

původní práce

Korelace anatomických a funkčních změn krční páteře a míchy v závislosti na změně osy krční páteře u zdravých jedinců měřené pomocí dynamického MR a EPs

Correlation of anatomical and functional changes of the cervical spine and spinal cord in response to changes in the axis of the cervical spine in healthy individuals measured by dynamic MRI and EPs

Slavomír Žídek^{1,4}, David Štěpánek^{1,4}, Jiří Valeš¹, Martin Vítovec², Radek Tupý^{2,4}, Vladimír Rohan^{3,4}, Irena Holečková^{1,4}

¹Neurochirurgická klinika LF UK a FN, Plzeň

²Klinika zobrazovacích metod LF UK a FN, Plzeň

³Neurologická klinika LF UK a FN, Plzeň

⁴LF UK a FN, Plzeň

Hlavní stanovisko práce

Původní práce na zdravé populaci se týká porovnání dynamického MR vyšetření krční páteře a míchy s dynamickými evokovanými potenciály.

SOUHRN

Žídek S, Štěpánek D, Valeš J, Vítovec M, Tupý R, Rohan V, Holečková I. Korelace anatomických a funkčních změn krční páteře a míchy v závislosti na změně osy krční páteře u zdravých jedinců měřené pomocí dynamického MR a EPs

Úvod: Cílem naší studie u zdravých jedinců bylo posoudit změnu tvaru a délky míchy při dynamickém MR C páteře s míšními funkcemi hodnocenými evokovanými potenciály (EPs).

Metodika: Do studie bylo zařazeno pět mužů a pět žen. Vyšetření MR stejně jako EPs (SEPs i MEPs) 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 míchy (PZ) a plocha míchy (P). Byl registrován SEPs n. medianus a n. tibialis, MEPs z mm. BB, APB a TA.

Výsledky: Při flexi došlo ke statisticky významnému prodloužení ZD (o 9,2 mm) a PD míchy (o 5,6 mm). Při extenzi pak došlo ke statisticky významnému zkrácení ZD (o 4,3 mm) i PD míchy (o 2 mm). Při extenzi došlo k rozšíření jak PZ, PR i P rozměru míchy. Při flexi došlo

Major statement

The original study on a healthy population concerns the comparison of dynamic MRI examination of the cervical spine and spinal cord with dynamic evoked potentials.

SUMMARY

Žídek S, Štěpánek D, Valeš J, Vítovec M, Tupý R, Rohan V, Holečková I. Correlation of anatomical and functional changes of the cervical spine and spinal cord in response to changes in the axis of the cervical spine in healthy individuals measured by dynamic MRI and EPs

Introduction: The aim of our study in healthy individuals was to assess the changes in spinal cord shape and length measured by dynamic C spine MRI with spinal functions assessed by evoked potentials (EPs).

Methodology: The study included 5 men and 5 women. MR examination as well as EPs (SEPs and MEPs) were performed in the neutral position, in the flexion and in the extension. The anterior (PD) and posterior spinal cord length (ZD) were measured on the C spine MRI. Then transverse spinal cord dimension (PR), the anteroposterior spinal cord dimension (PZ) and the spinal cord area (P). SEPs n. medianus, SEPs n. tibialis and MEPs were registered.

Results: There was a statistically significant increase in ZD (by 9.2 mm) and PD (by 5.6 mm) during flexion. At extension bends, there was a statistically significant shortening of ZD (by

Přijato: 1. 5. 2022

Korespondenční adresa:

MUDr. Slavomír Žídek
Neurochirurgická klinika LF UK a FN
alej Svobody 80, 306 00 Plzeň
e-mail adresa: zidek@fnplzen.cz

Konflikt zájmů: žádný.

ke zvětšení amplitudy míšní komponenty N13. MEPs a SEP n. tibialis byly beze změn.

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.

Klíčová slova: C páteř, dynamická MR, dynamický MEPs, dynamický SEPs.

4.3 mm) and PD (by 2 mm). During the extension, the PZ, PR and P dimensions of the spinal cord widened. There was a statistically significant increase in the amplitude of the spinal cord component N13 during flexion for median nerve SEPs. MEPs from lower and upper limbs muscles and tibial nerve SEPs were unchanged.

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.

Key words: C spine, dynamic MRI, dynamic SEPs, dynamic MEPs.

ÚVOD

Cervikální spondylogenní myelopatie (CSM) vzniká v důsledku progresivní, chronické komprese krční míchy, která může být buď statická, či dynamická. I když nedochází ke statické kompresi míchy v neutrální poloze, může k ní docházet při flexi či extenzi krční páteře. Je známo již z měření na kadaverch a dále i z biomechanických měření, že se páteřní kanál i mícha prodlužují při flexi a zkracují při extenzi (1–4). Více se prodlouží zadní stěna kanálu, méně stěna přední. Všechny tyto změny byly dále potvrzeny i studii s využitím dynamického vyšetření C páteře pomocí MR (1, 5–8). Vztah mezi dynamickými, morfologickými změnami páteře a míchy a míšními funkcemi byl 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. Byla publikována práce, která ukazuje změnu amplitudy a latence cervikální míšní komponenty v závislosti na změně polohy C páteře u zdravých jedinců i pacientů s CSM (9). Jiná studie potvrdila změnu latence i amplitudy skalpové vlny N20 v závislosti na změně polohy C páteře. Změny byly významnější u pacientů s CSM než u zdravých jedinců (10). Motorické dráhy míšní dosud studovány nebyly, i když klinickým projevem poruchy míšní funkce u CSM není pouze zhoršení funkce zadních provazců, ale hlavně zhoršení funkce míšních motorických drah. Dosud neexistuje studie, která by hodnotila vztah mezi funkcí motorických drah a změnou osy

C páteře. Cílem naší studie u zdravých jedinců je posoudit a korelovat změnu tvaru a délky míchy měřenou dynamickým MR C páteře s míšními funkcemi hodnocenými evokovanými potenciály (EPs) somatosenzorickými evokovanými potenciály (SEPs) i motorickými evokovanými potenciály (MEPs).

METODIKA

Soubor pacientů

Do studie bylo zařazeno pět mužů a pět žen ve věku 22–55 let. Podmínkou pro zařazení do studie byla absence bolestí, parestezií a slabostí končetin a bolesti šije, absence poruch chůze s normálním neurologickým nálezem a žádnými či pouze minimálními degenerativními změnami krční páteře bez komprese nervových struktur na MR C páteře. Prováděná vyšetření představují standardně užívané techniky, proto nebylo třeba schválení etickou komisí. Všichni pacienti podepsali informovaný souhlas k MR vyšetření i k provedení EPs. MR vyšetření a vyšetření EPs bylo měřeno ve dvou nezávislých sezeních. Nejdříve bylo provedeno MR, s odstupem 3–5 dní bylo provedeno vyšetření EPs. Vyšetření MR stejně jako EPs (SEPs i MEPs) bylo provedeno ve třech polohách:

1. v neutrální poloze (N)
2. v předklonu (P) a
3. v záklonu (Z)

Předklonu bylo dosaženo uložení pacienta do speciální podložky s předklonem hlavy tak, že úhel ramenou a zátylku byl 130° (obr. 1), a záklonu bylo dosaženo



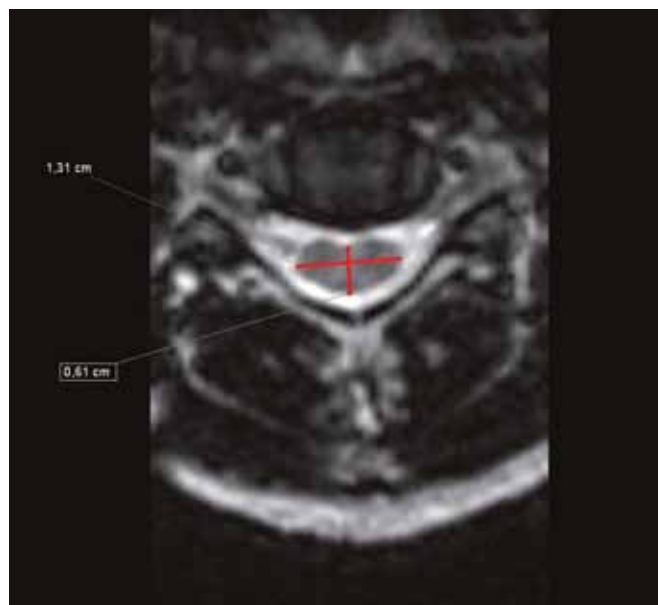
1 Předklon s využitím speciální podložky
Flexion forward with the use of a special pad



2 Záklon s využitím speciální podložky
Extension with the use of a special pad



3 Měření přední (PD) a zadní (ZD) délky míchy. 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.
Measurement of anterior (PD) and posterior (ZD) spinal cord lengths. The red line on the front and on the back of the spinal cord shows PD and ZD measurements ranging from the lower edge of the C2 vertebra to the lower edge of the C7 vertebra.



4 Měření příčného (PR) a předozadního (PZ) rozměru míchy v úrovni středu disku. Horizontální červená čára ukazuje PR a vertikální červená čára ukazuje PZ.
Measurement of transverse (PR) and anteroposterior (PZ) dimension of the spinal cord at the level of the center of the disc. Horizontal red line shows PR and the vertical red line shows PZ.

rovněž podložení hlavy a ramen speciální podložkou s úhlem ramenou a zátylku 270° (obr. 2). Pro vyšetření EP i pro MR bylo podkládání prováděno vleže. Po vyšetření jedinci hodnotili své pocity během vyšetření pomocí VAS škály.

MR C páteře

Pro měření délky a tvaru míchy jsme použili 1,5T MR systém (Magnetom Avanto, Siemens, Erlangen, Německo), 20kanálovou cívkou (Siemens, Erlangen,

Německo), bez 4kanálové přední části cívkou. 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 × 0,9 × 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.

Měřili jsme přední délku míchy (PD) a zadní délku míchy (ZD) v sagitálním řezu ve střední čáře (obr. 3) 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) (obr. 4) a plochu míchy (P) (obr. 5) v úrovni středu výšky intervertebrálních disků



5 Měření plochy míchy v úrovni středu disku. Červený ovál vyznačuje měřenou plochu.

Measurement of the spinal cord area at the center of the disc. The red oval indicates the measured area.

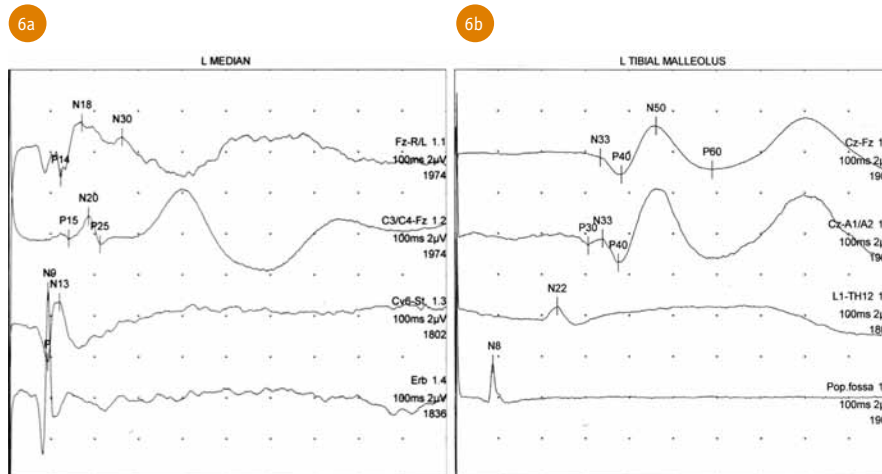
C4/5, C5/6 a C6/7. Všechna měření byla prováděna ve flexi, extenzi a neutrální poloze, které jsou definovány výše.

Evokované potenciály

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 registrované ze svalů horní končetiny (m. biceps brachii a m. abductor pollicis brevis) a svalů dolní končetiny (m. tibialis anterior) registrovaných ve výše popsáných polohách.

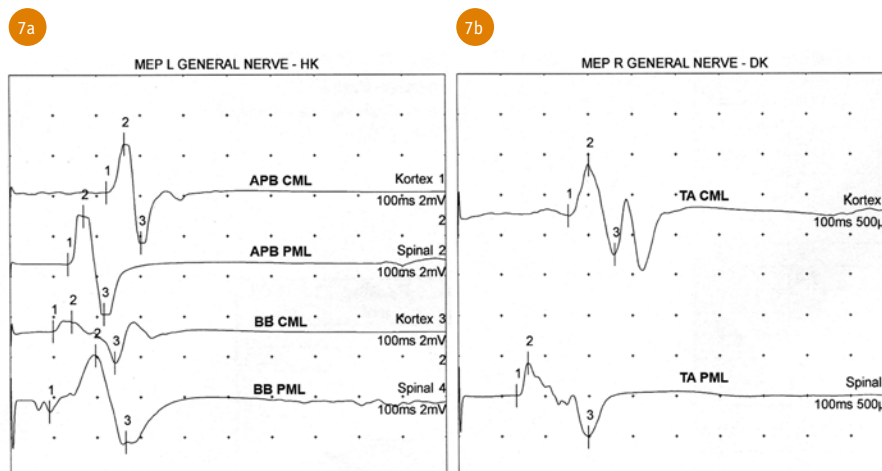
Somatosenzorické evokované potenciály (SEPs) n. medianus a n. tibialis (obr. 6)

Krátce latentní SEPs byl registrován při stimulaci smíšeného nervu na zápěstí, resp. za vnitřním kotníkem, bilaterálně. Odpověď byla registrována na čtyřech 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 kontraletální N20. Byla měřena a poté zpracovávána peak to peak amplituda



6 SEPs n. medianus a SEPs n. tibialis: (a) SEPs n. medianus: sloupec vlevo – zdola nahoru: 1. řádek: registrace odpovědi z Erbova bodu, 2. řádek: registrace cervikální míšní komponenty, 3. řádek: registrace skalpových komponent, 4. řádek: registrace podkorových komponent; (b) SEPs n. tibialis: sloupec vpravo – zdola nahoru: 1. řádek: registrace odpovědi popliteální, 2. řádek: registrace sakro-lumbální míšní komponenty, 3. řádek: registrace skalpových a podkorových komponent, 4. řádek: registrace skalpových komponent

Median and tibial nerve SEPs: (a) median nerve SEPs: left column – from bottom to top: 1. row: registration Erb's point component, 2. row: registration of the cervical spinal cord component, 3. row: registration of scalp components, 4. row: registration of subcortical components; (b) tibial nerve SEPs: column on the right – from bottom to top: 1. row: registration of popliteal response, 2. row: registration of sacro-lumbar spinal cord component, 3. row: registration of scalp and subcortical components, 4. row: registration of scalp components



7 MEPs mm. biceps brachii (BB), abductor pollicis brevis (APB), tibialis anterior (TA): (a) MEPs ze svalů horních končetin: sloupec vlevo – zdola nahoru: 1. řádek: PML z m. BB, 2. řádek: CML z m. BB, 3. řádek: PML z m. APB, 4. řádek: CML z m. APB; (b) MEPs ze svalů dolních končetin: sloupec vpravo – zdola nahoru: 1. řádek: PML z m. TA, 2. řádek: CML z m. TA

MEPs for biceps brachii (BB), abductor pollicis brevis (APB), tibialis anterior (TA) muscles: (a) MEPs from upper limb muscles: left column – bottom to top: 1. row: PML from BB, 2. row: CML from BB, 3. row: PML from APB, 4. row: CML from APB; (b) MEPs from lower limb muscle: right column – bottom to top: 1. row: PML from TA, 2. row: CML from TA

a latence vlny N13, N20 a centrální kondukční čas (CCT) mezi odpovědí N13–N20 a kondukční čas 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 parietální kontraletální N20. 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 (obr. 7)

MEPs byly evokovány magnetickým stimátorem Magstim 200 (The Magstim Company Ltd., Spring Gardens, Wales, UK) pomocí cirkulární cívký 90 mm. Motorický evokovaný potenciál byl

Tab. 1. Rozměry krční míchy při dynamickém MR krční páteře

Table 1. Dimensions of the cervical spinal cord in dynamic MR of the cervical spine

		Předklon	Neutrální poloha	Záklon
PD (mm)		91,6	86,0	84,0
ZD (mm)		93,9	84,7	80,4
PR (mm)	C4/5	13,3	13,5	13,7
	C5/6	12,9	13,1	13,2
	C6/7	11,8	11,9	12,7
PZ (mm)	C4/5	6,7	6,8	6,9
	C5/6	6,5	6,7	6,8
	C6/7	6,4	6,2	6,6
P (mm ²)	C4/5	73,5	75,5	76,0
	C5/6	71,2	72,6	75,7
	C6/7	60,4	60,7	67,5

Velikost PD, ZD, PR, PZ a P v předklonu, neutrální poloze a v záklonu.

Extent of PD, ZD, PR, PZ and P in forward bend, neutral position and in bend.

PD – přední délka/anterior length, ZD – zadní délka/posterior length, PR – příčný rozměr/transverse dimension, P – plocha/area

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.

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%.

VÝSLEDKY

Nikdo z pacientů při žádné z poloh během sezení nepotvrdil žádné subjektivní obtíže či bolesti. VAS škála u všech jedinců byla na hodnotě 1 až 2.

MR vyšetření (tab. 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 ($p = 0,0015$).

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 k prodloužení na 93,9 mm ($p < 0,001$) a v záklonu ke zkrácení na 80,4 mm ($p = 0,0002$).

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 rovněž 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 k rozšíření na 12,7 mm ($p = 0,009$). Při záklonu tedy došlo ke statisticky významné změně PR v segmentu C6/7.

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 ($p = 0,6966$) 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.

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 ke zmenšení na 73,5 mm² ($p = 1,000$) a v záklonu došlo ke 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 ke zmenšení na 71,2 mm² ($p = 0,884$) a v záklonu došlo ke 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 ke zvětšení na 67,5 mm² ($p = 0,005$). Ke statisticky významné změně velikosti plochy míchy došlo pouze v záklonu.

Evokované potenciály

SEPs n. medianus (tab. 2)

Pro SEP n. medianus byly hodnoceny latence a amplituda vlny N13, latence a amplituda vlny N20, CCT. K registrované významné změně došlo pouze při předklonu, kdy se zvětšila amplituda vlny N13.

Tab. 2. Hodnoty měřených komponent SEPs n. medianus při dynamickém vyšetření**Table 2. Values of measured components of median nerve SEPs during dynamic examination**

	Předklon	Neutrální poloha	Záklon
N13 amplituda (μV)	1,9	1,6	1,7
N13 latence (ms)	13,0	13,1	13,2
N20 amplituda (μV)	2,9	2,7	2,8
N20 latence (ms)	19,5	19,5	19,4
CCT (ms)	6,7	6,3	6,1

Latence a amplituda vlny N13, latence a amplituda vlny N20 a CCT v předklonu, záklonu a neutrální poloze.
 Latency and amplitude of wave N13, latency and amplitude of wave N20 and CCT in forward bend, tilt and neutral position.
 CCT – centrální kondukční čas/central conduction time

Tab. 3. Hodnoty měřených komponent SEPs n. tibialis při dynamickém vyšetření**Table 3. Values of measured components of tibial nerve SEPs during dynamic examination**

	Předklon	Neutrální poloha	Záklon
P40 amplituda (μV)	4,2	4,0	4,0
P40 latence (ms)	35,8	36,0	35,7
CCT (ms)	15,7	15,9	15,7

Latence a amplituda vlny P40 a CCT v předklonu, záklonu a neutrální poloze.
 Latency and amplitude of P40 and CCT waves in forward, bend and neutral position.
 CCT – centrální kondukční čas/central conduction time

Tab. 4. Hodnoty měřených komponent MEPs m. biceps brachii při dynamickém vyšetření**Table 4. Values of measured components of the biceps brachii muscle MEPs during dynamic examination**

	Předklon	Neutrální poloha	Záklon
PML (ms)	5,8	5,8	
CML (ms)	11,3	10,7	10,8
CCT (ms)	5,5	4,9	

PML, CML a CCT v předklonu, záklonu a neutrální poloze.
 PML, CML and CCT in forward, tilt and neutral position.
 PML – periferní motorická latence/peripheral motor latency, CML – centrální motorická latence/central motor latency, CCT – centrální kondukční čas/central conduction time

Tab. 5. Hodnoty měřených komponent MEPs m. abductor pollicis brevis při dynamickém vyšetření**Table 5. Values of measured components of the abductor pollicis brevis muscle MEPs during dynamic examination**

	Předklon	Neutrální poloha	Záklon
PML (ms)	13,6	13,5	
CML (ms)	20,1	20,5	20,3
CCT (ms)	6,5	7,0	

PML, CML and CCT in forward, tilt and neutral position.
 PML, CML and CCT in forward, tilt and neutral position.
 PML – periferní motorická latence/peripheral motor latency, CML – centrální motorická latence/central motor latency, CCT – centrální kondukční čas/central conduction time

Tab. 6. Hodnoty měřených komponent MEPs m. tibialis anterior při dynamickém vyšetření**Table 6. Values of measured components of the anterior tibialis muscle MEPs during dynamic examination**

	Předklon	Neutrální poloha	Záklon
PML (ms)	13,6	13,6	13,6
CML (ms)	26,5	26,5	26,9
CCT (ms)	13,1	12,8	13,6

PML, CML a CCT v předklonu, záklonu a neutrální poloze.
 PML, CML and CCT in forward, tilt and neutral position.
 PML – periferní motorická latence/peripheral motor latency, CML – centrální motorická latence/central motor latency, CCT – centrální kondukční čas/central conduction time

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 ($p = 0,0179$). V záklonu nedošlo ke statisticky významné změně.

Nedošlo k žádné změně latence vlny N13 při změnách polohy C páteře. Změna polohy C páteře nevyvolala žádnou statisticky významnou odchylku pro komponentu N20 a CCT.

SEPs n. tibialis

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

MEPs mm. BB, APB a TA (tab. 4, 5, 6)

U MEPs jsme pro jednotlivé svaly (mm. BB, APB a TA oboustranně) měřili PML, CML a CCT. U žádné měřené hodnoty jsme při změnách polohy neprokázali statisticky významný rozdíl.

DISKUSE

V naší studii jsme prokázali na dynamických MR C páteře, ve shodě se závěry předchozích studií (4–8), že se krční mícha z plného záklonu přes neutrální polohu do plného předklonu postupně prodlužuje a zužuje. Současně se změnami tvaru a délky krční míchy jsme zaznamenali pouze zvětšení amplitudy cervikální míšní komponenty při předklonu u dráhy zadních provazců pro HK. Morfologické míšní změny neměly vliv na funkci zadních provazců pro dolní končetiny ani pro motorické dráhy horních a dolních končetin.

Dynamické MR C páteře

V porovnání s neutrální polohou došlo při předklonu ke statisticky významnému prodloužení zadní délky míchy (o 9,2 mm) a přední délky míchy (o 5,6 mm). Při záklonu 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 záklonu statisticky významné, byly menší než při předklonu. Ke srovnatelným výsledkům dospěli také Kuwazawa et al. (4), kteří prokázali při předklonu, při srovnání s neutrální polohou, statisticky významné prodloužení zadní délky míchy (o 7,1 mm) i přední délky míchy (o 5,1 mm). V záklonu 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. (5) 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 záklonu při srovnání s předklonem 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 předklonem 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 segmentu v záklonu bylo v porovnání s neutrální polohou v segmentu C6/7 statisticky významné. Muhle et al. (8) ve své práci zaměřené na sledování změn šíře subarachnoidálního prostoru a šíře krční míchy pomocí MR v předklonu a záklonu u zdravých jedinců rovněž ve shodě s naší studií prokázali zvětšení předozadního rozměru v záklonu a zmenšení v předklonu 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. (8) a naší studií mohly být způsobeny prováděním MR vyšetření různou technikou a na různých přístrojích. Naše měření bylo přesnější, velikost voxelu byla 0,9 × 0,9 × 0,9 mm s pokrytím celého objemu. Muhle et al. (8) používali voxel 0,8 × 0,8 × 3 mm. Navíc jsme měření prováděli na axiálních řezech rekonstruovaných z 3D sekvence, Muhle et al. (8) měřili PZ rozměr v sagitální rovině, což je značně nepřesné.

Dynamické EPs při předklonu

Jedinou změnou EPs, kterou jsme registrovali při předklonu C páteře, bylo zvětšení amplitudy míšní komponenty N13. Dříve publikované studie na CSM pacientech uvádějí snížení amplitudy vlny N13 v neutrální poloze při srovnání se zdravou populací jako faktor, který ukazuje na segmentální míšní dysfunkci při CSM. Jediná studie, která hodnotila

vývoj amplitudy míšní komponenty N13 při stimulaci n. medianus při předklonu a záklonu u CSM pacientů, ale i u zdravých jedinců, popsala kolísání amplitudy vlny N13. Amplituda se z předklonu do záklonu postupně měnila, byla větší při předklonu a snižovala se při záklonu. V naší studii jsme prokázali při předklonu významné zvětšení amplitudy vlny N13. Ta 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 (11, 12). Amplitudy neurofyzilogických komponent, a tedy i SEPs, odrážejí mimo jiné funkci součtu akčních potenciálů aferentních neuronů, snižují se tedy u procesů, kde se počet aferentních neuronů snižuje. Ke snížení amplitudy dochází rovněž při desynchronizaci vedení mezi jednotlivými zapojenými nervovými vlákny (13). Vysvětlením, proč v naší studii došlo ke zvětšení amplitudy vlny N13 při předklonu u zdravých jedinců, může být předpokládané rozšíření neuroforamin (12) spojené s větší synchronizací vedení vzruchu v zapojených nervových vláknech. Za patologických stavů, kdy jsou neuroforamina osteoproduktivními změnami naopak zúžena a vlivem těchto změn dochází k dalšímu abnormálnímu napínání nervových struktur, vzniká opačný efekt, tedy snížení amplitudy vlny N13. I přesto, že u našich jedinců došlo k prodloužení krční míchy v zadních oblastech při předklonu C páteře, nedošlo k prodloužení doby vedení v dráze zadních provazců (CCT) ani pro n. medianus ani pro n. tibialis. Naše pozorování koresponduje se zatím jedinou publikovanou studií popisující nejen dynamické MR, ale i dynamické SEPs (9). Absenci změn při registraci MEPs lze vysvětlit tím, že prodloužení přední délky míchy při předklonu, které bylo ještě méně významné než prodloužení zadní délky, nestačilo k vyvolání

registrovatelné změny funkce kortikospinálního traktu – tedy změny MEPs.

Dynamické EPs při záklonu

Na funkci míchy, a to jak dráhy zadních provazců, tak dráhy motorické, tyto změny v naší studii vliv neměly. Můžeme shrnout, že u zdravých jedinců v naší studii došlo pouze k subklinické změně funkce zadních provazců pro HK při předklonu, která je nejspíše pouze odrazem změn intervertebrálních foramin. Jiná situace však může nastat u pacientů s degenerativními změnami C páteře. V přítomnosti osteoproduktivních změn či při vyklenutém disku, kdy dochází při předklonu k napnutí míchy „přes kobytku“ může pak být natažení míchy významně větší a může následně vyvolat i změnu funkce a klinické obtíže. Při záklonu krční páteře, kdy u zdravých jedinců dochází ke zkracování a rozšiřování míchy, v případě přítomnosti degenerativních změn, zvláště dorzální patologie, dojde současně s nařasením hypertrofických žlutých vazů k tlaku zezadu (14), a tudíž naopak k oploštění míchy a to může vést ke změně funkce i při extenzi.

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 vliv nemá. Při degenerativních změnách páteře i u asymptomatických jedinců však tento dynamický efekt může funkce alterovat významněji. Je třeba doplnit další obdobné studie na populaci pacientů s CSM, abychom mohli uzavřít, zda dynamické vyšetření MR C páteře ovlivňuje u této populace i funkci míchy, a je tudíž opravdu přínosem pro rozhodnutí o další léčbě těchto pacientů. ●

LITERATURA

1. Zhang L, Zeitoun D, Rangel A, et al. Preoperative evaluation of the cervical spondylotic myelopathy with flexion-extension magnetic resonance imaging: about a prospective study of fifty patients. *Spine (Phila Pa 1976)* 2011; 36(17): E1134–1139.
2. Muhle CC, Weinert D, Falliner A, et al. Dynamic changes of the spinal canal in patients with cervical spondylosis at flexion and extension using magnetic resonance imaging. *Invest Radiol* 1998; 33(8): 444–449.
3. Breig A, Turnbull I, Hassler O. Effects of mechanical stresses on the spinal cord in cervical spondylosis. A study on fresh cadaver material. *J Neurosurg* 1966; 25(1): 45–56.
4. Panjabi M, White A, 3rd. Biomechanics of nonacute cervical spinal cord trauma. *Spine (Phila Pa 1976)* 1988; 13(7): 838–842.

5. **Kuwazawa Y, Pope MH, Bashir W, et al.** The length of the cervical cord: effects of postural changes in healthy volunteers using positional magnetic resonance imaging. *Spine (Phila Pa 1976)* 2006; 31(17): E579–583.
6. **Endo K, Suzuki H, Nishimura H, et al.** Kinematic analysis of the cervical cord and cervical canal by dynamic neck motion. *Asian Spine J* 2014; 8(6): 747–752.
7. **Jha SC, Miyazaki M, Tsumura H.** Kinetic change of spinal cord compression on flexion-extension magnetic resonance imaging in cervical spine. *Clin Neurol Neurosurg* 2018; 174: 8691.
8. **Muhle C, Wiskirchen J, Weinert D, et al.** Biomechanical aspects of the subarachnoid space and cervical cord in healthy individuals examined with kinematic magnetic resonance imaging. *Spine (Phila Pa 1976)* 1998; 23(5): 556–567.
9. **Qi Q, Huang S, Ling Z, et al.** A New Diagnostic Medium for Cervical Spondylotic Myelopathy: Dynamic Somatosensory Evoked Potentials. *World Neurosurg* 2020; 133: e225–e232.
10. **Morishita Y, Maeda T, Ueta T, et al.** Dynamic somatosensory evoked potentials to determine electrophysiological effects on the spinal cord during cervical spine extension: clinical article. *J Neurosurg Spine* 2013; 19(3): 288–292.
11. **Mao H, Driscoll SJ, Li JS, et al.** Dimensional changes of the neuroforamina in subaxial cervical spine during in vivo dynamic flexion-extension. *Spine J* 2016; 16(4): 540–546.
12. **LeVasseur CM, Wawrose R, Pitcairn S, et al.** Dynamic functional nucleus is a potential biomarker for structural degeneration in cervical spine discs. *J Orthop Res* 2019; 37(4): 965–971.
13. **Garcia Larrea L, Mauguiera F.** 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; 71(3): 180–186.
14. **Parke WW.** Correlative anatomy of cervical spondylotic myelopathy. *Spine (Phila Pa 1976)* 1988; 13(7): 831–837.