: Cílem naší studie bylo posoudit vliv dynamických změn při flexi a extenzi krční páteře hodnocené pomocí dynamické magnetické rezonance (dMR) na míšní funkce hodnocené pomocí dynamických evokovaných potenciálů (dEPs) u zdravých jedinců (skupina 1) a následně u skupiny pacientů s lehkou cervikální stenózou, nevelkým objektivním neurologickým deficitem a progredujícími subjektivními obtížemi (skupina 2).

Metodika: Do studie bylo zařazeno 10 zdravých jedinců (5 mužů a 5 žen) a 10 pacientů (5 mužů a 5 žen) s lehkou formou cervikální spondylogenní myelopatie (CSM). Vyšetření dMR stejně jako dEPs bylo provedeno v neutrální poloze, předklonu a záklonu. Na MR C páteře byla měřena přední (PD) a zadní délka míchy (ZD), příčný (PR) a předozadní rozměr (PZ) a plocha míchy (P). Byl registrován somatosenzorický evokovaný potenciál (SEPs) n. medianus a n. tibialis a motorický evokovaný potenciál (MEPs) z mm. biceps brachii (BB), abductor pollicis brevis (APB) a tibialis anterior (TA).

Výsledky: U skupiny pacientů, při srovnání se zdravými jedinci, jsme zaznamenali změnu míšních funkcí, ale i délky i tvaru míchy již v neutrální poloze, přestože v ní nedocházelo k významné míšní kompresi. Při flexi a extenzi pak u nich docházelo, stejně jako u zdravých, k prodlužování resp. zkracování PD a ZD, ale na rozdíl od zdravých jedinců došlo při flexi i extenzi k zmenšení PR, PZ a P ve všech segmentech a statisticky významně se změnilo hlavně SEPs n. medianus i n. tibialis a MEPs m. TA.

Závěr:

Přestože grafické vyšetření prokazuje změnu tvaru a délky míchy v závislosti na změně osy krční páteře, na funkci míchy to u zdravých jedinců nemá zásadní vliv.

U jedinců s lehkou formou CSM s nevelkými degenerativními změnami C páteře, které v neutrální poloze nevedou ke kompresi míšní, ukazuje dynamické vyšetření páteře ve flexi a extenzi tlak na míchu, jenž vede ke změně tvaru míchy a alteraci míšních funkcí. Vyšetření dynamickými metodami je tudíž přínosem při stanovování diagnózy u těchto pacientů.

Klíčová slova:

krční páteř – dynamická magnetická rezonance (dMR) - dynamické evokované potenciály (dEPs) - cervikální spondylogenní myelopatie (CSM)

Abstract:

Introduction: The aim of our study was to assess the effect of dynamic changes in spinal flexion and extension assessed by dynamic magnetic resonance imaging (dMRI) on spinal cord functions assessed by dynamic evoked potentials (dEPs) in group of healthy individuals (group 1) and in group of patients with a small graphical pathology on cervical spine MRI in the neutral position, but with mild objective and progressive subjective difficulties (group 2).

Methodology: 10 healthy individuals and 10 patients were included in the study. Examination of dMRI as well as dEPs was performed in neutral position, flexion and extension. The anterior (PD) and posterior spinal cord length (ZD), transverse (PR) and anteroposterior dimension (PZ) and spinal cord area (P) were measured on the cervical spine MRI. The median and tibial nerves SEPs (somatosensory evoked potentials) and BB, APB and TA muscles MEPs (motor evoked potentials) were performed as well.

Results: In a group of patients we noticed a changes in the length and shape of the spinal cord but also spinal cord functions, already in the neutral position, even though there was no significant spinal cord compression. There were as well as healthy individuals elongation or shortening of PD and ZD during flexion and extension, There were, in contrast to healthy individuals, a reduction in PR, PZ and P in all segments during flexion and extension. At the same time, there were an alteration of spinal cord functions for the upper and lower limbs evaluated with the help of SEPs and MEPs.

Conclusion: Although the graphical examination shows a change in the shape and length of the spinal cord depending on the change in the axis of the cervical spine, it has no significant effect on the spinal cord function in healthy individuals. In individuals with a small objective neurological findings and small degenerative changes in the cervical spine, which in the neutral position do not lead to spinal cord compression, dynamic examination shows pressure on the spinal cord, leading to spinal cord function changes. Examination with these dynamic methods is therefore beneficial for decision making on the diagnosis of patients.

Key words: cervical spine - dynamic magnetic resonance imaging (dMRI) – dynamic evoked potentials (dEPs) – cervical spondylotic myelopathy (CSM)

Prohlašuji, že jsem disertační práci na téma Vztah funkce míšních drah a šíře kanálu páteřního v závislosti na změně osy krční páteře vypracoval pod vedením školitele samostatně za použití v práci uvedených pramenů a literatury. Dále prohlašuji, že tato disertační práce nebyla využita k získání jiného nebo stejného titulu.

V Plzni dne 12.7.2022

.....

MUDr. Slavomír Žídek

Obsah

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | ÚVOD | 10 |
| 2 | ANATOMIE KRČNÍ PÁTEŘE A MÍCHY | 11 |
| 2.1 | Anatomie krční páteře..... | 11 |
| 2.2 | Anatomie krční míchy | 13 |
| 3 | MÍŠNÍ DRÁHY | 16 |
| 3.1 | Dráhy zadních provazců | 16 |
| 3.2 | Anterolaterální systém..... | 18 |
| 3.3 | Motorické dráhy..... | 20 |
| 4 | BIOMECHANIKA KRČNÍ PÁTEŘE A MÍCHY | 22 |
| 4.1 | Kinematika funkční spinální jednotky..... | 22 |
| 4.2 | Fyzikální vlastnosti míchy..... | 24 |
| 4.3 | Funkční biomechanika míchy | 25 |
| 5 | GRAFICKÉ A NEUROFYZIOLOGICKÉ VYŠETŘOVACÍ METODY | 26 |
| 5.1 | MR vyšetření | 26 |
| 5.2 | Elektrofyzilogické vyšetřovací metody – evokované potenciály | 27 |
| 5.2.1 | Somatosenzorické evokované potenciály..... | 28 |
| 5.2.2 | Motorické evokované potenciály..... | 30 |
| 6 | HYPOTÉZA | 31 |
| 7 | SOUBOR A METODIKA | 33 |
| 7.1 | Charakteristika souboru | 33 |
| 7.2 | Metodika..... | 35 |
| 8 | VÝSLEDKY | 43 |
| 8.1 | Skupina 1..... | 43 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 8.1.1 | MR vyšetření | 43 |
| 8.1.2 | Evokované potenciály | 47 |
| 8.2 | Skupina 2..... | 52 |
| 8.2.1 | MR vyšetření | 52 |
| 8.2.2 | Evokované potenciály | 56 |
| 8.2.3 | Stenóza kanálu páteřního dle Muhleho klasifikace | 60 |
| 8.3 | Porovnání výsledků dMR a dEPs skupiny 1 se skupinou 2..... | 61 |
| 8.3.1 | MR vyšetření | 61 |
| 8.3.2 | Somatosenzorické evokované potenciály (SEPs) | 63 |
| 8.3.3 | Motorické evokované potenciály (MEPs) | 75 |
| 9 | DISKUSE | 79 |
| 10 | ZÁVĚR..... | 83 |
| 11 | LITERATURA | 84 |
| 12 | SEZNAM OBRÁZKŮ | 87 |
| 13 | SEZNAM TABULEK | 89 |

Seznam zkratek

ADM – m. abductor digiti minimi

AH - m. abductor hallucis

APB - m. abductor pollicis brevis

BB - m. biceps brachii

CCT – centrální kondukční čas / central conduction time

CMAP – sumační svalový potenciál

CML – centrální motorická latence

CT – počítačová tomografie / coputed tomography

CSM – cervikální spondylogenní myelopatie

dEPs – dynamické evokované potenciály

DK – dolní končetina/y

dMR – dynamická magnetická rezonance

ELF – elektrofyziologické vyšetření

EP – evokovaný potenciál

EPs – evokované potenciály

FN – fakultní nemocnice

FSU – funkční spinální jednotka

HK – horní končetina/y

JOA – Japanese Orthopaedic Association score

MEP – motorický evokovaný potenciál

MEPs – motorické evokované potenciály

mJOA - modified Japanese Orthopaedic Association score

MR – magnetická rezonance

NDI – Neck Disability Index

P – plocha míchy

PD – přední délka míchy

PR – příčný rozměr míchy

PZ – předozadní rozměr míchy

PML – periferní motorická latence

ROM – rozsah pohybu operovaného segmentu

RTG – rentgen/ový

SD – směrodatná odchylka

SEP – somatosenzorický evokovaný potenciál

SEPs – somatosenzorické evokované potenciály

TA - m. tibialis anterior

ZD – zadní délka míchy

1 ÚVOD

Spondylogenní cervikální myelopatie (CSM) patří v současnosti mezi významné socioekonomické problémy společnosti. Postihuje pacienty ve středním a vyšším věku a je příčinou časté pracovní neschopnosti. Neadekvátně léčené onemocnění může vést až k trvalé invaliditě pacienta. Těžce nemocný pacient ztrácí s rozvojem poruchy hybnosti končetin soběstačnost, přichází o zaměstnání, často bývá trvale odkázán na pomoc okolí. Plně rozvinuté změny jsou vzhledem k nemožnosti regenerace centrální nervové soustavy nezvratné. Onemocnění není dosud při ne zcela známé patofyziologii probíhajících změn plně objasněno. Vzhledem k rozsahu možných zdravotních i socioekonomických dopadů je zapotřebí pracovat na lepším pochopení dané problematiky. Klinické symptomy jsou obecně chronické, i když traumatické události mohou urychlit akutní exacerbaci míšní dysfunkce (LaRocca, 1988) (Sadasivan, a další, 1993).

Klinický projev může zahrnovat motorickou dysfunkci, spasticitu, poruchy čítí, sfinkterové poruchy, bolest šíje i cervikální radikulopatii. Diagnóza se stanovuje na základě klinických příznaků, grafických zobrazení (MR, CT, RTG) a elektrofyziologického vyšetření (somatosenzorické a motorické evokované potenciály – SEP a MEP). Všechny tyto vyšetřovací metody se obvykle provádí v neutrální poloze vleže, což je zcela dostačující u většiny pacientů s CSM, nedokážou však prokázat tzv. dynamickou kompresi míchy. Zavedení dynamických vyšetření, jak MR tak i evokovaných potenciálů, by mohlo odhalit pacienty s kompresí míšní vznikající při pohybu krční páteře a tím rozšířit a zlepšit diagnostiku CSM ještě ve stadiu reparabilního postižení nervové soustavy.

2 ANATOMIE KRČNÍ PÁTEŘE A MÍCHY

2.1 Anatomie krční páteře

Obratle

Krční páteř je členěna na sedm obratlů a šest meziobratlových plotének. První dva obratle mají atypickou morfologii. První krční obratel, atlas neboli nosič jako jediný nemá obratlové tělo. Je tvořen předním obloukem (arcus anterior), zadním obloukem (arcus posterior) a laterálními masami (massae laterales), jež spojují oba oblouky. Uprostřed zadního oblouku se nachází zakrnělý spinózní výběžek (tuberculum posterius). Na horní straně laterálních mas se nacházejí horní kloubní výběžky (facies articulares superiores) pro skloubení s kondyly týlní kosti a na spodní straně laterálních mas dolní kloubní výběžky (facies articulares inferiores) pro skloubení s obratlem C2. Příčné výběžky vybíhají z laterálních mas a jsou perforovány otvory (foramina transversaria) kterými prochází vertebrální cévy.

Druhý krční obratel, axis neboli čepovec, je větší než C3, má již tvar krčního obratle, z jeho těla však kraniálně vybíhá typický výběžek, dnes axis. Horní kloubní výběžky jsou nízké, laterálně se svažující, dolní kloubní výběžky mají již tvar běžný jako u ostatních krčních obratlů. Spinózní výběžek je rozeklaný a značně větší než následující.

Obratle střední a dolní krční páteře mají obratlové tělo oválné, kraniálně se po stranách zvedá v unkální výběžky (uncus corporis). Velikost obratlů kaudálním směrem narůstá. Dorzálně je na tělo připojen arcus vertebrae, který uzavírá trojúhelníkové foramen vertebrae. Oblouk je připojen prostřednictvím pediklů k obratlovému tělu. Z obratlového těla odstupují příčné perforované výběžky. Dorzálně z oblouku prominuje trnový výběžek (processus spinosus). Z oblouku dále odstupují párové horní a dolní kloubní výběžky, které jsou u krční páteře orientované frontálně.

Vazivový aparát

Vazy se dělí na dlouhé a krátké. Mezi dlouhé vazy patří přední podélný vaz (lig. longitudinale anterius), který se táhne od lebeční baze po předních plochách obratlových těl až ke kostrči. Druhým dlouhým vazem je zadní podélný vaz (lig. longitudinale posterius), ležící na zadní stěně obratlových těl. Krátké vazy spojují výběžky a oblouky sousedících obratlů. Mezi oblouky se nachází žlutý vaz (lig. flavum), který je nazvaný podle charakteristického zabarvení způsobeného vyšším obsahem elastických vláken. Příčné výběžky spojují ligg. intertransversaria, spinózní výběžky ligg. interspinalia, která v oblasti hrotů spinózních výběžků přechází v zesílený pruh, lig. supraspinale.

Meziobratlové ploténky

Těla obratlů jsou vzájemně spojena chrupavčitými meziobratlovými destičkami, největšími avaskulárními strukturami těla. Výšky disků se v kraniokaudálním směru zvyšují, tvarově jsou shodné s krycími deskami obratlů. Zevně na disku se nalézá pás hyalinní chrupavky pevně srůstající s kostí přilehlých obratlových těl. Vlastní disk je tvořen chrupavkou vazivovou, na okrajích přecházející v husté fibrózní vazivo. Disk se skládá ze zevní prstenčité části (anulus fibrosus) a vodnatého jádra (nucleus pulposus). Anulus je tvořen cirkulárně probíhajícími vlákny vazivové chrupavky a fibrózního vaziva při obvodu disku uspořádaných do 15 - 26 vrstev, přičemž nejzevnější část anulu je zpevněna kraniokaudálně se křížícími vlákny. Vnitřek disku tvoří vodnaté řídké jádro (nucleus pulposus) kulovitého až diskovitého tvaru. Jádro je uloženo blíže zadnímu okraji anulu. Nestlačitelná tekutina jádra uzavřená v anulu tvoří kulovité jádro, kolem kterého dochází k pohybu obratlů (Čihák, 2011) (Nolte, 2002) (Štěpánek, 2014) (Štulík, 2010).

2.2 Anatomie krční míchy

Krční mícha je uložena v kanálu páteřním, jež je tvořen sedmi obratli a přilehlými meziobratlovými disky. Začíná výstupem z foramen magnum, kde se ventrálně na míše nalézá decussatio pyramidum a zasahuje až po meziobratlový disk C7/Th1. Její tvar je na průřezu příčně oválný, vpředu ve střední čáře s hlubší brázdou (fissura mediana) a vzadu ve střední čáře mělkou brázdou (sulcus medianus posterior). Po stranách je mícha členěna dvěma podélně probíhajícími brázdami s vystupujícími motorickými a vstupujícími senzitivními kořeny míšních nervů (sulcus anterolateralis, sulcus posterolateralis). Dorzálně od středu míchy ve střední čáře k povrchu probíhá vazivové septum (septum medianum posterius). Krční mícha není fyziologicky stejných rozměrů. Ve střední a dolní etáži se nalézá intumescencia cervicalis (C3-Th2, maximum C5), což je vřetenovité ztlustění podmíněné kumulací motoneuronů pro horní končetiny v oblasti předních rohů míšních.

Vnitřní struktura krční míchy

Krční mícha se dělí na osm segmentů, z nichž odstupuje osm párů míšních nervů. Každý segment je tvořen jak šedou, tak bílou hmotou míšní, poměr zastoupení se však různí.

Šedá hmota

Středem míchy probíhá centrální kanálek (canalis centralis), který kraniálně navazuje na výstup z IV. mozkové komory. Kanálek vyplňuje mozkomíšní mok. V okolí kanálku se nachází šedá hmota míšní uspořádaná do tvaru písmene H. Úseky písmene H včetně konců příčné části se označují jako míšní rohy (cornua), v prostoru jako míšní sloupce (columnae). Podle polohy se sloupce dělí na přední, postranní a zadní. V těsné blízkosti centrálního kanálku se nalézá substantia grisea intermedia.

Funkční členění šedé hmoty míšní

Neurony tvoří v šedé hmotě míšní shluky, neboli jádra (nuclei). V zadních rozích se nalézá nucleus apicalis, nucleus proprius columnae posterioris a nucleus thoracicus. V předních rozích jsou motoneurony alfa, jejichž axony pokračují do kosterního svalstva,

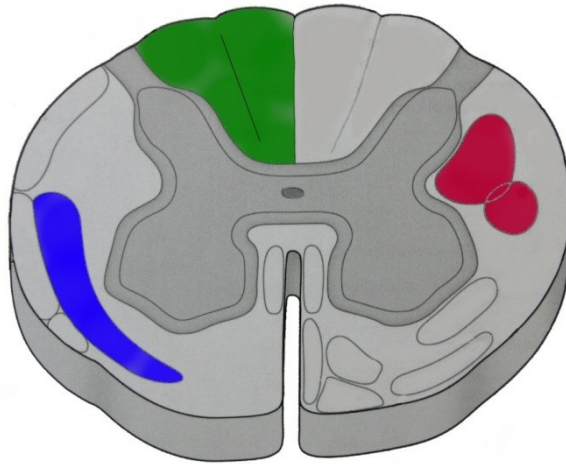
kde končí jako presynaptické zakončení motorické ploténky. Kromě alfa motoneuronů jsou v předních rozích i motoneurony gama. Ty jsou součástí systému regulace svalového tonu. V postranních sloupcích pak rozlišujeme nucleus intermediolateralis a nucleus intermediomedialis.

Bílá hmota

Bílá hmota míšň (substantia alba) je uložena zevně od šedé hmoty míšň. Polohou sloupců šedé hmoty, longitudinálně probíhajících brázď a zadním septem je členěna na provazce míšň. Zadní provazec (funiculus posterior) sahá od mediálního dorzálního septa až po sulcus posterolateralis. Obsahuje převážně ascendentní dráhy. Dělí se na vnitřní porci fasciculus gracilis (Golli) a zevní porci fasciculus cuneatus (Burdachi). Postranní provazec (funiculus lateralis) se rozprostírá od sulcus posterolateralis po sulcus anterolateralis. Obsahuje ascendentní a descendentní dráhy. Přední provazec (funiculus anterior) sahá od sulcus anterolateralis po fissura mediana anterior.

Funkční členění bílé hmoty míšň

Dendrity a axony v bílé hmotě tvoří míšň dráhy (tractus) (obrázek 2-1). V zadních provazcích probíhají dráhy zadních provazců, tractus spinobulbaris, dělíme je na mediální fasciculus gracilis a laterální fasciculus cuneatus. V postranních provazcích se nalézají tractus spinocerebellaris posterior a lateralis (zapojeny do systému koordinace pohybu), tractus spinoolivaris (zapojen do systému koordinace pohybu), tractus corticospinalis lateralis, pyramidová dráha (zapojen do systému kontroly jemné motoriky), tractus rubrospinalis (systém posturální kontroly), tractus spinothalamicus lateralis (zapojen do aferentního systému termického, algického a části taktilního vnímání), tractus spinotectalis (zapojen do kontroly koordinace pohledu a pohybů), tractus spinoreticularis a reticulospinalis (zapojeny do aktivační retikulární formace). Přední provazce obsahují tractus vestibulospinalis, tractus spinothalamicus anterior, tractus spinoreticularis a reticulospinalis, tractus tectospinalis (zapojen do kontroly koordinace pohledu a pohybů), tractus corticospinalis anterior a fasciculus longitudinalis medialis (zapojen do systému koordinace pohledu a pohybu) (Nolte, 2002) (Štěpánek, 2014).



Obrázek 2-1 Rozložení zadních míšních drah na řezu míchou

Legenda: červeně označen tr. corticospinalis lateralis, zeleně dráhy zadních provazců, modře tr. spinothalamicus.

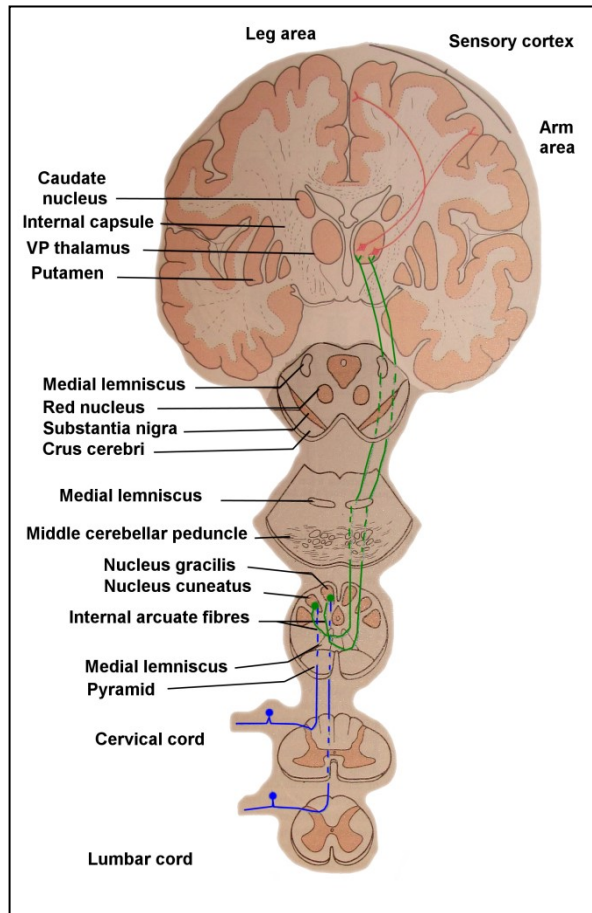
3 MÍŠNÍ DRÁHY

Převod jednotlivých modalit vjemů na úrovni míšní a mozkové má specifické rozložení.

3.1 Dráhy zadních provazců

Jsou zásadním morfologickým podkladem pro převod taktilního cití. Počátek dráhy tvoří neurony ve spinálních gangliích, jejich axony vstupují do míchy cestou zadních kořenů míšních. Vlákná dále pokračují ipsilaterálně do oblasti zadních provazců. Ascendentní vlákna jsou somatotopicky uspořádána (Kahlerovo pravidlo). Mediolaterálním směrem (přes fasciculus Gollii i Burdachi) probíhají dráhy ze sakrálních, lumbálních, thorakálních a cervikálních segmentů. Axony probíhají vzestupně do prodloužené míchy a končí v nucleus gracilis a cuneatus medialis. Další projekce je cestou lemniscus medialis, který kříží střední čáru a končí v thalamu v nucleus ventralis posterolateralis. Axony thalamických neuronů pak končí v somatosenzorickém kortexu (gyrus postcentralis) (obrázek 3-1).

Kromě taktilního cití slouží tato dráha i k přenosu proprioceptivních informací. Vzestupná vlákna z horních končetin končí ipsilaterálně v oblasti nucleus cuneatus lateralis. Další projekce je zčásti shodná – lemniscus medialis, část dráhy se odklání směrem do mozečku (tractus cuneocerebellaris). Axony vedoucí propriocepci z dolních končetin končí ipsilaterálně v nucleus Stilling-Clark. Další průběh je cestou tractus spinocerebellaris anterior a posterior (Nolte, 2002) (Králíček, 2011) (Štěpánek, 2014).

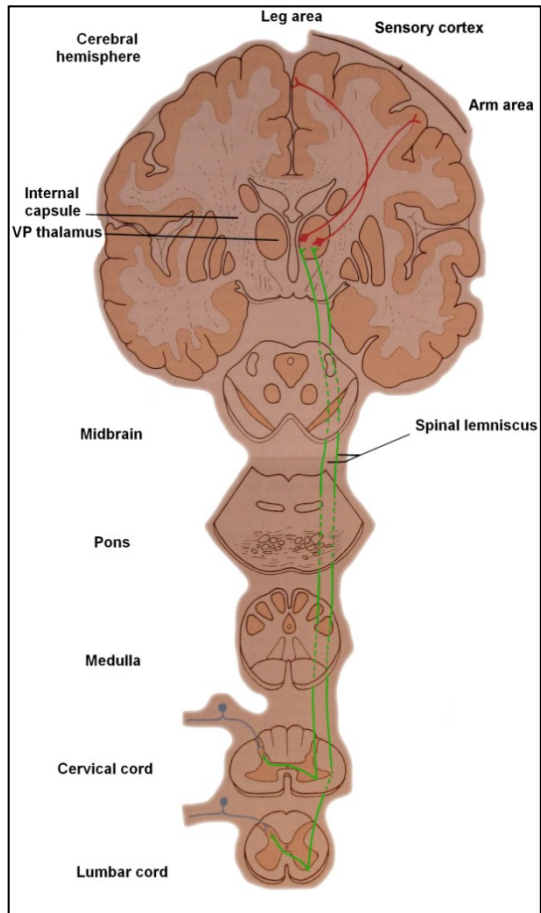


Obrázek 3-1 Schéma drah zadních provazců

3.2 Anterolaterální systém

Zajišťuje další způsob přenosu somatosenzorických drah. Dominantně je zde veden vjem tepla a bolesti. Tento typ taktilního cití vyžaduje vyšší prahový stimul, neumožňuje přesnou autotopognosii a stereognosii. Začátek dráhy tvoří axony neuronů spinálních ganglií, jež vstupují cestou zadních rohů do míchy a končí v šedé hmotě zadních rohů v místě vstupu do míchy. Postsynapticky se dráha kříží přes střední čaru a stoupá v postranních, částečně i předních provazcích míšních. Vlákná směřují do nucleus ventralis posterolateralis a do retikulární formace mozkového kmene. Tento systém zahrnuje tractus spinothalamicus, spinoreticularis et spinotectalis.

Tractus spinothalamicus je základní drahou (obrázek 3-2). Postsynaptické křížení probíhá v oblasti commissura anterior alba. V mozkovém kmeni probíhá dráha laterálně od mediálního lemnisku. Rozložení vláken v provazcích je somatotopicky uspořádáno. Mediolaterálně probíhají vlákna cervikální, thorakální a lumbální. Dále je dráha členěna ventrodorzálně dle vedených modalit, vpředu taktilní cití, poté algické a dorzálně termické cití (Nolte, 2002) (Králíček, 2011) (Štěpánek, 2014).



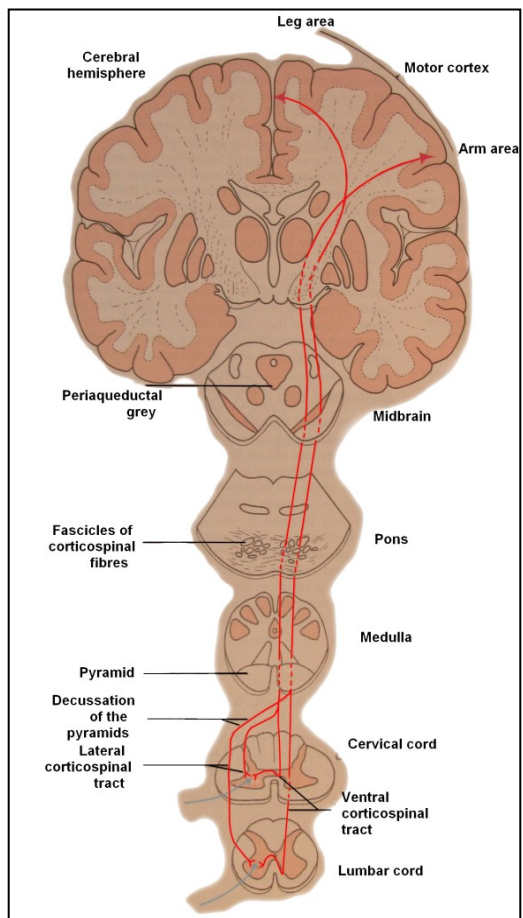
Obrázek 3-2 Schéma průběhu tractus spinothalamicus

3.3 Motorické dráhy

Míšní motoneurony jsou v předních rozích míšních rozloženy do anteromediálního a posterolaterálního seskupení. Anteromediální skupina zajišťuje projekci do axiálního svalstva. Tento systém zajišťuje posturální a podpůrnou hybnost. Descendentní dráhy se projikují oboustranně do anteromediálního seskupení jader. Do anteromediálního systému patří tractus reticulospinalis, vestibulospinalis, tectospinalis a corticospinalis anterior, jejichž dráhy probíhají především v předních provazcích míšních.

Posterolaterální skupina zajišťuje projekci především do akrálních oblastí končetin, zajišťuje jemnou a cílenou motoriku. Descendentní dráhy zde mají pouze ipsilaterální projekci. Mezi systém posterolaterální řadíme tractus rubrospinalis a tractus corticospinalis lateralis. Dráhy probíhají v postranních provazcích míšních.

Tractus corticospinalis lateralis (obrázek 3-3) je nejdůležitější, fylogeneticky novou motorickou drahou. Tato monosynaptická dráha začíná projekcí neuronů uložených v primárním motorickém kortexu (gyrus precentralis). Axony sestupují cestou capsula interna do crus cerebri, ipsilaterálně přes mozkový kmen do oblasti foramen magnum, kde se ventrálně kříží (decussatio pyramidum). Poté vlákna sestupují v postranních provazcích až do posterolaterálního systému míšních motoneuronů (Nolte, 2002) (Králíček, 2011) (Štěpánek, 2014).



Obrázek 3-3 Schéma průběhu tractus corticospinalis

4 BIOMECHANIKA KRČNÍ PÁTEŘE A MÍCHY

4.1 Kinematika funkční spinální jednotky

Znalost kinematiky páteře je nezbytná pro pochopení všech aspektů klinického hodnocení onemocnění páteře. Základním fyziologickým postavením krční páteře je lordóza, jejíž zakřivení fyziologicky kolísá mezi 31° - 40°, redukovaná lordóza pod 20° bývá často doprovázena bolestí šíje. (McAviney, 2005) Základní biomechanickou jednotku na páteři tvoří pohybový segment, tzv. funkční spinální jednotka (*functional spinal unit*, FSU), která se skládá ze dvou přilehlých obratlů, meziobratlové ploténky a vazivových struktur. Každý segment umožňuje šest stupňů volnosti pohybu: rotace a translace kolem všech tří prostorových os. Pohyb v segmentu je zpravidla komplexní, složený z flexe, extenze, inklinace a rotace. Fyziologické zatížení vazivového aparátu při flexi krční páteře se přenáší z 30% na supraspinózní vazy, z 27% na interspinózní vazy a z 13% na zadní podélný vaz. Při extenzi krční páteře se napětí přenáší na přední podélný vaz z 13 %, při rotacích na kloubní pouzdra z 17 %.

Rozsah pohybu (range of motion, ROM) je rozdíl vzdálenosti mezi dvěma maximálními fyziologickými polohami. Definuje jak rotaci, tak translaci. Krční páteř je extrémně pohyblivá. Normální rozsah pohybu krční páteře (ROM) zajišťuje přibližně 80°–90° flexe, 70° extenze, 20°–45° laterálního úklonu a více než 90° rotace na obě strany. Cervikální ROM se může lišit vlivem různých faktorů (například s přibývajícím věkem ROM klesá) a specifických individuálních charakteristik (rasa, stav měkkých tkání, trénovanost a řada dalších) (Windle, 1980). Rozsah flexe – extenze atlantookcipitálního kloubu je v průměru 15° - 20°, u těchto kloubů ale není možná téměř žádná rotace nebo laterální flexe vzhledem k tvaru kloubních ploch a silnému pouzdru atlanto-okcipitálního kloubu (Bogduk, 2000).

Atlanto-axiální klouby mají významný podíl na rotaci díky ligamentózním strukturám (příčným, alárním a apikálním) a jedinečné anatomii, umožňující atlasu rotaci téměř o 50° na každou stranu (Windle, 1980). Flexe krční páteře začíná v její dolní části (C4–7), následuje Occiput–C2, poté C2–3 a nakonec C3–4. Podobně extenze také začíná na C4–7, poté následuje Occiput–C2 (Van Mameren, 1990).

Holmes et al. (Holmes A, 1994) provedli radiologickou studii s 50 zdravými jedinci (32 mužů [věkové rozmezí 21–58 let] a 18 žen [věkové rozmezí 20–55 let]). Všem jedincům provedli laterální rentgenové snímky v plné flexi a plné extenzi a měřili ROM od C2 do C7. Nejnižší ROM byl 50° a největší přesáhl 90° (střední hodnota, 67°). Skupina 50 pacientů s CSM (35 mužů [věkové rozmezí 31–63 let] a 15 žen [věkové rozmezí 35–67 let]) měla průměrný ROM 53°, což bylo významně nižší než u skupiny zdravých jedinců. (67°) ($p < 0,001$). Je třeba poznamenat, že věk skupiny s CSM byl vyšší než ve skupině zdravých jedinců. Dle autorů byl průměrný cervikální ROM u zdravých Číňanů nižší než u Západní populace. Dále prokázali, že prevalence spinální stenózy se zvyšovala s flexí a extenzí ve srovnání s neutrální polohou.

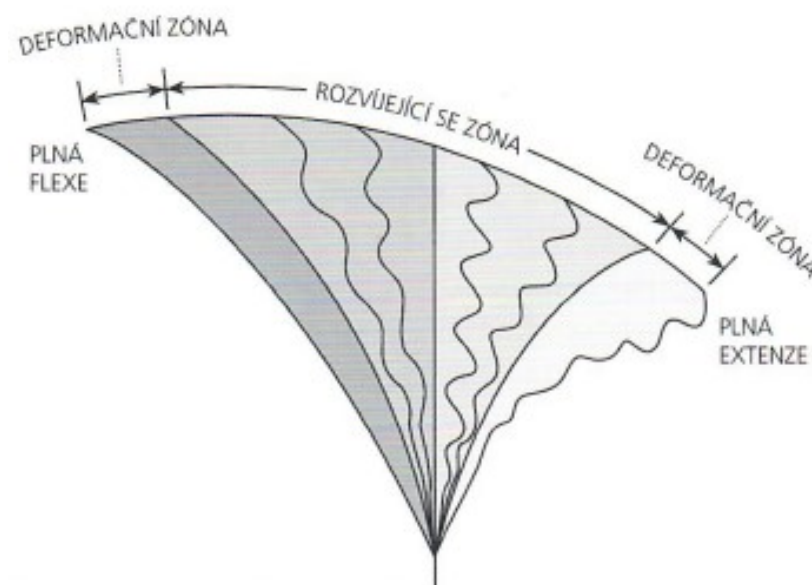
White (White, 1990) uvádí rozsah pohybu jednotlivých segmentů, jak je uvedeno v tabulce 4-1.

Tabulka 4-1 1 Rozsah pohybu jednotlivých segmentů krční páteře (stupně)

| | C0/1 | C1/2 | C2/3 | C3/4 | C4/5 | C5/6 | C6/7 | C7/Th1 |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|--------|
| Flexe/extenze | 25 | 19 | 10 | 16 | 20 | 20 | 17 | 9 |
| Inklinace (od středu) | 6 | 5 | 4 | 7 | 7 | 7 | 6 | 3 |
| Rotace (od středu) | 5 | 40 | 11 | 12 | 12 | 9 | 8 | 5 |

4.2 Fyzikální vlastnosti míchy

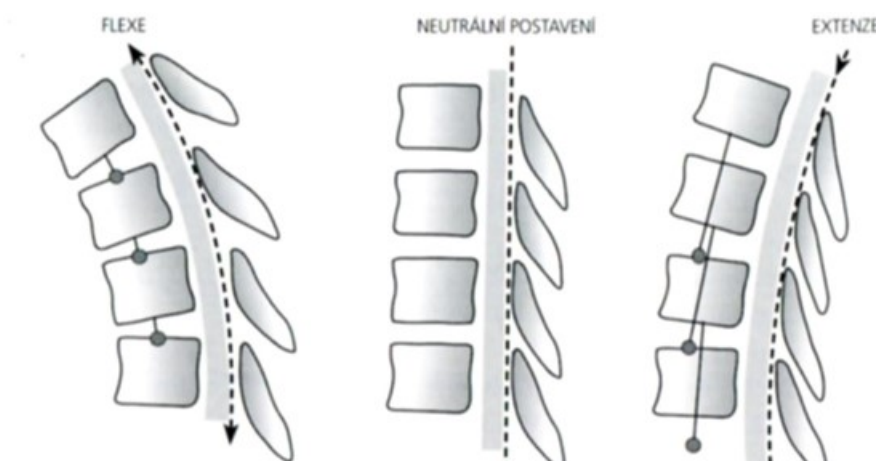
Mícha a pia mater jsou struktury se zvláštními biomechanickými vlastnostmi. Je-li mícha zbavená okolních spojení, nervů a dentikulárních ligament a zavěšena za svůj horní konec, svou vlastní vahou se prodlouží o více než 10%. Tato flexibilita se rychle mění v tuhý odpor při pokusu o další prodloužení. Jinými slovy, křivka zatížení versus délka má dvě odlišné fáze: počáteční fázi, kdy je velké deformace docíleno malými silami, a fázi druhou, kdy jsou třeba relativně velké síly k relativně malé deformaci. Jedna fáze přechází náhle ve fázi druhou. Počáteční síla je méně než 0,01 N, zatímco ve druhé fázi před rupturou mícha odolá 20-30 N. Extrémní mobilita míchy v iniciální fázi je dána tzv. harmonickým efektem, tj. schopností míchy na jedné straně se smrštit a na druhé roztáhnout nebo naopak. Kromě sil ohybových je mícha také namáhána silami tahovými. Druhou fázi křivky reprezentují vlastnosti míšní tkáně, zatímco první fáze mobility je umožněna harmonickým uspořádáním (obrázek 4-1) (Štulík, 2010).



Obrázek 4-1 Graf závislosti zatížení míchy na její délce podle Panjabiho

4.3 Funkční biomechanika míchy

Mícha je v durálním vaku zavěšena na ligg. denticulata a je rovněž podpírána nervovými kořeny. Breigh et al. (Breig, 1966) provedli kadaverózní studii s cílem posoudit vliv flexe, extenze a neutrální polohy na krční míchu. Po fixaci 42 cervikálních preparátů v různých polohách prokázali, že kanál páteřní se ve flexi prodlužuje a současně dochází k natahování a prodloužení míchy a dentikulárních vazů (se snížením předozadního průměru (PZ) v histologických řezech). Naopak v extenzi se mícha uvolňuje a zkracuje, stejně jako nervové kořeny a dentikulární vazy (obrázek 4-2). Během flexe byly mechanickým namáháním deformovány laterální sloupce a přední rohy míšní. Z těchto důvodů autoři předpokládají, že mechanické namáhání s nadměrnou flexí a extenzí může vést k poruchám vedení v natažených nebo stlačených axonech.



Obrázek 4-2 Schéma vlivu flexe a extenze na délku kanálu páteřního a míchy

5 GRAFICKÉ A NEUROFYZIOLOGICKÉ VYŠETŘOVACÍ METODY

5.1 MR vyšetření

Zásadním přelomem pro zobrazení míchy bylo zavedení magnetické rezonance (MR) do klinické praxe v 80. letech minulého století. MR má ze všech zobrazovacích diagnostických metod nejlepší tkáňový kontrast. Jako jediná morfologická zobrazovací metoda je schopna přímo vizualizovat míchu, diferencovat mezi šedou a bílou hmotou míšní, zobrazit a odlišit různé patologické léze.

Vyšetření je neinvazivní, rychlé, provádí se zpravidla v T1 a T2 vážených obrazech (obrázek 5-1) a TIRM sekvencích v axiálních a sagitálních řezech. Na sagitálních řezech můžeme proměřovat délku (D), na axiálních řezech plochu (P), předozadní (PZ), či příčný (PR) rozměr kanálu páteřního a míchy.



Obrázek 5-1 MR zobrazení krční páteře-základní projekce

Legenda: vlevo sagitální T1w projekce, vpravo sagitální T2w projekce.

5.2 Elektrofyziologické vyšetřovací metody – evokované potenciály

Evokované potenciály (EPs) jsou odpovědi nervového systému na vyvolaný podnět (zrakový, sluchový, somatosenzorický, motorický apod.). Objektivizují poruchu funkce nervového systému v korelaci s klinickým obrazem a morfológickými metodami, porucha je však nespecifická pro dané onemocnění. Z přítomného abnormálního nálezu nelze určit typ choroby.

Evokované potenciály jsou představovány komponentami, které jsou definovány svojí latencí a amplitudou. Jsou vytvářeny jednotlivými generátory v průběhu dráhy po stimulaci příslušného smíšeného či senzitivního nervu (SEP) či kůry mozkové (MEP).

Využívají se k rozlišení poruchy periferního a centrálního nervového systému, k objektivizaci poruchy nervového systému, k peroperačnímu monitorování funkce nervového systému či v intenzivní péči k prognóze těžkých poruch vědomí a jsou schopny zachytit i preklinické změny funkce míchy. Dráhu zadních provazců vyšetřujeme pomocí SEP n. medianus a n. tibialis. Kortikospinální trakt vyšetřujeme pomocí MEP ze svalů HK i DK. Nejčastěji se využívá m. biceps brachii (BB), m.abductor pollicis brevis (APB) či m. abductor digiti minimi (ADM) pro HK a m.tibialis anterior (TA) s m. abductor hallucis (AH) pro svaly DK.

5.2.1 Somatosenzorické evokované potenciály

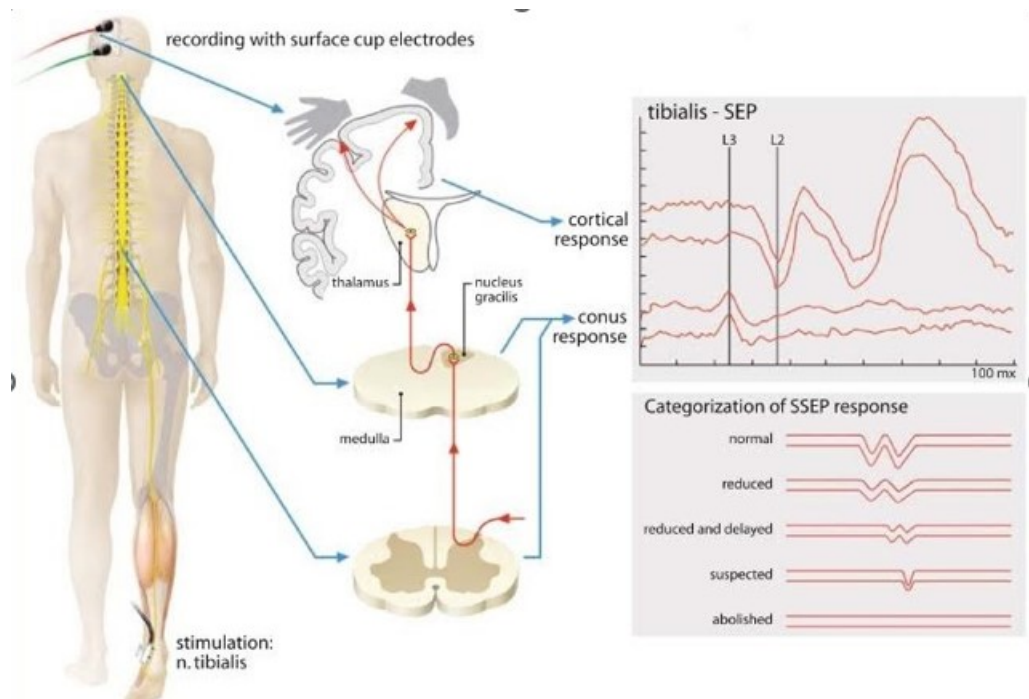
Jsou odpovědí mozku na podráždění aferentních somatosenzorických vláken periferního nervu definovaným elektrickým podnětem. Při vyšetření se sleduje vedení signálu z periferie celou somatosenzorickou dráhou do korové projekční oblasti v gyrus postcentralis.

SEP n. medianus

Elektricky je stimulován n. medianus na zápěstí (pravoúhlý impuls s danou frekvencí a intenzitou v trvání 0,2 ms, intenzitou rovnající se trojnásobku stimulačního prahu a frekvencí od 4-7 Hz). Registrovány jsou jednotlivé zprůměrněné odpovědi v průběhu dráhy – odpověď z Erbova bodu (N9), cervikální míšní komponenta ze zadních rohů míšních (N13), odpověď z primárního somatosenzorického kortexu (N20 a P25) a ev. subkortikální komponenty P14 a N18. Pro posouzení funkce dráhy zadních provazců na míšní úrovni využíváme komponentu N13 (její latenci i amplitudu) a měříme CCT (central conduction time) – tedy rychlost vedení signálu od úrovně zadních rohů míšních do oblasti primárního kortexu. CCT tedy představuje rozdíl latencí N20-N13.

SEP n. tibialis

N. tibialis je stimulován za vnitřním kotníkem (pravoúhlý impuls, danou frekvencí a intenzitou) a registrovány jsou jednotlivé zprůměrněné odpovědi z oblasti popliteální (N8), lumbosakrální míšní komponenta (N22) a odpověď z primárního somatosenzorického kortexu (P40/N50) a ev. komponenty subkortikální (P30/N33). Pro posouzení funkce dráhy zadních provazců na míšní úrovni využíváme komponentu N22 a P40, resp. rychlost vedení mezi lumbosakrální komponentou a kortexem tzn. CCT, který představuje rozdíl latencí P40-N22 (obrázek 5-2).



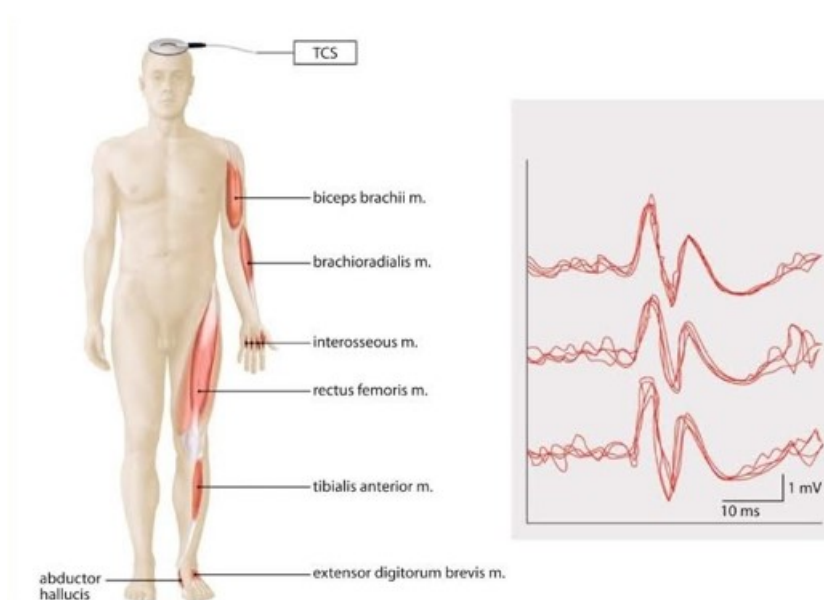
Obrázek 5-2 Schéma monitoringu SEPs

5.2.2 Motorické evokované potenciály

Představují metodu k vyšetření integrity rychle vedoucích vláken kortikospinálního traktu u řady neurologických onemocnění včetně CSM.

Transkraniálně je evokována motorická odpověď, která je snímána z příslušného svalu. Speciální cívka indukuje krátce trvající elektromagnetické pole, které indukuje sekundární elektrický proud, který aktivuje kortikální neurony a sestupný kortikospinální trakt, následně periferní motorický nerv a nervosvalovým přenosem poté svalové vlákno. Motorickou odpověď- motorický evokovaný potenciál pak registruje z příslušného svalu jako sumační svalový potenciál – CMAP (obrázek 5-3).

Kortikální stimulace je prováděna na skalpu na konvenčních místech, foraminální – spinální stimulace spinálního nervu pak po jeho výstupu z foramen intervertebrale. K dalšímu hodnocení je použit CMAP s největší amplitudou a nejkratší latencí. Latence odpovědi po transkraniální stimulaci představuje centrální motorickou latenci (CML), latence odpovědi po spinální stimulaci poté periferní motorickou latenci (PML). Rozdíl latencí mezi CML a PML představuje centrální kondukční čas ($CCT=CML-PML$).



Obrázek 5-3 Schéma monitoringu MEPs

6 HYPOTÉZA

Cervikální spondylogenní myelopatie (CSM) je nejčastější příčinou míšního postižení u pacientů nad 55 let (Matz, 2009). Diagnóza onemocnění je založena na klinických symptomech a potvrzena vyšetřením MR páteře v neutrální poloze s průkazem míšní komprese způsobené degenerativními změnami krční páteře. U určité skupiny pacientů je však komprese minimální či neprůkazná na statickém MR, ale je odhalena až při dynamických vyšetřeních (dMR), tzn. při flexi či extenzi krční páteře (Muhle, 1998) (Dalbayrak, 2015).

Je známo, již z měření na kadaverech a dále i z biomechanických měření, že se páteřní kanál i mícha prodlužují při flexi a zkracují při extenzi (Breig, 1966) (Panjabi, 1988) (White, 1990). Více se prodlouží zadní stěna kanálu, méně stěna přední.

Všechny tyto změny byly dále potvrzeny i studiiemi s využitím dynamického vyšetření C páteře pomocí MR (Kuwazawa, 2006) (Endo, 2014) (Jha, 2018). dMR dále prokázala u zdravé populace i změny šíře subarachnoidálního prostoru. Přední subarachnoidální prostor se zvětšuje a zadní zmenšuje při extenzi C páteře, při flexi je tomu naopak (Muhle, 1998). Při pohybech C páteře dochází i ke změnám šíře neuroforamin, ve flexi se rozšiřují, v extenzi zužují (Muhle, 2001). dMR není dosud zcela standardizovanou technikou a je třeba ji interpretovat s opatrností a korelovat se subjektivními obtížemi a objektivním klinickým nálezem.

K stanovení významnosti těchto dynamických změn by mohlo pomoci odhalení vztahu mezi dynamickými morfologickými změnami páteře a míchy a míšními funkcemi, což by přispělo k zdokonalení diagnostiky i léčby CSM. Tento vztah byl však dosud omezeně studován. Existuje minimálně prací, které se soustředily pouze na vztah mezi polohou krční páteře a funkčním vyšetřením drah zadních provazců pomocí SEPs (somatosenzorický evokovaný potenciál) horních končetin. MEPs (motorické evokované potenciály) studovány nebyly. Byla publikována práce, která ukazuje změnu amplitudy a latence cervikální míšní komponenty v závislosti na změně polohy C páteře, která je významnější u pacientů s CSM v porovnání se zdravými jedinci (Qi, 2020). Studie dále potvrdila i změnu latence a amplitudy skalpové vlny N20 v závislosti na změně polohy C páteře, významnější u pacientů s CSM než u zdravých jedinců (Qi, 2020). Tyto práce tedy napovídají, že dynamický efekt mění funkce na subklinické úrovni u zdravých

jedinců, u pacientů s degenerativními změnami C páteře pak funkce mohou být alterovány významněji.

Existuje také skupina pacientů s nevelkým grafickým nálezem na MR C páteře v neutrální poloze, s lehkou formou CSM ale s nezanedbatelnými subjektivními obtížemi, u které tento dynamický efekt může hrát významnou roli, neboť může vést ke kompresi míchy a změně míšní funkce. Cílem naší studie bylo u těchto pacientů korelovat dMR i dEPs (dynamické EPs) a posoudit významnost těchto dynamických morfologických změn C páteře na míšní funkci.

1. část dizertační práce

Korelace dMR C páteře a dEPs na skupině zdravých jedinců (skupina 1).

2. část dizertační práce

Posouzení vlivu dynamických morfologických změn C páteře a míchy hodnocených pomocí dMR na míšní funkce hodnocené pomocí dEPs u skupiny pacientů s lehkou cervikální stenózou, nevelkým objektivním neurologickým deficitem a progredujícími subjektivními obtížemi (skupina 2).

3. část dizertační práce

Porovnání výsledků dMR a dEPs skupiny 1 se skupinou 2.

7 SOUBOR A METODIKA

7.1 Charakteristika souboru

Skupina 1 – zdraví jedinci

Do skupiny 1 bylo zařazeno 5 mužů a 5 žen ve věku 22 až 55 let. Podmínkou pro zařazení jedince do studie byla absence bolestí, parestezií a slabostí končetin a bolesti šíje, absence poruch chůze s normálním neurologickým nálezem a žádnými, či pouze minimálními, degenerativními změnami krční páteře bez komprese nervových struktur na MR C páteře.

Skupina 2 – pacienti

Tabulka 7-1 Charakteristika skupiny 2

| Pacient | Věk | Pohlaví | mJOA | NDI | Muhle klasifikace | Operace | poop. mJOA | poop. NDI |
|---------|-----|---------|------|-----|-------------------|---------|------------|-----------|
| 1 | 52 | F | 17 | 18 | 2 | Čeká | | |
| 2 | 46 | F | 17 | 16 | 2 | Ano | 18 | 12 |
| 3 | 52 | F | 16 | 15 | 2 | Ano | 17 | 12 |
| 4 | 61 | M | 17 | 19 | 2 | Ano | 18 | 14 |
| 5 | 50 | M | 18 | 18 | 1 | Ne | | |
| 6 | 46 | F | 17 | 15 | 2 | Ano | 18 | 11 |
| 7 | 62 | M | 15 | 16 | 2 | Ano | 18 | 11 |
| 8 | 40 | F | 17 | 15 | 2 | Ne | | |
| 9 | 58 | M | 16 | 18 | 1 | Ano | 17 | 11 |
| 10 | 56 | M | 17 | 15 | 2 | Čeká | | |

Legenda: mJOA – modifikace Japanese Orthopaedic Association score, NDI – Neck disability index

Do skupiny 2 bylo zařazeno 5 mužů a 5 žen ve věku 40 až 62 let. Všichni pacienti v tomto souboru absolvovali ambulantně neurologické klinické vyšetření (tabulka 7-1). Dle použitých skórovacích škál jejichž popis je v kapitole 7.2 Metodika bylo mJOA v rozsahu 15-18, tedy lehké neurologické postižení, NDI 15-19, tedy středně těžké omezení vykonávání běžných denních aktivit, Mühle klasifikace 1-2, tedy obliterace subarachnoidálního prostoru bez komprese míchy. 6 pacientů bylo operováno s diagnózou CSM, 2 pacienti na operaci čekají. Na vyšetřování a hodnocení se podílel ambulantní kolektiv lékařů neurochirurgické kliniky FN Plzeň.

7.2 Metodika

U pacientů byly sledovány *subjektivní* parametry: dotazník **Neck Disability Index** (NDI) (Vernon, 1991), který vznikl modifikací dotazníku Oswestry Disability Index a hodnotí schopnost vykonávat běžné denní aktivity u pacientů s bolestmi krční páteře. NDI je složen z 10 položek různých typů aktivit a každá položka obsahuje 6 tvrzení (0-5) odstupňovaných podle tíže omezení dané schopnosti. Celkové skóre je vyjádřeno pomocí bodového hodnocení. 0-4 = žádné omezení, 5-14 = mírné omezení, 15-24 = středně těžké omezení, 25-34 = těžké omezení, více než 34 = úplné omezení.

Sledovány byly samozřejmě i *objektivní* parametry hodnotící tíži cervikální myelopatie na podkladě klinického neurologického vyšetření, vyhodnoceny byly pomocí **modifikace Japanese Orthopaedic Association score** (mJOA) (Benzel, 1991). Japanese Orthopaedic Association (JOA) score (Clark, 1988), (Hukuda, 1985). Škála je rozložena do čtyř částí a je založena na hodnocení tíže poruchy hybnosti horních končetin, dolních končetin, poruše citlivosti a sfinkterových poruchách. JOA škála byla sestavena pro asijskou populaci, v našich podmínkách je běžně využívána její modifikace (mJOA). Škálu modifikoval Benzel (Benzel, 1991). Jako lehké postižení je hodnoceno rozpětí mezi 18 - 15 body, střední mezi 14 - 12 body a těžké mezi 11 - 0 body (Fehlings, 2012).

Stupeň stenózy prokázané při MR vyšetřování pacientů jsme hodnotili pomocí **Muhleho klasifikace** (Muhle, 1998): 0 = normál, 1 = parciální obliterace předního nebo zadního subarachnoidálního prostoru, 2 = kompletní obliterace předního nebo zadního subarachnoidálního prostoru, 3= komprese míchy

MR vyšetření a vyšetření EPs bylo měřeno ve dvou nezávislých sezeních. Nejdříve bylo provedeno MR, s odstupem 3-5 dní bylo provedeno vyšetření EP. Vyšetření MR stejně jako EP (SEP i MEP) bylo provedeno ve 3 polohách: v neutrální poloze (N), v předklonu (P) a v záklonu (Z). Předklonu bylo dosaženo uložením pacienta do speciální podložky s předklonem hlavy tak, že úhel ramen a zátylku byl 130° (obrázek 7-1) a záklonu bylo dosaženo rovněž podložením hlavy a ramen speciální podložkou s úhlem ramen a zátylku 270° (obrázek 7-2). Pro vyšetření EP i pro MR bylo podkládání prováděno vleže.



Obrázek 7-1 Předklon s využitím speciální podložky



Obrázek 7-2 Záklon s využitím speciální podložky

MR C páteře

Pro měření délky a tvaru míchy jsme použili 1,5T MR systém (Magnetom Avanto, Siemens, Erlangen, Německo), 20kanálová cívka (Siemens, Erlangen, Německo), bez 4kanálové přední části cívky. T2 vážená 3D (trojrozměrná) jednovrstvá TSE (Turbo Spin Echo) sekvence s názvem SPACE (Sampling Perfection with Application optimized Contrasts using different flip angle Evolution) s izometrickou velikostí voxelů $0,9 \times 0,9 \times 0,9$ mm. Všechna měření byla prováděna prostřednictvím softwarové platformy syngo.via. Skeny byly nejprve provedeny v neutrální poloze. Poté byly provedeny dynamické skeny v předklonu a záklonu pomocí speciálních podložek (obrázek 7-3). Měřili jsme přední délku míchy (PD) a zadní délku míchy (ZD) v sagitálním řezu ve střední čáře (obrázek 7-4) od dolního okraje C2 po dolní okraj C7 pomocí vícebodové křivky. Každý bod měření křivky byl v úrovni dolního okraje obratle a ve středu těla obratle - tedy 11 bodů měření. Poté jsme změřili v transverzálních multiplanárních rekonstrukcích (MPR) příčný rozměr míchy (PR) a předozadní rozměr míchy (PZ) (obrázek 7-5) a plochu míchy (P) (obrázek 7-6) v úrovni středu výšky intervertebrálních disků C4/5, C5/6 a C6/7. Všechna měření byla prováděna ve flexi, extenzi a neutrální poloze, které jsou definovány výše.



Obrázek 7-3 dMR C páteře u pacienta s CSM

Legenda: vlevo předklon, uprostřed neutrální poloha, vpravo záklon



Obrázek 7-4 Měření přední (PD) a zadní (ZD) délky míchy

Legenda: Červená čára na přední straně míchy a na zadní straně míchy ukazuje měření PD a ZD v rozsahu od dolního okraje obratle C2 po dolní okraj obratle C7 , červená čára na přední straně míchy ukazuje rozsah měření PD, červená čára na zadní straně míchy ukazuje rozsah měření ZD



Obrázek 7-5 Měření příčného (PR) a předozadního (PZ) rozměru míchy v úrovni středu výšky meziobratlové ploténky

Legenda: Horizontální červená čára ukazuje PR a vertikální červená čára ukazuje PZ



Obrázek 7-6 Měření plochy (P) míchy v úrovni středu výšky meziobratlové ploténky

Legenda: Červený ovál vyznačuje měřenou plochu

Elektrofyzilogické vyšetření

Pro posouzení funkce vzestupných a sestupných míšních drah byli všichni pacienti vyšetřeni baterií evokovaných potenciálů. Tato baterie zahrnovala SEPs smíšeného nervu horní končetiny (n. medianus) a dolní končetiny (n. tibialis) a MEPs registrovaný ze svalů horní končetiny (m. biceps brachii a m. abductor pollicis brevis) a svalu dolní končetiny (m. tibialis anterior) registrovaných ve třech výše popsanych polohách. Výjimkou byla jen registrace MEPs ze svalů HK při záklonu C páteře. V této poloze nebylo možno, vzhledem k záklonu hlavy přiložit stimulační cívku do krční oblasti.

Somatosenzorické evokované potenciály (SEPs) n. medianus a n. tibialis

Krátce latentní SEPs byl registrován při stimulaci smíšeného nervu na zápěstí, resp. za vnitřním kotníkem, bilaterálně. Odpověď byla registrována na 4 kanálech elektrodiagnostického přístroje Nicolet Viking IV (Viasis Biomedical Inc., Madison, WI). Pro SEPs n. medianus oboustranně byla registrována odpověď z brachiálního plexu N9, cervikální míšní odpověď generována z oblasti zadních rohů míšních N13 a kortikální parietální kontraetrální N20. Byla měřena, a poté zpracovávána peak to peak amplituda a latence vlny N13, N20 a centrální kondukční čas (CCT) mezi odpovědí N13 – N20 a kondukční čas mezi odpovědí N9-N13. Pro SEPs n. tibialis oboustranně byla registrována odpověď popliteální, segmentální sakrolumbální míšní komponenta ze zadních rohů míšních N22 a kortikální P40. Byla měřena a dále statisticky zpracována amplituda a latence vlny P40 a CCT mezi odpovědí N22 – P40.

Motorické evokované potenciály (MEPs) m. biceps brachii, m. abductor pollicis brevis a m. tibialis anterior

MEPs byly evokovány magnetickým stimulátorem Magstim 200 (The Magstim Company Ltd. Spring Gardens, Wales, UK) pomocí cirkulární cívky 90 mm. Motorický evokovaný potenciál byl registrován bilaterálně pomocí Nicolet Viking IV (Viasis Biomedical Inc., Madison, WI). Pro svaly DK byla k další analýze použita nejkratší naměřená latence při transkraniální stimulaci CML (centrální motorická latence) a nejkratší naměřená latence při spinální stimulaci PML (periferní motorická latence) a dále byl počítán centrální kondukční čas CCT (CCT = CML – PML). Pro svaly HK byla v neutrální poloze a předklonu k další analýze použita CML, PML a CCT. V záklonu nemohla být,

vzhledem k nemožnosti stimulace v krční oblasti, použita PML, proto byla k další analýze použita pouze CML a ne CCT.

Prováděná vyšetření představují standardně užívané techniky, proto nebyl od pacientů vyžadován informovaný souhlas k vyšetření.

Statistické zpracování

Byl spočítán průměr a SD pro všechny sledované veličiny ve všech polohách. Byly porovnávány hodnoty měřených veličin ve flexi a extenzi ve vztahu k neutrální poloze pomocí ANOVA test-opakovaná měření na hladině významnosti 5 %.

8 VÝSLEDKY

Během dynamického MR vyšetření C páteře byly měřeny výše popsané rozměry páteře a míchy (viz metodika). Během dalšího sezení s odstupem několika dní bylo provedeno vyšetření EPs.

8.1 Skupina 1

8.1.1 MR vyšetření

Nikdo z vyšetřovaných jedinců při žádné z poloh během obou sezení neudával subjektivní obtíže či bolesti. Výsledky měření obsahuje tabulka 8-1.

Tabulka 8-1 Rozměry krční míchy dle DMR vyšetření u skupiny 1

| | | Předklon | p1 | Neutrální poloha | p2 | Záklon |
|----------------------|------|----------|----------------|------------------|---------------|--------|
| PD (mm) | | 91,6 | < 0,001 | 86,0 | 0,0015 | 84,0 |
| ZD (mm) | | 93,9 | < 0,001 | 84,7 | 0,0002 | 80,4 |
| PR (mm) | C4/5 | 13,3 | 0,297 | 13,5 | 1,000 | 13,7 |
| | C5/6 | 12,9 | 1,000 | 13,1 | 1,000 | 13,2 |
| | C6/7 | 11,8 | 0,662 | 11,9 | 0,009 | 12,7 |
| PZ (mm) | C4/5 | 6,7 | 1,000 | 6,8 | 1,000 | 6,9 |
| | C5/6 | 6,5 | 0,696 | 6,7 | 1,000 | 6,8 |
| | C6/7 | 6,4 | 0,217 | 6,2 | 0,145 | 6,6 |
| P (mm ²) | C4/5 | 73,5 | 1,000 | 75,5 | 1,000 | 76,0 |
| | C5/6 | 71,2 | 0,884 | 72,6 | 0,989 | 75,7 |
| | C6/7 | 60,4 | 1,000 | 60,7 | 0,005 | 67,5 |

Legenda: PD - přední délka, ZD - zadní délka, PR - příčný rozměr, P – plocha, p1 – ANOVA opakovaná měření mezi předklonem a neutrální polohou, p2 – ANOVA opakovaná měření mezi záklonem a neutrální polohou

8.1.1.1 Přední délka míchy (PD)

V neutrální poloze byl průměr PD v sagitální rovině ve střední čáře 86 mm. V předklonu došlo ke statisticky významnému prodloužení na 91,6 mm ($p < 0,0001$) a v záklonu zkrácení na 84 mm. ($p = 0,0015$)

8.1.1.2 Zadní délka míchy (ZD)

V neutrální poloze byl průměr zadní délky míchy (ZD) v sagitální rovině ve střední čáře 84,7 mm. V předklonu došlo rovněž k prodloužení na 93,9 mm ($p < 0,001$) a v záklonu ke zkrácení na 80,4 mm ($p = 0,0002$).

8.1.1.3 Příčný rozměr míchy (PR)

PR v segmentu C4/5

V neutrální poloze byl průměr příčného rozměru míchy (PR) v axiální rovině v segmentu 13,5 mm. V předklonu došlo ke zkrácení na 13,3 mm ($p = 0,297$) a v záklonu došlo k rozšíření na 13,7 mm ($p = 1,0$). Změny polohy v segmentu C4/5 však nevedly k žádné statisticky významné změně PR.

PR v segmentu C5/6

V neutrální poloze byl průměr příčného rozměru míchy (PR) v axiální rovině v segmentu 13,1 mm. V předklonu došlo ke zkrácení na 12,9 mm ($p = 1,000$). V záklonu došlo k rozšíření na 13,2 mm ($p = 1,000$). Změny polohy v segmentu C5/6 taktéž nevedly k žádné statisticky významné změně PR.

PR v segmentu C6/7

V neutrální poloze byl průměr příčného rozměru míchy (PR) v axiální rovině v segmentu 11,9 mm. V předklonu došlo ke zkrácení na 11,8 mm ($p = 0,662$). V záklonu došlo k rozšíření na 12,7 mm ($p = 0,009$). Při záklonu tedy došlo ke statisticky významné změně PR v segmentu C6/7.

8.1.1.4 Předozadní rozměr míchy (PZ)

PZ v segmentu C4/5

V neutrální poloze byl průměr předozadního rozměru míchy (PZ) v axiální rovině v segmentu 6,8 mm. V předklonu došlo ke zkrácení na 6,7 mm ($p = 1,000$) a v záklonu k rozšíření na 6,9 mm ($p = 1,000$). Změny polohy v segmentu C4/5 nevedly k žádné statisticky významné změně PR.

PZ v segmentu C5/6

V neutrální poloze byl průměr předozadního rozměru míchy (PZ) v axiální rovině v segmentu 6,7 mm. V předklonu došlo ke zkrácení na 6,5 mm ($p = 0,696$) a v záklonu k rozšíření na 6,8 mm ($p = 1,000$). Změny polohy v segmentu C5/6 nevedly k žádné statisticky významné změně PR.

PZ v segmentu C6/7

V neutrální poloze byl průměr předozadního rozměru míchy (PZ) v axiální rovině v segmentu 6,2 mm. V předklonu došlo k rozšíření na 6,4 ($p = 0,217$) a v záklonu rovněž k rozšíření na 6,6 mm ($p = 0,145$). Změny polohy v segmentu C5/6 nevedly k žádné statisticky významné změně PR.

8.1.1.5 Plocha míchy (P)

P v segmentu C4/5

V neutrální poloze byl průměr plochy míchy (P) v axiální rovině 75,5 mm². V předklonu došlo k zmenšení na 73,5 mm² ($p = 1,000$) a v záklonu došlo k zvětšení na 76 mm² ($p = 1,000$). Změny polohy v segmentu C4/5 nevedly k žádné statisticky významné změně P.

P v segmentu C5/6

V neutrální poloze byl průměr plochy míchy (P) v axiální rovině v segmentu 72,6 mm². V předklonu došlo k zmenšení na 71,2 mm² (p = 0,884) a v záklonu došlo k zvětšení na 75,7 mm² (p = 0,989). Změny polohy v segmentu nevedly k žádné statisticky významné změně P.

P v segmentu C6/7

V neutrální poloze byl průměr plochy míchy (P) v axiální rovině v segmentu 60,7 mm². V předklonu došlo k zmenšení na 60,4 mm² (p = 1,000) a v záklonu došlo k zvětšení na 67,5 mm² (p = 0,005). K statisticky významné změně velikosti plochy míchy došlo pouze v záklonu.

8.1.2 Evokované potenciály

8.1.2.1 SEPs n.medianus

Tabulka 8-2 SEPs n.medianus

| | Předklon | p1 | Neutrální poloha | p2 | Záklon |
|-----------------------------|----------|--------------|------------------|-------|--------|
| N13 ampl. (μV) | 1,9 | 0,018 | 1,6 | 0,497 | 1,7 |
| N13 latence (ms) | 13,0 | 0,367 | 13,1 | 1,000 | 13,2 |
| N20 ampl (μV) | 2,9 | 0,218 | 2,7 | 0,604 | 2,8 |
| N20 latence (ms) | 19,5 | 1,000 | 19,5 | 0,507 | 19,4 |
| CCT (ms) | 6,7 | 0,022 | 6,3 | 0,662 | 6,1 |

Legenda: p1 – ANOVA opakovaná měření mezi předklonem a neutrální polohou, p2 – ANOVA opakovaná měření mezi záklonem a neutrální polohou: SEPs n. medianus: Latence a amplituda vlny N13, latence a amplituda vlny N20 a CCT ve flexi, neutrální poloze a extenzi

Pro SEP n. medianus byly hodnoceny amplituda a latence vlny N13, amplituda a latence vlny N20, CCT (tabulka 8-2).

Vlna N13-amplituda

V neutrální poloze byl průměr amplitudy N13 = 1,6 μV . Statisticky významné bylo pouze zvětšení amplitudy při předklonu na 1,9 μV ($p= 0,018$). V záklonu nedošlo ke statisticky významné změně.

Vlna N13-latence

V neutrální poloze byl průměr latence vlny N13 = 13,1 ms. Změna latence vlny N13 nebyla ani v předklonu ani v záklonu statisticky významná.

Vlna N20-amplituda

V neutrální poloze byl průměr amplitudy N20 = 2,7 μ V. V předklonu a záklonu se amplituda odpovědi statisticky významně nezměnila.

Vlna N20-latence

V neutrální poloze byl průměr latence vlny N20 = 19,5 ms. V předklonu ani záklonu nedošlo ke statisticky významné změně.

CCT

V neutrální poloze byl průměr CCT = 6,3 ms. V předklonu došlo ke statisticky významnému prodloužení CCT = 6,7 ($p = 0,022$) ve vztahu k neutrální poloze, i ve vztahu k záklonu ($p = 0,0406$). V záklonu se CCT zkrátil na 6,1 ms, tato změna je však vzhledem k neutrální poloze statisticky nevýznamná.

8.1.2.2 SEPs n. tibialis

Tabulka 8-3 SEPs n.tibialis

| | Předklon | p1 | Neutrální poloha | p2 | Záklon |
|-------------------------------|----------|------|---------------------|------|--------|
| P30 latence (ms) | 28,9 | 0,75 | 30,0 | 1,00 | 30,0 |
| N33 latence (ms) | 33,3 | 0,98 | 33,4 | 0,89 | 33,2 |
| P40 latence (ms) | 33,8 | 0,76 | 36,1 | 0,12 | 35,7 |
| N33/P40 ampl (μ V) | 4,2 | 0,84 | 4,0 | 1,00 | 4,00 |
| CCT (ms) | 15,7 | 0,90 | 15,9 | 0,63 | 15,7 |

Legenda: p1 – ANOVA opakovaná měření mezi předklonem a neutrální polohou, p2 – ANOVA opakovaná měření mezi záklonem a neutrální polohou. SEPs n. tibialis: Latence vlny P30, N33, P40 a CCT, amplituda N33/P40 ve flexi, neutrální poloze a extenzi. CCT: centrální kondukční čas ve flexi, neutrální poloze a extenzi.

U SEPs n. tibialis jsme porovnávali latenci vlny P30, N33 a P40 a CCT mezi jednotlivými polohami. U žádné měřené hodnoty jsme neprokázali statisticky významný rozdíl při změnách polohy (tabulka 8-3).

Vlna P 30 - latence

V neutrální poloze byl průměr latence vlny P 30 30,0 ms, v předklonu ani záklonu nedošlo při srovnání s neutrální polohou ke statisticky významné změně.

Vlna N33-latence

V neutrální poloze byl průměr latence vlny N33 33,4 ms, v předklonu ani záklonu nedošlo při srovnání s neutrální polohou ke statisticky významné změně.

Vlna P40-latence

V neutrální poloze byl průměr latence vlny P 40 36,1 ms. V předklonu ani záklonu nedošlo při srovnání s neutrální polohou ke statisticky významné změně.

CCT

V neutrální poloze byl průměr CCT 16,0 ms. v předklonu 15,7 ms a v záklonu 15,7 ms. Rozdíl mezi jednotlivými měřeními v předklonu a záklonu nebyl při srovnání s neutrální polohou statisticky významný.

8.1.2.3 MEPs m. biceps brachii

Tabulka 8-4 MEPs m. biceps brachii

| | Předklon | p1 | Neutrální poloha | p2 | Záklon |
|----------|----------|-------|------------------|-------|--------|
| PML (ms) | 5,8 | 0,815 | 5,8 | | |
| CML (ms) | 11,3 | 0,764 | 10,7 | 1,000 | 10,8 |
| CCT (ms) | 5,5 | 0,207 | 4,9 | | |

Legenda: p1 – ANOVA opakovaná měření mezi předklonem a neutrální polohou, p2 – ANOVA opakovaná měření mezi záklonem a neutrální polohou. PML - periferní motorická latence, CML - centrální motorická latence, CCT - centrální indukční čas

V neutrální poloze byl pro m. BB průměr PML 5,8 ms, CML 10,7 ms, CCT 4,9 ms. Změna polohy nevyvolala žádnou statisticky významnou odchylku. V záklonu nebylo možno hodnotit PML a CCT, protože stimulační cívka nemohla být v záklonu přiložena na požadované místo krční páteře (tabulka 8-4).

8.1.2.4 MEPs m. abductor pollicis brevis

Tabulka 8-5 MEPs m. abductor pollicis brevis

| | Předklon | p1 | Neutrální poloha | p2 | Záklon |
|----------|----------|-------|------------------|-------|--------|
| PML (ms) | 13,6 | 0,316 | 13,5 | | |
| CML (ms) | 20,1 | 1,000 | 20,5 | 1,000 | 20,3 |
| CCT (ms) | 6,5 | 0,332 | 7,0 | | |

Legenda: p1 – ANOVA opakovaná měření mezi předklonem a neutrální polohou p2 – ANOVA opakovaná měření mezi záklonem a neutrální polohou. PML-periferní motorická latence, CML-centrální motorická latence, CCT-centrální indukční čas

V neutrální poloze byl pro m. APB průměr PML 13,5 ms, CML 20,5 ms, CCT 7,0 ms. Změna žádné z hodnocených komponent nebyla při záklonu a předklonu statisticky významná. V záklonu nebylo možno hodnotit PML a CCT, protože stimulační cívka nemohla být v záklonu přiložena na požadované místo krční páteře (tabulka 8-5).

8.1.2.5 MEPS m. tibialis anterior

Tabulka 8-6 MEPS m. tibialis anterior

| | Předklon | p1 | Neutrální poloha | p2 | Záklon |
|-------------|----------|-------|---------------------|-------|--------|
| PML (ms) | 13,6 | 0,32 | 13,6 | 1,000 | 13,6 |
| CML (ms) | 26,5 | 0,873 | 26,5 | 1,000 | 26,9 |
| CCT (ms) | 13,1 | 1,000 | 12,8 | 0,434 | 13,6 |

Legenda: p1 – ANOVA opakovaná měření mezi předklonem a neutrální polohou, p2 – ANOVA opakovaná měření mezi záklonem a neutrální polohou. PML-periferní motorická latence, CML-centrální motorická latence, CCT centrální kondukční čas.

V neutrální poloze byl pro m. TA průměr PML 13,6 ms, CML 26,5 ms, CCT 12,8 ms. Změna žádné z hodnocených komponent nebyla při záklonu a předklonu při srovnání s neutrální polohou statisticky významná (tabulka 8-6).

8.2 Skupina 2

8.2.1 MR vyšetření

Tabulka 8-7 Rozměry krční míchy dle dMR vyšetření u skupiny 2

| | | Předklon | p1 | Neutrální poloha | p2 | Záklon |
|-------------------------|------|----------|---------------|---------------------|---------------|--------|
| PD (mm) | | 82,3 | 0,0009 | 78,9 | 0,0013 | 76,4 |
| ZD (mm) | | 83,0 | 0,0003 | 74,1 | 0,0008 | 72,6 |
| PR (mm) | C4/5 | 13,4 | 0,0222 | 14,0 | 0,5803 | 13,7 |
| | C5/6 | 13,0 | 0,0234 | 13,8 | 0,5539 | 13,5 |
| | C6/7 | 12,3 | 0,1561 | 13,1 | 0,9002 | 12,8 |
| PZ (mm) | C4/5 | 7,1 | 0,1233 | 8,0 | 0,8904 | 7,5 |
| | C5/6 | 6,3 | 0,9002 | 6,5 | 1,000 | 6,8 |
| | C6/7 | 6,9 | 0,8287 | 7,2 | 1,000 | 7,0 |
| P (mm ²) | C4/5 | 67,5 | 0,0221 | 80,0 | 0,2087 | 71,5 |
| | C5/6 | 63,5 | 0,1863 | 71,5 | 1,000 | 72,5 |
| | C6/7 | 66,0 | 0,4562 | 68,5 | 1,000 | 66,0 |

Legenda: PD-přední délka, ZD - zadní délka, PR - příčný rozměr, P – plocha, p1 – ANOVA opakovaná měření mezi předklonem a neutrální polohou, p2–ANOVA opakovaná měření mezi záklonem a neutrální polohou

8.2.1.1 Přední délka míchy (PD)

Statisticky významně se PD prodloužila při předklonu ($p = 0,0009$) a zkrátila při záklonu ($p = 0,0013$).

8.2.1.2 Zadní délka míchy (ZD)

Statisticky významně se ZD prodloužila při předklonu ($p = 0,0003$) a zkrátila při záklonu ($p = 0,0008$).

8.2.1.3 Příčný rozměr míchy (PR)

PR v segmentu C4/5

V neutrální poloze byl průměr příčného rozměru míchy (PR) v axiální rovině v segmentu 14,0 mm. V předklonu došlo k statisticky významnému zkrácení na 13,4 mm ($p = 0,0222$), v záklonu došlo ke zkrácení na 13,7 mm ($p = 0,5803$), tato změna však nebyla statisticky významná.

PR v segmentu C5/6

V neutrální poloze byl průměr příčného rozměru míchy (PR) v axiální rovině v segmentu 13,8 mm. V předklonu došlo ke statisticky významnému zkrácení na 13,0 mm ($p = 0,0234$). V záklonu došlo ke zkrácení na 13,5 mm ($p = 0,5539$), tato změna nebyla statisticky významná.

PR v segmentu C6/7

V neutrální poloze byl průměr příčného rozměru míchy (PR) v axiální rovině v segmentu 13,1 mm. V předklonu došlo ke zkrácení na 12,3 mm ($p = 0,1561$). V záklonu došlo ke zkrácení na 12,8 mm ($p = 0,9002$). Změny polohy v segmentu C6/7 však nevedly k žádné statisticky významné změně PR.

8.2.1.4 Předozadní rozměr míchy (PZ)

PZ v segmentu C4/5

V neutrální poloze byl průměr předozadního rozměru míchy (PZ) v axiální rovině v segmentu 8,0 mm. V předklonu došlo ke zkrácení na 7,1 mm ($p = 0,1233$) a v záklonu došlo taktéž k zkrácení a to na 7,5 mm ($p = 0,8904$), změny polohy nevedly k statisticky významné změně PZ v tomto segmentu.

PZ v segmentu C5/6

V neutrální poloze byl průměr předozadního rozměru míchy (PZ) v axiální rovině v segmentu 6,5 mm. V předklonu došlo ke zkrácení na 6,3 mm ($p = 0,9002$). V záklonu došlo k rozšíření na 6,8 mm ($p = 1,000$), změny polohy nevedly k statisticky významné změně PZ v tomto segmentu.

PZ v segmentu C6/7

V neutrální poloze byl průměr předozadního rozměru míchy (PZ) v axiální rovině v segmentu 7,2 mm. V předklonu došlo ke zkrácení na 6,9 mm ($p = 0,8287$) a v záklonu došlo k taktéž k zkrácení a to na 7,0 mm ($p = 1,000$), změny polohy nevedly k statisticky významné změně PZ v tomto segmentu.

8.2.1.5 Plocha míchy (P)

P v segmentu C4/5

V neutrální poloze byl průměr plochy míchy (P) v axiální rovině 80,0 mm². V předklonu došlo k statisticky významnému zmenšení na 67,5 mm² ($p = 0,0221$) a v záklonu došlo k zmenšení na 71,5 mm² ($p = 1,000$), tato změna však nebyla statisticky významná.

P v segmentu C5/6

V neutrální poloze byl průměr plochy míchy (P) v axiální rovině 71,5 mm². V předklonu došlo k zmenšení na 63,5 mm² ($p = 0,1863$) a v záklonu došlo k zvětšení na 72,5 mm² ($p = 1,000$), obě tyto změny však nebyly statisticky významné.

P v segmentu C6/7

V neutrální poloze byl průměr plochy míchy (P) v axiální rovině 68,5 mm². V předklonu došlo k zmenšení na 66,0 mm² ($p = 0,4562$) a v záklonu došlo k zmenšení na 66,0 mm² ($p = 1,000$), obě tyto změny však nebyly statisticky významné.

8.2.2 Evokované potenciály

8.2.2.1 SEPs n. medianus

Tabulka 8-8 SEPs n. medianus

| | Předklon | p1 | Neutrální poloha | p2 | Záklon |
|-----------------------------|----------|--------|------------------|--------|--------|
| N13 ampl. (μV) | 0,7 | 0,7034 | 0,8 | 0,1534 | 0,5 |
| N13 latence (ms) | 15,6 | 0,8912 | 15,2 | 0,1242 | 16,4 |
| N20 ampl (μV) | 2,3 | 1,000 | 2,2 | 1,000 | 2,0 |
| N20 latence (ms) | 21,1 | 0,9454 | 20,9 | 1,000 | 20,9 |
| CCT (ms) | 7,8 | 0,6651 | 6,6 | 0,3425 | 8,2 |

Legenda:p1-ANOVA opakovaná měření mezi předklonem a neutrální polohou, p2-ANOVA opakovaná měření mezi záklonem a neutrální polohou. SEPs n. medianus: Latence a amplituda vlny N13, latence a amplituda vlny N20 a CCT ve flexi, neutrální poloze a extenzi

Při změně polohy, jak do flexe, tak do extenze, docházelo k prodloužení latencí a snížení amplitudy vlny N13 a prodloužení latence vlny N20, které však nebyly v rámci skupiny 2 statisticky významné (tabulka 8-8).

8.2.2.2 SEPs n. tibialis

Tabulka 8-9 SEPs n. tibialis

| | Předklon | p1 | Neutrální poloha | p2 | Záklon |
|-------------------------------|----------|---------------|---------------------|---------------|--------|
| N33 latence (ms) | 44,0 | 0,0143 | 38,0 | 0,1988 | 38,0 |
| P30 latence (ms) | 40,0 | 0,0062 | 34,1 | 0,0406 | 35,2 |
| N33/P40 ampl (μ V) | 0,3 | 0,1824 | 0,8 | 0,2019 | 0,6 |
| P40 latence (ms) | 44,2 | 0,1150 | 42,8 | 0,0992 | 44,5 |
| CCT (ms) | 16,6 | 0,7963 | 15,9 | 1,000 | 16,6 |

Legenda: p1 – ANOVA opakovaná měření mezi předklonem a neutrální polohou, p2 – ANOVA opakovaná měření mezi záklonem a neutrální polohou

SEPs n. tibialis: Latence vlny P30, N33, P40 a CCT, amplituda N33/P40 ve flexi, neutrální poloze a extenzi.
CCT:centrální kondukční čas ve flexi,neutrální poloze a extenzi

Ve flexi došlo v rámci skupiny 2 k statisticky významnému prodloužení latence vlny N33 a P30, v extenzi pouze u vlny P30 (tabulka 8-9).

8.2.2.3 MEPs m. biceps brachii

Tabulka 8-10 MEPs m. biceps brachii

| | Předklon | p1 | Neutrální poloha | p2 | Záklon |
|----------|----------|--------|------------------|-------|--------|
| PML (ms) | 6,3 | 0,4387 | 6,1 | | |
| CML (ms) | 12,4 | 1,000 | 12,3 | 1,000 | 12,1 |
| CCT (ms) | 6,1 | 0,8519 | 6,2 | | |

Legenda: p1-ANOVA opakovaná měření mezi předklonem a neutrální polohou, p2 -ANOVA opakovaná měření mezi záklonem a neutrální polohou. PML -periferní motorická latence, CML-centrální motorická latence, CCT-centrální indukční čas.

V neutrální poloze byl pro m. BB průměr PML 6,1 ms, CML 12,3 ms, CCT 6,2 ms. Změna polohy nevyvolala žádnou statisticky významnou odchylku. V záklonu nebylo možno hodnotit PML a CCT, protože stimulační cívka nemohla být v záklonu přiložena na požadované místo krční páteře (tabulka 8-10).

8.2.2.4 MEPs m. abductor pollicis brevis

Tabulka 8-11 MEPs m. abductor pollicis brevis

| | Předklon | p1 | Neutrální poloha | p2 | Záklon |
|----------|----------|--------|------------------|--------|--------|
| PML (ms) | 14,9 | 0,5386 | 15,0 | | |
| CML (ms) | 21,4 | 0,7975 | 22,2 | 0,0975 | 21,0 |
| CCT (ms) | 6,5 | 0,3343 | 7,1 | | |

Legenda: p1-ANOVA opakovaná měření mezi předklonem a neutrální polohou, p2-ANOVA opakovaná měření mezi záklonem a neutrální polohou. PML-periferní motorická latence, CML-centrální motorická latence, CCT-centrální indukční čas

V neutrální poloze byl pro m. APB průměr PML 15,0 ms, CML 22,2 ms, CCT 7,1 ms. Změna žádné z hodnocených komponent nebyla při záklonu a předklonu statisticky významná. V záklonu nebylo možno hodnotit PML a CCT, protože stimulační cívka nemohla být v záklonu přiložena na požadované místo krční páteře (tabulka 8-11).

8.2.2.5 MEPS m. tibialis anterior

Tabulka 8-12 MEPS m. tibialis anterior

| | Předklon | p1 | Neutrální poloha | p2 | Záklon |
|-------------|----------|--------|---------------------|--------|--------|
| PML (ms) | 14,5 | 0,1660 | 14,8 | 0,1660 | 14,5 |
| CML (ms) | 28,5 | 0,5213 | 29,0 | 0,7111 | 29,2 |
| CCT (ms) | 14,0 | 0,1793 | 15,3 | 1,000 | 15,5 |

Legenda: p1-ANOVA opakovaná měření mezi předklonem a neutrální polohou, p2-ANOVA opakovaná měření mezi záklonem a neutrální polohou. PML-periferní motorická latence, CML-centrální motorická latence, CCT-centrální indukční čas.

V neutrální poloze byl pro m. TA průměr PML 14,8 ms, CML 29, 0 ms, CCT 15,3 ms. Změna žádné z hodnocených komponent nebyla při záklonu a předklonu při srovnání s neutrální polohou statisticky významná (tabulka 8-12).

8.2.3 Stenóza kanálu páteřního dle Muhleho klasifikace

Tabulka 8-13 Muhleho klasifikace stupně stenózy C páteře v předklonu, neutrální poloze a záklonu

| Pacient | C3/4 | | | C4/5 | | | C5/6 | | | C6/7 | | |
|---------|------|---|---|------|---|---|------|---|---|------|---|---|
| | P | N | Z | P | N | Z | P | N | Z | P | N | Z |
| 1 | 1 | 1 | 2 | | | | 3 | 2 | 3 | 0 | 1 | 1 |
| 2 | | | | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 |
| 3 | | | | | | | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 |
| 4 | 0 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | | | |
| 5 | | | | | | | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| 6 | | | | | | | 3 | 2 | 3 | 0 | 0 | 1 |
| 7 | | | | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 |
| 8 | | | | | | | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 |
| 9 | 2 | 1 | 3 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 1 |
| 10 | | | | 0 | 2 | 2 | 0 | 1 | 1 | | | |

Legenda: P-flexie, N-neutrální poloha, Z-extenze

Všichni pacienti měli již v neutrální poloze víceetážové postižení. Všichni pacienti měli v neutrální poloze stenózu stupně 1 až 2 a to zejména v segmentu C5/6 a C6/7. Stupeň stenózy kanálu páteřního progredoval zejména v záklonu, a to opět dominantně v segmentu C5/6 a C6/7. V předklonu došlo k snížení stupně stenózy ve všech postižených segmentech pouze u pacienta č. 4 a č 10, u pacienta č 8 se předklonem stupeň stenózy nezměnil, u ostatních došlo k progresi stenózy i v předklonu (tabulka 8-13).

8.3 Porovnání výsledků dMR a dEPs skupiny 1 se skupinou 2

8.3.1 MR vyšetření

Tabulka 8-14 Rozměry krční míchy dle dMR vyšetření, porovnání skupiny 1 a 2

| Skupina | | Flexe | | Neutrální poloha | | Extenze | |
|----------------------|------|-------|------|------------------|------|---------|------|
| | | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| PD (mm) | | 91,6 | 82,3 | 86,0 | 78,9 | 84,0 | 76,4 |
| ZD (mm) | | 93,9 | 83 | 84,7 | 74,1 | 80,4 | 72,6 |
| PR (mm) | C4/5 | 13,3 | 13,4 | 13,5 | 14,0 | 13,7 | 13,7 |
| | C5/6 | 12,9 | 13,0 | 13,1 | 13,8 | 13,2 | 13,5 |
| | C6/7 | 11,8 | 12,3 | 11,9 | 13,1 | 12,7 | 12,8 |
| PZ (mm) | C4/5 | 6,7 | 7,1 | 6,8 | 8,0 | 6,9 | 7,5 |
| | C5/6 | 6,5 | 6,3 | 6,7 | 6,5 | 6,8 | 6,8 |
| | C6/7 | 6,4 | 6,9 | 6,2 | 7,2 | 6,6 | 7,0 |
| P (mm ²) | C4/5 | 73,5 | 67,5 | 75,5 | 80 | 76,0 | 71,5 |
| | C5/6 | 71,2 | 63,5 | 72,6 | 71,5 | 75,7 | 72,5 |
| | C6/7 | 60,4 | 66,0 | 60,7 | 68,5 | 67,5 | 66,0 |

Legenda: PD-přední délka, ZD-zadní délka, PR-příčný rozměr, P-plocha

8.3.1.1 Neutrální poloha

PD a ZD byly v neutrální poloze kratší pro skupinu 2 než pro skupinu 1 (PD: $p = 0,035$, ZD: $p = 0,023$), rozdíly ostatních rozměrů byly mezi skupinami statisticky nevýznamné (tabulka 8-14).

8.3.1.2 Flexe a extenze

Při pohybech krční páteře do flexe a extenze byly trendy vývoje parametrů měřených na MR jiné u skupiny 2 než u skupiny 1. Změny polohy C páteře u skupiny 1 vyvolaly ve všech segmentech (C4/5 , C5/6 a C6/7) zkrácení PR při flexi a rozšíření při extenzi, z nich statisticky významné bylo pouze zkrácení při flexi v segmentu C6/7 ($p = 0,009$), v tomto segmentu pak bylo také významné zvětšení P míchy při extenzi ($p = 0,005$). P se při extenzi sice zvětšovala ve všech segmentech, ale nevýznamně, při flexi se naopak ve všech segmentech nevýznamně zmenšovala. PZ se při flexi nevýznamně zkracoval a při extenzi prodlužoval ve všech segmentech, P míchy se také nevýznamně zmenšovala při flexi a zvětšovala při extenzi ve všech segmentech.

Při flexi došlo u skupiny 2 ke statisticky významnému prodloužení PD ($p = 0,0009$) i ZD ($p = 0,0003$), při extenzi ke statisticky významnému zkrácení PD ($p = 0,001$) i ZD ($p = 0,0008$). Při srovnání obou skupin bylo však prodloužení při flexi výrazně kratší (PD: $p = 0,006$, ZD: $p = 0,003$) a zkrácení při extenzi naopak výraznější (PD: $p = 0,018$, ZD: $p = 0,015$) pro skupinu 2. V segmentu C4/5 došlo ve skupině 2 v PR k významnému zmenšení ($p = 0,022$) při flexi a nevýznamnému zmenšení při extenzi, při flexi se rovněž zmenšila P ($p = 0,022$), ostatní rozměry se při flexi i extenzi rovněž zmenšovaly, ale nevýznamně. V segmentu C5/6 se u skupiny 2 při flexi zmenšil PR ($p = 0,023$), ostatní rozměry se při flexi a extenzi sice zmenšovaly, ale nevýznamně. V segmentu C6/7 se u skupiny 2 při flexi i extenzi PR, PZ i P zmenšovaly, ale statisticky nevýznamně (tabulka 8-14).

8.3.2 Somatosenzorické evokované potenciály (SEPs)

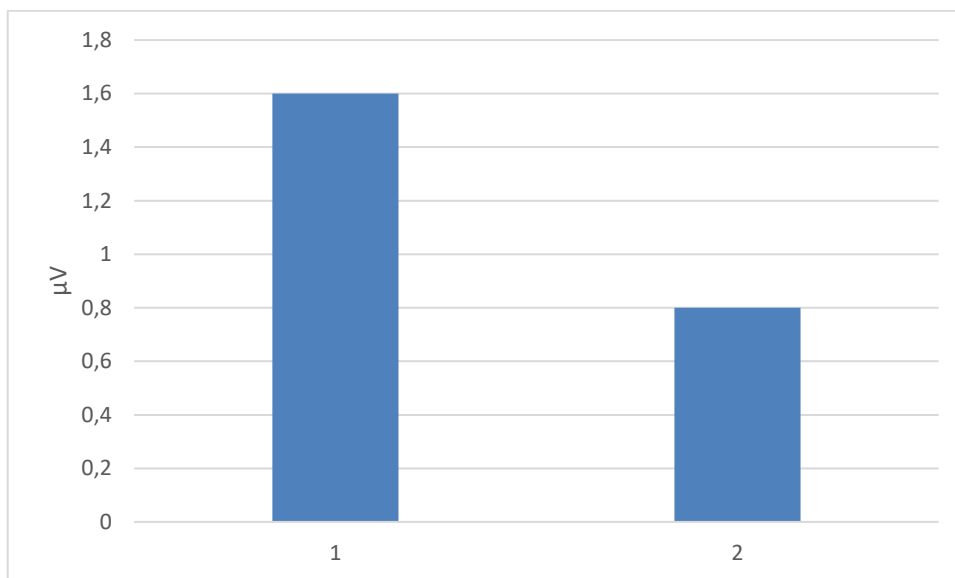
Tabulka 8-15 Hodnoty měřených komponent SEPs n. medianus a n. tibialis při dynamickém vyšetření, skupina 1 a skupina 2

| Skupina | Flexe | | Neutrální poloha | | Extenze | |
|--------------------|-------|------|------------------|------|---------|------|
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| N. medianus | | | | | | |
| N13 ampl. (μV) | 1,9 | 0,7 | 1,6 | 0,8 | 1,7 | 0,5 |
| N13 latence (ms) | 13,0 | 15,6 | 13,1 | 15,2 | 13,2 | 16,4 |
| N20 ampl (μV) | 2,9 | 2,3 | 2,7 | 2,2 | 2,8 | 2,0 |
| N20 latence (ms) | 19,5 | 21,1 | 19,5 | 20,9 | 19,4 | 20,9 |
| CCT (ms) | 6,7 | 7,8 | 6,3 | 6,6 | 6,1 | 8,2 |
| N. tibialis | | | | | | |
| P30 latence (ms) | 28,9 | 40,0 | 30,0 | 34,1 | 30,0 | 35,2 |
| N33 latence (ms) | 33,3 | 44,0 | 33,4 | 38,0 | 33,2 | 38,0 |
| P40 latence (ms) | 35,8 | 44,2 | 36,0 | 42,8 | 35,7 | 44,5 |
| N33/P40 ampl (μV) | 4,2 | 0,3 | 4,0 | 0,8 | 4,0 | 0,6 |
| CCT (ms) | 15,7 | 16,6 | 15,9 | 15,9 | 15,7 | 16,6 |

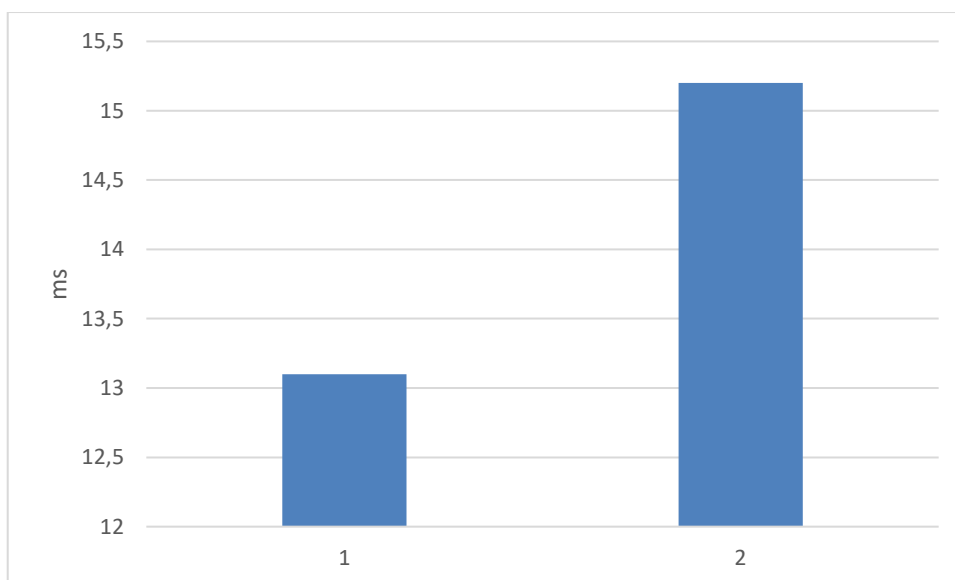
Legenda: SEPs n. medianus: Latence a amplituda vlny N13, latence a amplituda vlny N20 a CCT ve flexi, neutrální poloze a extenzi. SEPs n. tibialis: Latence vlny P30, N33, P40 a CCT, amplituda N33/P40 ve flexi, neutrální poloze a extenzi. CCT:centrální kondukční čas ve flexi, neutrální poloze a extenzi

8.3.2.1 Neutrální poloha

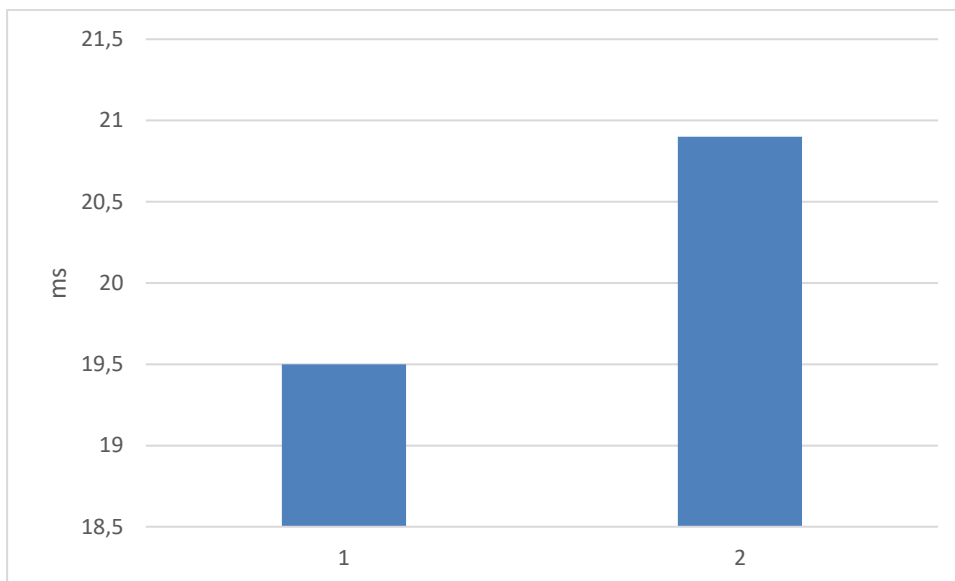
SEPs n. medianus



Obrázek 8-1 Graf N 13 amplitudy v neutrální pozici, porovnání skupiny 1 a skupiny 2



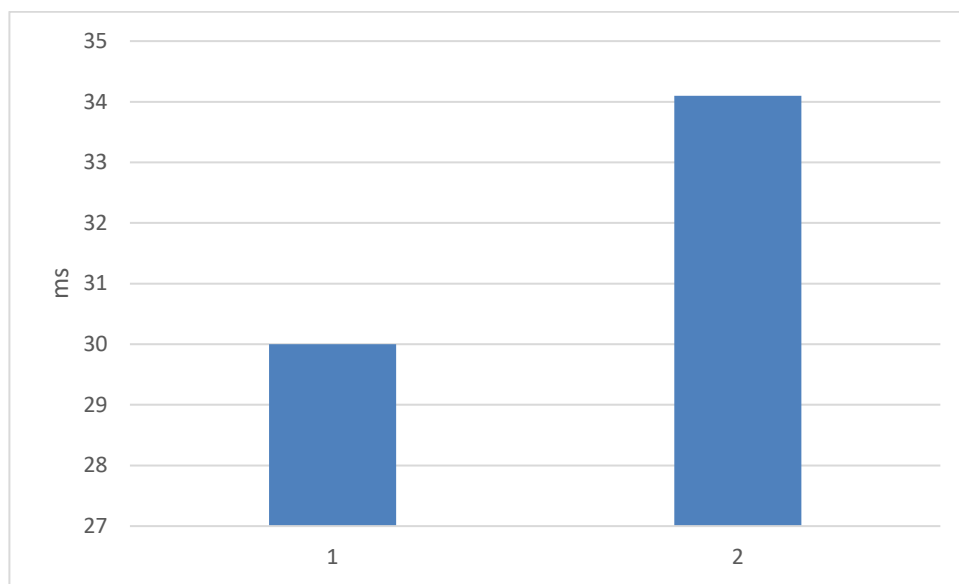
Obrázek 8-2 Graf N 13 latence v neutrální pozici, porovnání skupiny 1 a skupiny 2



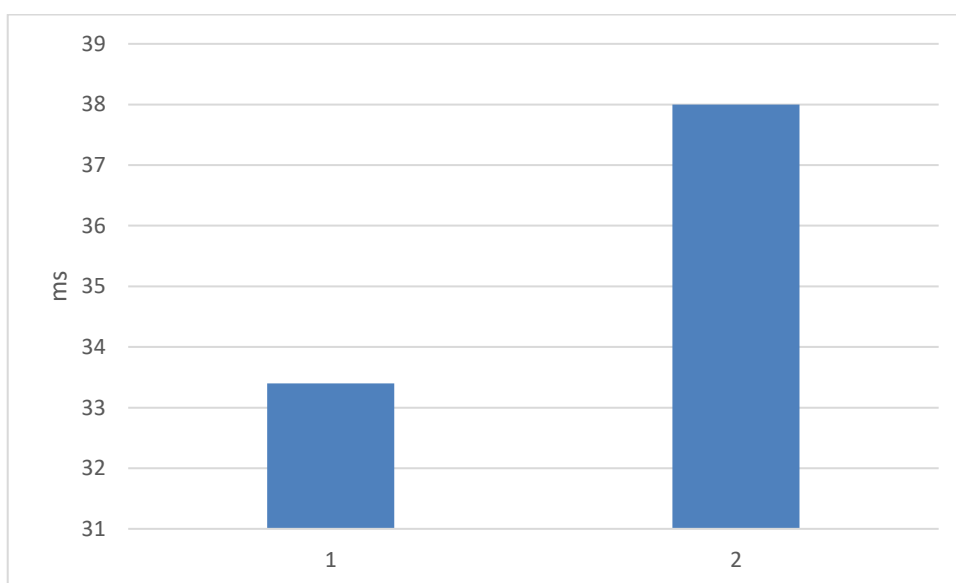
Obrázek 8-3 Graf N 20 latence v neutrální pozici, porovnání skupiny 1 a skupiny 2

Latence sledovaných komponent pro SEPs n. medianus byly již v neutrální poloze významně delší pro skupinu 2 (N13: $p = 0,007$, N20: $p = 0,016$, CCT: $p = 0,007$). Amplituda vlny N13 byla naopak pro skupinu 2 menší (N13: $p = 0,001$) (tabulka 8-15, obrázek 8-1, 8-2, 8-3).

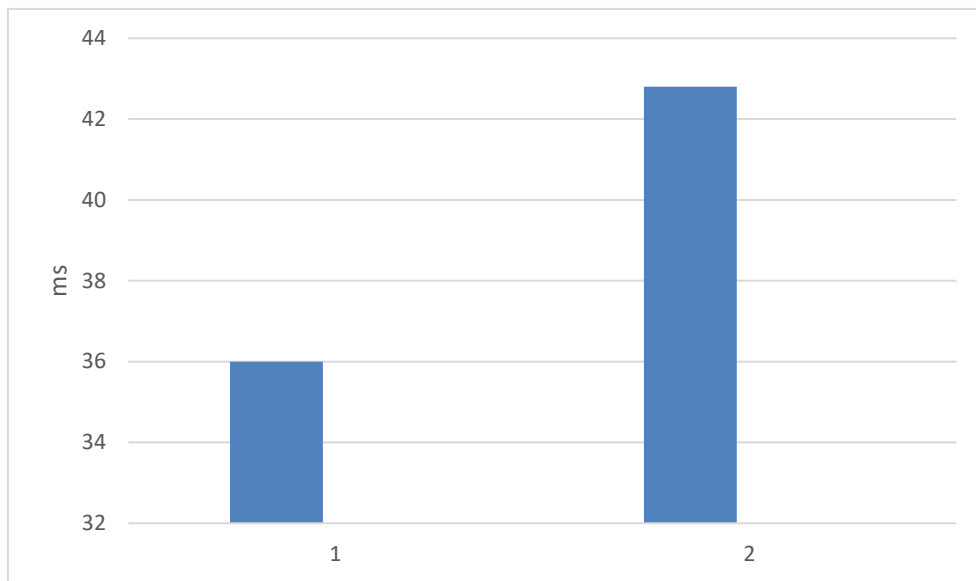
SEPs n. tibialis



Obrázek 8-4 Graf P 30 latence v neutrální pozici, porovnání skupiny 1 a skupiny 2



Obrázek 8-5 Graf N 33 latence v neutrální pozici, porovnání skupiny 1 a skupiny 2

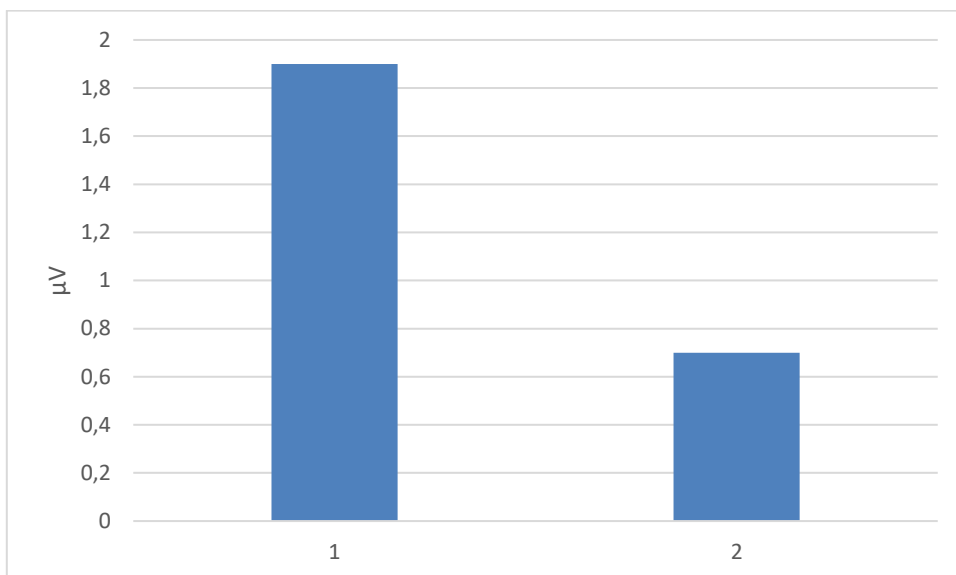


Obrázek 8-6 Graf P 40 latence v neutrální pozici, porovnání skupiny 1 a skupiny 2

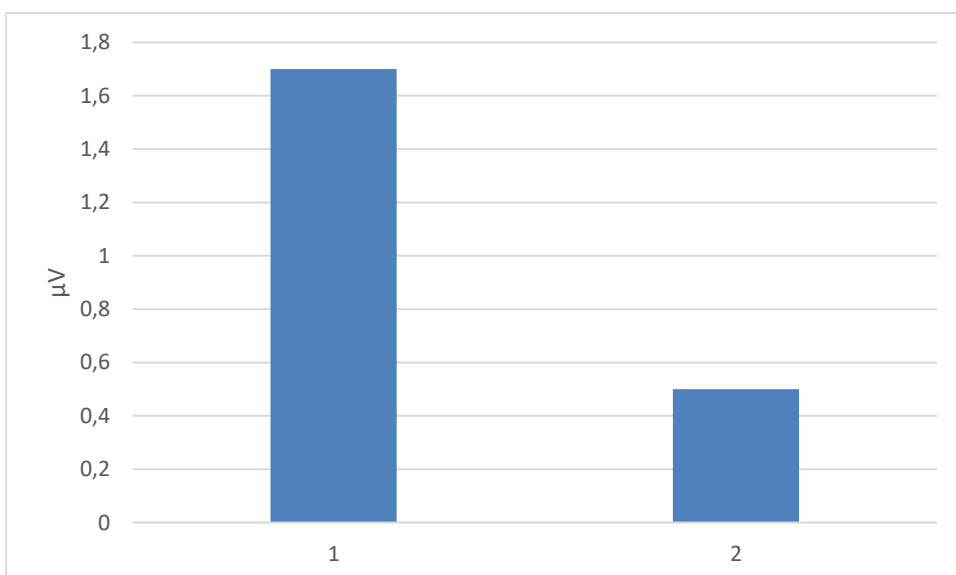
Pro SEPs n. tibialis byly rovněž latence subkortikálních a kortikálních komponent statisticky významně delší u skupiny 2 ve srovnání se skupinou 1 (P30: $p = 0,015$, N33: $p = 0,004$ a P40: $p = 0,05$) (tabulka 8-15, obrázek 8-4, 8-5, 8-6).

8.3.2.2 Flexe a extenze

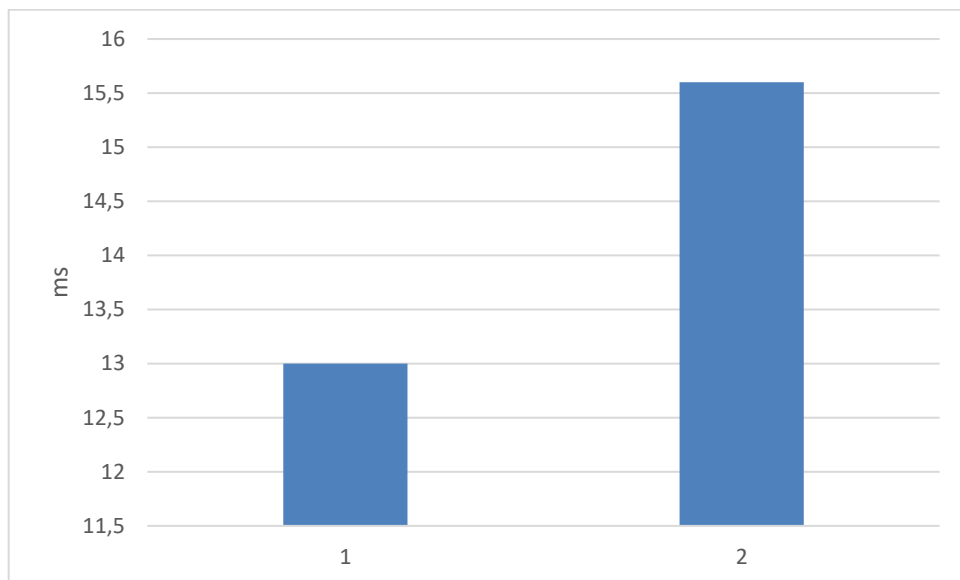
SEPs n. medianus



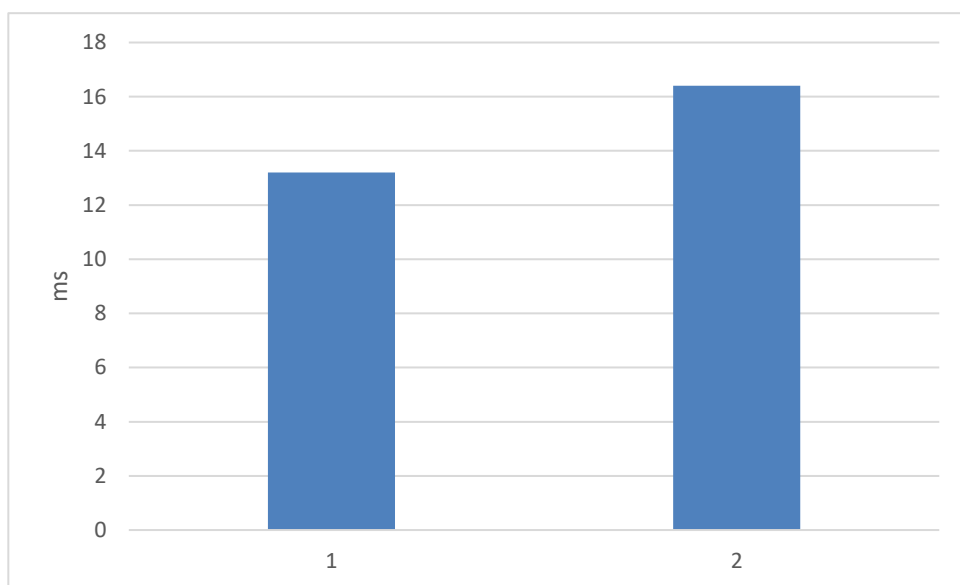
Obrázek 8-7 Graf N 13 amplitudy v předklonu, porovnání skupiny 1 a skupiny 2



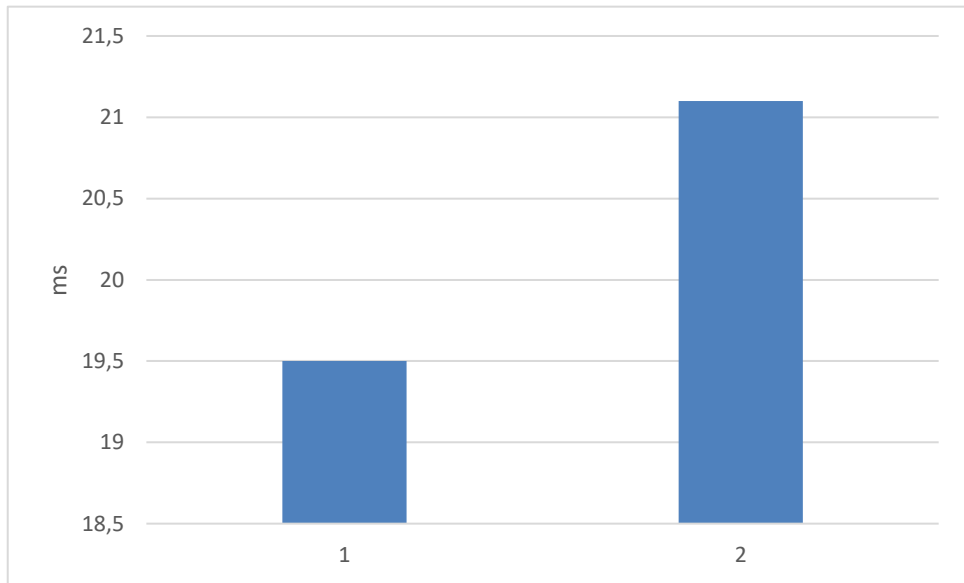
Obrázek 8-8 Graf N 13 amplitudy v záklonu, porovnání skupiny 1 a skupiny 2



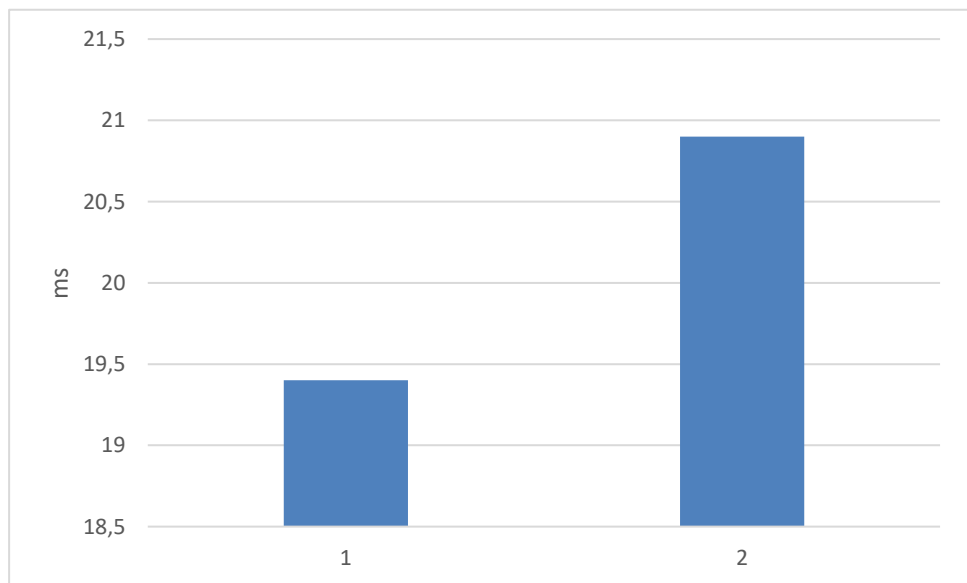
Obrázek 8-9 Graf N 13 latence v předklonu, porovnání skupiny 1 a skupiny 2



Obrázek 8-10 Graf N 13 latence v předklonu, porovnání skupiny 1 a skupiny 2

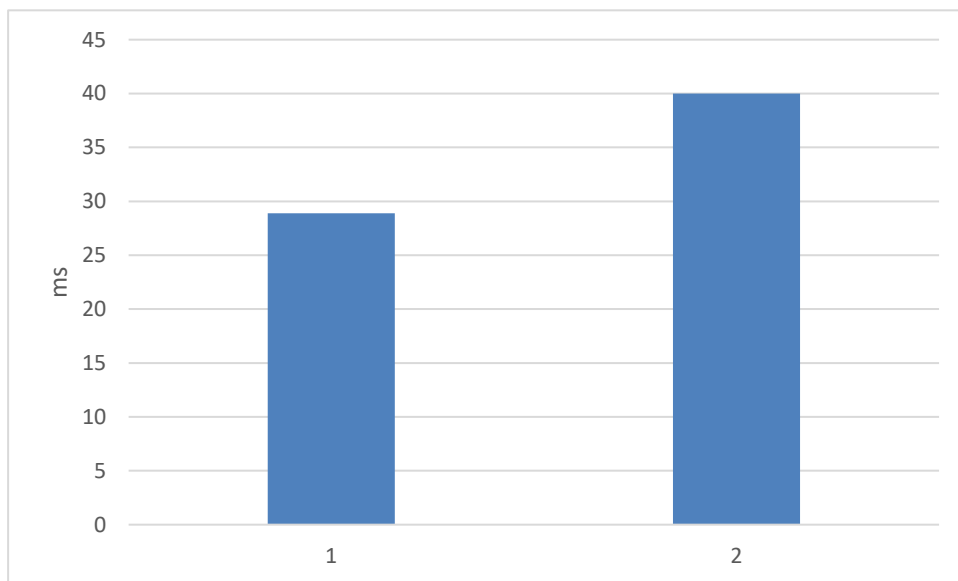


Obrázek 8-11 Graf N 13 latence v předklonu, porovnání skupiny 1 a skupiny 2

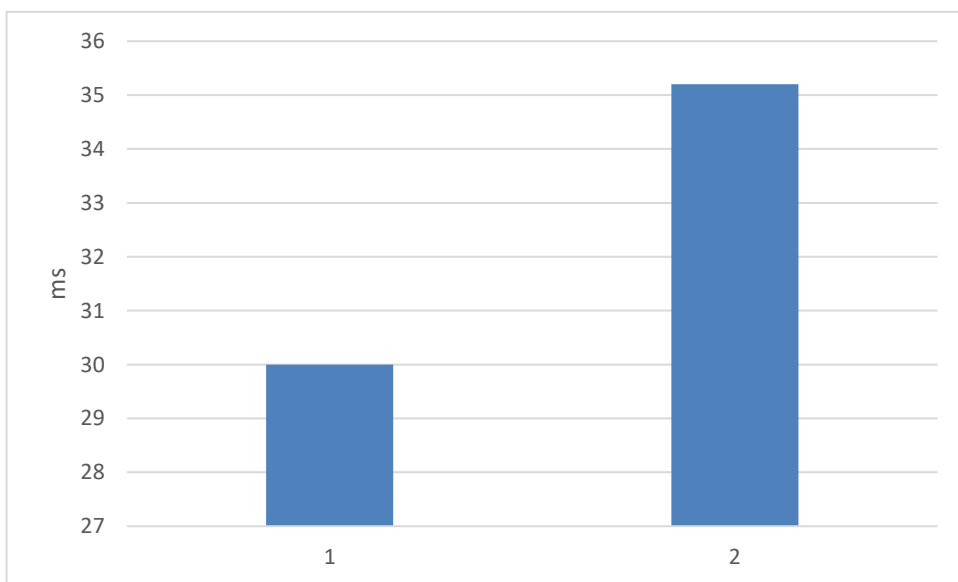


Obrázek 8-12 Graf N 20 latence v záklonu, porovnání skupiny 1 a skupiny 2

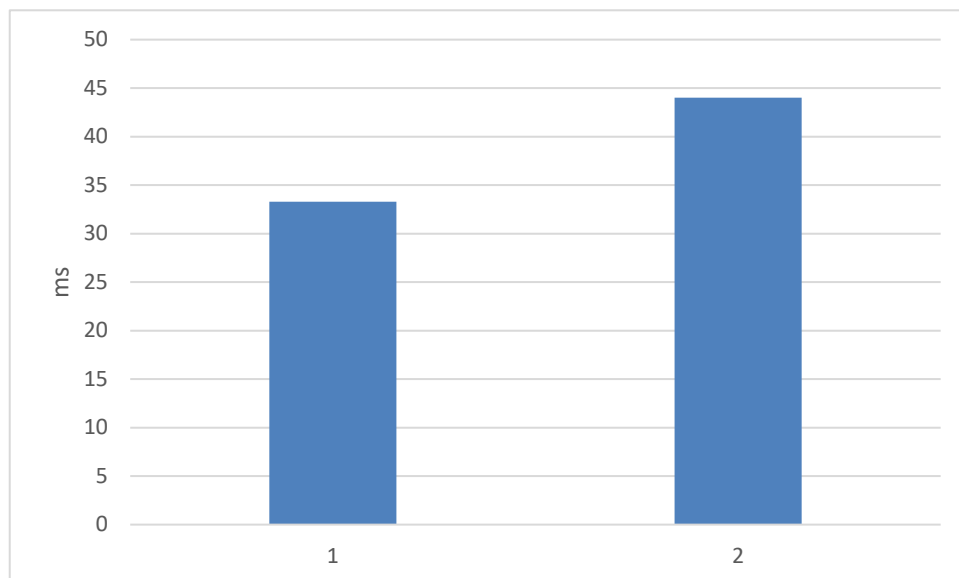
SEP n. tibialis



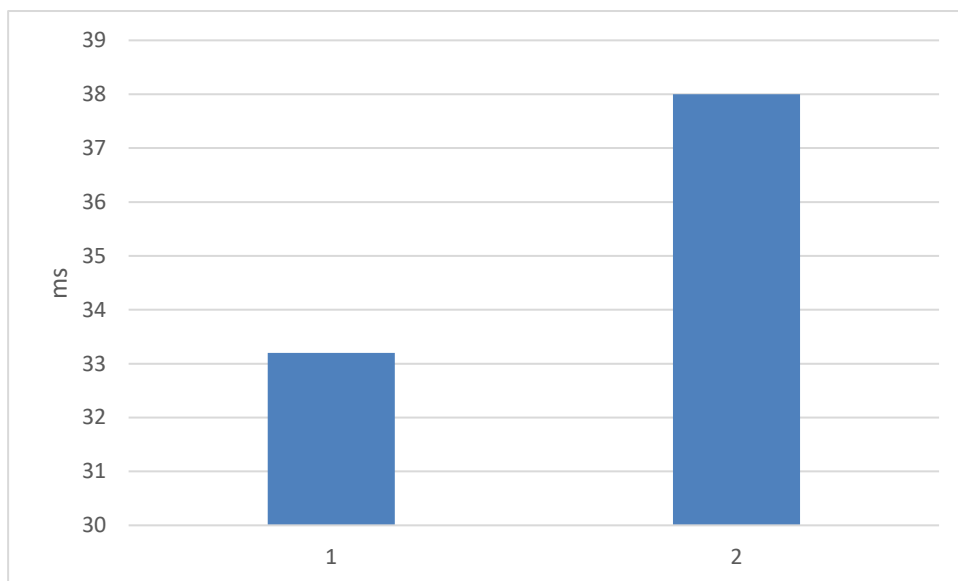
Obrázek 8-14 Graf P 30 latence v předklonu, porovnání skupiny 1 a skupiny 2



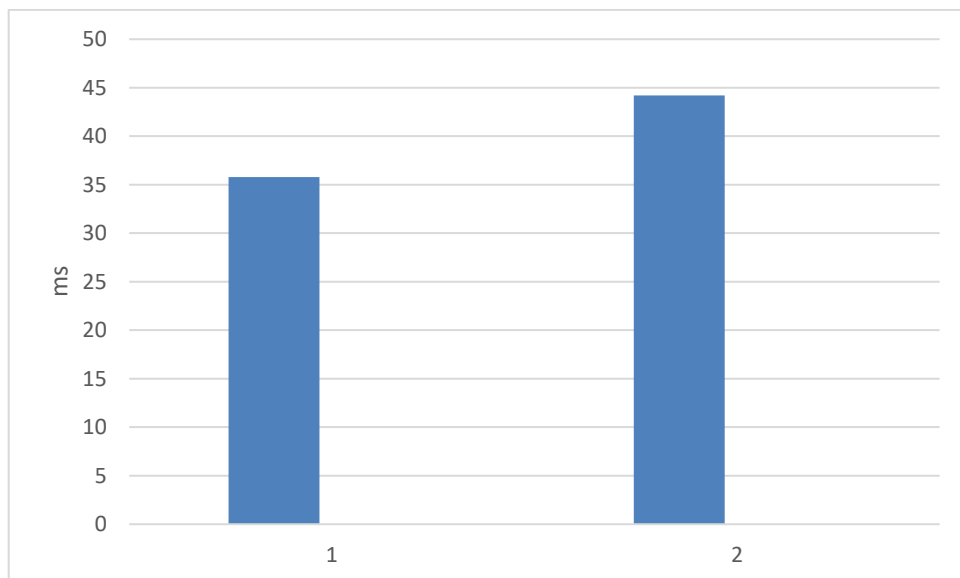
Obrázek 8-13 Graf P 30 latence v předklonu, porovnání skupiny 1 a skupiny 2



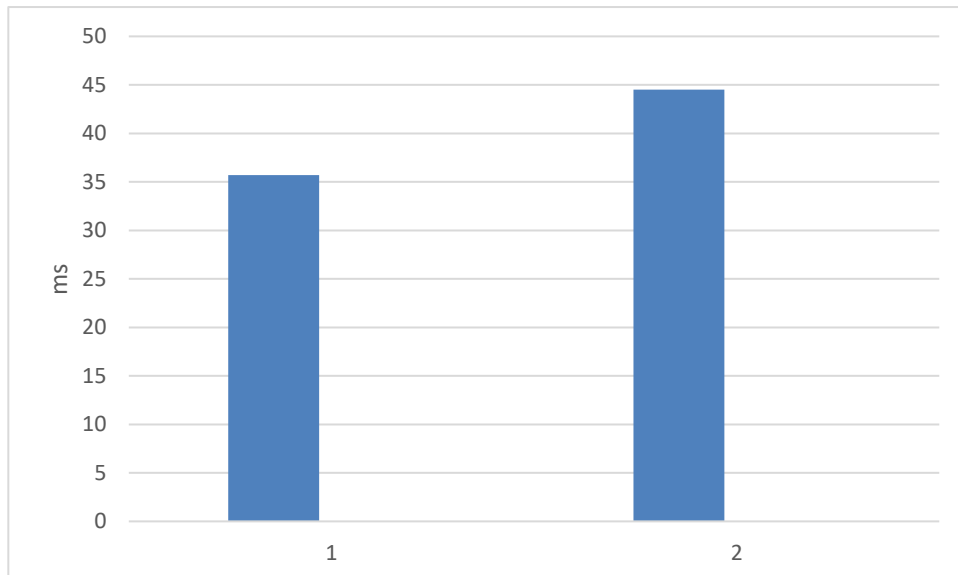
Obrázek 8-15 Graf N 33 latence v předklonu, porovnání skupiny 1 a skupiny 2



Obrázek 8-16 Graf N 33 latence v záklonu, porovnání skupiny 1 a skupiny 2



Obrázek 8-17 P 40 latence v předklonu, porovnání skupiny 1 a skupiny 2



Obrázek 8-18 Graf P 40 latence v záklonu, porovnání skupiny 1 a skupiny 2

Změna polohy u skupiny 1 neměla na vývoj elektrofyziologických komponent vliv. U skupiny 2 tomu bylo jinak. Při změně polohy, jak do flexe, tak do extenze, docházelo k prodloužení latencí a snížení amplitudy vlny N13 a prodloužení latence vlny N20, které však uvnitř skupiny 2 nebyly statisticky významné. Při srovnání změn mezi skupinami a jednotlivými polohami C páteře, docházelo ve skupině 2 v porovnání se skupinou 1 ke statisticky významným změnám.

U SEPs n. medianus došlo u skupiny 2 v porovnání se skupinou 1 ke statisticky významnějšímu snižování amplitudy vlny N13 při flexi ($p = 0,0001$) i extenzi ($p = 0,0001$), prodlužovala se i významněji její latence při flexi ($p = 0,003$) i extenzi ($p = 0,0001$). Při flexi i extenzi se rovněž u skupiny 2 při srovnání se skupinou 1 významněji prodlužovala latence vlny N20 (flexe: $p = 0,017$, extenze: $p = 0,017$) (obrázek 8-7-8-12).

U SEP n. tibialis se pro skupinu 2 proti skupině 1 při flexi i extenzi statisticky významně prodloužila latence P30 (flexe: $p = 0,001$, extenze: $p = 0,0017$), N33 (flexe: $0,0002$, extenze: $p = 0,006$) i P40 (flexe: $p = 0,016$, extenze: $p = 0,037$) (obrázek 8-13-8-18).

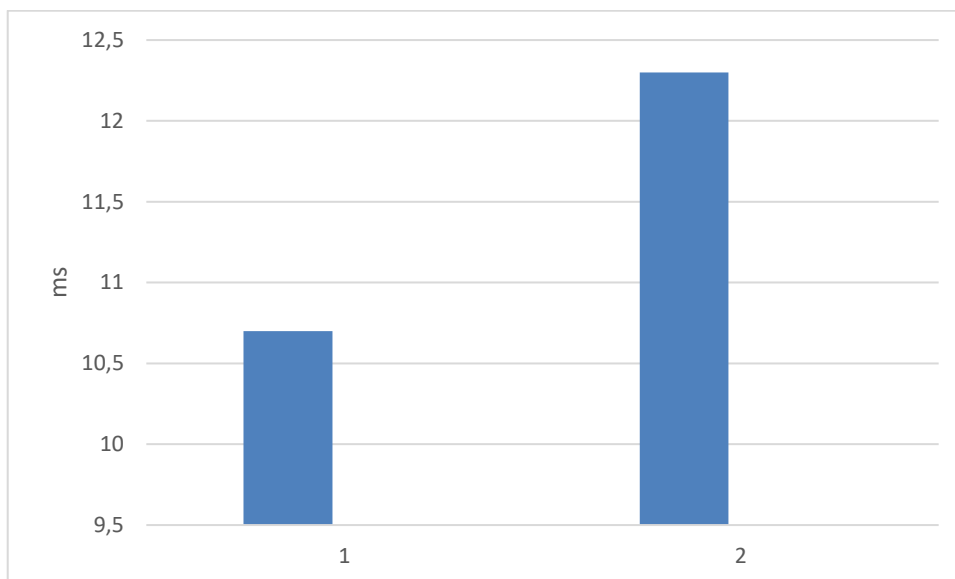
8.3.3 Motorické evokované potenciály (MEPs)

Tabulka 8-16 Hodnoty měřených komponent MEPs m. biceps brachii, m. abduktor pollicis brevis a m. tibialis anterior při dynamickém vyšetření u skupiny 1 a 2

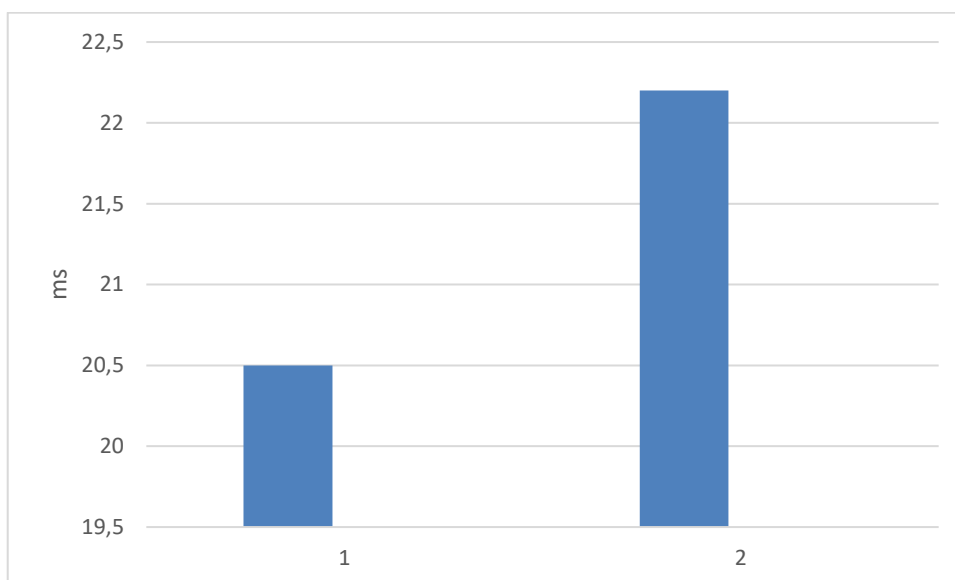
| Skupina | Flexe | | Neutrální poloha | | Extenze | |
|---------------|-------|------|------------------|------|---------|------|
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| m. BB | | | | | | |
| PML (ms) | 5,8 | 6,3 | 5,8 | 6,1 | | |
| CML (ms) | 11,3 | 12,4 | 10,7 | 12,3 | 10,8 | 12,1 |
| CCT (ms) | 5,5 | 6,1 | 4,9 | 6,2 | | |
| m. APB | | | | | | |
| PML (ms) | 13,6 | 14,9 | 13,5 | 15,0 | | |
| CML (ms) | 20,1 | 21,4 | 20,5 | 22,2 | 20,3 | 21 |
| CCT (ms) | 6,5 | 6,5 | 7,0 | 7,1 | | |
| m. TA | | | | | | |
| PML (ms) | 13,6 | 14,9 | 13,6 | 14,8 | 13,6 | 14,5 |
| CML (ms) | 20,1 | 21,4 | 20,5 | 22,2 | 20,3 | 21 |
| CCT (ms) | 6,5 | 6,5 | 7,0 | 7,1 | 13,6 | 15,5 |

Legenda: PML-periferní motorická latence, CML-centrální motorická latence, CCT-centrální kondukční čas

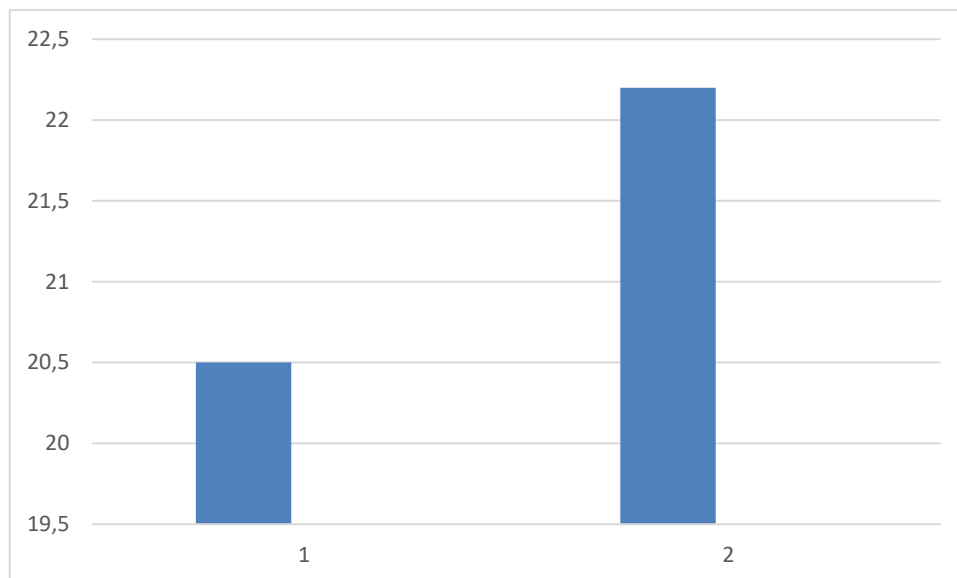
8.3.3.1 Neutrální poloha



Obrázek 8-19 Graf CML BB v neutrální pozici, porovnání skupiny 1 a skupiny 2



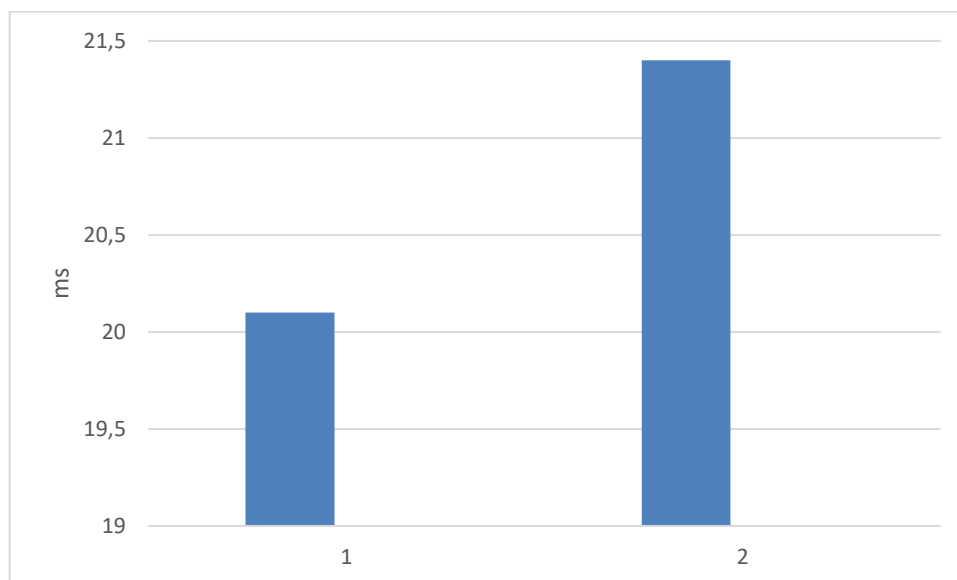
Obrázek 8-20 Graf CML APB v neutrální pozici, porovnání skupiny 1 a skupiny 2



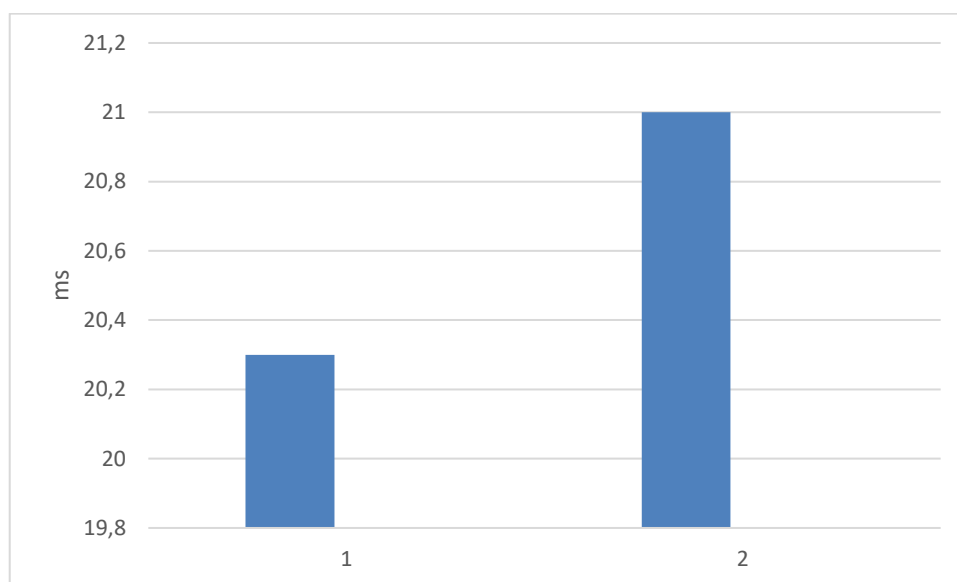
Obrázek 8-21 Graf CML TA v neutrální pozici, porovnání skupiny 1 a skupiny 2

CML byla významně delší pro skupinu 2 jak pro svaly HK tak i DK (CML: m. BB: $p = 0,018$ a m. APB: $p = 0,030$, m. TA: $p = 0,007$). CCT a PML nebyly pro svaly HK i DK významně rozdílné mezi oběma skupinami (tabulka 8.16 obrázek 8-19–8-21).

8.3.3.2 Flexe a extenze



Obrázek 8-22 Graf CML TA v předklonu, porovnání skupiny 1 a skupiny 2



Obrázek 8-23 Graf CML TA v záklonu, porovnání skupiny 1 a skupiny 2

U MEPs došlo při flexi a extenzi při srovnání obou skupin k významnému prodlužování CML u m. TA (tabulka 8-16, obrázek 8-22, 8-23).

9 DISKUSE

Kombinované dynamické vyšetření C páteře pomocí dMR a dEPs ukázalo již u zdravých jedinců změnu tvaru a délky míchy v závislosti na pohybech C páteře, na funkci míchy, hodnocené pomocí dEPs, to nemělo zásadní vliv. Prokázali jsme ve shodě se závěry předchozích studií (Joaquim, 2019) (Qi, 2020) (Morishita, 2013) (Kuwazawa, 2006) (Mao, 2016), že se krční mícha z plného záklonu přes neutrální polohu do plného předklonu postupně prodlužuje a zužuje.

V porovnání s neutrální polohou došlo při flexi ke statisticky významnému prodloužení zadní délky míchy (o 9,2 mm) a přední délky míchy (o 5,6 mm). Při extenzi pak došlo ke statisticky významnému zkrácení zadní délky míchy (o 4,3 mm) i přední délky míchy (o 2 mm). I když byly změny při extenzi statisticky významné, byly menší než při flexi. K srovnatelným výsledkům dospěli také Kuwazawa et al. (Kuwazawa, 2006), kteří rovněž na souboru zdravých jedinců prokázali ve flexi, při srovnání s neutrální polohou, statisticky významné prodloužení zadní délky míchy (o 7,1 mm) i přední délky míchy (o 5,1 mm). V extenzi naopak statisticky významné zkrácení zadní délky míchy (o 7,3 mm) a přední délky míchy (o 4,2 mm). Rozdíl v naměřených hodnotách v porovnání s našimi výsledky spočíval zejména v rozsahu měření, kdy Kuwazawa et al. (Kuwazawa, 2006) měřili délku míchy od horního okraje obratle C1 po dolní okraj obratle C7. V naší studii bylo měřeno od dolního okraje obratle C2 po dolní okraj obratle C7. Dále v našem souboru došlo v extenzi při srovnání s flexí k rozšíření jak předozadního tak i příčného rozměru míchy a zvětšení plochy míchy ve všech segmentech. Z těchto změn bylo rozšíření nejvýraznější v příčném rozměru v segmentu C6/7, který se zvětšil v porovnání s flexí o 0,9 mm. V tomto segmentu se nejvíce zvětšila i plocha míchy a to o 7,1 mm². Rozšíření příčného rozměru a zvětšení plochy v extenzi bylo i v porovnání s neutrální polohou v segmentu C6/7 statisticky významné. Muhle et al. (Muhle, 1998) ve své práci zaměřené na sledování změn šíře subarachnoidálního prostoru a šíře krční míchy pomocí MR ve flexi a extenzi u zdravých jedinců taktéž ve shodě s naší studií prokázali zvětšení předozadního rozměru v extenzi a zmenšení ve flexi ve všech úrovních od C2 po C7. Na rozdíl od naší práce však byly všechny naměřené změny statisticky významné. V segmentech C4 - C7 to bylo o 1,7 - 1,9 mm, v naší práci pouze o 0,2 - 0,3 mm. Rozdíly v naměřených hodnotách mezi pozorováním Muhle et al. (Muhle, 1998) a naší studií mohly být způsobeny prováděním MR vyšetření

různou technikou a na různých přístrojích. Naše měření bylo přesnější, velikost voxelu byla 0,9 x 0,9 x 0,9 mm s pokrytím celého objemu. Muhle et al. (Muhle, 1998) používali voxel 0,8 x 0,8 x 3 mm. Navíc jsme měření prováděli na axiálních řezech rekonstruovaných z 3D sekvence, Muhle et. al. (Muhle, 1998) měřili PZ rozměr v sagitální rovině, což je značně nepřesné.

Morfologické, dynamické změny C páteře a míchy u zdravých jedinců neměly vliv na funkci zadních provazců pro dolní končetiny ani pro motorické dráhy horních a dolních končetin. Zaznamenali jsme pouze zvětšení amplitudy cervikální míšní komponenty – vlny N13 při předklonu. Tato vlna představuje postsynaptickou odpověď po vstupu zadních kořenů do zadních rohů míšních. Bylo opakovaně prokázáno, že při předklonu C páteře dochází ke zvětšení šíře, výšky i arey cervikálních neuroforamin v rozsahu C3 – C7 u zdravých jedinců (Mao, 2016) (LeVasseur, 2019). Tento fakt pak s větší synchronizací vedení vzruchu v zapojených nervových vláknech může vysvětlit zvětšení amplitudy vlny N13 při předklonu u zdravých jedinců.

U skupiny pacientů, při srovnání se zdravými jedinci, jsme naopak zaznamenali změnu míšních funkcí, ale i délky i tvaru míchy, již v neutrální poloze, přestože v ní nedocházelo k míšní kompresi. Podle Muhleho klasifikace stenózy krční páteře (Muhle, 1998) bylo u našich pacientů v neutrální poloze přítomno pouze částečné či úplné vymizení subarachnoidálního prostoru bez komprese míšní, tedy stupeň jedna - dva. Identifikovali jsme však ve srovnání se skupinou zdravých jedinců významně kratší PD a ZD, ale i širší PR, PZ rozměr a větší P míchy. Zkrácení podélných rozměrů míchy neznamená však zkrácení vlastní míchy, ale odráží spíše její kompresi vlivem harmonického efektu při zkracování délky kanálu páteřního vlivem degenerativních změn na meziobratlových ploténkách, který pak vyústí ve zvětšení PR, PZ i P již v neutrální poloze. Potvrdili jsme dále v porovnání se zdravou populací také změnu funkce míšních drah – snížení amplitudy vlny N13, ale i zpomalení vedení dráhami zadních provazců – tedy prodloužení latence vlny N20 a prodloužení latencí subkortikálních i kortikálních vln SEPs n. tibialis (P30, N33, P40). Došlo i k prodloužení CML u MEPs pro svaly HK i DK. Přínos vyšetření míchy pomocí EPs v neutrální poloze u pacientů s kompresí míšní byl pro diagnózu CSM opakovaně potvrzen (Nove-Josserand, 2002) (Holmes A, 1994). Korelace mezi grafickými a elektrofyziologickými vyšetřeními se však dle jednotlivých studií různí. Různí se i zastoupení abnormálních nálezů SEPs či MEPs (Holmes A, 1994). V naší skupině pacientů však stenóza s kompresí míchy v neutrální

poloze přítomna nebyla. Docházelo k ní až při předklonu a záklonu, kdy progredoval stupeň stenózy C páteře ze stupně jeden – dva na stupeň tři hodnoceno pomocí Muhleho (Muhle, 1998). Změnu funkce již v neutrální poloze by pak bylo možno vysvětlit rozvojem mikroskopických kompresivních a ischemických změn, které vznikají při pohybech C páteře, kdy k dynamické kompresi míšní již i u těchto pacientů dochází.

Hlavním cílem naší studie ale bylo korelovat grafické dynamické změny se změnami funkčními. Jak již bylo zmíněno výše, došlo u pacientů při předklonu i záklonu ke zhoršování komprese na dMR hodnoceno pomocí Muhleho klasifikace (Muhle, 1998) ze stupně jedna – dva na stupeň dva - tři. Při záklonu to bylo u všech deseti pacientů, při předklonu u sedmi pacientů z deseti. Zhoršení bylo nejvýznamnější v záklonu, hlavně v segmentu C5/6, méně pak C4/5 a C6/7. Při předklonu pak dále s těmito změnami docházelo u skupiny pacientů stejně jako u zdravých jedinců k prodlužování PD i ZD, při záklonu naopak zkrácení PD i ZD. Při předklonu i záklonu se u pacientů, na rozdíl od zdravých jedinců, při dMR zmenšoval PR, PZ a P ve všech segmentech, statisticky významně hlavně při záklonu v segmentu C4/5 a C5/6. Tyto segmenty jsou normálně místem s největší mobilitou a bývají nejčastějším místem komprese odhalené až při dMR (Muhle, 1998) (Parke, 1988). Vysvětlujeme si to tak, že v přítomnosti osteoproduktivních změn či při vyklenutém disku (Obrázek 7- 3) dochází při předklonu k napnutí míchy „přes kobylku“ a tím i k jejímu zúžení, které je výraznější při srovnání se zdravou populací. Při záklonu krční páteře dochází normálně ke zkracování a rozšiřování míchy. Je-li u pacientů tento harmonikový efekt spojen s přítomností degenerativních změn, zvláště dorzální patologií, a dojde-li současně k nařasení hypertrofických žlutých vazů, dojde k tlaku zezadu a původně rozšířená mícha se naopak zužuje a zmenšuje se její plocha (Garcia Larrea, 1988). U skupiny pacientů pak jsou všechny tyto změny doprovázeny změnou funkce. U naší skupiny pacientů se měnila funkce drah zadních provazců pro HK – snižovala se amplituda vlny N13 a prodlužovala její latence. Za patologických stavů, kdy jsou neuroforamina osteoproduktivními změnami zúžena, je omezeno jejich rozvíjení, klesá počet aferentních neuronů, které jsou dále abnormně napínány a desynchronizovány ve svém vedení. Vlivem těchto procesů pak dochází ke snížení amplitudy vlny N13 a prodloužení její latence. U pacientů se při předklonu i záklonu prodlužovala i latence vlny N20. U SEPs z DK se prodlužovala latence vln P30, N33 a P40. Měnila se i funkce kortikospinální dráhy pro DK – prodlužovala se CML u m. TA. Jediná dosud existující studie hodnotící míšní funkce

při předklonu i záklonu se zabývala pouze dráhou zadních provazců. Popsala kolísání amplitudy vlny N13, která se z předklonu do záklonu postupně měnila. Byla větší při předklonu a snižovala při záklonu. U našich pacientů docházelo při pohybech nejen k zúžení C míchy, ale i jejímu prodloužení či zkrácení. Změny délky vznikají i u zdravých jedinců, takže nejspíše na funkci míšní vliv nemají, protože u zdravých jedinců k poruše funkce nedošlo. Zdá se tedy, že na vliv funkce spíše než změna délky, má její zúžení a oploštění, které vzniká kompresí míchy, eventuálně kombinace obou těchto procesů, které mohou být ještě potencovány ischemickými změnami při tenzních změnách zásobujících cév. Navíc, i přestože docházelo u pacientů k tlaku na míchu zezadu při záklonu a při předklonu zepředu, nerozhodovalo to o tom, zda bude více alterována funkce zadních či předních míšních drah. Již dříve bylo pacientů s CSM popsáno, že se u nich různí zastoupení abnormálních nálezů SEPs či MEPs bez korelace s místem komprese (Nove-Josserand, 2002) (Holmes A, 1994).

10 ZÁVĚR

Můžeme shrnout, že přestože grafické vyšetření prokazuje změnu tvaru a délky míchy v závislosti na změně osy krční páteře, na funkci míchy to u zdravých jedinců prakticky nemá vliv.

U jedinců s lehkým stupněm CSM a s nevelkými degenerativními změnami C páteře, které v neutrální poloze nevedou ke kompresi míšní, prokazuje dynamické vyšetření páteře ve flexi a extenzi tlak na míchu, jenž vede ke změně tvaru míchy a alteraci míšních funkcí. Vyšetření dynamickými metodami je tudíž přínosem při stanovení diagnózy a následné léčbě těchto pacientů.

11 LITERATURA

- Benzel, Edward C, Lancon J, et al. 1991.** Cervical laminectomy and dentate ligament section for cervical spondylotic myelopathy. *Journal of Spinal Disorders.* 1991, Sv. 4(3), stránky 286-295.
- Bogduk, N, Mercer, S. 2000.** Biomechanics of the cervical spine. I:Normal kinematics. *Clin Biomech.* Nov 2000.
- Breig, A, Turnbull I, Hassler O. 1966.** Effects of mechanical stresses on the spinal cord in cervical spondylosis. A study on fresh cadaver material. *J Neurosurg.* 1966, Sv. 25(1), stránky 45-56.
- Breig, A. 1960.** *Biomechanics of the Central Nervous System:Some Basic Normal and Pathologic Phenomena.* Stockholm : Almqvist and Wiksell, 1960.
- Clark, Charles R. 1988.** Cervical Spondylotic Myelopathy: History and Physical Findings. *Spine.* 1988, Sv. 13(7), stránky 847-849.
- Čihák, Radomír. 2011.** *Anatomie 1.* Praha : Grada, 2011. stránky 90-97.
- Dalbayrak, S, Yaman, O, Firidin, MN, et al. 2015.** The contribution of cervical dynamic magnetic resonance imaging to the surgical treatment of cervical spondylotic myelopathy. *Turk Neurosurg.* 2015, Sv. 25, stránky 36-42.
- Endo, K., Suzuki H., Nishimura H., et al. 2014.** Kinematic analysis of the cervical cord and cervical canal by dynamic neck motion. *Asian Spine J.* 2014, Sv. 8(6), stránky 747-52.
- Fehlings, M.G., Smith J.S., Kopjar B, et al. 2012.** Perioperative and delayed complications associated with the surgical treatment of cervical spondylotic myelopathy based on 302 patients from the AOSpine North America Cervical Spondylotic Myelopathy Study. *Journal of neurosurgery. Spine.* 2012, Sv. 16 (5), stránky 425-432.
- Garcia Larrea, L., Mauguiere, F. 1988.** Latency and amplitude abnormalities of the scalp far-field P14 to median nerve stimulation in multiple sclerosis. A SEP study of 122 patients recorded with a non-cephalic reference montage. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol.* 1988, Sv. 71(3), stránky 180-6.
- Holmes A, Wang C, Han ZH, et al. 1994.** The range and nature of flexion-extension motion in the cervical spine. *SPINE.* 1994.
- Hukuda, S, Mochizuki T, Ogata M, et al. 1985.** Operations for cervical spondylotic myelopathy. A comparison of the results of anterior and posterior procedures. *The Journal of bone and joint surgery British.* 1985, Sv. 67 (4), stránky 609-615.

- Jha, S.C., Miyazaki M., Tsumura H., et al. 2018.** Kinetic change of spinal cord compression on flexion-extension magnetic resonance imaging in cervical spine. *Clin Neurol Neurosurg.* 2018, Sv. 174, stránky 86-91.
- Joaquim, A. F., et al. 2019.** Dynamic Cord compression Causing Cervical Myelopathy. *Neurospine.* 2019.
- Králíček, P. 2011.** *Úvod do speciální neurofyzilogie.* místo neznámé : Galén, 2011. Sv. Třetí přep.
- Kuwazawa, Y., Pope, M. H., Bashir, W., et al. 2006.** The length of the cervical cord: effects of postural changes in healthy volunteers using positional magnetic resonance imaging. *Spine.* 2006, Sv. 31(17), stránky E579-83.
- LaRocca , H. 1988.** Cervical spondylotic myelopathy: natural history. *Spine.* 1988, stránky 13:854-5.
- LaRocca, Henry. 1988.** Cervical Spondylotic Myelopathy: Natural History. *Spine.* 1988, Sv. 13(7), stránky 854-855.
- LeVasseur, C.M., Wawrose, R., Pitcairn S., et al. 2019.** Dynamic functional nucleus is a potential biomarker for structural degeneration in cervical spine discs. *J Orthop Res.* 2019, Sv. 37(4), stránky 965-971.
- Mao, H., Driscoll, S.I., Li, J.S., et al. 2016.** Dimensional changes of the neuroforamina in subaxial cervical spine during in vivo dynamic flexion-extension. *Spine J.* 2016, Sv. 16(4), stránky 540-6.
- Matz, PG, Anderson, PA, Holly, LT, Groff, MW, Heary, RF, Kaise, MG, et al. 2009.** Joint Section on Disorders of the Spine and Peripheral Nerves of the American Association of Neurological Surgeons and Congress of Neurological Surgeons. The natural history of cervical spondylotic myelopathy. *J Neurosurg Spine.* 2009, Sv. 11(2), stránky 104-111.
- McAviney, J, Schulz D, Bock, R, Harrison D, Holland B. 2005.** Determining the relationship between cervical lordosis and neck complains. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics.* 2005, Sv. 28(3), stránky 187-193.
- Morishita, Y., Maeda, T., Ueta, T., et al. 2013.** Dynamic somatosensory evoked potentials to determine electrophysiological effects on the spinal cord during cervical spine extension: clinical article. *J Neurosurg Spine.* 2013, Sv. 19(3), stránky 288-92.
- Muhle, C, Metzner, J, Weinert, D, et al. 1998.** Classification system based on kinematic MR imaging in cervical spondylotic myelopathy. *Am J Neuroradiol.* 1998, Sv. 19, stránky 1763-71.
- Muhle, C, Resnick, D, Ahn, JM, Sudmeyer, M, Heller, M. 2001.** In vivo changes in the neuroforaminal size at flexion-extension and axial rotation of the cervical spine in healthy persons examined using kinematic magnetic resonance imaging. Jul 2001, Sv. 26(13), stránky E287-93.
- Muhle, C., Weinert D., Falliner A., et al. 1998.** Dynamic changes of the spinal canal in patients with cervical spondylosis at flexion and extension using magnetic resonance imaging. *Invest Radiol.* 1998, Sv. 33(8), stránky 444-9.

- Muhle, C., Wiskirchen, J., Weinert, D., et al. 1998.** Biomechanical aspects of the subarachnoid space and cervical cord in healthy individuals examined with kinematic magnetic resonance imaging. *Spine*. 1998, Sv. 23(5), stránky 556-67.
- Nolte, John. 2002.** *The Human Brain: An Introduction to Its Functional Anatomy*. místo neznámé : Mosby, 2002.
- Nove-Josserand, A, Andre-Obadia, N, Mauguiere, F. 2002.** Cervical spondylotic myelopathy: motor and somatosensory evoked potentials, clinical and radiological correlation. *Rev Neurol*. 2002, stránky 1191-7.
- Panjabi, M., White A. 1988.** Biomechanics of nonacute cervical spinal cord trauma. *Spine*. 1988, Sv. 13(7), 3rd, stránky 838-42.
- Parke, W.W. 1988.** Correlative anatomy of cervical spondylotic myelopathy. *Spine*. 1988, Sv. 13(7), stránky 831-7.
- Qi, Q., Huang, S., Ling, Z., et al. 2020.** Diagnostic Medium for Cervical Spondylotic Myelopathy: Dynamic Somatosensory Evoked Potentials. *World Neurosurg*. 2020, Sv. 133, stránky E225-232.
- Sadasivan, KK a Reddy, R.P., Albright, J.A. 1993.** The natural history of cervical spondylotic myelopathy. *J Biol Med*. 1993, stránky 66:235-42.
- Stamm, S, McClellan, JW, Knierim, A, et al. 2013.** Dynamic MRI reveals soft-tissue compression causing progressive myelopathy in postlaminectomy patients: a report of three cases. *JBJS Case Connect*. 2013, Sv. 3, str. 17.
- Štěpánek, D. 2014.** Spondylogenní cervikální myelopatie: Chirurgická strategie a vývoj klinických projevů. 2014.
- Štulík, Jan, et al. 2010.** *Poranění krční páteře*. místo neznámé : Galén, 2010. stránky 18-26.
- Van Mameren, H, Drukker J, Sanches H, et al. 1990.** Cervical spine motion in the sagittal plane (I) range of motion of actually performed movements, an X-ray cinematographic study. *Eur J Morphol*. 1990, stránky 47-68.
- Vernon, H, Mior, S. 1991.** The Neck Disability Index: a study of reliability and validity. *J Manipulative Physiol Ther*. 1991, Sv. 14(7), stránky 409-415.
- White, Augustus, Panjabi, M. 1990.** *Clinical Biomechanics of the Spine*. místo neznámé : Lippincott Williams & Wilkins, 1990.
- Windle, WF. 1980.** *The spinal cord and its reaction to traumatic*. New York : Marcel Dekker, 1980. ISBN-13 978-0824766887.
- Zhang, L., Zeitoun D., Rangel A., et al. 2011.** Preoperative evaluation of the cervical spondylotic myelopathy with flexion-extension magnetic resonance imaging: about a prospective study of fifty patients. *Spine*. 2011, stránky E1134-9.

12 SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|---|----|
| Obrázek 2-1 Rozložení zadních míšních drah na řezu míchou | 15 |
| Obrázek 2-2 - Rozložení základních míšních drah na řezu míchou..... | 15 |
| Obrázek 2-3 Schéma drah zadních provazců | 15 |
| Obrázek 2-4 - Rozložení základních míšních drah na řezu míchou..... | 15 |
| Obrázek 3-1 Schéma drah zadních provazců | 17 |
| Obrázek 3-2 Schéma průběhu tractus spinothalamicus | 19 |
| Obrázek 3-3 Schéma průběhu tractus corticospinalis..... | 21 |
| Obrázek 4-1 Graf závislosti zatížení míchy na její délce podle Panjabiho..... | 24 |
| Obrázek 4-2 Schéma vlivu flexe a extenze na délku kanálu páteřního a míchy..... | 25 |
| Obrázek 5-1 MR zobrazení krční páteře-základní projekce..... | 26 |
| Obrázek 5-2 Schéma monitoringu SEPs | 29 |
| Obrázek 5-3 Schéma monitoringu MEPs..... | 30 |
| Obrázek 7-1 Předklon s využitím speciální podložky..... | 36 |
| Obrázek 7-2 Záklon s využitím speciální podložky | 36 |
| Obrázek 7-3 dMR C páteře u pacienta s CSM..... | 38 |
| Obrázek 7-4 Měření přední (PD) a zadní (ZD) délky míchy | 38 |
| Obrázek 7-5 Měření příčného (PR) a předozadního (PZ) rozměru míchy v úrovni středu výšky meziobratlové ploténky | 39 |
| Obrázek 7-6 Měření plochy (P) míchy v úrovni středu výšky meziobratlové ploténky | 40 |
| Obrázek 8-1 Graf N 13 amplitudy v neutrální pozici, porovnání skupiny 1 a skupiny 2 | 64 |
| Obrázek 8-2 Graf N 13 latence v neutrální pozici, porovnání skupiny 1 a skupiny 2..... | 64 |
| Obrázek 8-3 Graf N 20 latence v neutrální pozici, porovnání skupiny 1 a skupiny 2..... | 65 |
| Obrázek 8-4 Graf P 30 latence v neutrální pozici, porovnání skupiny 1 a skupiny 2 | 66 |
| Obrázek 8-5 Graf N 33 latence v neutrální pozici, porovnání skupiny 1 a skupiny 2..... | 66 |
| Obrázek 8-6 Graf P 40 latence v neutrální pozici, porovnání skupiny 1 a skupiny 2 | 67 |
| Obrázek 8-7 Graf N 13 amplitudy v předklonu, porovnání skupiny 1 a skupiny 2..... | 68 |
| Obrázek 8-8 Graf N 13 amplitudy v záklonu, porovnání skupiny 1 a skupiny 2..... | 68 |
| Obrázek 8-9 Graf N 13 latence v předklonu, porovnání skupiny 1 a skupiny 2 | 69 |
| Obrázek 8-10 Graf N 13 latence v předklonu, porovnání skupiny 1 a skupiny 2 | 69 |
| Obrázek 8-11 Graf N 13 latence v předklonu, porovnání skupiny 1 a skupiny 2 | 70 |
| Obrázek 8-12 Graf N 20 latence v záklonu, porovnání skupiny 1 a skupiny 2 | 70 |
| Obrázek 8-13 Graf P 30 latence v předklonu, porovnání skupiny 1 a skupiny 2..... | 71 |
| Obrázek 8-14 Graf P 30 latence v předklonu, porovnání skupiny 1 a skupiny 2..... | 71 |
| Obrázek 8-15 Graf N 33 latence v předklonu, porovnání skupiny 1 a skupiny 2 | 72 |
| Obrázek 8-16 Graf N 33 latence v záklonu, porovnání skupiny 1 a skupiny 2 | 72 |
| Obrázek 8-17 P 40 latence v předklonu, porovnání skupiny 1 a skupiny 2..... | 73 |
| Obrázek 8-18 Graf P 40 latence v záklonu, porovnání skupiny 1 a skupiny 2..... | 73 |
| Obrázek 8-19 Graf CML BB v neutrální pozici, porovnání skupiny 1 a skupiny 2..... | 76 |
| Obrázek 8-20 Graf CML APB v neutrální pozici, porovnání skupiny 1 a skupiny 2..... | 76 |
| Obrázek 8-21 Graf CML TA v neutrální pozici, porovnání skupiny 1 a skupiny 2..... | 77 |

| | |
|---|----|
| Obrázek 8-22 Graf CML TA v předklonu, porovnání skupiny 1 a skupiny 2 | 78 |
| Obrázek 8-23 Graf CML TA v záklonu, porovnání skupiny 1 a skupiny 2 | 78 |

13 SEZNAM TABULEK

| | |
|--|----|
| Tabulka 4-1 1 Rozsah pohybu jednotlivých segmentů krční páteře (stupně)..... | 23 |
| Tabulka 7-1 Charakteristika skupiny 2 | 33 |
| Tabulka 8-1 Rozměry krční míchy dle dMR vyšetření u skupiny 1 | 43 |
| Tabulka 8-2 SEPs n.medianus..... | 47 |
| Tabulka 8-3 SEPs n.tibialis | 48 |
| Tabulka 8-4 MEPs m. biceps brachii..... | 50 |
| Tabulka 8-5 MEPs m. abductor pollicis brevis..... | 50 |
| Tabulka 8-6 MEPs m. tibialis anterior | 51 |
| Tabulka 8-7 Rozměry krční míchy dle dMR vyšetření u skupiny 2 | 52 |
| Tabulka 8-8 SEPs n. medianus..... | 56 |
| Tabulka 8-9 SEPs n. tibialis | 57 |
| Tabulka 8-10 MEPs m. biceps brachii..... | 58 |
| Tabulka 8-11 MEPs m. abductor pollicis brevis..... | 58 |
| Tabulka 8-12 MEPs m. tibialis anterior | 59 |
| Tabulka 8-13 Muhleho klasifikace stupně stenózy C páteře v předklonu, neutrální poloze a záklonu | 60 |
| Tabulka 8-14 Rozměry krční míchy dle dMR vyšetření, porovnání skupiny 1 a 2..... | 61 |
| Tabulka 8-15 Hodnoty měřených komponent SEPs n. medianus a n. tibialis při dynamickém vyšetření, skupina 1 a skupina 2 | 63 |
| Tabulka 8-16 Hodnoty měřených komponent MEPs m. biceps brachií, m. abduktor pollicis brevis a m. tibialis anterior při dynamickém vyšetření u skupiny 1 a 2 | 75 |

Rád bych touto cestou vyjádřil poděkování své školitelce doc. MUDr. Ireně Holečkové, Ph.D. za její cenné rady a trpělivost při vedení mé disertační práce. Rovněž bych chtěl poděkovat MUDr. Martinu Vítovcovi za pomoc při zpracování výsledků MR vyšetření, Mgr. Petru Řihánkovi za technickou pomoc a zaměstnankyním elektrofyziologické laboratoře Bc. Mirce Minářové a všeobecné sestře Michaele Čítkové za pomoc při vyšetřování pacientů. V neposlední řadě bych poděkoval přednostovi doc. MUDr. Vladimíru Příbáňovi, Ph.D. za korektury a pomoc při publikování.

