

UNIVERZITA KARLOVA

Fakulta tělesné výchovy a sportu

**Vliv hyperkinetické zátěže na vybrané změny
mechanických vlastností axiálního systému člověka**

Autoreferát disertační práce

Jméno a příjmení:	Mgr. Šárka Panská
Školitel:	doc. PaedDr. Karel Jelen, CSc.
Studijní program:	Kinantropologie

Doktorská práce představuje původní rukopis, jehož celé znění je k dispozici v Ústřední tělovýchovné knihovně UK FTVS, José Martího 31, Praha 6.

Disertační práce vznikla s podporou následujících grantových projektů:

PRVOUK P 38, PROGRES Q 41, GAČR 407/10/1624, GAUK 962314,
GAUK 545312,
SVV 2012 – 265603, SVV 2016 – 260346.

Souhrn

Název: Vliv hyperkinetické zátěže na vybrané mechanické změny axiálního systému člověka (AS).

Cíle práce: Hlavním cílem práce je na základě sofistikovaného využití metody Transfer Vibration through Spine (TVS) zjistit vliv hyperkinetické zátěže na změnu vybraných mechanických vlastností axiálního systému moderních gymnastek.

Metody: Pro identifikaci změn reologických vlastností AS a vyhodnocení intenzity zátěže byly použity následující experimentální metody:

- 1) metoda TVS,
- 2) software pro vyhodnocování a analýzu vibračních testů heterogenních systémů,
- 3) kinematická a dynamická analýza pohybu využitím:
 - videozáznamu pohybu ve 2D,
 - systému QUALISYS pro analýzu pohybu ve 3D,
 - systému KISTLER, pro analýzu dynamických interakcí.

Výsledky: Pilotními studiemi i hlavní experimentální částí práce bylo prokázáno, že využitím metody TVS lze identifikovat jak krátkodobé, tak longitudinální změny mechanických vlastností AS.

Vlivem hyperkinetické zátěže dochází ke změnám vybraných mechanických vlastností AS moderních gymnastek. Pohybový aparát gymnastek reaguje na tréninkovou zátěž snížením hodnot reologických parametrů zejména koeficientu tlumení b a viskozity μ . Po regeneraci, resp. odpočinku (druhý den), se uvedené parametry postupně vracejí k výchozím hodnotám.

Impaktní zátěž v celkovém součtu prováděných skoků během celoročnítreninkového procesu moderních gymnastek představuje 2–5násobek gravitačního zatížení pohybového systému člověka a jeho AS oproti civilnímu režimu – s expozicí až 19 000 opakování za rok.

Klíčová slova: reologie, metoda TVS, impaktní zátěž, viskozita, útlum, elasticita

Summary

Title: Influence of Hyperkinetic Load on Selected Mechanical Changes of Human Axial System.

Objectives: The main aim of this thesis is to determine the influence of hyperkinetic load on the change of selected mechanical properties of the rhythmic gymnastics axial system based on the sophisticated use of the Transfer Vibration through Spine (TVS) method.

Methods: The following experimental methods were used to identify changes in rheological properties of AS and to assess load intensity:

- 1) TVS method,
- 2) software for evaluating and analyzing vibration tests of heterogeneous systems
- 3) kinematic and dynamic motion analysis using:
 - 2D motion video recording
 - QUALISYS 3D motion analysis system
 - KISTLER, to analyze dynamic human-surroundings interactions.

Results: Pilot studies and the main experimental part of the thesis have shown that the use of the TVS method can identify both short-term and longitudinal changes of AS mechanical properties.

Due to the hyperkinetic load, the selected mechanical properties of the rhythmic AS are changed. The gymnastic apparatus reacts to the training load by reducing the rheological parameters, especially the damping coefficient b and the viscosity μ . After regeneration, which is on the following day, the parameters return to the default values.

The impact load in the total sum of performed jumps during the year-long training process of rhythmic gymnasts represents 2–5 times the load on the human musculoskeletal system and its AS compared to the civilian regime – with up to 19,000 repetitions per year.

Key Words: rheology, TVS method, impact load, viscosity, damping, elasticity

Obsah

1	ÚVOD.....	7
2	CÍL PRÁCE	9
2.1	Dílčí úkoly	9
2.2	Výzkumné otázky	10
2.3	Hypotézy	10
3	METODIKA	11
3.1	Studie I – Metoda.TVS a optimalizace postupu zpracování vstupních dat.....	11
3.1.1	<i>Metodický postup zjišťování identifikace změn AS</i>	<i>12</i>
3.1.2	<i>Vyhodnocení studie.....</i>	<i>14</i>
3.1.3	<i>Závěry.....</i>	<i>18</i>
3.2	Studie II – Aplikace metody TVS při zjišťování změn reologických charakteristik AS v závislosti na věku	19
3.2.1	<i>Úvod do problematiky</i>	<i>19</i>
3.2.2	<i>Metody statistického zpracování dat</i>	<i>20</i>
3.2.3	<i>Vyhodnocení studie.....</i>	<i>21</i>
3.2.4	<i>Závěry.....</i>	<i>24</i>
3.3	Studie III - Možnosti objektivní identifikace meniskoidů u funkčních kloubních blokád axiálního systému metodami MRI a TVS	24
3.3.1	<i>Úvod do problematiky</i>	<i>24</i>
3.3.2	<i>Metodika</i>	<i>25</i>
3.3.3	<i>Vyhodnocení studie.....</i>	<i>25</i>
3.3.4	<i>Závěry.....</i>	<i>27</i>
4	INTENZITA TRÉNINKOVÉ ZÁTĚŽE A JEJÍ KRÁTKODOBÝ VLIV NA AXIÁLNÍ SYSTÉM U MODERNÍCH GYMNASTEK	28
4.1	Úvod do problematiky	28
4.2	Metodika.....	29
4.2.1	<i>Tvorba softwaru pro zpracování dat metody TVS</i>	<i>29</i>

4.2.2	<i>Kinematická a dynamická analýza pohybu.....</i>	32
4.2.3	<i>Charakteristika souboru</i>	32
4.2.4	<i>Charakteristika intervenčního činitele</i>	33
4.2.5	<i>Organizace sběru dat</i>	34
4.2.6	<i>Metody statistického zpracování dat</i>	35
5	VÝSLEDKY	37
5.1	Kinematické a dynamické charakteristiky vybrané impaktní zátěže experimentálního souboru – expertní odhad.....	37
5.2	Vyhodnocení změn mechanických vlastností vlivem hyperkinetické zátěže	38
6	DISKUZE A DOPORUČENÍ PRO PRAXI	46
7	ZÁVĚRY	51
8	SEZNAM PUBLIKACÍ AUTORKY	54
9	VÝBĚR ZE SEZNAMU LITERATURY	58

1 ÚVOD

Vertebrogenní poruchy představují častý zdravotní problém, se kterým se v dnešní době můžeme setkat u populace všech věkových kategorií. Příčin vedoucích k těmto problémům existuje celá řada. Mohou to být problémy způsobené v důsledku nedostatečné pohybové aktivity (hypokineze), nebo naopak vliv nadměrného zatěžování (hyperkinéze) spojeného např. s nezdravým životním stylem, obezitou, nevhodným výživovým režimem a dalšími faktory negativně působícími na všechny orgánové systémy zejména na axiální systém (AS).

Hyperkinetické zatěžování pohybového systému člověka představuje v řadě případů jak pracovní režim, tak i mimopracovní aktivita, včetně sportovního tréninku i výkonu. Zátěže jsou pak z pohledu termomechaniky různého typu – impaktní, frekvenční, dlouhodobé, krátkodobé, energetické, tepelné, ale i např. popisující chemickou kinetiku výživy. Vysoké zatížení pohybového systému člověka může vést až k vyčerpání funkčních rezerv, ztrátě potřebných reologických vlastností např. měkkých tkání (vazů, šlach, svalové tkáně, chrupavek či kostí) nebo i k mechanickým a funkčním poruchám. Na této úrovni se jedná např. o změny termo-visko-elastických vlastností těchto bio materiálů. Vlivem nadměrné zátěže může dojít i k oslabení regulačních mechanismů organismu, na úrovni řízení ke vzniku šumových signálů nebo i k poruchám metabolických režimů.

Sportovní trénink patří do značně rizikových hyperkinetických zátěžových režimů. Aby bylo možné některá rizika těchto zátěží pohybového aparátu člověka detekovat, je potřeba neustále vyvíjet metody, které je pomohou identifikovat a analyzovat. Jednou z metod, která umožňuje detekovat změny mechanických vlastností AS je metoda TVS (transfer vibration through spine). Tato metoda je vyvíjena na našem pracovišti a byla pro účely této práce využita.

K pochopení dané problematiky bylo potřeba se seznámit zejména se stavbou a funkcí axiálního systému, změnami jeho komponentů, které

probíhají vlivem růstových změn i vlivem různých zátěžových režimů člověka. Velká část práce se týká hyperkinetického zatěžování ve sportovním prostředí, konkrétně v moderní gymnastice (MG). Bylo nutné popsat charakteristiku sportovního výkonu a další faktory, které souvisejí s tréninkovým procesem u moderních gymnastek a ovlivňují jej.

2 CÍL PRÁCE

Hlavním cílem práce je na základě sofistikovaného využití metody transfer vibration through spine (TVS) zjistit vliv hyperkinetické zátěže na změnu vybraných mechanických vlastností axiálního systému moderních gymnastek.

V souvislosti s hlavním cílem byly stanoveny následující dílčí úkoly, výzkumné otázky a hypotézy práce:

2.1 Dílčí úkoly

- 1) Na základě vlastního pilotního šetření nalézt vhodný metodický postup pro využití metody TVS ke kvantitativnímu zhodnocení mechanických vlastností axiálního systému člověka. Taktéž vytvořit vhodný SW nástroj pro semiautomatické statistické zpracování strukturovaných vícerozměrných datových souborů.
- 2) Na základě vhodně provedených vlastních pilotních šetření ověřit schopnost metody TVS identifikovat změny axiálního systému člověka v čase (např. před a po sportovním tréninku, nebo fyzioterapeutickém výkonu, případně v závislosti na věku).
- 3) Definovat popisné a pohybové charakteristiky impaktní zátěže (odrazů a doskoků) v moderní gymnastice.
- 4) S využitím kinematické a dynamometrické analýzy nalézt kvalifikovaný odhad intenzity impaktní zátěže axiálního systému během tréninkové jednotky v moderní gymnastice.
- 5) Na základě vlastního experimentálního šetření zjistit vliv krátkodobé intenzivní pohybové zátěže na změnu vybraných mechanických vlastností axiálního systému moderních gymnastek v juniorském věku (13–15 let).
- 6) Stanovit vhodná doporučení pro praxi (eliminaci či omezení impaktní zátěže, případně stanovení délky regenerace apod.).

2.2 Výzkumné otázky

- V₁:** Lze využít metodu TVS k identifikaci mechanických vlastností axiálního systému?
- V₂:** Je metoda TVS schopna identifikovat jak krátkodobé, tak longitudinální změny axiálního systému člověka?
- V₃:** Jaká je intenzita impaktní zátěže axiálního systému během tréninkové jednotky v moderní gymnastice u elitních (vrcholových) závodnic MG v juniorském věku?
- V₄:** Jaký vliv má hyperkinetická zátěž na změnu vybraných mechanických vlastností axiálního systému moderních gymnastek juniorského věku (13–15 let).

2.3 Hypotézy

V rámci V₄ byly na základě výsledků pilotních experimentálních šetření stanoveny následující hypotézy:

- H₁:** Během hyperkinetické zátěže dojde ke statisticky signifikantnímu snížení **koeficientu útlumu** axiálního systému moderních gymnastek.
- H₂:** Během hyperkinetické zátěže dojde ke statisticky signifikantnímu snížení **viskozity** axiálního systému moderních gymnastek.
- H₃:** V průběhu regeneračního procesu dochází k návratu identifikátorů mechanických vlastností axiálního systému moderních gymnastek směrem k původním hodnotám.

Poznámka:

Vzhledem ke struktuře dílčích úkolů (pilotní metodická šetření, hlavní experimentální šetření) byla výzkumná část práce kvůli přehlednosti nestandardně rozdělena do dvou samostatných statí. Ty odpovídají dvěma následujícím kapitolám (3 a 4), z nichž každá obsahuje vlastní úvodní část, dále část metodickou, výsledkovou a shrnutí.

3 METODIKA

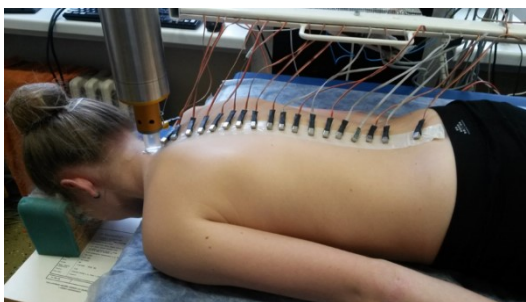
Vybrané mechanické vlastnosti AS člověka jsme identifikovali metodou TVS – transfer vibration through spine. Metoda TVS je metodou vývojovou, a proto pomocí ní v následujících kapitolách ukazujeme jak její samotný vývoj, tak i vývoj možností její aplikace při řešení dílčích kroků (problémů) v různých aplikačních oblastech. Níže uvedené pilotní studie dokumentují identifikaci změn reologických vlastností AS při extrémním tréninkovém zatížení (Studie I), ověřují použití metody při zjišťování závislosti změn reologických vlastností na věku (Studie II) a podporují využití metody i v oblasti fyzioterapie (Studie III).

3.1 Studie I – Metoda TVS a optimalizace postupu zpracování vstupních dat

Relativně nově rozpracovaná metoda TVS – transfer vibration through spine (Jelen et al., 2010; Machač, 2011; Maršík, Zeman, & Jelen, 2010) – vychází z vlastnosti látek přenášet pulzace, které vždy nesou nějakou formu energie. Většinou jde o energii mechanickou. Protože se mechanická energie vlny superponuje s mechanickou energií obsaženou v jednotce objemu látky, je rychlost přenosu vlny, popř. i její útlum, spojen s těmi parametry látky, které hustotu mechanické energie charakterizují, tj. elastické moduly, viskozita, popř. i plasticita.

Při vibračním a dynamickém měření je buditím zařízením generováno určité spektrum vibrací – např. na obratli C₇. Takto vybuzené kmity se šíří podél axiálního systému, kde je snímáno zrychlení trnových výběžků případně dalších určených bodů akcelerometrickými snímači (Obr. 3.1). Vzhledem k tomu, že je páteř uložena ve svalovém obalu, je její pohyb jako celku silně tlumen právě okolní vazivovou tkání. V tomto přiblížení je páteř jako celek považována za buzený a tlumený harmonický oscilátor. Harmonické buzení vnějším generátorem vyvolává odezvu, která silně závisí na elasticitě meziobratlových plotének

a okolních vazivových tkáních a na schopnosti meziobratlových plotének (disků) a okolních vazů a svalů tyto vibrace tlumit.



Obr. 3.1 Přenos kmitů axiálním systémem, detekovaných metodou TVS
(Archiv autora)

3.1.1 Metodický postup zjišťování identifikace změn AS

Zjišťování možností identifikace změn AS vlivem mechanického zatěžování jsme prováděli v pilotní studii na jedné probandce. Postupovali jsme nejprve analytickým způsobem ve spolupráci s Ústavem termomechaniky AV ČR (prof. Ing. Františkem Maršíkem, DrSc.) a sledovali jsme změny reologických vlastností biologických komponent AS jako důsledek různých zátěžových režimů.

V pilotní studii jsme chtěli představit rozpracovanou metodu TVS na analýze jedné vrcholové třináctileté gymnastky. Její zátěžový režim představuje standardně 18–20 hodin tréninku týdně. Pro představení principu a funkčnosti metody TVS jsme zvolili 24hodinový denní režim gymnastky. Detekce dat probíhala ve třech fázích. Před tréninkovou zátěží, bezprostředně po 2,5hodinovém tréninku a následující den před další tréninkovou zátěží. Při analýze dat jsme vycházeli z detekce odezvy AS na budicí signál. Na dorzoventrální straně obratlů (trnových výběžcích Th_1 – Th_4 .) byla jednosložkově detekována velikost zrychlení jako odpověď na budicí signál na obratli C_7 (viz Obr. 3.1).

Výsledkem pak byly průběhy detekovaných amplitud sledovaných obratlů na příslušných frekvencích. Z důvodů zamezení

adaptačních změn v důsledku neuromotorických reakcí organismu na mechanické poměry páteře (van Dieen et al., 2003), bylo aplikováno buzení periodicky rostoucích a klesajících frekvencí od 5 do 180 Hz a naopak. Celý záznamový cyklus trval 3 x 3 minuty, tzn., že byly zaznamenány 3 dvojice rostoucích a klesajících budících frekvencí.

Na AS lze nahlížet jako na soustavu tuhých segmentů, reprezentujících těla obratlů, viskoelastickými segmenty IVD a svalově vazivového aparátu obepínajícího vlastní kosterní systém. Z tohoto pohledu vychází i návrh metod pro hodnocení odezvy AS na zvolený budicí signál.

A. První metoda poskytuje smluvní hodnoty útlumu budícího signálu

podle vztahu: $y = ae^{-bx}$ (1)

kde: a – amplituda, b – koeficient útlumu, x – souřadnice obratlů

Uvedený vztah popisuje očekávaný průběh poklesu amplitudy vlny, která se AS šíří od místa buzení. Pro stanovení odezvy AS na zvolený budicí signál je vyhodnocována velikost veličiny b – *koeficientu útlumu*. Jako smluvní je označena z důvodu nerespektování reálných rozměrů měřené páteře, kdy data z jednotlivých obratlů jsou do grafů, ze kterých je uvedená veličina odečítána, uspořádána podle jejich pořadí od 1 např. do 18. Tento více heuristický přístup ukazuje na viskoelastické vlastnosti AS ale parametry a , b nemají vhodnou interpretaci materiálových parametrů vyšetřované tkáně.

B. Druhá metoda vychází z rozboru kmitání sousedních obratlů, kdy dochází v oblasti rezonance AS ke stojatému vlnění. Cílem je stanovení viskoelastických vlastností prostředí, které je za charakter kmitání odpovědné, tedy IVD. Tato metoda nabízí pro hodnocení odezvy AS na zvolený budicí signál dynamickou viskozitu, tedy veličinu s jasnou fyzikální interpretací. I v tomto případě se jedná o smluvní parametr, kde pro jednoduchost výpočtu uvažujeme stejnou výšku obratlů, tedy $l_1 = l_2 =$

$$l_3 = l_4$$

Uvedený parametr μ , který má fyzikální rozměr viskozity Nsm^{-2} , tj. Pas, je definován vztahem:

$$\mu_2 = \frac{2\rho\omega_r(l_3 + l_4)^3}{(2\pi)^3 l_2} \ln \frac{a_2}{a_1}$$

$$\mu_3 = \frac{2\rho\omega_r(l_3 + l_4)^3}{(2\pi)^3 l_2} \ln \frac{a_3}{a_1}$$
(2)

kde:

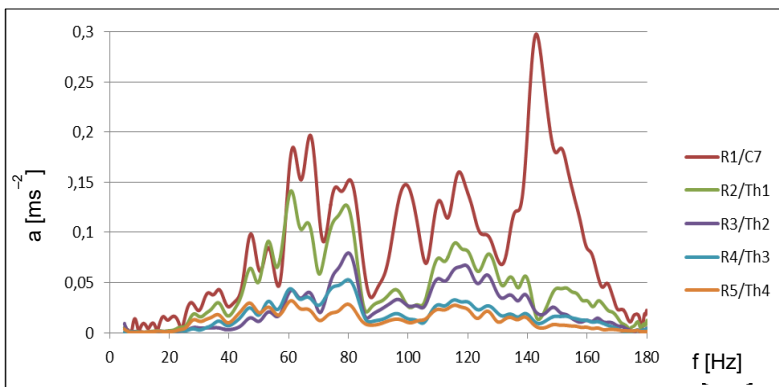
- μ_2 – viskozita tkáně mezi úsekem C_7 a Th_2 – lze předpokládat, že vyjadřuje viskózní vlastnosti IVD mezi obratli Th_1, Th_2 [Pa.s];
- μ_3 – viskozita tkáně mezi úsekem C_7 – Th_3 , vyjadřuje viskozitu IVD mezi obratli Th_1, Th_2 , a Th_2, Th_3 [Pa.s] atd;
- π – konstanta,
- ρ – hustota 1000 [kg.m^{-3}],
- ω_r – rezonanční frekvence [s^{-1}];
- a_i – zrychlení [ms^{-2}],
- i = 1, 2, 3 ...;
- $l_{1,2,3}$ – výšky obratlů [m]

3.1.2 Vyhodnocení studie

A. Zjišťování útlumových charakteristik

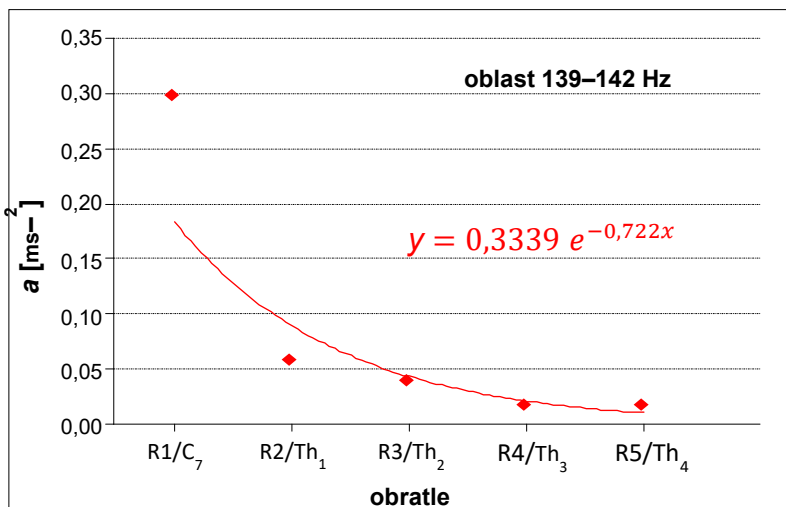
1. Vzhledem ke vztahu (1) předpokládáme, že se AS chová jako prostředí, které tlumí procházející vlnění. Pokles amplitud s rostoucí vzdáleností od místa buzení má exponenciální charakter. Tvar exponenciály – tedy odezva AS – silně závisí na viskoelasticitě IVD, okolních vazivových a svalových tkání a na jejich schopnosti tyto vibrace tlumit.

2. Byla zaznamenána frekvenční odezva jednotlivých sledovaných obratlů gymnastky extrémně zatěžované vrcholovým gymnastickým tréninkem ve třech výše uvedených fázích zátěžového režimu. Na Grafu 3.1 jsou odezvy vybraných obratlů v horní polovině hrudní páteře (Th_1 – Th_4) buzené od C_7 . Sledování vlastností konkrétního úseku AS je možné na kterýchkoli vybraných frekvencích. V našem případě byla zvolena frekvence s největší odezvou na C_7 , tj. cca 140 Hz.



Graf 3.1 Frekvenční odezva AS sledovaného úseku C_7 – Th_4 před zátěží

3. Stanovili jsme smluvní koeficient útlumu b pomocí závislosti velikosti amplitud jednotlivých sledovaných obratlů na rezonanční frekvenci 140 Hz (viz Graf 3.2) daný vztahem (1).



Graf 3.2 Závislost velikosti detekovaných zrychlení na jednotlivých obratlích úseku páteře C_7 – Th_4 před zátěží
koeficient $b = 0,772$, viz 2. řádek Tab. 3.2, strana 18

B. Zjišťování viskozity vybraných obratlů

1. Hodnotili jsme jen buzené obratle, tj. v našem případě C_7 a čtyři obratle sousední, tj. Th_1 – Th_4 .
2. Vytipovali jsme frekvenci, které odpovídá nejsilnější odezva (resonance) na C_7 v měření vzestupném (up) a v měření sestupném (down), např. $\Omega = \omega_{r1} = \omega_1 = 140$ Hz pro C_7 .
3. Odečetli jsme velikosti odezvy pro C_7 , tj. a_1 , kterou jsme považovali za hodnotu referenční, a pro okolní obratle Th_1 , Th_2 , Th_3 , Th_4 zjistili hodnoty a_2 , a_3 , a_4 , a_5 .
4. Ze všech naměřených hodnot jsme vypočetli střední hodnotu

$$\bar{a}_i = \sum_{j=1}^6 a_j \quad (3)$$

5. Podle vztahu (2) jsme vypočetli odpovídající hodnoty viskozit μ_2 , μ_3 , μ_4 , μ_5 .

V Tab. 3.1 jsou zaznamenány odezvy příslušných obratlů ve vzestupném i sestupném režimu měření a dle výše uvedené metodiky stanoveny hodnoty viskozity mezi jednotlivými úseky AS, včetně průměrné viskozity sledovaného úseku hrudní páteře C_7 – Th_4 . Výpočet viskozit byl proveden podle vztahu (2), pro hustotu tkáně $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ a $\omega_1 = 140$ Hz. Pro jednoduchost výpočtu jsme v tomto případě metodologické studie předpokládali, že jsou všechny obratle stejně dlouhé, tedy $l_1 = l_2 = l_3 = l_4$ a že hustota tkáně je rovna hustotě vody. Výsledky konkrétních parametrů viskozity, resp. jejich trend, nebude významně tímto zjednodušením ovlivněn.

Za předpokladu stejných materiálových vlastností IVD podél AS (předpoklad linearity) by útlum odpovídal vztahu (1), útlum vlny v homogenní (dostatečně dlouhé) „tyči“ je exponenciální. Za změnu naměřených hodnot viskozity může vedle různé výšky obratlů a různých vlastností IVD i nehomogenita vazivového krunýře apod. podél AS.

Tabulka 3.1 Hrudní páteř $\omega_1 = 140 \text{ Hz}$ – odezva před zátěží

Obratel	Č.	Měření		Odezva a_i [ms ⁻²]			$\bar{a}_i$	Výška l_i [cm]	$\ln \frac{\bar{a}_i}{a_1}$	μ_i [Pa.s]
C ₇	1	a_1	up	0,28	0,30	0,20	0,215	3,5	0,00	—
			down	0,17	0,22	0,12				
Th ₁	2	a_2	up	0,10	0,06	0,03	0,050	3,5	−1,46	16,2
			down	0,06	0,08	0,06				
Th ₂	3	a_3	up	0,05	0,03	0,03	0,045	3,5	−1,60	8,9
			down	0,05	0,07	0,04				
Th ₃	4	a_4	up	0,04	0,00	0,02	0,030	3,5	−2,04	7,5
			down	0,02	0,03	0,03				
Th ₄	5	a_5	up	0,03	0,02	0,01	0,020	3,5	2,41	6,8
			down	0,02	0,03	0,01				
Průměrná hodnota viskozity úseku Th ₁ –Th ₄										9,9

ω_1 frekvence [Hz]

up zrychlení při rostoucí budící frekvenci

down zrychlení při klesající budící frekvenci

a_i amplituda zrychlení na jednotlivých obratlích [ms^{-2}]

$\bar{a}_i$ průměrná amplituda zrychlení na jednotlivých obratlích při detekci na rostoucích a klesajících frekvencích [ms^{-2}]

l_i výška obratle [cm]

μ_i viskozita [Pa.s]

$\ln \frac{\bar{a}_i}{a_1}$ ekvivalent útlumového koeficientu b

Detekované hodnoty na Th₁ je třeba uvažovat opatrně, protože mohou být ovlivněny blízkostí buzení na C₇.

Stejným způsobem byla vyhodnocena data z ostatních režimů, tzn. ihned **po zátěži a druhý den po nočním** odpočinku, těsně před dalším tréninkem. Dynamika změn hledaných ukazatelů, koeficientů útlumu b a viskozity μ v daných režimech je uvedena v souhrnné Tabulce 3.2.

Tabulka 3.2 Dynamika změn koeficientů útlumu b a viskozity μ vybraného úseku AS v období vrcholového tréninku moderní gymnastky během 24 hodin

před zátěží	up	down	$\bar{b}$	$\bar{\mu}$
1.	0,667	0,604		
2.	0,722	0,474		
3.	0,757	0,531		
$\bar{x}$	0,715	0,536	0,626	9,85
po zátěži	up	down	$\bar{b}$	$\bar{\mu}$
1.	0,484	0,309		
2.	0,310	0,213		
3.	0,26	0,330		
$\bar{x}$	0,363	0,284	0,324	2,15
den po zátěži	up	down	$\bar{b}$	$\bar{\mu}$
1.	0,488	0,455		
2.	0,321	0,382		
3.	0,378	0,338		
$\bar{x}$	0,396	0,392	0,394	3,8

Detekce odezvy páteře v režimech **před zátěží, po zátěži a den po zátěži** ve třech cyklech se vzrůstající frekvencí (up) a ve třech cyklech s klesající frekvencí (down)

$\bar{x}$ průměrná hodnota amplitudy zrychlení

$\bar{b}$ průměrná hodnota útlumového koeficientu

$\bar{\mu}$ průměrná hodnota viskozity

3.1.3 Závěry

Z výsledků detekce a matematického vyhodnocení experimentu je patrné, že vlivem extrémní zátěže (2,5hodinový trénink MG) dochází ke změnám vybraných parametrů mechanických vlastností AS (zde koeficientu útlumu a viskozity). Snížení hodnoty koeficientu útlumu a viskozity je dosaženo poklesem detekovaných amplitud v nastaveném režimu, a to znamená pokles tlumicích schopností AS jako celku. Obě definované veličiny b , μ mají **podobný trend**, kdy obě po zátěži zaznamenají markantní pokles a po odpočinku vzestup.

A. V případě b na 52 % a v případě μ na 22 % výchozí hodnoty, následované mírným nárůstem po cca 18–24 hodinách odpočinku, v případě b na 62 % a v případě μ na 38 % výchozí hodnoty.

B. Nárůst hodnot po odpočinku 18–24 hod. je možné posoudit také vzhledem k *hodnotě po zátěži*. Toto srovnání ukazuje, že po odpočinku narůstá b o 22 % a μ o 78 % hodnoty po zátěži.

Z uvedeného je zřejmé, že definované parametry vykazují různou citlivost na zkoumané projevy a bude je možné výhodně využít např. při lokalizaci patologií v AS nebo míry únavy, resp. odpočinku po např. sportovním výkonu, fyzioterapeutické intervenci apod. (Tento metodický postup byl publikován, Panská et. al., 2016).

3.2 Studie II – Aplikace metody TVS při zjišťování změn reologických charakteristik AS v závislosti na věku

3.2.1 Úvod do problematiky

Tabulka 3.3 Charakteristika souborů a identifikátory reologických vlastností axiálního systému

Muži/ženy	N	Věk [roky]	TH [kg]	TV [cm]	Th ₁ –Th ₁₀ [m]	RF [Hz]	ΔRF [Hz]	Útlum b	μ [Pa.s]	E [GPa]
M	1	24	93	177	0,036	43,84	0,50	0,21	0,77	27,411
M	2	32	110	178	0,036	42,71	0,97	0,44	1,54	26,602
M	3	36	80,1	180	0,036	44,83	0,33	0,22	0,84	30,658
M	4	53	81,9	178	0,036	54,95	0,88	0,08	0,35	44,050
M	5	59	74,4	174	0,035	56,98	0,51	0,16	0,72	43,249
M	6	64	90,0	166	0,033	44,76	0,65	0,24	0,77	22,108
M	7	71	86,0	172	0,035	46,90	0,48	0,17	0,63	27,975
průměr			88,0	175					0,80	31,722
SD			10,7	4,4					0,34	7,904

M muži, $\bar{Z}$ – ženy

TH tělesná hmotnost [kg]

TV tělesná výška [cm]

Th_1-Th_{10} průměrná výška obratle v úseku Th_1-Th_{10}

RF rezonanční frekvence [Hz]

ΔRF rozdíl RF [Hz]

b útlumový koeficient, analytické stanovení parametrů je dáno vztahem 4.6

μ viskozita [Pa.s], analytické stanovení parametrů je dáno vztahem 4.7

E elasticita [GPa], $E = \frac{4\rho}{R^2} \cdot \left(\frac{\omega_T^2}{2\pi} \cdot \lambda^4 + \frac{\mu^2}{4\rho^2} \right)$ viz Příloha č. 7D

SD směrodatná odchylka

Muži/ženy	N	Věk [roky]	TH [kg]	TV [cm]	Th ₁ -Th ₁₀ [m]	RF [Hz]	ΔRF [Hz]	Útlum <i>b</i>	μ [Pa.s]	E [GPa]
Ž	1	21	63	160	0,032	73,38	1,00	0,236	1,16	51,274
Ž	2	32	72,5	173	0,035	77,67	1,14	0,216	1,31	78,524
Ž	3	36	57,4	174	0,035	60,58	1,23	0,293	1,40	48,879
Ž	4	42	61,0	170	0,034	46,40	0,33	0,414	1,45	26,131
Ž	5	59	67,5	171	0,034	59,95	1,36	0,203	0,93	44,659
Ž	6	63	66,3	168	0,034	45,03	1,44	0,213	0,71	23,474
Ž	7	71	68,0	171	0,034	34,60	0,57	0,206	0,53	14,046
Ž	8	69	66,5	168	0,034	53,50	0,88	0,094	0,37	33,581
průměr			65	169					0,98	40,071
SD			4,6	4,1					0,39	19,01

V další pilotní studii (Panská et. al. 2016; 2017) jsme, s využitím metody TVS, sledovali vliv stárnutí na mechanickou odezvu (AS) člověka. Proces stárnutí je nutné vnímat v kontextu zátěžové historie organismu. Tedy s ohledem na intenzitu pracovní, sportovní, případně zdravotní zátěže. Životní styl se tak odráží na stavu organismu, orgánů i tkání samotných.

V případě AS člověka se jedná o posouzení jeho základních reologických parametrů (Youngův modul pružnosti E a viskozita η). Otázkou je, zda lze i přes blíže nespecifikovanou zátěžovou historii vysledovat v lidské populaci trend, podle kterého se vybrané mechanické deskriptory v závislosti na věku mění.

Výzkumný soubor tvořili ženy ($N_z = 8$) a muži ($N_m = 7$) ve věku 21–71 let (viz Tabulka 3.3).

3.2.2 Metody statistického zpracování dat

Vzhledem k malému výběrovému souboru ($N_z = 8$) a muži ($N_m = 7$) a nejasným průběhům predikovaných závislostí byl z hlediska statistického zpracování zvolen neparametrický přístup založený na pořadových statistikách. Konkrétně k vyhodnocení trendu závislosti

reologických parametrů na věku byl použit Spearmanův koeficient pořadové korelace (ρ) který je z definice: $\rho = 1 - \frac{6 \sum_i (p_i - q_i)^2}{n(n^2 - 1)}$ a nabývá hodnot v intervalu $\langle -1; 1 \rangle$, kde:

n – počet hodnot, probandů, p_i – pořadí hodnot jedné proměnné;
 q_i – pořadí hodnot druhé proměnné

Kritické hodnoty pro stanovení statisticky významných korelací byly vypočteny pro hladiny statistické významnosti $\alpha = 0,05$ a $\alpha = 0,1$. Výpočty byly provedeny v programu Statistica.

3.2.3 Vyhodnocení studie

V pilotní studii byla posuzována závislost reologických parametrů u věkově rozdílných probandů. Vzhledem k malému souboru byl k vyhodnocení použit Spearmanův koeficient pořadové korelace (viz předchozí kap.).

Jako statisticky významný lze v závislosti na věku označit trend poklesu viskozity AS u žen ($\rho = -0,76$) a u smíšeného souboru mužů a žen ($\rho = -0,67$), a to na hladině statistické významnosti $\alpha = 0,05$ (viz Tabulka 3.4). Z hlediska závislosti Youngova modulu pružnosti axiálního systému na věku žádný statisticky průkazný trend pozorován nebyl (viz Tabulka 3.4).

Tabulka 3.4 Výpočet Spearmanova koeficientu pořadové korelace

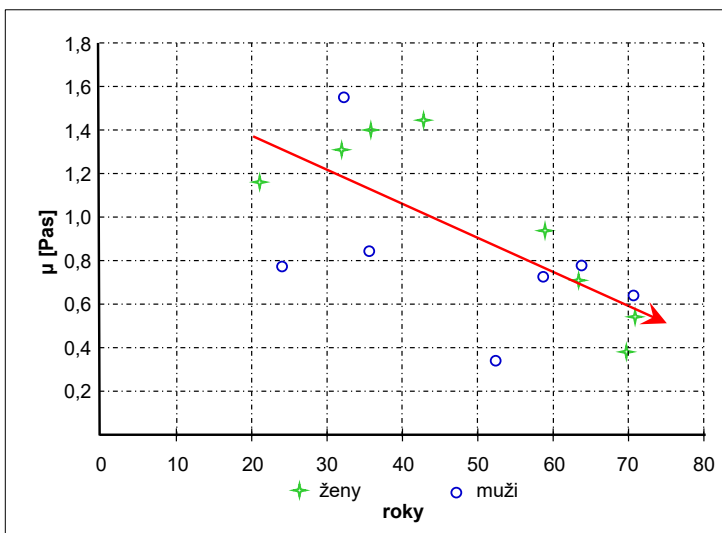
Korelace ($N_{(m)} = 7, N_{(z)} = 8$)					Korelace ($N_{(m+z)} = 15$)				
Pořadí věk	Pořadí μ	Rozdíl μ	Pořadí E	Rozdíl E	Pořadí věk	Pořadí μ	Rozdíl μ	Pořadí E	Rozdíl E
1	4	-3	3	-2	2	7	-5	6	-4
2	7	-5	2	0	3	15	-12	5	-2
3	6	-3	5	-2	6	9	-3	8	-2
4	1	3	7	-3	8	1	7	11	-3
5	3	2	6	-1	9	6	3	10	-1
6	5	1	1	5	12	8	4	2	10
7	2	5	4	3	14	4	10	7	7
$\rho(\mu)$	-0,46		$\rho(\text{krit}) 0,05$	0,79					
$\rho(E)$	0,07		$\rho(\text{krit}) 0,1$	0,71					
1	5	-4	7	-6	1	11	-10	14	-13
2	6	-4	8	-6	4	12	-8	15	-11
3	7	-4	6	-3	5	13	-8	13	-8
4	8	-4	3	1	7	14	-7	4	3
5	4	1	5	0	10	10	0	12	-2
6	3	3	2	4	11	5	6	3	8
7	2	5	1	6	13	3	10	1	12
8	1	7	4	4	15	2	13	9	6
$\rho(\mu)$	-0,76		$\rho(\text{krit}) 0,05$	0,74	$\rho(\mu)$	-0,67		$\rho(\text{krit}) 0,05$	0,52
$\rho(E)$	-0,79		$\rho(\text{krit}) 0,1$	0,64	$\rho(E)$	-0,42		$\rho(\text{krit}) 0,1$	0,45

$\rho(\mu)$ Spearmanův koeficient pořadové korelace u viskozity

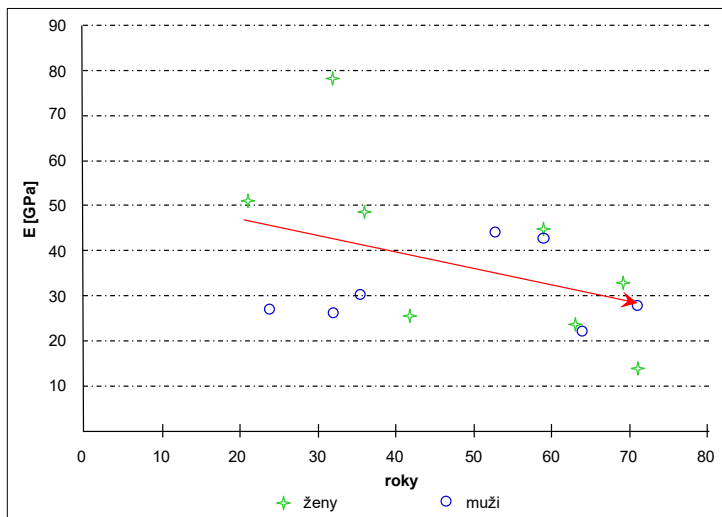
$\rho(E)$ Spearmanův koeficient pořadové korelace u Youngova modulu pružnosti

$\rho(\text{krit}) 0,05$ Spearmanův koeficient pořadové korelace na hladině statistické významnosti $\alpha = 0,05$

$\rho(\text{krit}) 0,1$ Spearmanův koeficient pořadové korelace na hladině statistické významnosti $\alpha = 0,1$



Graf 3.3 Závislost viskozity na věku u smíšeného souboru mužů a žen
Červená šipka naznačuje trend závislosti, který je statisticky významný ($\alpha = 0,05$)



Graf 3.4 Závislost elasticity na věku u smíšeného souboru mužů a žen
Červená šipka naznačuje trend závislosti, který není statisticky významný.

Statisticky významný trend závislosti viskozity na věku se prokázal u smíšeného souboru mužů a žen ($\alpha = 0,05$) viz Graf 3.3. Z hlediska závislosti Youngova modulu pružnosti axiálního systému na věku žádný průkazný trend pozorován nebyl. V Grafu 3.4 červená čára naznačuje efekt trendu, který je pro tento malý soubor statisticky nevýznamný.

3.2.4 Závěry

Na základě získaných výsledků lze vyslovit následující závěry: Viskozita axiálního systému člověka koreluje s jeho biologickým věkem, a to nepřímo úměrně. Youngův modul pružnosti je u konkrétní osoby ovlivněn pravděpodobně historií zatěžování a genetickými faktory spíše než přímo věkem.

Případová studie podporuje myšlenku, že změny biomechanických vlastností pohybového aparátu se významněji projevují ve viskózní než elastické komponentě. Výsledky naznačují, že s rostoucím věkem se hodnota viskózní komponenty axiálního systému snižuje. To podporuje myšlenku, že axiální systém s přibývajícím věkem ztrácí schopnost tlumení vibrací. Přesto posuzování změn stavu axiálního systému musí být v této chvíli poznání přísně intraindividuální (Panská et al., 2016, 2017).

3.3 Studie III – Možnosti objektivní identifikace meniskoidů u funkčních kloubních blokád axiálního systému metodami MRI a TVS

3.3.1 Úvod do problematiky

V této kapitole uvádíme další příklad využití metody TVS ke zjištění, že kloubní blokády krční páteře mohou ovlivňovat reologické vlastnosti páteře – konkrétně snižovat tlumicí schopnosti příslušného segmentu páteře (Pígllová, Panská, Bittner; 2017).

Cílem představené pilotní studie bylo identifikovat meniskoidy krční páteře pomocí obrazové dokumentace MRI *in vivo* a zjistit jejich potencionální roli na vzniku funkčních kloubních blokády axiálního systému (AS) a dále ukázat, jak ***kloubní blokády ovlivňují reologické vlastnosti páteře*** metodou transfer vibration through Spine (TVS).

Funkční kloubní blokáda je běžný klinický termín označující dysfunkci kloubu, která není doprovázená jeho strukturálním narušením. Z dostupných studií je známo, že meniskoidy jsou výběžky kloubního pouzdra a synoviální membrány. Zakládají se již v časně době fetální a nacházejí se ve všech meziobratlových kloubech páteře (Schmincke a Santo 1932, Kos a Wolf 1975). Napomáhají stabilitě kloubu a distribuci tlaků působících v kloubu vyrovnáváním inkongruence kloubních plošek.

3.3.2 Metodika

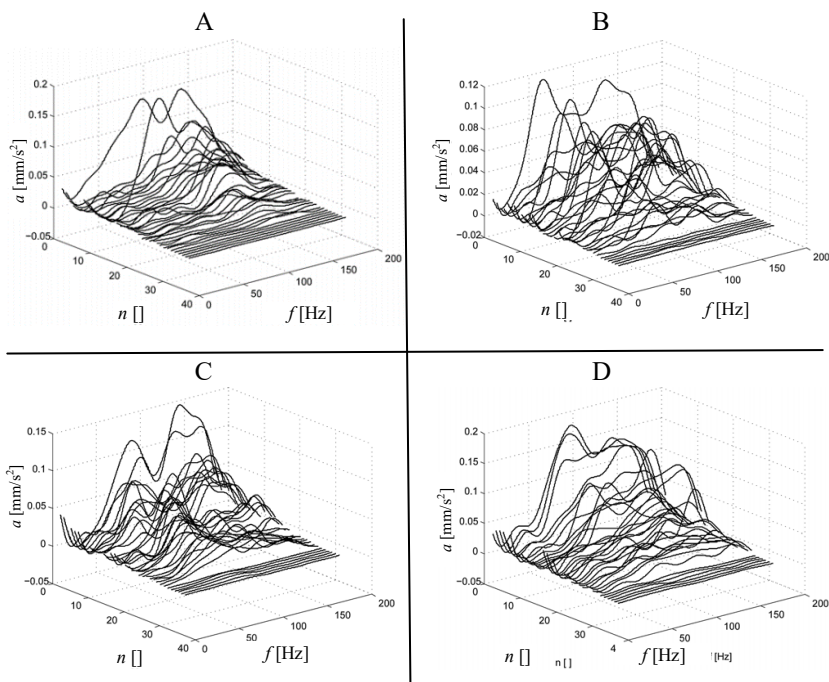
Ve studii byla experimentálně použita metoda MRI pro detekci meniskoidů v krční páteři u skupiny probandů ($N_m = 3$, $N_c = 7$), na kterých se provádělo metodické šetření N_m a komparativní šetření N_c . Tato metodika není dále detailněji popisována, protože není metodou našeho výzkumu.

Metodou TVS byli detekováni stejně, jak je popsáno v kap. 3.1, dva probandi před fyzioterapeutickou manipulací a po této manipulaci směřující k odstranění blokády krční páteře. Detekce dat probíhala mezi C_7 – Occipitus s buzením signálu na C_7 .

3.3.3 Vyhodnocení studie

Souhrnné výsledky z experimentálního šetření ($N_{TVS} = 2$) metodou TVS jsou znázorněny v Grafech 3.5, A, B, C, D. Z nich vyplývají následující zjištění: U obou vyšetřovaných je před manipulační léčbou (grafy A, C) patrná nejsilnější odezva obratlů na vibrační zatížení v určitém vymezeném rozmezí budících frekvencí f (viz Tabulka 3.5 na str. 27). Konkrétně u probanda č. 1 je to pásmo 110–150 Hz, u probanda č. 2 pak

pásmo 60–90 a 130–170 Hz. V nich se také nacházejí veškeré rezonanční frekvence ω_r^i zkoumaného systému. Jejich hodnoty jsou shodné s příslušnými budícími frekvencemi f^i a pozičně odpovídají lokálním extrémům jednotlivých křivek. Díky 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 obrátcích zahrnují tři čtvrtiny využívaného frekvenčního pásma.



Graf 3.5 A, B, C, D Porovnání výsledků měření metodou TVS na krčním úseku páteře
 3D grafy zobrazují odezvy (zrychlení a) jednotlivých obrátů v závislosti na budící frekvenci f . Vlevo před manipulací, vpravo po manipulaci, nahoře proband č. 1, dole proband č. 2.

Z toho vyplývá, že po manipulační léčbě došlo k uvolnění jednotlivých segmentů AS a v důsledku této skutečnosti začalo kmitat větší množství sledovaných obratlů na vlastní rezonanční frekvenci. Proměnná n má následující význam: 1 až 6 – měření na C_6 , 7 až 12 – měření na C_5 , 13 až 18 – měření na C_4 , 19 až 24 – měření na C_3 , 25 až 30 – měření na C_2 , 30 až 36 – měření na (Okcip). Rezonanční frekvence ω_r^i se u jednotlivých obratlů zobrazují jako lokální extrémy příslušné křivky.

Ze zjištěných závislostí (Graf 3.5 A, B, C, D) je možné stanovit koeficient útlumu b celého krčního segmentu páteře. Výsledky jsou uvedeny v Tab. 3.5. Z ní je patrné, že u obou probandů po aplikaci manipulační léčby došlo ke zvýšení tohoto parametru. Tento výsledek naznačuje nárůst tlumicích schopností axiálního systému vlivem manipulační léčby.

Tab. 3.5 Změny sledovaných reologických parametrů před manipulační léčbou a po ní

Proband	Před léčbou		Po léčbě	
	pásmo ω_r^i [Hz]	b	pásmo ω_r^i [Hz]	b
č. 1	110–150	0,28	40–160	0,39
č. 2	60–90, 130–170	0,20	50–175	0,47

pásmo ω_r^i – rozsah frekvenčního pásma, kde se rezonanční frekvence ω_r^i vyskytují, b – útlumový koeficient

3.3.4 Závěry

Využitím metody TVS bylo zjištěno, že funkční kloubní blokády ovlivňují reologické vlastnosti AS, konkrétně snižují tlumicí schopnosti příslušného segmentu páteře. V principu lze ze získaných dat odhadnout i viskozitu μ sledovaného úseku krční páteře, případně její změnu. Zde je však nutné podotknout, že tento parametr je kromě jiného závislý na rezonanční frekvenci celého segmentu. Vzhledem k heterogenitě AS jako celku však nelze jednoznačně vybrat takovou rezonanční frekvenci, která

celý systém vhodně charakterizuje. Zvláště patrné to je v případech po manipulační léčbě (Grafy 3.5 B, D). Na uvedených grafech je patrný jednoznačný větší počet vlastních rezonančních frekvencí sledovaného úseku, než před manipulací. ***Zvýšení počtu vlastních rezonančních frekvencí jednotlivých obratlů lze vysvětlit uvolněním příslušných blokád aplikovanou manipulační terapií.*** Proto tento výpočet jednoznačného určení viskozity v tomto úseku nebylo možné provést.

Využitím metody TVS bylo zjištěno, že manuální terapie funkčních kloubních blokády má vliv na změnu mechanických vlastností AS zejména ***koefficientů útlumu***, které dosahovaly po manipulační terapii ***v případě 1. probanda nárůst o 39 % a v případě 2. probanda dokonce o 135 % oproti výchozím hodnotám.***

4 Intenzita tréninkové zátěže a její krátkodobý vliv na axiální systém u moderních gymnastek

4.1 Úvod do problematiky

Intenzita tréninkové zátěže v moderní gymnastice se různí v závislosti na věku, na výkonnostní úrovni gymnastek, na tréninkovém období (přípravné, závodní, přechodné), kterým gymnastky prochází a dále na jejich individuálních možnostech a schopnostech. Trénink vrcholových gymnastek s délkou trvání cca 150–300 minut/den v našem případě představoval hyperkinetickou zátěž, která se pravidelně opakovala 4–6x týdně během celého ročního tréninkového cyklu.

Tato kapitola je hlavní výzkumnou částí práce s cílem najít odpovědi na vědecké otázky V_3 a V_4 a ověřit hypotézy H_1 – H_3 . Pilotní studie dokazují, že metodou TVS lze změny mechanických vlastností AS identifikovat. Naším hlavním cílem je zjistit, jaký vliv na změny vybraných mechanických vlastností má extrémní zatížení gymnastickým tréninkem a zda lze tyto změny kvantifikovat a vyhodnotit tak, aby bylo možné vyvodit závěry pro tréninkovou praxi s eventuálním doporučením vhodné regenerace a relaxace. Cílem trenérů by měl být takový

tréninkový proces, který by gymnastky zdravotně nepoškozoval a vedl jak k dlouhodobé optimalizaci tréninkové zátěže tak snaze prodlužovat aktivní závodní kariéru gymnastek bez zdravotních obtíží v jejich dalším životě.

Z tréninku vrcholových moderních gymnastek TJ JM Chodov byl pro potřeby výzkumu pořízen videozáznam, ze kterého byly vyhodnoceny přibližné počty poskoků a skoků, představující impaktní zátěž. Dále byl proveden expertní odhad zátěže AS gymnastek při vrcholovém tréninku pomocí standardizovaných metod kinematické a dynamické analýzy pohybu.

4.2 Metodika

Pro identifikaci změn reologických vlastností AS a vyhodnocení intenzity zátěže byly použity následující experimentální metody:

- 1) metoda TVS (viz kap. 3.1);
- 2) software pro vyhodnocování a analýzu vibračních testů heterogenních systémů;
- 3) kinematická a dynamická analýza pohybu využitím:
 - videozáznamu pohybu ve 2D,
 - systému QUALISYS pro analýzu pohybu ve 3D,
 - systému KISTLER, pro analýzu dynamických interakcí člověk – okolí.

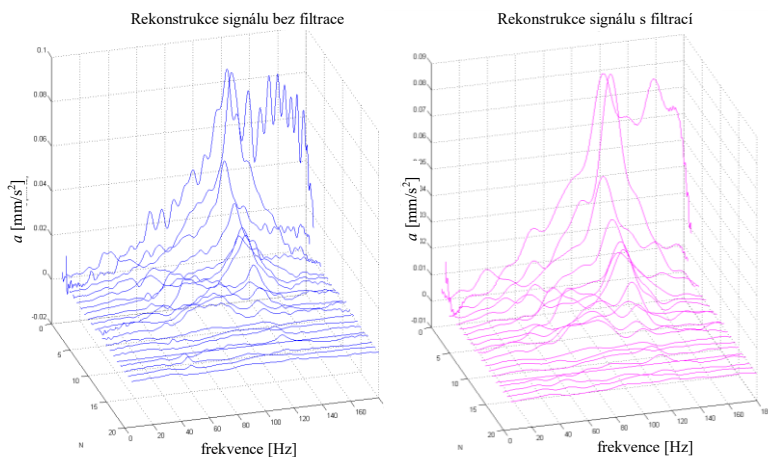
4.2.1 Tvorba softwaru pro zpracování dat metody TVS

Pro následné zpracování a analýzu vícerozměrných datových polí, bylo potřeba vytvořit software, který takto robustní datová pole umožní zpracovat. Komplexní řešení softwaru bylo realizováno ve spolupráci s Mgr. Václavem Bittnerem. Jedná se o vyhodnocování vibrační analýzy heterogenních systémů jako např. odezvy AS člověka v průběhu pohybu. Software je vytvořen na dvou platformách, jednak v prostředí *Matlab*, jednak v prostředí *Visual Basic pro MS Excel*. Software umožňuje

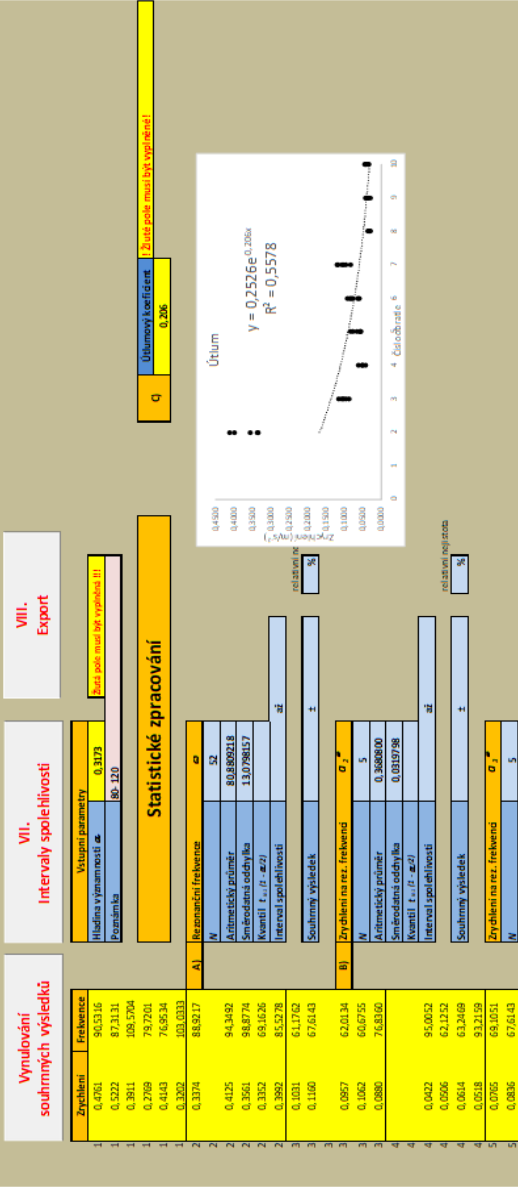
v prvním kroku načíst vstupní data, provést rychlou Fourierovou transformací (FFT) rozklad analyzovaného signálu a jeho zpětnou rekonstrukci (viz Obr. 4.1).

V dalším kroku je na základě volby provedena filtrace dat omezující např. výběr obratlů, výběr rezonančního pásma apod. V posledním kroku je provedeno statistické zpracování dat a určení rezonanční frekvence a koeficientu útlumu sledovaného úseku AS (viz Obr. 4.2)

Tento software je publikován jako open access na webových stránkách UK FTVS/ katedra AB (Bittner, V., Panská, Š., Zeman, J., Jelen, K., 2016). Software pro vyhodnocování a analýzu vibračních testů heterogenních systémů. Praha: KAB/2016/SW5). V autoreferátu uvádíme pouze velmi stručný popis s ukázkami výstupů, podrobně je vše uvedeno v disertační práci.



Obr. 4.1 Ukázka interpretace dat zpracovaných softwarů ze všech čidel bez filtrace dat a s filtrací dat



Závěr

Software umožňuje na základě semiautomatického zpracování odhadnout rezonanční frekvenci a útlumový koeficient sledovaného heterogenního systému. V kombinaci se známou geometrií rozmístění jednotlivých čidel a vhodným reologickým modelem je možné z těchto údajů stanovit hledané materiálové charakteristiky (elasticita, viskozita) studovaného systému. Použití programu MATLAB je pro velké množství zpracovávaných dat mnohem rychlejší a umožňuje znázornění grafů v zobrazení 3D, což je pro lepší pochopení a názornější vizualizaci nespornou výhodou.

4.2.2 Kinematická a dynamická analýza pohybu

Pro stanovení odhadu intenzity zatížení byly dále použity standardizované metody pro kinematickou a dynamickou analýzu pohybu člověka. Videozáznamu pohybu ve 2D, systém QUALISYS pro kinematiku ve 3D a systému KISTLER, pro analýzu dynamických interakcí člověk - okolí. Ke konkrétnímu numerickému vyjádření impaktní zátěže jsme využili výsledků diplomové práce studentky Holasové (2013), která detekovala zatížení kolenního kloubu u moderních gymnastek, které se účastnily i našeho experimentu detekce odezvy AS na mechanickou zátěž pomocí metody TVS (viz Charakteristika souboru kapitola 4.2.3).

Podkladem pro využitou diplomovou práci byla experimentálně naměřená data systémem Kistler, pomocí kterého byla měřena dynamická složka skoku – odrazu i doskoku.

4.2.3 Charakteristika souboru

Výzkumný soubor tvořilo 8 vrcholových gymnastek ve věku 13–15 let, které měly přibližně stejnou tréninkovou historii (věnují se gymnastice cca od 5 let) a stejnou tréninkovou zátěž 18–24 hodin/týdně. Všechna děvčata prošla vstupní anamnézou, základním měřením výšky

a hmotnosti (viz Tab. 4.1) a byla podrobně seznámena s projektem výzkumu. Větší počet vrcholových gymnastek nebylo možné z organizačních důvodů začlenit do našeho výzkumného souboru.

Tab. 4.1 Základní informace o výzkumném souboru

Proband	Věk [roky]	Hmotnost [kg]	Výška [cm]	Výška segmentu Th ₁ –Th ₁₂ [cm]	Výška segmentu Th ₁ –Th ₁₀ [cm]	Výška segmentu L ₁ –L ₅ [cm]	Celková výška páteřního segmentu Th ₁ –L ₅ [cm]	BMI [kg/m ²]
AT	13	40	162	25,7	21,4	14,3	40,1	15,24
BK	13	38	154	24,5	20,4	13,6	38,1	16,02
JV	13	30	143	22,7	18,9	12,6	35,3	14,67
MK	13	44	160	25,4	21,2	14,1	39,5	17,19
JM	14	40	155	24,6	20,5	13,7	38,3	16,65
BH	15	50	162	25,7	21,4	14,3	40,1	19,05
JH	15	54	165	26,2	21,8	14,5	40,7	19,83
NK	15	43	154	24,5	20,4	13,6	38,1	18,13

4.2.4 Charakteristika intervenčního činitele

AS je zatěžován ve všech směrech, jak ve smyslu flexe a extenze, tak i ve smyslu lateroflexe, ale i kombinovaným způsobem, což výrazně zvyšuje nároky na pohyblivost AS. Vysokou impaktní zátěž představuje zejména celá řada různých druhů doskoků po předchozích poskocích a skocích prováděných různými způsoby odrazů. Při těchto typech impaktní zátěže dochází rovněž k výraznému zatěžování AS kompresí. To vede v důsledku např. k dehydrataci IVD a ke změnám reologických vlastností AS např. viskozity, útlumového koeficientu a dalších. Během tréninkové jednotky (2–4 hodiny) jsou stěžejní prvky součástí všech částí tréninkové zátěže, rozcvičení, průpravné i hlavní části a mnohdy i závěrečné části, kdy jsou tyto prvky součástí protahovacích a posilovacích cvičení.

V moderní gymnastice se využívá různých typů skoků. Dle způsobu odrazu a doskoku jsou rozděleny do pěti skupin a jedná se o jednodušší tzv. přípravné skoky odrazem obounož i jednož (např. předskok, cvalový skok aj.) až složitější skoky s různou obtížností spojenou s vysokou úrovní flexibility kyčelních kloubů i AS a případně s různou rotací trupu nebo celého těla. Kromě flexe, extenze a lateroflexe AS dochází velmi často ke kombinovaným pohybům, které způsobují kompresi, tahové nebo smykové zatížení zejména IVD a všech biologických komponent v nejbližším okolí (vazy, šlachy, svaly aj.). Tato extrémní zátěž, bez příslušné kompenzace, může mít nevratné deformační následky např. IVD, které způsobují nemalé zdravotní problémy, předčasné ukončení sportovní kariéry nebo dokonce invalidní následky.

4.2.5 Organizace sběru dat

Přenosová funkce (metodou TVS získané odpovědi, na budicí signál z C₇, jednotlivých trnových výběžků obratlů AS (viz Obr. 3.1 na str. 12 a Graf 3.1 na str. 15) všech gymnastek byla detekována celkem dvakrát ve třech režimech, během čtrnáctidenního časového úseku. Před tréninkovou zátěží, bezprostředně po zátěži a druhý den po odpočinku, těsně před další tréninkovou zátěží. Celkem byla zpracována data ze 48 měření.

Délka odpočinku mezi dvěma tréninky byla u všech sledovaných osob stejná. Charakter odpočinku byl převážně pasivní, večerní hodiny po tréninku byly vyplněny přípravou do školy, sledováním televize nebo četbou. Druhý den dopoledne absolvovaly dívky školní docházku, a tedy klidový sedavý režim. Poté se přemístily na další poslední měření. Stravovací a pitný režim měly gymnastky také velmi podobný. Večer lehká večeře, ráno běžná snídáně (pečivo, jogurt, čaj nebo mléko), ovocná svačina a oběd ze školní jídelny. Dostatečný pitný režim (cca

2 litry/denně) byl zajišťován převážně neochucenou vodou nebo minerálkou.

Odpočinek i stravovací a pitný režim odpovídal běžnému civilnímu režimu, nevyskytly se žádné nestandardní situace, které by významně ovlivnily náš výzkumný postup. Podrobnější popis odpočinkového a stravovacího režimu nebyl monitorován ani vyhodnocován, neboť nebyl předmětem našeho výzkumu.

4.2.6 Metody statistického zpracování dat

V rámci popisné statistiky byly pro dané výběrové soubory dat napočítány ukazatele polohy a rozptylu. Těmi jsou z hlediska parametrického přístupu aritmetický průměr a směrodatná odchylka. Vzhledem k malým rozsahům výběrových souborů dochází k četným narušením normality dat (viz dále). Proto jsou napočítány i neparametrické alternativy. Z hlediska ukazatelů polohy to jsou medián a modus. Z hlediska rozptylu dat se pak jedná o interkvartilové rozpětí (Q75–Q25), maximum a minimum. V tomto smyslu jsou konstruovány i přehledové box-plot grafy. Normalita dat je testována Sharpiro-Wilkovým testem.

V rámci statistického testování hypotéz porovnáváme vzájemně tři skupiny dat. Z designu studie vyplývá, že pro příslušnou mechanickou veličinu máme od každého probanda údaj před zátěží – datový soubor č. I, bezprostředně po zátěži – datový soubor č. II a druhý den po zátěži – datový soubor č. III. K prokázání rozdílu mezi soubory je použita neparametrická tzv. Friedmanova ANOVA pro závislé vzorky. Ke konkrétní specifikaci rozdílů mezi jednotlivými soubory dat je v rámci post-hoc testů využito Wilcoxonův párový test. Pro znázornění statistické významnosti provedených testů je použita tzv. hodnota p-value.

Pro zjištění korelačních závislostí je stejně jako v předcházejícím případě (viz kap. 3.2.1) použit Spearmanovův korelační koeficient. Za statisticky významnou závislost je opět považována ta, kdy absolutní hodnota korelačního koeficientu překročí hodnotu 0,74 $\alpha = 0,05$. Výpočty byly provedeny v programu Statistica.

5 VÝSLEDKY

Kapitola zahrnuje jednak výsledky resp. expertní kvalifikovaný odhad zátěže moderních gymnastek (výzkumného souboru) a jednak experimentální vyhodnocení změn mechanických vlastností AS vlivem hyperkinetické zátěže.

5.1 Kinematické a dynamické charakteristiky vybrané impaktní zátěže experimentálního souboru – expertní odhad

Jak již bylo výše uvedeno, stěžejní pohybové tvary se prolínají celou tréninkovou jednotkou. Pro potřeby této analýzy byl využit videozáznam pohybu ze standardní tréninkové jednotky.

Malé poskoky a skoky odrazem jednož i snožmo jsou součástí zejména rozvíčovacího (zahřívacího) procesu, kde se počet provedených skoků pohybuje okolo 50–70 skoků za tréninkovou jednotku. Velké skoky s maximálním pohybovým rozsahem jsou součástí všech volných sestav a gymnastky je provádějí samozřejmě i v rámci rozvíčení v počtu cca 50 skoků. V každé sestavě gymnastka zařazuje zpravidla 2 velké skoky obvykle odrazem jednož (dálkový skok, „ronda“ aj.) s pohybem trupu nebo bez pohybu trupu. Během tréninkové jednotky vystřídá 3–4 sestavy s různým náčiním a počtem opakování 3–4x každé sestavy tzn., že provede cca 9–16 sestav (počet záleží na momentálních zdravotních dispozicích gymnastky, na časových a prostorových možnostech). Pokud budeme uvažovat, že gymnastka zařadí 2 skoky v každé sestavě a cca 50 skoků v rozvíčení dostaneme se k počtu 68–80 velkých skoků během jedné tréninkové zátěže. V týdenní zátěži to představuje až 480 skoků, během měsíční zátěže pak až 1900 skoků a uvažujeme-li cca 10měsíční tréninkový proces, dostaneme se až k počtu 19 000 skoků za rok.

Pro potřeby disertační práce a pro expertní odhad zatížení uvádíme výsledky analýzy pouze nejužívanějších typů skoků, a to jsou zejména

skoky odrazem jednonož z jedné a doskokem na stejnou nohu s rotací o 180° případně 360° . Dále pak skoky odrazem z jedné a doskokem na druhou nohu s rotací o 180° , případně 360° , kdy je zatížení zejména kolenního kloubu největší. Dosahuje hodnot až 2200 N jako reakce dolní končetiny s deskou KISTLER, tj. až pětinasobek tíhové síly gymnastky (při hmotnosti cca 50 kg), která se přenáší do kolenního kloubu. Dále pak momentové zatížení v kolenním kloubu dosahuje až 2400 Nm (Holasová 2013).

V rámci expertního odhadu tréninkového zatížení v moderní gymnastice jsme uvedli názorný jeden příklad extrémního zatížení kolenního kloubu u dvou gymnastek, přes něž se impaktní zátěž přenáší i na celý AS. Oproti chůzi, kde obecně zatížení představuje hodnoty kolem 1G, je doloženo, že hodnoty impaktní zátěže, kterou představují v experimentu uváděné skoky, je 2–3x vyšší v některých případech až 5x vyšší. Tato impaktní zátěž v celkovém součtu prováděných skoků během celoročního tréninkového procesu představuje 2–5 násobek zatížení pohybového systému člověka a jeho AS oproti civilnímu režimu – běžné lokomoci – s expozicí až 19 000 opakování za rok.

5.2 Vyhodnocení změn mechanických vlastností vlivem hyperkinetické zátěže

Pro zpracování výsledků bylo nutné provést výpočty antropologických parametrů potřebných pro statistické výpočty a pro výpočty některých mechanických vlastností AS (např. E – modul pružnosti, μ – viskozita). Na základě provedené detekce základních parametrů výzkumného souboru (viz Tab. 4.1 na straně 33) byla zjištěna data uvedená v následující Tab. 5.1.

Tab. 5.1 Antropometrická data výzkumného souboru

Antropometrie								
	Věk [roky]	TM [kg]	TV [cm]	BMI [kg/m ²]	Segment Th [m]	Segment L [m]	Délka Th ₁ –L ₅ [m]	Segment [m]
Průměr	13,9	42,4	156,9	17,1	0,0208	0,0277	0,35	0,0208
SD	0,9	6,9	6,5	1,7	0,0009	0,0011	0,12	0,0009
Medián	13,5	41,5	157,5	16,9	0,0209	0,0278	0,39	0,0208
Q₇₅–Q₂₅	2,0	10,0	8,0	3,4	0,0010	0,0014	0,02	0,0011
Maximum	15,0	54,0	165,0	19,8	0,0218	0,0290	0,41	0,0218
Minimum	13,0	30,0	143,0	14,7	0,0189	0,0252	0,04	0,0189
Modus	13,0	40,0	162,0	–	0,0214	0,0285	0,40	0,0214

TM tělesná hmotnost[kg]

TV tělesná výška[cm]

BMI body mass index[kg/m²]

segment Th průměr výšky segmentů hrudních obratlů Th₁–Th₁₂ [m]

segment L průměr délky segmentů bederních obratlů L₁–L₅ [m]

Q₇₅–Q₂₅ interkvartilové rozpětí

SD směrodatná odchylka

Výzkumný soubor (8 gymnastek) byl podroben detekci odezvy AS během různých pohybových režimů (před, bezprostředně po tréninkové zátěži a druhý den před dalším tréninkem) metodou TVS tak, jak bylo podrobně popsáno v kapitole 3.1.

Detekovaná vstupní data z jednotlivých měření byla zpracována pomocí vytvořeného softwaru. Identifikované a dopočítané parametry výzkumného souboru z obou měření jsou uvedené v Tab. 5.2 a 5.3

Tab. 5.2 Detekované a vypočtené parametry výzkumného souboru v různých pohybových režimech, 1. měření

1. měř.	Před				Po				Den po			
ID	RF [Hz]	<i>b</i> []	μ [Pa s]	E [GPa]	RF [Hz]	<i>b</i> []	μ [Pas]	E [GPa]	RF [Hz]	<i>b</i> []	μ [Pa s]	E [GPa]
AT	100	0,23	0,70	19	96	0,15	0,44	17	117	0,24	0,84	25
BH	96	0,22	0,63	17	93	0,23	0,63	16	71	0,22	0,45	9
BK	84	0,29	0,66	11	69	0,15	0,28	7	–	–	–	–
JH	47	0,62	0,89	4	93	0,29	0,82	17	53	0,50	0,83	6
JM	79	0,31	0,67	10	95	0,14	0,36	14	55	0,21	0,32	5
JV	60	0,23	0,31	4	57	0,15	0,20	4	64	0,23	0,34	5
MK	80	0,28	0,65	11	79	0,18	0,41	11	72	0,18	0,37	9
NK	62	0,17	0,28	6	99	0,16	0,43	15	98	0,19	0,50	15

Tab. 5.3 Detekované a vypočtené parametry výzkumného souboru v různých pohybových režimech, 2. měření

2. měř.	Před				Po				Den po			
ID	RF [Hz]	<i>b</i> []	μ [Pa s]	E [GPa]	RF [Hz]	<i>b</i> []	μ [Pas]	E [GPa]	RF [Hz]	<i>b</i> []	μ [Pa s]	E [GPa]
AT	94	0,22	0,61	17	92	0,1	0,26	16	124	0,3	1,09	29
BH	61	0,3	0,55	7	96	0,23	0,66	17	99	0,27	0,8	18
BK	76	0,33	0,67	9	94	0,15	0,37	14	100	0,2	0,53	15
JH	60	0,34	0,63	7	111	0,24	0,81	25	98	0,32	0,97	19
JM	103	0,22	0,61	17	90	0,16	0,39	13	134	0,17	0,62	28
JV	94	0,29	0,64	10	146	0,18	0,59	24	79	0,22	0,4	7
MK	94	0,41	1,12	16	96	0,17	0,47	16	100	0,26	0,76	18
NK	84	0,22	0,5	11	109	0,09	0,27	18	96	0,14	0,37	14

ID identifikace probanda (iniciály jména)
RF rezonanční frekvence
b útlumový koeficient
 μ viskozita [Pa s]
E modul pružnosti [GPa]

Krátkodobý vliv hyperkinetické zátěže na RF a útlumový koeficient jsou uvedené v Tab. 5.4. a 5.5.

Tab. 5.4 Krátkodobý vliv hyperkinetické zátěže na parametry RF a b – nepřímé ukazatele reologických vlastností

TVS						
	Před		Po		Den po	
	b []	RF [Hz]	b []	RF [Hz]	b []	RF [Hz]
Průměr	0,29	80	0,17	95	0,24	91
SD	0,10	17	0,05	18	0,08	24
Medián	0,29	82	0,16	95	0,22	98
Q75–Q25	0,11	33	0,07	8	0,08	29
Max	0,62	103	0,29	146	0,50	134
Min	0,17	47	0,09	57	0,14	53
Modus	–	–	–	–	–	–
S–W (p-value)	0,002	0,206	0,224	0,030	0,007	0,475

Tab. 5.5 Krátkodobý vliv hyperkinetické zátěže na parametry E a μ – přímé ukazatele reologických vlastností

TVS						
	Před		Po		Den po	
	μ [Pa s]	E [GPa]	μ [Pa s]	E [GPa]	μ [Pa s]	E [GPa]
Průměr	0,63	11	0,46	15	0,61	15
SD	0,19	5	0,18	5	0,24	8
Medián	0,63	10	0,42	16	0,53	15
Q75–Q25	0,11	9	0,32	4	0,46	12
Max	1,12	19	0,82	25	1,09	29
Min	0,28	4	0,20	4	0,32	5
Modus	–	–	–	–	–	–
S–W (p-value)	0,034	0,173	0,203	0,243	0,137	0,182

b útlumový koeficient
RF rezonanční frekvence
S-W Sharpiro-Wilkův test normality

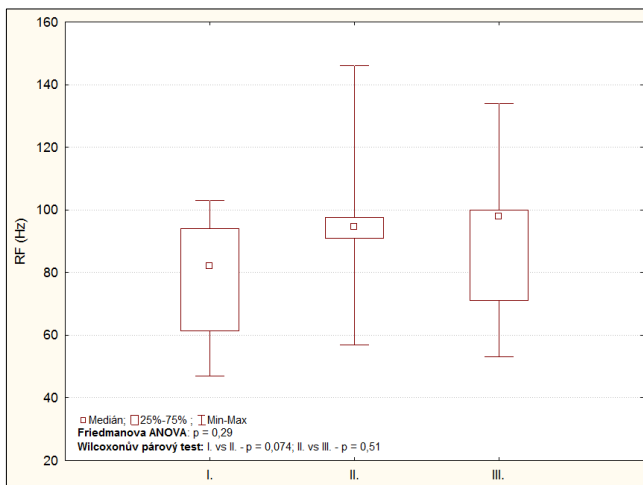
Stejně jako v pilotní studii (Studie I) se prokázalo, že hodnoty koeficientu útlumu *b* i μ po extrémní tréninkové zátěži klesají a po odpočinku (relaxaci) se postupně vrací zpět k původním hodnotám. Korelace mezi přímými a nepřímými ukazateli reologických vlastností je uvedena v Tab. 5.6.

Tab. 5.6 Korelace mezi přímými a nepřímými ukazateli reologických vlastností

Spearmanův korelační koeficient []				
N = 21	RF [Hz]	<i>b</i> []	E [GPa]	μ [Pas]
RF	1			
<i>b</i>	−0,18	1		
E	0,93	−0,06	1	
μ	0,30	0,83	0,43	1

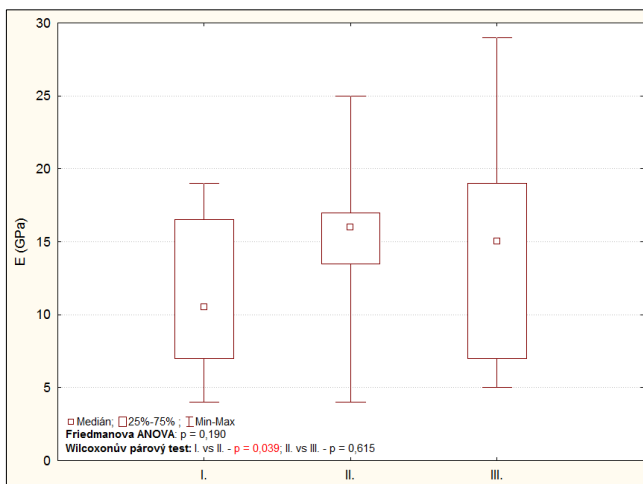
červeně je označena silná závislost (více než 0,74)

Interpretace: Z výše uvedených tabulek lze rezonanční frekvenci RF považovat za nepřímý ukazatel elasticity (tuhosti) systému a koeficient *b* za nepřímý ukazatel viskozity (tlumivosti) systému.



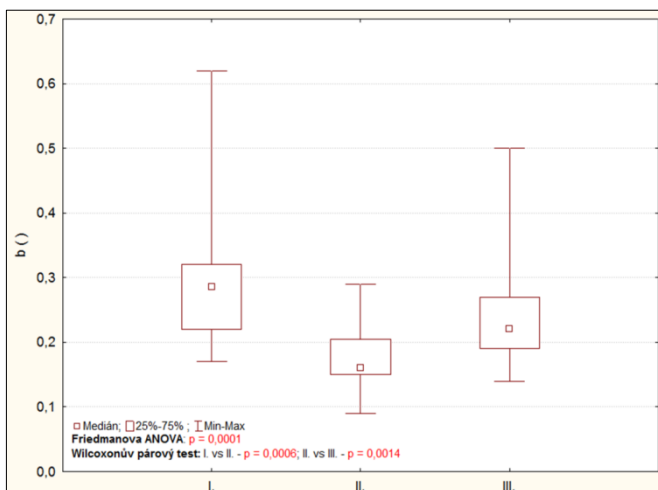
Graf 5.1 Graf závislosti RF mezi datovými soubory

Interpretace: Rozdíl v RF není v mezi datovými soubory I–III statisticky signifikantní.

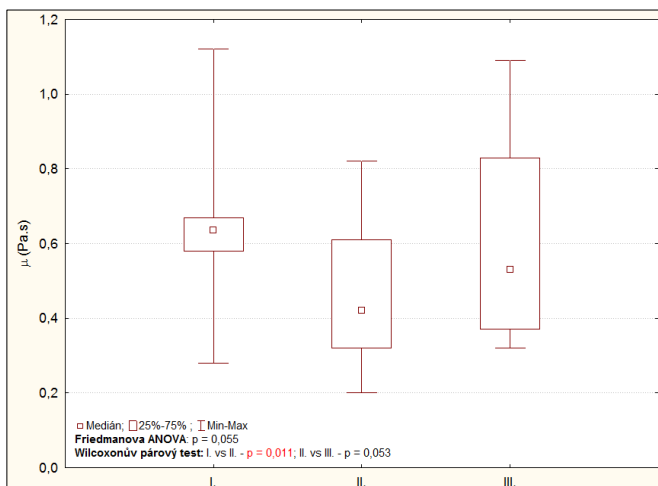


Graf 5.2 Graf závislosti E mezi datovými soubory

Interpretace: Rozdíl v modulu pružnosti E není mezi datovými soubory I–III podle Friedmanovy ANOVY statisticky signifikantní. V rámci post-hoc testu lze za statisticky signifikantní považovat rozdíl mezi souborem I a II. Tuhost páteře bezprostředně po tréninku vzrostla.



Graf 5.3 Graf závislosti datových souborů a koeficientu útlumu b



Graf 5.4 Graf závislosti datových souborů a viskozity μ

Rozdíl v koeficientu útlumu b i ve viskozitě μ je mezi datovými soubory I–III podle Friedmanovy ANOVY statisticky signifikantní. V rámci post-hoc testu lze za statisticky signifikantní považovat rozdíl jak mezi soubory I a II, tak mezi II a III. Lze tedy vyslovit závěr, že po krátkodobém působení hyperkinetické zátěže dochází k signifikantnímu poklesu tlumivých schopností páteře. Po 24 hod regeneraci se ale tato vlastnost vrací směrem k normálu. Uvedené výsledky dobře dokumentují i grafické interpretace (Graf 5.1, 5.2, 5.3, 5.4).

6 DISKUZE A DOPORUČENÍ PRO PRAXI

Jak vyplývá z charakteristiky pohybových režimů gymnastek a z výsledků našeho hlavního výzkumu, jsou AS vrcholových moderních gymnastek dlouhodobě a významně extrémně zatěžovány. Z hlediska požadované výkonnosti jsou 20leté moderní gymnastky již „staré“ na to, aby byly schopny plnit extrémně vysoké požadavky zejména na elasticitu, resp. pružnost, poddajnost jednotlivých komponent AS tak, aby mohly být úspěšné v systému soutěžního hodnocení. Sportovní kariéra elitních (vrcholových) gymnastek tak končí často velmi brzy ještě před dosažením dospělosti. Důvodem toho může být např. pokles vybraných reologických parametrů AS v důsledku zátěže a jejich pomalý návrat k původním hodnotám tak, aby byl AS schopen efektivně absorbovat další požadovaný trénink – zátěž.

Největší nedostatek ve sportovní přípravě mladých gymnastek vidíme v hendikepu vzdělávacího procesu a malé informovanosti trenérů, resp. trenérek. Trenéři neznají exaktní souvislosti týkající se optimalizace zatěžování a vhodné funkční připravenosti gymnastek. Jde o celé období od nejmladšího, resp. předškolního, věku až do dospělosti, a to jak v celodenním režimu, tak v režimu celoroční přípravy. Je nutné ve všech vzdělávacích programech, včetně výuky specializace gymnastických sportů na FTVS UK, upozorňovat na zdravotní rizika vyplývající z dlouhodobého přetěžování a používání nevhodných tréninkových metod ve výcviku zejména mladých sportovců a tato rizika analyzovat a vylučovat. Trenéry na všech úrovních je nezbytné kvalitně připravit i po teoretické stránce, neboť se jedná o práci s živým organismem, který nevhodnými tréninkovými postupy mohou trvale poškodit. V oblasti vrcholového sportu je důležité zdůrazňovat nutnost využití regeneračních a kompenzačních režimů stejně tak jako vhodných výživových a pitných režimů. Jejich absence nebo nedostatek výrazně negativně ovlivňují výsledný požadovaný sportovní výkon.

Velkou roli ve sportovní přípravě gymnastek hrají přirozené (vrozené) pohybové dispozice dětí. Doporučujeme tyto přirozené dispozice vhodně a postupně rozvíjet, aby rizika poškození pohybového aparátu dětí byla vyloučena nebo minimalizována. Děti s menšími pohybovými dispozicemi je nutné zatěžovat pouze do určité úrovně jejich možností, aby ve snaze vyhovět extrémním požadavkům na flexibilitu AS nedocházelo k následnému poškozování biologických tkání. Jejich poškození může vést ke zdravotním obtížím, předčasnému ukončení gymnastických aktivit nebo dokonce i k trvalým zdravotním následkům. Dále doporučujeme se zásadně vyhýbat jednostranné zátěži. AS musí být zatěžován stejnoměrně (symetricky) s dostatečnou kompenzací tak, aby nedocházelo k jednostrannému přetížení směřujícímu např. ke skoliózám páteře, přetěžování IVD jednostrannou kompresí apod. Počty opakování rizikových pohybových tvarů je nutné omezovat zejména při vícefázových tréninkových jednotkách, kde je nedostatečný časový prostor pro potřebnou regeneraci organismu sportovce.

Otázka věkového a výkonnostního vrcholu moderních gymnastek se neustále diskutuje. Přáním všech příznivců gymnastiky je posouvat věkovou hranici směrem k věku vyššímu, aby se mohla naplno projevit ladnost a ženskost pohybu, tak jak je uvedeno ve všech charakteristikách tohoto čistě ženského atraktivního sportovního odvětví. Jsou ojedinělé příklady gymnastek, které si udržely vrcholovou úroveň výkonnosti a účastnily se až čtyřech olympijských her (OH). Při známé četnosti pořádání OH je to kolem 13 let extrémní tréninkové zátěže celého pohybového aparátu, zejména AS gymnastek. Je obecně známo, že se gymnastické aktivity provozují od nejútlejšího věku (4–5 let) a ty nejvíce disponované gymnastky dosahují vrcholové úrovně kolem 12–13 let. Pokud budeme uvažovat, že si tyto gymnastky mohou udržet nejvyšší výkonnostní formu a závodní vrcholovou úroveň ještě dalších cca 10–12 let, pak tomuto extrémnímu zatížení musí jejich organismus,

zejména AS, odolávat téměř 20 let. „Dlouhověkost“ gymnastek je dána zcela jistě nejenom genetickými předpoklady, ale i kvalitně řízenou sportovní přípravou a vším co s ní souvisí. Jedná se např. o lékařské a regenerační zázemí, nutriční poradenství, masérské a fyzioterapeutické služby apod. Hlavním úkolem trenérů, resp. trenérek, by měl být jednak vysoce individuální přístup ke každému jedinci a jednak citlivé sestavování tréninkové náplně s ohledem na délku a intenzitu zatížení, celkový zdravotní stav, únavu a další specifické faktory, které by mohly vést k přetížení nebo zranění. To všechno ale vyžaduje objektivizaci informací o aktuálním stavu AS gymnastek.

U gymnastek, které jsou nuceny ze zdravotních důvodů ukončit předčasně svou gymnastickou činnost jsou zdravotní obtíže známé (Adad Baranto 2009; Kerssemakers et al. 2009; Gouttebarger et al. 2014; Hutchinson, 1999; Tanchev et al. 2000 aj.). U těch, které končí kariéru přirozeným způsobem, není jejich pozdější zdravotní stav oficiálně sledován. Nejsou tedy k dispozici studie o tom, jakými zdravotními obtížemi a v jakém rozsahu bývalé gymnastky trpí. Ve všech uvedených případech by mohla metoda TVS tyto důsledky evidovat a využít jich k optimalizaci tréninkových a regeneračních procesů s cílem předcházet důsledkům přetížení AS v závodní kariéře gymnastek. Je nutné dále poznamenat, že pokud se objektivní ukazatele kvality AS nepřibližují v průběhu regeneračních fází k původním hodnotám, stoupá riziko zvýšeného opotřebovávání biologických tkání AS a zvyšuje se pravděpodobnost úrazu nebo chronických obtíží. Obdobné úvahy platí, samozřejmě, i o gymnastice sportovní a to jak žen, tak mužů.

Z výsledků pilotní studie III už víme, že funkční blokády negativně ovlivňují AS resp. jeho různé segmenty, zejména tlumící schopnosti. K výraznému zlepšení tlumících schopností došlo po manipulační terapii prováděné kvalifikovaným lékařem. Právě fyzioterapeutické, resp. lékařské, zázemí chybí, nebo je využíváno ve sportovní přípravě vrcholových gymnastek velmi zřídka. Pravidelná přítomnost

fyzioterapeuta během tréninkových procesů např. 2x týdně, v případě aktuálních obtíží gymnastek i častěji, by mohla zajistit mnohem šetrnější přístup k pohybovému aparátu, resp. AS gymnastek.

Otázkou je, jak dlouho odblokování páteřních segmentů, tedy i pozitivní vliv manipulační terapie a zlepšené tlumící schopnosti trvají. Délka pozitivních účinku je určitě závislá na mnoha faktorech jako jsou např. pohybové stereotypy, svalové vybavení držící páteřní korzet, psychický stav i stav celého CNS. Pravidelná péče fyzioterapeutů a masérů by se měla stát nedílnou součástí sportovní přípravy gymnastek zejména na té vyšší tréninkové a výkonnostní úrovni, kdy mnohdy gymnastky absolvují i více tréninkových fází denně a čas na regenerační proces je velmi omezen. V současné praxi jsou v gymnastické tréninkové přípravě samozřejmě fyzioterapeuti využíváni, bohužel však až při odstraňování funkčních obtíží gymnastek, a ne jako preventivní opatření.

Impaktní zátěž (poskoky, skoky), jak již bylo dříve popsáno, se promítá do fungování celého AS. Má vliv zejména na snižování jeho tlumících schopností při zvýšené zátěži, což může vést k negativním důsledkům při nedostatečné regeneraci. Ovšem vysoká impaktní zátěž má i velmi pozitivní vliv na kostní metabolismus. Ve všech vědeckých studiích, kde autoři porovnávali hustotu kostní tkáně mezi sportovci různých sportovních odvětví, bylo prokázáno, že moderní gymnastky mají vždy statisticky významně vyšší hustotu kostí než ostatní sportovci (Helge & Kanstrup, 2002; Maimoun et al., 2011; Tournis et al., 2010; Maimoun et al., 2013). Ještě lépe jsou na tom sportovní gymnasti a gymnastky, kteří mají kostní hustotu nejvyšší na všech detekovaných částech těla včetně předloktí, protože ve sportovním výkonu gymnastů je velká impaktní zátěž kladená i na paže. Doporučujeme tedy impaktní činitele zátěže omezovat pouze v případě vícefázových tréninkových jednotek, kdy není dostatečný časový prostor na odpočinek nebo se vyskytují určitá zdravotní omezení (např. po úrazu, velké únavě apod.).

Výsledky práce jsou dílčím krokem v exaktním poznání chování AS člověka z pohledu jeho reakce jako reakce termo-visko-elastického heterogenního biologického systému na hyperkinetickou zátěž. V praxi znamenají výsledky možnost průběžného využití metody TVS pro detekci aktuálního stavu AS člověka, tedy i sportovce. Objektivizace a okamžitý výsledek aktuálního stavu AS popsaného konkrétními hodnotami výsledných veličin, umožní řídit proces zatěžování AS člověka a stanovit jeho limity. Dále pak umožní řízení jeho regeneračních procesů. To bude mít velký význam v optimalizaci tohoto procesu, návratu schopností AS k původním hodnotám resp. k přiblížení k těmto hodnotám, v optimálním případě i k jejich zlepšení.

Speciálně pak v oblasti moderní gymnastiky použití metody TVS umožní včasnou detekci aktuálního stavu AS, která může včas upozornit na nevhodně řízený tréninkový proces (platí obecně i o tréninkových procesech v jiných sportech), jehož důsledkem může být zranění a tím nejen zastavení tréninkové a závodní činnosti, ale i běžného životního procesu z pohledu pohybových činností člověka. Tato doporučení mohou nabýt účinnosti pouze tehdy, pokud by použití metody TVS bylo požadováno trenéry v běžné tréninkové praxi, a to nejen v MG.

7 ZÁVĚRY

Hlavním cílem práce bylo na základě sofistikovaného využití metody TVS zjistit vliv hyperkinetické zátěže na změnu vybraných mechanických vlastností axiálního systému moderních gymnastek.

V souvislosti s vytyčeným cílem a splněnými dílčími úkoly můžeme odpovědět na stanovené výzkumné otázky:

V₁: Lze využít metodu TVS k identifikaci mechanických vlastností axiálního systému?

Pilotními studiemi i hlavní výzkumnou experimentální částí práce bylo prokázáno, že využitím metody TVS lze identifikovat mechanické vlastnosti AS a jejich změny.

V₂: Je metoda TVS schopna identifikovat jak krátkodobé tak longitudinální změny axiálního systému člověka?

Na základě výsledků studie II můžeme konstatovat, že metoda TVS je schopna identifikovat longitudinální změny reologických vlastností v závislosti na věku. S rostoucím věkem se snižuje hodnota viskózní komponenty a to podporuje myšlenku, že AS s přibývajícím věkem ztrácí tlumící schopnosti. Z hlediska závislosti Youngova modulu pružnosti E AS na věku, žádný průkazný trend v našich studiích pozorován nebyl.

Studie III prokázala, že i krátkodobé změny AS jsou použitím metody TVS identifikovatelné a metoda TVS může diagnostikovat např. funkční blokády různých segmentů páteře.

V₃: Jaká je intenzita impaktní zátěže axiálního systému během tréninkové jednotky v moderní gymnastice u gymnastek juniorského věku (13–15 let)?

Impaktní zátěž (při jednom skoku resp. doskoku) dosahuje hodnot až 2200 N jako reakce dolní končetiny detekovaná tenzometrickou s deskou Kistler, tj. až 5ti násobek tíhové síly gymnastky (při hmotnosti cca 40–50 kg), která se přenáší do kolenního kloubu. Dále pak momentové zatížení v kolenním kloubu dosahuje až 2400 Nm. V celkovém součtu

prováděných skoků během jedné tréninkové jednotky (až 80), týdenního tréninkového zatížení (až 480) a celoročního tréninkového procesu představuje 2–5násobek gravitačního zatížení pohybového systému člověka a jeho AS oproti civilnímu režimu – běžné lokomoci – s expozicí až 19 000 opakování za rok.

V₄: Jaký vliv má hyperkinetická zátěž na změnu vybraných mechanických vlastností axiálního systému moderních gymnastek juniorského věku (13–15 let)?

Vlivem hyperkinetické zátěže dochází ke změnám vybraných mechanických vlastností AS moderních gymnastek. Pohybový aparát gymnastek reaguje na tréninkovou zátěž snížením reologických parametrů zejména koeficientu tlumení b a viskozity μ . Po regeneraci resp. odpočinku (druhý den) se uvedené parametry postupně vrací k výchozím hodnotám.

Na základě statistického zpracování můžeme potvrdit všechny tři hypotézy:

Rozdíly – změny v koeficientu útlumu b i ve viskozitě μ jsou mezi datovými soubory I – III (před zátěží – po zátěži – den po zátěži) podle Friedmanovy ANOVY statisticky signifikantní.

H₁: Během hyperkinetické zátěže **dochází** ke statisticky signifikantnímu snížení **koeficientu útlumu** ($\rho = 0,001$ podle Friedmanovy ANOVY) axiálního systému moderních gymnastek.

H₂: Během hyperkinetické zátěže **dochází** ke statisticky signifikantnímu snížení **viskozity** ($\rho = 0,005$ podle Friedmanovy ANOVY) axiálního systému moderních gymnastek.

H₃: V rámci post-hoc testu lze za statisticky signifikantní považovat rozdíl jak mezi soubory I a II, tak mezi II a III což potvrzuje hypotézu a to, že v průběhu regeneračního procesu **dochází** k návratu identifikátorů mechanických vlastností axiálního systému moderních gymnastek směrem k původním hodnotám.

Kromě výše uvedených splněných úkolů v rámci stanoveného cíle byl vytvořen SW pro zpracování vícerozměrných datových souborů. Jeho řešení, kromě programování, vyžadovalo větší množství ručního předzpracování detekovaných dat, analýzu grafických interpretací dílčích výsledků, definování nových požadavků na zpracování signálů a jejich následné mnohačetné testování, které funkčnost uvedeného softwaru před jeho použitím v hlavní studii umožnilo.

8 SEZNAM PUBLIKACÍ AUTORKY

Publikace uvedené v databázi Web of Science

1. PANSKÁ, Š., KLOUČKOVÁ, K., ZEMAN, J. et al. Mechanical loading and aging of a human axial system: identification of connective tissues changes by the means of the TVS method. In: ŠTĚPÁNKOVÁ, H. (eds): *Stárnutí 2012. Conference proceedings*. Praha: Psychiatrické centrum Praha, 2012, p. 100. ISBN 978-80-87142-20-2.
2. PANSKÁ, Š., PÍGLOVÁ, T., ZEMAN, J. et al. Evaluation of Rheological Parameters of the axial aystem using the transfer vibration through spine (TVS) method *Neuroendocrinology Letters*, 2016, **37**(4), 301–307.
3. PÍGLOVÁ, T., PANSKÁ, Š., BITTNER, V. et al. Possibilities of Objective Identification of Meniscoids in Joint Blocks of the Axial System, by MRI and Transfer Vibration through the Spine. *Neuroendocrinology Letters*, 2017, **38**(5), 360–366.

Publikace uvedené v databázi SCOPUS

1. PANSKÁ, Š., BITTNER, V., ZEMAN, J. Trends in the rheological characteristics of the aaxial system of a person depending on age. *Indian Journal of Forensic Medicine and Toxicology*, 2018, **12**(4), 13–19.

Publikace uvedené v recenzovaných časopisech

1. PANSKÁ, Š., PETR, M., JELEN, K. Risks and benefits of hypo/hyperkinetic loading of human musculoskeletal system and its genetic predispositions rhythmic gymnastics. *Acta Universitate Carolinae-Kinanthropologica*, 2011, **47**(2), 126–142.
2. ČERNÁ, J., PANSKÁ, Š., JELEN, K. Hypokinesia: interventional rope-skipping movement programs for children and adolescence. *Acta Universitate Carolinae- Kinanthropologica*, 2011, Vol. **47**(2), 107–116.
3. JELEN, K., PANSKÁ, Š., KLOUČKOVÁ, K., ZEMAN, J., ČERNÁ, J. Odezva axiálního systému člověka na mechanické vlnění detekované metodou TVS (Transfer vibration through spine). *Česká kinantropologie*, 2012, **16**(2), 94–102.

4. BITTNER, V., TUČEK, R., PANSKÁ, Š., SVOBODA, M., JELEN, K. Using the Fourier transform in the analysis of vibration load tests of heterogeneous mechanical systems. *Manufacturing Technology*, 2017, **17**(6), 836–841.

Kapitoly v monografiích

1. PANSKÁ, Š., PETR, M., JELEN, K. The influence of hypo-hyper kinetic loading of the human musculoskeletal system on bone tissue quality and its genetic predispositions In: JELEN, K., TLAPÁKOVÁ, E., ŠORFOVÁ, M., BILLICH, R. *Biomechanical reflection of human hypokinetic stress and its dentificators*. Praha: Karolinum Press, 2013, s. 105–130. ISBN 978-80-246-2182-1.
2. PANSKÁ, Š., ZEMAN, J., JELEN, K. Důsledky stárnutí a mechanického zatěžování na přenosové a útlumové charakteristiky axiálního systému člověka. In: ŠTĚPÁNKOVÁ, H., HÖSCHL, C., VIDOVIČOVÁ, L. *Gerontologie: Současné otázky z pohledu biomedicíny a společenských věd*. Praha: Karolinum Press, 2014, s. 199–215. ISBN 9788024626284.

Autorství softwaru

1. BITTNER, V., PANSKÁ, Š., ZEMAN, J., JELEN, K. Software pro vyhodnocování a analýzu vibrační testů heterogenních systémů. Praha: 2016. UK FTVS. KAB/2016/SW5.

Vedoucí diplomové práce

1. BENETKOVÁ, H. *Kinematická a kinetická analýza skoků ve sportovní gymnastice*. Diplomová práce. Praha, FTVS UK, 2016. Vedoucí práce Mgr. Šárka Panská.

Příspěvky v konferenčních sbornících

1. ŘEZNÍČKOVÁ, J., ŘASOVÁ, K., PANSKÁ, Š., ZEMAN, J. Využití vyšetření přenosu vibrací páteří u zdravých dospívajících dobrovolníků. In: *Fyzioterapia – vzdelávanie a prax. Zborník príspevkov z 1. medzinárodnej vedeckej konferencie*. Bratislava: Slovenská zdravotnícka univerzita v Bratislave, 2015. ISBN 978-80-89702-19-0.
2. PANSKÁ, Š., JELEN, Karel. Rizika a benefity jako odpověď na hypo-hyper kinetické zatěžování člověka – MG. In: SUCHÝ, J. a kol.(ed.). *Scientia Movents 2012*. Sborník příspěvků z mezinárodní studentské vědecké konference konané 27. 3. 2012, s. 417–422. ISBN 978-80-86317-92-2.

3. ŠVECOVÁ, H., PANSKÁ, Š., KUBOVÝ, P., JELEN, K. Senzomotorická odpověď na audiovizuální podnět u dětí mladšího školního věku. In: NOVOTNÁ, V., KRIŠTOFIČ, J., CHRUDIMSKÝ, J. (eds.). *Intervenční gymnastické programy*. Sborník příspěvků z vědeckého semináře Kinantropologie. Praha. FTVS UK, 2012, s. 58–72.
4. PANSKÁ, Š., ČERNÁ-BERÁNKOVÁ, J., KLOUČKOVÁ, K., ZEMAN, J., JELEN, K. Odezva axiálního systému gymnastek na mechanické vlnění detekované metodou TVS (Transfer Vibration through Spine). In: NOVOTNÁ, V., KRIŠTOFIČ, J., CHRUDIMSKÝ, J. (eds.). *Intervenční gymnastické programy*. Sborník příspěvků z vědeckého semináře Kinantropologie. Praha. FTVS UK, 2012, s. 30–31.
5. PANSKÁ, Š., PÍGLOVÁ, T., ZEMAN, J., MARŠÍK, F., LOPOT, F., JELEN, K. Identifikátory mechanických vlastností axiálního systému zjišťované metodou TVS (Transfer Vibration through Spine). In: SUCHÝ, J. a kol.(ed.). *Scientia Moventis 2017*. Sborník příspěvků z mezinárodní studentské vědecké konference konané 7. 3. 2017, s. 307–320. ISBN 978-80-87647-35-6.

Abstrakta v konferenčních sbornících

1. PANSKÁ, Š., PETR, M., JELEN, K. Risks and benefits of hypo/hyperkinetic loading of movement system of man and its genetic condition – rhythmic gymnastics. In: *Pohybové ústrojí*. 2011, **18**(3+4), 305.
2. PANSKÁ, Š., KLOUČKOVÁ, K., ZEMAN, J., MAREŠOVSKÝ, L., JELEN, K. Mechanické zatěžování a stárnutí axiálního systému člověka: identifikace změn pojivových tkání metodou TVS. In: *Stárnutí 2012*. Sborník abstrakt. Praha: 3. LF UK, 2012, s. 29.
3. KLOUČKOVÁ, K., ZEMAN, J., PANSKÁ, Š., JELEN, K. The possibilities of Change Registration of Mechanical Properties of Human Axial System as a Result of Hypo-hyperkinetic Strain Regime. In: *14th Conference Human Biomechanics 2012*. Sborník abstrakt. Třešť: 2012, s. 28.
4. PANSKÁ, Š., ZEMAN, J., BENYOVZSKY, A., PROCHÁZKA, M., JELEN, K. Identification and dynamics of the rheological properties of the human axial system by the TVS method. In: *ISB 2013 Brazil. XXIV. Congress of the International Society of Biomechanics*. Congress Proceedings, p. 191.

Účast na konferencích

1. OTÁHAL, M., OTÁHAL, S., HOJKA, V., ... PANSKÁ, Š., PETR, M. Biological complexity of human movement system – interactive biomechanics. Uspořádání workshopu. *13th Prague Sydney Lublin Symposium*, 16.–20. 9. 2011.
2. PANSKÁ, Š., BITTNER, V., ZEMAN, J., JELEN, K. Trendy reologických charakteristik axiálního systému člověka v závislosti na věku (poster). Studentská vědecká konference *Stárnutí 2016*. 21.–22. 10. 2016. Praha: 3. LF UK, 2016.
3. BENETKOVÁ, H., PANSKÁ, Š., KUBOVÝ, P., JELEN, K. Kinematická a kinetická analýza skoků ve sportovní gymnastice. Konference *Intervenční gymnastické programy*. Praha: FTVS UK, 19. 9. 2016.

9 VÝBĚR ZE SEZNAMU LITERATURY

1. BARANTO, A., HELLSTRÖM, M. Back Pain and MRI Changes in the Thoraco-Lumbar Spine of Top Athletes in Four Different Sports: A 15-Year Follow-up Study. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy: Official Journal of the ESSKA*. 2009, **17**(9): 1125–34.
2. BENYOVSKÝ, A. *Kvantifikace axiálního systému člověka metodou TVS*. Diplomová práce. Praha: FTVS UK, 2014. Vedoucí práce Karel Jelen.
3. FTVS UK. Software pro vyhodnocování a analýzu vibrační testů heterogenních systémů. Původci: BITTNER, V., PANSKÁ, Š., ZEMAN, J., JELEN, K. 2016, KAB/2016/SW5.
4. CICCHELLA, A. Kinematics analysis of selected rhythmic gymnastic leaps. *Journal Of Human Sport & Exercis*. 2009, **4**(1), 40–47.
5. COURTEIX, D., LESPESSAILLES, E., PERES, S. L., OBERT, P., GERMAIN, P., BENHAMOU, C. L. Effect of physical training on bone mineral density in prepubertal girls: a comparative study between impact-loading and non-impact-loading sports. *Osteoporos Int*. 1998, **8**(2), 152–158.
6. ČIHÁK, R. *Anatomie I*. Druhé vydání. Praha: Grada Publishing, a. s. 2011. ISBN 80–7169–970–5.
7. DYLEVSKÝ, Ivan.). *Funkční anatomie* (1st ed. ed.). Praha: 2009. Grada Publishing, a. s. ISBN 978–80–247–3240–4.
8. VAN DIEËN, J. H., SELEN, L. P., CHOLEWICKI, J. Trunk muscle activation in low-back pain patients, an analysis of the literature. *J Electromyogr Kinesiol*. 2003, **13**(4), 333–351.
9. GOUTTEBARGE, V. et. al. Prevalence of Osteoarthritis in Former Elite Athletes: A Systematic Overview of the Recent Literature. *Rheumatology International*. 2015, **35**(3):405–18.
10. HOLASOVÁ, K. Zatěžování kolenního kloubu u moderních gymnastek. Diplomová práce. Praha: FTVS UK. 2013. Vedoucí práce Karel Jelen.
11. HUTCHINSON, M. R. Low back pain in elite rhythmic gymnasts. *Med Sci Sports Exerc*. 1999, **31**(11), 1686–1688.

12. JELEN, K., KLOUČKOVÁ, K., ZEMAN, J., KUBOVÝ, P., FANTA, O. Changes in attenuation characteristics of axial system of pregnant drivers detected by the TVS method. *Neuro Endocrinol Lett.* 2012, **33**(4), 462–8.
13. JELEN, K., ZEMAN, J., KUBOVÝ, P., DRAHORÁDOVÁ, R., HOLUB, T. Dynamic of transfer characteristic of driver's body biocomponents during vehicle driving. In: OTÁHAL, S., KONVIČKOVÁ, S., DENK, F., HOLUB, O. (Eds.), *Spinal complexity and its biomechanical reflection*. Pp. 131–141. Brno. Tribun EU, 2010. ISBN 978-80-7399-910-0.
14. KERSSEMAKERS, SP., FOTIADOU, AN., DE JONGE, MC., KARANTANAS, A H., MAAS, M. Sport Injuries in the Paediatric and Adolescent Patient: A Growing Problem. *Pediatric Radiology*. 2009, **39**(5): 471–84.
15. KOS J. A WOLF J. Význam meziobratlových mensikoidů pro vznik blokády páteře. *Čas. Lék. čes.* 1975, **114**(36), 1099–1101.
16. MARŠÍK, F. *Termodynamika kontinua*. Praha: Academia, 1999. ISBN 978-80-200-0758-2.
17. MARŠÍK, F., DVOŘÁK, I. *Biotermodynamika*. Druhé, revidované vydání. Praha: Academia, 1998. ISBN 80-200-0664-8.
18. MARŠÍK, F., ZEMAN, J., JELEN, K. *Analysis of transmission of vibration trough the spine, measured by TVS method. [Analýza přenosů kmitů na páteři, měřených metodou TVS.]*. Praha: 2010. Faculty of Physical Education and Sport, Department of Anatomy and Biomechanics.
19. PANSKA, S., KLOUCKOVA, K., ZEMAN, J., MARESOVSKY, L., JELEN, K. Mechanical loading and aging of a human axial system: identification of connective tissues changes by the means of the TVS method. In: ŠTĚPÁNKOVÁ, H. (ed.), *Stárnutí/Ageing*. Interdisciplinary conference 3rd Medical Faculty of the Charles university in Prague, October 26–27, 2012. Pp. 100–108. Praha: Psychiatrické centrum, 2012.
20. PANSKÁ, Š., PÍGLOVÁ, T., ZEMAN, J., MARŠÍK, F., LOPOT, F., JELEN, K. Evaluation of rheological parameters of the axial system using the transfer vibration through spine (TVS) method. *Neuro Endocrinol Lett.* 2016, **37**(4): 101–107.

21. SCHMINCKE, A. & SANTO, E. Zur normalen und pathologischen anatomie der halswirbelsaule. *Zentralbl Allg Pathol Anat.* 1932, **55**: 369–372.
22. ROBERTS, S., EISENSTEIN, S. M., MENAGE, J., EVANS, E. H., ASHTON, I. K. Mechanoreceptors in intervertebral discs. Morphology, distribution, and neuropeptides. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1995, **20**(24), 2645–2651.
23. TANCHEV, P.I. et. al. Scoliosis in rhythmic gymnasts. *Spine*. 2000, **25**(11), pp.1367–1372.