

OBSAH

Obsah	3
1 Názov práce	4
2 Klúčové slová	5
3 Úvod	6
4 Zhrnutie súčasného stavu poznania	7
4.1 Tribologické procesy u bedrových náhrad	9
4.2 Meracie metódy používané pre kvantifikáciu oteru	12
4.3 Povrchová analýza jednotlivých druhov náhrad	22
5 Analýza, interpretácia a zhodnotenie poznatkov na základe rešerže	32
5.1 Zhrnutie rešeršných poznatkov	32
5.2 Záver plynúci z rešeršnej analýzy problematiky	33
6 Podstata a ciele dizertačnej práce	35
7 Pracovná hypotéza	36
8 Spôsob riešenia a použitie vedeckej metódy	37
8.1 SWOT analýza riešenie problému dizertačnej práce	37
9 Časový rozvrh a etapy riešenia	38
10 Odôvodnenie nutnosti a potrebnosti riešenia danej problematiky	39
11 Popis navrhovaných koncepčných a metodických postupov	40
11.1 Etapa 1	40
11.2 Etapa 2	41
11.3 Etapa 3	42
12 Spolupráca s inými inštitúciami	43
13 Predpokladané náklady spojené s riešením a ich zdroje	44
13.1 Predpokladané náklady	44
13.2 Financovanie výskumu	44
14 Charakteristika predpokladaného výsledku riešenia práce	45
15 Bibliografia	46

1 NÁZOV PRÁCE

Analýza objemového opotrebenia bedrových implantátov za pomoci optických metód.

Volumetric Wear Analysis of Hip Joint Replacement by Optical Method

2 KLÍČOVÉ SLOVÁ

2

Bedrový kĺb, objemové opotrebenie, optické metódy, 3D skener, profilometria, osteolýza

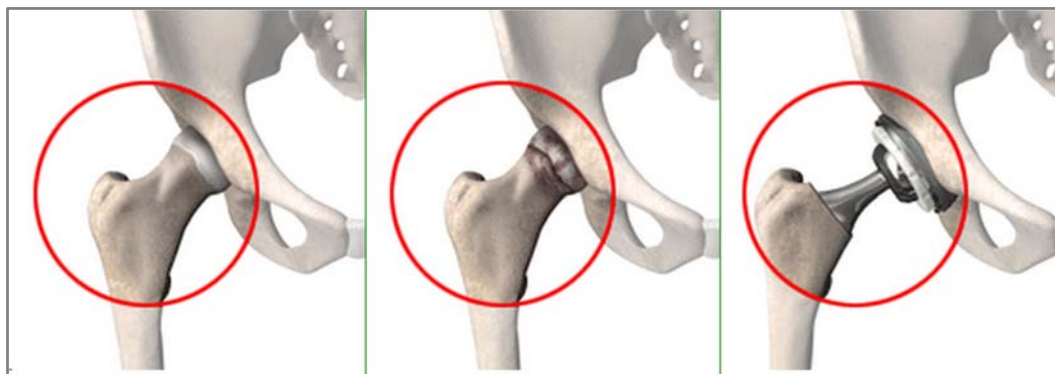
Hip joint, Volumetric Wear, Optical Method, 3D Scanner, Profilometry, Osteolysis

3 ÚVOD

Projekt dizertačnej práce pojednáva o analýze opotrebenia implantátov bedrových kĺbov. Zrýchľujúcim sa tempom života, nárastom pohybových aktivít hlavne u mladej populácie a zvyšujúcim sa priemerným vekom, narastá riziko nutnosti operácie bedrového kĺbu. V súčasnosti patrí tento ortopedický zákrok k jedným z najčastejších a najúspešnejšie prevádzaných operácií v modernej medicíne. Na základe dostupných klinických štatistík dochádza ročne až k 89 945 operáciám [1]. Avšak s týmto ortopedickým zákrokom je však spojený pomerne zásadný problém zlyhávania náhrad. Vzhľadom k vysokému počtu ročných operácií je táto otázka vysoko aktuálnou problematikou. Mnoho popredných odborníkov v oblasti medicíny a biotribológie sa zaoberá príčinami zlyhávania a snahou je zníženie počtu nutných reoperácií a zvýšenie životnosti implantátu v tele pacienta. Dôsledok zlyhania náhrady zapríčiňujú tribologické procesy medzi povrchmi náhrady, ktorých dôsledok je uvoľňovanie častíc do tela pacienta. Častice spôsobujú nežiaduce komplikácie a vznik prípadných onemocnení vedúce až k nutnej reoperácii náhrady, čo sa značne znepríjemňuje život pacienta.

V ľudskom tele sa kĺb skladá z dvoch do seba zapadajúcich kostí, ktorých artikulujúce povrchy sú oddelené chrupavkou. Kĺbová chrupavka je vďaka svojej poddajnosti ideálnym materiálom k oddeleniu povrchov. Nielenže vytvára akýsi tlmiaci člen, ale vďaka svojej materiálovej štruktúre umožňuje neustálu hydratáciu kĺbu, čím sa vytvárajú dokonalé podmienky pre jej funkciu. U kĺbovej náhrady je ale situácia odlišná. Vzhľadom k absencii chrupavky dochádza ku kontaktu dvoch relatívne tvrdých povrchov, čo vedie k značnému zvýšeniu opotrebenia a tým aj uvoľňovaniu nežiaducich častíc materiálu do tela. Presnou kvantifikáciou a identifikáciou oteru je možné pochopiť tribologické procesy a klinické dopady.

Poznatky získané v tejto oblasti, môžu viesť k zdokonaleniu náhrad či už po stránke geometrie alebo použitých materiálov. Priamy dopad je na klinické výsledky pacientov a dôsledky by mali viesť v prvom rade k zvýšeniu životného komfortu a odstráneniu komplikácii s náhradou, ale aj ušetreniu financií spojených s nákladnými operáciami.



Obr. 1 Výmena bedrového kĺbu za umelú náhradu [1 <http://www.sworthopedics.com/>]

4 ZHRNUTIE SÚČASNÉHO STAVU POZNANIA

Prvé pokusy o náhradu ľudského kĺbu siahajú až do polovice 19. storočia. Jednou z prvých datovaných operácií bola náhrada dreveným implantátom v roku 1840. Ďalší vývoj nasledoval náhradami zo slonoviny a akrylického cementu. Zásadný zlom nastal až v roku 1962, kedy bola použitá prvá náhrada z vysoko sieťovaného polyetylénu – UHMWPE pre výrobu kĺbovej jamky. Tento úspech sa pripisuje chirurgovi Sir Johnovi Charnleymu. Ďalšími míľnikmi je využitie zliatiny CoCrMo a vývoj rôznych keramických materiálov. [3]

Využívanie rôznych materiálov vedie k zásadným rozdielom v oblasti tribologických procesov. Jedným z najväznejších dopadov je miera opotrebenia u jednotlivých materiálových kombinácií, ktorá vedie k určeniu životnosti náhrady. Analýze tejto problematiky sa venuje viacero výskumných skupín, ktorých snahou je za pomoci moderných dotykových a bezdotykových metód stanoviť množstvo materiálu, ktoré sa do tela pacienta uvoľnilo. Tento jav má nepriaznivý dopad na klinické následky pacienta a môže sa po prekročení istého množstva nepriaznivo prejaviť vo forme osteolýzy - úbytku kostného tkaniva, čo vedie k uvoľneniu celej náhrady [4]. V následku tejto skutočnosti je z celkového počtu všetkých operácií až desať percent re-operácií, kde podiel narastá hlavne pre pacientov mladšej generácie.

Vzhľadom k uvedeným skutočnostiam sa rada publikácií zaoberá analýzou miery opotrebenia, použitím rôznych princípov snímania reálneho povrchu a metodiky spracovania dát. Uvedená tabuľka demonštruje hodnoty oteru u jednotlivých materiálových dvojíc:

Materiál Hlavica - jamka	Objemové opotrebenie (mm ³ /rok)
UHMWPE - Kov	56
Cross linked UHMWPE - Kov	2,8
Kov - Kov	0,9
Keramika- Keramika	0,004

Tab. 1 Objemové opotrebenie jednotlivých materiálových dvojíc [3]

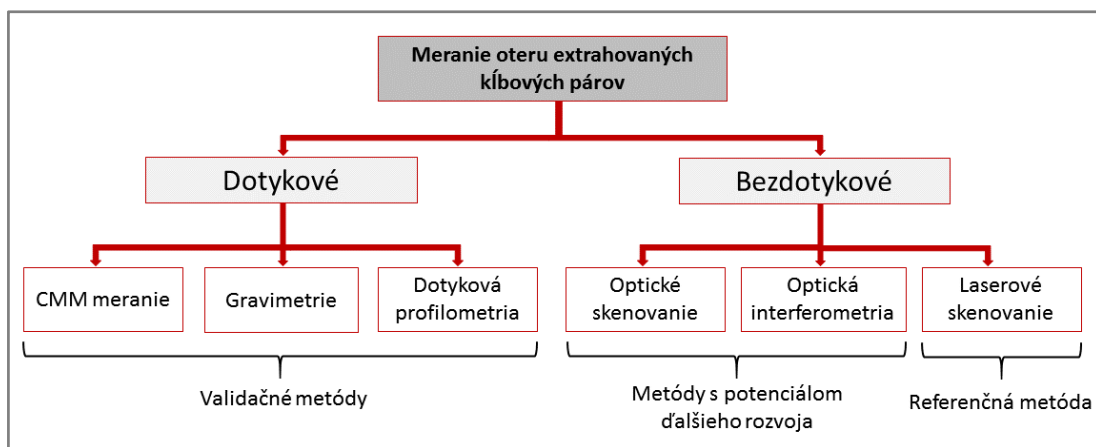
Pri samotnej kvantifikácii objemu opotrebenia je možné metodicky rozčleniť dva hlavné prístupy vyhodnocovania.

- Vyhodnocovanie v tele pacienta – *in vivo* (predikovanie zlyhávania)
- Vyhodnocovanie v laboratórnych podmienkach – *in vitro* (pooperačná analýza)

Prvá metodika je zaužívaná hlavne v klinickej praxi a je stanovený na základe röntgenového snímku bedrovej oblasti pacienta. Jednou z najčastejšie používaných je metóda Dorr [4]. Hlavným benefitom tejto metódy je možnosť analýzy decentrácie kĺbových komponentov v tele pacienta bez zásahu do tela. Avšak značnou nevýhodou je veľmi malá presnosť, preto objemový úbytok je čisto orientačný a využiteľný len v klinickej praxi [5].

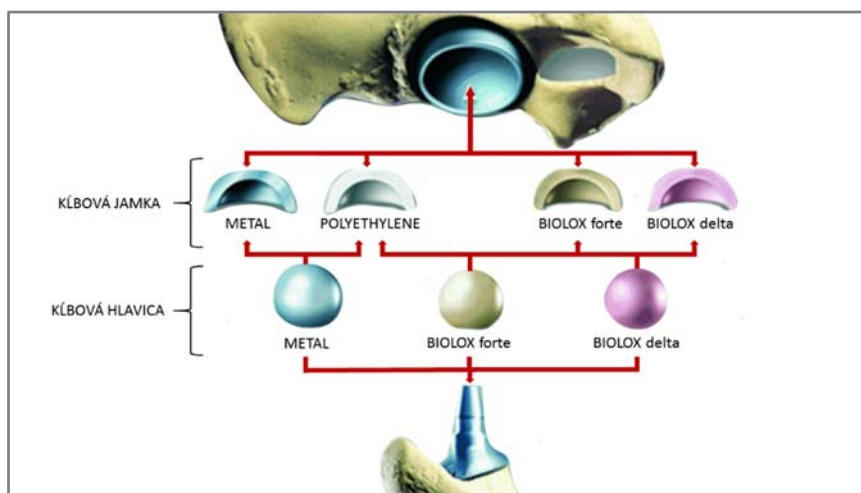
U druhého prístupu sa ponúka široké portfólio metód použiteľných pre kvantifikáciu objemu. V súčasnom prehľade publikácii nájdeme množstvo diferencii, či už v zvolenej metóde, alebo prístupe vyhodnocovania dát. Pre zjednotenie postupov boli vydané špecifikácie postupu merania prípadne umelého opotrebenia bedrovej náhrady – norma ISO 14242, zloženú z troch častí. Jednotlivé časti pojednávajú o validačnej metóde formou gravimetrie, definujú množstvo a rozloženie bodov na artikulačných povrchoch náhrady, ktoré je nutné zosnímať aby sme dosiahli využiteľných výsledkov k stanoveniu oteru a definujú spôsob zaťažovania pri simulácii chôdze. [6,7]. Norma definujúca podmienky je užitočná z hľadiska využiteľnosti pre validáciu novo testovaných prístupov a prípadnému stanoveniu presnosti použitej metódy.

Na základe zamerania doterajších štúdií je možné ďalej prístupy deliť z hľadiska princípu použitej metódy, čo definuje jednotlivé prístupy, ktoré budú využité v dizertačnej práci.



Obr. 2 Rozdelenie meracích metód z hľadiska princípu

Ďalším významným rozdelením na základe ktorého je možné podkladové publikácie rozdeliť sú použité materiály náhrad, na ktorých je opotrebenie analyzované. Pre merania sú využívané reálne materiálové dvojice alebo samostatné komponenty, ktoré sú extrahované z tela pacienta prípadne opotrebené umelo na simulátore.



Obr. 3 Materiálové kombinácie kĺbových náhrad [8].

Minimalizovanie opotrebenia je primárnou snahou pri vývoji nových generácií kĺbových náhrad z pohľadu geometrie a materiálu. Problematika spadá do rôznych oblastí materiálového a tribologického základného výskumu. V posledných rokoch je zameranie tribologického výskumu zacielené prevažne na štúdium formovania mazacieho filmu, ale pochopenie a definovanie základných fundamentálnych javov a analýza dôsledkov zlyhávania kĺbových náhrad vedie k objasneniu problematiky v širších súvislostiach. Z toho hľadiska je nutné sa zaoberať pooperačnými výsledkami a spätnou analýzou poškodených párov k pochopeniu procesov prebiehajúcich vo vnútri tela pacienta (*in vivo*)

Na základe zamerania práce sú publikácie rozdelené do troch základných kapitol pojednávajúcich o problematike opotrebenia. Rozdelenie publikácii, je so zameraním na stanovenie troch hlavných vedeckých otázok, ktorých výsledkom budú tri publikácie rozširujúce poznatky v danej oblasti. Kritická rešerža rešpektuje štruktúru vedeckých publikácii IMRAD a je doplnená o odstavec GAP (miesto pre potencionálny rozvoj), ktorý zaznamenáva autorove subjektívne inšpirácie z preštudovanej publikácie.

4.1 Tribologické procesy u bedrových náhrad

4.1

4.1.1 Metal-on-metal hip joint tribology [9].

4.1.1

Dowson, D. AND Z. M. Jin Metal-on-metal hip joint tribology. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part H-Journal of Engineering in Medicine, Feb 2006, 220(H2), 107-118.

Úvod publikácie

Jedná sa o jednu z najzakladanejších publikácii v oblasti zlyhávania bedrových náhrad, neobsahuje priame nadväznosti na cieľ dizertačnej práce, ale poskytuje základné znalosti potrebné pre riešenie danej problematiky. Autor definuje základné pojmy ovplyvňujúce zlyhávanie náhrad a priamo definuje klinické dopady jednotlivých parametrov na pacienta. Zameranie článku je na kovové náhrady a problematiku spojenú s ich funkciou.

Materiál a metódy

1. Základné tribologické aspekty u kovových bedrových náhrad
V článku je uvádzané že u uvedených náhrad dochádza k zmiešanému druhu mazania, pojednáva sa aj o ostatných režimoch a náhradu prirovnáva ku klznému ložisku. Na základe tohto predpokladu je možné prebrať koncept kvapalinového mazania. V spojitosti s mazaním je uvádzaná drsnosť povrchu u nových náhrad v rozmedzí 5-15 nm, tým začínajú prevažovať výhody kovových náhrad aj napriek zmenšujúcej sa vrstve mazacieho filmu.

2. Mazací model
Vychádza sa z predpokladu, že hrúbku mazacieho filmu je možné predikovať na základe parametru mazania λ . Avšak predikcia nie je triviálnou záležitosťou vzhľadom k premenlivosti zaťažovania.

3. Numerické riešenia predikcie mazania

Vychádza sa z Reynoldsovej rovnice. Dochádza k zjednodušujúcim predpokladom, ako equivalentné nahradenie geometrie - guľa na rovine, mazacie médium je použité 25% bovinné sérum, smer zaťažovania a iné parametre.

4. Trenie

Vyjadruje sa tvrdenie, že súčiniteľ trenia je závislý na hustote kvapaliny. Bežné hodnoty sa pohybujú v hodnote 0,2-0,3. Pre zmiešané mazanie v bedrových kĺboch sa dosahuje hodnoty parametru mazania 2 - 3 u kovových náhrad.

Záver a využiteľnosť

Článok potvrdzuje predpoklad, že u tvrdých párov dochádza k zmiešanému mazaniu prípadne v špecifických prípadoch k mazaniu kvapalinovému na rozdiel od páru kov – polyetylén, kde dochádza čisto k medznému režimu mazania. Taktiež zdôvodňuje vhodnejšie použitie väčších priemerov u týchto materiálov a minimalizovanie výrobných vôl. V diskusii sú nadnesené tri výzvy k zdokonaľovaniu náhrad kov-kov:

- Výber najvhodnejšieho materiálu
- Výber základnej geometrie
- Presná výroba, kontrola guľovitosti a drsnosti.

Gap

- Pozorovanie drsnosti povrchu počas opotrebenia a dopad na hrúbku filmu (funguje aj s proteínmi ?)

4.1.2 Determination of friction coefficient in THA bearing pairs [10].

(prijatý do Acta Orthopédica)

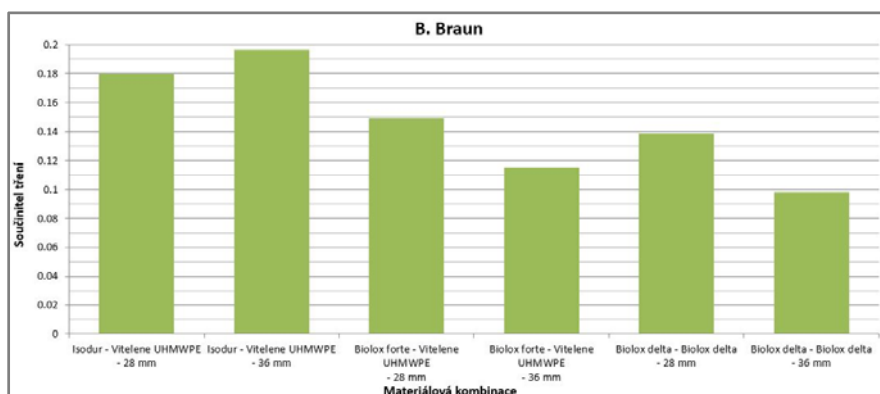
Úvod publikácie

Článok vznikol na základe spolupráce Fakultnej nemocnice Olomouc a ÚK. Pojednáva sa o stanovení súčiniteľa trenia artikulujúcich povrchov náhrady u dvoch výrobcov náhrad (B. Braun, Zimmer). Ako mazacie médium bolo použité 25% hovädzie sérum. Výsledky sú konfrontované s priemerovými vôľami analyzovaných párov, ktoré boli zisťované za pomoci optického skeneru.

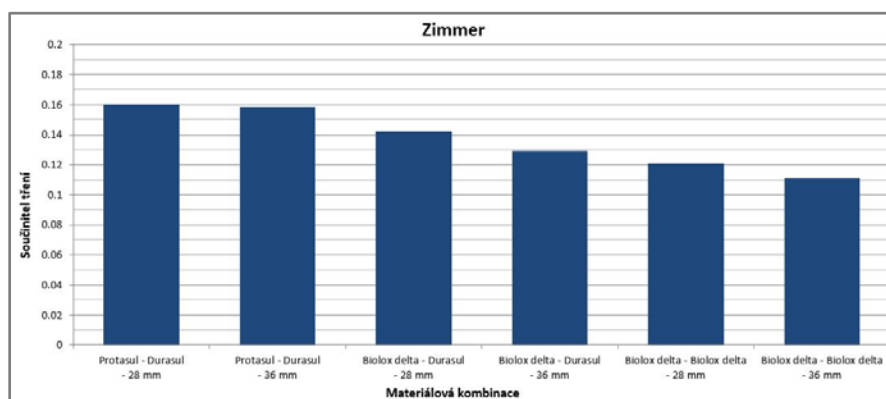
Materiál a metódy

Drsnosť bola meraná na profilometre Bruker Contour X8, priemerové vôle boli stanovené za pomoci optického skeneru ATOS Tripple scan. Boli analyzované páry od dvoch výrobcov a rôzne materiálové kombinácie. Všetky testy boli realizované na priemere 28 a 36 mm. Samotný súčiniteľ trenia bol zisťovaný za pomoci kyvadla, zaťaženého silou 2000 N.

Výsledky



Obr. 4 Závislosť súčiniteľa trenia na type implantátu - B. Braun



Obr. 5 Závislosť súčiniteľa trenia na type implantátu - Zimmer

Záver a využiteľnosť

Primárnym cieľom je stanovenie súčiniteľa trenia, čo nemá priamu spojitosť s cieľom diertačnej práce. Avšak k získaniu výsledkov bolo nutné analyzovať geometriu, čo je priestor pre aplikáciu novej metodiky. Z publikácie plynie, že metódy stanovenia odchýlok geometrie sú dôležité nielen k vyhodnocovaniu oteru náhrad ale aj k deklarovaniu výrobných tolerancii TEP náhrad, čo má dopad na celkovú funkciu umelého kĺbu.

Gap

- Aký teda je dopad výrobných tolerancii na funkciu náhrady (diskusia) ?
- Aký je potenciál použitia metódy v iných smeroch výskumu TEP náhrad ?

4.2 Meracie metódy používané pre kvantifikáciu oteru

4.2.1 Effect of matte coating on 3D optical measurement accuracy [11].

Palousek, D., M. Omasta, D. Koutny, J. Bednar, et al. Effect of matte coating on 3D optical measurement accuracy. Optical Materials, Feb 2015, 40, 1-9.

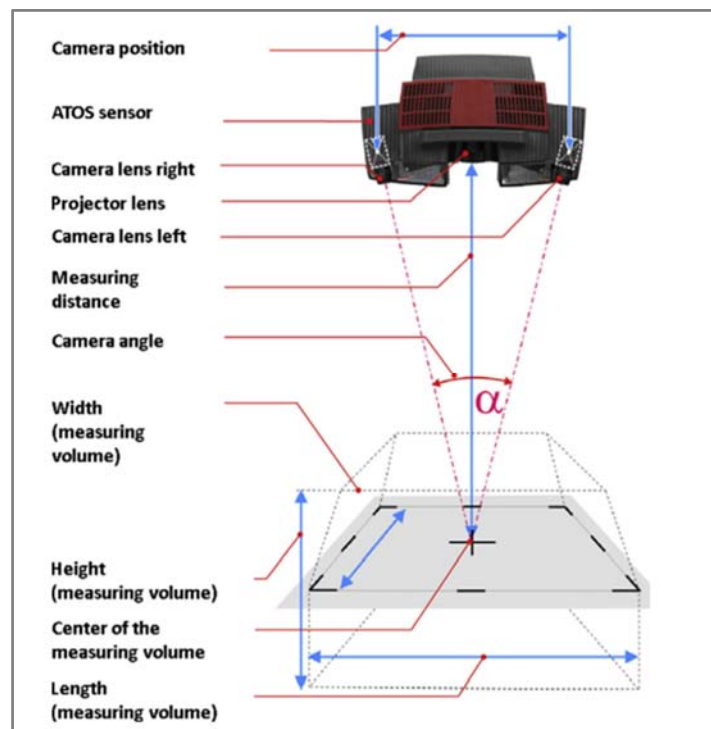
Úvod publikácie

Publikácia popisuje princíp skenovania za pomoci optického skenru ATOS Tripple Scan, primárne sa zaoberá vplyvom antireflexnej vrstvy na nepresnosti merania. Výsledkom je stanovenie neistoty, ktorú nám táto úprava spôsobuje. Článok je výsledkom výskumu vedeckej skupiny reverzného inžinierstva na ÚK. Výhodou je, že testovaná metóda a vplyv prášku na presnosť merania je testované priamo pre zariadenie, na ktorom budú merané extrahované páry.

Materiál a metódy

Použitie zariadenie ATOS Tripple scan, za pomoci ktorého bol digitalizovaný sférický kaliber o nominálnom priemere 25,0064 mm, čo je veľmi podobné rozmerom femurálnej hlavice TEP náhrady. Pre prevedené testy bol použitý objektív MV170. Kompletný sken bol zostavený zo 6 parciálnych skenov. Ako antireflexná vrstva bol využitý titánový prášok a kriedový sprej. Vyhodnocovací software – GOM Inspect V7.

V postprocesingu boli odstránené nepotrebná data, bola prevedená polygonizácia na trojuholníkovú sieť a objekt vyhladený s 0,005 mm odchýlkami.



Obr. 6 Popis optického systému

Výsledky

Variable t (mm)	Mean	StDev	Range
Cylinder-chalk	0.010580	0.005190	0.02150
Cylinder-tit.	0.002896	0.000852	0.00310
Sphere-chalk	0.012890	0.007450	0.02940
Sphere-tit.	0.000970	0.000555	0.00210

Obr. 7 Hrúbka vrstvy

Variable	u_A (mm)	Selected u_A (mm)
Cylinder-chalk	0.00268	0.00390
Sphere-chalk	0.00385	
Cylinder-tit.	0.00044	0.00044
Sphere-tit.	0.00029	

Obr. 8 Neistota merania

Záver a využiteľnosť

Publikácia stanovuje hrúbku nástreku antireflexnej vrstvy na meraný objekt a štatisticky stanovuje neistotu meraní. Výhodou je presný popis metodiky a spracovania štatistickými metódami.

Gap

- Stanovenie opakovateľnosti merania u bedrových náhrad.
- Aký je vplyv rozloženia referenčných bodov na opakovateľnosť merania ?

4.2.2 Wear measurement and assessment of explanted cross-linked PE acetabular cups using a CMM [12].

4.2.2

Uddin, M. S. Wear Measurement and Assessment of Explanted Cross-Linked PE Acetabular Cups Using a CMM. Tribology Transactions, 2014, 57(5), 767-777.

Úvod publikácie

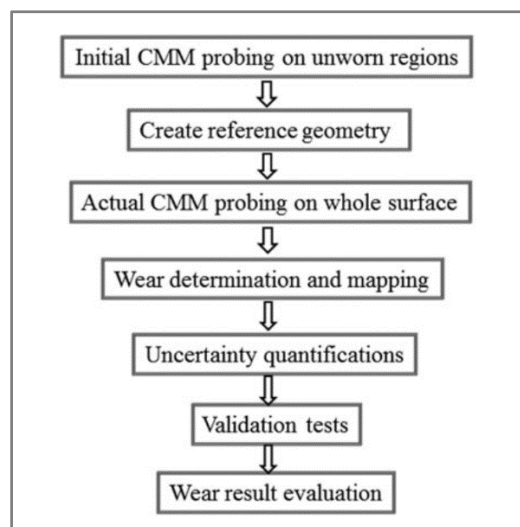
Práca sa zaoberá posudzovaním extrahovaných náhrad jamiek bedrových kĺbov. V práci sú analyzované vzorky bežne používaných polyetylénov „cross-linked polyethylen (XPE)“ a druhej generácie „high cross-linked polyethylene (X3)“. Primárnym nástrojom pre určenie opotrebenia je súradnicové meracie zariadenie (CMM). Pre validáciu metódy a určenie jej neistôt bolo využité gravimetrickej metódy. Experimenty sú zamerané hlavne na mieru spoľahlivosti danej metodiky.

Autor považuje CMM metódu doplnenú o analýzu neistôt za vhodnú k identifikácii dráhy a smeru opotrebenia. Ako najčastejšie prístupy kvantifikácie opotrebenia považuje autor, lineárne opotrebenie, objemové opotrebenia a rýchlosť opotrebovávania. S využitím CMM metódy demonštruje možnosť stanoviť lineárne a objemové opotrebenie. Neistotu tejto metódy kvantifikuje na $\pm 3,15 \text{ mm}^3$. (95% hladina spoľahlivosti). Ako benefit danej metódy považuje možnosť stanovenia dráhy opotrebenia v 3D priestore.

V práci je hodnotená metodika v súlade s normou ISO 14242-2, pojednávajúcej o podmienkach merania. Vyjadruje sa k stanoveniu odchýlok a nepresností merania. Autor spomína aj ďalšie metodiky ako počítačová tomografia a rádiografia ale nevyjadruje sa k hodnoteniu za pomoci optických metód.

Materiál a metódy

V práci je analyzovaných 5 extrahovaných vzorkov z rôznymi priermi (28-36 mm). Dva vzorky sú z XPE a tri z X3. Časové rozmedzie od extrakcie vzorku je 3 -10,5 roku. Vzorky boli čistené acetónom a chemicky a teplotne stabilizované na dobu 24 hodín. Autor sa nevyjadruje k spôsobu uchovávaní vzorkov po explantácii. V práci je definovaný postup analýzy a spôsob vyhodnocovania. Pre meranie bolo použité zariadenie od firmy Brown & Sharpe's MicroXcel.



Obr. 9 CMM analýza extrahovanej jamky

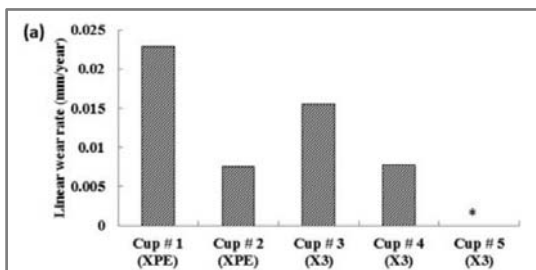
Meranie prebiehalo za stálej teploty $20 \pm 1^\circ\text{C}$ a vlhkosti $55 \pm 5\%$. Tieto podmienky sú v súlade s normou ISO 14242- part 2. Po implantácii boli vzorky ponechané 2 mesiace v stálych podmienkach pre ustálenie deformácií (visokoelastické tečenie materiálu). Ako referenčné data používa autor geometriu vytvorenú na základe neopotrebeného povrchu, ktorá bola vytvorená z 10 snímaných bodov. Objemové rozdiely boli vyhodnocované za pomoci programu Matlab.

Analýza odchýlok metódy je v práci detailne rozpísaná a je možné na základe postupu stanoviť odchýlky pre rôzne veľkosti hlavice alebo jamky. V konečnom dôsledku autor validuje metodiku za pomoci gravimetrie špecifikovanej normou ISO 14242 - 2. Ako hodnotiacia vzorka bola použitá nerezová guľička (AISI 316L). Opotrebenie bolo simulované mechanickým procesom. Presnosť váhy bola $\pm 0,01$ mg.

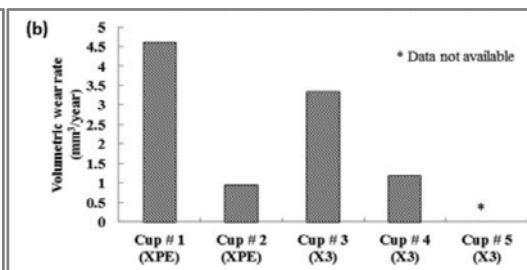
Výsledky

Výsledkom článku je stanovenie objemového a lineárneho opotrebenia u 5 extrahovaných jamiek vyrobených z X3 a XPE. Výsledky sú stanovené ako celkové množstvo ubudnutého materiálu a následne je vyjadrené množstvo úbytku za rok.

Autor dokazuje vhodnosť metódy a výsledky sú podporené validáciou za pomoci gravimetrie. Ako rozhodujúci faktor je stanovenie normovanej chyby E_N ktorá nesmie byť vyššia ako 1, čoho bolo v práci dosiahnuté. Maximálna chyba medzi oboma metódami je 8,36%.



Obr. 10 Lineárne opotrebenie jamky



Obr. 11 Objemové opotrebenie jamky

Záver a využiteľnosť

Autor pojednáva o CMM metóde ako využiteľnej a dostatočne presnej a spoľahlivej k určovaniu objemového opotrebenia a porozumeniu mechanizmov opotrebenia u TEP komponentov. V diskusii sú hodnotené získané výsledky a uvádzajú ich do porovnania s predchádzajúcimi publikáciami hodnotiacimi lineárne opotrebenie. Poukazuje sa na menšie opotrebenie o vysoko sieťovaného polyetylénu. Vyjadruje sa o potenciáli stanovenia objemového opotrebenia u extrahovaných komponentov a zároveň poukazuje na nedostatok publikácii kedy by boli výsledky uvádzané do súvislosti s klinickými dátami. Taktiež poukazuje na vplyv hustoty snímaných bodov (hustota 0,25 mm) na výslednú presnosť.

Gap

- Hľadanie súvislostí objemového opotrebenia s klinickými dátami.
- Spraviť vyhodnotenie s väčšou hustotou skenovaných bodov. (optická digitalizácia)
- Spresnenie metódy hľadania referenčnej geometrie.

4.2.3 Volumetric wear assessment of field metal-on-metal hip resurfacing prostheses [13].

4.2.3

Lord, J. K., D. J. Langton, A. V. F. Nargol AND T. J. Joyce Volumetric wear assessment of failed metal-on-metal hip resurfacing prostheses. *Wear*, 10/3/ 2011, 272(1), 79-87.

Validácia CMM metódy a aplikácia na extrahované jamky

Úvod publikácie

Článok sa zaoberá analýzou metodiky CMM a kvantifikovaním jej odchýlok na základe hodnotenia geometrie kovových artikulačných povrchov náhrad bedrových kĺbov. V úvode článku autor hodnotí predchádzajúce publikácie, zaoberajúce sa touto metodikou. Taktiež sa vyjadruje k dôležitosti stanovenia úbytku materiálu a s tým súvisiace klinické problémy. Na základe toho predstavuje svoju štúdiu kvantifikujúcu odchýlky v hodnotení objemového opotrebenia danou metodikou. Podstatou článku je spojenie meracej metódy a vyhodnocovacieho programu za pomoci software Matlab. Súčasťou práce je kvantifikovanie nepresnosti merania.

Lead author [reference]	Year	Number of components measured	CMM accuracy (μm)	Number of points taken	Size of errors
Kothari et al. [26]	1996	22 pairs	± 5	325	Not given
Bills et al. [31]	2007	2 pairs	± 1	Not given	Not given
Morlock et al. [15]	2008	58 (including 26 pairs)	± 3	Not given	Up to 8%
Witzleb et al. [32]	2009	10 (including 2 pairs)	± 1	1297	Not given
Becker and Dirix [29]	2009	44 femoral heads	± 2.9 and ± 0.8	15,960	Max. 15% and 55%
Present study		54 (including 22 pairs)	± 0.9	Up to 7128	0.5 mm ³

Tab. 2 Sumarizácia štúdií zaoberajúcich sa metódou CMM na explantovaných kovových náhradných kĺboch

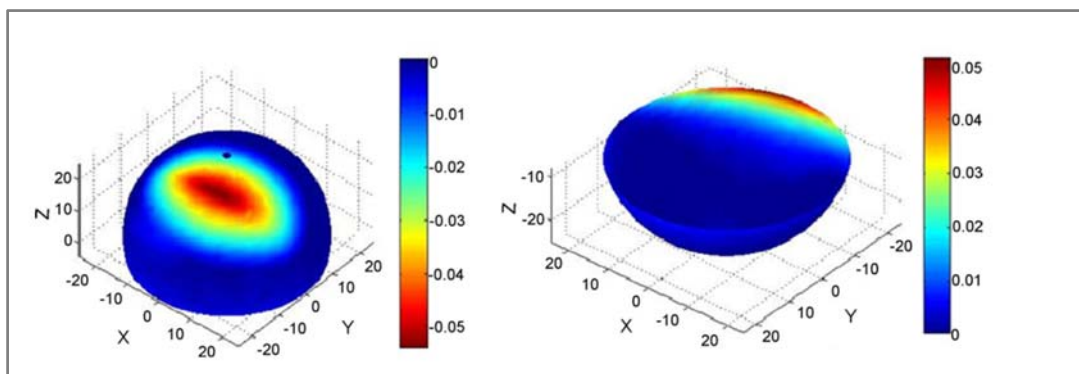
Materiál a metódy

V práci bolo analyzovaných 32 kĺbových hlavíc a 22 jamiiek získaných z revízných operácií. Priemery jednotlivých náhrad sa pohybovali od 43 do 53mm. Pacienti podstúpili reoperáciu z niekoľkých príčin: fraktúra femuru, avaskulárna nekróza, infekcia a reakcia s kovovými časticami. jednotlivé vzorky boli merané za pomoci CMM zariadenia od firmy Mitutoyo s deklarovanou presnosťou na základe normy ISO 10360 - 0.88 μm pre priemer hlavice 53mm. Finálne meranie bolo snímané na 7128 bodoch pre hlavicu a 4104 bodoch pre jamku na základe čoho bolo vyhodnocované opotrebenie. Na základe programu zostaveného v softvéri Matlab bol dopočítavaný polomer ktorý bol následne vyhodnotený pomocou histogramu. Plocha bola rozdelená na štvorcové oblasti a následne pre každú z nich bolo dopočítavaný objemový úbytok.

Metodika bola validovaná za pomoci gravimetrie. Presnosť validačnej metódy je udávaná na 0,1mg. Opotrebenie referenčného vzorku pre validáciu bolo realizované za pomoci brúsneho papiera.

Výsledky

Na základe popisu predchádzajúcej metodiky autor vyhodnocuje extrahované vzorky. Metóda je validovaná za pomoci gravimetria a výsledná odchýlka je 0,53mm³. Autor uvádza všetky dáta z meranie, kde je možné porovnať úbytok materiálu za rok a dôvod zlyhania náhrady.



Obr. 12 Odchýlková mapa generovaná za pomoci software Matlab

Failure mode (number of cups, heads)	Mean wear rate (mm ³ /year) (range)			Mean wear volume (mm ³) (range)		
	Cups	Heads	Combined	Cups	Heads	Combined
ARMD (18,19)	9.26 (1.05–69.30)	8.30 (1.17–29.48)	17.64 (3.11–87.73)	19.30 (1.93–109.72)	19.22 (2.96–75.09)	38.69 (5.35–138.91)
ARMD fracture (2,6)	36.75 (9.91–63.59)	14.53 (2.48–31.91)	68.50 (41.49–95.50)	142.94 (42.10–243.77)	56.49 (7.24–134.22)	271.21 (176.32–366.10)
Early fracture (0,4)	–	8.26 (3.51–17.10)	–	–	2.42 (0.72–4.06)	–
AVN (1,2)	0.30	0.21, 0.41	0.51	1.35	0.93, 1.30	2.28
Infection (1,1)	1.89	0.69	3.98	3.30	1.20	4.50

Tab. 3 Množstvo opotrebenia u jednotlivých komponent - priradenie k príčine zlyhania

Záver a využiteľnosť

V závere sa pojednáva o množstve uvoľnených častíc a dopade na klinické výsledky pacienta. Taktiež sa uvádza typické množstvo úbytku materiálu pre danú náhradu. Diskusia je postavená na porovnávaní predchádzajúcich štúdií zaoberajúcich sa úbytkom materiálu a hodnotenie voči výsledkom dosiahnutím pojednávanou metodikou. Autor sa snaží uviesť spojitosti s klinickými dopadmi u reoperovaných náhrad. V poslednom odstavci sa vyjadruje k vplyvu natočenia náhrady v tele na jej opotrebenie.

Gap

- Je uvádzaný uhol 40°- 45° vhodný z hľadiska opotrebenia náhrady ?

4.2.4 Quantifying the wear of acetabular cups using coordinate metrology [14].

4.2.4

Morris, B., L. Zou, M. Royle, D. Simpson, et al. Quantifying the wear of acetabular cups using coordinate metrology. *Wear*, 7/18/ 2011, 271(7–8), 1086-1092.

Úvod publikácie

V úvode článku autor pojednáva o jednotlivých metódach s odkazmi na publikácie. Vyjadruje sa o presnosti používaných metód pri meraní kruhovitosti (metoda OOR) uvádza presnosť až 10nm, ale zároveň komentuje metódu ako pracnú

a zdĺhavú k stanoveniu dráhy opotrebenia. Použitá metóda je validovaná gravimetricky.

Materiál a metódy

Súborom pozorovaných vzorkov je 13 jamiiek o priemere 40 mm a 3 o priemere 48 mm vyrobené z kobalt-chrómovej zliatiny. Opotrebenie náhrad prebehlo na simulátore od firmy MTS systém. Pre analýzu bola vytvorená rôzna škála opotrebení a následne mapovaná za pomoci CMM meracieho prístroja s deklarovanou presnosťou 0,020 mm. Ako referenčná geometria je používaná preklad ideálnou guľovou plochou za pomoci štatistickej metódy – best fit.

4.2.5 Development of a technique for accurately determining clinical wear in explanted total hip replacements [15].

Bills, P., L. Blunt AND X. Jiang Development of a technique for accurately determining clinical wear in explanted total hip replacements. *Wear*, 9/10/ 2007, 263(7–12), 1133-1137.

Testovanie využiteľnosti CMM metódy

Úvod publikácie

Autor v úvode poukazuje na zaujímavý fakt, že nie je kladený dostatočný dôraz, lekárskou spoločnosťou, na vývoj nových technológií kvantifikácie opotrebenie. Poukazuje na tradičné metódy ako gravimetria a ich nedostatočné zohľadňovanie parametrov – zrnčavosť povrchov, geometrické nerovnosti. Gravimetrická metóda obsahuje mnoho nevýhod o ktorých sa autor vyjadruje že ich ťažko analyzovať. Taktiež sa vyjadruje k nepresnosti merania u materiálov s malým úbytkom častíc.

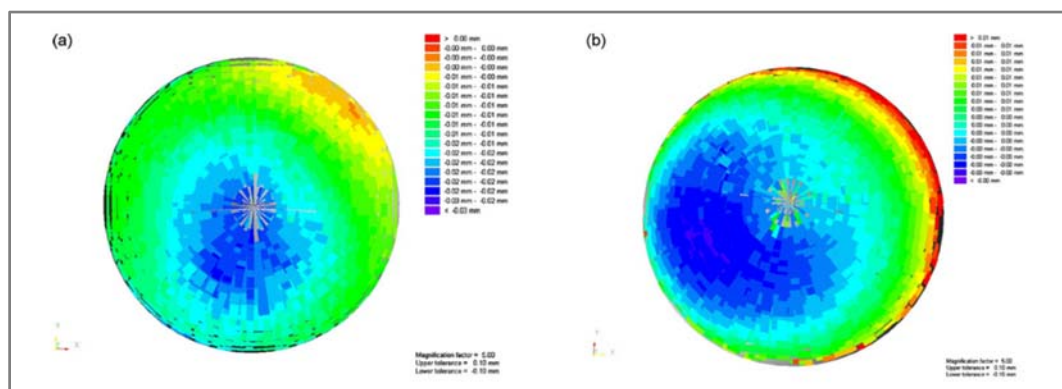
Ďalšou pojednávanou metodikou je rádiografia, kde sú vyzdvihnuté veľké nepresnosti vplyvom rozlíšenia snímku a paralaxnou chybou. Obe metodiky sú hodnotené vzhľadom k metóde použitia CMM, ako rutinnej vyhodnocovacej metódy pre extrahované náhrady.

Materiál a metódy

Merania boli realizované na súradnicovom prístroji od firmy Zeiss typu PRISMO a deklarovaná presnosť je 1µm. Dáta ktoré boli softwarovo vyhodnotené ako nespĺňajúce danú presnosť boli odstránené (nie je napísané ako).

Dáta boli zozbierané najprv na neopotrebenom povrchu a následne na celom artikulujúcom povrchu, porovnaním rozdielov bol vyhodnocovaný úbytok materiálu. Získané body z neopotrebeného povrchu boli preložené krivkami (NURBS). Rozloženie bodov bolo na sieti 0,5 x 0,5 mm. Na základe vyhodnotených dát bola vytvorená mapa opotrebenia, ktorá je v zhode s uhlom natočenia implantátu v tele.

Výsledky



Obr. 13 Mapa opotrebenia stanovená na základe CMM merania

Cieľom článku je stanovenie objemu opotrebeného materiálu a smeru opotrebenia na dvoch explantovaných bedrových náhradách. V článku nie sú pojednávané žiadne podrobnejšie výsledky ani podrobný postup pri spracovávaní dát.

Záver a využiteľnosť

Článok je dobrý z hľadiska podpory metodiky CMM, ale neprináša žiadne nové využiteľné postupy.

Gap

- Analyzovať rozdiely medzi opotrebením hlavičky a jamky u náhrady (platí u kovových a keramických párov)

4.2.6 Measurements of sequential impressions of acetabula cups from a total hip joint replacement using a non-contact measurement system [16].

4.2.6

Zou, L., D. Y. D. Samarawickrama, V. Jovanovski AND J. C. Shelton Measurements of sequential impressions of acetabula cups from a total hip joint replacement using a non-contact measurement system. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 10// 2001, 41(13–14), 2023-2030.

Úvod publikácie

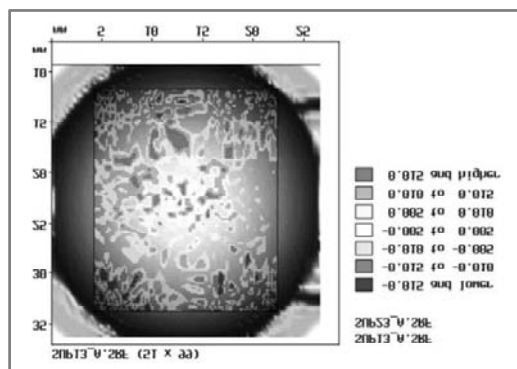
Jedná sa o staršiu publikáciu ale aj napriek tomu sú v práci uvedené myšlienky týkajúce sa optickej digitalizácie komplexného povrchu jamky bedrovej náhrady. V článku je použité CMM meracie zariadenie s laserovou sondou. V článku je podrobne popísané definovanie do súradnicového systému, čo je dôležitým podkladom k tvoreniu metódy merania za pomoci skeneru ATOS. Meranie bolo realizované na replikách kĺbových jamiek vytvorených z materiálu na báze silikónu.

Materiál a metódy

Použitá laserová sonda má vlnovú dĺžku 830 nm a výkon 5 mW. Princíp snímania sondy je na báze triangulácie. Presnosť je udávaná ako $\pm 10 \mu\text{m}$, pre samotnú sondu a $4,1 \mu\text{m}$ pre CMM zariadenie. Kľbová jamka je ustavovaná pre sekvenčné skenovanie za pomoci referenčných otvorov na okrajoch. Sekvenčné skenovanie pozostáva zo 6 skenov, ktoré sú skladané na základe súradného systému. Plocha XY je definovaná z 10 bodov na okraji, natočenie X osi je definované na základe referenčného otvoru. Stred súradného systému je umiestnení do referenčného otvoru. Dáta sú následne exportované v binárnom formáte a následne rekonštruované do plôch. Všetky data boli merané na jamkách opotrebených v laboratórnych podmienkach (in vitro).

Výsledky

Výsledkom práce je spojenie jednotlivých skenov a určenie objemového opotrebenia po 0,5 milióna cyklov na kľbovom simulátore. Práca okrajovo pojednáva o stanovení odchýlky merania, ale pre moju vlastnú prácu sú postupy nepoužiteľné. Výsledkom reprodukovateľnosti je rozdiel objemov $1,4 \text{ mm}^3$. A pri meraní dvoch rôznych jamiek bol rozdiel $5,3 \text{ mm}^3$.



Obr. 14 Mapa opotrebenia kľbovej jamky po 0,5 milióna cyklov na simulátore

Záver a využiteľnosť

Prínos článku spočíva hlavne v metóde definovania súradného systému a následného skladania skenov na základe tohto ustavenia. V článku chýbajú podrobnejšie popisy metódy. Článok ukazuje ďalšiu z možných ciest pre vyhodnocovanie objemového opotrebenia ale pre cieľ dizertačnej práce nie je štúdia významná.

Gap

- Skladanie skenov na základe súradného systému (Matlab).

4.2.7 Accuracy of methods for calculating volumetric wear from coordinate measuring machine data of retrieved metal-on-metal hip joint implants [17].

Úvod publikácie

Publikácia analyzuje meranie CMM metódou kovových náhrad. Postupuje v troch krokoch. Samotné snímanie artikulujúcich povrchov, spracovanie nameraných bodov do mapy opotrebenia a stanovenie objemového úbytku. Autor v úvode prehľadne porovnáva metodiky stanovenia úbytku materiálu u jednotlivých autorov. Vyjadruje sa k spracovaniu nameraných dát a porovnáva jednotlivé prístupy výpočtu objemu. Odvoláva sa na užitočné štúdie a zhodnocuje postupy polygonizácie výsledkov.

Materiál a metódy

V článku je analyzovaných 5 metód stanovujúcich objemové opotrebenie na 5 femurálnych hlaviciach. V prvej metóde sa využíva sférického štvorstenu a v ostatných metódach sa používajú štvorsteny rovinné. V práci sú rozvinuté matematické postupy jednotlivých metód a postup stanovenia objemu.

- 1.metóda využitie Girardovej rovnice k stanoveniu objemu
- 2.metóda využitie Cayley-Mengerovho determinantu
- 3.metóda predpoklad rovnobežných trojuholníkov (predchádzajúce štúdie)
- 4.metóda variácia metódy 3 – dochádza k nahradeniu povrchov, pôvodný sa nahradzuje opotrebeným.
- 5.metóda – výpočet celkového objemu trojuholníkovej siete, odpočet analyticky definovanej pôvodnej geometrie.

Evaluvácia jednotlivých modelov prebehla za pomoci troch prístupov: presný hemisférický model neopotrebeného povrchu, model opotrebeného povrchu za pomoci analytických riešení, gravimetrický prístup. Prístupy skúmajú nulové odchýlky u referenčných modelov. Pre jednotlivé riešenia bol využívaný výpočtový program MATLAB.

Záver a využiteľnosť

Štúdia analyzuje päť rôznych prístupov spracovania nameraných dát z kovových hlavíc. Uvádza jednotlivé postupy pri vyhodnocovaní a presne špecifikuje problémy spojené s každou z metód. Výhodou je možnosť reprodukovateľnosti získaných výsledkov a tým možnosť validovať novú metodiku.

Gap

- Zhustenie nameraného počtu bodov pre následné spracovanie dát za pomoci algoritmu v Matlabe.

4.3 Povrchová analýza jednotlivých druhov náhrad

4.3.1 Three dimensional measurement of the surface topography of ceramic and metallic orthopaedic joint prostheses [18].

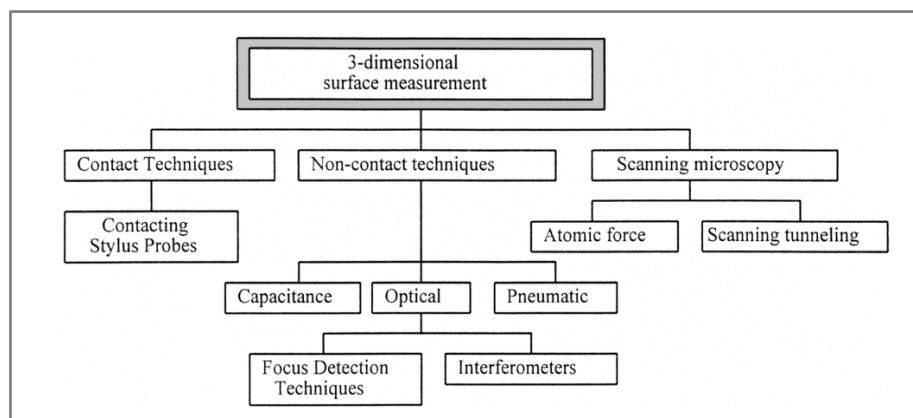
Blunt, L. AND X. Q. Jiang Three dimensional measurement of the surface topography of ceramic and metallic orthopaedic joint prostheses. Journal of Materials Science-Materials in Medicine, Apr 2000, 11(4), 235-246.

Úvod publikácie

Autor poukazuje na dôležitosť drsnosti povrchu voči veľkosti opotrebenia jednotlivých komponentov. Poukazuje na fakt, že je snahou vytvoriť čo najhladšie povrchy, čo vedie k menším opotrebeniam. V práci sú prezentované metodiky 3D analýzy povrchu, najväčší potenciál a budúci rozvoj je očakávaný u bezkontaktných meraní, vzhľadom k tomu, že nemôže dôjsť k poškodeniu vzorku kontaktom s meracím zariadením a je tak možné analyzovať aj mäkké povrchy s relatívne vysokou presnosťou.

Materiál a metódy

Článok popisuje tri základné metódy využiteľné pre analýzu povrchu totálnych náhrad. Zaoberá sa fyzikálnymi princípmi a presnosťou metodiky. Zhodnocuje jej využiteľnosť a prípadné výhody a nevýhody.



Obr. 15 Rozdelenie metód na základe fyzikálnych princípov.

Výsledky

Dotykové metódy - hrotové

Autor popisuje meracie zariadenie. Ako výhodu vyzdvihuje jednoduchosť systému a jeho stabilitu. Ako hlavnú nevýhodu popisuje nedostatočnú presnosť vzhľadom k veľkému rozsahu.

Pojednáva o troch možnostiach snímacieho systému – cievka, za pomoci interferometrie a za pomoci využitia Dopplerovho javu. Autor vysvetľuje princípy

u jednotlivých metód a zhodnocuje ich presnosti. U metodiky využívajúcej interferometriu uvádza všeobecnú presnosť 10nm.

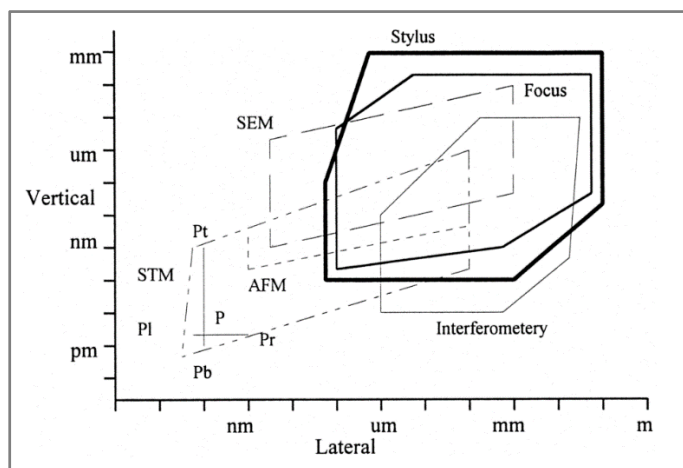
Optické metódy

V článku sú detailne popisované 2 základné typy optických metód k detekovaniu topografie povrchu. Jedná sa prístroje detekujúce ostrosť obrazu a prístroje na báze optickej interferometrie.

Atomárne mikroskopy

Pojednávané o metóde atomárnych síl (AFM) a o metóde detekcie pohybu snímacieho hrotu pri prechode vzorkom (STM).

Následne sú jednotlivé metódy hodnotené z hľadiska rozsahu využitia pre štruktúry povrchov.



Obr. 16 Oblasti využiteľnosti jednotlivých metód na základe vlnovej dĺžky

Záver a využiteľnosť

Poskytnutie prehľadu jednotlivých metód k analýze povrchu. Výhodou je, že autor v závere uvádza výsledky jednotlivých meraní a komentuje snímanú oblasť a využiteľnosť metódy z hľadiska rozsahu snímanej oblasti. Článok je skôr poskytuje prehľad dostupných metód ako priamu nadväznosť na problematiku opotrebenia u bedrových náhrad. V závere sú kriticky hodnotené metodiky a k nim vzťahnuté problémy.

Gap

- Vplyv drsnosti povrchu bedrových náhrad k rýchlosti a veľkosti opotrebenia.
- Hodnotenie úbytku materiálu na základe drsnosti u tvrdých párov – kov, keramika.

4.3.2 Comparative study on the wear behaviour of different conventional and cross-linked polyethylenes for total hip replacement [19].

Affatato, S., M. Zavalloni, P. Taddei, M. Di Foggia, et al. Comparative study on the wear behaviour of different conventional and cross-linked polyethylenes for total hip replacement. *Tribology International*, 8// 2008, 41(8), 813-822.

Úvod publikácie

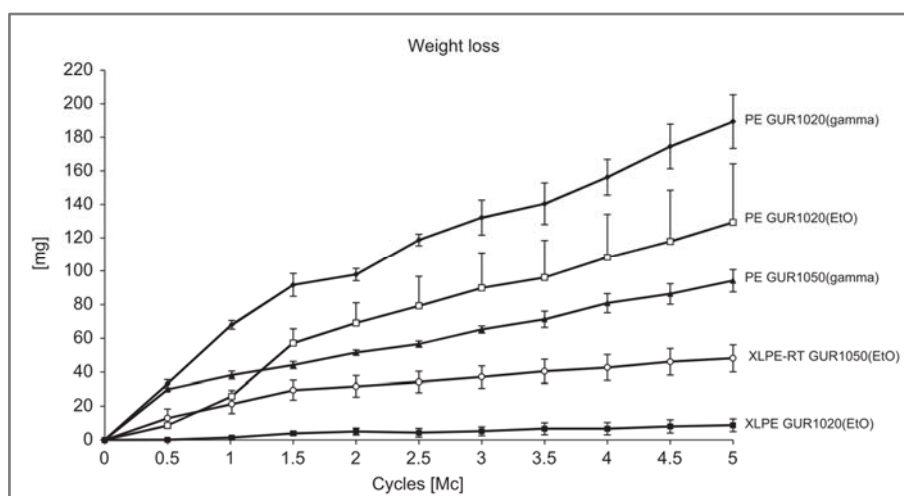
Autor sa v práci zaoberá analýzou 20 polyetylénových jamiek (rozdielne výrobné procesy) s nominálnym priemerom 28 mm. Jamky boli v zábehu s kovovou hlavicou (CoCrMo). Všetky testy prebiehali v laboratórnych podmienkach na priemyselne dodávanom simulátore (Shore Western, USA), po dobu troch mesiacov. Analýza opotrebenia bola na základe gravimetrie podľa ISO 14242 a Ramanovou mikroskopiou. Cieľom publikácie je zistiť vplyv spracovania polyetylénu a obrábacích procesov na mieru opotrebenia.

Materiál a metódy

V súbore testovaných vzorkov bolo 20 jamiek s polyetylénu spracovávaného rôznymi operáciami a vystavovaného rôznym dávkam γ -žiarenia. Opotrebenie bolo prevádzané na simulátore s dvanástimi testovacími stolicami s maximálnou záťažou 2kN a frekvenciou 1.1 Hz v ustálených teplotných podmienkach. Na simulátore prebehlo 5 miliónov cyklov počas 8 mesiacov. Ako mazivo bolo použité 25% hovädzie sérum. Váhové rozdiely boli kalkulované na mikrováhach s presnosťou 0,06 mg. Ramanova spektroskopia bola prevedená s objektívom s 20 násobným zväčšením a vlnovou dĺžkou žiarenia 488nm a výkonom 10mW.

Výsledky

Výsledkom je opotrebenie v závislosti na počte cyklov, pre rôzne druhy polyetylénových jamiek.



Záver a využiteľnosť

Publikácia poukazuje na závislosť oteru na spracovaní polyetylénu. Je užitočná vzhľadom k podrobnému popisu jednotlivých výrobných procesov a spracovaní polyetylénu gama žiarením.

Gap

- Analýza rýchlosti opotrebenia na spracovaní polyetylénu novými technológiami – vysokotlaké liatie a saturovanie vitamínom E.

4.3.3 Optical 3D methods for measurement of prosthetic wear of total hip arthroplasty: principles, verifications and results [25].

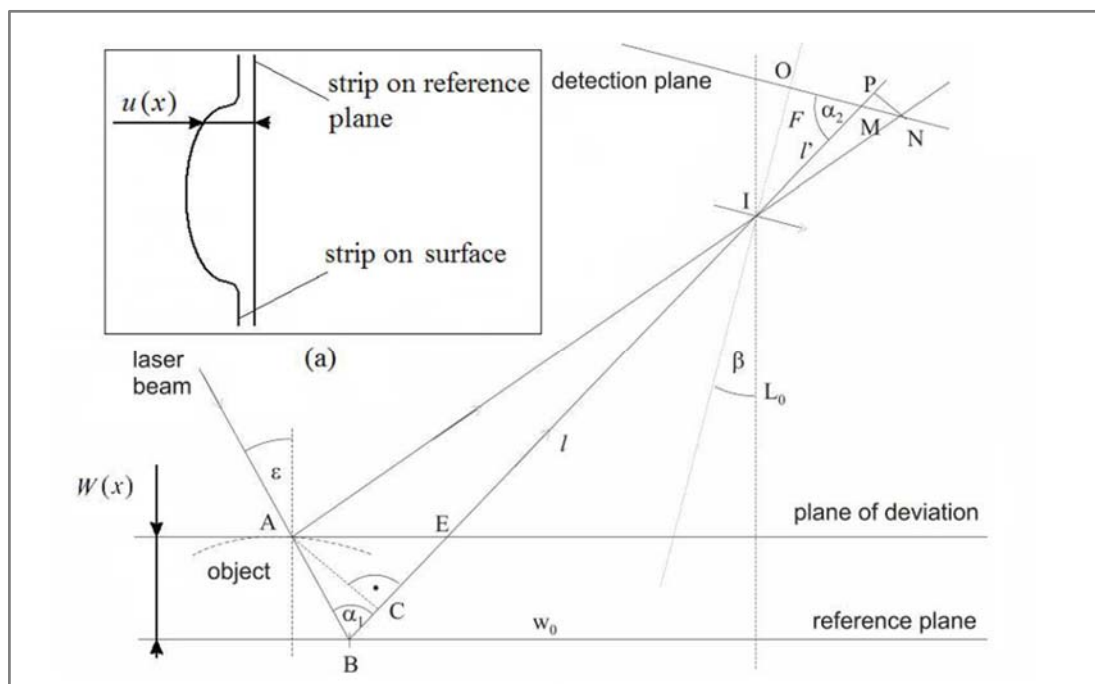
Rossler, T., et al., Optical 3D methods for measurement of prosthetic wear of total hip arthroplasty: principles, verification and results. *Optics Express*, 2009. 17(15): p. 12723-12730.

Úvod publikácie

Autor využíva furierovej profilometrie, skenovacej profilometrie a univerzálneho mikroskopu k snímaniu povrchu acetabulárnej jamky. Testy prebiehajú na 30 extrahovaných vzorkách. V publikácii je popísaný presný postup skenovacej profilometrie vrátane princípu výpočtu reálneho povrchu. Metóda je validovaná za pomoci gravimetrie. Opotrebenie validačného vzorku je za pomoci frézovania pod rôznymi uhlami.

Materiál a metódy

Na súbore vzorkov bola zisťovaná penetrácia kovových hlavíc za pomoci analýzy neopotrebenej oblasti. K týmto meraniam bolo využívané zariadenie CMM, Carl Zeiss Jena a univerzálny mikroskop (bez popisu). V článku popis fázového posunu a algoritmus výpočtu hĺbky nerovnosti. K validácii metódy bola využitá gravimetria (presnosť nie je udaná). Opotrebenie *in vitro* bolo realizované za pomoci frézovania pod rôznymi uhlami. Na základe materiálového úbytku hodnoteného rôznymi prístupmi bola stanovená presnosť a použiteľnosť metodiky.



Výsledky

Článok je zameraný na porovnanie powerpoint metódy s bežne využívanými metódami na analýzu opotrebenia v tele pacienta. Z tohto hľadiska publikácia nie je až tak aplikovateľná do cieľovej metódy dizertačnej práce. Využitelná je validačná metóda za pomoci 3D skenru.

METHOD	angle [deg]	0			30			50		
	depth [mm]	0.5	1.5	2.0	0.5	1.0	2.0	0.5	1.5	2.5
GR*		253.4	865.5	1147.6	259.5	510.6	1084.6	234.3	730.0	1269.2
UM*	wear [mm ³]	-	-	-	-	316.0	484.0	222.0	620.0	1263.0
SP*		268.3	843.7	1197.6	276.4	465.2	998.7	218.5	658.0	1224.1
FP*		278.0	911.4	1226.7	281.6	495.8	1136.7	241.5	719.0	1238.7

*legends: GR=gravimetry; UM=universal measuring microscope; SP=scanning profilometry; FP=fourier profilometry

Záver a využiteľnosť

Publikácia využíva optickej digitalizácie implantátov, čo má úzku nadväznosť na cieľ dizertačnej práce. Výsledky sú využiteľné k získaniu prehľadu ohľadom presnosti jednotlivých prístupov. Samotné postupy môžu slúžiť ako inšpirácia pri validačných postupoch.

Gap

Spresnenie metódy zvýšeným počtom snímaných bodov. Aplikácia algoritmu na stanovenie neopotrebenej oblasti.

4.3.4 Reliability of a PowerPoint Method for Wear Measurement After Total Hip Arthroplasty [28].

Yun, H.H., et al., Reliability of a PowerPoint Method for Wear Measurement After Total Hip Arthroplasty: A Retrieval Study Using 3-Dimensional Laser Scanning. The Journal of Arthroplasty, 2012. 27(8): p. 1530-1537.

Úvod publikácie

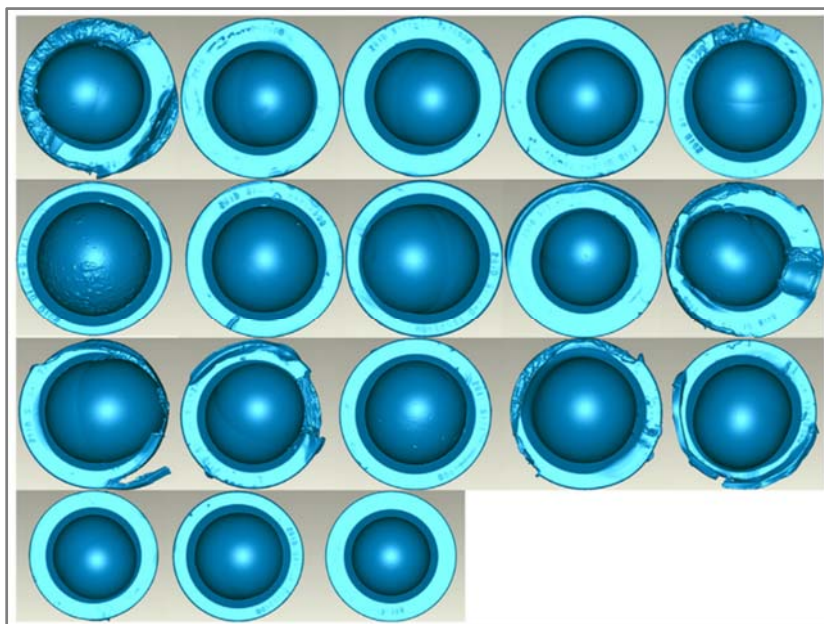
Publikácia je zameraná na hodnotenie röntgenových snímok za pomoci analýzy obrazu v software Power point. Na základe týchto dát je určovaný objemový úbytok u polyetylenových jamiek. Výsledky metódy sú zrovnávané s určovaním objemového úbytku na extrahovaných pároch za pomoci skeneru. Porovnávací metóda je dôležitá vzhľadom k interpretácii výsledkov, zhodnou metódou ako bude použitá v dizertačnej práci.

Materiál a metódy

Z publikácie je zaujímavá v súvislosti s dizertačnou prácou validačná metóda. Validačná metóda využíva 3D skenovacej techniky založenej na princípe prúžkovej projekcie, využitím priemyslového 3D skeneru (Rexcan III, Solutionix). Presnosť zariadenia je uvádzaná menej ako 0,01 mm. Geometria je spracovávaná za pomoci software Geomagic. Meranie je realizované na 17 acetabulárnych jamkách s rôznou mierou poškodenia. Výsledky skenovania neboli ďalej validované za pomoci štandardizovanej metódy.

Výsledky

Výsledkom je porovnanie metódy skenovacej profilometrie s referenčnou gravimetriou. Výsledky opotrebenia boli udávané $9172,19 \pm 574,7 \text{ mm}^3$ (rozsah $8344,88 - 10480,71 \text{ mm}^3$).



Záver a využiteľnosť

Odchylka merania za pomoci 3D skeneru je dosť výrazná. V publikácii chýbajú presnejšie postupy vyhodnotenia geometrie za pomoci software Geomagic. Najväčšie odchýlky môžu vzniknúť pri transformácii polygonálnej siete do plôch. Autor sa k ďalšej využiteľnosti nevyjadruje.

Gap

- Popis a spresnenie použitej metódy. Využitie 3D skenovacej technológie k rekonštrukcii získaných dát.

4.3.5 3D linear and volumetric wear measurement on artificial hip joints – Validation of new methodology

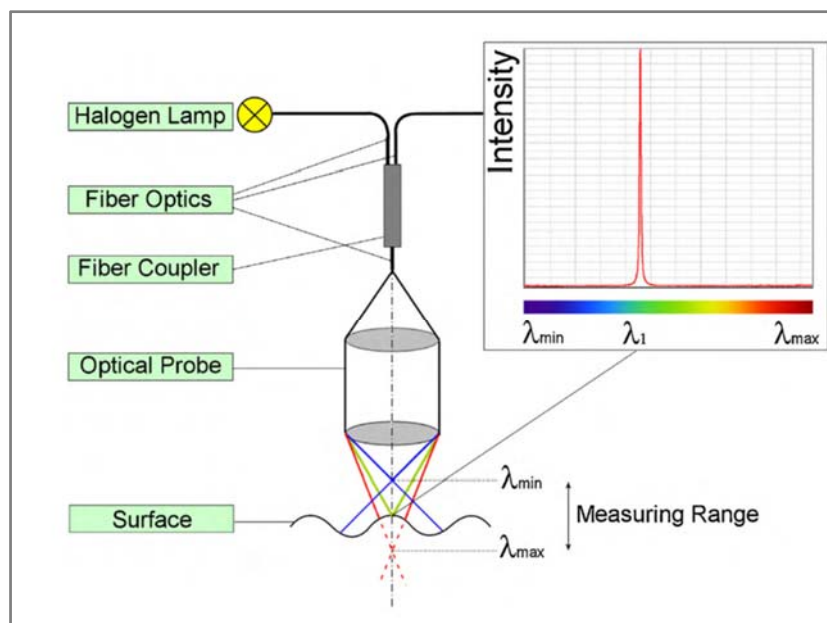
Tuke, M., et al., 3D linear and volumetric wear measurement on artificial hip joints-Validation of a new methodology. Precision Engineering-Journal of the International Societies for Precision Engineering and Nanotechnology, 2010. 34(4): p. 777-783.

Úvod publikácie

Článok pojednáva o optickej digitalizácii tvrdých povrchov femurálnej hlavice za pomoci metódy RedLux. Metóda je založená na princípe konfokálne chromatickom meraní. V práci je hodnotená presnosť a opakovateľnosť. Rekonštrukcia geometrie je založená na analýze neopotrebenej časti hlavice.

Materiál a metódy

Princíp RedLux metódy je založený na metóde chromatickej konfokálnej mikroskopie. Senzor rozpoznávajúci povrch objektu je umiestnený na meracom zariadení slúžiacemu k analýze kruhovitosti. Pri skenovaní hlavice o priemere 50 mm je získaných až 40000 bodov. Presnosť metódy je overená za pomoci sférického kalibru za ustálenej teploty. A následne prebehla validácia z apomoci gravimetrie. Presnosť váh je 0,01mg. Testy boli prevedené na 6 hlaviciach opotrebených na simulátore.



Výsledky

Na referenčnej hlavici boli prevádzané testy vplyvu teploty na opakovateľnosť merania. Výsledky sú interpretované za pomoci grafu.

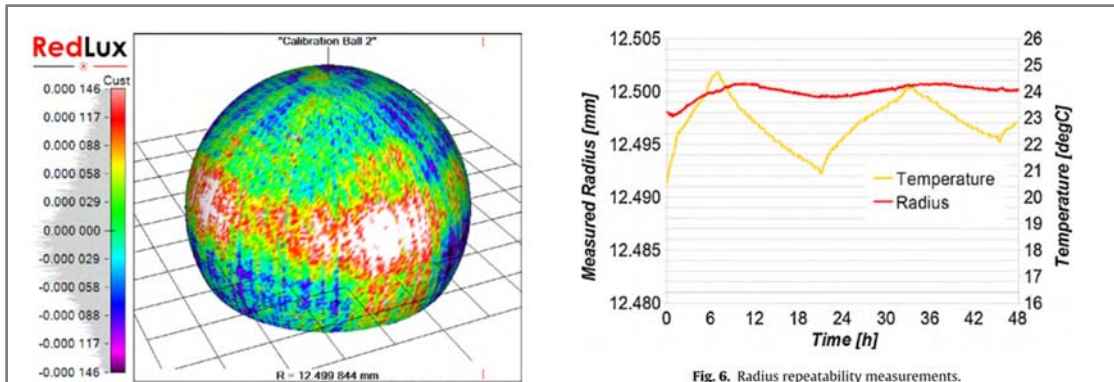


Fig. 6. Radius repeatability measurements.

Záver a využiteľnosť

Presnosť merania na základe hodnotenia referenčným kalibrom vrátane špecifikácie kalibračnej gule.

Specifications of calibrated reference ball.	
Accuracy	Grade 3 (<80 nm)
Diameter [mm]	24.99985
Roundness [μm]	0.04
Material	Tungsten carbide
Traceability	To National Standards via Gauge Blocks serial no: 10054

Gap

- Metóda je vhodná vďaka svojej presnosti na identifikáciu kovových párových dvojíc. Na analýzu polyetylénových hlavíc s veľkým opotrebením, prípadne s nutnosťou rekonštrukcie, je metóda nevhodná.

5 ANALÝZA, INTERPRETÁCIA A ZHODNOTENIE POZNATKOV NA ZÁKLADE KRITICKEJ REŠERŽE

5.1 Zhrnutie rešeršných poznatkov

Opotrebenie artikulujúcich povrchov u bedrových náhrad je dôležitým aspektom z hľadiska klinických výsledkov prežitia náhrady v tele pacienta. Je dokázané že pri dosiahnutí určitého kritického množstva uvoľnených častíc do tela pacienta, dochádza k zvýšenému riziku vzniku osteolýzy a iných komplikácií [20]. Z tohto dôvodu je snaha zdokonaľovať implantáty, či už po materiálovej alebo konštrukčnej stránke. K vývoju nových generácií je nutné porozumieť tribologickým procesom odohrávajúcim sa v kontakte endoprotézy. Na základe podrobnej analýzy zlyhaných náhrad je možné spätne stanoviť procesy ku ktorým dochádzalo počas funkčného obdobia protézy. Prebiehajúce procesy sú závislé nielen na formovaní maziva v kontakte, ale aj na povrchoch a spôsobe zaťažovania. Vzájomné interakcie jednotlivých vplyvov môžu viesť k predčasnému zlyhaniu náhrady [9].

Jedným z fundamentálnych aspektov analýzy opotrebenia je zvolenie vhodného prístupu kvantifikácie materiálu. Na základe preštudovaných publikácií vyplýva, že najrozšírenejšou metodikou k analýze povrchu je využívanie súradnicových meracích prístrojov a následná analýza nameraných bodov za pomoci matematických algoritmov [21]. Presná špecifikácia rozloženia bodov a ich hustoty v závislosti na snímanej ploche je špecifikovaná v norme ISO 14242 [6,7]. Výhody, ktoré nám daná metóda poskytuje, je nutné zvážiť pri hľadaní alternatívnych metód.

- Analýza povrchov bez ohľadu na odrazivosť.
- Nepresnosť metódy – $1,82\text{mm}^3$ [12].
- Export bodov vo forme „point cloud“ k matematickému spracovaniu.
- Podloženie normou ISO 14242.
- Možnosť vytvorenia 3d modelu a stanovenie smeru opotrebenia.

Väčšina publikácií zaoberajúcich sa CMM metódou využíva k analýze dát program Matlab, za pomoci ktorého stanovuje smer opotrebenia a definuje neopotrebenú oblasť náhrady (jamky). V rade publikácií je pojednávané, hlavne o presnosti metodiky a chybách spôsobených, ako už samotným snímaním povrchu tak spracovaním nameraných dát jednotlivými algoritmi. Výsledky sú uvádzané v porovnaní s jednotlivými veľkosťami kĺbových dvojíc. Ako validačná metodika na stanovenie a overenie použitej metódy sa využíva gravimetria, ktorá spočíva vo vážení vzorku [6]. Táto metóda je úzko limitovaná len pre využitie v laboratórnych podmienkach, vzhľadom k tomu že u extrahovaných vzorkov nie je známa pôvodná neopotrebená geometria a s tým spojená hmotnosť implantátu. Metóda sa vďaka svojej presnosti stala primárnou validačnou metódou k hodnoteniu novo zavádzaných postupov kvantifikácie opotrebenia.

Ďalšou rozšírenou metódou pre stanovenie objemového a lineárneho opotrebenia je dotyková profilometria. Metóda poskytuje výrazne vyššiu presnosť, až na úrovni nanometrov [14]. Podstatu tejto metódy tvorí snímanie definovanej dráhy na povrchu náhrady v jednej línii. Na základe dát môžeme vytvoriť líniový sken pomocou ktorého môžeme stanoviť decentráciu hlavičky voči jamke. Decentráciu je možné posudzovať voči Dorr metóde bežne používanej v klinickej praxi. Pri stanovovaní 3D geometrie na základe týchto skenov, dochádza k rapidnému zníženiu presnosti, ale aj

napriek tomu je metóda porovnateľná so súradnicovými meracími metódami. Spresňovanie metód nadobúda veľký potenciál vzhľadom k trendu vyvíjať tvrdšie materiály s menším opotrebením, čím sa vysoká presnosť metódy stáva kľúčovou k relevantnému stanoveniu oteru. [27].

Väčšina publikácií pojednáva o dotykových metódach prípadne o metodikách vyhodnocujúcich objem priamo v tele pacienta (röntgenové metódy, počítačová tomografia). V posledných rokoch sa s vývojom technológií ukazuje potenciál vo využití optických meracích systémov na báze triangulácie, laserových metód a optickej interferometrie. V tejto oblasti je obmedzené množstvo publikácií, vzhľadom k početným problémom nastávajúcim pri spracovaní obrazu.

- Problém s odrazivosťou – antireflexné vrstvy [11].
- Skladanie jednotlivých skenov
- Problém s konformitou plochy
- Presnosť metódy
- Polygonizácia a stanovenie objemu

Pri využití optických metód sa autori spravidla rozchádzajú do dvoch skupín. V prvej je snahou získať kompletnú 3D vizualizáciu povrchu, na základe ktorej by bolo možné stanoviť objemový oter a dráhu opotrebenia [25]. Výrazný pokrok v danej oblasti priniesli publikácie zaoberajúce sa validáciou novej technológie, kde sa ukázal potenciál využitia metód. [26]. Druhým smerom je analýza topografie povrchu, kde je v prevažnej väčšine využívaných meracích prístrojov pracujúcich na základe optickej interferometrie [19]. Získaním 3D profilu opotrebeného povrchu na vysokej rozlišovacej úrovni sa otvára potenciál k možnosti skúmania degradačných procesov opotrebenia u povrchov náhrady [17].

Z publikácií a dosiahnutých výsledkov jednoznačne vyplýva, že kvantifikácia oteru má úzku spojitosť s klinickými dopadmi a životnosťou samotnej náhrady. Je jednoznačné, že vývojový trend smeruje k spresňovaniu metód, akurát je otázkou ktorým z prístupov je možné dosiahnuť relevantnejších výstupov. Na základe vytvorenia kritickej rešerše, je možné konštatovať, že v oblasti optického merania bedrových náhrad či už ako komplexnej geometrie, alebo topografie povrchu sa ukazuje priestor pre nové prístupy a zdokonaľovanie metodiky spracovania dát. Ďalšou výhodou optických metód, ktorú vidím ako autor pojednania je možnosť úpravy výslednej geometrie vzhľadom k veľkému počtu zosnímaných bodov. Tieto úpravy sú často žiaduce pre poškodenia vzniknuté pri extrakcii jamky. Poškodeniam, obzvlášť u polyetylénových jamiek, sa nedá úplne vyhnúť aby bolo možné bezpečné odstránenie náhrady z tela pacienta pri reoperácii.

5.2 Záver plynúci z rešeršnej analýzy problematiky

5.2

Na základe získaných poznatkov z kritickej rešerše vyplýva, že len málo autorov sa venuje problematike analýzy extrahovaných TEP implantátov za pomoci optických metód. V štúdiách analýzy povrchu je v prevažnej väčšine využívaná metóda CMM. Jej výhodou je vysoká presnosť meracej aparatury. Avšak limitnými podmienkami sú počet získaných bodov z opotrebeného povrchu a s tým spojený problém časovej náročnosti. Taktiež narážame na problém identifikácie neopotrebenej geometrie

z extrahovaných acetabulárnych jamiek. V tomto smere sa štúdie rozchádzajú do dvoch smerov. Prvým je identifikácia a validácia metodiky v laboratórnych podmienkach a druhým rekonštrukcia pôvodnej geometrie na základe neopotrebenej časi implantátu a schopnosť stanoviť úbytok materiálu.

Pre analýzu extrahovaných párov sa javí ako výhodnejšie používať bezkontaktné optické metódy ktorými sme schopný v relatívne vysokej presnosti a za krátky čas získať meranie reálneho povrchu [26]. Táto metóda nám poskytuje veľký počet zosnímaných bodov (v rádoch stoviek tisíc), čím je umožnené následné spracovanie dát s menšou chybou. Taktiež je možné s geometriou pracovať vo forme polygonálnej siete a upravovať prípadne nežiaduce deštrukcie implantátu. Taktiež je možné analyzovať neopotrebenú oblasť TEP náhrad, či už za pomoci algoritmov využívaných pri spracovaní dát z CMM alebo za pomoci štatistického spracovania bodov celého povrchu.

Portfólio štúdií zaoberajúcimi sa týmito štúdiami je dosť úzke. Využívanie metódy Furierovej profilometrie a metódy Ultrasurf bolo využité v publikáciách v spolupráci s prof. Gallom [25]. K iným významnejším interpretáciám metódy patrí štúdia Tuke et.al zaoberajúca sa využitím a validáciou metódy RedLux [26]. Technológia prúzkovej projekcie bola využitá u autora Yun et. Al k validácii powerpoint metódy [28].

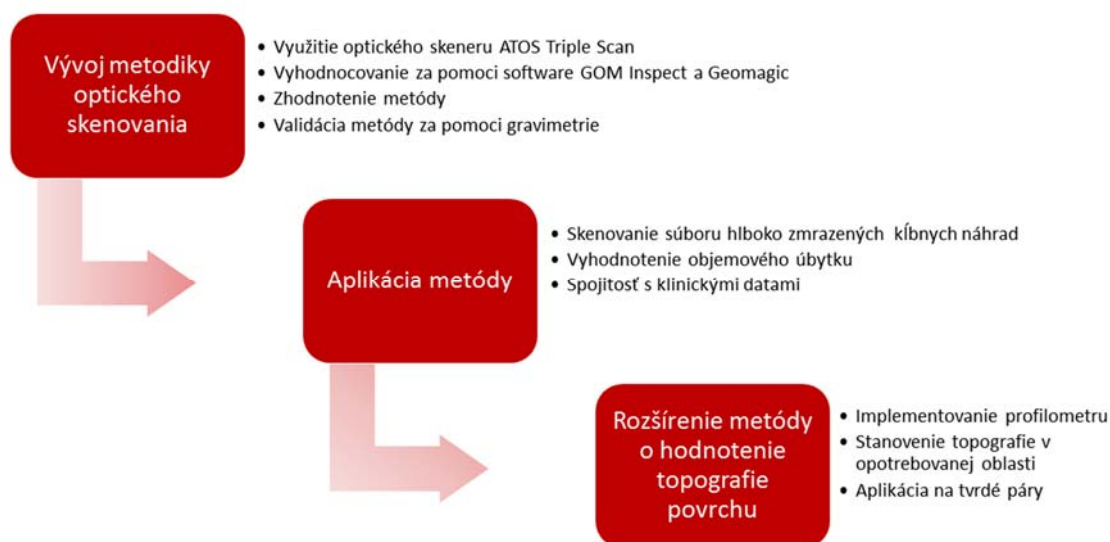
Cieľom pojednávanej dizertačnej práce bude využitie optickej skenovacej technológie k analýze oterového objemu materiálu u UHMWPE acetabulárnych jamiek. Vzhľadom k malému počtu doterajších publikácií, je predpoklad, že v danej oblasti je možné rozšíriť oblasť poznania. Vývojom nových technológií v optickej digitalizácii je možné doterajšie postupy zdokonaľiť a upraviť použité algoritmy k stanoveniu požadovanej hodnoty.

6 PODSTATA A CIELE DIZERTAČNEJ PRÁCE

6

Dizertačná práca sa zaoberá možnosťou využitia optických metód na vyhodnocovanie úbytku materiálu u artikulujúcich povrchov bedrových náhrad. Cieľom je za pomoci vyvinutej metodiky stanoviť množstvo materiálu, uvoľneného do tela pacienta. Základná analýza bude prebiehať na extrahovaných kĺbových pároch z pacientov so známou klinickou históriou – *in vitro*. Práca bude pozostávať z troch dielčích cieľov:

- Vyvinutie a validovanie použiteľnosti metodiky optického skenovania extrahovaných polyetylénových jamiek
- Aplikácia metódy na extrahované polyetylénové jamky a spojenie s klinickými dátami
- Prepojenie metódy optického skenovania s optickou interferometriou a identifikovanie topografie povrchu v jednotlivých oblastiach opotrebenia.



Každá etapa dizertačnej práce bude viesť k publikácii v recenzovanom časopise .

7 PRACOVNÁ HYPOTÉZA

Oter u bedrových náhrad je považovaný za najzásadnejší faktor určujúci životnosť artikulujúcich párov. Pre analýzu povrchu a geometrie sú v súčasnosti využívané dotykové metódy, len málo autorov sa zaoberá využitím optických metód k stanoveniu objemového úbytku materiálu. Preto sa ponúka možnosť, demonštrovať potenciál týchto metód ku kompletnej analýze opotrebenia artikulujúcich povrchov.

Za predpokladu platnosti predchádzajúcej hypotézy je nutné experimentálne dokázať právoplatnú využiteľnosť v praxi na súbore extrahovaných vzorkov a vyvodiť závery zo získaných výsledkov oteru vzhľadom k spôsobu opotrebenia a ku klinickým dátam reoperovaných pacientov.

„Optické metódy je možné využívať k stanoveniu objemového opotrebenia s porovnateľnými výsledkami, ako doteraz bežne využívané dotykové metódy. Je možné na základe výsledkov vyvodiť dopad úbytku materiálu na vlastnosti implantátu“

8 SPÔSOB RIEŠENIA A POUŽITIE VEDECKEJ METÓDY

8

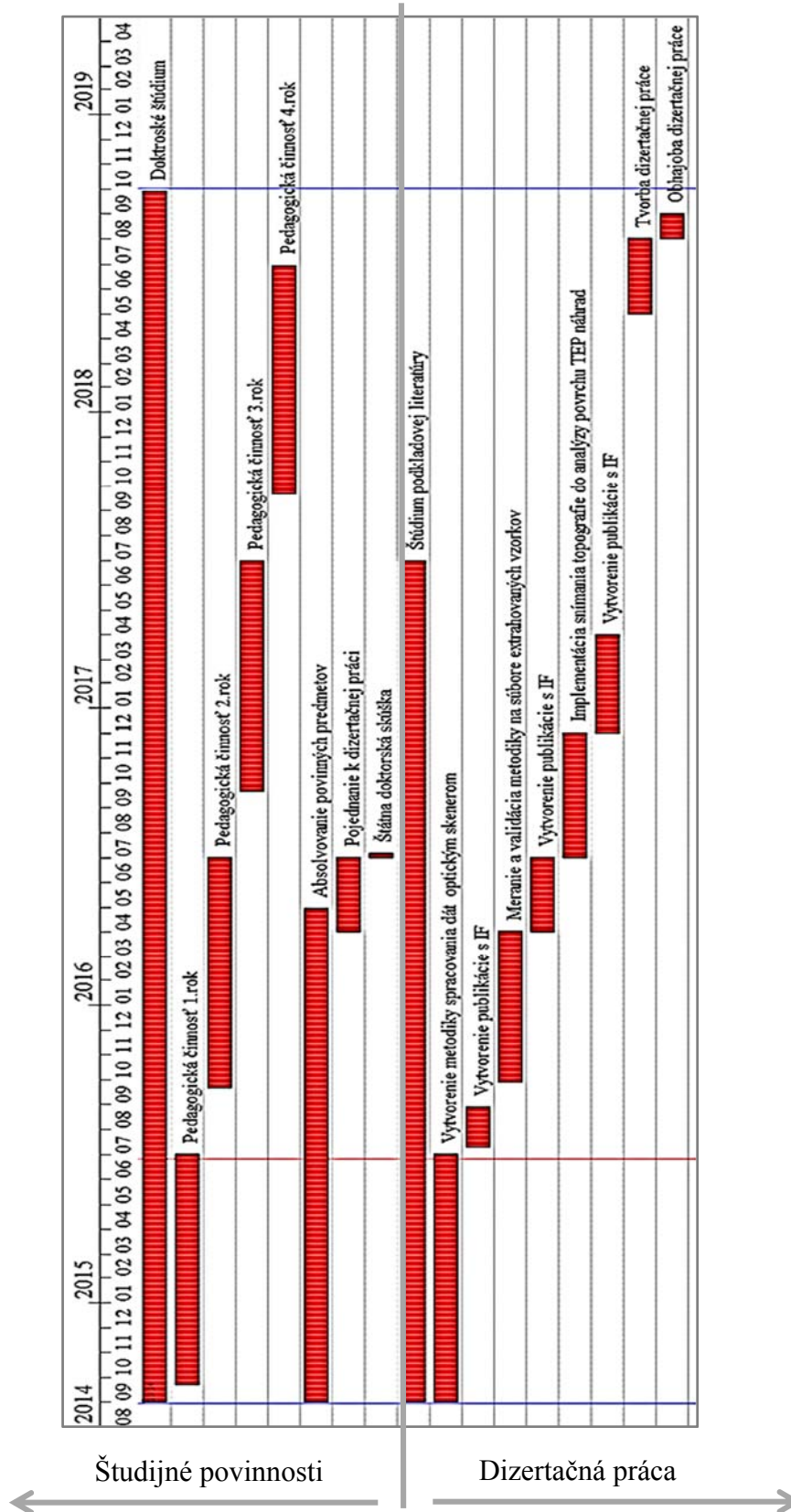
Na základe stanovených vedeckých otázok je nutné hľadať odpoveď k splneniu cieľov dizertačnej práce. K nájdeniu odpovedí je potreba vytvoriť a overiť algoritmus spracovania výsledkov získaných za pomoci optického skeneru. Po vytvorení algoritmu bude s meracím zariadením prevedená rada experimentov, deklarujúcich použiteľnosť metódy pre polyetylénové jamky a hľadanie súvislosti s tribologickými procesmi. Ako ultimatívne kritérium k hodnoteniu výsledkov bude použitá empirická evidencia. Evidencia k podpore teórie tribologických procesov bude na základe observácie a bude dokladovať koreláciu medzi jednotlivými výsledkami, prípadne spojitosť s klinickými dátami, za pomoci odborníkov z lekárskej praxe.

8.1 SWOT analýza riešenie problému dizertačnej práce

8.1

	Užitočné pre splnenie cieľov	Škodlivé pre splnenie cieľov
Vnútorne atribúty	Silné stránky <ul style="list-style-type: none"> Spolupráca s fakultnou nemocnicou v Olomouci (prof.Gallo) Dostupnosť meracích prístrojov k analýze Malé množstvo publikácií analýzy povrchu optickou metódou Možnosť rekonštrukcie nameraných dát 	Slabé stránky <ul style="list-style-type: none"> Nedostačujúca presnosť metódy optického skenovania Odrazivosť povrchu Individuálny prístup v závislosti na rozsahu poškodenia Malá snímaná oblasť profilometru
Vonkajšie atribúty	Príležitosti <ul style="list-style-type: none"> Spolupráca so zahraničnými univerzitami Záujem inštitúcií o danú problematiku Podpora a trvajúci záujem zo strany fakultnej nemocnice 	Ohrozenia <ul style="list-style-type: none"> Nedostatok projektov pre financovanie výskumu Výuka a povinné predmety Odmietnutie článkov v časopise s IF

9 ČASOVÝ ROZVRH A ETAPY RIEŠENIA



10 ODÔVODNENIE NUTNOSTI A POTREBNOSTI RIEŠENIA DANEJ PROBLEMATIKY V DANOM ČASE

Hlavným z aspektov riešenia danej problematiky, je neustále sa zvyšujúce množstvo reoperácií bedrových kĺbov z dôvodu zlyhania spôsobeného reakciou tela na uvoľnené častice z umelej náhrady. V danej oblasti je prirodzene neustály záujem zvyšovania kvality a životnosti náhrad, či už zo strany výrobcov, alebo ortopédov vykonávajúcich operačné zákroky. Hlavným patogenetickým faktorom určujúcim mieru prežitia náhrady je práve hodnotenie množstva oteru u náhrady [22]. Neustálym vývojovým trendom zvyšovať odolnosť a minimalizovať mieru oteru, je nutné zvyšovať presnosť a metódy používané pri kvantifikácii miery oteru.

Daným problémom sa zaoberá rada inštitúcií využívajúcich konvenčné technológie dotykových meracích zariadení. Len málo publikácií sa venuje vyhodnocovaniu úbytku materiálu za pomoci optických technológií. Výhodu využitia týchto metód, vidím hlavne v možnosti získania komplexného povrchu extrahovaných náhrad s neporovnateľne vyšším počtom nasnímaných bodov. Táto výhoda poskytuje ďalšie možnosti z hľadiska spracovania výsledkov.

Jedným z benefitov je digitálna rekonštrukcia plôch, poškodených pri extrakcii z pacienta. Ďalšou z výhod je možnosť exportu jednotlivých bodov a aplikácia využívaných algoritmov popísaných v predchádzajúcich publikáciách aplikovaných na metódu CMM. Táto možnosť nám poskytuje nástroj na validáciu novej metodiky.

V prípade uplatnenia optických metód v problematike oteru TEP náhrad sa ponúka možnosť za podpory a spolupráce s klinickou praxou, vytvoriť určitý protokol na základe ktorého by bolo možné hodnotiť reoperované náhrady. Tento prístup je potenciálom k posunutiu oblasti poznania procesov prebiehajúcich medzi artikulačnými povrchmi. Víziou a ponúkajúcou sa možnosťou v tejto problematike je prepojenie výskumných oblastí v biotribologickej skupine Ústavu konštruovania. Výskum utvárania mazacieho filmu využívaním fluorescencie a pozorovanie agregácie proteínov priamo v kontakte je kapitolou úzko spojenou s problematikou životnosti náhrad [23]. Veškeré výsledky sú iniciálnymi poznatkami k pochopeniu dopadov prejavujúcich sa vo forme degeneračných procesov TEP náhrad. Vyvedením správnych súvislostí a vzájomných interakcií vedeckých poznatkov z paralelne prebiehajúcich pozorovaní, môžu mať výrazný impakt na celkový trend vývoja endoprotéz a tým skvalitňovanie životnej úrovne postihnutého pacienta.

Veľká časť rešeršných publikácií sa venuje dotykovým snímacím metódami a len málo autorov aplikuje optické metódy do tejto problematiky. Z môjho pohľadu na základe pojednaných článkov, prínosom využitia optickej digitalizácie oproti konvenčným metódam je možnosť výrazne skrátiť časy hodnotenia povrchu a detailnejšie skúmať povrchy na úrovni nanorozdielov a eliminovať niektoré typy chýb spojených s limitami týchto metód. Potenciálom je odladenie metódy, na presnosť, ktorá by bola dostačujúca k analýze povrchov tvrdších TEP párov, kde je objemové opotrebenie relatívne malé. Týmto sa otvára možnosť rozšírenia v poznaní degradačných procesov súvisiacich so zlyhávaním náhrad. Ďalšou z výhod je možnosť presnejšieho stanovenia neopotrebenej oblasti, ktorej dôležitosť je z hľadiska stanovenia referenčnej geometrie, ktorá je zdrojom najväčších neistôt.

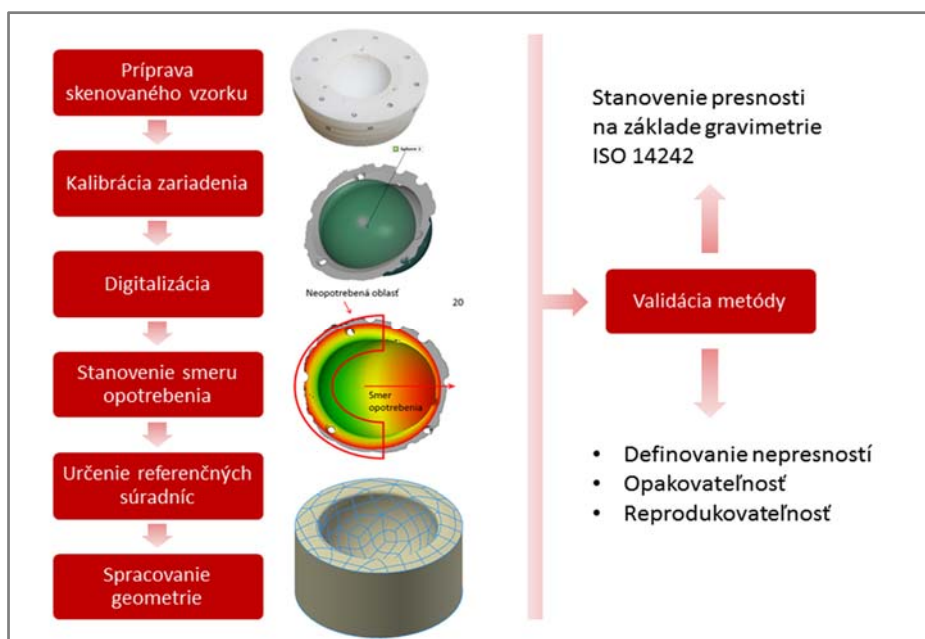
11 POPIS NAVRHOVANÝCH KONCEPČNÝCH A METODICKÝCH POSTUPOV NEVYHNUTNÝCH PRE RIEŠENIE DIZERTAČNEJ PRÁCE A PRE DOSIAHNUTIE PREDPOKLADANÉHO VÝSLEDKU

Na základe osvojenia si znalostí z daného vedného odboru a doplnení poznatkov z nevyhnutných fundamentálnych lekárskech vedomostí v problematike totálnej endoprotetiky, bola zostavená základná vízia postupu pri tvorbe a skladaní jednotlivých dielov práce - myšlienková mapa.

Po vytvorení podrobnej rešerše z danej oblasti, bude v práci navrhnutá metodika nového prístupu k hodnoteniu oteru (etapa 1). V druhom kroku po odladení metodiky bude demonštrované jej využitie a klinický dopad (etapa 2). A následne bude metodika doplnená a rozšírená o pozorovanie topografie za pomoci interferometrie a jej prípadná aplikácia na tvrdé páry (etapa 3).

11.1 Etapa 1.

V spolupráci s fakultnou nemocnicou v Olomouci budú vybrané extrahované bedrové jamky od výrobcov, ktorých implantáty sa bežne v českej republike využívajú. Budú vyberané s ohľadom na dostupnosť nových referenčných vzorkov k možnosti porovnania výsledkov a validácie metódy. Vhodným výrobcom je firma Smith and Nephew. Súbor poskytnutých jamiek bude digitalizovaný za pomoci optického skeneru ATOS Triple Scan. Cieľom úvodných experimentov je stanovenie použiteľnosti metódy pri analýze oteru. Následne stanovenie opakovateľnosti a reprodukovateľnosti výsledkov za pomoci štatistických metód. K celkovému zhodnoteniu metodiky, bude využitá norma ISO 14242 popisujúca gravimetrické hodnotenie oteru, na základe čoho bude metodika zrovnaná s predchádzajúcimi štúdiami. Algoritmus metodického postupu pri riešení fáze 1, bude nasledovný:



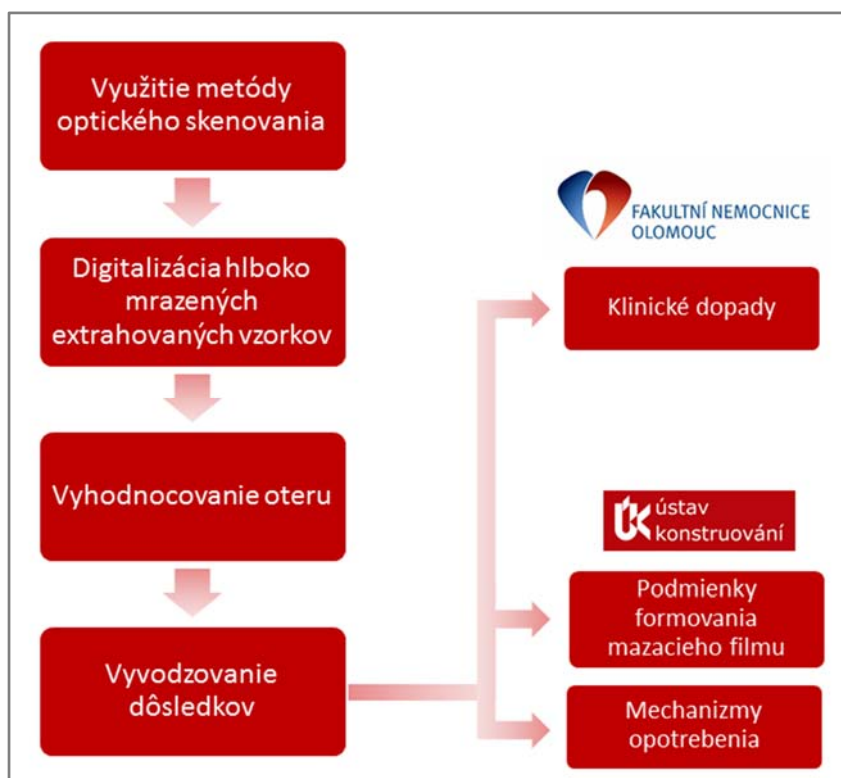
Obr. 17 Postup riešenia - fáza 1

Zhodnotením metódy sa preukáže jej využiteľnosť v praxi, možnosti ďalšieho rozvoja a spresňovania. Vyvinutá metóda hodnotenia objemového úbytku polyetylénovej bedrovej náhrady, bude publikovaná v časopise s impakt faktorom. Na základe toho bude metóda overená a bude možné ju ďalej rozvíjať.

11.2 Etapa 2.

11.2

Na základe predchádzajúceho popisu bude metodika aplikovaná na súbor vzorkov, ktoré budú poskytnuté fakultnou nemocnicou. Bude sa jednať o preparáty uchovávané hlbokých zmrazením, vďaka čomu sa vyhneme problémom s degradáciou spôsobenou sterilizačným procesom. Hlavným cieľom fáze 2, je aplikovanie metodiky optického skenovania na súbor vzoriek s presnou klinickou históriou. Na digitalizáciu budú použité algoritmy navrhnuté v predchádzajúcej časti. V súlade s klinickými výsledkami pacientov by mal byť preukázaný priamy dopad výsledkov optickej metódy na využiteľnosť pri stanovení kritického množstva oteru pre vznik osteolýzy. Ďalším dopadom je získanie dát potrebných pre analýzu a ďalší postup pri hodnotení tribologických procesov v kontakte.

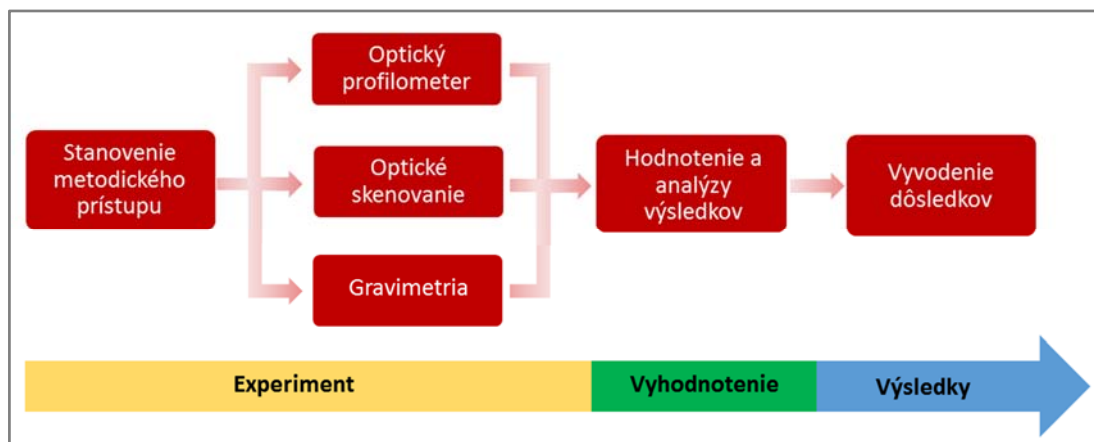


Obr. 18 Postup riešenia fáza 2

Výsledkom analýzy bude impaktovaný článok zameraný na klinické dopady hodnotenia oteru a prezentáciu novej metódy využiteľnej pre analýzu extrahovaných párov. Dosiahnutie výsledkov bude v úzkej kooperácii s ostatnými členmi tímu Ústavu konštruovani a Ortopedickým oddelením fakultnej nemocnice Olomouc.

11.3 Etapa 3.

Za predpokladu úspešnosti predchádzajúcich metód, bude nasledovať krok rozšírenia metodiky o pozorovanie topografie povrchu a aplikácia na páry z tvrdších materiálov. Na základe predpokladaných výsledkov prebehne modifikácia metódy a úprava algoritmu vyhodnocovania s cieľom analyzovať topografiu povrchu na opotrebených bedrových náhradách. Jedným z využívaných zariadení pre tieto účely je profilometer pracujúci na základe interferometrie s rozlišovacou schopnosťou 0,01nm vo vertikálnom smere a 0,38 μm v laterálnom. Zariadenie Bruker Contour X8 je umiestnené v tribologických laboratóriách Ústavu konštruování (ÚK). Profilometer bude rozšírený o modul umožňujúci polohovanie implantátu do presne definovaných súradníc pre potreby definovania topografie v požadovanom mieste. Vývoj polohovacieho zariadenia bude súčasťou projektovej výuky na ÚK. Vzájomnou kombináciou optických zariadení je predpoklad určenia podrobnej povrchovej analýzy kompletnej geometrie doteraz vyrábaných TEP náhrad. Výsledky by mali viesť k získaniu obecných záverov vzhľadom k závislosti oteru na tribologické procesy prípadne jeho dopad na klinické výsledky. Za pomoci tejto metódy bude možné hodnotiť nielen extrahované TEP náhrady, prípadne jednotlivé výrobné postupy alebo nepresnosti nových implantátov od rôznych výrobcov. Hlavným prínosom je vyvinutie efektívnej metódy schopnej v dostačujúcej presnosti analyzovať opotrebenú oblasť náhrady. Validované výsledky za pomoci gravimetrie budú publikované v niektorom z tematických časopisov s IF.



Obr. 19 Postup riešenie fáza 3

12 SPOLUPRÁCA S INÝMI INŠTITÚCIAMI

Vzhľadom k cieľom práce sa predpokladá spolupráca s nasledujúcimi inštitúciami:

- **Fakultná nemocnica v Olomouci**
 - prof. MUDr. Jiří Gallo, Ph.D.
 - MUDr. Martin Hobza

- **Kyushu University**
 - prof. Yoshinori Sawae

13 PREDPOKLADANÉ NÁKLADY SPOJENÉ S RIEŠENÍM A ICH ZDROJE

13.1 Predpokladané náklady

• Vývoj rotačného podstavca – modul pre profilometer Bruker	40000,- Kč
• Zakúpenie normy ISO 14242	5100,- Kč
• CMM– referenčné meranie	12100,- Kč
• Mikrometrické meradlá	12800,- Kč
• Spotrebný materiál	10000,- Kč
• Náklady na konferencie (Londýn,...)	100000,- Kč
• Náklady na zahraničnú stáž (Japonsko)	250000,- Kč
<hr/>	
• SPOLU	430000,- Kč

+ mzda riešiteľa dizertačnej práce

13.2 Financovanie výskumu

Výskum bude hrađený z nasledujúcich projektov:

- Interná grantová agentúra ministerstva zdravotníctva IGA (do 2015)
- Národný program udržateľnosti NPU (do 2018)
- Financovanie Fakultnou nemocnicou Olomouc

Plán podania ďalších projektov

- Grantová agentúra Českej republiky GAČR (podané)
- Projekty podľa aktuálnych výziev
 - OPVVV projekty



14 CHARAKTERISTIKA PREDPOKLADANÉHO VÝSLEDKU RIEŠENIA DIZERTAČNEJ PRÁCE V KATEGÓRIÁCH DEFINOVANÝCH PRE ZÁKLADNÝ VÝSKUM

- Hodnotenie v súlade s platnou Metodikou hodnotenia výsledkov výskumu a vývoja.

Vzhľadom k cieľu vytvoriť prílohovú dizertačnú prácu, je podmienkou Ústavu konstruovaniu publikovať, aspoň tri navzájom súvisiace články v pojednávajúcej problematike dizertačnej práce. Publikovaním sa pritom myslí, aby článok bol minimálne prijatý v danom časopise. Počas štúdia sa predpokladá taktiež publikovanie v recenzovaných časopisoch a prípadná účasť na konferenciách.

Druh výsledku		Bodové hodnotenie
J _{imp}	Článok v impaktovanom časopise	10 - 305
J _{rec}	Článok v recenzovanom časopise	0
D	Článok v konferenčnom zborníku	8 - 60

Tab. 2 Bodové hodnotenie publikačných výstupov dizertačnej práce [23]

Zoznam potencionálnych časopisov pre publikácie výsledkov dizertačnej práce.

Názov časopisu	Impact Factor	5-Year Impact Factor
Wear	1,913	2,109
Tribology Transaction	1,349	1,359
The Journal of Bone and Joint Surgery	5,280	4,839
Biotribology	-	-
Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part H or Part J	1,329	1,530
Journal of Biomechanics	2,751	3,157
Acta chirurgiae orthopaedicae	0,388	0,448
Journal of Arthroplasty	2,666	2,999

Tab. 3 Potencionálne časopisy pre publikácie výsledkov dizertačnej práce [24]

15 BIBLIOGRAFIA

- [1] Public and patient guide: to the NJR'S 11th annual report 2014. 11. National Joint Registry, 2014. Dostupné také z: www.njrcentre.org.uk
- [2] Center for Healthy Joints, S.C. [online]. [cit. 2015-07-03]. Dostupné z: www.sworthopedics.com
- [3] Pramanik, S., A. K. Agarwal AND K. Rai Chronology of total hip joint replacement and materials development. Trends in Biomaterials & Artificial Organs, 2005, 19(1), 15-26.
- [4] Dumbleton, J. H., M. T. Manley AND A. A. Edidin A literature review of the association between wear rate and osteolysis in total hip arthroplasty. Journal of Arthroplasty, Aug 2002, 17(5), 649-661.
- [5] McCalden, R. W., D. D. Naudie, X. H. Yuan AND R. B. Bourne Current concepts review - Radiographic methods for the assessment of polyethylene wear after total hip arthroplasty. Journal of Bone and Joint Surgery-American Volume, Oct 2005, 87A(10), 2323-2334.
- [6] ISO 14242-1:2014(E): Implants for surgery, Wear of total hip-joint prostheses - LMethod and measurement. Switzerland, 2000. Dostupné také z: www.iso.ch
- [7] ISO 14242-1:2014(E): Implants for surgery, Wear of total hip-joint prostheses - Loading and displacement parameters for wear-testing machines and corresponding enviromental conditions for test. Switzerland, 2000. Dostupné také z: www.iso.ch
- [8] CeramTec [online]. [cit. 2015-07-03]. Dostupné z: <https://www.ceramtec.com/biolox/patient-information/materials/>
- [9] Dowson, D. AND Z. M. Jin Metal-on-metal hip joint tribology. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part H-Journal of Engineering in Medicine, Feb 2006, 220(H2), 107-118.
- [10] Acta (zatiaľ nebol publikovaný)
- [11] Palousek, D., M. Omasta, D. Koutny, J. Bednar, et al. Effect of matte coating on 3D optical measurement accuracy. Optical Materials, Feb 2015, 40, 1-9.
- [12] Uddin, M. S. Wear Measurement and Assessment of Explanted Cross-Linked PE Acetabular Cups Using a CMM. Tribology Transactions, 2014, 57(5), 767-777.

- [13] Lord, J. K., D. J. Langton, A. V. F. Nargol AND T. J. Joyce Volumetric wear assessment of failed metal-on-metal hip resurfacing prostheses. *Wear*, 10/3/ 2011, 272(1), 79-87.
- [14] Morris, B., L. Zou, M. Royle, D. Simpson, et al. Quantifying the wear of acetabular cups using coordinate metrology. *Wear*, 7/18/ 2011, 271(7–8), 1086-1092.
- [15] Bills, P., L. Blunt AND X. Jiang Development of a technique for accurately determining clinical wear in explanted total hip replacements. *Wear*, 9/10/ 2007, 263(7–12), 1133-1137.
- [16] Zou, L., D. Y. D. Samarawickrama, V. Jovanovski AND J. C. Shelton Measurements of sequential impressions of acetabula cups from a total hip joint replacement using a non-contact measurement system. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 10// 2001, 41(13–14), 2023-2030.
- [17] Lu, Z. AND H. A. McKellop Accuracy of methods for calculating volumetric wear from coordinate measuring machine data of retrieved metal-on-metal hip joint implants. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part H-Journal of Engineering in Medicine*, Mar 2014, 228(3), 237-249.
- [18] Blunt, L. AND X. Q. Jiang Three dimensional measurement of the surface topography of ceramic and metallic orthopaedic joint prostheses. *Journal of Materials Science-Materials in Medicine*, Apr 2000, 11(4), 235-246.
- [19] Affatato, S., M. Zavalloni, P. Taddei, M. Di Foggia, et al. Comparative study on the wear behaviour of different conventional and cross-linked polyethylenes for total hip replacement. *Tribology International*, 8// 2008, 41(8), 813-822.
- [20] Oparaugo, P. C., I. C. Clarke, H. Malchau AND P. Herberts Correlation of wear debris-induced osteolysis and revision with volumetric wear-rates of polyethylene: A survey of 8 reports in the literature. *Acta Orthopaedica*, 2001, 72(1), 22-28.
- [21] Goldvasser, D., V. J. Hansen, M. E. Noz, G. Q. Maguire, Jr., et al. In vivo and ex vivo measurement of polyethylene wear in total hip arthroplasty. *Acta Orthopaedica*, Jun 2014, 85(3), 271-275.
- [22] Dumbleton, J. H., M. T. Manley AND A. A. Edidin A literature review of the association between wear rate and osteolysis in total hip arthroplasty. *Journal of Arthroplasty*, Aug 2002, 17(5), 649-661.

- [23] M. Vrbka, D. Nečas, M. Hartl, I. Křupka, F. Urban, J. Gallo, Visualization of lubricating films between artificial head and cup with respect to real geometry, *Biotribology*, Volumes 1–2, March–June 2015, Pages 61-65, ISSN 2352-5738.
- [24] Web of science: Journal Citation Reports [online]. [cit. 2015-07-03]. Dostupné z: <http://apps.webofknowledge.com/>
- [25] Rossler, T., et al., Optical 3D methods for measurement of prosthetic wear of total hip arthroplasty: principles, verification and results. *Optics Express*, 2009. 17(15): p. 12723-12730.
- [26] Tuke, M., et al., 3D linear and volumetric wear measurement on artificial hip joints-Validation of a new methodology. *Precision Engineering- Journal of the International Societies for Precision Engineering and Nanotechnology*, 2010. 34(4): p. 777-783.
- [27] Sonntag, R., J. Reinders, and J.P. Kretzer, What's next? Alternative materials for articulation in total joint replacement. *Acta Biomaterialia*, 2012. 8(7): p. 2434-2441.
- [28] Yun, H.H., et al., Reliability of a PowerPoint Method for Wear Measurement After Total Hip Arthroplasty: A Retrieval Study Using 3-Dimensional Laser Scanning. *The Journal of Arthroplasty*, 2012. 27(8): p. 1530-1537.