

HUMAN BIOMECHANICS 2023



Sborník

**26. – 28. června 2023
Máchovo jezero**

ODBORNÝ PROGRAM KONFERENCE

13:00 Zahájení konference

Sekce A

Pondělí 13:15 – 14:45

Chairman: *prof. RNDr. Matej Daniel, Ph.D., Ing. Adam Kratochvíl*

13:15

Matej Daniel	Homecrisis – living on the edge	6
--------------	---------------------------------	---

14:00

Lukáš Zach	Jak se nezaplést do (konečněprvkových) sítí – biomechanika kloubu v kostkách	6
------------	--	---

14:15

Zdeněk Petřivý (S)	Simulace delaminace tepenné stěny	7
--------------------	-----------------------------------	---

14:30

Katarína Mendová	2v1: Lipozóm ako model bunky/nosič liečiv?	7
------------------	--	---

14:45 – 15:30

Coffee break

Sekce B

Pondělí 15:30 – 16:30

prof. RNDr. Matej Daniel, Ph.D., Ing. Adam Kratochvíl

15:30

Lucia Bednarčíková	Podobarometrické hodnotenie vplyvu špecifickej prípravy pilotov	9
--------------------	---	---

15:45

Jana Pospíchalová (S)	Biomechanická analýza chůze se zevní kolenní ortézou	11
-----------------------	--	----

16:00

Ondřej Zoufalý (S)	Optimisation of 3D printed orthosis	14
--------------------	-------------------------------------	----

16:15

Slavka Čubanová (S)	Vliv ochranných pomůcek na posturální stabilitu těla	17
---------------------	--	----

Posterová sekce

Pondělí 16:30 – 17:30

Chairman: *Ing. Adam Kratochvíl, Ing. Katarína Mendová, Ing. Kristýna Kubášová*

Aleš Jíra	Biodegradabilní vs. konvenční implantáty ve skeletální traumatologii: Studie zatížitelnosti v oblasti vnitřního kotníku	48
Jakub Kronek	Hledání vhodného materiálu pro 3D tisk cévních náhrad	50
Lucia Bizovská	Porovnanie charakteristík chôdze seniorov v laboratóriu a počas bežných denných aktivít	54
Pavla Pelinková	Mechanické vlastnosti tepenných bandáží a cév	55
Jiří Straus	Biomechanické hodnocení pádu z výšky	56
Adam Kratochvíl	Biomechanika reverzní náhrady ramenního kloubu	59
Jana Garanová Krišťáková	Využití IMU senzorů pro pohybovou analýz	
Michal Kopelent	Mechanical properties of Ti6Al4V prepared by selective laser melting method	

Sekce C

Úterý 9:00 – 10:30

Chairman: *doc. Ing. Marek Schnitzer, PhD., Ing. Katarína Mendová*

9:00		
Marek Schnitzer	Súčasný trendy v medicínskej aditívnej výrobe a smerovanie k výrobným nemocniciam	19
9:45		
Miroslav Kohan	Výroba filamentov z vysokoteplotných kompozitných polymérov pre budúce potencionálne mechanické testovanie	19
10:00		
Sylwia Rzepa (S)	Mechanical behaviour of 3D lattice structures made of Ti-6Al-4V manufactured by selective laser melting	20
10:15		
Júlia Bodnárová (S)	Vývoj kraniotomických implantátů s využitím metody aditivní výroby	22
10:30 – 11:15	Coffee break	

Sekce D

Úterý 11:15 – 12:30

Chairman: *doc. Ing. Marek Schnitzer, PhD., Ing. Katarína Mendová*

11:15

Josef Šepitka Micromechanical properties of native ligamentum flavum 24

11:30

Jaroslav Lukeš Mechanical properties as a function of crystallinity of explanted polyethylene cups 26

11:45

Lucie Šilingová (S) Vliv dávky radiace a rychlosti extruze na kolagenní gel využitelný v bioinženýrství 27

12:00

Marika Vopálková (S) Porovnání vlivu vybraných simulačních prostředí s vlivem in vivo podmínek na kolagenní vzorky 28

12:15

Martin Otáhal Vliv prostředí na mechanické vlastnosti buněk 34

Sekce E

Středa 9:00 – 11:00

Ing. Lukáš Zach, Ph.D., Ing. Kristýna Kubášová

9:00

Martin Kožár Aplikačné formy prírodných a syntetických biodegradovateľných materiálov v klinickej praxi malých zvierat 36

9:45

Viktória Rajtúková Metodika biomechanického testovania zubných náhrad 38

10:00

Luboš Řehounek (S) Porovnání napětí mezi implantáty se třmeny a bez třmenů pomocí QCT/FEA 41

10:15

Zbyněk Sobotka (S) Biomechanika cévních aneurysmat 44

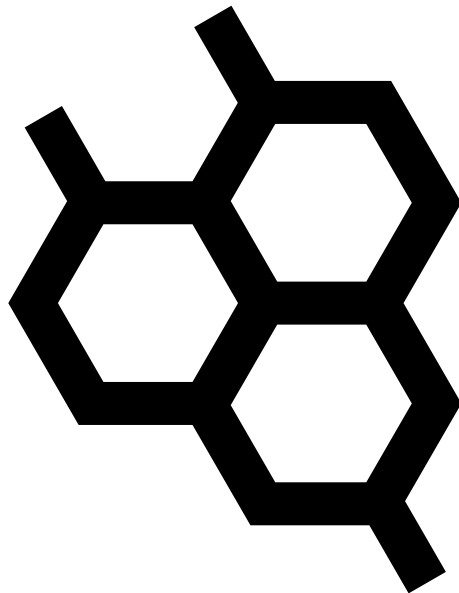
10:30

Kristýna Kubášová Možnosti mechanického testování a hodnocení zlomenin žeber 45

10:45

Veronika Drátovská (S) MKP model prasečího žebra při tříbodovém ohybu 46

SEKCE A



PONDĚLÍ 26. 6. 2023

13:15 – 14:45

Pondělí 26. 6.

13:15

Homecrisis – living on the edge

Matej Daniel^{1*}

¹ Ústav mechaniky, biomechaniky a mechatroniky, Fakulta strojní ČVUT v Praze. Technická 4, 160 00 Praha – Dejvice.

* matej.daniel@fs.cvut.cz

Homeostasis refers to the body's remarkable ability to maintain stable internal conditions in the face of changing external factors. It is a complex process through which biological systems regulate and harmonize various factors to ensure their internal environment remains within a narrow and optimal range for proper functioning. However, you may wonder why the body expends so much energy to uphold this internal constancy. The focus of this lecture is to present biomechanical examples that highlight the advantages of embracing instability. In this perspective, homeostasis can be viewed as a delicate balancing act on the tipping point, allowing the body to respond to external stimuli based on external energy fields. The lecture will provide insightful examples from various aspects of biomechanics, such as walking, running, cardiovascular biomechanics, and cell mechanics. These examples will shed light on how embracing controlled instability can confer advantageous adaptations and enhance overall performance.

Pondělí 26. 6.

14:00

Jak se nezaplést do (konečněprvkových) sítí – Biomechanika kloubu v kostkách

Lukáš Zach^{1*}

¹ Ústav mechaniky, biomechaniky a mechatroniky, Fakulta strojní ČVUT v Praze. Technická 4, 160 00 Praha – Dejvice.

* lukas.zach@fs.cvut.cz

Abstrakt

Jak se nezaplést do konečněprvkových sítí při matematické analýze lidského kloubu? Jak ke komplexní biomechanického úloze přistoupit? I zde v kostkách platí, že nejdůležitější je kvalitní rešerše problematiky, porozumění tématu a schopnost kombinace analytického přístupu a citu pro zjednodušení úlohy.

Tento příspěvek představuje několik klíčových uzlů, ze kterých se musí každý výpočtář vymotat.

Poděkování

Téma bylo prezentováno na konferenci Human Biomechanics 2023.

Literatura

- [1] ZACH, Lukáš. Metodika výpočetních pevnostních analýz vhodných pro vývoj náhrad kolenního kloubu. Praha 2011. Disertační práce. ČVUT v Praze. Fakulta strojní.
- [2] FORTIN, Francis. Hounsfield scale (diagram) [online]. Case study, Radiopaedia.org (cit. 27.4.2023). Dostupné z: <https://doi.org/10.53347/rID-77397>
- [3] FEA Tips - Linear vs Quadratic FE Elements [online]. PressBook Grid Blogs theme, 2023 [cit. 27.4.2023]. Dostupné z: <https://featips.com/2019/03/29/linear-vs-quadratic-fe-elements/>

Pondělí 26. 6.

14:15

Simulace delaminace tepenné stěny

Zdeněk Petřivý^{1*}

¹ Ústav mechaniky, biomechaniky a mechatroniky, Fakulta strojní ČVUT v Praze. Technická 4, 160 00 Praha – Dejvice.

* zdenek.petrivy@fs.cvut.cz

Pondělí 26. 6.

14:15

2v1: Lipozóm ako model bunky/nosič liečiv?

Katarína Mendová^{1*}, Martin Otáhal², Martin Vrbka³ a Matej Daniel¹

¹ Ústav mechaniky, biomechaniky a mechatroniky, Fakulta strojní ČVUT v Praze. Technická 4, 160 00 Praha – Dejvice.

² Fakulta biomedicínského inženýrství ČVUT v Praze, Katedra přírodních věd, nám. Sítňá 3105, Kladno 2.

³ Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav konstruování, Technická 2, Brno.

* katarina.mendova@fs.cvut.cz

Biologické procesy prebiehajúce v živom organizme úzko súvisia s mechanickými vlastnosťami buniek ako sú napr. adhézia, migrácia a podobne. Mechanické vlastnosti bunky súvisia aj s mnohými vonkajšími alebo vnútornými faktormi. Každá bunka je vystavená vonkajším silám, ktoré môžu mať za následok jej samotnú degradáciu. Zmena vnútorného prostredia vyvolaná napríklad vírusovou infekciou alebo malígnym procesom sa môže prejavíť aj v tuhosti bunky. Cieľom našej štúdie je vytvoriť referenčnú bunku (lipozóm) s mechanickými vlastnosťami podobnými živým bunkám a zároveň ich využiť ako nosiče liečiv (viskosuplement) v súvislosti s liečbou osteoartritickej kĺbnej chrupavky.

Podakovanie

Tento výskum bol podporený Technologickou agentúrou Českej republiky TAČR – TM02000084.

SEKCE B



PONDĚLÍ 26. 6. 2023

15:30 – 16:30

Podobarometrické hodnotenie vplyvu špecifickej prípravy pilotov

Lucia Bednarčíková^{1*}, Monika Michalíková¹, Miroslava Barcalová² a Jozef Živčák¹

¹ Katedra biomedicínskeho inžinierstva a merania, Strojnícka fakulta, Technická univerzita v Košiciach; Letná 1/9, Košice, Slovensko.

² Oddelenie akademického športu, Technická univerzita v Košiciach; Vysokoškolská 4, Košice, Slovensko.

* lucia.bednarcikova@tuke.sk

Úvod

Stres je prirodzená funkcia tela, ktorá človeku môže pomôcť prekonať nebezpečné situácie. Všetci ľudia zažívajú stres či už ide o pracovné preťaženie, traumatické životné udalosti alebo náročné situácie. Zatiaľ čo stres je funkciou mysle, má vplyv aj na fyzické zdravie (nervový, kardiovaskulárny, gastrointestinálny a muskuloskeletálny systém), keď je príliš dlho nekontrolovaný. Pravidelná fyzická aktivita, ako je cvičenie, je jednoduchou a lacnou stratégiou, ktorú možno použiť pri zvládaní stresu v každodennom živote.[1][2][3] Vo fenomenologickej štúdii, ktorú vykonal Jong-Ho v roku 2014, na preskúmanie vplyvu fyzického cvičenia na zvládanie stresu u študentov VŠ, sa preukázalo, že telesné cvičenie vo voľnom čase prispieva k efektívnemu zvládaniu problémov zameraného na vyvolanie pozitívnych emócií. Lepšie zvládanie stresu zase môže ovplyvniť reguláciu zdravotného správania, čo vedie k celkovej pohode.[4] Stres môže mať vplyv aj na držanie tela, čo vedie k nerovnováhe rozloženia hmotnosti na chodidlá a členky, vedie k bolesti a zvyšuje riziko zranenia. Pohybová aktivita dokáže pozitívne ovplyvniť aj stav nožnej klenby, najmä pozdĺžnej, ktorá je prioritne udržiavaná svalmi.

Cieľ

Prioritným cieľom výskumu bolo skúmať zvládanie záťažových stresových situácií po autogénnom tréningu a základnom nastavení špirálovej stabilizácie a senzorickej stimulácie chodidla u študentov Leteckej fakulty Technickej univerzity v Košiciach a jeho vplyvu na úpravu klenieb (pozdĺžnej a priečnej) nohy.

Subjekty

Celkovo bolo do štúdie zaradených 19 subjektov, z ktorých sa ale 4 subjekty nezúčastnili kontrolného merania a preto boli zo štúdie vyradené. Sledovaný súbor pozostával z 15 jedincov oboch pohlaví (muži $n=11$, ženy $n=4$) v priemernom veku 19,13 rokov (17 až 26 rokov), s priemernou výškou 177,13 cm a priemernou hmotnosťou 74,20 kg. Participantí boli študenti 1. ročníka bakalárskeho štúdia na Leteckej fakulte Technickej univerzity v Košiciach a zúčastnili sa dobrovoľne na tejto štúdii.

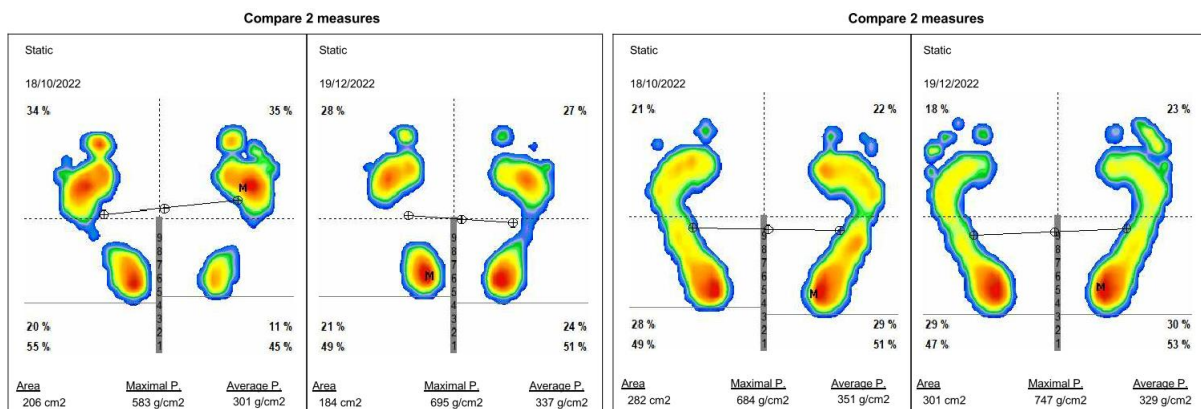
Metódy

Študenti vyplnili dotazník s osobnými základnými údajmi, absolvovali záťažové testy a vstupné diagnostické meranie plantárnych tlakov na chodidlách. Následne sa zapojili do špecifickej prípravy pilotov počas zimného semestra (13 týždňov), ktorá pozostávala z 2 cvičení týždenne v ten istý deň v rovnakom čase a zo samostatných každodenných cvičení v domácom prostredí,

v trvaní 15 minút. Hlavnou náplňou pohybovej terapie bol autogénny tréning, ktorému predchádzala príprava chodidla sensorickou stimuláciou a následná 15 minútová SPS špirálová stabilizácia chrbtice. Po ukončení 13 týždňového bloku pohybového programu participantí znova absolvovali záťažové testy a výstupné diagnostické meranie plantárnych tlakov na chodidlách.

Výsledky

V rámci biomechanického posúdenia plošky nohy sme sa u respondentov zamerali na hodnotenie pozdĺžnej klenby nohy (metódou Chippaux-Šmiřák), priečnej klenby a distribúciu tlakov (symetrizácia zaťaženia) (obr. 1). Zo vstupnej diagnostiky stavu chodidiel vyplývajú nasledujúce údaje. U 4 participantov bola pozdĺžna klenba na oboch chodidlách v norme, 6 participantov vykazovalo určitý stupeň plochonožia (1 stupeň n=5, druhý a viac n=1), vysoká alebo mierne zvýšená klenba bola prítomná u 5 participantov. Priečna klenba bola v norme len u 2 účastníkov a zvyšok súboru vykazoval rôzne hodnoty preťaženia priečnej klenby. Po absolvovaní pohybového programu došlo k úprave pozdĺžnej klenby u 4 subjektov a u 2 subjektov bola zistená vysoká noha (z pôvodne normálnej). Pri hodnotení priečnej klenby došlo k jej odľahčeniu v 8 prípadoch, u jedného došlo k zhoršeniu a v 6 prípadoch ostala klenba v rovnakom stave (z toho v troch prípadoch bola klenba aj pred cvičením v norme).



Obrázok 1 Ukážka vstupného a výstupného podobarometrického merania 2 subjektov

Záver

Subjektívne hodnotenia cvičebného programu participantmi boli pozitívne, boli im prínosom z hľadiska zlepšenia gnostických funkcií vo vzťahu k ich pohybovému systému. Subjekty ocenili prípravu chodidla sensorickou stimuláciou, vďaka čomu vnímali zlepšenie jeho funkcie a elimináciu bolesti pri dlhšej aktivite. Zvládnutím základov SPS špirálovej stabilizácie chrbtice boli schopní zmierniť svalovú disbalanciu tela. Z vyhodnotenia vstupných a výstupných podobarometrických meraní je možné konštatovať úpravu pozdĺžnej klenby, ktorá bola predpokladaná, ale aj priečnej klenby, u ktorej je jej pozitívne ovplyvnenie pohybovou terapiou všeobecne pokladané za nepravdepodobné.

Podakovanie

Táto práca je podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-19-0290 a projektu KEGA 044TUKE-4/2022 Implementácia progresívnych technológií do vzdelávania v oblasti technickej ortopedie a podporu integrácie s praxou.

Literatúra

- [1] JACKSON, E. M.: STRESS RELIEF. ACSM'S Health & Fitness Journal [online]. 2013, 17(3), 14-19 [cit. 2023-05-31]. ISSN 1091-5397. Dostupné z: doi:10.1249/FIT.0b013e31828cb1c9
- [2] HARON-DAVID, H., TENENBAUM, G.: THE EFFECTIVENESS OF EXERCISE INTERVENTIONS ON COPING WITH STRESS: RESEARCH SYNTHESIS. Studies in Sport Humanities [online]. 2017, 22, 19-29 [cit. 2023-05-31]. ISSN 2300-6412. Dostupné z: doi:10.5604/01.3001.0012.6520
- [3] RIZZOLO, D., ZIPP, G. P., STISKAL, D., SIMPKINS, S.: STRESS MANAGEMENT STRATEGIES FOR STUDENTS: THE IMMEDIATE EFFECTS OF YOGA, HUMOR, AND READING ON STRESS. Journal of College Teaching & Learning (TLC) [online]. 2011, 6(8) [cit. 2023-05-31]. ISSN 2157-894X. Dostupné z: doi:10.19030/tlc.v6i8.1117.
- [4] KIM, J.H., MCKENZIE, L.A.: THE IMPACTS OF PHYSICAL EXERCISE ON STRESS COPING AND WELL-BEING IN UNIVERSITY STUDENTS IN THE CONTEXT OF LEISURE. Health [online]. 2014, 06(19), 2570-2580 [cit. 2023-05-31]. ISSN 1949-4998. Dostupné z: doi:10.4236/health.2014.619296

Pondělí 26. 6. 2023

15:45

Biomechanická analýza chůze se zevní kolenní ortézou

Jana Pospíchalová^{1*}, Lukáš Čapek²

¹ Biomedicínské inženýrství, Fakulta zdravotnických studií TUL. Studentská 1402, Liberec.

² Oddělení klinické biomechaniky, KNL. Husova 357/10, Liberec.

* janapospic@seznam.cz

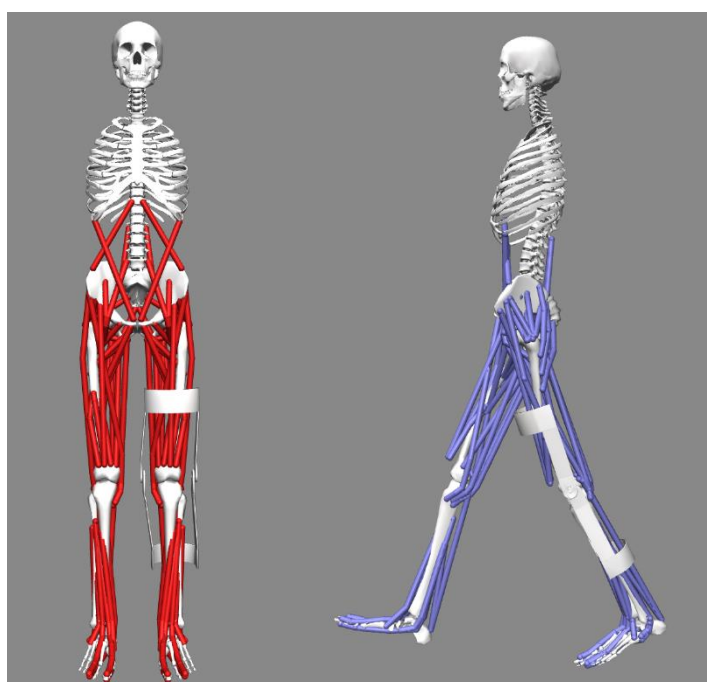
Úvod

Kolenní ortézy jsou nedílnou součástí léčby a preventivním opatřením poranění vazů kolenního kloubu. Jejich vliv na biomechaniku kolenního kloubu a efektivita v léčbě je však stále předmětem diskuzí. Práce se zabývá návrhem postupu a ověřením účinnosti kolenních ortéz za využití pohybové analýzy a muskuloskeletální simulace v softwaru OpenSim. Ke stanovení vlivu a efektivy kolenních ortéz bylo využito kinematických, kinetických dat a sil svalů ovlivňujících přední translaci tibie. Dílčími úkoly byla realizace pohybové analýzy chůze bez/s ortézou a simulace pohybu za použití inverzní kinematiky, inverzní dynamiky a statické optimalizace.

Metodika

Metodika vycházela z odborného článku autorů Haddara, Harandi a Lee [1], jenž pojednává o efektivitě ortéz a jejich dopadu na svalové síly, které ovlivňují přední translaci tibie, a tedy jsou důležité pro mechanismus poranění ACL (Anterior Cruciate Ligament, přední zkřížený vaz). *Musculus quadriceps femoris* a *musculus gastrocnemius* pravděpodobně představují antagonisty ACL, prostřednictvím přední translace tibie přispívají k poranění ACL. *Hamstringy* a *musculus soleus* naopak vystupují jako agonisti ACL, tedy omezují přední translaci tibie. Hypotéza autorů předpokládá zvýšení svalové síly agonistů ACL, a naopak snížení síly antagonistů ACL při chůzi s kolenní ortézou [1].

Výzkum byl uskutečněn v laboratoři analýzy pohybu nacházející se v Krajské nemocnici Liberec a.s. Laboratoř je vybavena optickým systémem firmy Qualisys, silovými deskami firmy Kistler a EMG firmou Delsys. Výzkumu se účastnili dva respondenti mužského pohlaví ve věkovém rozmezí 30–40 let, kteří podstoupili rekonstrukci ACL. Nejprve byla u obou respondentů provedena pohybová analýza chůze bez a s ortézou. Markery byly umístěny na dolní končetiny dle modelu IOR. Kinematická, kinetická a EMG data byla dále převedena pomocí programu Matlab a toolboxu MOtoNMS 2.2 [2] do kompatibilního formátu pro software OpenSim. V OpenSimu byla nejprve uskutečněna rozměrová adaptace muskuloskeletálního modelu pro oba účastníky. Muskuloskeletální model gait2392_simbody autorů Delp et al. [3] byl doplněn o jednoduchou ortézu (Obrázek 1), jež byla vytvořena v programu Autodesk Inventor. Následně proběhla simulace pohybu pomocí nástrojů inverzní kinematika, inverzní dynamika a statická optimalizace. Výstupem z OpenSimu byly soubory obsahující síly a aktivace jednotlivých svalů pro chůzi bez/s ortézou.



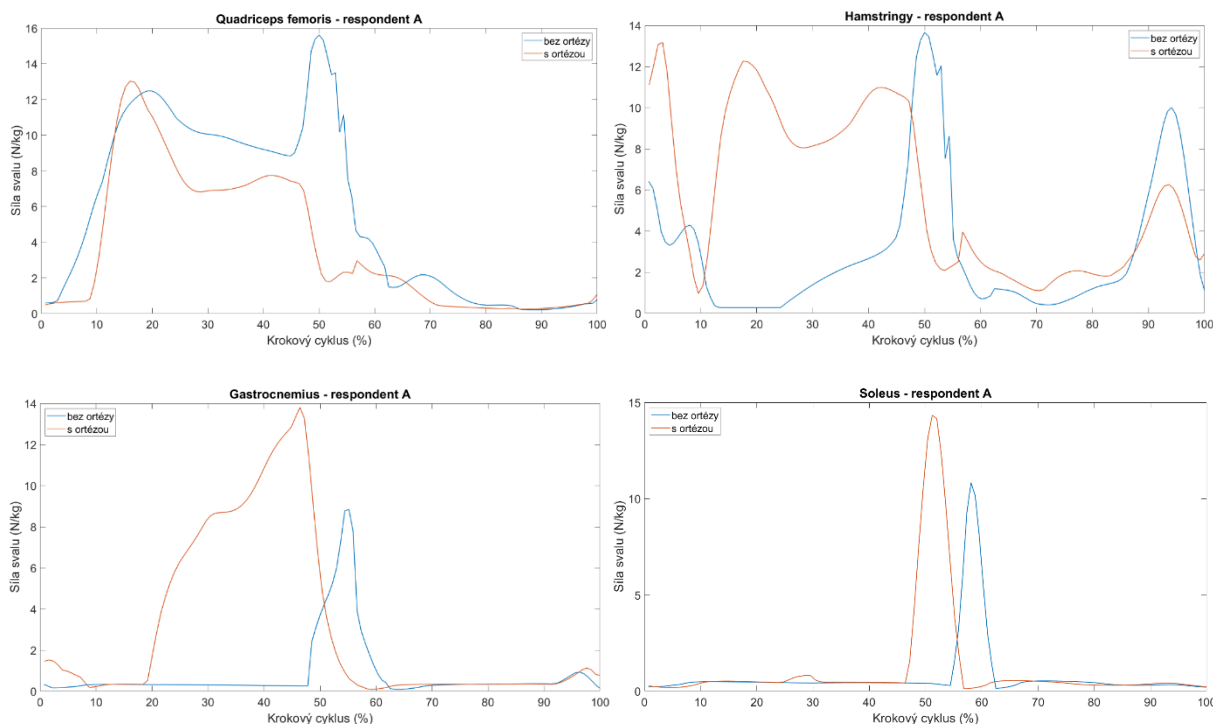
Obrázek 1 Výsledný model s kolenní ortézou (Zdroj: autor, původní model: [3])

Práce je koncipována jako pilotní studie, jejímž účelem je především návrh a realizace postupu v problematice efektivity kolenních ortéz. Zkoumané ortézy vycházely z indikace lékaře pro konkrétního pacienta. U respondenta A se jednalo o sériovou funkční kolenní ortézu Össur CTi-OTS. Respondent A v letech 2010–2013 podstoupil na levé končetině plastiku ACL s následnou rehabilitací, jednalo se o profesionálního sportovce, přičemž při sportu ortézu aktivně používal. Respondent B byl také sportovec po plastice levého předního zkříženého vazy, která byla provedena v únoru 2023. Nyní se nachází ve stádiu rekonvalescence. Byla mu indikována sériová rehabilitační kolenní ortéza DonJoy TROM Advance Telescoping Full, pohyboval se o berlích, byl ale schopný i chůze bez ortézy.

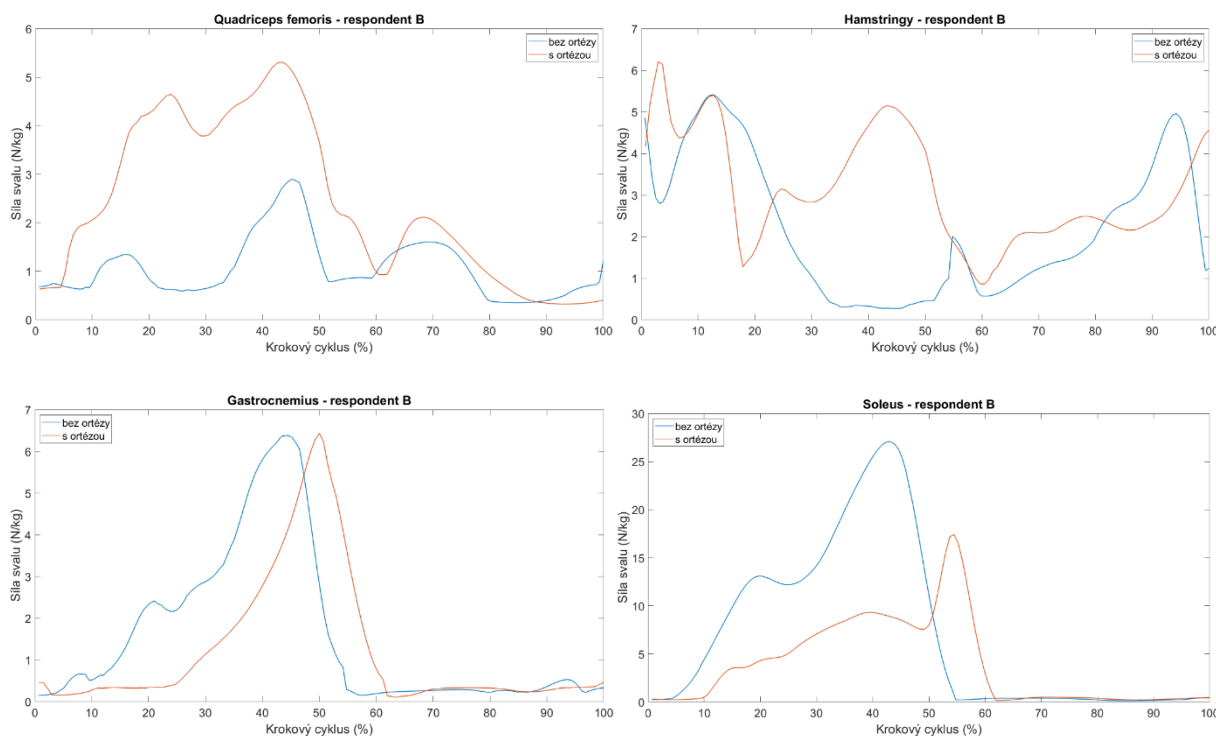
Výsledky

Na Grafu 1 a 2 je vidět porovnání sil vybraných svalů při jednom krokovém cyklu chůze bez/s ortézou pro oba respondenty. Z grafů je patrné, že v případě respondenta A došlo při chůzi s ortézou ke snížení síly *m. quadriceps femoris*, ale také k větší aktivaci *hamstringů*. Svalová síla u *m. gastrocnemius* vzrostla, což platí i pro *m. soleus*. U respondenta B došlo při

chůzi s ortézou ke zvýšení síly *m. quadriceps femoris* a *hamstringů*. Svalová síla *m. soleus* byla naopak nižší než při chůzi s ortézou. Hodnota síly svalů *m. gastrocnemius* se nelišila od pokusu chůze bez ortézy. Analýzou chůze byla získána i kinematická a kinetická data, která lze taktéž využít pro hodnocení efektivity kolenních ortéz. Obě ortézy přispěly ke snížení valgozity kolenního kloubu a k zvýšení addukčního momentu.



Graf 1 Porovnání sil vybraných svalů při jednom krokovém cyklu chůze bez/s ortézou u respondenta A (Zdroj: autor)



Graf 2 Porovnání sil vybraných svalů při jednom krokovém cyklu chůze bez/s ortézou u respondenta B (Zdroj: autor)

Závěr

Funkční a rehabilitační kolenní ortézy mají vliv na biomechaniku kolenního kloubu a lze jim přisoudit spíše pozitivní efekt. Nicméně se jednalo pouze o pilotní studii zahrnující dva respondenty a výsledky nelze brát jako směrodatné. Důležitým aspektem byla proveditelnost navrhované metodiky a nalezení případných limitací. V budoucím zkoumání by bylo možné zapojit dostatečný počet subjektů a využít statistického zpracování dat. Co se týká efektu kolenních ortéz na sílu vybraných svalů, je doporučeno provádět výzkum u jedinců, u kterých je přítomna již fyziologická chůze. U respondenta B došlo při chůzi s ortézou k většímu zatížení kolenního kloubu i změně stereotypu chůze. Respondent B si byl totiž při chůzi s ortézou mnohem jistější a nebál se operovanou končetinu více zatížit. I v tomto případě je ale možné zkoumat svalovou sílu, ale na základě zahrnutí těchto faktorů. Muskuloskeletální modelování má své výhody i svá úskalí. Nutností je přítomnost metody validace dat, jako například porovnání normovaných hodnot EMG s aktivací jednotlivých svalů získaných ze simulace. I přesto kombinace pohybové analýzy společně se *silico* modely má pro budoucnost velký význam.

Literatura

- [1] HADDARA, R., V. J. HARANDI a P. V. S. LEE. Effect of Prophylactic Knee Bracing on Anterior Cruciate Ligament Agonist and Antagonist Muscle Forces During Perturbed Walking. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*. 2021, **9**(2), 1-10. DOI 10.1177/2325967120981641.
- [2] MANTOAN, Alice et al. MOtoNMS: A MATLAB toolbox to process motion data for neuromusculoskeletal modeling and simulation. *Source Code for Biology and Medicine*. 2015, **10**(1), 1-14. DOI 10.1186/s13029-015-0044-4.
- [3] DELP, Scott L. et al. An interactive graphics-based model of the lower extremity to study orthopaedic surgical procedures. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. 1990, **37**(8), 757–767. ISSN 1558–2531.

Pondělí 26. 6. 2023

16:00

Změna kinematiky a dynamiky chůze u pacientů s dětskou mozkovou obrnou

HUMAN BIOMECHANICS 2023

Ondřej Zoufalý^{1*}, Katarína Mendová¹, Jiří Bešťák¹, Matej Daniel¹ a Sylwia Rzepa²

¹ Ústav mechaniky, biomechaniky a mechatroniky, Fakulta strojní ČVUT v Praze. Technická 4, 160 00 Praha – Dejvice.

² COMTES FHT a.s., Průmyslová 995, 334 41 Dobřany.

* ondrej.zoufaly@fs.cvut.cz

Úvod

Chůze u pacientů s mozkovou obrnou (dále jen DMO) se kinematicky i dynamicky liší od chůze zdravého jedince. Příčinou je nedostatečná mobilita svalů anebo přílišný svalový tonus (tzv. spasticita), oba tyto jevy jsou charakteristikou pacientů s DMO. Chůze pacientů s DMO se rozděluje do klasifikací dle typu a stupně postižení. [1]

V rámci projektu byla experimentálně změřena kinematika a dynamika chůze 4 dětských pacientů s DMO, která byla porovnána se vzorkem 36 zdravých dětí. Cílem projektu je navrhnout 3D tištěnou AFO ortézu, která by stabilizovala kotník a pomohla pacientům s DMO napravit vzorec chůze tak, aby se blížil ke standardu zdravého dítěte.

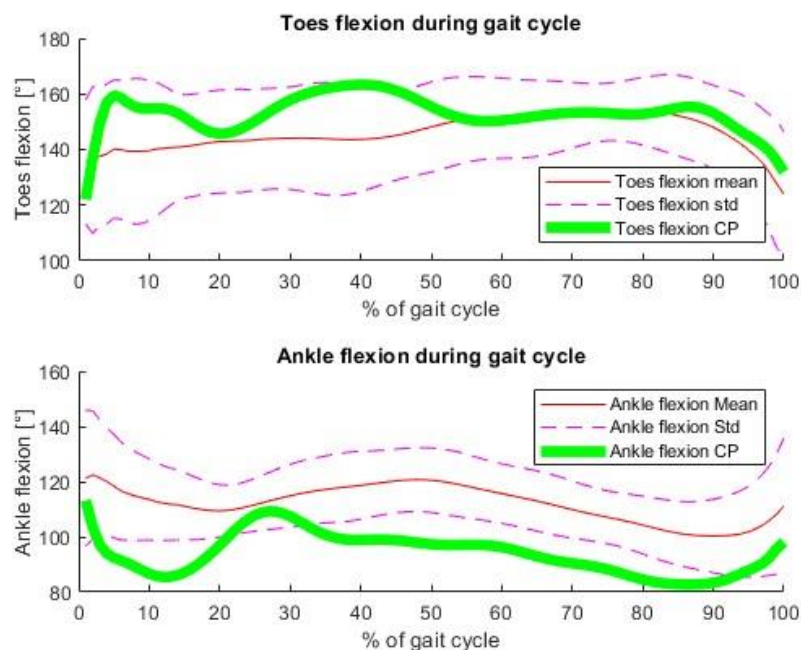
Experimentální měření

Kinematika odvalu chůze se měřila pomocí markerů nalepených na antropometrická místa vysokorychlostní kamerou v medio-laterálním směru. Reakční síla od země byla naměřena pomocí siloměrných desek od značky Kistler.

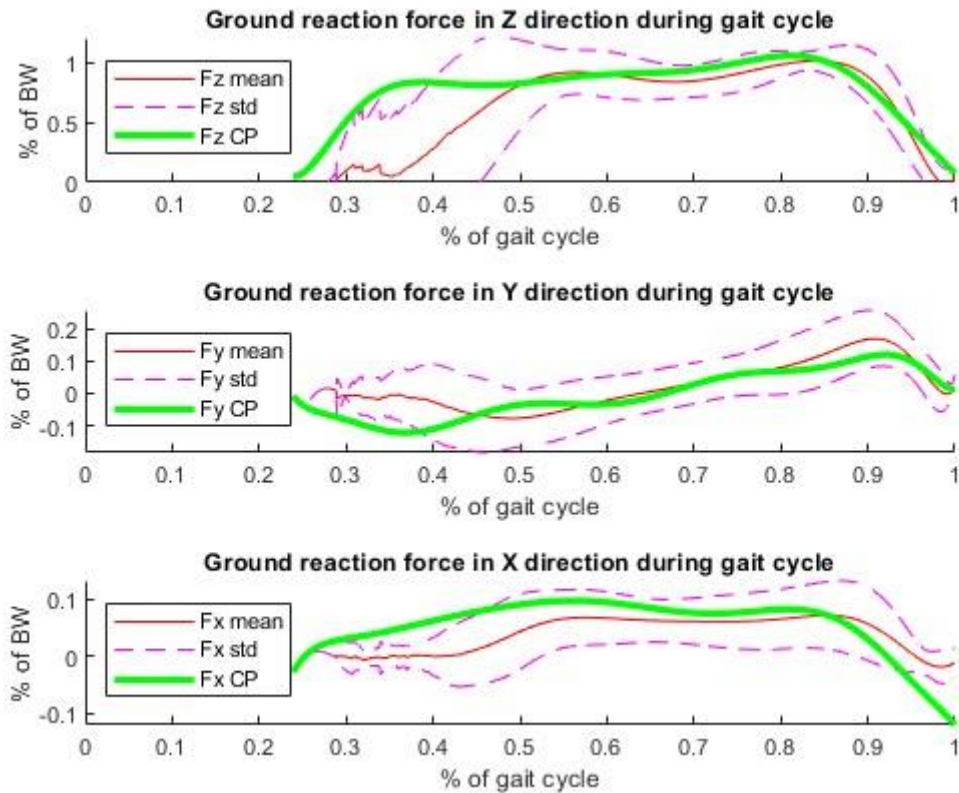
Vyhodnocení měření

Měření bylo vyhodnoceno v komerčně dostupném programu Kinovea, odkud byly exportovány polohy markerů v jednotlivých snímcích. Z polohy markerů byly poté dopočteny úhly prstů na nohou a úhel kotníku v průběhu chůze. Na obrázku č.1 je příklad kinematiky pacienta s DMO v porovnání s kinematikou zdravých jedinců.

Na obrázku č.2 je pak porovnána reakční síla pacienta s DMO se zdravými jedinci. Směr síly Z je ve směru do země, směr síly Y je medio-laterálním směru a směr síly X je anterior-posteriorním směru.



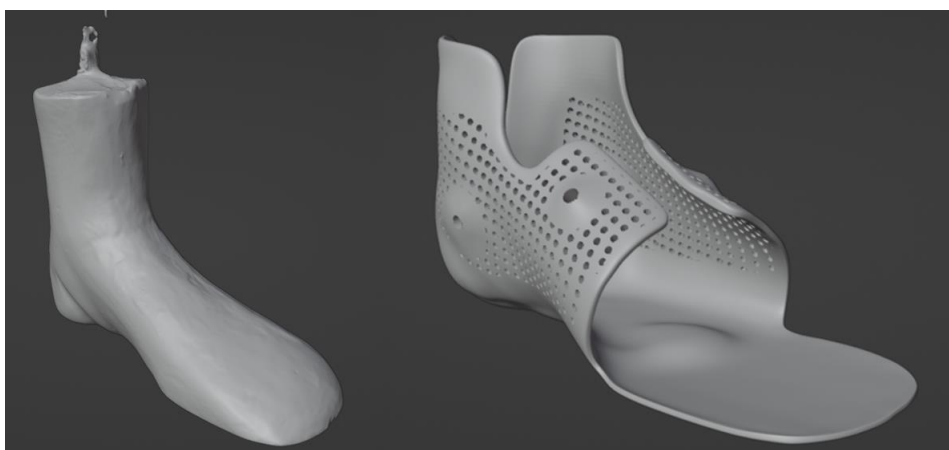
Obrázek 1 Kinematika chůze pacienta s DMO (zeleně) a zdravých jedinců (průměr – červeně, 2*směrodatná odchylka – čárkovaně fialově)



Obrázek 2 Reakční síla při chůzi pacienta s DMO (zeleně) a zdravých jedinců (průměr – červeně, 2*směrodatná odchylka – čárkovaně fialově)

AFO ortéza

V rámci projektu se vyvíjí 3D tištěná AFO ortéza, která by měla pomoci se stabilitou kotníku a podporou chůze. Ortéza je modelována v open-sourcovém programu Blender a výhodou modelování v Blenderu je možnost optimalizace ortézy na nohu daného pacienta. Na obrázku č.3 je model ortézy nafiťovaný na oskenovaný sádrový odlitek nohy pacienta.



Obrázek 3 Oskenovaný sádrový odlitek nohy pacienta (vlevo) a model ortézy nafiťovaný na tento odlitek (vpravo)

Závěr

V příspěvku byla naměřena a porovnána kinematika a dynamika u pacientů s DMO se zdravými jedinci. Měření poslouží pro návrh 3D tištěné ortézy. Následujícím krokem v projektu bude

měření pacientů postižených DMO a srovnání kinematiky a dynamiky chůze bez ortézy a s ortézou.

Poděkování

Tento příspěvek byl podpořen grantem ČVUT č.: SGS22/149/OHK2/3T/12.

Literatura

- [1] DOBSON, Fiona, Meg E. MORRIS, Richard BAKER a H. Kerr GRAHAM. Gait classification in children with cerebral palsy: A systematic review. 2007, 25(1), 140-152. ISSN 09666362. Dostupné z: doi:10.1016/j.gaitpost.2006.01.003

Pondělí 26. 6. 2023

16:15

Vliv ochranných pomůcek na posturální stabilitu těla

Slavka Čubanová^{1*}, Petr Volf¹, Alexandr Karavaev¹ Patrik Kutílek¹

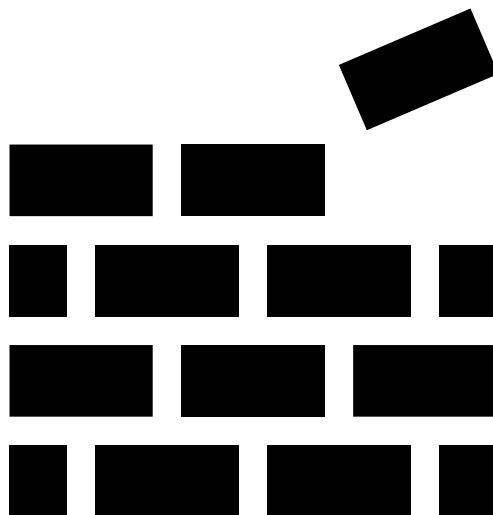
¹ Fakulta biomedicínského inženýrství ČVUT v Praze, Nám. Sítná 3105, 27201 Kladno.

* slavka.cubanova@fbmi.cvut.cz

Abstrakt

Posturální stabilita je schopnost těla udržovat se v požadované poloze a tím zabránit nechtěnému pádu. V této práci jsme se zaměřili na vliv nošení ochranných pomůcek na posturální stabilitu členů IZS. Policisté, hasiči, vojáci – ti všichni jsou nuceni při své práci používat ochranné prostředky, které sice brání případnému zranění, ale znesnadňují pohyb a mohou způsobovat i změnu v posturální stabilitě a to zejména při dlouhodobém nepřetržitém nošení. Zajímalo nás jestli a jak ovlivňuje středně těžká balistická vesta stabilometrické parametry při statickém měření. V pilotní studii jsme provedli 20 měření na zdravých dobrovolnících, členech IZS.

SEKCE C



ÚTERÝ 27. 6. 2023

9:00 – 10:30

Súčasný trendy v medicínskej aditívnej výrobe a smerovanie k výrobným nemocniciam

Marek Schnitzer^{1*}

¹ Katedra biomedicínskeho inžinierstva a merania, Strojnícka fakulta, Technická univerzita v Košiciach; Letná 1/9, Košice, Slovensko.

* marek.schnitzer@tuke.sk

Výroba medicínskych implantátov a bioaditívna výroba sú oblasti s predikciou kontinuálneho rastu minimálne do roku 2024. Uvedený rast predpokladá aj zvýšenie výskumných a vývojových aktivít s evidentnými trendmi v posledných rokoch, ktoré potvrdzujú počty publikácií uvedených v databáze WOS a SCOPUS. Vedecké smerovanie Katedry biomedicínskeho inžinierstva a merania vo výrobe personalizovaných medicínskych pomôcok sa začalo od roku 2008. Po úspešnej realizácii významných projektov, výskumných úloh a synergetickej spolupráci s výrobnou a klinickou praxou bolo navrhnutých, aditívne vyrobených, testovaných a vyrobených viac ako 500 chirurgicky implementovaných personalizovaných implantátov. Na základe úspechov vo výrobe medicínskych pomôcok na mieru bolo systematicky aplikovaných a úspešne riešených niekoľko projektov v oblasti materiálových, konštrukčných a technologických aspektov v odbore.

V prednáške sú prezentované pôvodné výsledky tímu KBlaM získané systematickou výskumnou a vývojovou činnosťou v oblasti biomedicínskeho inžinierstva, najmä orientovaného na materiálové charakteristiky výroby medicínskych pomôcok aplikovaných v implantológii a regeneratívnej medicíne. Dôležitou súčasťou príspevku je popis realizácií vybraných implantátov vrátane klinickej implementácie, prehľad výstupov projektov o vlastnostiach medicínskych materiálov pre aditívnu výrobu, vývoj inteligentných bionických implantátov a smerovanie k výrobným nemocniciam.

Úterý 27. 6. 2023

9:45

Výroba filamentov z vysokoteplotných kompozitných polymérov pre budúce mechanické testovanie

Miroslav Kohan^{*1}, Samuel Lancoš^{1,2}, Tomáš Balint¹, Marek Schnitzer^{1,2}, Jozef Živčák¹ a Radovan Hudák¹

¹ Katedra biomedicínskeho inžinierstva a merania, Strojnícka fakulta, TUKE. Letná 1/9, 042 00 Košice, Slovensko.

² Biomedical Engineering s.r.o., Popradská 56/D, 040 11 Košice, Slovensko.

* miroslav.kohan@tuke.sk

Abstrakt

Cieľom práce bolo určiť vhodné nastavenia výrobných parametrov filamentov pre medicínske aplikácie z jednozložkových materiálov Polyetereterketón (PEEK) a Polyfenylsulfón (PPSU) ako

aj ich kompozitné varianty s 10% hmotnostným podielom Hydroxyapatitu (HA) a Trikalciumpfosfátu (TCP). Filamenty boli vyrobené pomocou zariadenia Filament Maker Composer 450 (3devo, Holandsko). Filamenty boli vyrobené podľa požiadaviek FDM technológie s nominálnou hodnotou priemeru filamentu 1,75 mm. Priemer filamentu bol meraný optickým senzorom a zaznamenaný softvérom DevoVision (3devo, Holandsko) počas celého procesu výroby. Analýza priemeru vyrobených filamentov sa uskutočnila cez popisnú štatistiku. Analýza priemeru vyrobeného filamentu z materiálov PEEK, PEEK + HA + TCP, PPSU a PPSU + HA + TCP ukázala, že namerané hodnoty priemerov filamentov od nominálnej hodnoty (1,75mm) vykazovali minimálne odchýlky ako aj skutočnosť, že neboli prekročené limitné hodnoty (1,85 mm ; 1,65 mm). Z hľadiska priemeru filamentu u všetkých materiálov je možné konštatovať, že vyrobené filamenty spĺňajú požadovaný priemer a preto je ich možné použiť pri FDM technológii. Na vyrobených filamentoch bola vykonaná mikroskopická analýza za účelom zistenia distribúcie HA a TCP. Expertíza bola realizovaná inverzným metalografickým mikroskop Olympus GX71 s fotoaparátom Olympus DP12. Celkový počet skúmaných vzoriek bol $n = 40$, pričom z každého filamentu bolo vybraných 10 vzoriek z náhodných oblastí. Mikroskopická analýza vyrobených filamentov preukázala rovnomernú distribúciu keramickej zložky v kompozitných filamentoch, čo znamená, že výrobný proces neovplyvňuje distribúciu HA a TCP vo filamente.

Kľúčové slová: filament, extrúzia, PEEK, PPSU, HA, TCP

Podakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Otvorená vedecká komunita pre moderný interdisciplinárny výskum v medicíne (OPENMED), kód ITMS2014+: 313011V455, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Úterý 27. 6. 2023

10:00

Mechanical behaviour of 3D lattice structures made of Ti-6Al-4V manufactured by selective laser melting

Sylwia Rzepa^{1*}, Daniel Melzer¹, Jan Džugan¹ and Matej Daniel²

¹ Mechanical testing and thermophysical measurement laboratory, COMTES FHT a.s., Průmyslová 995, Dobřany.

² Institute of Mechanics, Biomechanics, and Mechatronics, Faculty of Mechanical Engineering, Czech Technical University in Prague, Technická 4, Prague – Dejvice.

* sylwia.rzepa@comtesfht.cz

Metamaterials have recently emerged as an interesting class of materials that are distinguished by unconventional properties surpassing the typical interactions observed in mechanical, acoustic, electromagnetic and optical domains. The mechanical metamaterials are designed as networks of interconnected struts creating lattice structures. These materials

offer the ability to customize mechanical properties according to specific requirements, making them applicable in various industries such as aerospace, automotive, and biomedical.

In the field of biomedical applications, conventional metal biomaterials have higher stiffness than natural bones, leading to stress shielding at the bone-implant interface. To overcome this issue, adjusting the mechanical characteristics of the material is essential. A promising approach is to introduce adjustable porosity into the material, which can change its relative density. This concept was inspired by nature, particularly from bone and plant stem structures. Using traditional fabrication methods, only randomly oriented porous structures can be achieved, while additive manufacturing (AM) technologies enable the production of three-dimensional components with predefined external geometries and internal architectures.

This contribution highlights the significance of metamaterials in mechanical applications, in particular in biomedical field. Specifically, the focus is on the utilization of lattice structures to design implant materials with adjustable porosity, allowing for the optimization of mechanical properties and reducing stress shielding effects. In this study, the experimental materials were manufactured using selective laser melting (SLM), which belongs to laser-powder bed fusion (L-PBF) techniques. SLM is identified as a frequently employed method for fabricating metallic lattice structures. The lattice structures of two different geometries (T-Octahedron and Vin-Tiles) and three different elementary cell sizes were manufactured of common titanium alloy Ti-6Al-4V. The compression testing of the cubes was performed according to standard ISO 13314:2011.

The results of mechanical testing revealed that the specimens loaded parallel to the build direction (Z) were characterized by higher value of compressive offset stress than the ones loaded perpendicular to Z-direction. In the case of T-Octahedron geometry, a clear anisotropic behaviour could be observed. The specimens loaded parallel to Z-direction were distinguished by significantly higher first maximum compressive strength (σ_{1max}) than the specimens loaded perpendicular to Z-direction. In contrast, the specimens of Vin Tiles geometry loaded in two different directions exhibited similar mechanical performance. In general, the highest strength values were observed in the case of T-OCTAHEDRON (6 mm) specimens (loaded parallel to Z-direction).

Acknowledgement

Tento příspěvek je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci Programu DELTA 2 (TM02000060).

Vývoj a mechanické testovanie kraniálních implantátov

Júlia Bodnárová^{1*}, Adam Kratochvíl¹ a Matej Daniel¹

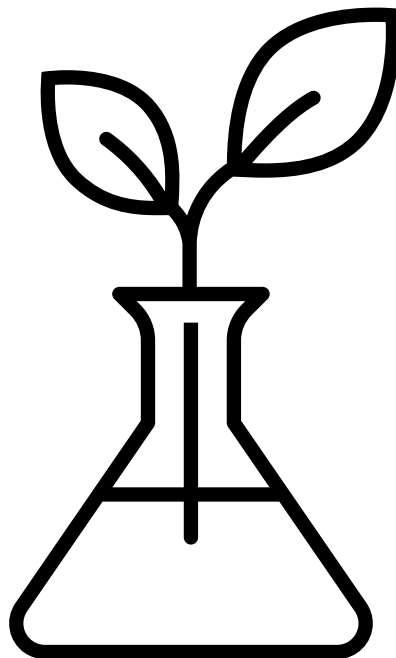
¹ Ústav mechaniky, biomechaniky a mechatroniky, Fakulta strojní ČVUT v Praze. Technická 4, 160 00 Praha – Dejvice.

* Julia.Bodnarova@fs.cvut.cz

Drobná kraniotómia je súčasťou chirurgického postupu evakuácie subdurálneho hematómu. Do lebky sa urobí jeden alebo viac otvorov, aby sa umožnil odtok tekutín a zmiernil tlak v lebke. Kostné defekty sa musia po operácii uzavrieť vhodným implantátom. Najčastejšie používané sú kovové kraniálne dlahy, ktoré však neriešia pretrvávanie kostného defektu a pri dlhodobom cyklickom zaťažení je ich odolnosť obmedzená. Alternatívne implantáty neposkytujú dostatočné mechanické vlastnosti, funkčnosť ani estetický výsledok. Pre riešenie špecifických anatomických problémov sa v súčasnosti stáva populárnou aditívna výroba. V tejto štúdii je predstavený nový typ implantátu pre rekonštrukciu malých defektov po kraniálnom vŕtaní.

Na základe analytického modelu boli navrhnuté a overené pomocou analýzy konečných prvkov (MKP) štyri typy modulárnych implantátov. Sú zavedené nové vtlačovacie mechanické testy s použitím umelej kosti na určenie pevnosti uzamykacích mechanizmov a zaistenie bezpečnosti a reprodukovateľnosti implantátov. Ako najbezpečnejšie riešenie sa osvedčil variant kovového krúžku s presahom na povrchu kosti. Konštrukcia nového kraniálneho implantátu môže výrazne zlepšiť estetický výsledok po operácii a minimalizovať invazívnosť pri reoperáciách.

SEKCE D



ÚTERÝ 27. 6. 2023

11:15 – 12:30

Micromechanical properties of native ligamentum flavum

Josef Šepitka^{1*}, Jakub Ježek², Jiří Skála-Rosenbaum²

¹ Division of Biomechanics, Faculty of Mechanical Engineering, Czech Technical University in Prague, Czech Republic.

² Department of Orthopedics and Traumatology, Third Medical Faculty of Charles University and University Hospital Kralovske Vinohrady, Srobarova 50, Prague, Czech Republic.

* josef.sepitka@fs.cvut.cz

Introduction

Ligamentum flavum (LF) is a ligament located in the spine canal and the changes in this ligament significantly contribute the development of lumbar spinal stenosis (LSS), which is a serious and relatively common disease in the aging population [1].

The aim of this work is to compare micromechanical properties across the cuts on the cranial, medial, and caudal part of each ligamentum flavum regardless of spinal segment levels (L3-4, L4-5 and L5-S1).

Methods

We analyzed of 9 quadrants of LF to describe local changes of mechanical properties. Cranial, medial, and caudal parts of the ligament were analyzed. LF samples were sectioned into 1-2 mm thick sections using microtome blade and glued using Epiglu on the Petri dishes. To obtain mechanical properties we used *in-situ* indenter Hysitron BioSoft. Displacement controlled quasistatic indents up to 100 μm in 10 second were prescribed. We used ultralong diamond conospherical fluid cell probe with radius 50 μm and angle 90 degree. Separation between indents were 500 μm . All microindentation tests were performed in the liquid. Native ligament samples were submerged in phosphate buffered saline containing 1% of Protease Inhibitors.

Results

We are able coincidence our mechanical maps to the pictures of the cut to compare influence of the location to the mechanical properties (Figure 1). There is clearly visible gradient of the mechanical properties across whole cut of the sample in the Figure 1. Average elastic moduli are in the range from 5 kPa up to 220 kPa.

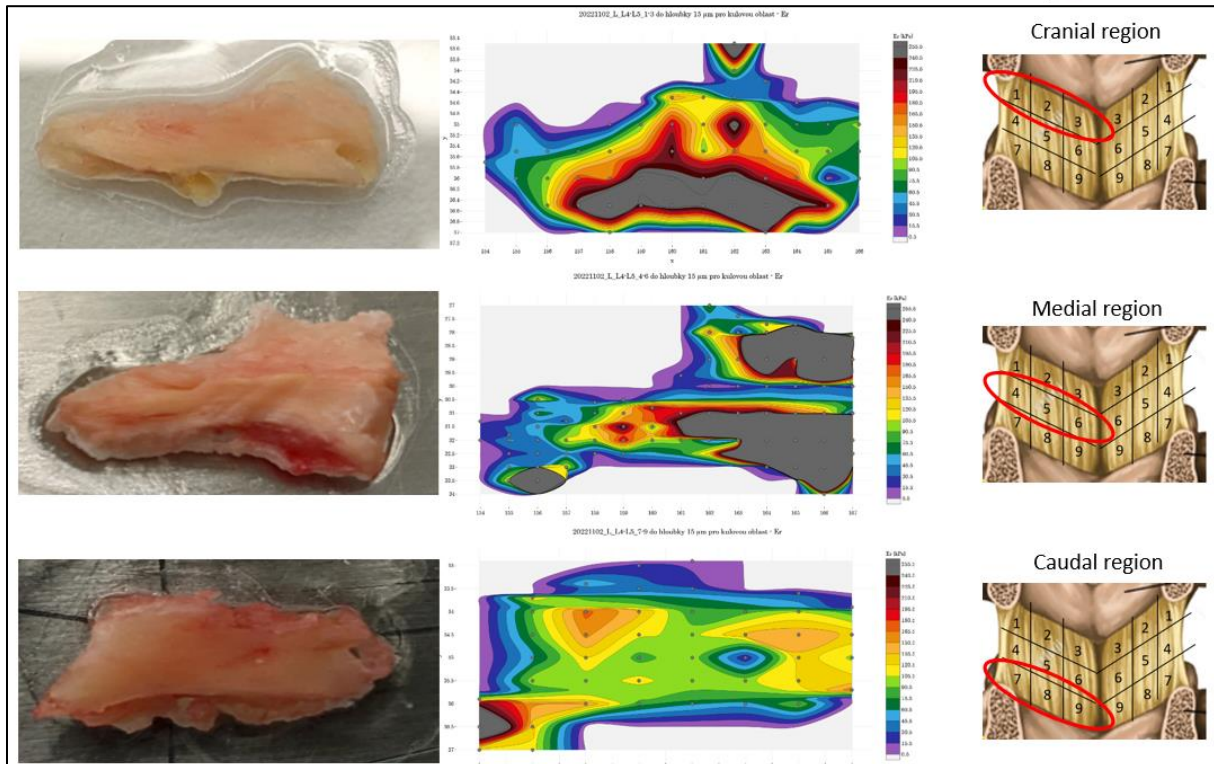


Figure 2. Maps of reduced elastic moduli of cranial, medial, and caudal parts of the ligamentum flavum.

Conclusion

We described the local micromechanical properties of ligamentum flavum depending on anatomical localization. Ligamentum flavum has not constant mechanical properties in the section. Instrumented microindentation has amazing potential to test such soft material like native ligaments.

Acknowledgments

This work has been supported by the Ministry of Health of the Czech Republic grant number NU21-06-00356.

Literatura

- [1] Jezek, J., Sepitka, J., et al. The role of vascularization on changes in ligamentum flavum mechanical properties and development of hypertrophy in patients with lumbar spinal stenosis, *Spine Journal* 20, (2020) 1125-1133.

Mechanická a chemická degradace vložky kyčelní jamky z UHMWPE

Jaroslav Lukeš^{1*}, Vlastimil Králík²

¹ Bruker Nano Surfaces & Metrology, Technická 4, 16600 Praha 6.

² Ústav mechaniky, biomechaniky a mechatroniky, Fakulta strojní ČVUT v Praze. Technická 4, 160 00 Praha – Dejvice.

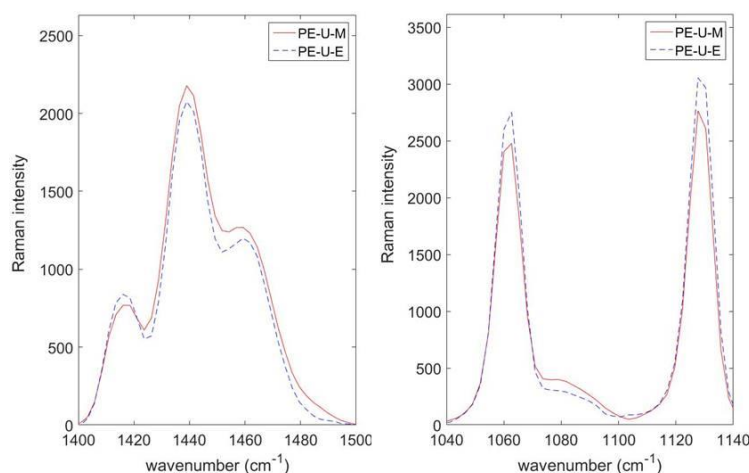
* jaroslav.lukes@fs.cvut.cz

Úvod

V našem příspěvku se zaměříme na opotřebené oblasti polyetylenové náhrady kyčelní jamky a jejich degradaci z hlediska chemické struktury a mechanických vlastností.

Experiment

Vnitřní povrch vyoperované UHMWPE vložky byl nasnímán optickým profilometrem (Redlux Ltd., UK). Na rekonstruovaném 3D povrchu byla provedena analýza volumetrického otěru. Místo s největším naměřeným otěrem pak bylo porovnáno s místem bez poškození, a to pomocí parametrů indexu krystalinity a tvrdosti. Zastoupení krystalické fáze bylo určeno pomocí analýzy ramanova spektroskopie. Ramanova sonda (Lamda Solutions, USA) byla zaintegrovaná do optiky nanoindentačního přístroje Hysitron TI950 TriboIndenter (Bruker, USA) a tím bylo umožněno měřit instrumentovanou tvrdost a redukovaný elastický modulu ve stejných místech, které byly měřeny Ramanovou spektroskopií.



Obrázek 3 Rozdílné intenzity vrcholů v místě nedegradovaného materiálu (PE-U-M) a blízko degradovaného povrchu (PE-U-E) poukazuje na změnu chemické struktury.

Výsledky

Ramanova spektroskopie ukázala, že vlivem oxidace povrchu UHMWPE dochází ke zvýšení podílů krystalické fáze, což koreluje s vyššími hodnotami tvrdosti a modulu elasticity.

Literatura

- [1] TOMASCHKE, A. A., HAVERAN, M. CH., WAHLQUIST, A. J., FERGUSON, L. V. Combining Raman and Nanoindentation. *Microscopy and Analysis*. 2016.

Vliv dávky radiace a rychlosti extruze na kolagenní gel využitelný v bioinženýrství

Lucie Šilingová^{1*}, Hynek Chlup¹, Tomáš Suchý², Monika Šupová², Margit Žaloudková², David Chvátíl³ a Jaromír Šancl⁴

¹ Ústav mechaniky, biomechaniky a mechatroniky, Fakulta strojní ČVUT v Praze. Technická 4, Praha – Dejvice.

² Oddělení kompozitních a uhlíkových materiálů, ÚSMH AV ČR, v.v.i. V Holešovičkách 94/41, Praha 8.

³ Ústav jaderné fyziky AV ČR, v.v.i., Husinec-Řež 130, 250 68 Řež.

⁴ Ústav procesní a zpracovatelské techniky, Fakulta strojní ČVUT v Praze. Technická 4, Praha – Dejvice.

* lucie.silingova@fs.cvut.cz

Abstrakt

Kolagen, přírodní polymer, je jedním z nejrozšířenějších proteinů zastoupených v mnohobuněčných organismech. S rozvojem výzkumu v oblasti biomedicínského inženýrství se využívá například pro výrobu cévních implantátů, bandáží, krytů ran nebo jako nosič buněk či farmak. V různých podobách a modifikacích nalézá kolagenní hmota významné uplatnění také v potravinářském průmyslu jako materiál obalů masných výrobků. V potravinářství, a zejména ve zdravotnictví, je nezbytné použité materiály nebo produkty sterilizovat. Tato studie byla zaměřena na ošetření kolagenní hmoty pomocí radiační sterilizace, při které byl materiál vystaven urychlenému svazku elektronů. Působením tohoto ionizujícího záření mohou na molekulární úrovni proteinů vznikat nové příčné vazby (cross-link), čímž dochází k zesíťování ozařovaného materiálu. Tento proces může výrazně ovlivnit strukturní a mechanické vlastnosti kolagenní hmoty. V této práci byl zkoumán možný vliv dávky ozáření a rychlosti extruze na strukturní a mechanické vlastnosti bovinní kolagenní hmoty s 8% obsahem kolagenu (typ I). Zkoumané vzorky byly vyrobeny extruzí za použití dvou rychlostí protlačování. Pro experimenty bylo využito několik dávek radiace v rozsahu 0 – 25 kGy. Pomocí jednoosých tahových zkoušek byly získány mechanické vlastnosti ve směru extruze, tj. ve směru longitudinálním, a také ve směru transverzálním. Byla zkoumána míra anizotropie materiálu na makro i mikro úrovni. Změny sekundární struktury modifikované hmoty byly sledovány infračervenou spektroskopií (FTIR). Tato práce unikátně synergicky propojuje výsledky získané z mechanických zkoušek (makro úroveň) s výsledky analýzy strukturních změn získanými pomocí FTIR (mikro úroveň). Z dosažených výsledků lze odvodit předpoklady a potvrdit hypotézy, které mohou mít aplikační potenciál pro zdravotnictví a také pro potravinářství. Tento výzkum byl financován grantem Grantové agentury České republiky číslo 21-07851S.

Porovnání vlivu vybraných simulačních prostředí s vlivem *in vivo* podmínek na kolagenní vzorky

Marika Vopálková^{1*}, Tomáš Suchý², Radek Sedláček¹, Lucie Vištejnová³, Pavel Klein³,
Monika Šupová², Martin Bartoš⁴, Radek Linhart¹ a Marko Meded¹

¹ Ústav mechaniky, biomechaniky a mechatroniky, Fakulta strojní ČVUT v Praze. Technická 4, Praha – Dejvice.

² Ústav struktury a mechaniky hornin, Oddělení kompozitních a uhlíkových materiálů, AV ČR, v.v.i., V Holešovičkách 94/41, Praha 8.

³ Biomedicínské centrum, Lékařská fakulta v Plzni, Univerzita Karlova, alej Svobody 1655/76, 323 00 Plzeň – Severní Předměstí.

⁴ Stomatologická klinika 1. LF UK a VFN, Karlovo náměstí 32, Praha 2.

* marika.vopalkova@fs.cvut.cz

Při testování inovativních materiálů a zdravotnických prostředků se hojně využívá různých in vitro simulačních prostředí, která se vždy do určité míry blíží tělnímu prostředí. Nabízí tak možnost otestovat chování takovýchto materiálů bez nutnosti testů na pokusných zvířatech. Simulační prostředí nejsou schopna věrohodně napodobit komplexnost přirozeného tělního prostředí a všechny tělesné procesy. V naší práci jsme se pokusili zhodnotit výhody a omezení vybraných, nejčastěji používaných simulovaných prostředí. Jejich vliv na mechanické a strukturní vlastnosti byl posuzován na modelových vzorcích kolagenních scaffoldů (typ I, telecí kůže). Výsledné vlivy jednotlivých prostředí byly porovnávány s vlivem skutečného tělního prostředí (vzorky implantované do peritonea pokusných zvířat).

Úvod

Bývá běžnou praxí, že se pro napodobení tělního prostředí bývá využívána v první fázi testování *in vitro* simulace. Tyto testy představují užitečné přiblížení k reálným podmínkám v těle při navrhování a testování biomateriálů. Stále jsou však pouze přiblížením k reálné situaci v těle, jelikož nejsme prozatím schopni komplexně napodobit široké spektrum procesů probíhajících v organismu. Malá míra věrohodnosti *in vitro* modelu má za následek poměrně komplikované přenesení výsledků na *in vivo* situaci. Pro snížení nutnosti následných *in vivo* testů je vhodné provést porovnání mezi *in vitro* kultivovanými vzorky a *in vivo* kultivovanými vzorky a umožnit tak zpřesnění přenosu výsledků [1]. Cílem této práce je porovnat celkem jedenáct různých nejčastěji používaných simulačních prostředí s prostředím *in vivo*. Vlivy jednotlivých prostředí byly ověřovány na modelových vzorcích (kolagenní scaffoldy), které byly vybrány jako zástupce jednoho z nejčastěji používaných biomateriálů v implantologii. V tomto příspěvku jsou prezentovány výsledky z experimentu, ve kterém byly modelové vzorky exponovány v přítomnosti kolagenázy, tedy enzymu, který je v těle produkován různými typy buněk (fibroblasty, osteoklasty atd.) a podílí se na rozkladu kolagenu [2], [3]. Dalšími srovnávanými prostředími byl fyziologický roztok, PBS (phosphate buffered saline), SBF (simulated body fluid), lidská krevní plazma, MEM (minimum essential medium), zařazeno bylo též médium obsahující lidské dermální fibroblasty (označení IN VITRO) a v neposlední řadě též *ex vivo* model.

Materiály a metody

Testované kolagení válečky (kolagen typu I, VUP Medical, Brno, zdroj telecí kůže) byly připraveny pomocí lyofilizace.

Kolagen nejprve nabobtnal v deionizované vodě a byl homogenizován. Disperze kolagenu (4 wt%) byla dále nadávkována do forem. Následovalo zamražení na $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ a lyofilizační sušení. Poté byly vzorky zesíťovány. Pro zesíťování bylo použito 142 ml roztoku ethanolu (95 % hm., Penta, ČR), 0,625 g EDC (N - (3 - dimethylaminopropyl) – N - ethylkarbodiimid hydrochloridu) a 0,156 g NHS (N-hydroxysukcinimidu, Sigma-Aldrich, USA) na 1 g kolagenu.

Použitá enzymatická prostředí byly tři různé koncentrace kolagenázy (Clostridium histolyticum, Type I, (Sigma-Aldrich), a to 0,005 U/ml (KMIN), 0,0125 U/ml (KMID) a 0,025 U/ml (KMAX), napodobující reálné koncentrace v okolí implantovaných scaffoldů [4], [5]. PBS (Sigma Aldrich, St. Louis, MI, USA), SBF (Kokubo), fyziologický roztok a MEM byly připraveny standardně. K plazmě použité ke kultivaci některých vzorků byla přidána antibiotika (20 mg/ml penicilinu a 20 mg/ml streptomycinu; oboje Sigma-Aldrich, USA). Co se týče *ex vivo* modelu, byly využity femury explantované z pokusných zvířat po provedení *in vivo* kultivace, epifyzy těchto kostí byly nařezány a byly do nich vyvrtány díry. Do těchto děr byly následně vloženy testované vzorky a takto připravené *ex vivo* modely byly kultivovány v PBS. Vzorky označené jako IN VITRO byly kultivovány v DMEM (Thermo Fisher Scientific) spolu s lidskými dermálními fibroblasty. *In vitro* kultivace probíhala při teplotě $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ za normální atmosféry až na buněčné médium a *ex vivo* model, u nichž probíhala kultivace v atmosféře 5% CO_2 . Vzorky byly kultivovány po dobu 7, 14 a 21 dní. Na stejná časová období byly vzorky vloženy do peritonea pokusných zvířat (prase, *Sus scrofa domesticus*, 25 kg, ID schválení MSMT-33799/2021-4).

Vyhodnocovány byly mechanické vlastnosti dle ČSN ISO 13314 (Mechanické zkoušení kovů – Zkouška tažnosti – Zkouška komprese porézních a buněčných kovů) [6].

Na základě této normy byl elastický gradient (tuhost v závislosti na porozitě) vyhodnocen jako směrnice sečny hysterezní smyčky. Dalším vyhodnocovaným parametrem byla stabilní hladina napětí, která byla určována jako aritmetický průměr smluvního napětí (σ) v rozsahu 0,2 až 0,3 relativní deformace (ϵ). Tento parametr představuje smluvní mez pevnosti materiálu. V neposlední řadě byla vyhodnocována absorbovaná energie (W) podle rovnice (1) a účinnost absorpce energie (W_e) podle rovnice (2).



Obrázek 1 Suspence v kultivačním plastu (před lyofilizací)



Obrázek 2 Vzorek před kultivací



Obrázek 3 Vzorky v průběhu kultivace



Obrázek 4 Implantace vzorků



Obrázek 5 Tlaková zkouška



Obrázek 6 Vzorky na hmotnostní úbytky

$$W = \frac{1}{100} \int_0^{\varepsilon_{50}} \sigma \cdot d\varepsilon \left[\frac{MJ}{m^3} \right] \quad (1)$$

$$W_e = \frac{W}{\sigma_{max} \cdot \varepsilon_{50}} [\%] \quad (2)$$

Dále byly hodnoceny hmotnostní úbytky (Δm) dle rovnice (3).

$$\Delta m = \frac{m_0 - m_t}{m_0} \quad (3)$$

Kromě sledování mechanických vlastností a změn hmotnosti vzorků v průběhu kultivace byly výsledky doplněny o SEM, mikro-CT a FTIR pomocí kterých byly vyhodnocovány chemické a strukturální změny ve vzorcích.

Pomocí SEM byly hodnoceny vzorky vystavené médiím po dobu 21 dní vysušené pomocí lyofilizace. Pro srovnání byl použit vzorek nevystaven žádnému z médií. Řezy vzorků byly pokryty v atmosféře Ar vrstvou Pt na naprašovačce Leica EM ACE600 (Specion s.r.o., ČR) následně byly vzorky snímány v režimu vysokého vakua na skenovacím elektronovém mikroskopu STEM Apreo S LoVac (ThermoFisher Scientific, USA), zobrazení na ETD detektoru (Everhalt-Thorney detektor) v sekundárních elektronech za použití standard use case, ve zvětšeních 100x – 10 000x. Náhledy celých řezů byly nasnímány po částech a následně zkompletovány v programu Maps 3.13. (ThermoFisher Scientific, USA).

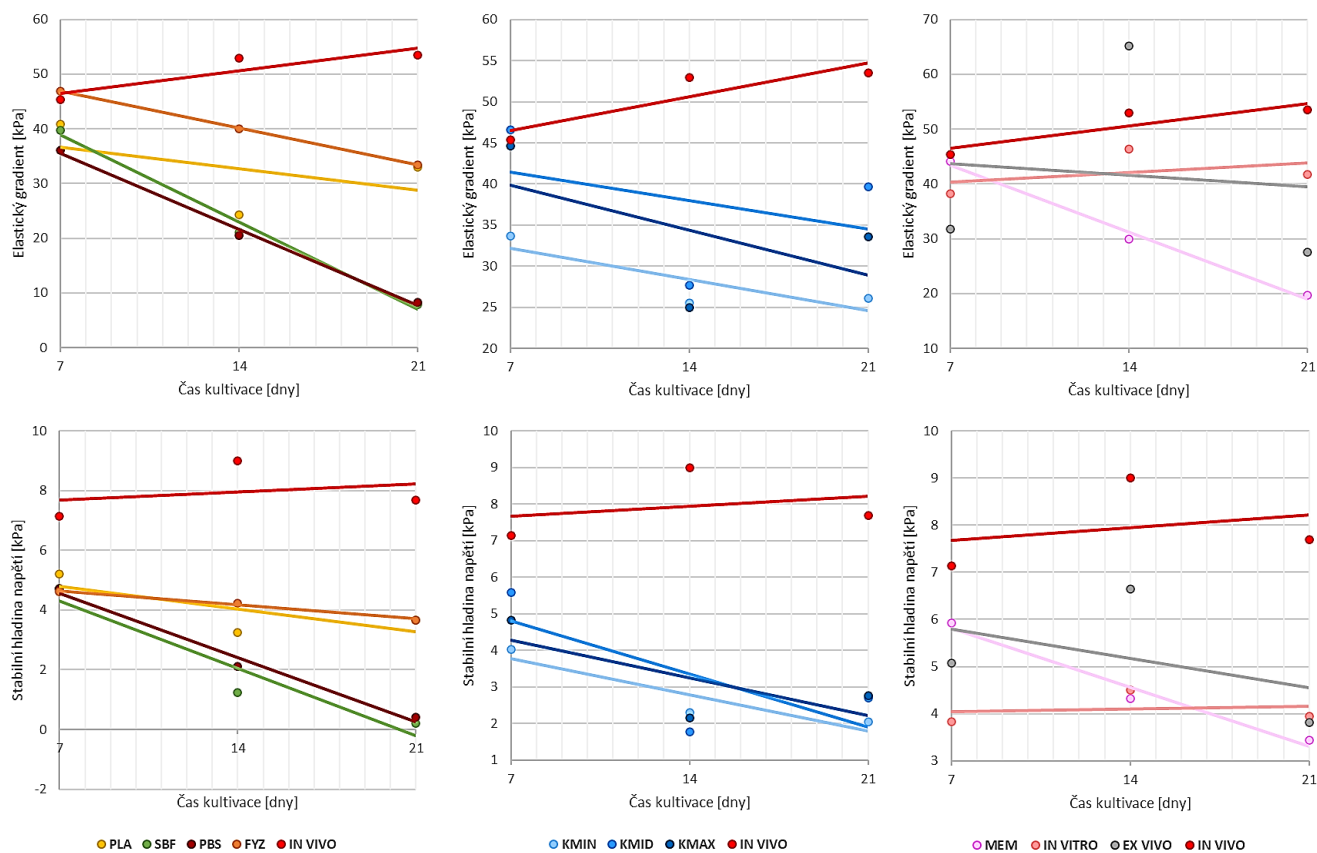
Mikro-CT bylo prováděno na vzorcích, které byly médiím vystaveny po dobu 21 dní. Vzorky byly naskenovány přístrojem Bruker SkyScan 1272 (Bruker micro-CT, Kontich, Belgie) se základními parametry: pixel size 9 μm , rotation step 0,4, source voltage 50 kV, source current μA . Data byla zpracována a vizualizována pomocí softwaru NRecon, DataViewer a CTVox (Bruker).

Pro FTIR analýzu byly využity vzorky kultivované po dobu 21 dní. FTIR bylo měřeno za pomoci spektrometru iS50 (Thermo Nicolet Instruments Co., Madison, WI, USA) v rozsahu 4000 až 400 cm^{-1} s rozlišením 4 cm^{-1} . Spektrální dekonvoluce amidového pásma I byla provedena v programu OMNIC 7. Počáteční parametry pro přizpůsobení křivky (číselná pásma a jejich pozice) byly předem určeny pomocí sekundární derivační metody a Fourierovy sebedekonvoluce [7].

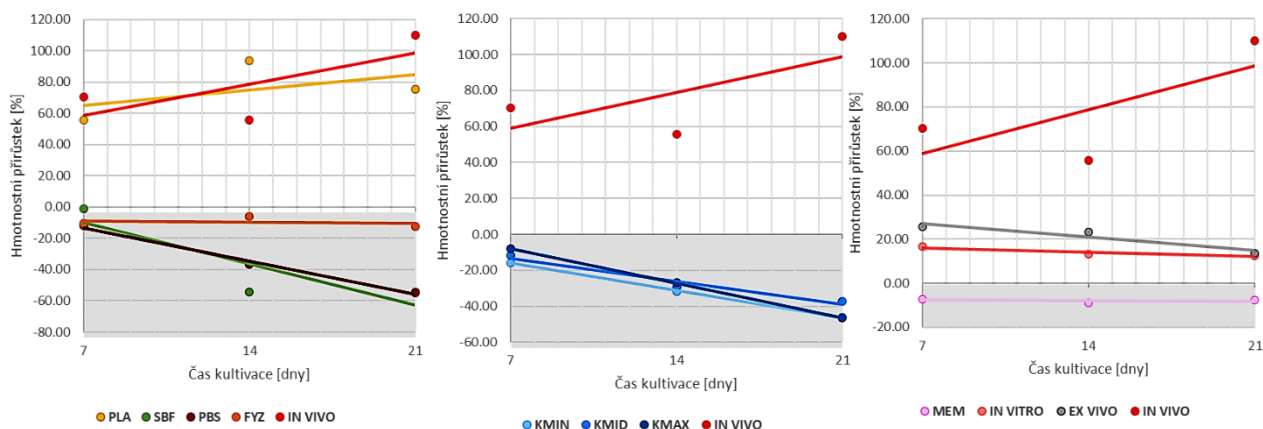
Všechna naměřená data byla vyhodnocena pomocí Mann-Whitney testů (dvouvýběrové porovnání s kontrolními *in vivo* vzorky) na hladině významnosti $\alpha=0,05$. (průměrně $n=9$; hmotnostní úbytky průměrně $n=7$). K vyhotovení byl využit program Real Statistics (Real Statistics Resource Pack software (Release 7.6). Copyright (2013 – 2021) Charles Zaiontz. www.real-statistics.com) a program JASP (JASP Team (2022). JASP (Version 0.16.2)).

Výsledky

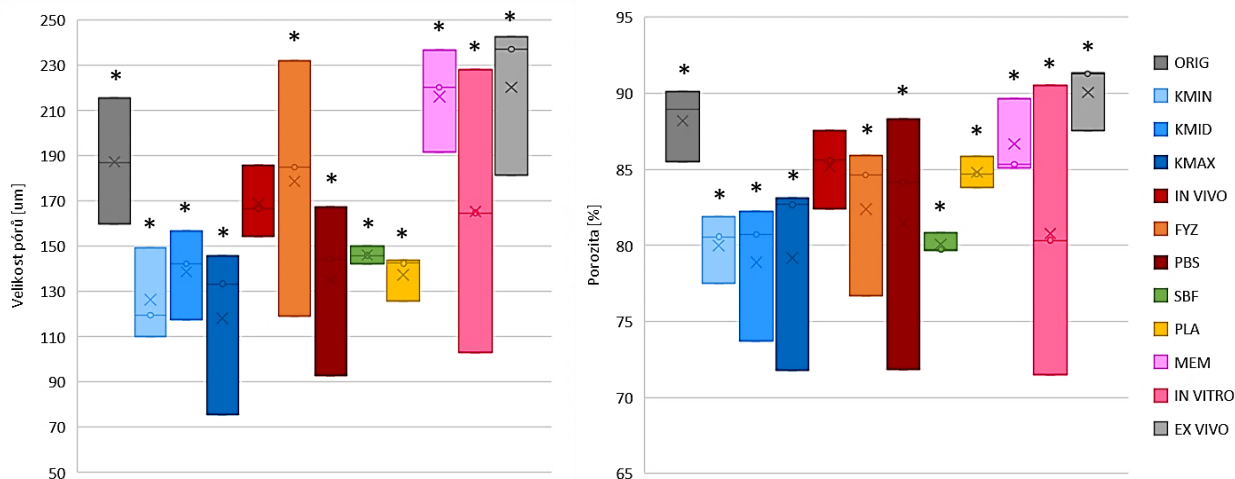
Na přiložených grafech jsou zaznamenány naměřené hodnoty mechanických vlastností, hmotnostních úbytků a výsledky porovnání *in vitro* kultivovaných vzorků vždy s odpovídající *in vivo* skupinou.



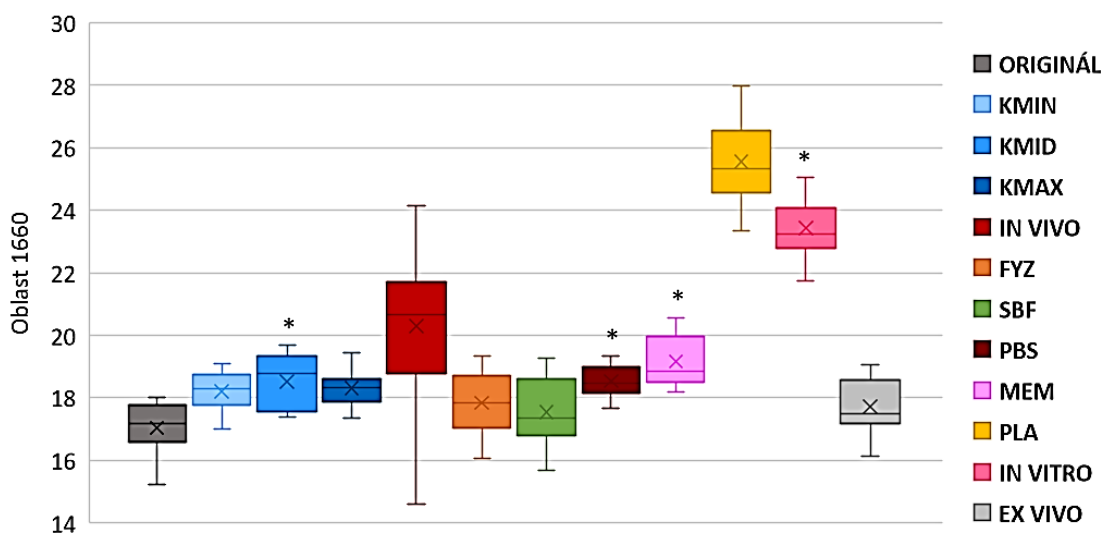
Obrázek 7 Nahoře grafy elastické hladiny napětí , dole grafy stabilní hladiny napětí (průměrně n=9)



Obrázek 8 Grafy hmotnostních přírůstků (průměrně n=7)



Obrázek 9 Vlevo graf velikosti pórů po 21 denní kultivaci, vpravo graf porozity po 21 denní kultivaci (černé hvězdičky vyznačují skupiny, u nichž byla p hodnota > 0,05; n=3)



Obrázek 10 FTIR oblast 1660 – plochy pod křivkou (černé hvězdičky vyznačují skupiny, u nichž byla p hodnota > 0,05; n=10)

Z horních grafů zobrazujících mechanické vlastnosti je vidět, že IN VIVO skupina vykazuje rostoucí trend, zatímco u všech ostatní skupin pozorujeme trend zcela opačný. Co se týče zobrazených hmotnostních přírůstků, zde je patrné, že k výraznějšímu nárůstu hmotnosti docházelo u IN VIVO skupiny a PLA skupiny. Zcela opačný trend pak vykazovali skupiny PBS, SBF, KMIN, KMID, KMAX, FYZ a MEM. Z hlediska pórovitosti a velikosti pórů lze konstatovat, že všechna použitá média byla dostatečně přesnou aproximací reálných tělních podmínek, ale že zároveň i původní vzorky, které nebyly vystaveny žádnému médiu dosáhly dostatečné shody s IN VIVO skupinou. Poslední z grafu zobrazuje porovnání plochy pod oblastí 1660 cm^{-1} , což je marker pro existenci kolagenních struktur ve vzorku. Z grafu je patrné, že v tomto ohledu dosáhly shody s IN VIVO skupinou čtyři další skupiny, jednalo se o KMID, PBS, MEM a IN VITRO skupinu.

Závěr

Ze získaných výsledků je patrné, že žádné testované simulační prostředí nebylo schopno dostatečně přesně aproximovat *in vivo* podmínky v celém rozsahu. Obzvláště z hlediska

mechanických vlastností byl zaznamenán u většiny médií opačný trend, při srovnání s *in vivo* kultivovanými vzorky. Přesnou shodu bychom ovšem od takovýchto poměrně jednoduchých médií a modelů ani očekávat nemohly.

Poděkování

Tato studie byla dotována grantovým projektem Uděleným Technologickou agenturou ČR v rámci projektu č. TP01010055 (program GAMA2) a byla podpořena z Fondu budoucnosti ČVUT č. 122-5201X000. Podpořeno z projektu Cooperatio 207030 Dental Medicine/LF1.

Literatura

- [1] SUNG, Hak-Joon, Carson MEREDITH, Chad JOHNSON a Zorina S. GALIS. The effect of scaffold degradation rate on three-dimensional cell growth and angiogenesis. *Biomaterials* [online]. 2004, **25**(26), 5735-5742 [cit. 2021-11-29]. ISSN 0142 - 9612. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2004.01.066>.
- [2] YILMAZ, Bengi, Ahmet Engin PAZARCEVIREN, Aysen TEZCANER a Zafer EVIS. Historical development of simulated body fluids used in biomedical applications: A review. *Microchemical Journal* [online]. 2020, **155** [cit. 2022-04-30]. ISSN 0026265X. Dostupné z: [doi:10.1016/j.microc.2020.104713](https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.104713)
- [3] BAUER, Eugene A., George P. STRICKLIN, John J. JEFFREY a Arthur Z. EISEN. Collagenase production by human skin fibroblasts. *Biochemical and Biophysical Research Communications* [online]. 1975, **64**(1), 232-240 [cit. 2022-04-30]. ISSN 0006291X. Dostupné z: [doi:10.1016/0006-291X\(75\)90243-0](https://doi.org/10.1016/0006-291X(75)90243-0)
- [4] LU, Weiqiang, Junsheng ZHU, Shien ZOU, Xi LI a Jin HUANG. The efficient expression of human fibroblast collagenase in *Escherichia coli* and the discovery of flavonoid inhibitors. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry* [online]. 2013, **28**(4), 741-746 [cit. 2022-06-28]. ISSN 1475-6366. Dostupné z: [doi:10.3109/14756366.2012.681650](https://doi.org/10.3109/14756366.2012.681650)
- [5] SHIN, Min Kyung, Jin Woo LEE, Young Il KIM, Young-Ock KIM, Hosik SEOK a Nack In KIM. The effects of platelet-rich clot releasate on the expression of MMP-1 and type I collagen in human adult dermal fibroblasts: PRP is a stronger MMP-1 stimulator. *Molecular Biology Reports* [online]. 2014, **41**(1), 3-8 [cit. 2022-06-28]. ISSN 0301-4851. Dostupné z: [doi:10.1007/s11033-013-2718-9](https://doi.org/10.1007/s11033-013-2718-9)
- [6] ČSN ISO 13314. *Mechanické zkoušení kovů - Zkoušení tváritelnosti - Zkouška poréznicích a pěnových kovů tlakem*. První. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [7] PAYNE, K. J. a A. VEIS. Fourier transform ir spectroscopy of collagen and gelatin solutions: Deconvolution of the amide I band for conformational studies. *Biopolymers* [online]. 1988, **27**(11), 1749-1760 [cit. 2022-05-27]. ISSN 0006-3525. Dostupné z: [doi:10.1002/bip.360271105](https://doi.org/10.1002/bip.360271105)

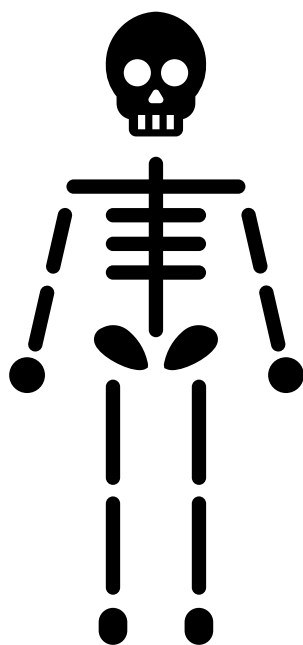
Vliv prostředí na mechanické vlastnosti buněk

Martin Otáhal^{1*}

¹ Katedra přírodovědných oborů, FBMI, ČVUT v Praze, nám. Sítná 3105, 272 01 Kladno, Česká republika

* martin.otahal@fbmi.cvut.cz

SEKCE E



STŘEDA 28. 6. 2023

9:00 – 11:00

Aplikačné formy prírodných a syntetických biodegradovateľných materiálov

Martin Kožár^{1*}, Barbora Šišková¹

¹Klinika malých zvierat, Univerzita veterinárskeho lekárstva a farmácie v Košiciach, Komenského 73, 041 81 Košice.

* Martin.Kozar@uvlf.sk

Úvod

Hojenie rozsiahlych chronických defektov kože je často náročný proces vzhľadom na komplexnú terapiu, pozostávajúcu z cieleného očistenia rany, odstránenia nekrotických tkanív, lokálnej alebo systémovej kontroly infekcie, ochrany okolitých tkanivových štruktúr a podpory regenerácie kožného tkaniva. Z dôvodu limitácie konvenčných metód terapie sa v poslednej dobe venuje veľká pozornosť novým možnostiam, ako aj biomateriálom a ich potenciálnemu využitiu pri terapii chronických rán [2]. Boli vyvinuté rôzne kombinácie syntetických aj prírodných materiálov vo forme špongií, hydrogélom, fólií, hydrokoloidov a iných. [3].

Prírodné biodegradovateľné materiály, napríklad kolagén a želatína, sú široko používané pri terapii rán a distribúcii liečiv, vďaka ich prírodnému charakteru, biologickej odbúrateľnosti, biokompatibilite a nízkej toxicite [4]. Polykaprolaktón (PCL) je jedným z najčastejšie používaných syntetických polymérov pre medicínske aplikácie, a to vďaka jeho pomalej biodegradácii a biokompatibilným vlastnostiam [5,6]. Kombinácia prírodných a syntetických materiálov ponúka možnosti na výrobu kompozitu, ktorý má vylepšené vlastnosti a neguje nevýhody jednotlivých zložiek, použitých osobitne [7].

Cieľ

Cieľom klinickej prípadovej štúdie je dôkaz efektivity terapie chronických rán po aplikácii prírodných a syntetických biodegradovateľných materiálov.

Materiál a metodika

Do klinickej štúdie bolo zahrnutých 12 pacientov, ktorí boli referovaní na Klinikum malých zvierat s rozsiahlymi chronickými poraneniami. Primárne bol posúdený celkový zdravotný stav pacienta. Následne bola rana zhodnotená pomocou makroskopických ukazovateľov s ohľadom na rozsah, lokalizáciu, hyperémiu, edém, secernáciu, tvorbu granulačného tkaniva, nekrotizáciu a kontrakciu okrajov rany. U každého pacienta bola z rany odobratá vzorka na bakteriologickú kultiváciu so stanovením antibiogramu. Na základe výsledkov mikrobiálnej kultivácie bola pacientom nasadená cielená systémová antibiotická terapia.

Ďalším krokom v terapii bol proces čistenia ranového lôžka od kontaminantov a nekrotického tkaniva, s využitím chirurgického alebo enzymatického debridementu. Rana bola počas a po ukončení procesu čistenia vypláchnutá lavážnym roztokom a na takto pripravené ranové lôžko boli aplikované prírodné a syntetické biodegradovateľné materiály alebo ich kombinácia. V klinickej štúdiu boli využité prírodné bovinne kolagenové krytie - Suprasorb® C (Lohmann&Rauscher, DEU), kombinácia prírodného a syntetického materiálu - GELITA-SPON STANDARD GS-002 (GELITA MEDICAL, DEU) a polycaprolactone (PCL) a syntetické povrchové

krytie - polycaprolactone (PCL). Biodegradovateľné materiály boli na mieste poškodenia kože fixované naložením vonkajšieho krytia.

Ako povrchové krytie bola použitá bandáž, ktorá pozostávala z troch vrstiev: primárne uložené nesterilné gázové štvorce (Lohmann&Rauscher, Nemecko), sekundárna vrstva vytvorená zo syntetickej vaty Cellona® (Lohmann&Rauscher, Nemecko) a na povrch bolo použité elastické ovínadlo CoPoly (CoPoly, Česko).

Výsledky

Do klinickej štúdie bolo zahrnutých 12 pacientov, ktorým boli na rany aplikované rôzne formy biodegradovateľných materiálov – prírodné, syntetické alebo ich kombinácia. Priemerná doba uzavretia defektu od zahájenia terapie bola 40,25 dňa, s najkratšou dobou trvania 13 dní a najdlhšou dobou trvania 99 dní. Pacienti mali poranenia rôznej etiológie, lokalizácie a rozsahu, preto nebolo možné posudzovať hojenie rany a nastavenú terapiu uniformne. U všetkých pacientov však šlo o poškodenie kože a okolitých štruktúr po zlyhaní predchádzajúcej konvenčnej terapie. Aplikácia biodegradovateľných materiálov preukázala efektívnosť v procese hojenia rany – stimulovala proces hojenia rany, podporila prerastenie zdravého granulačného lôžka a kontrakciu okrajov rany, čo dokazuje pozitívny efekt na jednotlivé fázy hojenia s úspešným uzavretím defektu, navrátením funkčnosti poškodených tkanív a dosiahnutím uspokojivého kozmetického efektu. Dĺžka terapie pri jednotlivých pacientoch zodpovedala priamo úmerne lokalizácii, rozsahu poranenia, absencii štruktúr, prítomnosti prebiehajúcej infekcie a nekrotického tkaniva.

Záver

Výskyt chronických rán a ich vyhojenie je v klinickej praxi malých zvierat pomerne často sa vyskytujúcim problémom. Tieto rany sú veľkou terapeutickou výzvou pre rýchle uzavretie kožného defektu s navrátením funkčnosti poškodených tkanív. Chronické rany so stratou tkanivovej substancie sú vo viacerých prípadoch limitujúcim faktorom pre správny výber terapie. Oproti tradičným postupom terapie je aplikácia biodegradovateľných materiálov veľmi vhodným riešením pri rozsiahlych chronických poraneniach. Vďaka cielenej aplikácii biodegradovateľných materiálov sme dosiahli u pacientov, kde zlyhali predchádzajúce tradičné postupy terapie, rýchle uzavretie poranenia, obnovu funkčnosti poškodených tkanív a kozmetický efekt v maximálnej možnej miere.

Podakovanie

Spracovanie príspevku bolo podporené projektom APVV-20-0278: Degradovateľné kovové biomateriály s riadeným uvoľňovaním liečiv.

Literatúra

- [1] ZUBIN, Elena, et al. Regenerative therapy for the management of a large skin wound in a dog. *Clinical case reports*, 2015, 3.7: 598.
- [2] JONES, Ruth Ellen; FOSTER, Desha S.; LONGAKER, Michael T. Management of chronic wounds—2018. *Jama*, 2018, 320.14: 1481-1482.
- [3] NEGUT, Irina; GRUMEZESCU, Valentina; GRUMEZESCU, Alexandru Mihai. Treatment strategies for infected wounds. *Molecules*, 2018, 23.9: 2392.
- [4] GEORGE, Archana; SHAH, Priyanka A.; SHRIVASTAV, Pranav S. Natural biodegradable polymers based nano-formulations for drug delivery: A review. *International journal of pharmaceuticals*, 2019, 561: 244-264.

- [5] VAN DER SCHUEREN, Lien, et al. An alternative solvent system for the steady state electrospinning of polycaprolactone. *European Polymer Journal*, 2011, 47.6: 1256-1263.
- [6] NEPPALLI, Ramesh, et al. Poly (ϵ -caprolactone) filled with electrospun nylon fibres: A model for a facile composite fabrication. *European polymer journal*, 2010, 46.5: 968-976.
- [7] JAFARI, Arman, et al. Bioactive antibacterial bilayer PCL/gelatin nanofibrous scaffold promotes full-thickness wound healing. *International journal of pharmaceutics*, 2020, 583: 119413.

Středa 28. 6. 2023

9:45

Metodika biomechanického testovania zubných náhrad

Viktória Rajtúková^{1*}, Alena Findrik Balogová¹, Ľuboš Chromý¹, Bibiána Ondrejová¹
a Radovan Hudák¹

¹ Katedra biomedicínskeho inžinierstva a merania, Strojnícka fakulta, Technická univerzita v Košiciach. Letná 1/9, Košice.

[*viktoria.rajtukova@tuke.sk](mailto:viktoria.rajtukova@tuke.sk)

Úvod

Rozvoj nových technológií zasahuje do všetkých oblastí medicíny, ako aj do dentálnej oblasti. Inovatívne technológie uľahčujú presnejšie spracovanie vstupných údajov (sadrových odtlačkov) pomocou skenovacích systémov, ako aj zefektívnenie výrobného procesu a jeho automatizácie [1,2].

Funkčnosť a efektívnosť zubnej náhrady (ZN) závisí nielen od spôsobu výroby a použitého materiálu, ale aj od digitálneho návrhu [3]. Okrajové a vnútorné medzery (odľahčenia) patria medzi dôležité aspekty, ktoré je potrebné zohľadniť počas navrhovania ZN [4,5]. Zubné mostíky sú protetické náhrady, ktoré sa používajú na nahradenie jedného alebo viacerých chýbajúcich zubov premostením medzery medzi existujúcimi prirodzenými zubami pomocou pilierových koruniek, avšak výnimkou sú dvojčlenné mostíky, pretože sú fixované jedným zubom. Podľa umiestnenia sa dvojčlenné zubné náhrady (DZN) rozlišujú na dva typy – umiestnené vo frontálnej oblasti (vplyv sily vynaloženej pri zhryze smerom k prednej časti úst klesá) a umiestnené v distálnej oblasti (sily zhryzy sú vyššie v zadnej časti úst, v dôsledku toho sú sily pôsobiace na oporné zuby extrémne vysoké) [6].

V súčasnosti sa v dentálnej oblasti čoraz viac využíva technológia aditívnej výroby kovových zubných náhrad, predovšetkým technológia selektívneho laserového tavenia (SLM) [7,8].

Cieľom štúdie bolo podrobiť mechanickej skúške tlakom dva typy DZN vyrobených z materiálu CoCr prostredníctvom technológie SLM. Testovanie DZN prebiehalo po pripevnení na pahýľ vyrobený z materiálu PEEK, pričom sa sledovala odolnosť jednotlivých typov cementu voči aplikovanej sile. Typy cementu boli vybrané na základe ich vlastností. Účelom bolo použiť výsledky vykonaných mechanických skúšok na identifikáciu vplyvov typov cementu, umiestnenia DZN a veľkosti medzier (odľahčenie), keďže tieto parametre ovplyvňujú životnosť a funkčnosť DZN.

Metodika a materiály

Metodika štúdie pozostávala z troch hlavných krokov:

1. Metodika výroby DZN a testovacieho pahýľa

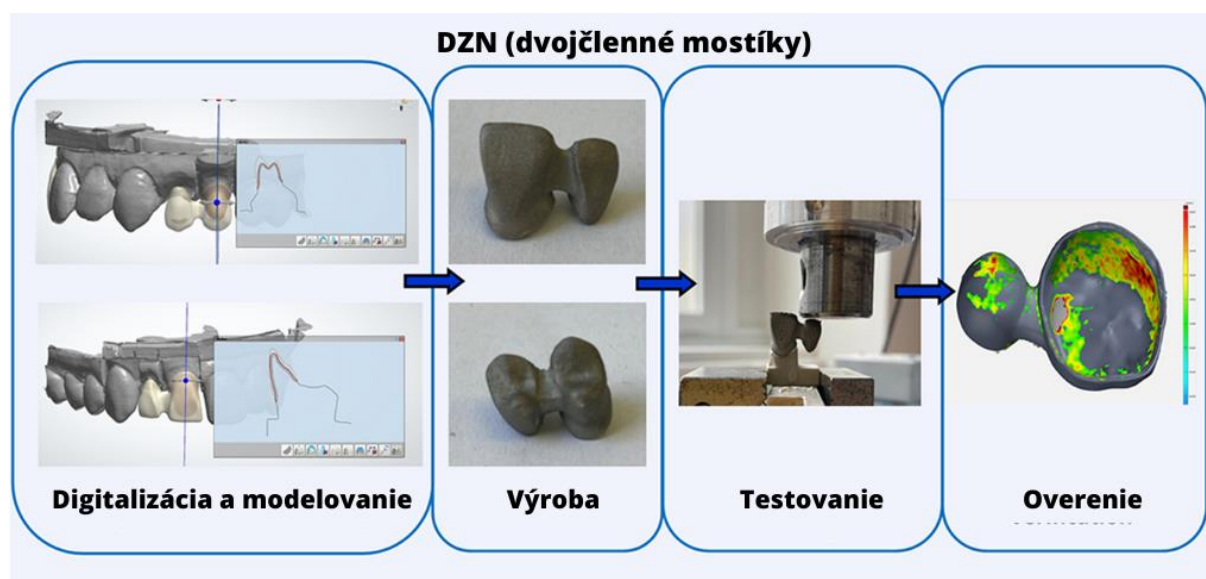
Modely DZN boli naskenované zubným skenerom 3Shape D700 (3Shape, Kodaň, Dánsko) a navrhnuté v CAD programe pomocou softvéru 3Shape (3Shape, Dánsko), pričom boli nastavené potrebné parametre (odľahčenie 10 μm a 30 μm). Následne boli DZN vyrobené s použitím prášku Starbond Easy CoCr (Scheftner Dental, Mainz, Nemecko), ktorý sa používa pri výrobe zubných náhrad vyrábaných technológiou Selective Laser Melting (SLM).

Testovacie pahýle boli namodelované v prostredí 3Shape pre frontálnu (20 vzoriek) a distálnu oblasť (20 vzoriek). Následne boli tvary pahýľov upravené tak, aby vyhovovali požiadavkám na tlakovú skúšku.

Namodelované DZN boli vyrobené na 3D tlačiarňi Mlab cusing R (GE Additive, USA). Testovacie pahýle z PEEK-u boli vyrobené na zariadení Ceramil Motion 2 (Amann Girrbach, Koblach, Rakúsko).

2. Mechanické testovanie

Skúška pevnosti v tlaku bola vykonaná na zariadení Inspekt5 table blue (Hegewald & Peschke, Nossen, Nemecko), ktoré používa maximálne zaťaženie 5 kN. Merací rozsah prístroja bol v súlade s DIN EN ISO 7500-1, ASTM E4. Všetky vzorky DZN (80 ks) boli vystavené tlakovému zaťaženiu, zatiaľ čo sa priečny nosník pohyboval rýchlosťou 1 mm/s; sila bola aplikovaná, kým sa DZN neuvolnila od pahýľa, sprevádzaná znížením veľkosti sily (ISO 4049:2019).



Obrázok. 1 Metodika biomechanického testovania zubných náhrad

3. Štatistické vyhodnotenie výsledkov

Z DZN bolo vyrobených 80 vzoriek s použitím dvoch typov cementu, zinkového polykarboxylátového a zinkofosfátového cementu. Každá skupina obsahovala 40 frontálnych a 40 distálnych mostíkov. Tieto skupiny vzoriek obsahovali 20 vzoriek s medzerami 10 μm a 20 vzoriek s medzerami o veľkosti 30 μm .

Získané údaje boli použité na overenie nasledujúcich hypotéz:

- existuje rozdiel medzi oboma typmi cementu ($A \neq B$);
- existuje rozdiel medzi frontálnym a distálnym mostíkom s dvoma jednotkami ($F \neq D$);
- existuje rozdiel medzi veľkosťami medzier ($10 \neq 30$).

Na potvrdenie týchto teórií sa uskutočnilo štatistické vyhodnotenie údajov.

Tieto dva súbory boli porovnané pomocou F-testu a následne t -testu. Výsledná p -hodnota bola porovnaná s hladinou významnosti ($\alpha = 0,05$). Ak je p -hodnota $< \alpha$, potom je nulová hypotéza o rovnosti stredných hodnôt zamietnutá.

Záver

Porovnanie polohy dvojčlenných mostíkov poukázalo na významný rozdiel medzi frontálnym a distálnym postavením; vo frontálnej polohe bola sila potrebná na prerušenie cementového spoja vo všetkých prípadoch vyššia.

Porovnanie veľkostí medzier v dvojčlenných mostíkoch ukázalo, že ich vlastnosti pri aplikácii tlaku boli premenlivé. Štatistické vyhodnotenie odhalilo významné rozdiely medzi porovnávanými skupinami; nebola však identifikovaná žiadna explicitná korelácia medzi jednotlivými skupinami exemplárov.

V prezentovanej štúdií bola stanovená metodika merania vplyvu tlaku vyvíjaného na dvojčlenné mostíky vyrobené technikou aditívnej výroby. V ďalších štúdiách by bolo vhodné porovnať dvojčlenné mostíky vyrobené konvenčnou technológiou a dvojčlenné mostíky vyrobené substrakčnou technológiou pri použití rovnakej metodiky.

Podakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Centrum medicínskeho bioaditívneho výskumu a výroby (CEMBAM), kód ITMS2014+: 313011V358, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja. Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Centrum pre pokročilé terapie chronických zápalových ochorení pohybového aparátu (CPT ZOPA), kód ITMS2014+: 313011W410, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja. Táto práca bola vypracovaná za podpory projektu KEGA 050TUKE-4/2022 Aditívna výroba v medicíne-tvorba multimediálneho materiálu a pomôcok pre podporu výučby v biomedicínskom inžinierstve. Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-22-0340.

Literatúra

- [1] Dolgov, N.A.; Dikova, T.; Dzhendov, D.; Pavlova, D.; Simov, M. Mechanical properties of dental Co-Cr alloys fabricated via casting and Selective Laser Melting. Mater. Sci. Non-Equilib. Phase Transform. 2016, 2, 3–7.
- [2] Herranz, G.; Berges, C.; Naranjo, J.A.; García, C.; Garrido, I. Mechanical performance, corrosion and tribological evaluation of a Co–Cr–Mo alloy processed by MIM for biomedical applications. J. Mech. Behav. Biomed. Mater. 2020, 105, 103706.
- [3] Ammarullah, M.I.; Santoso, G.; Sugiharto, S.; Supriyono, T.; Kurdi, O.; Tauviqirrahman, M.; Winarni, T.I.; Jamari, J. Tresca stress study of CoCrMo-on-CoCrMo bearings based on body mass index using 2D computational model. J. Tribol. 2022, 33, 31–38.
- [4] Riccitiello, F.; Amato, M.; Leone, R.; Spagnuolo, G.; Sorrentino, R. In vitro Evaluation of the Marginal Fit and Internal Adaptation of Zirconia and Lithium Disilicate Single Crowns: Micro-CT Comparison Between Different Manufacturing Procedures. Open Dent. J. 2018, 12, 160–172.
- [5] Sampaio, C.S.; Barbosa, J.M.; Cáceres, E.; Rigo, L.C.; Coelho, P.G.; Bonfante, E.A.; Hirata, R. Volumetric shrinkage and film thickness of cementation materials for veneers: An in vitro 3D microcomputed tomography analysis. J. Prosthet. Dent. 2017, 117, 784–791.

- [6] Javaid, M.; Haleem, A. Current status and applications of additive manufacturing in dentistry: A literature-based review. *J. Oral Biol. Craniofacial Res.* 2019, 9, 179–185.
- [7] Bhargav, A.; Sanjairaj, V.; Rosa, V.; Feng, L.W.; Fuh, Y.H. Applications of additive manufacturing in dentistry: A review. *J. Biomed. Mater. Res. Part B Appl. Biomater.* 2018, 106, 2058–2064.
- [8] Bae, E.J.; Jeong, I.D.; Kim, W.C.; Kim, J.H. A comparative study of additive and subtractive manufacturing for dental restoration. *J. Prosthet. Dent.* 2017, 118, 187–193.

Středa 28. 6. 2023

10:00

Porovnání napětí mezi implantáty se třmeny a bez třmenů pomocí QCT/FEA

Luboš Řehounek^{1*}, Mária Frolo² a Aleš Jíra³

¹ Katedra mechaniky, Fakulta stavební, České vysoké učení technické v Praze, Thákurova 7, 166 29 Praha 6 – Dejvice.

² Pražské centrum dentální implantologie, Na Okraji 331/45b, 162 00 Praha 6 – Dejvice

* lubos.rehounek@fsv.cvut.cz

Úvod

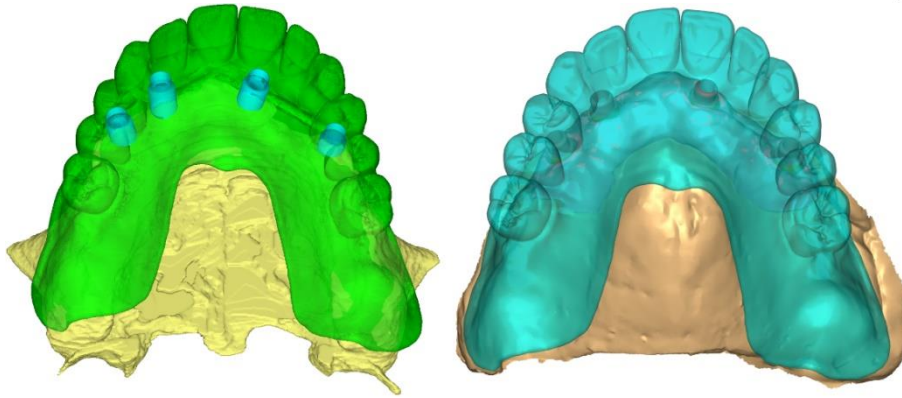
Protetika na implantátech jsou běžným způsobem léčby pro pacienty, jejichž kvalita kosti je nedostačující či pro pacienty, kteří mají bukolinguální sklon alveolárního hřebene [1]. Systém uchycení mezi protézou a implantáty může být buď se třmeny nebo bez třmenů [2,3]. V literatuře, nicméně, není prozatím konsenzus, která ze zmíněných variant poskytuje lepší účinek [4].

Metodologie

Pomocí metody QCT/FEA (Quantitative Computed Tomography-Based Finite Element Analysis) jsme analyzovali maxilu 76-letého muže. Potom byla provedena kontrola všech extraorálních a intraorálních požadavků pro umístění protézy [1]. Následně byly pacientovi implantovány implantáty Straumann SLA RN SP Roxolid v místech s nejlepší kvalitou kosti a byl proveden 3D rentgenový snímek (Obrázek 1). Poté byla provedena QCT/FEA analýza na zrekonstruovaném modelu (Obrázek 2) v programu Mechanical Finder.



Obrázek 1 Rentgenový 3D snímek pacienta, který byl získán přístrojem Planmeca ProMax ®3D Classic.



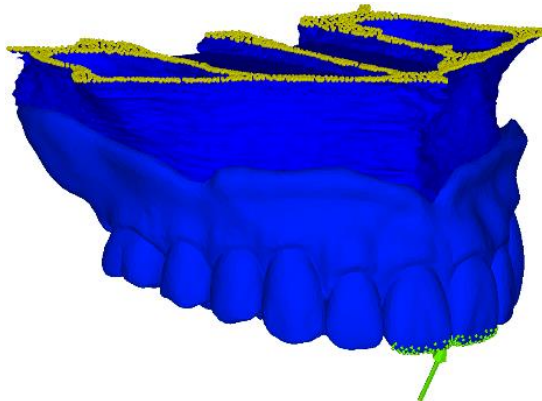
Obrázek 2 Vlevo – QCT/FEA rekonstrukce s protézou, vpravo – laboratoří poskytnutý rentgenový 3D snímek.

Po procesu rekonstrukce maxily z rentgenových snímků byly vymodelovány dvě varianty implantátů – se třmeny a bez třmenů (Obrázek 3). Model také obsahuje protézu z materiálu PEEK (polyetheretherketon, Obrázek 4).



Obrázek 3 Vlevo – varianta se třmeny vymodelovaná pro analýzu, vpravo – varianta locator bez třmenů.

Simulace byly provedeny ve třech zatěžovacích stavech. Zatížení bylo simulováno silou s inklinací v bukolinguálním směru. V prvním zatěžovacím stavu měla síla sklon 35° a velikost 150 N a byla umístěna ve frontálním úseku na obou předních řezácích (Obrázek 4). Ve druhém zatěžovacím stavu byl zatížen distální úsek moláry silou 600 N se sklonem 5° . Ve třetím zatěžovacím stavu byla síla 600 N beze sklonu a umístěna na první premolár. Model byl fixován vetknutím plochy řezu maxily, jak je znázorněno na Obrázku 4.



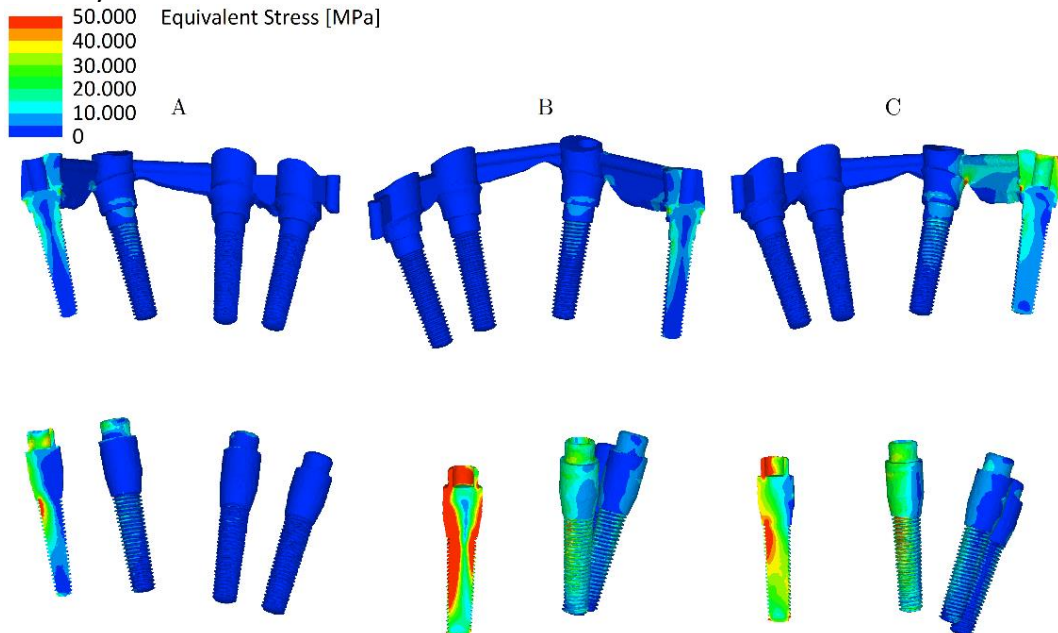
Obrázek 4 Kompletní model se silou z prvního zatěžovacího stavu. Žlutá barva představuje fixované uzly. Zelená představuje zatížené uzly. Model nyní také obsahuje protézu z materiálu PEEK.

Výsledky

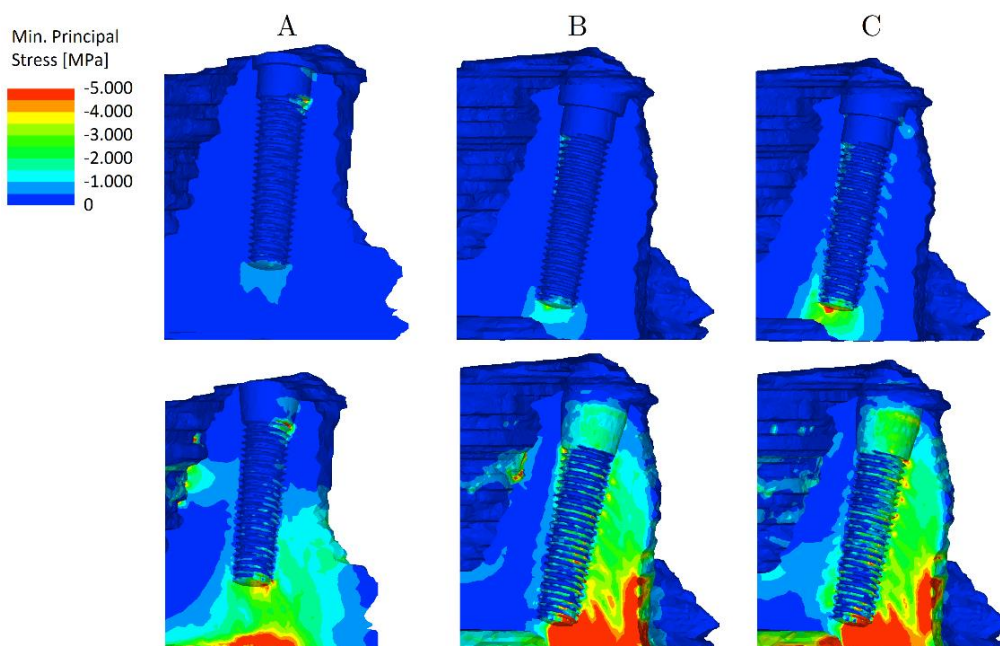
Výsledky zobrazené na Obrázku 5 představují porovnání ekvivalentního napětí mezi implantáty se třmeny a bez třmenů v tělesech implantátů. Kromě prvního zatěžovacího stavu

poskytuje varianta se třmeny zvýšenou tuhost v mesiodistálním směru a přerozděluje napětí do celého tělesa implantátu místo do individuálního dřívku. Naopak u varianty bez třmenů jsou vidět koncentrace napětí do individuálních dřívků implantátu.

Třmeny dále poskytují ochranu proti extrémnímu posunu individuálních dřívků, což má za následek menší koncentrace napětí v kosti v oblasti jejich vrcholů (Obrázek 6). Varianta se třmeny vykazuje pouze malé koncentrace tlakového napětí. U varianty bez třmenů se tuhý implantát protlačí více do kosti a vznikne zde nežádoucí koncentrace tlakového napětí v místě vrcholu implantátu. Isolinie na Obrázku 6 dále ukazují pozitivní efekt třmenů na redukci napětí vzniklého ohybem.



Obrázek 5 Isolinie ekvivalentního (Von-Misesova) napětí v tělesech implantátů pro obě analyzované varianty. Sloupec A – první zatěžovací stav, sloupec B – druhý zatěžovací stav, sloupec C – třetí zatěžovací stav. Vrchní řada jsou implantáty se třmeny, spodní řada implantáty bez třmenů.



Obrázek 6 Isolinie tlakového napětí v kosti pro obě analyzované varianty. Sloupec A – první zatěžovací stav, sloupec B – druhý zatěžovací stav, sloupec C – třetí zatěžovací stav. Vrchní řada jsou implantáty se třmeny, spodní řada implantáty bez třmenů.

Závěr

Z výsledků QCT/FEA analýz je patrné, že varianta se třmeny způsobuje redukci vzniku koncentrací napětí a rozdělení napětí je pro ni výhodnější, než u varianty bez třmenů pro všechny zatěžovací stavy. Třmeny svou přidanou tuhostí pozitivně ovlivňují rozdělení napětí u protéz na implantátech. Tato simulace byla provedena na rentgenovém snímku, který je kvalitou horší než CT snímek, ale může stále poskytovat uspokojivé výsledky, pokud je rekonstrukce správně provedena. Modely těchto kostí a náhrad by vždy měly také obsahovat protézu, protože ta svojí přidanou tuhostí také ovlivňuje rozdělení napětí. Předmětem k diskusi a dalšího vývoje v oblasti této problematiky je použitelnost těchto výpočtů v reálném čase pro lékaře a věrohodnost výsledků, které může špatná manipulace s daty či nastavením výpočtu výrazně ovlivnit.

Poděkování

Autoři vřele děkují za finanční podporu poskytnutou projektem SGS23/152/OHK1/3T/11 Fakulty stavební Českého vysokého učení technického v Praze.

Literatura

- [1] D. Mericske-Stern, R., Taylor, T.D. a Belser, U. Management of the edentulous patient, *Clinical Oral Implants Research: Chapter 7*, 11. vydání (2000), s. 108-125. ISSN 0905-7161.
- [2] Ceraulo, S., et al., Proposal for a clinical approach to geriatric patients with anchor need on implant for removable denture: New technique, *Prosthesis*, 3. vydání (2020), s. 16. DOI: 10.3390/prosthesis2030016.
- [3] Amornvit, P. et al. Management of obstructive sleep apnea with implant retained mandibular advancement device. *World J Dent*, 3. vydání (2014), s.184-189. DOI: 10.5005/jp-journals-10015-1285.
- [4] Al Amri, M.D., Crestal bone loss around submerged and nonsubmerged dental implants: A systematic review. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 5. vydání (2016) s. 564-570. DOI: 10.5005/jp-journals-10015-1285.

Středa 28. 6. 2023

10:15

Biomechanika cévních aneurysmat

Zbyněk Sobotka^{1*}, Lukáš Horný¹, Nikola Petrová² a Terezie Škorpíková¹

¹ Ústav mechaniky, biomechaniky a mechatroniky, Fakulta strojní ČVUT v Praze. Technická 4, 160 00 Praha – Dejvice.

² Chirurgická klinika, 3. Lékařská fakulta, Univerzita Karlova.

* zbynek.sobotka@fs.cvut.cz

Přestože je aneurysma, cévní výduť, známo hlavně jako onemocnění tepen, je možné se s ním setkat i u žil. Objevuje se zejména v místech tepeno-žilního zkratu, který je uměle vytvořen jako cévní přístup pro krevní dialýzu. Vlivem změny hemodynamiky a jizvení tkáně v místech přístupů dialyzační jehly se mění mechanické vlastnosti žilní stěny. Dlouhodobým cílem naší studie je porovnat chování patologicky postižených cév a cév zdravých a experimentálně

identifikovat parametry jejich materiálových modelů. Konstitutivní modely pro tkáň aneurysmatu tepeno-žilního zkratu pak mají být použity v simulacích výpočetní dynamiky kapalin s poddajnou stěnou pro určení změn, ke kterým dochází v hemodynamice aneurysmatu v cévním přístupu. Konferenční příspěvek dokumentuje dosavadní výsledky této studie.

Středa 28. 6. 2023

10:30

Možnosti mechanického testování a hodnocení zlomenin žeber

Kristýna Kubášová¹, Radek Sedláček¹, Tomáš Suchý^{1,2}, Lucie Vištejnová³, Maria Štěpánková⁴, Pavel Klein³, Jitka Luňáčková⁵, Martin Bartoš⁵

¹ Ústav mechaniky, biomechaniky a mechatroniky, Fakulta strojní, ČVUT v Praze. Technická 4, 160 00 Praha 6 – Dejvice.

² Ústav struktury a mechaniky hoblin, AV ČR. V Holešovičkách 41, 180 00 Praha 8.

³ Biomedicínské centrum, Lékařská fakulta v Plzni, Univerzita Karlova. Alej Svobody 1655/76, 323 00 Plzeň.

⁴ Department of Thoracic Surgery, University Hospital Basel. Spitalstrasse 21, 4031 Basel, Switzerland.

⁵ Stomatologická klinika 1. LF UK a VFN, Kateřinská 32, Praha 2.

* kristyna.kubasova@fs.cvut.cz

Abstrakt

Zlomeniny žeber jsou velmi častá poranění, ale neexistuje definitivní odpověď na jejich léčbu. Existují dva hlavní přístupy k této léčbě – metoda konvenční a metoda chirurgická. K hodnocení těchto metod, jejich růstu a účinnosti se používají různé přístupy, jedním z nich je právě mechanické hodnocení. K němu se využívají materiálové parametry nebo strukturní parametry, které mnohdy dávají protichůdné výsledky. Proto je třeba zvážit všechny výhody a nevýhody.

Poděkování

Tato práce je spolufinancovaná z SGS grantu ČVUT číslo SGS22/149/OHK2/ET/12.

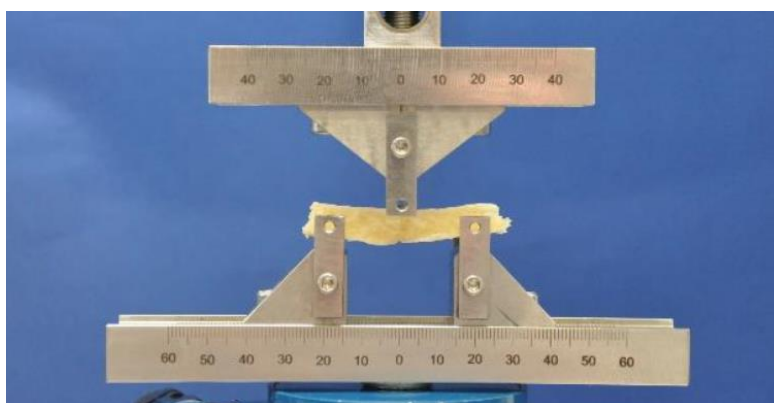
MKP model prasečího žebra při tříbodovém ohybu

Veronika Drátovská^{1*}, Kristýna Kubášová¹, Radek Sedláček¹

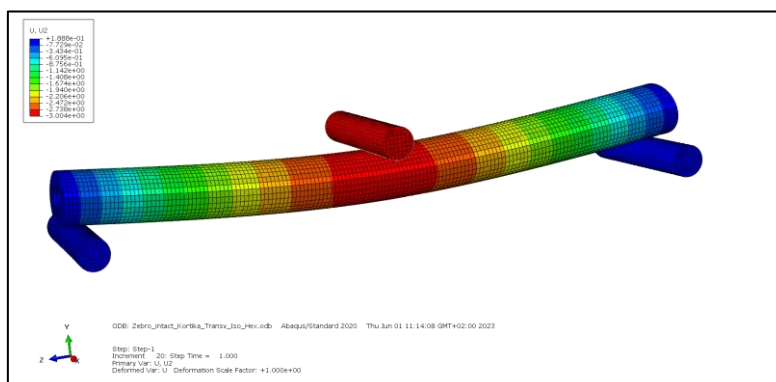
¹ Ústav mechaniky, biomechaniky a mechatroniky, Fakulta strojní ČVUT v Praze. Technická 4, 160 00 Praha – Dejvice.

* veronika.dratovska@fs.cvut.cz

Tento příspěvek se zabývá tvorbou MKP modelu prasečího žebra při tříbodovém ohybu. Vytvoření MKP modelu předcházelo experimentální testování mechanických vlastností prasečích žebírek. Během experimentů byla při tříbodovém ohybu snímána závislost zátěžné síly na průhybu žebra (viz Obrázek 1), ze získaných dat byly následně vypočteny další charakteristiky. Cílem MKP modelu je simulovat průběh tohoto experimentu a zároveň získat poznatky využitelné při dalším modelování mechanické odezvy kostí. MKP model bude postupně tvořen na různých úrovních složitosti. V tomto příspěvku budou představeny nejjednodušší modely, ve kterých je žebro modelováno jako trubka elipsoidního průřezu (viz Obrázek 2). Materiál žebra je modelován jako lineárně elastický, a to nejprve jako izotropní a následně jako transverzálně izotropní. Model bude postupně rozšířen o složitější geometrický i materiálový popis.



Obrázek 1 Zkouška tříbodovým ohybem s prasečím žebrem

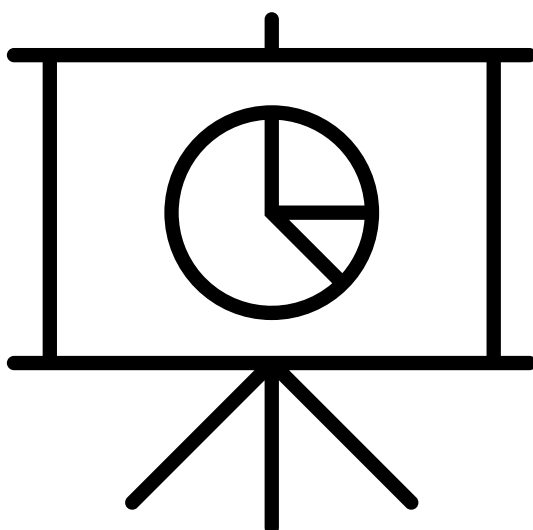


Obrázek 2 MKP model žebra s vykresleným průhybem

Poděkování

Tato práce je spolufinancovaná z SGS grantu ČVUT číslo SGS22/149/OHK2/ET/12.

POSTEROVÁ SEKCE



PONDĚLÍ 26. 6. 2023

16:30 – 17:30

Mechanická odolnost biodegradabilních hřebů v oblasti kotníku

Aleš Jíra^{1*} a Jiří Dupal²

¹ Katedra mechaniky, Stavební fakulta ČVUT v Praze, Thákurova 7, 166 29 Praha 6.

² Traumatologická klinika, Lékařská fakulta Univerzity Palackého v Olomouci, Hněvotinská 976/3, Olomouc.

* jira@fsv.cvut.cz

Úvod

V oblasti traumatologie skeletu, pokud nelze zlomeniny léčit konzervativně, je snaha minimalizovat invazivitu operačního výkonu. Všeobecně známé mini invazivní metody mají své zastoupení při volbě terapeutického postupu. Tyto metody mají za cíl minimalizovat vedlejší následky osteosyntézy limitací operačního přístupu, zkrácením doby operačního výkonu a minimalizovat obecná rizika operačního výkonu (celková anestezie, infekce, embolie atp.). Právě při využití biodegradabilních, resorbovatelných materiálů lze, v jistém slova smyslu, mluvit jako o miniinvazivní metodě, neboť odpadá nutnost dodatečné operace, tedy extrakce osteosyntetického materiálu se všemi důsledky [1]. Tato práce se věnuje cyklickému namáhání nitrokostních implantátů v oblasti vnitřního kotníku a porovnává mezní únosnost konvenčního a biodegradabilního implantátu s ohledem na skutečné namáhání ve zdravé tkáni.

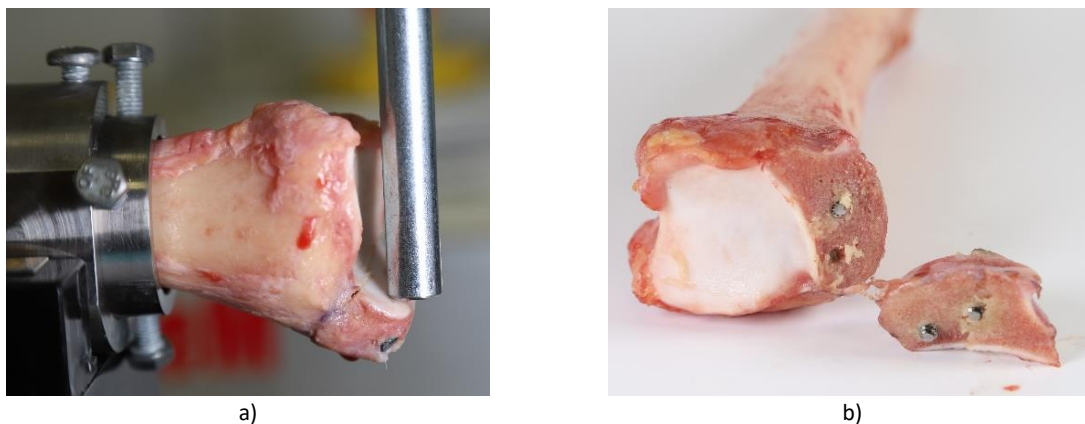
Použité materiály a metodika

Většina současných biodegradabilních materiálů je vyrobena na bázi poly-laktidu s dobrými biomechanickými vlastnosti a dobou degradace cca 14-36 týdnů. Ovšem doba hojení zlomenin kostí se obvykle pohybuje v rozmezí 8-12 týdnů a po skončení hojení by v ideálním stavu implantát měl být buď reoperován nebo plně degradován. Alternativou polymerních náhrad jsou náhrady na bázi magneziových slitin, které budou mít srovnatelné nebo lepší biomechanické vlastnosti a jejich degradace bude probíhat rychleji. Velkou výhodou slitin na bázi magnézia je, že mají modul pružnosti a pevnosti, na rozdíl od standardních materiálů využívaných k osteosyntéze (nerozová ocel, titan), srovnatelný s modulem pružnosti kosti, a tak se slitiny magnézia jeví jako ideální materiál [2]. Díky těmto vlastnostem a biodegradabilitě slitin magnézia bychom mohli předejít nežádoucím jevům, které můžeme pozorovat u standardních implantátů (iritace měkkých tkání, uvolnění, osteopenie).

I přes slibné vlastnosti magneziových implantátů, přetrvává v řadách ortopedů a traumatologů nedůvěra k tomuto druhu implantátu. Setkáváme s otázkou "reálné" pevnosti a s tím související stability osteosyntézy v porovnání se standardními implantáty (ocel nebo titan). Z těchto důvodů jsme se rozhodli provést mechanické testování a retrospektivní analýzu provedených osteosyntéz implantátů z chromnikové a magneziové slitiny.

Laboratorní testování probíhalo v oblasti dolních konců holených kostí. Na těchto kostních preparátech jsme simulovali zlomeninu vnitřního kotníku, provedli jsme osteotomii kosti oscilační pilou a následně osteosyntézu, stabilizaci osteotomie dvěma kortikálními šrouby 3,5mm v průměru. Tyto šrouby jsme zavedly kolmo na linii osteotomie, dle obecných standardů AO (Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen) pro osteosyntézu těchto zlomenin (Obr. 1a). V jedné skupině byly využity standardní ocelové šrouby a ve druhé šrouby magneziové, délka těchto šroubů byla od 36 do 40 mm, dle velikosti kostního preparátu.

Samotné testování bylo realizováno na stroji LiTeM s frekvencí 4 Hz. Amplituda mezních sil byla zvolena v souladu se studii jiných autorů [3, 4] vždy v rozsahu $F_{min} = 10 \text{ N}$ a $F_{max} = 50 + X \cdot 25 \text{ N}$. Kde X je číslo cyklu (0, 1, 2, ...). Počet opakování v každém cyklu byl stanoven na 10 000 opakování. Počet cyklů byl vždy až do mechanického porušení implantátů (Obr. 1b) nebo po dosažení mezního odklonu kostních fragmentů (zejména chromnikové implantáty).



Obrázek 1 Preparát kosti s viditelnou linií osteotomie a směrem zatížení a), porušení implantátů v místě simulovaného lomu – v tomto případě se jedná o snímek biodegradabilního implantátu.

Závěr

Práce ukázala velký rozdíl v mezní únavové únosnosti mezi klasickým a biodegradabilním implantátem. Biodegradabilní implantát přenesl výrazně menší mezní namáhání, ale při zohlednění skutečného namáhání v místě aplikace je jeho únosnost dostačující po celou dobu hojení. Zároveň nižší tuhost materiálu pozitivně ovlivňuje míru otláčení okolní kostní tkáně a nedochází k tak velikým oddálením jako v případě konvenčních implantátů. V čase hojení je namáhání kosti nižší, v porovnání s fyziologickým stavem a nižší pevnost implantátu je tak dostačující. V průběhu hojení se dá předpokládat postupný přenos namáhání z implantátu do kosti. Biodegradabilní hřebky představují velmi zajímavou alternativu, ale pro jejich plné nasazení by bylo vhodné studii rozšířit o větší množství zkušebních vzorků.

Poděkování

Práce vznikla za finanční podpory projektu SGS ČVUT v Praze č. SGS23/152/OHK1/3T/11.

Literatura

Ribeiro G.A, Knop L.N. and Rastgaar M, Multi-Directional Ankle Impedance During Standing Postures, *Trans. on Neural Sys. and Rehab. Eng.*, **28**(10), 2224-2235, 2020, ISSN 1558-0210.

McMaster, J., Biomechanics of Ankle and Hindfoot Injuries in Dynamic Axial Loading, " *SAE Technical Paper*, 2000-01-SC23, 2000, <https://doi.org/10.4271/2000-01-SC23>.

Burkhart K.J et al, Screw fixation of radial head fractures: Compression screw versus lag screw—A biomechanical comparison, *Injury, Int. J. Care Injured*, **41**(2010), 1015–1019, ISSN 0020–1383.

Wagner F.C. et al, Biomechanical comparison of biodegradable magnesium screws and titanium screws for operative stabilization of displaced capitellar fractures, *Biomed Eng online*. 2013, **12**(62), 1-8, ISSN 1058-2746.

Hledání vhodného materiálu pro 3D tisk cévních náhrad

Lukáš Horný¹, Hynek Chlup¹, Katarína Mendová¹, Zbyněk Sobotka¹, Zdeněk Petřivý¹,
Jakub Kronek^{1*}, Miroslav Kohan², Tomáš Balint², Marek Schnitzer²

¹ Ústav mechaniky, biomechaniky a mechatroniky, Fakulta strojní ČVUT v Praze. Technická 4, 160 00 Praha – Dejvice.

² Katedra biomedicínského inženýrstva a merania, Strojnícka fakulta, Technická univerzita v Košiciach, Letná 9/B 042 00, Košice, Slovensko

* jakub.kronek@fs.cvut.cz

Abstrakt

Tento příspěvek popisuje proces hledání materiálu vhodného pro 3D tisk tvarově složitých částí krevního řečiště. Jako nadějný kandidát se jeví polymer na bázi PLA a PHB. Tento materiál je biodegradabilní, navíc existují způsoby, jak jeho mechanické vlastnosti naladit a přiblížit vlastnostem nahrazovaných tkání. Pomocí mechanických zkoušek porovnáváme vlastnosti tohoto polymeru s vlastnostmi materiálů v klinické praxi dnes používaných pro cévní náhrady (GORE) a s vlastnostmi nativních cév. Zatím co napětově-deformační odezva se ukázala být velmi nelineární, anizotropní a silně závislá na tzv. předcvičení (preconditioningu) u vzorků z GORE, vzorky z 3D tištěného materiálu PLA-PHB jsou více lineární, izotropní, méně závislé na historii zatěžování a jejich tuhost je možné významně modifikovat nastavenými parametry samotného 3D tisku.

Úvod

Ať z technologických důvodů, nebo kvůli možným komplikacím kvůli tvarovým koncentrátorům napětí není snadné připravit náhradu tvarově složitých úseků krevního řečiště, např. aortálního oblouku. Navíc anatomie této části aorty se významně liší pacient od pacienta. Jako elegantní řešení se nabízí stále dostupnější technologie 3D tisku. V řadě aplikací je navíc výhodné použití materiálu biodegradabilního, tj. takového, který se působením tělního prostředí rozkládá na neškodné látky a jeho mechanickou funkci postupně přebírá nová živá tkáň, např. materiál na bázi PLA (kyselina polymléčná) a PHB (polyhydroxybutyrát) [1,2]. Potíž dostupných biomateriálů, ať trvalých nebo degradabilních, je jejich relativně vysoká tuhost při srovnání s mechanickými vlastnostmi nahrazovaných tkání (tepen). Rozdílná poddajnost/tuhost na rozhraní tepna-implantát má za následek vedle narušení hemodynamických podmínek, omezení funkce tepny jako akumulátoru tlakové energie i zanesení napěťového koncentrátoru do tohoto místa, zvyšujícího riziko selhání implantátu. Ideálem je naladit materiál na poměry blízké původní tkáni.

Metody

Kolegové z Technické univerzity v Košicích připravují materiál PLA-PHB z 85 % PLA a 15 % PHB, do kterého následně přidávají TAC (Tricytyl 2-acetyl cytrát) jako změkčovadlo. Z takto připravených filament (drátů) následně 3D tisknou metodou FDM (Fused Deposition Modeling) výtisky o různé vnitřní struktuře, např. různé výsledné porozitě.

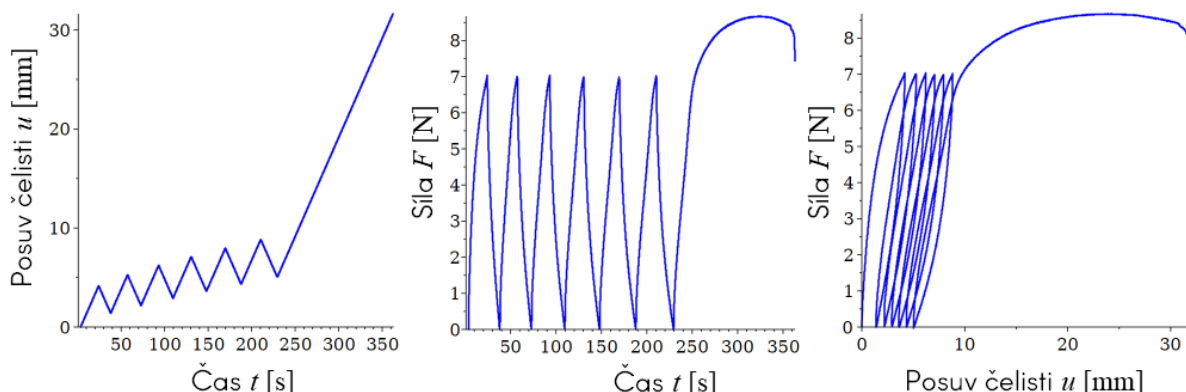
Na FS ČVUT jsme testovali pomocí jednoosého tahu jednak samotné filamenty z tohoto materiálu a dvě šarže 3D tištěných vzorků, lišících se porozitou výsledného výtisku. Dále jsme testovali geometricky podobné vzorky připravené z komerčně dostupné umělé cévy z materiálu GORE s označením SA1802 (W. L. Gore & Associates, Inc., USA). Tyto vzorky byly

připraveny ve dvou variantách – podélné a obvodové, dle směru zatížení vzorku vůči původní umělé cévě. Nakonec byly testovány nativní vzorky lidských aort. Jednoosá tahová zkouška probíhala na univerzálním testovacím zařízení Zwick/Roell (Zwick/Roell, Německo), vybaveným video-extenzometrem pro sledování deformace ve vnitřní třetině vzorků (bez ovlivnění 1D napjatosti kvůli vetknutí). Obě šarže vzorků z 3D tištěného PLA-PHD, filenty, vzorky z GORE a vzorky z aort měly délku přibližně 4cm a vzájemná rychlost posuvů čelistí při tahové zkoušce byla nastavena na 0,2 mm/s. Data (síly, deformace) byla sbírána a ukládána s frekvencí 20 Hz. Obrázek 1 ukazuje vzorky – filenty a vzorky 3D výtisků z šarže o vyšší porozitě a zatěžovací zařízení s upnutým vzorkem opatřeným značkami pro obrazovou detekci deformace.



Obrázek 1 Vlevo – samotné filenty a 3D vtištěné vzorky z PLA-PHB připravené pro jednoosou tahovou zkoušku. Vpravo – testovací zařízení a v detailu vzorek upnutý do čelistí.

Způsob zatěžování je nejlépe demonstrovat graficky (Obrázek 2). Vzorek nejdříve prodělal 6 předvíčovacími cykly do 7 N, následně byl odlehčen na 0 N a nakonec, v sedmém cyklu, byl protahován až do porušení.



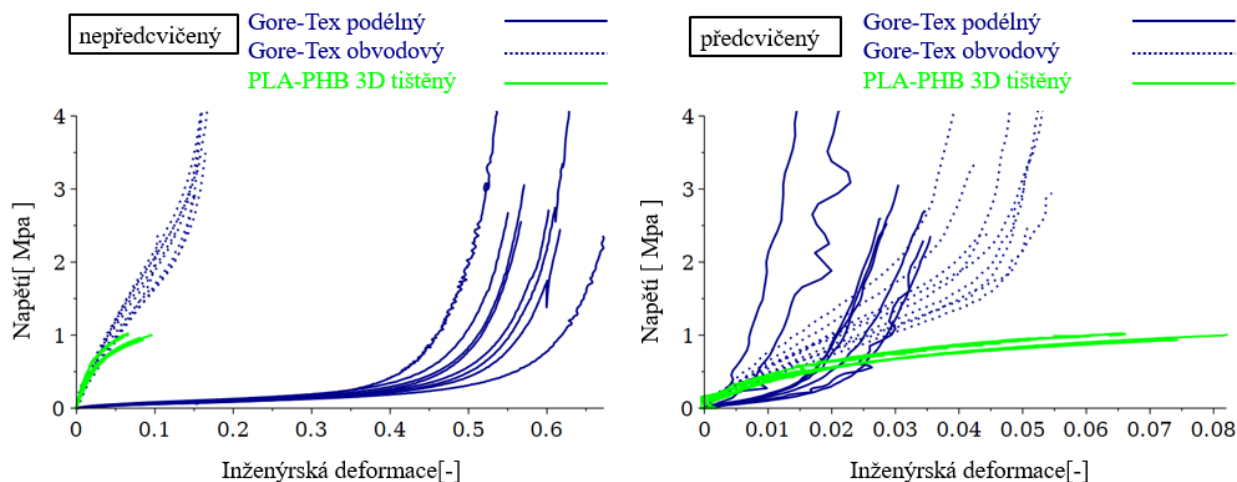
Obrázek 2 Způsob zatěžování vzorků při jednoosé tahové zkoušce – 6 cyklů 0 N až 7N, sedmý cyklus 0 N až do porušení vzorku.

Okamžité napětí jsme vyhodnotili jako okamžitou sílu ku počátečnímu průřezu. Deformaci jsme vyhodnotili jako tzv. inženýrskou deformaci, tj. změnu vzdálenosti značek ku jejich počáteční vzdálenosti. Z těchto dat byly vyhodnoceny maximální pevnosti vzorků, jako maximální přenesené napětí a počáteční moduly pružnosti jako směrnice přímeek

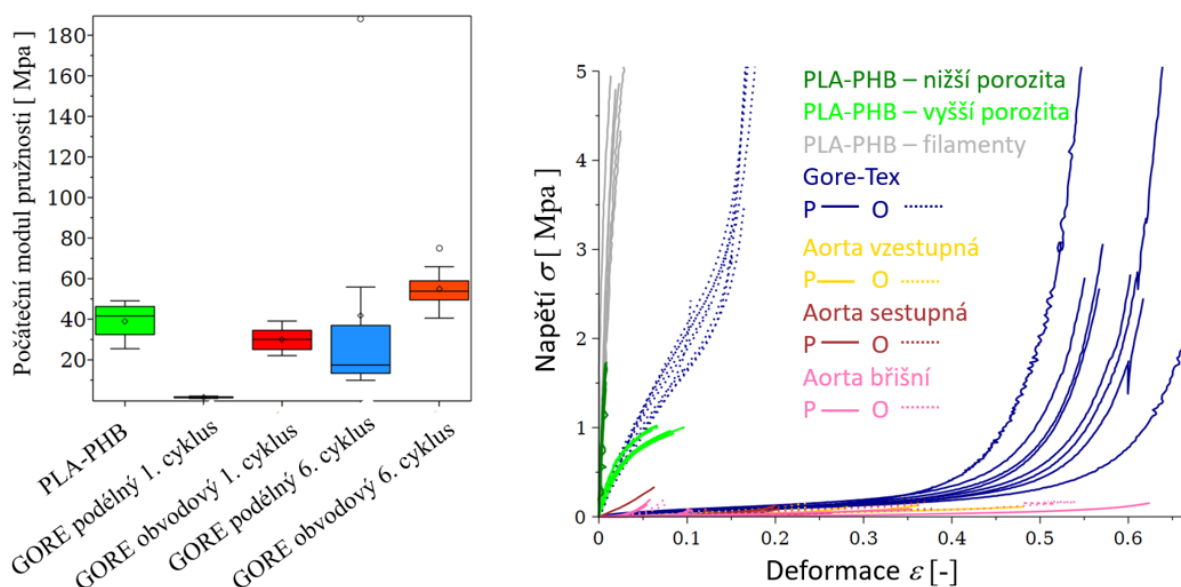
prokládajících data do deformace 1% pro “nerozcvičený” vzorek (počátek 1. cyklu) a rozcvičený vzorek (počátek 6. a 7. cyklu).

Výsledky

Vzorky z GORE vykazovaly výraznou anisotropii a výraznou závislost na (ne)rozcvičení (Obrázek 3). Popsanou metodikou byly vyhodnoceny počáteční moduly pružnosti (Obrázek 4 – vlevo). A konečně Obrázek 4 – vpravo sumarizuje a dává do souvislosti mechanické chování všech studovaných materiálů s chováním stěny aorty. Tento graf popisuje chování nerozcvičených vzorků (první cyklus).



Obrázek 3 Srovnání mechanického chování při 1D napjatosti materiálu GORE a 3D výtisků z PLA-PHB (šarže s vyšší porozitou) pro 1. a 6. zátěžový cyklus.



Obrázek 4 Vlevo – počáteční moduly pružnosti PHB a GORE. Vpravo – deformačně-napěťová odezva všech studovaných materiálů s mechanickým chováním stěny aorty e třech oblastí (vzestupná část aortálního oblouku, část sestupná (hrudní) a část břišní). Zkratky: P = podélný vzorek, O = obvodový vzorek.

Vyšší porozitou je možné významně snižovat tuhost 3D tištěného materiálu. Zatímco vzorky z šarže o nízké porozitě měly počáteční modul pružnosti prakticky totožný s filamenti z tohoto materiálu, u vzorků s vyšší porozitou došlo k poklesu poč. modulu pružnosti o jeden řád (Obrázek 4 – vpravo). U materiálu GORE byl potvrzen významný vliv směru (anizotropie) a vliv historie zatěžování (předcvičení). Chování GORE je při jednoosé napjatosti také více nelineární. Vliv předcvičení a/nebo směru zatěžování u PLA-PHB byl oproti GORE zanedbatelný, což ukázaly už předchozí testy.

Počáteční modul pružnosti obvodově orientovaných vzorků GORE je srovnatelný se vzorky s PLA-PHB. Konkrétně počáteční modul pružnosti pro PLA-PHB byl 39,04 MPa ($\pm 8,27$ MPa), pro GORE v podélném směru pro první cyklus 1.49 MPa (± 0.339 MPa), v obvodovém směru pro 1 cyklus 30.1 MPa (± 5.84 MPa), pro GORE v podélném směru pro 6. cyklus 41.7 MPa (± 61.0 MPa) a v obvodovém směru pro 6. cyklus 54.9 MPa (± 10.4 MPa).

Diskuse a Závěr

Byl potvrzen očekávaný výsledek, že zvýšením porozity 3D tištěných vzorků lze významně snížit počáteční modul pružnosti materiálu PLA-PHB. Výsledky 1D tahových zkoušek ukázaly, že 3D tištěné vzorky z PLA-PHB z šarže o vyšší porozitě se svým počátečním modulem pružnosti blíží cévní náhradě z GORE. Co bohužel prozatím PLA-PHB diskvalifikuje, je tloušťka stěny případných náhrad. Aby výsledná tuhost náhrad z PLA-PHB byla na úrovni GORE, musela by tloušťka její stěny být menší než 1 mm. Testované vzorky z 3D tištěného PLA-PHB měly zatím tloušťku zhruba dvojnásobnou.

Poděkování

LUASK22174 Bioresorbovatelné materiály pro aditivní výrobu cévních náhrad a jejich biomechanická charakterizace.

SK-CZ-RD-21-0056 Bioresorbovatelné materiály pre aditívnu výrobu cievnych náhrad a ich biomechanická charakterizácia

Literatura

- [1] Balint T., Findrik Balogová A., Hudák R., Živčák J., Schnitzer M., Feranc J., „Production, additive printing and mechanical testing of PLA/PHB materiál with different concentrations of TAC emollient,“ *In 19th IEEE World Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics, SAMI 2021, 2021, Article number 9378661.* <https://doi.org/10.1109/SAMI50585.2021.9378661>
- [2] Kohan M., Lancoš S., Schnitzer M., Živčák J., Hudák R., Analysis of PLA/PHB Biopolymer Material with Admixture of Hydroxyapatite and Tricalcium Phosphate for Clinical Use, *Polymers*, 14(24), article number 5357 (2022). <https://doi.org/10.3390/polym14245357>

Porovnanie charakteristík chôdze seniorov v laboratóriu a počas bežných denných aktivít

Lucia Bizovská^{1*}, Denisa Nohelová¹ a Zdeněk Svoboda¹

¹ Katedra přírodních věd v kinantropologii, Fakulta tělesné kultury, Univerzita Palackého v Olomouci. Třída Míru 117, 771 11 Olomouc

* lucia.bizovska@upol.cz

Úvod

V štúdiách, ktoré vznikajú v posledných rokoch, je často možné nájsť argumentáciu pre posudzovanie pohybového prejavu v prirodzených podmienkach namiesto laboratórneho prostredia [1]. Mimo iného existujú dôkazy napr. pre validnejší prístup pri odhaľovaní jedincov, u ktorých existuje zvýšené riziko výskytu pádov [2]. Tento prístup má svoje výhody v podobe nezmenených pohybových vzorcov a potlačenia psychologických faktorov spojených s prevádzaním aktivít pod dohľadom, medzi nevýhody však patrí možnosť ovplyvnenia získaných dát nekontrolovateľnými aspektami, napr. únavou jedinca, meniacim sa prostredím, v ktorom pohyb v rámci jedného zberu dát prebieha a ďalšími [3]. S technologickým pokrokom už takého hodnotenie nie je problémom a inerciálne senzory v ňom hrajú nezastupiteľnú úlohu. Cieľom tejto práce bolo porovnať pohybový prejav seniorov počas chôdze v kontrolovaných laboratórnych podmienkach a chôdze v priebehu bežných denných aktivít.

Metodika

Štúdia zahrnula 10 seniorov v priemernom veku $71,3 \pm 3,9$ rokov, ktorí nemali žiaden neurologický, pohybový ani iný problém ovplyvňujúci ich chôdzu. Seniori absolvovali v náhodnom poradí 3 úlohy v kontrolovaných podmienkach, počas ktorých boli inštruovaní chodiť v stálom preferovanom tempe po chodbe dlhej 30 metrov po dobu 5 minút a 1. nerozprávať, 2. viesť s výskumníkom nezáväzný rozhovor, 3. prevádzať počas chôdze kognitívnu úlohu. Štvrté hodnotenie pozostávalo z nekontrolovaného záznamu dát po dobu 3 dní. Dáta boli zbierané pomocou inerciálneho senzoru Axivity (typ AX3, Axivity Ltd., Newcastle upon Tyne, Veľká Británia, 100 Hz) umiestneného po celú dobu nepretržite na spodnej časti chrbta do výšky 5. bedrového stavca. Zo zrýchlenia v medio-laterálnom (ML), antero-posteriornom (AP) a vertikálnom (V) smere boli po identifikácii chôdzových cyklov a rozdelení signálu na okná dlhé 14 krokov vypočítané charakteristiky – root mean square (RMS), rozsah zrýchlenia a ich variabilita.

Výsledky a závery

Rozsahy v AP a V smere a RMS vo V smere sa medzi podmienkami štatisticky líšili ($p < 0,01$), absolútne rozdiely však boli príliš malé, aby mohli byť považované za klinicky relevantné. Naproti tomu variabilita týchto charakteristík naprieč skúmanými intervalmi bola štatisticky významne ovplyvnená podmienkami, za ktorých chôdza prebehla, a to vo všetkých prípadoch ($p < 0,001$). Najvyššia variabilita bola dosiahnutá v nekontrolovaných podmienkach, v kontrolovaných podmienkach boli opäť absolútne výsledky porovnateľné. Na základe výsledkov tejto práce nie je možné zhodnotiť, ktorá z úloh v kontrolovaných podmienkach by sa mohla najviac približovať chôdzi počas bežných denných aktivít podľa vzoru štúdie [1]. Za

najdůležitější výsledek je možné považovat, že samotné chůzové charakteristiky nevykázali dostatečnou citlivost při porovnání různých typů chůze, jejich variabilita však byla v tomto směru zásadní a výsledky potvrdili potenciálně limity využití dat z běžných denních aktivit zaznamenaných po delším časovém intervalu v zmysle veľkej rozdielnosti jednotlivých chůzových epoch medzi sebou [3]. Ostáva otázkou, či je tento aspekt výsledkov nutné vnímať negatívne ako dopad zvolenej metodiky, alebo pozitívne ako obraz celkového pohybového prejavu bez akýchkoľvek psychologických alebo fyzických obmedzení jedinca.

Literatura

- [1] Hillel, I., Gazit, E., Nieuwboer, A., Avanzino, L., Rochester, L., Cereatti, A., Croce, U. Della, Rikkert, M. O., Bloem, B. R., Pelosin, E., Del Din, S., Ginis, P., Giladi, N., Mirelman, A., & Hausdorff, J. M. (2019). Is every-day walking in older adults more analogous to dual-task walking or to usual walking? Elucidating the gaps between gait performance in the lab and during 24/7 monitoring. *European Review of Aging and Physical Activity*, 16(6), 1–12.
- [2] Weiss, A., Brozgol, M., Dorfman, M., Herman, T., Shema, S., Giladi, N., & Hausdorff, J. M. (2013). Does the Evaluation of Gait Quality During Daily Life Provide Insight Into Fall Risk? A Novel Approach Using 3-Day Accelerometer Recordings. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 27(8), 742–752.
- [3] Warmerdam, E., Hausdorff, J. M., Atrsaei, A., Zhou, Y., Mirelman, A., Aminian, K., ... & Maetzler, W. (2020). Long-term unsupervised mobility assessment in movement disorders. *The Lancet Neurology*, 19(5), 462–470.

Mechanické vlastnosti tepenných bandáží a cév.

Pavla Pelinková^{1*}, Lukáš Horný¹, Hynek Chlup¹, Zbyněk Sobotka¹, Zdeněk Petřivý¹, Jakub Kronek¹, Tomáš Suchý², Lucie Vištejnová³, Eva Kuželová Košťáková⁴

¹ Fakulta strojní, České vysoké učení technické v Praze.

² Ústav struktury a mechaniky hornin, Akademie věd České republiky.

³ Lékařská fakulta v Plzni, Univerzita Karlova.

⁴ Fakulta přírodovědně-humanitní a pedagogická, Technická univerzita v Liberci.

* pavla.pelinkova@fs.cvut.cz

Defekt komorového septa je vrozená srdeční vada. Dochází při ní k plicní hypertenzi a dříve, než je samotný defekt uzavřen, je zapotřebí zamezit překrvování plicního oběhu bandážováním plicní tepny. Současně používané bandáže na bázi expandovaného polytetrafluorethylenu (Gore-Tex) je po uzavření defektu septa potřeba z těla vyjmout. Cílem našeho projektu je vyvinout biodegradabilní bandáž na bázi kompozitu kolagen-poly-caprolakton-laktid, čímž odpadne nutnost reoperace. Za tímto účelem se zabýváme mechanickými vlastnostmi cév, doposud používaných bandáží a námi vyvinutého materiálu.

Biomechanické hodnocení pádu z výšky

Jiří Straus¹

¹Katedra kriminalistiky a forenzních disciplín, Fakulta právních a správních studií VŠFS, Estonská 500, 101 00 Praha 10

Úvod

Studium pádu lidského těla z výšky je významnou aplikací forenzní biomechaniky. Pád lidského těla z výšky vychází principiálně z fyzikální podstaty hodnocení vodorovného vrhu tělesa. Jde o složený pohyb, skládá se z pohybu vodorovným směrem a volného pádu. Pro objektivní posouzení faktorů ovlivňujících průběh pádu těla a dopadovou polohu je nutné brát v úvahu podmínky, za kterých došlo ke ztrátě kontaktu těla v počátečním bodě. Pád těla je determinován v okamžiku ztráty kontaktu těla s podložkou. Trajektorie padající osoby je závislá na několika parametrech, jako je výška pádu, poloha těla v okamžiku ztráty kontaktu, dále závisí na faktu, zda je na tělo působeno vnější silou. Dopad osoby je závislý na dopadové rychlosti, mechanických podmínkách dopadové plochy a poloze těla při dopadu, tedy na jakou část těla dopadne.

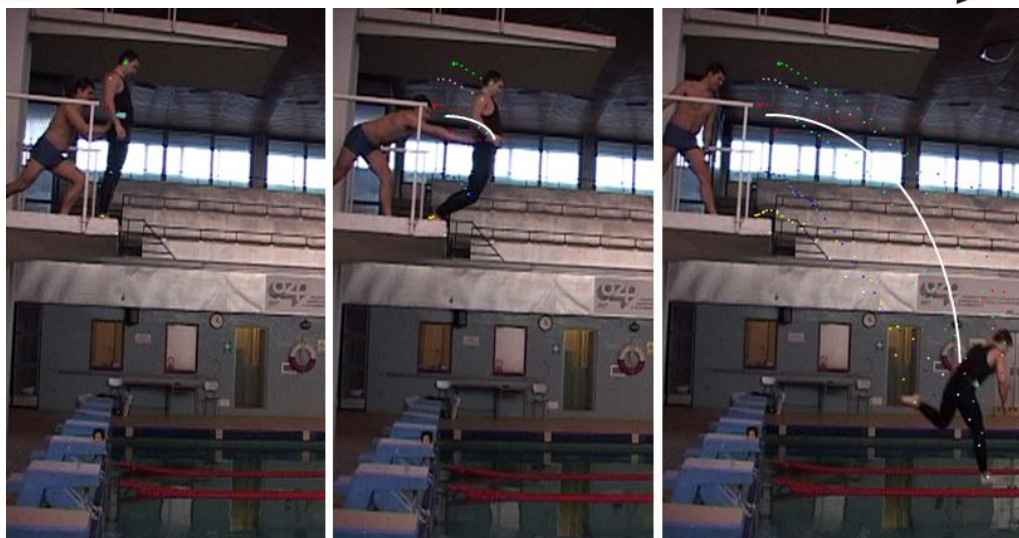
Experimentální data

V literatuře bylo publikováno několik studií, které uvádějí experimentálně naměřená data kinematiky pádu živé osoby z výšky při různých typech pádu [1], [2], [3], [4].

Studie biomechanické analýzy skoku z výšky byly prováděny také v podmínkách Česka. První biomechanické studie byly prováděny před patnácti lety [5]. Zpočátku byly experimenty prováděny s biomechanickou figurínou, realizovaly se pády do záchranné hasičské plachty, ale postupem se ukázalo, že nejvhodnější je provádět pády figurantů s dopadem do bazénu s vodou.

Tabulka 1 Horizontální složky rychlostí vektoru trajektorie těžiště těla zjištěné experimentálně při různých druzích pádu [5].

Charakter skoku	Horizontální složka rychlosti [m.s ⁻¹]
Odraz, aktivní skok	2,634
Spontánní pád	0,997
Strčení druhou osobou	1,438
Krok vpřed – normální	0,649
Krok vpřed – maximální	1,041
Krok vzad – normální	0,598
Krok vzad – maximální	1,007
Pád vpřed ze dřepu s rotací na záda	1,304
Skok ze startovního bloku (výška 1 m)	3,032



Obrázek 1 Pád s maximálním strčením do těžiště figuranta.

Při konstrukci typů jednotlivých pádů bylo cílem maximálně sjednotit kritéria v zájmu srovnatelnosti měření při provádění jednotlivých typů pádů. Figurant byl zejména instruován tak, aby se při všech pádech snažil, pokud to bude možné, dopadnout na hladinu na nohy. Takový dopad je možný u většiny pádů zajistit způsobem skoku. Zároveň bylo stanoveno, že figurant musí při všech pádech držet hlavu ve stejné vzpřímené poloze. Aby se zabránilo případným odchylkám v poloze těla, byl navíc figurant instruován tak, aby při všech pádech hleděl přímo před sebe.

V letech 2019-2021 jsme opakovali sérii pádu. Vlastní experimenty byly provedeny v bazénu, skoky byly prováděny ze skokanské věže výšky tří metrů. Experimenty byly provedeny se dvěma figuranty, mužem (28 let, 183 cm, 80 kg) a ženou (20 let, 170 cm, 52 kg), oba figuranti byli dobře trénovaní jedinci, pravidelně trénují bojové sporty [6], [7]. Testovali jsme různé varianty skoku a pádu. Jednotlivé skoky byly několikrát opakovány.

Tabulka 2 Horizontální složky rychlosti vektoru trajektorie těžiště těla zjištěné experimentálně při různých druzích pádu [6,7]

Typ pádu	Horizontální složky rychlosti (m/s)
Krok vpřed	1,11
Skok s rozběhem	3,30
Skok z místa s odrazem	1,88
Pád ze dřepu na okraji	1,09
Pád ze sedu na okraji	0,66
Pád z náklonu vpřed	1,80
Tlak do zad do těžiště těla	2,20
Úder do obličeje a následný pád vzad	1,93

Empiricky zjištěná data

Tabulka 3 Kinematické hodnoty z analýzy kriminálních případů – jednalo se o dobře zadokumentované případy.

Typ pádu	Horizontální složka (m/s)
Sebevražda – krok vpřed	0,71
Sebevražda – krok vzad	0,52
Skok vzad – odraz	0,868
Sebevražda – pád vpřed – spontánní	0,89
Sebevražda – aktivní skok z místa – vpřed	2,05
Sebevražda – aktivní skok s rozběhem	3,41
Přiložení vnější síly	1,38
Nešťastná náhoda	0,557
Pád vpřed ze sedu	0,88

Závěr

Horizontální složka rychlosti osoby v okamžiku ztráty kontaktu těla je jednou z nezbytných charakteristik biomechaniky pádu. Znalost této hodnoty může výrazně pomoci při řešení cizího zavinění, aktivního skoku nebo spontánního pádu osoby. Výsledky experimentů umožňují zjistit hodnoty pro maximální hodnoty jak pro netréované figuranty, tak pro trénované jedince.

Poděkování

Příspěvek vznikl za podpory vědeckého projektu SVV VŠFS „Biomechanická analýza vybraných pohybových akcí ve vztahu k objasňování násilné trestné činnosti“ a je evidován pod číslem 7427/2022/01. Děkuji tímto figurantům a spolupracovníkům, kteří se podíleli na přípravě experimentální části projektu.

Použitá literatura

- [1] CROSS R., Falls from a height. *Am. J. Phys.* 76 , 9, September 2008, pp 833-837
- [2] KIRAN KUMAR, J. V., SRIVASTAVA, A. K., Pattern of Injuries in fall from Height. *J Indian Acad. Forensic Med. Jan-March 2013, Vol. 35, No. 1, pp. 47-50.*
- [3] LEBEDEV, A. N. Vozmožnosti rekonstrukcii nekotorych obstojatelstv smertelnoj travmy při padenii s vysoty. *Voj. Med. Acad.jur.*, 1985, s 18-21.
- [4] SHAW, K. P., HSU, S. Y. Horizontal distance and height determining falling pattern. *Journal of Forensic Sciences.* 1998; 43/4, s. 765-771.
- [5] STRAUS J. Biomechanické aspekty pádů člověka z výšky. Sborník vědeckých prací „Identifikace potřeb právní praxe jako teoretický základ pro rozvoj kriminalistických a právních specializací“. Karlovy Vary: VŠKV, 2012, s. 288–297.
- [6] STRAUS, J., PORADA, V. *Teorie forenzní biomechaniky*. Praha: Vysoká škola finanční a správní, a.s., 2018. 168 s. Edice SCIENCEpress. ISBN 978-80-7408-140-8.
- [7] STRAUS, Jiří. *Forenzní biomechanika. Teoretické, experimentální a empirické metody*. 1. vyd. Praha: Vysoká škola finanční a správní, a. s., 2021. 204 s. SCIENCEpress. ISBN 978-80-7408-219-1.

Biomechanika reverzní náhrady ramenního kloubu

Adam Kratochvíl^{1*}, Matej Daniel¹

¹ Ústav mechaniky, biomechaniky a mechatroniky, Fakulta strojní ČVUT v Praze. Technická 4, 160 00 Praha 6 – Dejvice.

* adam.kratochvil@fs.cvut.cz

Abstrakt

Reverzní endoprotéza ramenního kloubu (RTSA – „Reverse total shoulder arthroplasty“) je totální náhradou, která se ukázala jako vhodné řešení pro pacienty s komplexními patologiemi ramene, jako je např. rozsáhlé poškození rotátorové manžety, těžká artritida ramene, následky složitých zlomenin či reoperace po selhání tradiční náhrady. Na rozdíl od anatomické totální endoprotézy ramene, která se opírá o intaktní funkci rotátorové manžety, u RTSA se obrací anatomie ramenního kloubu umístěním protetické hlavice na glenoid a jamky na humerus. Tento obrácený stav kloubu umožňuje deltovému svalu kompenzovat ztracenou funkci rotátorové manžety, což umožňuje zlepšení motorických funkcí ramene a tím celé paže. Při operaci dojde ke změně centra rotace, které je zpravidla medializováno a zároveň i posunuto inferiorně. Tím se zvětší rameno síly, na kterém působí deltový sval a tím pádem dochází ke snížení potřebné síly, kterou musí při pohybu vyvinout. Zároveň dochází při operaci i k prodloužení pažní kosti a tím i prodloužení svalů posunutím jejich úponů. To vyvolá ve svalech obepínajících rameno pasivní síly, které potom pomáhají stabilizovat protetický kloub. Negativním efektem předepnutí svalů je jejich přetěžování v dlouhodobém horizontu, což způsobuje postupnou ztrátu jejich funkčnosti. V rámci naší práce jsme se proto zaměřili na optimalizaci této operace z hlediska prodloužení humeru a posunutí centra rotace vzhledem k funkčnosti, stabilitě a životnosti reverzní náhrady ramene.

Poděkování

Výzkum byl podpořen grantem Studentské grantové soutěže ČVUT SGS22/149/OHK2/3T/12.

Human Biomechanics 2023 – Sborník

Kristýna Kubášová, Adam Kratochvíl, Katarína Mendová, Jana Garanová Krišťáková

Vydalo: České vysoké učení technické v Praze
Fakulta strojní,
Ústav mechaniky, biomechaniky a mechatroniky
Technická 4, 166 07 Praha 6

ISBN: bude doplněno

Všechny příspěvky jsou vydány bez jazykové korektury.

Vydání: 1. Počet stran: 60

Praha, červen 2023

Copyright © 2023