

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Fakulta tělesné výchovy a sportu



Autoreferát disertační práce

**Magnetická rezonance respirační dynamiky a posturální funkce
bránice**

Vypracoval: Mgr. Tomáš Rychnovský
Školitel: Prof. MUDr. Miroslav Kučera, DrSc.
Oborová rada: kinantropologie, FTVS UK

Praha 2010

SOUHRN

Cíle práce: Cílem práce bylo objektivizovat změny pohybu a tvaru bránice v různých situacích pomocí dynamické MR u probandů s patologickým nálezem na páteři a kontrolní skupinou.

Metody: Byly vytvořeny dvě skupiny probandů bez patologického nálezu na páteři (n=16) a s patologickým strukturálním nálezem na páteři (n=17).

Každému z probandů byla pomocí dynamické MR vyšetřena funkce bránice za tři situací: 1) během klidového dýchání, 2) během dýchání s tlakem dolních končetin (DKK) do flexe v kyčlích, 3) v zádrži dechu s tlakem DKK do flexe v kyčlích.

Bránice byla vyhodnocena v dynamice i staticce (krajních pozicích) pomocí dynamických a statických parametrů.

Pro objektivizaci funkce bránice byla z dynamického MR záznamu vůbec poprvé extrahována dechová a posturální křivka pohybu bránice. Práce vyhodnocuje frekvenci a amplitudu respirační (dechové) a posturální křivky (nezávislé na respiraci) bránice a jejich poměr. Dále objektivizuje harmoničnost střídání nádechu a výdechu, velikosti exkurzí bránice, sklon bránice, pohyby bránice v jejích jednotlivých porcích a výšku bránice v hrudníku.

Výsledky: Dechové i posturální změny poloh bránice jsou pomalejší, větší a harmoničtější u skupiny bez nálezu. U této skupiny je bránice více vertikalizována a během narůstající zátěže se oproti skupině s nálezem její sklon téměř nemění. Pohyby přední, střední a zadní části bránice jsou u skupiny bez nálezu více vyrovnány a jejich bránice vykonává téměř o 50% větší pohyby a je zároveň v nižším postavení, než u skupiny s nálezem.

Závěr: Objektivizací změn v kontrakci bránice byly potvrzeny klinické zkušenosti s poruchou svalové stabilizace páteře u pacientů s nefyziologickým nálezem na páteři.

Klíčová slova: bránice, pohyby bránice, stabilizace páteře, vertebrogenní poruchy, MRI

SUMMARY

Objective: The goal of the thesis was to objectify changes of the diaphragm motion and shape in a different tasks using dynamic MRI in volunteers with pathological structural finding of the spine and the control group.

Methods: Two groups of volunteers were made, those without pathological finding (n=16) and with structural pathological finding of the spine (n=17).

We analyzed diaphragm function in three different tasks in all the volunteers during 1) primary breathing, 2) breathing in the course of lower extremities flexion against resistance and 3) holding the breath in the course of lower extremities flexion against resistance.

Diaphragm activity was analyzed using static a dynamic parameters.

For the first time ever was used postural and respiratory trace, which were separated from dynamic MRI recording. The thesis analyses frequency and amplitude of the respiratory and postural activity (independent on breathing) and their relationship. Furthermore the thesis evaluates breathe in and breathe out rotation, diaphragm excursion magnitude, inclination of the diaphragm, its height in thorax and also diaphragm motion within its different portion.

Results: Diaphragm respiratory and postural changes are slower, bigger in size and better balanced in volunteers group without pathological spinal finding. Opposite to the other group diaphragm is also more shape-verticalised and its shape almost does not change with increasing postural activity within the group with no spinal pathological finding. Also the movements of the ventral, middle and dorsal diaphragm portion are more balanced in this group and their diaphragm perform almost 50% bigger motion in size and is also in a lower position in chest compared with the group with structural findings.

Conclusion: By the objectification of the diaphragm contractility and changes in shape we confirm clinical experience with muscle imbalance symptoms in patients with pathologic spinal findings.

Key words: diaphragm, diaphragm activity, stabilization of the spine, MRI, vertebrogenic and spinal disorders

1 ÚVOD

Bránice a hluboké stabilizační svaly trupu jsou popisovány ve své souhře jako důležitá funkční jednotka pro dynamickou stabilizaci páteře (Hodges, 2005; Kolář, 2007). Dysfunkce zmiňované svalové souhry je považována za jeden z nejčastějších faktorů pro vznik vertebrogenních obtíží (Hodges, 1996a) a rovněž pro vznik strukturálních změn na páteři (hernie, spondylolistézy, spondylartrózy apod.).

Biomechanika a řízení funkce bránice je rozsáhlá a významná problematika zasahující do celé řady lékařských oborů, a to nejenom pneumologie či hrudní chirurgie, ale i rehabilitace a gastroenterologie.

I když za poslední období došlo ke značnému posunu v pohledu na funkci bránice, neznamená to, že všechny souvislosti její činnosti jsou dnes dokonale jasné. Bránice je obvykle studována ve své respirační funkci (Suga, 1999; Plathow, 2005a), je měřena její výška (Takazakura, 2007; Kondo, 2005) a exkurze (Kiryu, 2006; Gierada, 1995). Téměř žádná práce se nevěnuje její funkci posturální. Existují práce, které mapují funkci bránice při různých typech dýchání (Kolář, 2009; Rychnovský, 2009) nebo i při aktivaci v zádrži dechu, tedy situaci, jež není vázaná na respiraci (Kolář, 2009a). Tyto práce byly provedeny vždy na zdravých jedincích, kteří nevykazovali známky respiračního onemocnění ani vertebrogenní obtíže.

Pro objektivizaci pohybu bránice a jejího vlivu na funkční i strukturální stav páteře je nutné zkoumat funkční zapojení bránice i u vertebrogenních pacientů.

Analýza funkce bránice je realizována pomocí dynamických obrazů magnetické rezonance. Použití magnetické rezonance k detekci pohybu bránice je využíváno již několik let (Gierada, 1995; Suga, 1999; Cluzel, 2000; Miyamoto, 2002; Iwasawa, 2002; Daggfeldt, 2003; Plathow, 2005b; Kiryu, 2006). Studie jsou převážně provedeny v respirační funkci bránice a jsou hodnoceny jako validní metoda pro hodnocení nitrohrudních pohybů (Plathow, 2006). Kotani (2004) sleduje pohyby hrudníku a bránice během hlubokého dýchání na zádech u skoliotiků a zdravých. Chu (2006) ve své srovnávací studii (zdraví vs. skoliotici) pohyb a postavení bránice u zdravých a skoliotiků.

Práce porovnávající pohyby a tvar bránice mezi kontrolní skupinou (zdraví) a skupinou probandů s vertebrogenními obtížemi a s patologickým strukturálním nálezem na páteři nebyly dosud prováděny. Rovněž se žádná výzkumná práce nezabývá tonickou (posturální) složkou pohybu bránice získanou z dynamické MR během respirace. Tato práce se jako první zabývá hodnocením, analýzou trendů a komparací pohybu, postavení a tvaru bránice při její dechové a posturální činnosti u dvou skupin probandů s rozdílným strukturálním nálezem na páteři.

2 DECHOVÁ A POSTURÁLNÍ FUNKCE BRÁNICE

Bránice je popisována zejména jako hlavní dechový sval. Ve spolupráci s dalšími svaly trupu se podílí na zvyšování nitrobřišního tlaku a tím na postavení a zpevnění páteře. Proto je třeba jí brát v úvahu v její roli posturální (stabilizační) a v této roli jí také vyšetřovat a hodnotit.

Posturální stabilizace je přítomna během většiny pohybů trupu a končetin, při dýchání i v zádrži dechu (Hodges, 2001; Gandevia, 2002; Kolář 2009a), proto velmi záleží na její kvalitě. Pokud svalová souhra není fyziologická, dochází k přetěžování paravertebrálních svalů (extenzorů páteře), které tuto nedostatečnost kompenzují a tím zvyšují kompresivní síly na struktury páteře. Tato dysfunkce je považována za nejčastější důvod vzniku vertebrogenních obtíží a vzniku patologického strukturálního nálezu na páteři. V klinice se ukazuje, že pokud se tato souhra u pacientů s bolestmi zad ovlivní, dochází ke zlepšení jak subjektivního stavu, tak často objektivních nálezů pacientů.

3 CÍLE A VYBRANÉ HYPOTÉZY

Cíle práce

Cílem práce je najít možnosti vyhodnocování pohybového chování bránice. Dále je naším cílem kvantifikovat a ověřit rozdíl pohybu a tvaru bránice u skupiny probandů bez patologického strukturálního nálezu na páteři a s prokázaným získaným patologickým strukturálním nálezem na páteři v různých posturálních situacích pomocí dynamického MR zobrazení.

- **Hypotéza 1**

Předpokládáme, že u skupiny probandů bez strukturálního nálezu na páteři bude mít pohyb bránice nižší frekvenci (frekvencí rozumíme počet dechů) a větší exkurzi a to jak při klidovém dýchání, tak při dýchání se zátěží.

- **Hypotéza 2**

Předpokládáme, že u skupiny probandů bez strukturálního nálezu na páteři budou pohyby bránice harmoničtější (tím rozumíme pravidelné střídání nádechu a výdechu).

- **Hypotéza 3**

Předpokládáme, že u skupiny probandů bez strukturálního nálezu na páteři bude bránice ve všech situacích více v horizontále.

4 METODIKA VÝZKUMU

4.1 SOUBOR, POSTUP VÝZKUMU A SPECIFIKACE MR

Pro tuto práci byly vytvořeny dva soubory probandů. Skupinu 1 tvořilo 16 probandů bez MR zjištěného patologického strukturálního nálezu na páteři (průměrný věk 35 let, věkový rozptyl 23 – 56 let, 69 % souboru tvořily ženy, 31 % souboru tvořili muži). Probandi dosud netrpěli žádnými chronickými bolestmi, ani se u nich nevyskytovala žádná respirační onemocnění.

Druhý výzkumný soubor (skupinu 2) tvořilo 17 osob s na MR prokázaným získaným strukturálním patologickým nálezem na páteři degenerativní povahy a s různou intenzitou a frekvencí chronické bolesti v oblasti L-p (průměrný věk 42 let, věkový rozptyl 23 – 65 let, 47 % souboru tvořily ženy, 53 % souboru tvořili muži). Za dosavadní terapii

uvedli v dotazníku pouze klid a medikamentózní léčbu. Nebyli nikdy instruováni fyzioterapeutem v technikách a cvičeních, ovlivňující mechaniku a stereotyp dýchání. I zde byla podmínkou zařazení do skupiny anamnestická absence respiračních onemocnění potvrzená spirometrickým vyšetřením. Do souboru nebyli přijati probandi s prokázanou vrozenou vadou páteře a abnormalitou získanou traumaticky.

Pohyby bránice byly sledovány pomocí dynamické magnetické rezonance vleže na zádech. Každému probandovi byly nalepeny na tělo tři markery. První byl umístěn vpravo ve střední části klavikuly (ve výšce jugulární jamky), druhý v průsečíku medioklavikulární čáry s 10. žebrem ventrálně vpravo a třetí paravertebrálně ve výšce Th-L přechodu napravo. K poloze třetího markeru byly vztaženy některé z hodnocených parametrů bránice.

Každý z probandů byl scanován ve třech posturálně i dechově odlišných situacích.

Situace A – vyšetřovaný proband ležel na zádech a klidově dýchal.

Situace B – vyšetřovaný proband ležel na zádech, klidově dýchal a byl mu kladen odpor na distální části bérců bilat. proti flexi v kyčelních kloubech s extendovanými kolenními klouby dolních končetin (DKK). Tlak odpovídal čtvrtému stupni svalového testu (Janda, 1996).

Situace C - vyšetřovaný proband ležel na zádech, byl vyzván k zádrži dechu s uzavřením glottis. Byl mu kladen odpor v oblasti distálních bérců bilat. proti flexi v kyčelních kloubech s extendovanými kolenními klouby dolních končetin (DKK). Tlak odpovídal čtvrtému stupni svalového testu (Janda, 1996). Tlakové působení prováděl vždy stejný vyšetřující.

Následně byla přístrojem ZAN 100 Handy USB objektivně vyloučena přítomnost respiračních onemocnění pomocí spirometrického vyšetření. Měření probíhalo vsedě s opřenými zády a s nosním klipem.

Vyšetření dobrovolníků skupiny 1 bylo provedeno v otevřeném přístroji MR firmy Siemens s magnetem 0,23 T, verze softwaru NUMARIS/4 syngo MR 2004 A. Každé dynamické měření mělo stejnou délku sekvence 20 sekund a stejný sled po sobě jdoucích akcí. Během snímání bylo pořízeno 77 obrazů v pravidelných intervalech. Bránice byla snímána na axiálním topogramu v sagitální rovině v mamilární linii vpravo, použita byla velká trupová cívka. Šířka každé vrstvy byla 33 mm. Použita byla true FISP dynamická sekvence s konfigurací 1 NSA, matrix 240x256 pixelů, TR 4,48 ms, TE 2,24 ms, FA 90°, TSE1, FOV 328 mm. Rozlišení obrázku bylo 1,37 mm/pixel. Snímací frekvence byla 4,24 Hz s mezerou mezi jednotlivými snímky 0,24s.

Vyšetření dobrovolníků skupiny 2 bylo provedeno v uzavřeném přístroji MR firmy General Electric SIGNA HDx s magnetem 1,5 T, cívkou HD 8-Channel Body Array Full Field Of View a verzí softwaru 14-M5A. Každé měření mělo stejnou délku sekvence 22,2 sekund (tzn. 60 snímků). Bránice byla snímána na axiálním topogramu v sagitální rovině v mamilární linii vpravo. Šíře snímané vrstvy byla 15 mm. Další parametry dynamické sekvence byly nastaveny následovně: matice 256x256 pixelů, TR 3,1 ms, TE 1,3 ms, FA 55, FOV 42 cm. Použita byla sekvence GE FIESTA Cine ASSET, Multi Phase Screen a v jejím průběhu bylo získáno v pravidelných intervalech 60 fází. Rozlišení obrázku, tedy velikost jednoho obrazového pixelu v reálu bylo 1,64 mm/pixel a snímací frekvence byla 2,72 Hz s mezerou mezi jednotlivými snímky 0,37s.

4.1.1 ZPRACOVÁNÍ VSTUPNÍCH DAT A MR OBRAZU

Pro práci s obrázky a pro zadávání vstupních dat bylo vytvořeno grafické uživatelské rozhraní. Všechny výpočty byly provedeny v programovacím prostředí Matlab R2008a. (Vostatek, 2010)

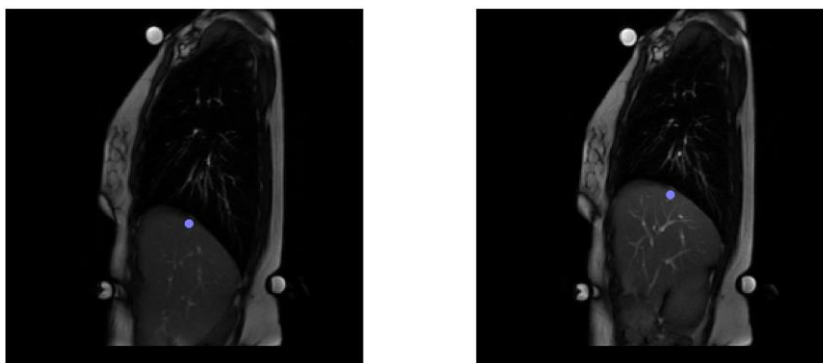
Některé hodnoty bylo nutné pro výpočty zadávat manuálně a zbylé byly následně dopočítávány programem.

Ručně zadávaná data jsou:

- Středový bod - lokalizace bodu ve středu kontury bránice na 1. snímku sekvence (obrázek 1). Podle jeho lokalizace se střední bod na dalších snímcích sekvence vyhledával automaticky.
- Nejnižší poloha bránice z celé sekvence. Tato poloha sloužila pro výpočet rozdílové plochy, tzv. pozadí (obrázek 1 vlevo).
- 13-30 bodů, které vyznačují konturu bránice v každé nejnižší a nejvyšší poloze během sekvence. Počet bodů byl závislý na délce bránice na jednotlivých snímcích.
- Poloha všech markerů na těle v prvním snímku sekvence.

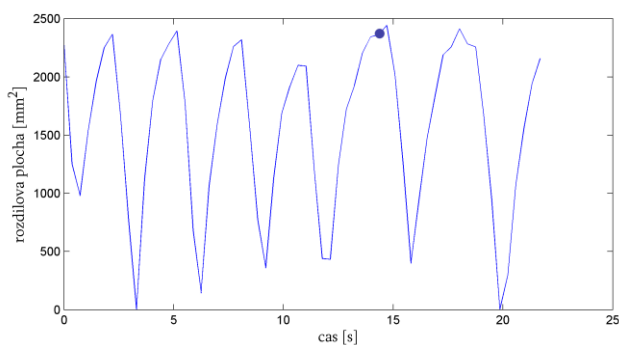
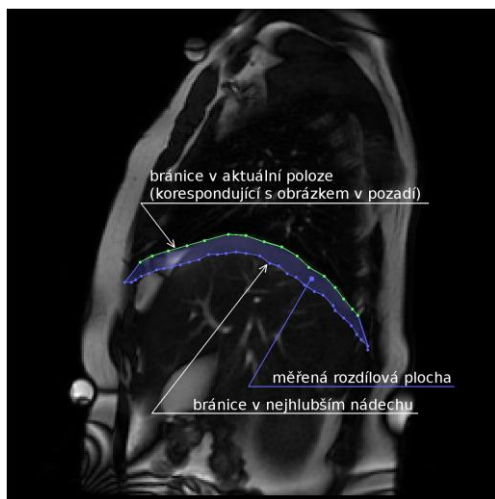
Automaticky zpracovaná data jsou:

- Středový bod v každém dalším snímku zpracovávaných sekvencí (obrázek 1 vpravo).
- Poloha markerů na těle ve všech dalších snímcích zpracované sekvence.
- Rozdílová plocha ve všech snímcích sekvence. Tato plocha kvantifikuje rozsah pohybu bránice během dechového cyklu a je ohraničená nejkaudálnější a nejkraniálnější polohou bránice.



Obrázek 1 - Vlevo – obrázek pozadí s ručně zadávaným středovým bodem, vpravo – poloha kontury bránice na jednom ze snímků sekvence, včetně automaticky dohledaného středového bodu

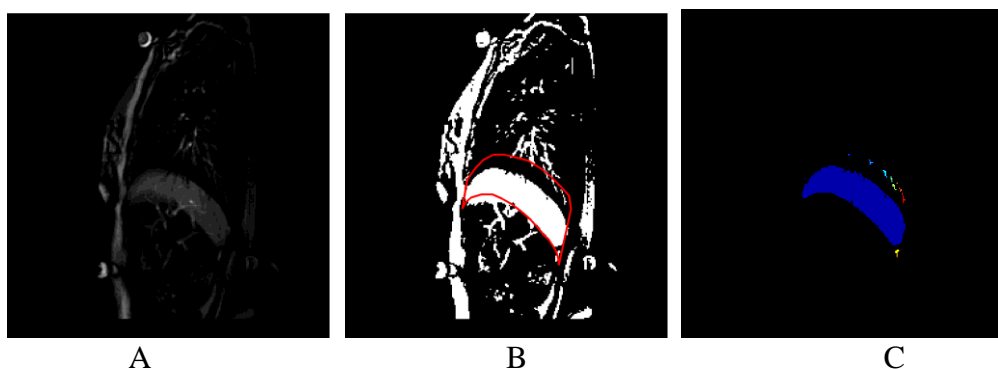
Z hodnoty této plochy pro každý snímek vznikla tzv. rozdílová křivka, která charakterizuje pohyb bránice a slouží k výpočtu dynamických parametrů (Graf 1). Dosahuje maxima při výdechu a minima při nádechu nebo v situaci C při pohybech bránice, které nejsou vázány na respiraci.



Obrázek 2 - Rozdílová plocha

Graf 1 - Rozdílová křivka - obsah rozdílové plochy z obrázku 2 vyznačený v grafu

Rozdílová plocha (obr. 3A) byla detekována prahováním obrazu, tedy nalezením pixelů v obrazu s vyšší hodnotou, než daný práh. Práh byl počítán z maximální hodnoty obrazu v okolí 20x20 pixelů okolo středového bodu. Tato hodnota byla vynásobena konstantou definovanou pro každého probanda zvlášť podle stupně jasu obrázku a podle rozdílného tvaru srpku bránice. Hodnoty konstanty se pohybovaly v rozmezí 0,05 – 0,25 u probandů se strukturálním nálezem a 0,1 – 0,5 u probandů bez nálezu. Následně byla spočtena plocha detekovaného srpku (rozdílová plocha) v pixelech, která byla přepočítána na mm^2 .



Obrázek 3 - Postup vytváření rozdílové plochy

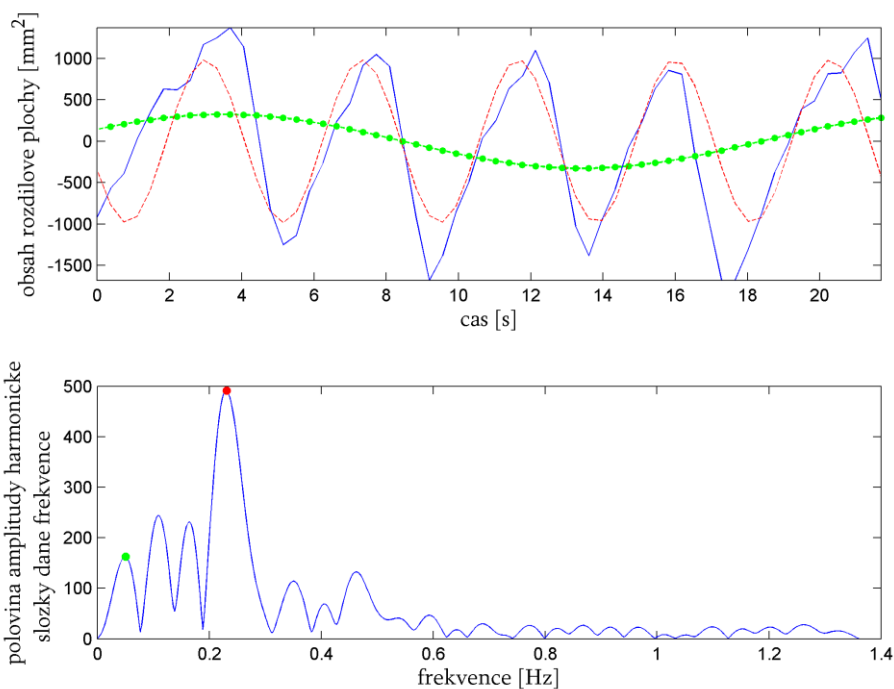
A - aktuální snímek odečtený od pozadí

B - prahovaná rozdílová plocha ze snímku A. Bílá místa jsou hodnoty obrazu větší než práh a černá jsou nižší než práh. Červená kontura je kontura tvořená maximální a minimální polohou bránice zadanou na vstupu programu.

C - prahovaná rozdílová plocha barevně

Zpracováním rozdílové křivky Fourierovou analýzou (FFT – Fast Fourier Transform) bylo získáno její spektrum signálu. Z tohoto spektra bylo možné určit míru harmonicity signálu. Ideálně se harmonický signál vyznačuje jednou převažující hodnotou frekvence. Pokud spektrum rozdílových křivek získaných během snímání bránice za třech situací obsahovalo více harmonických složek daného signálu (peaky), byly vybrány a vyznačeny dvě složky, které nejlépe korelují s rozdílovou křivkou. Nejvyšší peak nejčastěji odpovídal frekvenci dechu a peak s nižší frekvencí odpovídal pomalejším změnám střední polohy (výšky) bránice v těle. Zpětnou rekonstrukcí pouze těchto dvou vybraných spektrálních čar vznikly dvě křivky, které byly nazvány tzv. dechová a posturální křivka.

Tyto křivky se staly zdrojem dat pro hodnocení dynamických parametrů. Pro jejich vyhodnocení byla využita jen část tohoto spektra.



Graf 2 - Nahoře – rozdílová křivka (modrá), dechová křivka (přerušovaná červená) a posturální křivka (spojené zelené body), dole - spektrum a vyznačené výrazné složky

Abychom se vyhnuli zkreslení výsledků způsobených závislostí parametrů na velikosti probanda, byly získané hodnoty některých parametrů normovány spojnicí horních okrajů zóny apozice. Tento anteroposteriorní (AP) rozměr hrudníku byl změřen ze sekvence klidového dýchání, kdy se bránice nacházela v maximální dolní poloze. Normování parametrů je vždy zmíněno v popisu daného parametru, ten je poté bezrozměrný (tzn., že není vyjádřen standardizovanou jednotkou).

4.2 VYBRANÉ PARAMETRY PRO HODNOCENÍ FUNKCE BRÁNICE

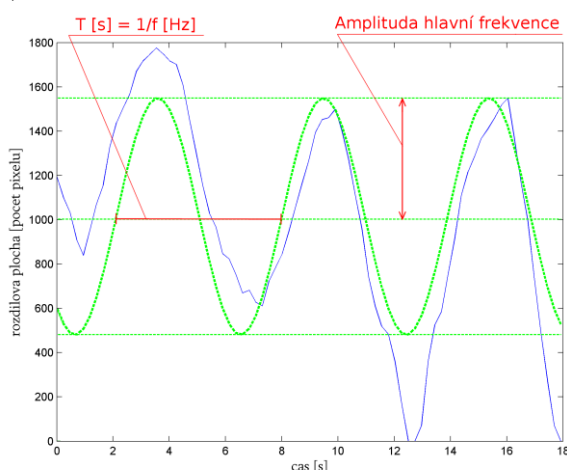
4.2.1 DYNAMICKÉ PARAMETRY

Extrahované dynamické parametry popisují časový vývoj plochy ohraničené dolní a časově aktuální polohou bránice.

Frekvence dechové a posturální křivky

Průběh dechu je víceméně harmonický a hlavní spektrální složka nese většinou informaci o frekvenci dechu (graf 3).

Frekvence posturální křivky charakterizuje rychlost změny střední polohy bránice v jedné dechové periodě (nádech + výdech). Za $\frac{1}{2}$ času, který odpovídá této frekvenci ($1/f$) dojde k maximální změně této střední polohy (to může trvat i více dechových period). Pokud by byly exkurze bránice dokonale harmonické a kopírovaly by přesně nádech a výdech, byla by frekvence posturální křivky 0 (nulová změna, střední poloha bránice je konstantní).



Graf 3 - Dechová křivka (zeleně) se zvýrazněnou amplitudou a frekvencí

Amplituda dechové a posturální křivky

Jde o amplitudy, které definují velikost aproximované dechové a posturální křivky. Jde o rozdíl maximální a střední hodnoty průběhu (graf 3). Tento příznak u dechové křivky charakterizuje hloubku nádechu. Amplituda posturální křivky vyjadřuje změnu průměrné polohy bránice, tzn. změny výšky bránice v hrudníku mimo dechový pohyb. Příznaky byly normovány dle AP rozměru horních okrajů zóny apozice jednotlivého probanda.

Poměr amplitud dechové a posturální křivky

Vyjadřuje, jak velké zastoupení měla amplituda posturální křivky a amplituda dechové křivky při pohybu bránice v hrudníku. Poměr byl vypočítán jako amplituda posturální křivky / amplituda dechu. Poměr zjišťuje, jak se mění střední poloha bránice ne absolutně, ale vzhledem k výšce samotného nádechu. Poměr kolem 1 znamená, že posturální a dechová křivka mají stejnou velikost. Poměr menší než 1 znamená, že

dechová křivka je vyšší než posturální. A naopak vyšší poměr než 1 znamená, že posturální křivka je vyšší než křivka dechová.

Procento energie nesené 3 nejvyššími spektrálními čarami

Jde o poměr sumy výšek 3 nejvyšších spektrálních čar ku sumě amplitud všech spektrálních čar Fourierovy transformace signálu. Pro tento příznak bylo použito 128bodové spektrum signálu. Čím vyšší je energie nesená těmito spektrálními čarami, tím více je pohyb bránice harmonický (průběh rozdílové plochy má tvar sinu). Pokud by pohyb bránice kopíroval pouze průběh dechu, byl by tento příznak 100 %.

Rozptyl rozdílové křivky (směrodatná odchylka)

Směrodatná odchylka časového průběhu dechu vyjadřuje velikost exkurze bránice, tj. její maximální a minimální polohy exkurzí. V případě dechu vyjadřuje jeho velikost – čím hlubší je nádech resp. výdech, tím větší bude rozptyl dechu. Parametr je normován.

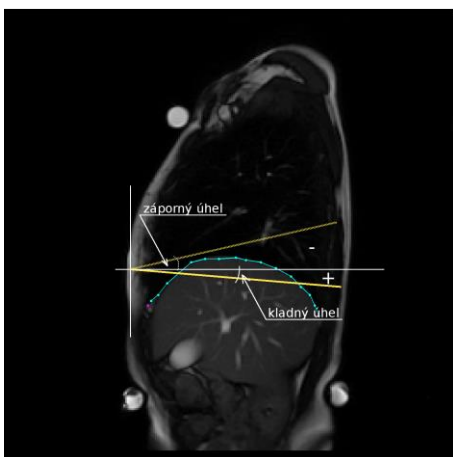
Šikmost (skewness) dechu – vyjadřuje „vycentrování“ pravděpodobnostního rozdělení hodnot signálu. Pokud více hodnot ve sledovaném signálu leží blíže horní mezi, je šikmost záporná, v opačném případě je kladná. Harmonický pohyb bránice by měl šikmost nulovou.

Špičatost (kurtosis) dechu – vyjadřuje, zda je pravděpodobnostní rozdělení špičatější či plošší. Špičatost normálního rozdělení je 3. Špičatější rozdělení mají špičatost vyšší, naopak plošší rozdělení nižší. Harmonický signál má pravděpodobnostní rozdělení tvaru spíše obdélníku – špičatost je nízká. Zatímco pokud je pohyb bránice více náhodný (špatně kontrolovaný) – blíží se pravděpodobnostním rozložením normálnímu rozdělení, špičatost bude vyšší.

4.2.2 STATICKÉ PARAMETRY

Extrahované statické příznaky popisují bránici ve chvílích, kdy se nepohybuje a to v nejkaudálnější a nejkranální pozici.

Směrnice (sklon) bránice v sagitální rovině měří úhel mezi přímkou proloženou bránicí metodou nejmenších čtverců s horizontálou. Příznak hodnotí celkový sklon bránice v těle. Vypovídá o tom, zda je bránice v předozadním směru více ve vertikále či horizontále. Pokud se dílčí části bránice stáčely různými směry, je toto natočení součtem vlivu jednotlivých změn tvaru. Směrnice byla vyhodnocena jak pro maximální horní (výdechovou), tak pro maximální dolní (nádechovou) pozici bránice ve všech situacích.



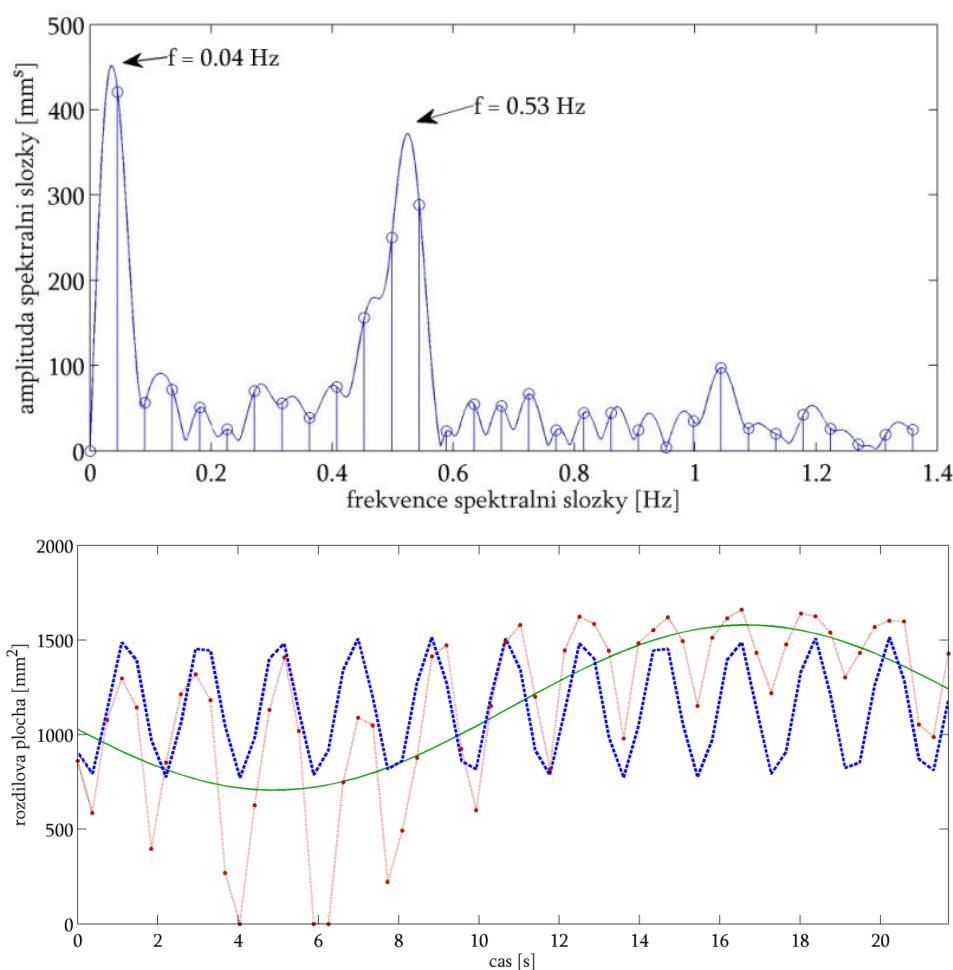
Obrázek 4 - Vyhodnocení směrnice bránice

5 VÝSLEDKY

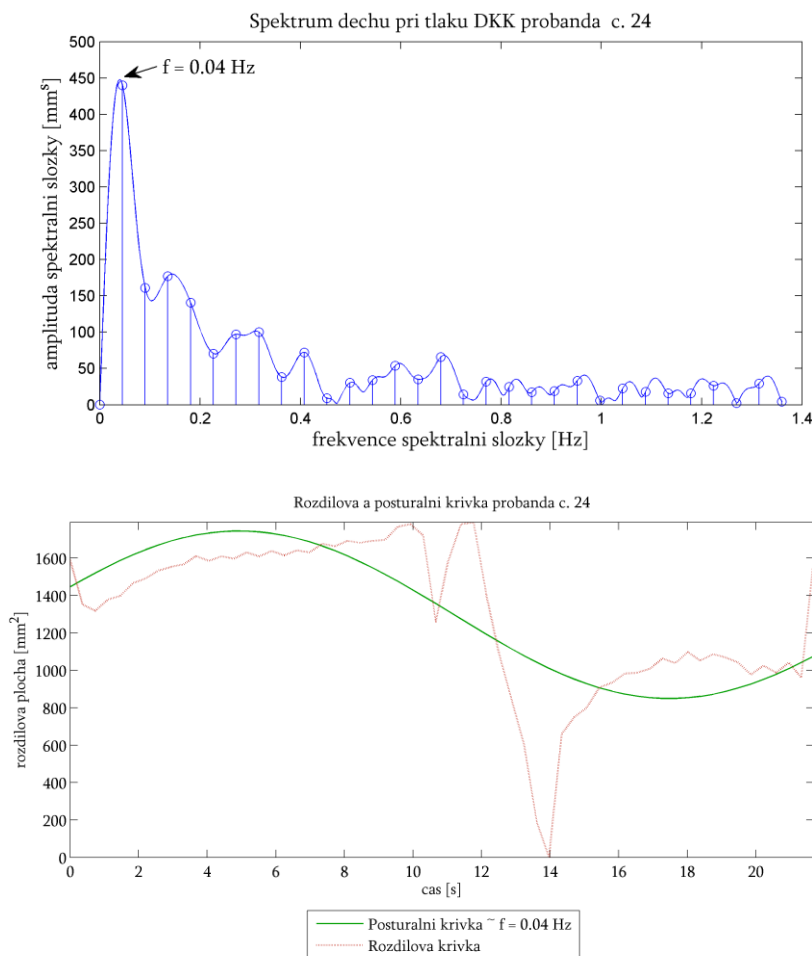
5.1 DYNAMICKÉ PARAMETRY

Jedním z hlavních výsledků předkládané práce je samotné rozdělení rozdílové křivky pohybu bránice na posturální a dechovou křivku. Tento parametr ještě nebyl v hodnocení brániční funkce pomocí MR publikován. Pomocí něj je možné obě dvě brániční funkce neinvazivně objektivizovat a vyhodnocovat.

V situaci A pro obě skupiny a v situaci B pro skupinu 1 byla hlavní harmonickou sinusoidou křivka dechová. Ve skupině 2 došlo za tlaku DKK (situace B) ke změně. Dechová křivka zůstala hlavní pro 8 probandů (47 %). U 9 probandů se vyskytla jako hlavní harmonická křivka křivka posturální (graf 4). U čtyř probandů z těchto 9 bylo velmi obtížné pro dyskoordinovanou rozdílovou křivku extrahovat křivku odpovídající frekvenci dechu. U 2 probandů (č. 19 a 24) nebylo možno extrahovat žádnou složku, jež by se podobala běžné frekvenci dýchání. Do statistiky týkající se dechové křivky proto nebyli zařazeni (outlayer - graf 5).



Graf 4 - Posturální křivka (zelená), dechová křivka (modrá), rozdílová křivka (červená) se spektrem (nahore) u probanda č. 17 (posturální $f=0,04$ Hz, dechová $f=0,53$ Hz)



Graf 5 - Outlayer č. 24 ze statistiky dechové křivky, rozdílová křivka (červeně) se spektrem (nahore), posturální křivka (zeleně)

5.1.1 FREKVENCE DECHOVÉ KŘIVKY

Frekvence dechové křivky byla u probandů se strukturálním nálezem (skupina 2) signifikantně vyšší, než u probandů bez nálezu (skupina 1). U skupiny 1 je průměrná hodnota rychlosti dechu 0,209 Hz, což je 12,6 dechů/min. U skupiny 2 byla průměrná hodnota rychlosti dechu spočítána na 0,265 Hz, což znamená 15,6 dechů/min (tabulka 1).

Skupina 1 měla téměř stejnou frekvenci dechu za obou situací (tabulka 1) a vždy statisticky významně nižší, než skupina 2. Skupina 2 měla při dýchání s tlakem dolních končetin (v situaci B) statisticky vysoce významně vyšší frekvenci dechu, než při klidovém dýchání (v situaci A) a než skupina 1 v situaci B.

Shrnutí

Skupina probandů s nálezem dýchala rychleji v obou situacích. U skupiny 2, na rozdíl od skupiny 1, se rychlost dechu se zvyšujícími posturálními nároky zvětšovala. Skupina bez nálezu s posturálním zatížením (za situace B) udržuje téměř totožnou frekvenci dechu jako za situace A.

	Bez nálezu (skupina 1)	S nálezem (skupina 2)	Hladina významnosti (p)
Klidové dýchání (situace A)	0,209 ± 0,05 Hz	0,265 ± 0,06 Hz	P = 0,0129*
Dýchání s tlakem (situace B)	0,221 ± 0,07 Hz	0,342 ± 0,09 Hz	P = 0,000616**
Rozdíl mezi situacemi A a B	0,00552 Hz	0,0769 Hz	P = 0,008388**

Tabulka 1 - *Frekvence dechové křivky – průměrné hodnoty a SD*

5.1.2 AMPLITUDA DECHOVÉ KŘIVKY

Při klidovém dýchání (situace A) je mezi skupinami statisticky vysoce významný rozdíl střední hodnoty amplitudy dechové křivky ($p=0,000041^{**}$). Střední hodnota (průměr) u skupiny 1 a 2 je 0,09, resp. 0,03. Při dýchání s tlakem dolních končetin (za situace B) měla skupina se strukturálním nálezem (skupina 2) střední hodnotu amplitudy ještě nižší (0,0143), než v situaci A. Protože skupina 1 měla téměř stejnou střední hodnotu, rozdíl se mezi skupinami ještě zvýraznil a byl rovněž statisticky vysoce významný ($p=0,00000456^{**}$).

Shrnutí

Skupina 1 má amplitudu dechové křivky větší než skupina 2 za obou situací. U skupiny 1 se amplituda dechové křivky v obou situacích téměř nezměnila, u skupiny 2 došlo v situaci B ke zmenšení středních hodnot i rozptylu. Mezi skupinami byl zjištěn vždy statisticky vysoce významný rozdíl.

To znamená, že bránice u probandů ve skupině A vykonávala stále stejně velké pohybové exkurze odpovídající frekvenci dýchání za obou situací. Skupina 1 měla průměrnou velikost těchto exkurzí za situace A přibližně 3krát větší a za situace B přibližně 6,5krát větší než skupina 2.

5.1.3 FREKVENCE POSTURÁLNÍ KŘIVKY

V situaci A byla frekvence posturální křivky mezi oběma skupinami statisticky významně rozdílná. U skupiny 1 (bez strukturálního nálezu) vyšla 0,0351 Hz. U skupiny 2 se bránice pohybovala rychleji a to frekvencí 0,0498 Hz.

Během dýchání s tlakem dolních končetin (situace B) nebyl rozdíl mezi skupinami statisticky významný.

Rovněž rozdíl mezi situacemi u obou skupin nebyl statisticky vyhodnocen jako významný. Patrná je ovšem tendence skupiny 1 frekvenci posturální křivky zrychlit a skupiny 2 naopak zpomalit.

Shrnutí

Frekvence změn střední polohy bránice byla v situaci A statisticky významně větší u skupiny 2. Za situace B, tedy při větších posturálních nárocích, se frekvence posturálních křivek u obou skupin téměř vyrovnaly. U vyšetřovaných osob skupiny 2 došlo

ke snížení frekvence a u skupiny 1 ke zvýšení frekvence. Statisticky však tyto rozdíly nebyly významné.

5.1.4 AMPLITUDA POSTURÁLNÍ KŘIVKY

V situaci A je mezi skupinami statisticky vysoce významný rozdíl průměrných hodnot amplitud posturální křivky (0,004974556**), vyšší hodnota je u skupiny bez nálezu. Za situace B měla skupina bez nálezu statisticky významně vyšší střední hodnotu amplitud než skupina s nálezem. V obou skupinách došlo v průměru ke zvýšení amplitud posturální křivky. Zároveň došlo u obou skupin ke zvětšení rozptylů.

Průměrné hodnoty rozdílu mezi situacemi nebyly statisticky významně významné. Statisticky významný byl pouze rozdíl v rozptylu hodnot amplitud posturální křivky. U skupiny bez nálezu se exkurze bránice v situaci B u 6probandů snížila, kdežto u skupiny 2 došlo ke snížení této exkurze pouze u 1 probanda.

Shrnutí

Skupina 1 měla v průměru větší amplitudu posturální křivky za obou situací. Rovněž rozptyl hodnot byl větší u skupiny 1 a zvýraznil se s větší posturální zátěží.

5.1.5 POMĚR MEZI AMPLITUDOU DECHOVÉ A POSURÁLNÍ KŘIVKY

Skupina 1 měla za obou situací v převaze dechovou křivku a poměr amplitud se nezměnil. V klidovém dýchání u obou skupin odpovídala změna střední polohy bránice třetině výšky nádechu. V situaci B (dýchání s tlakem DKK) převažovala u skupiny probandů s nálezem posturální křivka, která byla o jednu pětinu větší než křivka dechová (tabulka 2).

	Bez nálezu (skupina 1)	S nálezem (skupina 2)	Hladina významnosti (p)
Klidové dýchání (situace A)	0,29914 ± 0,2	0,3149 ± 0,2	0,825091
Dýchání s tlakem (situace B)	0,30099 ± 0,12	1,2213 ± 0,9	0,001629422**
Rozdíl mezi situacemi A a B	-0,020253	0,907	0,0002740096**

Tabulka 2 - Poměr mezi amplitudou dechové a posturální křivky – průměr a SD

5.1.6 ENERGIE TŘÍ NEJVYŠŠÍCH SPEKTRÁLNÍCH ČAR

U skupiny 1 je patrné, že 3 nejvyšší spektrální čáry nesou statisticky vysoce významně více procent energie, než skupina 2 v obou situacích (tabulka 3). Harmoničnost dechu je tak u skupiny bez nálezu o 17% větší během klidového dýchání, a o 20,9% v posturálně náročnější situaci B.

	Bez nálezu (skupina 1)	S nálezem (skupina 2)	Hladina významnosti (p)
Klidové dýchání (situace A)	46,719 ± 7,8 %	29,694 ± 6,3 %	0,00000008743328**
Dýchání s tlakem (situace B)	45,924 ± 5,3%	25,035 ± 6,0 %	0,0000000001845**
Rozdíl mezi situacemi A a B	-1,6435 %	-4,6590 %	0,305459

Tabulka 3 - *Energií 3 spektrálních čar – průměr a SD*

Shrnutí

Energie nesená třemi spektrálními čarami je vždy vyšší u skupiny bez nálezu (skupina 1) a statisticky vysoce významné jsou výsledky za obou situací. U skupiny 1 nesou tři spektrální čáry téměř 50% energie. U skupiny 1 je proto pohyb bránice harmoničtější, než u skupiny 2 v obou situacích. Za posturálně náročnější situace se obě skupiny zhoršily (skupina 2 více), ale rozdíl nebyl statisticky významný.

5.1.7 ROZPTYL ROZDÍLOVÉ KŘIVKY (SMĚRODATNÁ ODCHYLKA)

Rozptyl je větší u probandů bez strukturálního nálezu (skupina 1) v situaci za klidového dýchání i při dýchání s tlakem DKK (tabulka 4). Bránice tak u skupiny 1 vykonává větší exkurze. U skupiny 1 se rozptyl zvětšuje při větší posturální zátěži (tlaku DKK a dýchání) v porovnání se situací při klidovém dýchání. U skupiny 2 se při tlaku DKK a dýchání rozptyl zmenšuje. Exkurze bránice jsou menší. Za situace C se exkurze bránice rovněž objevují, ale rozdíl mezi skupinami není statisticky významný.

	Bez nálezu (skupina 1)	S nálezem (skupina 2)	Hladina významnosti (p)
Klidové dýchání (situace A)	0,074088 ± 0,03	0,032058 ± 0,01	0,00006369605**
Dýchání s tlakem (situace B)	0,085019 ± 0,04	0,025519 ± 0,01	0,00001096063**
Zadrž dechu s tlakem (situace C)	0,012261 ± 0,006	0,014718 ± 0,01	0,4698965
Rozdíl mezi situacemi A a B	0,006317	-0,0038562	0,1325985

Tabulka 4 - *Hodnoty směrodatných odchylek – průměr a SD*

5.1.8 ŠIKMOST ROZDÍLOVÉ KŘIVKY

Průměrné hodnoty šikmosti jsou u obou skupin záporné, u obou skupin tak bránice setrvává déle ve výdechu. U probandů bez nálezu (skupina 1) se průměrné hodnoty šikmosti více blíží nule, tzn., že délka setrvávání bránice v horní výdechové pozici je menší a pohyby bránice jsou více v rovnováze. Během klidového dýchání je rozdíl průměrných hodnot i rozptylu mezi skupinami vysoce statisticky významný.

Při dýchání s větší posturální zátěží, v situaci B, vykazovala skupina bez nálezu o něco málo delší čas ve výdechu, stále byl ale poměr harmoničtější než u skupiny 2 (s nálezem).

5.1.9 ŠPIČATOST ROZDÍLOVÉ KŘIVKY

Harmonické pohyby bránice mají špičatost nižší, pokud jsou pohyby bránice hůře kontrolované, špičatost bude vyšší.

Průměrné hodnoty špičatosti jsou u obou skupin při klidovém dýchání (v situaci A) statisticky významně odlišné, skupina bez nálezu vykazuje nižší špičatost. Dech je u skupiny bez nálezu více harmonický.

Skupina probandů bez nálezu má při dýchání s tlakem dolních končetin dokonce ještě harmoničtější pohyby bránice než při klidovém dýchání bez zátěže.

Kontrola harmoničnosti dechu má s větší posturální náročností situace zhoršující se tendenci u skupiny probandů se strukturálním nálezem na páteři.

Rozdíly mezi skupinami jsou statisticky významně (situace A) a vysoce významně odlišné (situace B).

5.2 VYBRANÝ STATICKÝ PARAMETR

5.2.1 SMĚRNICE (SKLON) BRÁNICE V SAGITÁLNÍ ROVINĚ

Směrnice (sklon) bránice v maximální výdechové (horní) poloze

V obou situacích nebyl mezi skupinami zjištěn statisticky významný rozdíl. Z výsledků je patrné, že skupina bez nálezu měla v obou situacích téměř stejný sklon bránice, o necelý 1° se průměr směrnice bránice v náročnější situaci B snížil (bránice horizontalizovala). Skupina se strukturálním nálezem měla v situaci A směrnici bránice pod úhlem přibližně 6,8°. Při větší posturální zátěži však došlo u skupiny 2 ke zvětšení úhlu (vertikalizaci bránice) směrnice a to na 12°. Průměrná změna rozdílu mezi situacemi A a B byla statisticky významně větší u skupiny 2.

Sklon bránice v maximální nádechové (dolní) poloze

Skupina měřených se strukturálním nálezem na páteři (skupina 2) má bránici v dolní pozici klidového dýchání statisticky významně více v horizontální poloze (tabulka 5). Rozdíl při klidovém dýchání mezi skupinou 1 a 2 činí 10°. U skupiny 1 je náklon průměrně 22,4°, u skupiny 2 je průměr 13,6°. Při tlaku DKK zůstala dolní pozice bránice u skupiny 1 v zhruba stejném náklonu, zatímco náklon bránice ve skupině 2 se zvýšil na 17°.

	Bez nálezu (skupina 1)	S nálezem (skupina 2)	Hladina významnosti (p)
Klidové dýchání (situace A)	23,534° ± 7,13	14,957° ± 5,61	0,000657153**
Dýchání s tlakem (situace B)	24,746° ± 9,62	17,802° ± 5,8	0,01676962*
Zádrže dechu s tlakem (situace C)	28,176° ± 7,3	21,641° ± 6,5	0,011892212*
Rozdíl mezi situacemi A a B	1,9069°	3,6242°	0,2979626

Tabulka 5 - *Sklon směrnice bránice v maximální dolní poloze – průměr a SD*

V obou situacích byl mezi skupinami zjištěn statisticky významný rozdíl. Z výsledků je patrné, že skupina 1 měla v obou situacích téměř stejný sklon bránice, o $1,2^\circ$ se průměr směrnice bránice v situaci B zvýšil (bránice vertikalizovala). V klidovém dýchání byl mezi skupinami statisticky vysoce významný rozdíl.

Skupina 2 měla v situaci A směrnici bránice více horizontalizovanou, jak v porovnání se situací B, tak se skupinou 1. Průměrná změna rozdílu mezi situacemi A a B nebyla statisticky významně odlišná, Fischerův test vyšel statisticky významně. V situaci C nabyly směrnice bránice v dolních polohách vůbec nejvyšších hodnot a statisticky významně se obě skupiny lišily.

Shrnutí

Skupina probandů bez nálezu (skupiny 1) sklápí bránici při nádechu v situacích A i B do téměř stejného sklonu. Bránice je oproti skupině s nálezem (skupině 2) nastavena více do vertikály a to i při zádrži dechu.

Skupina probandů s nálezem (skupina 2) vykazovala větší horizontalizaci bránice během nádechu, úhel směrnice bránice se zvětšil při větší posturální zátěži. Za situace C dosahovala směrnice bránice největšího úhlu s horizontálou u obou skupin, u skupiny 1 signifikantně více.

6 DISKUSE

6.1 HYPOTÉZA 1

Odpovědi na tuto hypotézu byly nalezeny ve výsledcích několika parametrů. Velikosti exkurze bránice zjišťoval rozptyl, referenční diference (RD)*, rozdílové plochy*, amplituda dechové a posturální křivky a jejich vzájemný poměr. Frekvence pohybů byly sledovány z frekvence dechové a posturální křivky.

Vyhodnocením těchto parametrů byla hypotéza 1 potvrzena.

K udržení homeostázy se u zdravého člověka obecně uvádí frekvence dechu 15 – 20 dechů/min o objemu 0,5 l (Ganong, 1993). K těmto hodnotám se přiblížili více probandi druhé skupiny. Skupina 1 měla stále téměř stejnou frekvenci dechu – o poznání pomalejší než probandi skupiny 2. Lewit (2003) a Smolíková (2006) uvádí vyšší frekvenci a mělčí dýchání u poruch vázaných na mechaniku hrudníku a držení páteře. Obecně je známým faktem, že pokud jedinec cítí bolest, resp. jí trpí, frekvence jeho dechu se zrychluje.

Probandi druhé skupiny mají nejenom vyšší rychlost dýchání, ale rovněž snížený rozsah pohybu bránice. Jejich amplituda je vysoce významně nižší v porovnání s jedinci v první skupině. Je pravděpodobné, že nižší rozsah bránice je důvodem, proč musí potřebný dechový objem kompenzovat vyšší frekvencí dechu. Pokud pohyb žeber, sternu a vůbec mechanika hrudníku nepracuje „ideálně“ (Smolíková, 2005 a 2006), je vysoce pravděpodobné, že se bránice přes zvýšené odpory hrudníku nemůže plně uplatnit ve své respiračně-posturální funkci a snižuje svojí amplitudu pohybu. Ještě více se tento fakt projevuje při vyšší posturální zátěži u probandů skupiny 2.

- výsledky parametrů uvedené pouze v disertační práci (Rychnovský, 2010)

Frekvence posturální křivky za klidového dýchání byla u skupiny 1 statisticky významně nižší a při dechu a tlaku DKK neprokazovala statisticky významný rozdíl.

O celkovém rozsahu pohybu bránice v hrudníku hovoří parametry rozptyl, referenční diference a rozdílové plochy. Hloubkou nádechu se zabývá amplituda dechové křivky, která je generována z harmonické dechové křivky. Velikost pohybu bránice nezávisle na dýchání hodnotí amplituda posturální křivky.

Rozptyl pohybu bránice byl statisticky vysoce významně vyšší u skupiny 1 než u skupiny 2 v situaci A i B. Tento parametr byl normován, proto je bezrozměrný. Nelze je proto porovnat se studií Takazakury (2004) nebo Sugy (1999). Je ale možné porovnat exkurzi pohybu bránice pomocí referenční diference (RD), která je uváděna v mm. RD1 a RD2 vyšly rovněž statisticky mnohem vyšší u skupiny 1 než u skupiny 2. Exkurze bránice tak byla vždy větší u skupiny 1. V této práci je celkový rozsah bránice měřený v RD (zprůměrovaný ze všech 6bodů) při klidovém dýchání u skupiny 1 v průměru 37 mm a u skupiny 2 20 mm. V situaci B je celkový rozsah pohybu bránice u skupiny 1 průměrně 42 mm, u skupiny 2 je rozsah 1 mm. Nikdo z autorů neprůměroval výšku bránice z bodů na její kontuře, proto výsledky nejsou zcela porovnatelné. Iwasawa (2002) měřil vzdálenosti nejvyššího bodu bránice k apexu plic, vycházel z celkového pohybu bránice a uvádí její exkurzi 55,3 mm během pomalého hlubokého dýchání. Takazakura (2004) uvádí 20mm rozdíl pohybu nejvyššího bodu bránice vleže a vsedě. O'Sullivan (2007) ve své ultrasonografické studii uvádí brániční exkurze v medioklavikulární linii vpravo kolem 13mm. Kotani (2004) objektivizoval menší pohyb bránice k apexu plic u skoliotiků v porovnání se zdravými. Jeho výsledky se tedy shodují s výsledky skupiny probandů se strukturálním nálezem. Metoda měření bráničních exkurzí nebyla ještě standardizována, proto se údaje autorů mohou lišit.

Rozdílové plochy bránice byly měřeny v mm² a u skupiny bez nálezu na páteři jsou téměř o 50 % větší v situaci A i B oproti skupině s nálezem na páteři. Kolář (2009a) publikoval velikosti těchto ploch s naznačeným průměrem v grafu, konkrétní číselné hodnoty ještě publikovány nebyly.

U skupiny probandů se strukturálním nálezem v situaci B (dýchání s tlakem DKK), byla rozdílová křivka složena převážně z posturální složky pohybu bránice a proto byla často v převaze nad dechovou křivkou. Ukázalo se, že v těchto případech souvisí brániční pohyb více se změnou polohy bránice v hrudníku (střední polohy bránice), která není vázaná na pohyby související s respirací. Toto hodnocení posturální složky funkce bránice z celkového rozptylu pohybu bránice ještě nebylo z dynamických MR obrazů tímto způsobem vyhodnocováno ani publikováno. Snahou bylo kvantifikovat posturální činnost bránice jak při dýchání, tak během zádrže dechu.

Protože posturální křivka u probandů s nálezem, tvoří významnou část rozdílové křivky pohybu bránice, ovlivňuje celkový rozptyl a celkové rozdílové plochy bránice. Pokud tedy celkový rozptyl byl u skupiny 2 menší než u skupiny 1, ve skutečnosti byly dechové pohyby bránice ještě menší, a to proto, že celkový rozptyl je u skupiny 2 za situace B tvořen zejména složkou posturální.

Posturální křivka byla hodnocena i z hlediska amplitudy. V obou situacích byla větší u skupiny 1. To souvisí s celkově větším rozptylem pohybu bránice u skupiny 1.

Podíl posturálního pohybu bránice při respiraci řeší poměr amplitud dechové a posturální křivky. Toto poměrové hodnocení stabilizační a respirační funkce bránice ještě nebylo podle dostupných informací publikováno. Výsledky předkládané práce hovoří jasně v tom smyslu, že u skupiny 1 byla vždy v převaze dechová křivka. Proto, jak jsme již zmínili, usuzujeme, že lidé z 1. skupiny mají lepší schopnost spojit stabilizační a dechovou funkci bránice a dalších svalů hluboké stabilizace páteře. Naopak u skupiny 2 při situaci B převažovala křivka posturální. Bránice je zatížena posturálně do té míry, že došlo k omezení její dechové složky pohybu (exkurzí). Tím se omezil vliv na expanzi laterálních částí dolního hrudníku s omezením pohybu dolních žebor, jak popisují Kyroussis (1996), Kolář (2007) a Rychnovský (2003). Zmíněný kineziologický fakt je opět důvodem převahy paradoxních dechových pohybů hrudníku. Podle mého názoru je možné z tohoto poměru usuzovat na kvalitu posturální reaktibility člověka. Pokud bude v zátěži v převaze dechová křivka, bude proband schopen obojí funkci bránice spojit jak pro zajištění respirace, tak pro svoji stabilizační funkci s kontrolou nitrobřišního tlaku. Vnitřní síly, které popisuje Kolář (2007) a jež působí na tělní segmenty, tak budou v rovnováze se zevními silami, zejména s tíhovou silou danou vahou tělního segmentu a hmotností břemene.

Jak již bylo řečeno, celková aktivita bránice se neprojevuje pouze díky dechovým pohybům, ale obsahuje svoji autonomní posturální složku.

Kolář (2009a) potvrdil posturální činnost bránice, která se projevuje oploštěním své kontury i během zádrže dechu. Naše práce zmíněnou skutečnost potvrzuje a upřesňuje, že neexistuje statisticky významný rozdíl ve velikosti této aktivity bránice mezi skupinou probandů bez nálezu na páteři a s nálezem na páteři. Zmíněný fakt dokládají výsledky rozptylu pohybu bránice a výsledky rozdílových ploch za situace C.

6.2 HYPOTÉZA 2

Pro potvrzení či vyvrácení této hypotézy byly zvoleny tři parametry a to procento energie nesené 3 nejvyššími spektrálními čarami, šikmost a špičatost rozdílové křivky. **Vyhodnocením těchto parametrů byla hypotéza 2 potvrzena.**

Podle dostupných informací ještě nikdo nepoužil tyto parametry k vyhodnocení funkce bránice z dynamické MR, proto nemáme porovnatelná data. Pouze Kiryu (2006) porovnával rychlost náběhu kontrakce obou bráničních kopulí v čase, ale v jeho případě se jedná o sledování reaktibility kontrakce bránice v různých posturálních situacích.

Parametr, který ukazuje procento energie nesené 3 spektrálními čarami, potvrdil hypotézu 2 a to statisticky vysoce významně. Skupina bez strukturálního nálezu měla při klidovém dýchání větší procento nesené energie třemi nejvyššími spektrálními čarami. Při tlaku zůstala tato hodnota téměř stejná, navíc se zmenšil rozptyl hodnot. Skupina se strukturálním nálezem na páteři měla v klidovém dýchání významně menší procento energie nesené třemi spektrálními čarami, při tlaku se procento ještě o 4 % snížilo. Dané výsledky znamenají, že probandi skupiny 1 byli schopni daleko lépe, nezávisle na stupni zátěže, udržovat harmonicitu dechových pohybů bránice tak, jak je popisuje Smolíková (2006). Navíc se v rámci skupiny bez nálezu v situaci B (s tlakem DKK) více sjednotila

jejich schopnost pracovat s respiračně-stabilizační funkcí bránice. Opět je možné usuzovat na jejich lepší koordinační schopnost dechové i posturální funkce bránice, což je důležitý fakt pro stabilizaci páteře. Tuto kvalitativní složku pohybu bránice je možné vysvětlit tak, že pokud je bránice při zvýšených nárocích na posturální zajištění po delší časovou jednotku schopna svými pohyby pravidelně zajišťovat respiraci a zároveň se podílet na udržování nitrobřišního tlaku, je pravděpodobné, že má větší podíl na stabilizaci páteře z přední strany (Kolář, 2009; Rychnovský, 2009). Pokud tato souhra není pro CNS přístupná, objevuje se „náhradní“ řešení, které se vždy projevuje stejnými projevy, které byly popsány v teoretické části, a vždy je jejich součástí přetížení dolních segmentů bederní páteře.

Pravidelné harmonické střídání horní a dolní polohy bránice bylo pro skupinu 2 obtížnější. V situaci B měli probandi této skupiny o 20 % více dysharmonický pohyb bránice. U této skupiny převažovala posturální (stabilizační) složka bránice, což svědčí o nemožnosti zachovat pravidelný pohyb bránice při větší posturální zátěži. Pokud jsou takto omezeny brániční exkurze, je pravděpodobné, že bránice bude při nutnosti stabilizovat trup v trvalejší kontrakci až izometrii a respirační pohyby hrudníku bude zajišťovat náhradní vzor svalové koordinace, který Lewit (2003) nazývá jako paradoxní, a ten je vždy spojen s přetížením spinálních struktur.

Šikmost je dalším parametrem, kterým byla potvrzena hypotéza 2. Použití této statistické funkce u autorů, kteří se zabývají funkcí bránice, rovněž není známo. Dokonale harmonické pohyby bránice by měly šikmost nulovou. Střední hodnota šikmosti dechu je ve skupině bez nálezu kolem 0. Střední hodnotu udržuje tato skupina v obou situacích téměř stejnou – zápornou, tzn., že v obou situacích setrvávají o něco více ve výdechu. Skupina 1 navíc při tlaku DKK během dýchání zpřesnila poměr nádech x výdech oproti klidovému dýchání. Naopak probandům skupiny se strukturálním nálezem, se při tlaku DKK rozptýl hodnot šikmosti zvětšil oběma směry. Polovina měřených ze skupiny 2 se tak dostala blíže 0, druhá polovina se však ještě více změnila v poměru nádech x výdech v neprospěch nádechu. V situaci B se u této skupiny projevila různá interindividuální schopnost volní kontroly respiračně-stabilizační funkce bránice. Z těchto důvodů je možné se opět domnívat, že jejich posturální stabilizace páteře při respiraci za většího posturálního zatížení bude pravděpodobněji pod kontrolou náhradní svalové koordinace, která přetěžuje páteřní segmenty.

Špičatost vyjadřuje harmoničnost pohybu bránice tak, že čím jsou harmoničtější pohyby bránice, tím bude špičatost nižší. U skupiny bez strukturálního nálezu na páteři se střední hodnota špičatosti blíží více 0 než u skupiny se strukturálním nálezem na páteři, což odpovídá lepší kontrole dechu (jeho pravidelnosti). Skupina bez nálezu dokázala při dýchání s tlakem DKK ještě více snížit náhodnost dechu. Skupina 2 měla v klidovém dýchání statisticky významně větší hodnoty (rozptýl a střední hodnota) špičatosti a tyto se ještě zvětšily při tlaku DKK během dýchání. Zmíněná fakta vypovídají o zhoršené kontrole nad pohybem bránice při vyšších posturálních nárocích a opět potvrzují hypotézu 2.

6.3 HYPOTÉZA 3

Z MR scanu bránice je detekce úponů bránice velice obtížná a byla by zatížena velkou chybou. Proto byl sklon bránice místo pouhé spojnice úponů počítán směrnici (přímkou proloženou bránicí metodou nejmenších čtverců, která svírá úhel s horizontálou).. Měření jsme provedli v maximální horní (výdechové) pozici bránice i v maximální dolní (nádechové) pozici. **Vyhodnocením těchto parametrů byla hypotéza 3 vyvrácena a je třeba přijmout alternativní hypotézu.**

V horní pozici nejsou rozdíly sklonu bránice mezi skupinami statisticky významné. Je vhodné upozornit na fakt, že bránice u skupiny bez strukturálního nálezu na páteři se téměř mezi situacemi ve svém sklonu nemění. U skupiny s patologickým nálezem na páteři se sklon bránice změnil mezi situacemi A a B statisticky významně. Bránice se při dýchání a tlaku DKK za situace B vertikalizovala téměř o 100 % více vůči situaci A (klidové dýchání).

Kolář (2006) uvádí, že ve fyziologické funkci je bránice, resp. její předozadní osa a centrum tendineum spíše nastavené horizontálně. Rovněž hypotéza 3 byla vyslovena na základě klinické zkušenosti, že u probandů bez vertebrogenních obtíží jsou přední žeberní oblouky svalově zajištěny v dolní výdechové pozici hrudníku i během nádechu. Proto jsme se domnívali, že se bránice kontrahuje rovnoměrněji a zůstává v horizontále oproti probandům s vertebrogenními obtížemi, kde přední část hrudního koše migruje při nádechu kraniálně. Rovnoměrnost kontrakce bránice při nádechu u skupiny bez nálezu na páteři byla pomocí referenčních diferencí potvrzena. Směrnice v dolní pozici bránice byly statisticky významně rozdílné avšak ve prospěch vertikálnějšího nastavení směrnice bránice ve skupině bez nálezu na páteři. Bránice u skupiny s přítomným patologickým nálezem na páteři (skupina 2) byla více v horizontále. Výsledek, který prokazuje větší vertikální sklon bránice v nádechovém postavení u skupiny probandů bez nálezu, je způsoben větším poklesem celé kontury bránice. Pro představu byl u skupiny 1 v klidovém dýchání posun ventrálního bodu bránice B1 o 21 mm a v dorzálním bodě B6 47 mm a u skupiny 2 to bylo 7 mm v bodě B1 a 30 mm v bodě B6. Takže i když skupina bez nálezu zapojuje přední a zadní část bránice rovnoměrněji, dochází oproti skupině 2 k vertikalizaci bránice v jejím nejkaudálnějších postavení. Ve větším vertikálním sklonu byla bránice u skupiny probandů bez strukturálního nálezu na páteři i při zádrži dechu a tlaku DKK (v situaci C).

7 ZÁVĚR

Práce ukázala možnost porovnávat pohybové chování bránice u probandů s prokázaným získaným strukturálním nálezem na páteři a kontrolních probandů, u kterých nebyl pomocí MR strukturální nález na páteři potvrzen.

Ze záznamu dynamické MR bylo možné sledovat jak posturální, tak dechovou funkci bránice.

Výsledné hodnoty jednotlivých parametrů a jim přiřazené hladiny statistických významností umožnily vyslovit závěry této práce.

- 1) Větší pohybové exkurze s pomalejší frekvencí vykonává bránice u skupiny probandů bez strukturálního nálezu na páteři. Dokládá to potvrzená hypotéza 1.
- 2) Bránice u skupiny probandů bez strukturálního nálezu na páteři se pohybuje pravidelněji (harmoničtěji). Bránice u probandů s přítomným strukturálním nálezem na páteři není schopna koordinovat svůj dechový pohyb a pohyb posturální. Proto setrvává delší dobu ve výdechové fázi. V převaze je posturální funkce nad dechovými pohyby zvláště během větší posturální zátěže. Hypotéza 2 byla potvrzena.
- 3) Mezi skupinami probandů bez nálezu a s přítomným nálezem na páteři není statisticky významný rozdíl ve sklonu bránice v sagitální rovině v její horní výdechové pozici. V nádechové pozici je bránice u skupiny probandů bez strukturálního nálezu na páteři více ve vertikále. Tento závěr jsme vyslovili na základě nepotvrzené hypotézy 3.

V práci je prezentován výběr několika parametrů, podle kterých se funkce bránice může vyhodnocovat. Většina parametrů ještě nebyla pro hodnocení bráničních pohybů publikována.

Významným krokem v objektivizaci funkce bránice je objevení posturální a dechové složky v dynamickém MR záznamu pohybu bránice. Tyto funkce byly do této doby objektivizovány pouze lokálně a invazními metodami.

V dalších studiích je uvažováno nad rozšířením počtu hodnotících parametrů bráničních funkcí i nad rozšířením souboru probandů. Výzkum s větším počtem probandů by do celé situace mohl přinést přesnější popis rozdílů bráničního pohybu, reaktivity a tvaru u pacientů, u nichž objektivní nález svědčí pro nefyziologické zatěžování páteřních struktur. Rovněž by na základě rozšířené studie bylo možné vytvořit jisté normy a škály bráničních parametrů.

Díky možnosti neinvazivně objektivizovat klinická pozorování a zkušenosti se metoda dynamického pozorování pohybu a tvaru bránice ukazuje jako velmi přínosná.

8 POUŽITÁ LITERATURA

- CLUZEL, P., SIMIŁOWSKI, T., LEFEBVRE, C.CH., et al.** Diaphragm and Chest Wall: Assessment of the Inspiratory Pump with MR Imaging – Preliminary Observations. *Radiology*. 2000, 215, 574-583.
- DAGGFELDT, K., THORSTENSSON, A.** The mechanics of back-extensor torque production about the lumbar spine. *Journal of Biomechanics*. 2003, 36(6), 815-25.
- GANDEVIA S.C., BUTLER JE, HODGES PW, et al.** Balancing acts: Respiratory sensations, motor kontrol and human posture. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*. 2002, 29, 118-121.
- GANONG, W.F.** Přehled lékařské fyziologie. Praha, Avicenum, 1993
- GIERADA, D.S., CURTIN, J.J., ERICKSON, S.J., et al.** Diaphragmatic Motion: Fast Gradient – recalled – Echo MR Imaging in Healthy Subjects. *Radiology*. 1995, 194, 879-884.
- HODGES, P.W., RICHARDSON, C.A.** Inefficient Muscular Stabilization of the Lumbar Spine Associated With Low Back Pain. *Spine*. 1996a, 21, 2640-2650.
- HODGES, P.W., HEIJNEN, I., GANDEVIA, S.C.** Postural activity of the diaphragm is reduced in humans when respiratory demand increases. *The Journal of Physiology*. 2001, 537, 999-1008.
- HODGES, P.W., ERIKSSON, A.E.M., SHIRLEY, D., GANDEVIA, S.C.** Intra-abdominal pressure increases stiffness of the lumbar spine. *Journal of Biomechanics*. 2005, 38, 1873-1880.
- CHU, W.C., Li A.M.** Dynamic magnetic resonance imaging in assessing lung volumes, chest wall, and diaphragm motions in adolescent idiopathic scoliosis versus normal controls. *Spine*. 2006, 31, 19, 2243-2249.
- IWASAWA, T., KAGEI, S., GOTOH, T., et al.** Magnetic resonance analysis of abnormal diaphragmatic motion in patients with emphysema. *European Respiratory Journal*. 2002, 19, 225-231.
- JANDA, V.** *Funkční svalový test*. Grada Publishing, 1996.
- KIRYU, S., LORING, S.H., MORI, Y. et al.** Quantitative analysis of the velocity and synchronicity of diaphragmatic motion: dynamic MRI in different postures. *Magnetic Resonance Imaging*. 2006, 24, 1325-1332.
- KOLÁŘ, P.** Vertebrogní obtíže a stabilizační funkce svalů – diagnostika. *Rehabilitace a fyzikální lékařství*. 2006, 4, 155-170.
- KOLÁŘ, P.** Vertebrogní obtíže a stabilizační funkce páteře – terapie. *Rehabilitace a fyzikální lékařství*. 2007, 1, 3-17.
- KOLÁŘ, P., NEUWIRTH, J., ŠANDA, J., et al.** Analysis of diaphragm movement during tidal breathing and during its activation while breath holding using MRI synchronized with spirometry. *Physiological research*. 2009, 58, 383-392.

- KOLÁŘ, P.** Analýza zobrazení pohybu bránice magnetickou rezonancí v kombinaci se spirometrickým vyšetřením. Autoreferát disertační práce. 2. LF UK, Univerzita Karlova Praha 2009a.
- KONDO, T., KOBAYASHI, I., TAGUCHI, Y., et al.** An analysis of the chest wall motions using the dynamic MRI in healthy elder subjects. *Tokai Journal Experimental and Clinical Medicine*. 2005, 30, 15-20.
- KOTANI, T., MINAMI, S., TAKAHASHI, K., et al.** An Analysis of Chest Wall and Diaphragm Motions in Patients With Idiopathic Scoliosis Using Dynamic Breathing MRI. *Spine*. 2004, 29, 298-302.
- LEWIT, K.** Manipulační léčba v myoskeletální medicíně. 2003, Praha.
- MIYAMOTO, K., KATSUJI, S., KAZUAKI, M.** Fast MRI Used to Evaluate the Effect of Abdominal Belts During Contraction of Trunk Muscles. *Spine*. 2002, 27, 1749-1754.
- O'SULLIVAN, P.B., BEALES, D.J.** Changes in pelvic floor and diaphragm kinematics and respiratory patterns in subjects with sacroiliac joint pain following a motor learning intervention: A case series. *Manual Therapy*. 2007, 12, 209-218.
- PLATHOW, C., FINK, C., SANDNER, A., et al.** Comparison of relative forced expiratory volume of one second with dynamic magnetic resonance imaging parameters in healthy subjects and patients with lung cancer. *Journal of magnetic resonance imaging*. 2005a, 21, 212-218.
- PLATHOW, C., ZIMMERMANN, H., FINK, C., et al.** Influence of different breathing maneuvers on internal and external organ motion: use of fiducial markers in dynamic MRI. *International journal of radiation oncology, biology, physics*. 2005b, 62, 238 – 245.
- PLATHOW, C., LEY, S., ZAPOROZHAN, J. et al.** Assessment of reproducibility and stability of different breath-hold maneuvers by dynamic MRI: comparison between healthy adults and patients with pulmonary hypertension. *European radiology*. 2006, 16, 173-179.
- RYCHNOVSKÝ, T.** Tenzometrické měření reologických vlastností svalů v oblasti trigonum lumbale jako prostředek k hodnocení funkčního stavu hlubokého stabilizačního system. Diplomová práce, FTVS UK, Praha: 2003.
- RYCHNOVSKÝ, T., PIVEC, M.** Výška a funkce bránice závisí na pohybu hrudníku při dýchání. *Medicina Sportiva Bohemica et Slovaca*. 2009, 18, 58-67.
- RYCHNOVSKÝ, T.** Magnetická rezonance respirační dynamiky a posturální funkce bránice. Disertační práce. Praha, 2010
- SMOLÍKOVÁ, L., PIVEC, M., RYCHNOVSKÝ, T. et al.** Plicní rehabilitace a CHOPN. *Postgraduální medicína*. 2005;7:376–385.
- SMOLÍKOVÁ, L. MÁČEK, M.** Fyzioterapie a pohybová léčba u chronických plicních onemocnění. Praha: Nakladatelství Blue Wings, 2006.
- SUGA, K., TSUKUDA, T., AWAYA, H. et al.** Impaired respiratory mechanics in pulmonary emphysema: Evaluation with dynamic breathing MRI. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*. 1999, 10, 4, 510-520.
- TAKAZAKURA, R., TAKAHASHI, M., NITTA, N., et al.** Diaphragmatic Motion in the Sitting and Supine Positions: Healthy Subject Study Using a Vertically Open Magnetic Resonance System. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*. 2004, 19, 605-609.

TAKAZAKURA, R., TAKAHASHI, M., NITTA, N., et al. Assessment of diaphragmatic motion after lung resection using magnetic resonance imaging. *Radiation Medicine*. 2007, 25, 155 – 163.

VOSTATEK, P. Diplomová práce (v isku), ČVUT, Praha: 2010.