

UNIVERZITA KARLOVA

Fakulta tělesné výchovy a sportu



**Identifikace meniskoidů a tlumících vlastností krční páteře
pomocí MRI a TVS před a po aplikaci manipulační léčby**

AUTOREFERÁT DISERTAČNÍ PRÁCE

Disertační práce byla zpracována v průběhu doktorského studia oboru Biomechanika (2013 – 2018). Disertační práce představuje původní rukopis. S jejím plným textem je možné se seznámit v Ústřední tělovýchovné knihovně, José Martího 31, Praha 6, 162 52.

Autor: **Mgr. Tereza Pígllová**

Vedoucí práce: **doc. PaedDr. Karel Jelen, CSc.**

Praha 2018

Abstrakt

Úvod

Kloubní dysfunkce páteře ve smyslu funkční blokády kloubu je spojena s odpovídajícím bolestivým stavem, reflexní kontrakcí okolních svalů a omezením mobility v daném segmentu. Kloubní blokáda má svůj mechanický podtext, který nemusí být doprovázen strukturální poruchou, ale ovlivňuje biomechanické vlastnosti páteře. Existuje několik teorií o příčině vzniku kloubního omezení. Vědecké důkazy značně podporují teorii o uskřínutí meniskoidu.

Cíl

Cílem studie byla identifikace meniskoidů v krční páteři pomocí obrazové dokumentace z MRI a určení jejich potencionální role ve vzniku funkčních blokad axiálního systému (AS). Dalším cílem bylo zjistit, jak kloubní blokády ovlivňují reologické vlastnosti páteře pomocí metody Transfer Vibration through the Spine (TVS).

Výzkumný soubor

Studie MRI byla provedena na výzkumném souboru 12 subjektů - dvou anatomických preparátech a deseti *in vivo*. V experimentu TVS byly vyšetřeny dva subjekty.

Metodika

Dva anatomické preparáty byly vyšetřeny na MRI za účelem nalezení vhodné sekvence pro zobrazování meniskoidů, tři subjekty pro identifikaci meniskoidů *in vivo*. Sedm subjektů podstoupilo úvodní vyšetření, manipulaci páteře a kontrolní vyšetření. Porovnávaly se rozdíly v umístění a tvaru meniskoidů mezi úvodním a kontrolním vyšetřením. Dva subjekty byly vyšetřeny metodou TVS. Po úvodním vyšetření následovala manipulace krční páteře a kontrolní vyšetření. Výsledná data jednotlivých vyšetření byla počítačově zpracována a porovnána mezi sebou.

Výsledky

Bylo ověřeno, že metoda MRI umožňuje za určitých okolností detekci změn velikosti a tvaru meniskoidů *in vivo*. Funkční blokáda v kloubu může být spojena s

uskřínutím meniskoidu do kloubního prostoru. Použitím metody TVS bylo také zjištěno, že funkční blokáda v kloubu ovlivňuje reologické vlastnosti axiálního systému, konkrétně snižuje tlumící schopnosti daného systému.

Diskuze

Na základě provedených výzkumů lze předpokládat, že se na vzniku funkčních kloubních blokád páteře podílí více mechanismů, včetně uskřínutí meniskoidu. Vyšetřením metodou TVS je možné hodnotit reologické vlastnosti v oblasti krční páteře. Tato metoda je schopna detekovat změny v tlumících schopnostech AS za přítomnosti funkčních blokád meziobratlových kloubů.

Závěr

Pomocí obrazové dokumentace z MRI jsme objektivizovali teorii o uskřínutí meniskoidu. Je pravděpodobné, že existuje více možných příčin vzniku kloubní blokády. Kloubní blokády ovlivňují tlumící schopnosti AS. TVS je vyvíjející se metodou a bude nutné ověřit naše výsledky a interpretace na větším statistickém souboru.

Klíčová slova: kloubní blokáda; meniskoidy; axiální systém; MRI; Transfer Vibration through the Spine.

Abstract

Introduction

The joint dysfunction of the spine in the sense of functional blockade is connected with corresponding painful condition, reflex contraction of the surrounding muscles and restriction of mobility in the spinal segment. Joint block has its mechanical context, which need not be accompanied by a structural disturbance but it's affecting the biomechanical properties of the spine. Several theories exist how the joints become restricted. Scientific evidence highly supports the meniscoid entrapment theory.

Purpose

The aim of the study was to identify the meniscoids of the cervical spine using *in-vivo* MRI imaging and to determine their potential role in the development of functional joint blocks of the axial system (AS). Another objective was to find out how the articular blocks affect the rheological properties of the spine by the Transfer Vibration through the Spine (TVS) method.

Patient sample

The MRI study was conducted on a research file of 12 subjects - two anatomical preparations and ten *in vivo*. Two subjects were examined in TVS experiment.

Methodology

Two anatomical preparations were investigated on MRI to find the appropriate sequence for imaging of meniscoids, three subjects for identification of meniscoids *in vivo*. Seven subjects underwent initial investigation, manipulation of the spine and comparative investigation. Differences in the location and shape of the meniscoids were compared between the initial and the control examinations. Two subjects were examined by TVS method. After the initial examination, manipulation of the cervical spine and comparative examination were applied. The resulting data of the individual examinations was computerized and compared to each other.

Results

It has been verified, that the MRI method, in appropriate circumstances, enables the detection of changes in the size and shape of meniscoids *in vivo*. Functional

blockage of the joint may be associated with the entrapment of the meniscoid into the joint space. Using the TVS method, it has also been found that a functional articular blockade affects the rheological properties of the axial system, specifically reducing the damping capabilities of the particular spine segment.

Discussion

Based on the research can be assumed that several mechanisms are involved in the creation of functional joint blockages of the spine, including the meniscoid entrapment. By TVS examination method it is possible to evaluate the rheological properties of the cervical spine. This method is capable of detecting changes in damping capabilities of AS in the presence of functional intervertebral joints.

Conclusion

Using the MRI imaging documentation, we objectified the meniscoid entrapment theory. It is likely that there are several possible causes of joint blockage. Joint blocking affects the damping capabilities of the AS. TVS is a developing method and it will be necessary to verify our results and interpretations on a larger statistical set.

Keywords: joint blockade; meniscoids; axial system; MRI; Transfer Vibration through the Spine

1 ÚVOD

Práce je zaměřena na zkoumání kloubních blokád v oblasti krční páteře. Jako kloubní blokádu označujeme funkční reverzibilní poruchu v kloubu, zahrnující jak složku mechanickou, tak nervosvalovou. Často se projevuje bolestí a omezením pohyblivosti v okolí zablokovaného kloubu. Jedná se o velmi běžný fenomén, ale mechanismus vzniku blokády nebyl dosud dostatečně vysvětlen. Existuje několik teorií vysvětlující vznik kloubní blokády páteře. V naší práci jsme se zaměřili na teorii o uskřínutí části kloubního pouzdra mezi artikulující facety intervertebrálních kloubů, neboli teorii o uskřínutí meniskoidu. K napravení kloubních blokád byla využita manipulační léčba. Jedná se o manuální techniky používané v ordinacích specializovaných lékařů a některých fyzioterapeutů. Manipulace se vyznačuje aplikací rychlého pohybu s malou amplitudou, cíleného na zablokovaný segment. Ačkoliv jde o techniku velmi úspěšnou, není bez rizik a její častá aplikace se nedoporučuje.

Za účelem ověření přítomnosti, velikosti a tvarových vlastností meniskoidů v krční páteři byla úvodní část experimentu zaměřena na anatomickou preparaci. K získání obrazového materiálu meniskoidů jsme, nejprve na preparátech a později *in vivo*, využili vyšetřovací metodu MRI. Proběhlé experimenty vedly k nalezení vhodné sekvence k zobrazení meniskoidů *in vivo*. Za účelem identifikace blokády bylo vyšetřeno 7 subjektů. Manipulací krční páteře v zablokovaných segmentech došlo k uvolnění kloubních blokád s předpokládaným uvolněním uskřínuté části meniskoidu. Opakovaným vyšetřením na přístroji MRI jsme získali kontrolní obrazová data sloužící k porovnání s výchozím stavem před manipulací. Tímto jsme podložili své hypotézy, o vzniku kloubní blokády uskřínutím meniskoidu, obrazovou dokumentací.

Další zkoumanou oblastí byly reologické vlastnosti krční páteře za přítomnosti kloubní blokády a bez ní. Experiment proběhl pomocí metody TVS schopné detekovat přenos vibrací axiálním systémem (Jelen et al., 2012; Panská et al., 2016). V našem případě jsme výpočtově určovali tlumící schopnosti jednotlivých segmentů axiálního systému prostřednictvím odpovědi na buzený frekvenční signál. Signál byl detekován postupně na jednotlivých spinálních výběžcích. Jednalo se o pilotní studii provedenou tímto přístrojem na oblasti krční páteře. Porovnáním vyšetření před a po aplikaci manipulační léčby jsme zjistili, jak kloubní blokáda ovlivňuje reologické

vlastnosti krční páteře. Dobré tlumící schopnosti páteře jsou její důležitou vlastností a předpokladem pro zdravý pohyb. Lze se domnívat, že přítomnost chronických blokády je důležitým spolufaktorem podílejícím se na vzniku vertebrogenních poruch.

Naše práce je prvním experimentem, ve kterém se podařilo zobrazit kloubní blokádu jako uskřínutí meniskoidální tkáně a její následné odstranění manipulační léčbou s odpovídajícím uvolněním zablokovaného meniskoidu, tak, jak to popisuje teorie o uskřínutí meniskoidu. Vzhledem k tomu, že jsme tento posun meniskoidů zobrazili pouze ve dvou z mnoha přítomných blokády, diagnostikovaných při našem experimentu, můžeme konstatovat, že uskřínutý meniskoid není jedinou příčinou vzniku kloubní blokády, a vzhledem k tomu, že nebyly zaznamenány jiné objektivní změny na obrazové dokumentaci z vyšetření MRI, usuzujeme o velkém podílu dalších spolupůsobících faktorů včetně nervosvalové složky. Důležitou skutečností je rovněž odpovídající změna reologických vlastností sledovaného úseku krční páteře po odstranění blokády pomocí metody TVS.

Tato práce je důležitým krokem v pochopení tak častého jevu jakým kloubní blokáda bezpochyby je. Bude třeba dalších prací a experimentů, abychom mohli určit a objektivizovat přesnou patofyziologii vzniku kloubních blokády páteře.

2 CÍLE PRÁCE

Z dostupných literárních zdrojů vyplývá, že máme k dispozici poměrně velké množství anatomických studií, které se zabývají vlastnostmi meniskoidů (Tondury, 1948; Emminger, 1967; Kos a Wolf, 1975; Kos, Heřt a Ševčík, 2002; Engel a Bogduk, 1982; Webb et al., 2009, 2010 a 2011; Yu, Sether a Haughton, 1987; aj.). Dále byly na základě experimentů napsány práce (Friedrich, 2008; Webb et al., 2009, 2010), dokazující možnost zobrazení meniskoidů *in vivo*, včetně hodnocení jejich umístění v intervertebrálním kloubu páteře. Z existujících teorií o příčině kloubní blokády se velká část odborníků na rehabilitační medicínu (např. Lewit, c2003) přiklání k teorii o uskřínutí meniskoidu. Kloubní blokádu v praxi napravují manuální techniky ve formě manipulační léčby a mobilizací. Tyto skutečnosti nás vedli k vypracování metodologie experimentální studie, jejíž cíle byly následující.

Přípravné cíle:

- Preparace krční páteře kadaverního materiálu. Identifikace meniskoidů v oblasti intervertebrálních kloubů. Zkoumání jejich umístění, velikosti a tvaru.

Přípravné cíle byly zaměřeny na ověření známých skutečností. Jejich splnění bylo důležité z hlediska orientace se v kloubních strukturách intervertebrálních kloubů krční páteře, z níž jsme čerpali v metodologické části.

Cíle vlastního výzkumu:

1. Metodologická část:

- Nalezení vhodné sekvence pro zobrazování meniskoidů *in vivo* pomocí přístroje MRI.

2, Experimentální část

- Objektivizace teorie vzniku kloubní blokády páteře uskřínutím meniskoidu obrazovou dokumentací.
- Pilotní studie zjištění reologických vlastností krční páteře pomocí metody TVS. Porovnání tlumících schopností krční páteře za přítomnosti blokády a po aplikaci manipulační léčby.

3 HYPOTÉZY

Naše práce měla ověřit předem stanovené hypotézy:

1. Pomocí vyšetření přístrojem MRI jsme schopni zobrazit meniskoidy *in vivo*.
2. Blokáda meziobratlového kloubu páteře může být způsobena uskřínutím volné části pohyblivého meniskoidu mezi artikulující plošky kloubu. Toto tvrzení je možné objektivizovat pomocí obrazové dokumentace z vyšetření MRI zobrazením a porovnáním uložení meniskoidu před a po aplikaci manipulační léčby.
3. Přítomnost kloubní blokády negativně ovlivňuje tlumící schopnosti páteře.

Dalo by se říci, že hypotéza č. 1 je v literatuře již potvrzená. Na začátku našeho výzkumu jsme ale zjistili, že ani mezi špičkovými odborníky na zobrazovací techniky se o přítomnosti kloubních meniskoidů neví. Je to z jedné strany z důvodu, že se jedná o velmi malou strukturu, která na běžném obrazovém vyšetření páteře není identifikovatelná, a také proto, že se se jím doposud nepřisuzoval velký klinický význam. Bylo tak nutné stanovit a ověřit tuto hypotézu jako nezbytný předpoklad pro další postup.

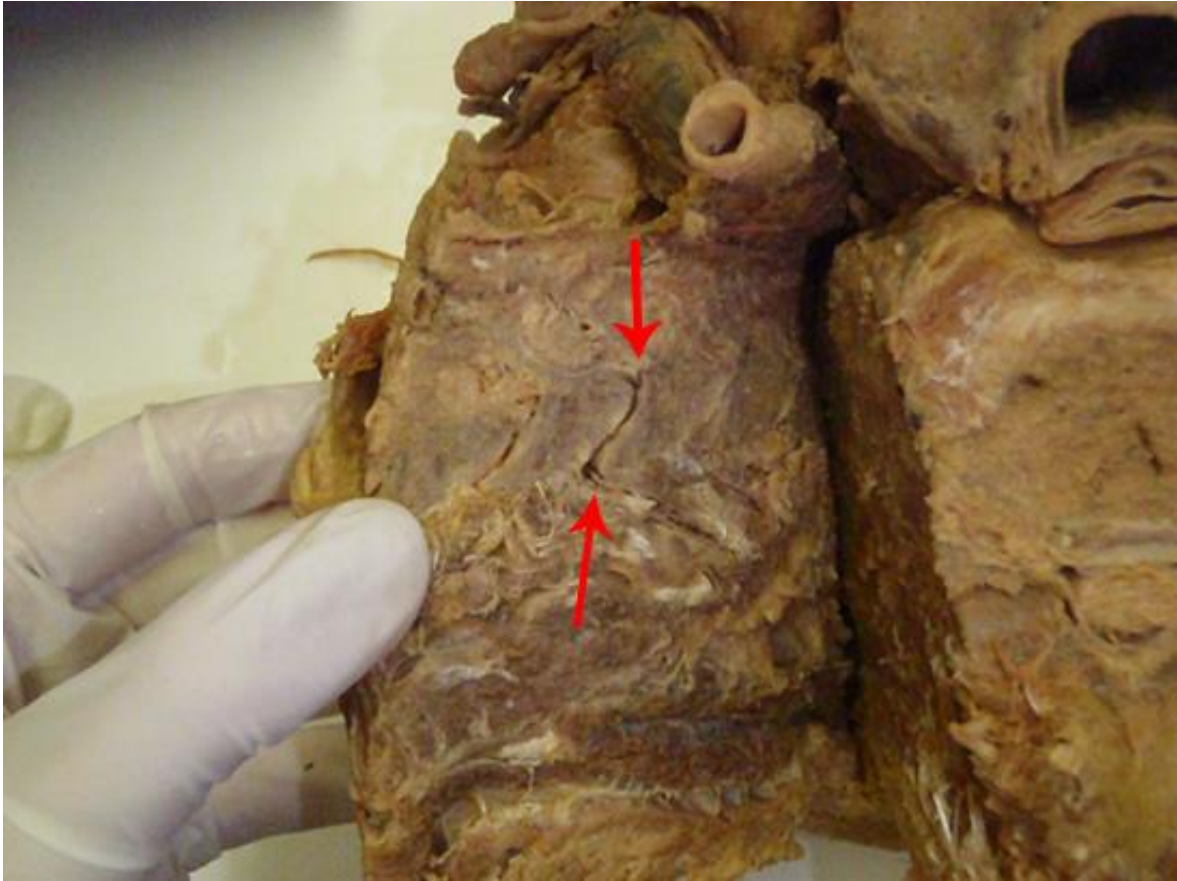
4 METODOLOGIE

4.1 Postup práce

Výzkum proběhl v několika etapách. Nejprve bylo nutné nastudovat literaturu týkající se našeho tématu. Literatura zabývající se meniskoidy páteře je z větší části zaměřena na jejich popis na anatomických preparátech. První část našeho výzkumu jsme i my zaměřili na studium *in vitro*. Dalším úkolem bylo nalezení sekvence pro zobrazení meniskoidů *in vivo* a zhodnocení rozdílu v jejich uložení před a po manipulaci krční páteře na řezech z MRI. Druhou zkoumanou oblastí bylo ovlivnění reologických vlastností páteře kloubní blokádou. Jako vyšetřovací nástroj byla použita metodika TVS. Jednalo se o pilotní studii použití této metody na oblast krční páteře.

4.2 Studium anatomických preparátů

Studium anatomických preparátů se uskutečnilo ve spolupráci s Anatomickým ústavem 3. lékařské fakulty Univerzity Karlovy. Anatomická preparace nebyla hlavním tématem naší práce. Studie zapůjčeného materiálu měla primárně za úkol zorientovat se v jednotlivých tkáních meziobratlových kloubů a popsat tvar, velikost a umístění meniskoidů v krční páteři. K výzkumu jsme použili dvě torza hlavy s krční páteří. Jedno torzo bylo zcela vypreparováno a použito ke studijním účelům a jako součást fotodokumentace. Sloupec krčních kloubků byl oddělen od zbytku preparátu a sagitálním řezem rozdělen na polovinu. Meniskoidy jsme identifikovali jako vmezeřenou tkáň kloubního pouzdra. Po oddělení *facies articularis* od sebe jsme hodnotili meniskoidy ortográdním pohledem na spodní i horní kloubní plochu.



Obr. 1: Sagitální řez skrz intervertebrální klouby pravé strany na anatomickém preparátu. Pohled orientován na transverzální řez v oblasti krku, naříznutá část odchlípnuta. V horní části obrázku patrná hrtan s jícnem a pravá karotida. Meniskoidy označeny červenými šipkami. Foto archiv autora, upraveno v programu Adobe Photoshop.

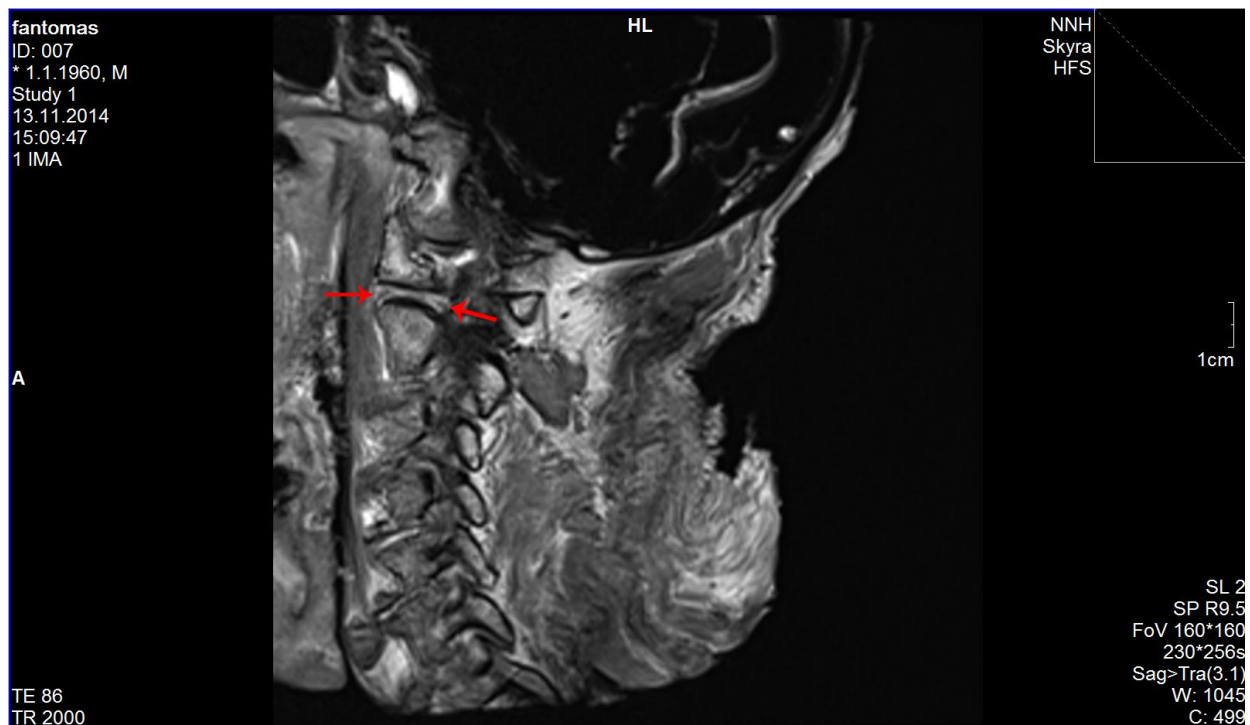
Druhý preparát hlavy s krční páteří jsme využili při prvotních pokusech zobrazit meniskoidy na přístroji MRI. Za tímto účelem byl naříznut v sagitální rovině skrz sloupec meziobratlových kloubů. Odchlípnutím naříznuté tkáně bylo možné hodnotit umístění meniskoidů a porovnat je s obrazy z vyšetření na MRI (obr. 1).

4.3 Zobrazení meniskoidů pomocí MRI

Shrnutí postupu MRI experimentů:

1. Vyšetření anatomického torza hlavy s krční páteří, nalezení vhodné sekvence (obr. 2).
2. Vyšetření MRI krční páteře u třech probandů za účelem vyzkoušení nalezené sekvence a identifikace meniskoidů *in vivo*.
3. Vyšetření sedmi probandů na přítomnost blokády v oblasti krční páteře.

4. Identifikace meniskoidů *in vivo* na sedmi probandech.
5. Manipulace krční páteře od hlavových kloubů po C/Th přechod u sedmi vyšetřených probandů.
6. Kontrolní vyšetření *in vivo* sedmi probandů, kteří podstoupili manipulační léčbu.
7. Komparace úvodního a kontrolního vyšetření. Hledání změn v uložení meniskoidů před a po manipulační léčbě.
8. Zpracování výsledných řezů ve speciálních počítačových programech (syngo FastView, 3D Slicer, Adobe Photoshop).

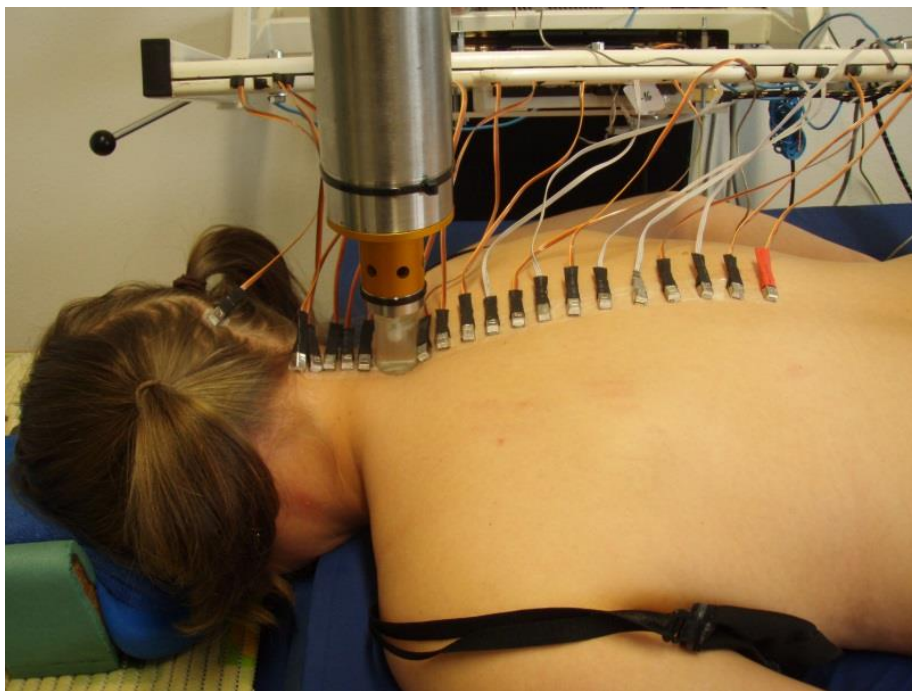


Obr. 2: Ukázka z vyšetření MRI na anatomickém preparátu. Meniskoidy v segmentu C1/2 zasahující z ventrální a dorsální strany klínovitě mezi artikulující plochy, zvýrazněny červenými šipkami. Obrázek z programu Siemens syngo FastView, upraven v programu Adobe Photoshop.

4.4 Vyšetření krční páteře metodou TVS

Shrnutí postupu experimentů TVS metody:

1. Vyšetření krční páteře metodou TVS u dvou probandů (obr. 3).
2. Manipulační léčba krční páteře od hlavových kloubů po C/Th přechod.
3. Kontrolní vyšetření metodou TVS.
4. Softwarové zpracování dat.
5. Komparace naměřených hodnot před a po aplikaci manipulační léčby.
6. Zanesení výsledných hodnot do grafů.

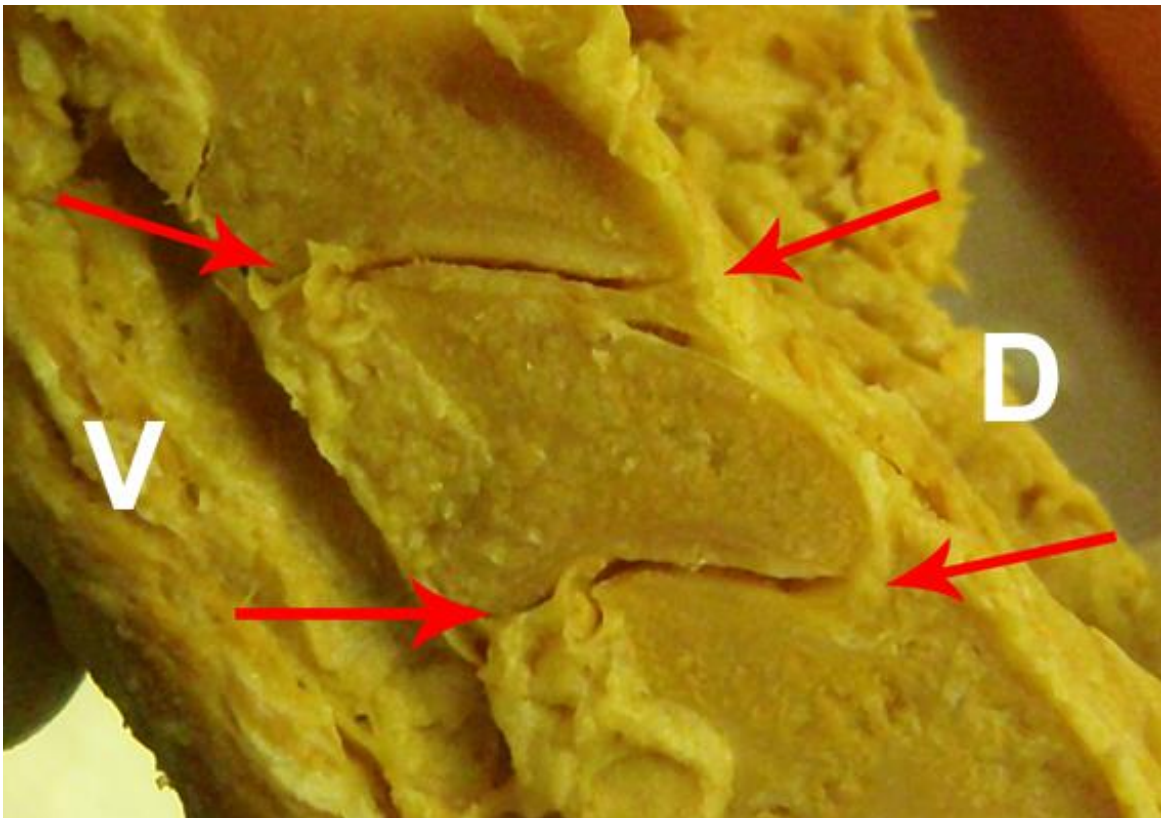


Obr. 3: Vyšetření reologických vlastností krční páteře na přístroji TVS jednoho ze subjektů. Foto archiv autora.

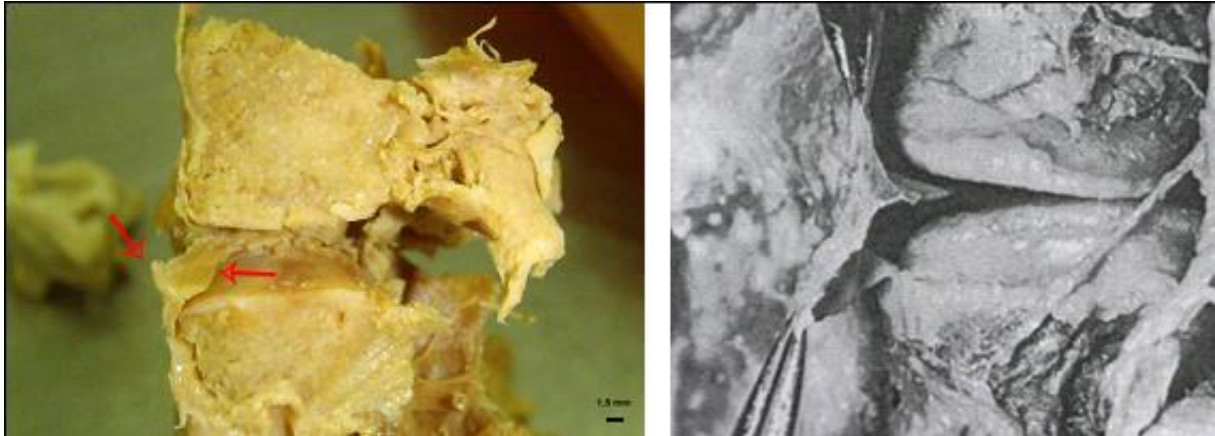
5 VLASTNÍ VÝSLEDKY

5.1 Výsledky anatomické studie

Preparace kloubků je znesnadněna přítomností velkého množství měkkých tkání. K sagitálnímu řezu skrz intervertebrální klouby byla použita pilka, k jemné preparaci skalpel. Postupovali jsme obezřetně, aby nedošlo k poškození či narušení v předpokládaném místě uložení meniskoidů. Na sagitálních řezech byly meniskoidy uloženy klínovitě mezi artikulujícími facetami horního a dolního segmentu, a to ve ventrální a dorsální části (obr. 4 a 5). Jejich velikost se pohybovala přibližně mezi 1 – 5 mm. Povrch horní i dolní facety byl kryt vrstvou artikulující chrupavky.

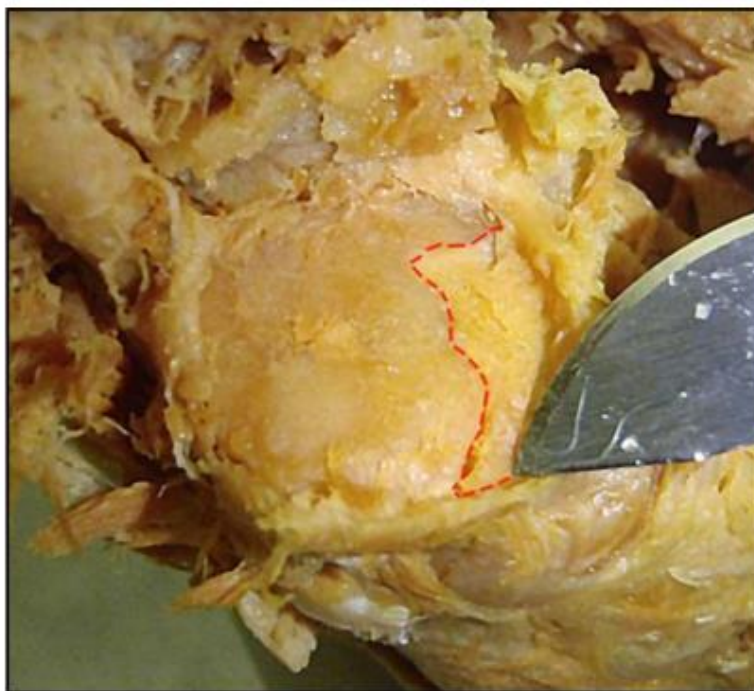


Obr. 4: Meniskoidy krční páteře v sagitálním řezu skrz intervertebrální klouby. Meniskoidy jsou označeny červenými šipkami. Zasahují z ventrální (V) a dorsální (D) strany mezi artikulující plochy kloubu. Na styčných plochách kloubu je patrna silnější vrstva chrupavky. Foto archiv autora, upraveno v programu Adobe Photoshop.



Obr. 5: Meniskoid krční páteře. Vlevo - klínovité umístění meniskoidu krční páteře z naší anatomické studie. Meniskoid vyznačen červenými šipkami. Kloub je pootvřen pro lepší viditelnost. Foto archiv autora, upraveno v programu Adobe Photoshop. Vpravo – pro porovnání uvádíme podobný nález klínovité umístěného meniskoidu z práce Mercera a Bogduka (1993).

Studium sagitálních řezů bylo důležité z důvodu orientace v obrazech z vyšetření na MRI. Po oddělení jednotlivých kloubků v místě kloubní štěrbiny jsme meniskoidy mohly zkoumat i přímým pohledem na kloubní plochu, tak jak to ve své práci popsali Kos, Heřt a Ševčík (2002). Nepravidelně jsme zde nacházeli tenké až blanité meniskoidy rozmanitých tvarů (obr. 6).



Obr. 6: Přímý pohled na facies articularis intervertebrálního kloubu. Meniskoid zasahuje z dorsální strany. Vnitřní okraj meniskoidu vyznačen červeně. Foto archiv autora, upraveno v programu Adobe Photoshop.

5.2 Výsledky vyšetření přístrojem MRI

5.2.1 Technické parametry

Z proběhlých experimentů jsme došli k následujícím závěrům. Zobrazitelnost meniskoidů silně závisí na technických parametrech přístroje (síle magnetického pole, zvolené pulzní sekvenci zobrazení atd.), na vlastnostech vyšetřovaného segmentu (velikosti, umístění, výšce apod.) a na pohybových a jiných artefaktech (dýchání, pulzace) vzniklých během vyšetření. Zobrazování anatomických preparátů nebylo limitováno vyšetřovacím časem a artefakty spojenými s fyziologickým pohybem. Tím bylo možné otestovat MRI sekvence vážené T1, T2 i protonovou hustotou. Jako nejvhodnější byla vybrána sekvence *de3d*. Její výhodou je mimo jiné isotropní rozlišení, které v případě nejistoty identifikace tkáně umožňuje provést rekonstrukci v libovolné rovině. Detekce MRI obrazů na daném přístroji s uvedenou sekvencí trvá 6:53 minut. Po přičtení zaměřovací (localizer) sekvence to umožňuje kompletní zobrazení meniskoidů pod 9 minut. Čas prodlužují automatická pomocná měření nehomogenity magnetického pole přístrojem. Rozlišení sekvence je 0,7 x 0,7 x 0,7 mm. Náběr probíhá ve dvou objemech (slabs), vzdálených 20%. Ve směru fázového kódování se osvědčuje 100% převzorkování (oversampling). Ve směru osy Z (tj. kraniokaudální) stačí převzorkování o 25%. Snímá se 48 vrstev o tloušťce 0,67 mm, repetiční čas 15,58 ms, echo čas 5,06 ms, flip angle 20 stupňů. Dále byla použita korekce geometrických distorzí, které jsou zejména na silném 3T poli u MRI přístrojů s širší gantry (zde 70 cm).

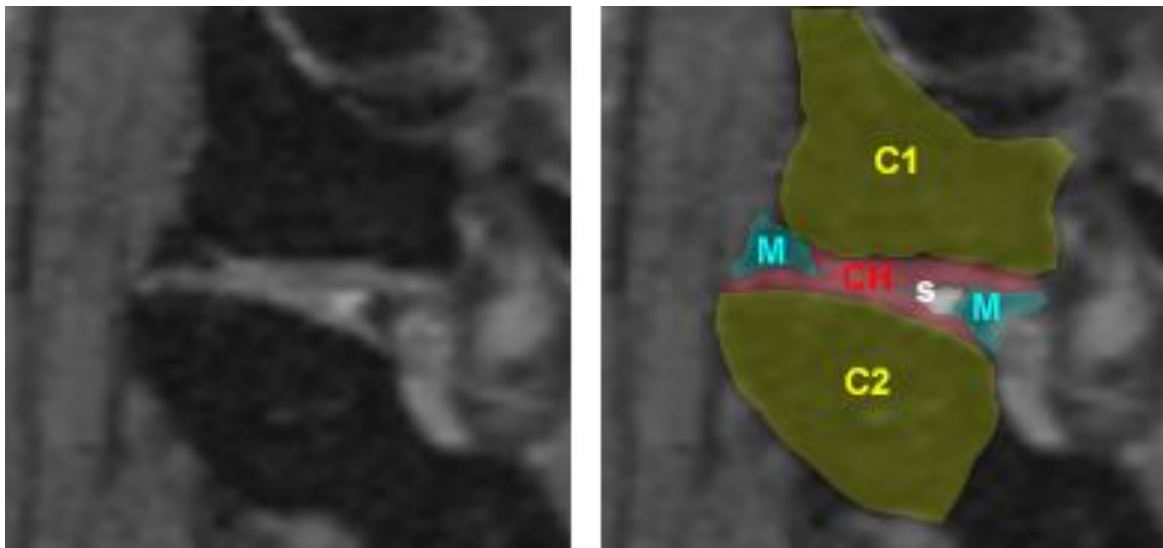
Ve srovnání s Friedrichem (2008), který meniskoidy krční páteře vyšetřoval pomocí 16-kanálové páteřní cívky, se nám osvědčilo použití hlavové cívky s 32-kanály.

Nevýhodou vyšetřování anatomických preparátů je nefyziologické zastoupení tekutiny v měkkých tkáních. Při vyšetření docházelo navíc k zahřátí preparátu a nutně i k přeskupení tekutiny. I přes tento fakt je obrazová dokumentace čitelná a lze i zde identifikovat meniskoidy.

Při vyšetření *in vivo* byla nejčastější komplikací v hodnocení obrazů přítomnost pohybových artefaktů, vzniklých převážně z diskomfortu vyšetřovaných osob. Ten pocházel z délky vyšetření a z hlasitých zvuků, které ho doprovází.

5.2.2 Hodnocení meniskoidů

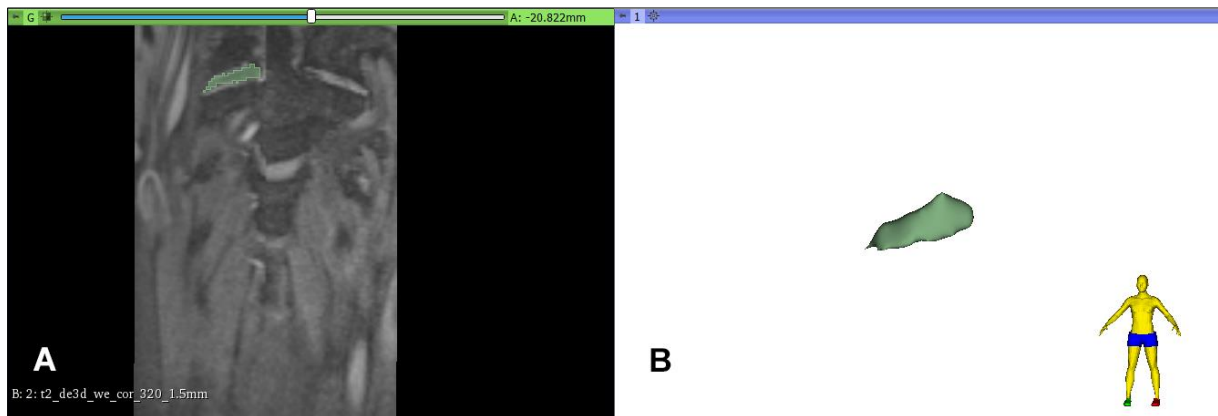
Ve všech z deseti hodnocených případů byly nalezeny velké meniskoidy klínovitého tvaru bilaterálně (tzn. z ventrální i dorsální strany na sagitálním řezu) v segmentu C1/C2 (obr. 7). Jejich tlustá báze přechází v úzký konec zasahující do nitra kloubu. Na artikulujících plochách je zřetelně rozeznatelná vrstva chrupavky a malé množství synoviální tekutiny, viditelné jako hyperintenzní signál v obraze. Nálezy v této oblasti se shodují s jejich popisem v práci Webb et al. (2009) zaměřené právě na meniskoidy atlantoaxiálního skloubení.



Obr. 7: Segment C1/C2 z vyšetření MRI. Vlevo originál, vpravo ten samý obrázek schematicky vybarven: CH (červeně) artikulující chrupavka; S (bíle) synoviální tekutina; M (modře) meniskoidy; C1, C2 (žlutě) artikulující kosti. Obraz z programu Siemens syngo FastView, upraven v programu Adobe Photoshop.

Ze všech nalezených meniskoidů jsou v této oblasti nejlépe identifikovatelné právě pro svou velikost, kterou si v tomto segmentu vysvětlujeme jednou z jejich funkcí tak, jak ji popsali autoři Engel a Bogduk (1982), tedy že zde meniskoidy vyrovnávají prostor vzniklý inkongruencí konvexně tvarovaných kloubních ploch atlas s axis. Díky větší velikosti meniskoidů a kraniálnímu umístění atlantoaxiálního skloubení, tj. blízko vzhledem k signálu hlavové cívky, jsou kontury zde uložených meniskoidů dobře patrné, a proto vhodné pro další grafické zpracování. Data z vyšetření ve formátu DICOM byla použita k tvorbě grafického 3D modelu v programu 3D Slicer. Nejprve byly vyznačeny obvodové části levého ventrálně uloženého meniskoidu na všech sagitálních řezech, kde byla jeho struktura identifikována. Spojením jednotlivých částí z 2D obrazů program vygeneroval konečný 3D model. Tvar a umístění meniskoidu

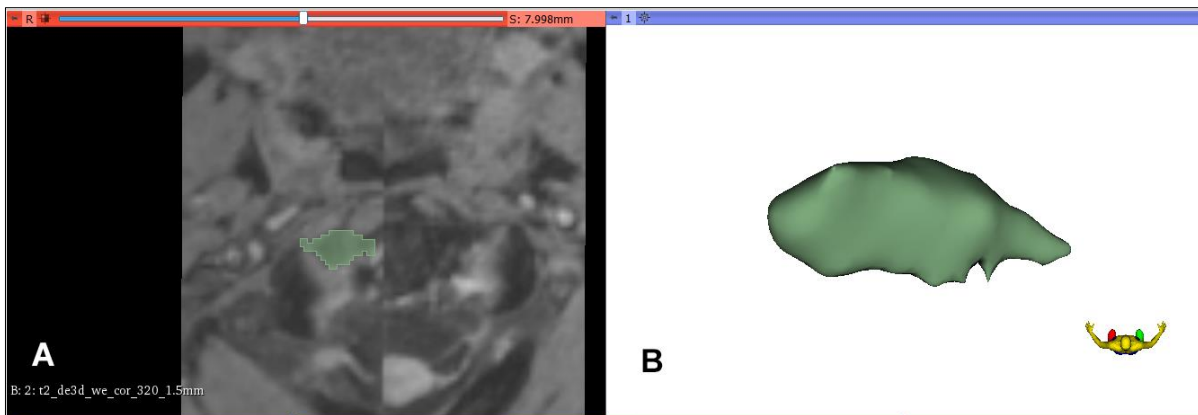
byly automaticky zakresleny i ve dvou zbývajících rovinách na snímcích z vyšetření, ve kterých je meniskoidální tkáň jinak špatně identifikovatelná. Pokud se detailněji zaměříme na umístění meniskoidu ve frontální rovině (obr. 8), vidíme, že zasahuje po celém obvodu z mediální části kloubu. V sagitální rovině je jasně vidět klínovité umístění (obr. 9). Na transversálním řezu meniskoid opisuje obvod mediální části kloubu (obr. 10).



Obr. 8: Umístění meniskoidu ve frontální rovině. A: umístění v MRI obraze. B: odpovídající 3D model. Orientace pohledu viz model člověka v pravém rohu obrázku. Model vytvořen v programu 3D Slicer.

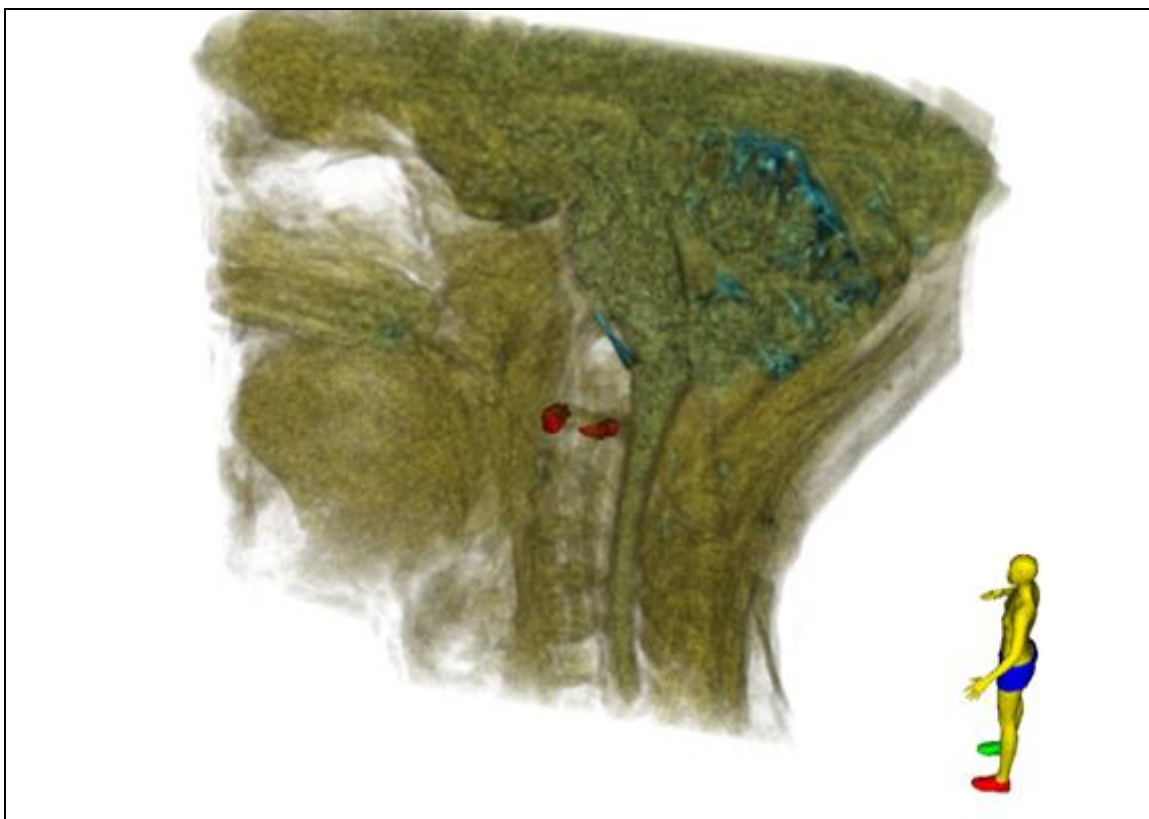


Obr. 9: Umístění meniskoidu v sagitální rovině. A: umístění v MRI obraze. B: odpovídající 3D model. Orientace pohledu viz model člověka v pravém rohu obrázku. Model vytvořen v programu 3D Slicer.



Obr. 10: Umístění meniskoidu v transverzální rovině. A: umístění v MRI obraze. B: odpovídající 3D model. Orientace pohledu viz model člověka v pravém rohu obrázku. Model vytvořen v programu 3D Slicer.

Manuální segmentací ventrálního i dorsálního meniskoidu, získáváme informace o jejich umístění v atlantoaxiálním skloubení. Pokud je vložíme do 3D modelu z vyšetření na MRI, který automaticky generuje počítačový program, získáváme informace o jejich vztahu k okolním tkáním (obr. 11).



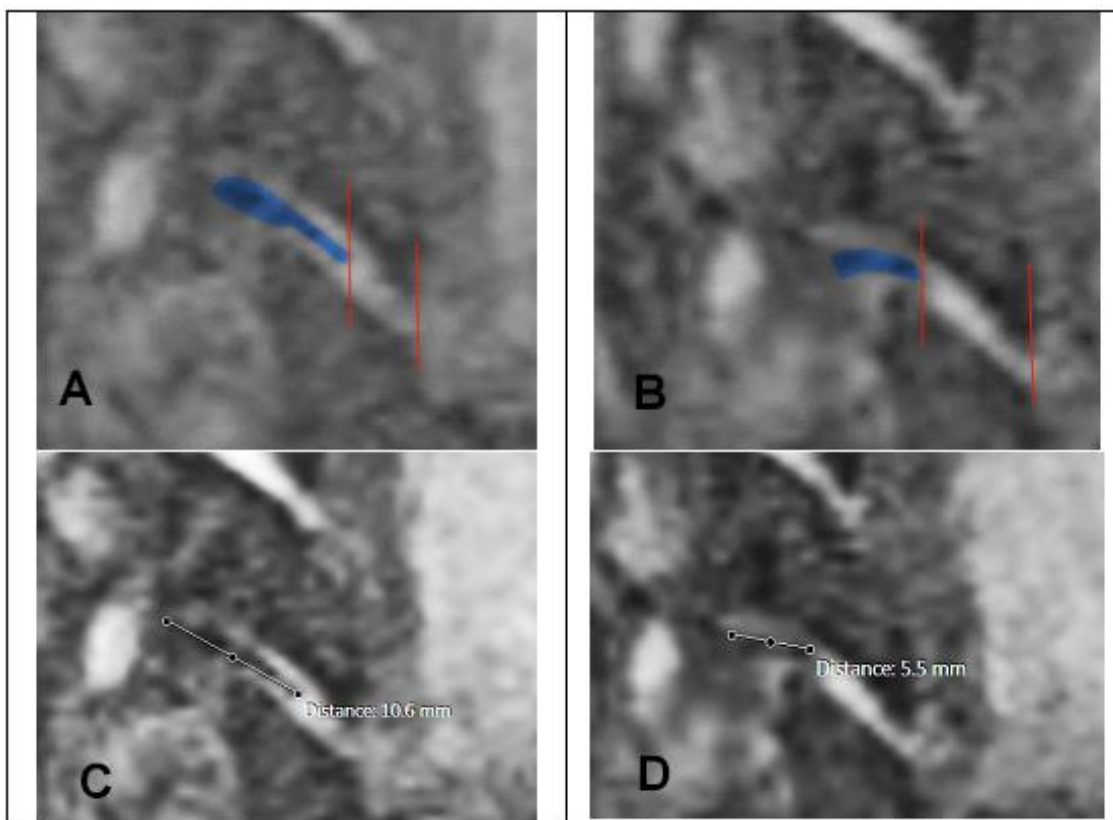
Obr. 11: Ventrální a dorsální meniskoid atlantoaxiálního skloubení (červenou barvou) v 3D modelu z vyšetření na MRI. Orientace pohledu viz model člověka v pravém rohu obrázku. Model vytvořen v programu 3D Slicer.

5.2.3 Výsledky komparativních vyšetření

Hlavní část experimentu spočívala v komparaci obrazových vyšetření z MRI. Po prvotním zhodnocení krční páteře na přítomnost blokády následovalo úvodní MRI vyšetření, dále manipulační léčba a ihned poté kontrolní vyšetření MRI. Všech sedm subjektů bylo pozitivně hodnocených na přítomnost funkčních kloubních blokády v oblasti krční páteře. Žádná z vyšetřených osob neměla v čase vyšetření akutní pohybové obtíže v této oblasti ani nepocítovala bolest. Manipulační léčba byla provedena technikou HVLA (*high velocity low amplitude*) a byla nekonstantně doprovázena lupnutím s variabilitou v intenzitě zvukového fenoménu.

U každé osoby došlo k zhodnocení úseku krční páteře od okciputu po segment C6/C7 z obou stran (tj. 14 kloubků u jedné osoby). Ze zkoumaných 98 kloubních spojení se ve dvou případech podařilo zobrazit posun meniskoidů tak, jak to popisuje teorie o uskřinutí meniskoidu.

Případ 1



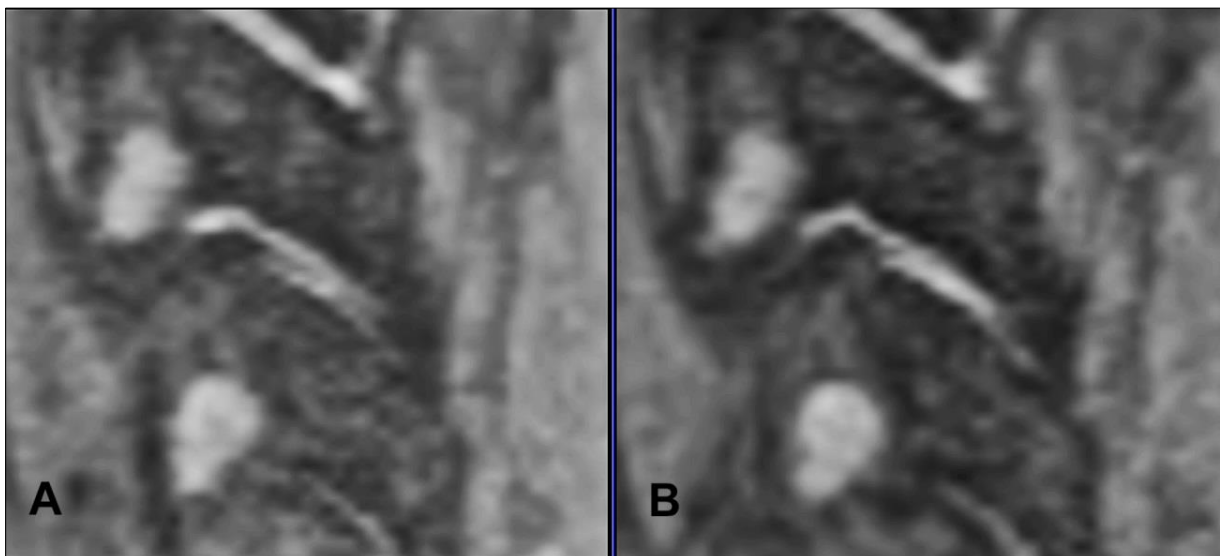
Obr. 12: Výsledný posun meniskoidu ventrálně uloženého v segmentu C6/7 vlevo. Vlevo (A, C) před a vpravo (B, D) po aplikaci manipulační léčby. Meniskoidální tkáň vybarvena modrou barvou (A, B). V prostoru mezi červenými čarami je vyznačen zbylý objem (resp. jeho průmět) kloubní dutiny vzniklý vyklouznutím meniskoidu. V dolních obrázcích (C, D) je vyznačeno měřítko dokumentující

přibližnou velikost meniskoidu. Obraz z programu Siemens syngo FastView, upraven v programu Adobe Photoshop.

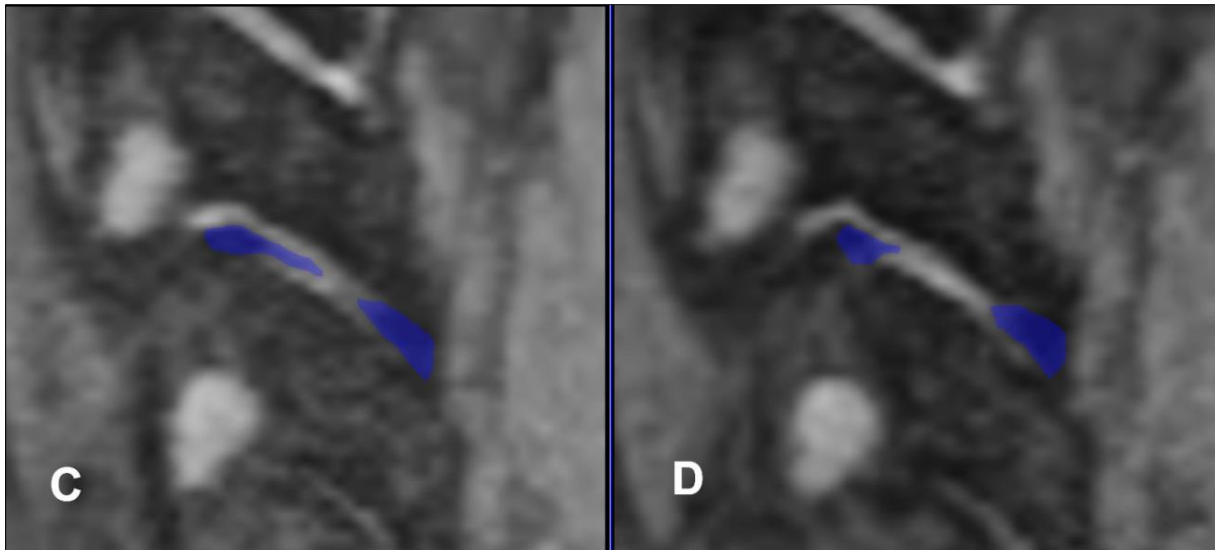
Na snímku z úvodního vyšetření (obr. 12 A) je vidět, že meniskoid zasahuje hluboko do nitra kloubu a je vklíněn mezi artikulující plochy. Další snímek z kontrolního vyšetření po aplikaci manipulační léčby (obr. 12 B) ukazuje, že došlo k uvolnění zaklíněného meniskoidu a změně v jeho umístění. Z faktů uvedených v teoretické části práce se domníváme, že při manipulaci se kloubní plochy oddálily, napnulo se kloubní pouzdro a strhlo zaklíněný meniskoid zpět. Z obrázků 12 C a 12 D je patrné, že délka meniskoidu zasahujícího do kloubní dutiny se po manipulaci zmenšila na přibližně 60 % své délky před manipulací.

Případ 2

V druhém případě, který byl zaznamenán po komparaci z vyšetření na MRI, je na snímcích opět viditelná změna v umístění meniskoidů. Jedná se o vyšetření stejného subjektu jako v případě 1. Z obrázku 13 je patrné, že se jedná o posun dvou meniskoidů, které zasahují jak z ventrální, tak i z dorzální strany levého intervertebrálního kloubu v segmentu C5/6.



Obr. 13: Komparace úvodního (A) a kontrolního (B) vyšetření MRI segmentu C5/6. Obraz z programu Siemens syngo FastView.

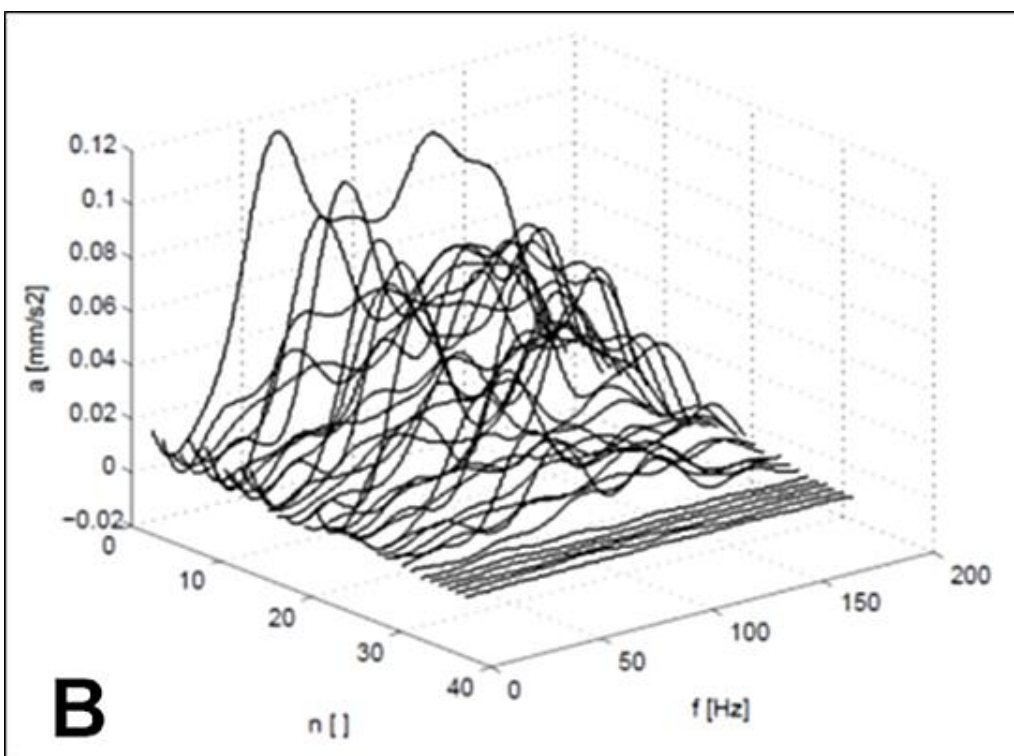
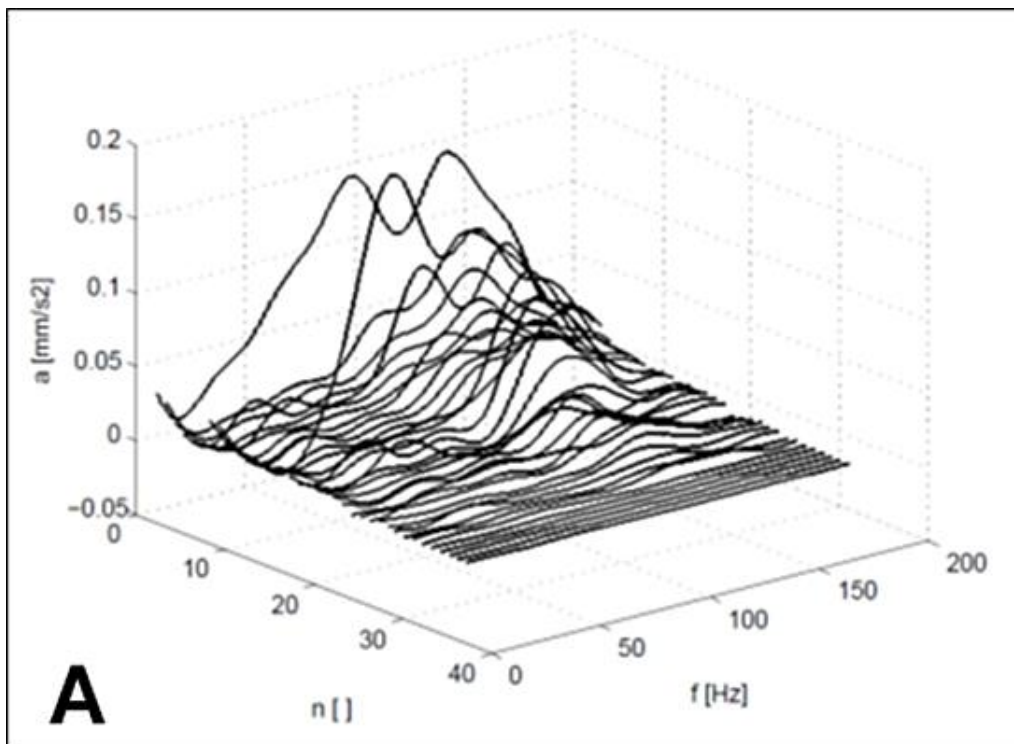


Obr. 14: Komparace úvodního (C) a kontrolního (D) vyšetření MRI segmentu C5/6. Přibližné uložení meniskoidů zvýrazněno modrou barvou. Obrázek z programu Siemens syngo FastView, upraven v programu Adobe Photoshop.

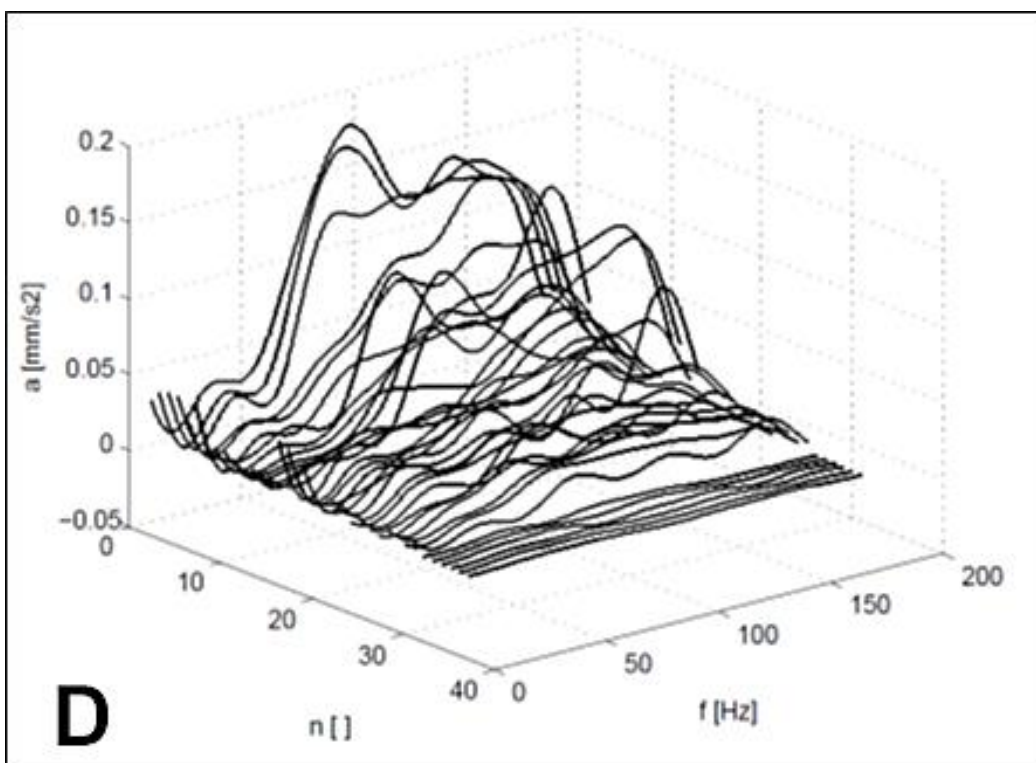
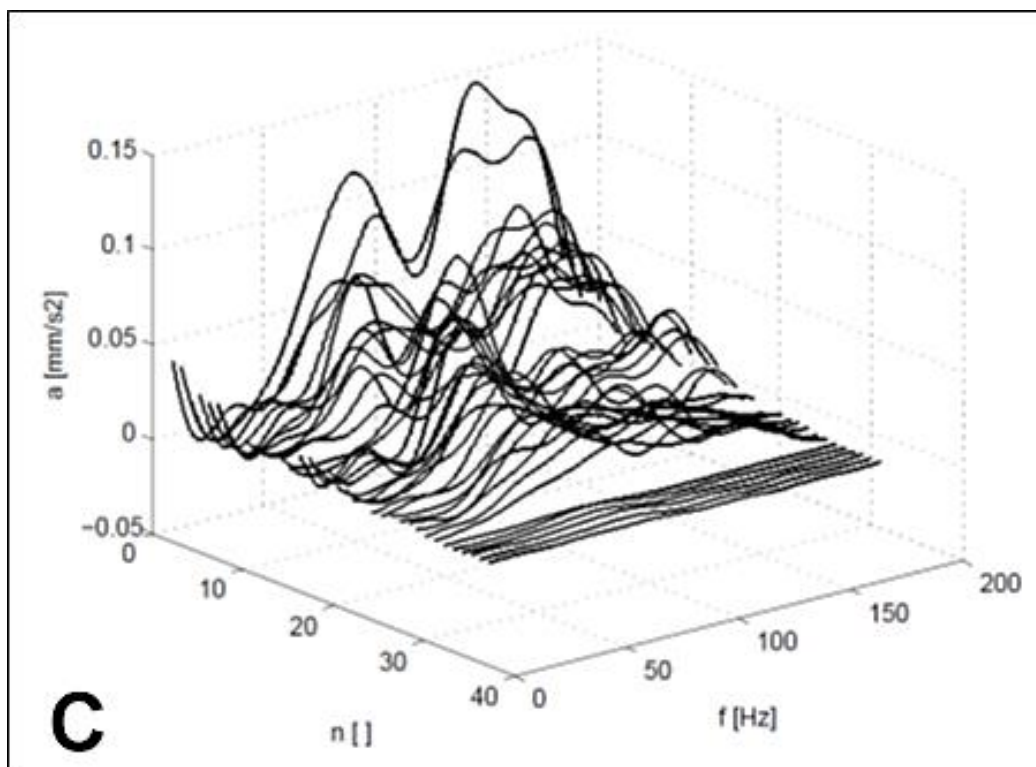
Porovnáním umístění meniskoidu v úvodním vyšetření (obr. 14 C) a jeho polohou po manipulaci (14 D), můžeme, tak jako v případě 1, usuzovat na blokádu v tomto segmentu. Manipulací došlo k uvolnění uskřínuté tkáně z ventrální i dorzální části a jejich posunu na okrajové části kloubu.

5.2.4 Výsledky vyšetření metodou TVS

Souhrnné výsledky z komparativního vyšetření metodou TVS u dvou subjektů jsou znázorněny v grafech A-D na obrázku 15 a 16.



Obr. 15: Porovnání výsledků měření metodou TVS na úseku krční páteře u subjektu 1. 3D grafy zobrazují odezvy (zrychlení a) jednotlivých obratlů v závislosti na budící frekvenci f . Graf **A**: Subjekt 1 před manipulací; Graf **B**: Subjekt 1 po manipulaci. Převzato z Pígllová et al., 2017.



Obr. 16: Porovnání výsledků měření metodou TVS na úseku krční páteře u subjektu 2. 3D grafy zobrazují odezvy (zrychlení a) jednotlivých obratlů v závislosti na budící frekvenci f . Graf C: Subjekt 2 před manipulací; Graf D: Subjekt 2 po manipulaci. Převzato z Pígllová et al., 2017.

Legenda:

V grafu jsou zaneseny výsledky ze senzorů umístěných na C6 – Occp. a to vždy po 6 opakováních.

Proměnná n má následující význam: 1 až 6 – měření na C6, 7 až 12 měření na C5, 13 až 18 – měření na C4, 19 až 24 měření na C3, 25 až 30 – měření na C2, 30 až 36 měření na Occp.

Rezonanční frekvence ω_r^j se u jednotlivých obratlů zobrazují jako lokální extrémy příslušné křivky.

Z uvedených grafů vyplývají následující zjištění. U obou vyšetřovaných je v úvodním vyšetření před manipulační léčbou (grafy A, C) patrná nejsilnější odezva obratlů na vibrační zatížení v určitém vymezeném rozmezí budících frekvencí f (viz tab. 1). Konkrétně u probanda č. 1 je to pásmo 100 – 150 Hz, u probanda č. 2 pak v intervalech 60 – 90 Hz a 130 – 170 Hz. V nich se také nachází veškeré rezonanční frekvence ω_r^j zkoumaného systému. Jejich hodnoty jsou shodné s příslušnými budícími frekvencemi f^i a pozičně odpovídají lokálním extrémům jednotlivých křivek. Díky zpracování grafů ve 3D grafice je dobře patrné, že tyto lokální extrémy tvoří v případech před manipulační léčbou (A, C) jeden případně dva souvislé valy. Naopak v případech po manipulační léčbě (grafy B, D) je patrná silná disperze těchto lokálních extrémů potažmo rezonančních frekvencí. V závislosti na jednotlivých obratlích zahrnují 3/4 využívaného frekvenčního pásma (viz tab. 1).

Ze zjištěných závislostí (obr. 15 a 16) je možné stanovit koeficient útlumu b celého krčního segmentu páteře. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 1. Z ní je patrné, že u obou probandů po aplikaci manipulační léčby došlo ke zvýšení tohoto parametru. Tento výsledek naznačuje nárůst tlumících schopností axiálního systému vlivem manipulační léčby.

Tab. 1: Změny sledovaných reologických parametrů před a po manipulační léčbě. Převzato z Píglóvá et al., 2017.

Proband	Před manipulací		Po manipulaci	
	pásmo ω_r^j (Hz)	b ()	pásmo ω_r^j (Hz)	b ()
č. 1	110 – 150	0.28	40 – 160	0.39
č. 2	60 – 100, 130 – 170	0.20	50 – 175	0.47

Legenda: Pásmo ω_r^j – rozsah frekvenčního pásma, kde se rezonanční frekvence ω_r^j vyskytují, b – útlumový koeficient.

6 DISKUZE

Výsledky experimentální části práce jsou založeny jednak na obrazové dokumentaci, pořízené z MRI vyšetření, jednak na vyšetření metodou TVS. MRI jsme si vybrali z důvodu existujících literárních studií, které ji označily jako vhodnou metodu k zobrazení meniskoidů. Nejprve bylo nutné přesvědčit se o existenci meniskoidů intervertebrálních kloubů a jejich tvarových a jiných vlastnostech. Meniskoidy jsme hodnotili na anatomických preparátech. Jako součást kloubního pouzdra zasahují na různou vzdálenost do oblasti facies articularis kloubu. Jako i jiní autoři (Kos a Wolf, 1975; Mercer a Bogduk, 1993) se přikláníme k tvrzení, že jsou přítomny ve všech meziobratlových kloubech vyjma ankylotických kloubů, kde již není možný pohyb. To, že v některých studiích nebyly nalezeny ve všech kloubech, mohlo být způsobeno neopatrnou preparací kloubků, které jsou hojně obaleny měkkými tkáněmi, a tak může lehce dojít k vytažení malého (nejmenší měří i 1 mm) meniskoidu napnutím kloubního pouzdra.

Naši spolupracovníci, odborníci na zobrazování MRI, dosud o meniskoidech neslyšeli a tudíž je ani nikdy nezobrazovali. Bylo tedy nutné je přesvědčit o jejich existenci. K tomu nám posloužil zapůjčený anatomický preparát, který byl také použit v úvodních studiích zaměřených na zobrazení meniskoidů v krční páteři. Výhodou tohoto zobrazování byla absence pohybových artefaktů, které se ukázali být největší komplikací při zobrazování *in vivo*. Ačkoliv jsme z vyšetření na preparátu získali vhodnou sekvenci, její ladění probíhalo po celou dobu experimentů. Z našeho pohledu se jedná o velkou alchymii a vhodná sekvence se našla hlavně díky péči a skvělým schopnostem v zobrazování na MRI našich spolupracovníků z Radiodiagnostického oddělení Nemocnice na Homolce. Čím kvalitnější obraz jsme se pokusili ve vyšetření nastavit, tím se prodloužila doba expozice a přibývalo pohybových artefaktů. Řešením se ukázalo být vynechání zobrazení páteřních struktur střední části mezi oběma meziobratlovými klouby. Tím se zkrátila doba vyšetření, ale ne na úkor kvality.

Ze sedmi komparativních vyšetření se nám u jednoho subjektu podařilo zobrazit posun meniskoidů ve dvou sousedních segmentech na levé straně – C6/C7 ventrálně uloženého a C5/C6 ventrálně a dorsálně uložených. Jedná se o nález, který obrazově objektivizuje teorii o uskřínutí meniskoidu a nebyl v literatuře dosud publikován. Tímto jsme ověřili první dvě hypotézy.

Kloubní blokáda má svůj mechanický podtext a zároveň ovlivňuje okolní neuromuskulární aparát. Manipulace jsou techniky, uvolňující kloubní blokády. Působí na několika různých úrovních a složitost tohoto působení není dosud zcela vyjasněna. Důležitým faktorem, spouštěčem reflexní reakce při manipulaci, je rychlost provedení zákroku a fenomén kavitace, který je v oblasti páteře málo prozkoumán. Není ověřeno, jakou dobu po manipulaci její efekt přetrvává, tzn., zda nedochází k regresí.

Z výsledků vyšetření metodou TVS na oblast krční páteře vyplývá, že blokády negativně ovlivňují tlumící schopnosti axiálního systému. Jednalo se o pilotní studii této metody, úspěšně provedenou na oblast krku. Kontraindikací k vyšetření může být nadměrná krční hyperlordóza, která znesnadňuje umístění snímačů na spinální výběžky krčních obratlů tak, aby se vzájemně nedotýkaly. Vzhledem k malému počtu subjektů bude nutné experimenty v budoucnu rozšířit o početnější výzkumný soubor. I tak můžeme říci, že jsme ověřili poslední stanovenou hypotézu.

Doposud byly na zobrazovacích metodách hojně diagnostikovány strukturální změny páteře, které jsou dobře viditelné. Není pochyb, že jejich přítomnost negativně ovlivňuje funkci páteře, jak také dokázal Kawchuk et al. (2016). V naší práci se podařilo zobrazit funkční změny ve formě kloubních blokády, jejichž přítomnosti se v obrazové diagnostice páteřních poruch nepřikládá význam. Další experimenty metodou TVS ale prokázali, že i funkční změny ve formě kloubních blokády negativně ovlivňují reologické vlastnosti páteře a tím narušují její funkci. Navíc prolongovaná kloubní blokáda spouští řetězec adaptačních mechanismů, snažících se o zachování pohyblivosti páteře a vedoucích k tvorbě degenerativních změn axiálního systému, které jsou na rozdíl od kloubní blokády nevratné. To přibližuje význam funkčních změn těm strukturálním, a je očividné, že si zaslouží naši pozornost i v dalších výzkumech.

7 PŘÍNOSY

Jako zatím jediným se nám podařilo objektivizovat mechanismus uskřínutí meniskoidu u zablokovaného kloubu krční páteře. Jedná o důkaz, že zaklíněný meniskoid může být součástí patologického řetězce vzniku kloubní blokády. Na druhou stranu nelze bezvýhradně tvrdit, že je primární příčinou. Dále nemůžeme vyloučit další mechanismy vzniku kloubní blokády či jejich kombinace. I tak se jedná o značný posun v této problematice na poli vědy. Naše metodika může posloužit jako návod a naše závěry jako podklad pro další výzkum na toto téma.

Z naměřených dat u vyšetření TVS metodou je zřejmé, že ***přítomnost blokády negativně ovlivňuje viskoelastické vlastnosti páteře.*** To spolu s faktem, že přítomnost kloubních blokády vede ke vzniku degenerativních změn páteře, tvoří důležitý teoretický podklad na téma kloubních blokády páteře pro praxi fyzioterapeutů a dalších rehabilitačních pracovníků. Je zřejmé, že je v zájmu těchto odborníků soustředit svou pozornost na přítomnost funkčních změn axiálního systému a indikovat terapii tak, aby stávající blokády byly odstraněny a aby se preventivně předcházelo jejich tvorbě. Tato prevence by mohla vést ke snížení v počtu degenerativních změn páteře, či alespoň zmírnit jejich progresi nebo oddálit jejich vznik. Cílem je tedy harmonicky pohyblivá páteř, která může lépe odolávat mechanickému zatížení a být funkční ochranou hlavových struktur a orgánů, jako je mozek, zrakový, resp. i sluchový aparát, které chrání před dopadem frekvenčních i impaktních zátěžových režimů.

8 ZÁVĚR

Práci jsme zaměřili na téma, které sejevilo v literatuře málo zastoupené, nebo neřešené. V literatuře jsme nastudovali jednu z možných a nejvíce citovaných příčin a vypracovali jsme metodiku, která spočívala v získání obrazové dokumentace jako objektivního důkazu k potvrzení či vyvrácení této teorie. Díky kvalitní spolupráci s odborníky ve svém oboru a jejich ochotě se na výzkumu podílet, se nám podařilo nasbírat cenná data a ve výsledku splnit všechny vytyčené cíle práce. Vedle pořízené obrazové dokumentace jsme další metodou dokázali důležitost přítomnosti kloubních blokádní na funkci páteře. Je to metoda vyvinuta pro vědecké účely a možnosti jejího použití se stále rozvíjejí. K dalším závěrům ovlivnění AS blokádní bude potřeba většího souboru vyšetřených subjektů.

Naše výsledky pomohou k lepší orientaci v tématu funkčních změn axiálního systému, které jsou stále málo prozkoumané. Je očividné, že správná diagnostika je základem pro porozumění pacientova problému, ale ne jeho řešením. Tomu se detailně věnuje obor fyzioterapie, který má u nás velkou tradici a řada metod tuzemských autorů je s úspěchem využívána i jinde ve světě. Fyzioterapeut je dnes výhradně vysokoškolsky vzdělaný odborník zdravotnické profese, který dokáže vlastními diagnostickými postupy identifikovat mimo jiné i kloubní blokádní. Domníváme se, že v praxi léčení funkčních poruch pohybového systému chronického charakteru, je úspěšnější využití vlastní aktivity pacienta ve srovnání s pasivní terapií například ve formě manuálních technik typu manipulací, mobilizací. Pacientova vědomá korekce svalových dysbalancí by mohla předcházet opakovanému vzniku kloubních blokádní. U akutních, náhle vzniklých blokádní bychom indikovali manuální terapii, vždy však doplněnou o techniky léčebné tělesné výchovy.

9 VYBRANÉ PUBLIKACE

- EMMINGER, E. Die Anatomie und Pathologie des blockierten Wirbelgelenk. In Gross, D.: Therapie über das Nervensystem, and VII (Chirotherapie – Manuelle Therapie), Stuttgart: Hipokrates, 1967, 117–140.
- ENGEL, R. a N. BOGDUK. The menisci of the lumbar zygapophysial joints. *J.Anat.* 1982, **135**, 795-809.
- FRIEDRICH, K. M., REITER, G., PRETTERKLIEBER, M.L., PINKER, K., FRIEDRICH, M., TRATTING, S. a E. SALOMONOWITZ. Reference Data for In Vivo Magnetic Resonance Imaging Properties of Meniscoids in the Cervical Zygapophyseal Joints. *Spine.* 2008, **33**(21), E778-E783.
- JELEN, K., Š. PANSKÁ, K. KLOUČKOVÁ, J. ZEMAN a J. ČERNÁ. Odezva axiálního systému člověka na mechanické vlnění detekované metodou TVS (transfer vibration through spine). *Čes kin.* 2012, **16**(4), 94-102.
- KAWCHUK, G.N., HARTVIGSEN, J., EDGECOMBE, T., PRASAD, N. a J.H. VAN DIEEN. Structural health monitoring (vibration) as a tool for identifying structural alterations of the lumbar spine: A twin control study. *Sci Rep.* 2016, **6**(22974), 1-6.
- KOS J. a J. WOLF. Význam meziobratlových meniskoidů pro vznik blokády páteře. *Čas.Lék.čes.*, 1975, **114**(36): 1099-1101.
- KOS, J., HEŘT, J. a P. ŠEVČÍK. Meniskoidy meziobratlových kloubů. *Acta chirurgiae orthopaedicae et traumatologiae czechoslovaca.* 2002, **69**(3), 149-157.
- LEWIT, K. *Manipulační léčba v myoskeletální medicíně.* 5. přeprac. vyd. Praha: Sdělovací technika ve spolupráci s Českou lékařskou společností J.E. Purkyně, c2003. ISBN 80-86645-04-5.
- MERCER, S. a N. BOGDUK. Intra-articular inclusions of the cervical synovial joints. *Br J Rheumatol.* 1993, **32**(B), 705-10.
- PANSKÁ, Š., PÍGLOVÁ, T., ZEMAN, J., MARŠÍK, F., LOPOT, F. a K. JELEN. Evaluation of rheological parameters of the axial system using the transfer vibration through spine (TVS) method. *Neuroendocrinology Letters*, 2016, **37**(4), 101–107.
- PÍGLOVÁ, T., PANSKÁ, Š., BITTNER, V., JELEN, K., ŠTURSA, P. a J. KELLER. Possibilities of objective identification of meniscoids in joint blocks of the axial system, by MRI and Transfer Vibration through the Spine. *Neuroendocrinol Lett.* 2017, **38**(5), 101-107.
- TONDURY, G. Beitrag zur Kenntnis der kleinen Wirbelgelenke. *Z Anat Entwickl Gesch.* 1948, **110**, 568-575.

- YU, S., SETHER, L., HAUGHTON V. M. Facet joint menisci of the cervical spine: Correlative MR Imaging and cryomicrotomy study. *Radiology*, 1987, **164**, 79-82.
- WEBB, A.L., CHIRO, M., DAREKAR, A.A., SAMPSON, M. a H. RASSOULIAN. Synovial folds of the lateral atlantoaxial joints: in vivo quantitative assessment using magnetic resonance imaging in healthy volunteers. *Spine*. 2009, **34**(19), E697-702.
- WEBB, A. et al. Synovial folds – A pain in the neck? *Manual Therapy*, 2010, **16**(2),118-124.
- WEBB, A., DAREKAR, A. a H. RASSOULIAN. The influence of age, anthropometrics and range of motion on the morphometry of the synovial folds of the lateral atlanto-axial joints: a pilot study. *European Spine Journal*. 2011, **20**(4), 542-549.