

UNIVERZITA PARDUBICE
FAKULTA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ

BAKALÁRSKA PRÁCA

2017

Jana Koubská

Univerzita Pardubice

Fakulta chemicko-technologická

Využitie Al_2O_3 v medicínálnych aplikáciách

Jana Koubská

Bakalárska práca

2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jana Koubská**
Osobní číslo: **C14434**
Studijní program: **B2830 Farmakochemie a medicínální materiály**
Studijní obor: **Farmakochemie a medicínální materiály**
Název tématu: **Využití Al_2O_3 v medicínálních aplikacích**
Zadávající katedra: **Ústav organické chemie a technologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Seznamte se s literárně dostupnými informacemi o Al_2O_3 .
2. Proveďte literární rešerši o aplikacích Al_2O_3 v medicíně.
3. Získané údaje přehledně zpracujte.
4. Vyhodnoťte a diskutujte nalezené poznatky s ohledem na současný i budoucí potenciál.
5. Sepište závěrečnou zprávu.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

Všechna dostupná chemická literatura.

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Petr Němec, Ph.D.**
Katedra polygrafie a fotofyziky

Datum zadání bakalářské práce: **28. února 2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **3. července 2017**



prof. Ing. Petr Kalenda, CSc.
děkan

L.S.



prof. Ing. Miloš Sedlák, DrSc.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 28. února 2017

Prehlasujem:

Prehlasujem, že túto prácu som vypracovala samostatne. Všetky literárne pramene a informácie, ktoré som v práci využila, sú uvedené v zozname použitej literatúry.

Bola som oboznámená s tým, že sa na moju prácu vzťahujú práva a povinnosti vyplývajúce zo zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, hlavne so skutočnosťou, že Univerzita Pardubice má právo na uzavretie licenčnej zmluvy o použití tejto práce ako školského diela podľa § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tým, že pokiaľ dôjde k použitiu tejto práce mnou alebo bude poskytnutá licencia o použití inému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávnená odo mňa požadovať primeraný príspevok na úhradu nákladov, ktoré na vytvorenie diela vynaložila, a to podľa okolností až do jej skutočnej výšky.

Súhlasím s prezenčným sprístupnením svojej práce v Univerzitnej knižnici Univerzity Pardubice.

V Pardubiciach dňa 11. 07. 2017

.....
Jana Koubská

POĎAKOVANIE

Na tomto mieste by som rada vyjadrila vďačnosť vedúcemu práce prof. Ing. Petru Němcovi. Ph.D., za cenné rady, ochotu a trpezlivosť, ktoré mi venoval pri tejto bakalárskej práci.

Veľké poďakovanie tiež patrí všetkým mojim blízkym za ochotu podať pomocnú ruku v dobách môjho štúdia.

ANOTÁCIA

Táto práca sa zaoberá využitím korundu pre medicínálne aplikácie. Popisuje vlastnosti korundu (Al_2O_3) a jeho výrobu so zameraním pre použitie v medicíne. Sleduje súčasné trendy a použitia vo vývoji implantátov, zubných protéz a iných použití v medicínálnych aplikáciách. Okrem iného pozoruje aj baktericídne účinky Al_2O_3 .

KLÚČOVÉ SLOVÁ

Korund, Medicínálne aplikácie, Implantáty, Al_2O_3

TITLE

Exploitation of Al_2O_3 in applications in medicine

ANNOTATION

This work deals with the use of corundum for medical applications. It describes the properties of the corundum (Al_2O_3) and its production with a focus on use in the medicine. It tracks current trends and applications in the development of implants, dental prostheses and other medical applications. It also looks at the bactericidal effects of Al_2O_3 .

KEYWORDS

Corundum, Medicinal applications, Implants, Al_2O_3

OBSAH

ZOZNAM ILUSTRÁCIÍ	10
ZOZNAM TABULIEK	11
ZOZNAM SKRATIEK.....	12
ÚVOD	13
1. Hliník.....	15
1.1. Výskyt	15
1.2. Vlastnosti.....	15
1.3. Reaktivita	16
1.4. Výroba.....	17
1.5. Zliatiny hliníka	18
2. Al ₂ O ₃	19
2.1. Výskyt a modifikácie Al ₂ O ₃	20
2.2. Vlastnosti Al ₂ O ₃	22
2.2.1. Vlastnosti Al ₂ O ₃ zamerané na priemysel	23
2.2.2. Vlastnosti dôležité pre využitie v medicínálnych aplikáciách.....	25
2.3. Výroba Al ₂ O ₃	26
2.3.1. Bayerov proces:	26
3. Vývoj Al ₂ O ₃ pre použitie v medicínálnych materiáloch	28
3.1. História.....	28
3.2. Súčasnosť	28
4. Aplikácia Al ₂ O ₃ v medicínálnych materiáloch.....	29
4.1. Zubná medicína.....	29
4.1.1. Implantáty	29
4.1.2. Zubné protézy	30
4.2. Očná medicína.....	36
4.2.1. Porézny orbitálny implantát.....	36
4.3. Ortopedická medicína-endoprotézy	37
4.3.1. Rozdelenie endoprotéz.....	37
4.3.2. Gul'ové hlavy	38
4.3.3. Keramické vložky	39
4.3.4. Komponenty kolenného kĺbu.....	41
4.3.5. Členkový kĺb.....	42
4.3.6. Ramenné komponenty	43
5. Al ₂ O ₃ a jeho antibakteriálne účinky.....	43

5.1. Al ₂ O ₃ ako baktericídne liečivá	43
5.2. Sterilizačné, klimatizačné zariadenia, zariadenia operačných sálov, nemocničný nábytok	45
ZÁVER	47
POUŽITÁ LITERATÚRA	49

ZOZNAM ILUSTRÁCIÍ

Obrázok 1.: Umiestnenie hliníka v periodickej sústave prvkov. ^[1]	15
Obrázok 2.: Surový hliník. ^[6]	16
Obrázok 3.: Molekulová štruktúra oxidu hlinitého. ^[14]	19
Obrázok 4.: Kryštalická štruktúra α -Al ₂ O ₃ . ^[15]	21
Obrázok 5.: Štruktúra spinelu MgAl ₂ O ₄ . ^[15]	21
Obrázok 6.: Štruktúra bohmitu (γ -AlO(OH)). ^[15]	22
Obrázok 7.: Mechanické a fyzikálne vlastnosti Al ₂ O ₃ . ^[16]	23
Obrázok 8.: Bayerov proces. ^[25]	27
Obrázok 9.: Názorná ukážka vrchnej vrstvy korundového implantátu, SEM časť A: korundová keramika, časť B: korundová keramika po úprave povrchu koloidným roztokom striebra-červené kruhy označujú miesta pôsobenia strieborných zhlukov molekúl. ^[27]	30
Obrázok 10.: Výmena poškodenej naturálnej korunky syntetickou. ^[31]	31
Obrázok 11.: Zlomenina vrchnej časti skupiny SB s únavovým zaťažením, snímka naskenovaná zo SEM (pôvodné zväčšenie x 2000). V tomto type cementu došlo k poškodeniu iba na strane cementu, pričom povrch zlomeniny bol drsný. ^[32]	34
Obrázok 12.: Zlomenina vrchnej časti skupiny PV s únavovým zaťažením, snímka naskenovaná z SEM (pôvodné zväčšenie x 2000). Táto zlomenina sa vytvorila medzi dentínom a živicovým cementom. Vrchná časť zlomeniny bola majoritne hladká. ^[32]	35
Obrázok 13.: Zlomenina vrchnej časti skupiny RX s únavovým zaťažením, snímka naskenovaná zo SEM (pôvodné zväčšenie x 2000). Zlomenina bola vytvorená medzi hybridnou vrstvou a živicovým cementom, pričom vrchná časť je väčšinou hladká. ^[32]	35
Obrázok 14.: Biokeramický orbitálny implantát tvorený Al ₂ O ₃ . ^[34]	37
Obrázok 15.: Biokeramický implantát vyrobený z Al ₂ O ₃ , pohľad zo SEM. ^[34]	37
Obrázok 16.: BIOLOX® delta Ggul'ové hlavice-endoprotézy bedrového kĺbu, tzv. rúžová keramika. ^[38]	39
Obrázok 17.: Monoblokové keramické vložky. ^[41]	40
Obrázok 18.: Modulové keramické vložky. ^[42]	41
Obrázok 19.: Komponenty kolenného kĺbu. ^[52]	42
Obrázok 20.: Komponenty ramenného kĺbu. ^[53]	43
Obrázok 21.: A) SEM obraz Al ₂ O ₃ -NP, B) zobrazuje HR-TEM obraz Al ₂ O ₃ -NP ^[54]	44
Obrázok 22.: Vzorové snímky zo SEM. A) čistý PLA, B) PLA s 5 % Al ₂ O ₃ , C) PLA s 25 % Al ₂ O ₃ , D) PLA s 50 % Al ₂ O ₃ . ^[56]	46

ZOZNAM TABULIEK

Tabuľka 1.: Obory použitia korundovej keramiky. ^[14]	24
Tabuľka 2.: Využitie Al ₂ O ₃ v rôznych formách. ^[19]	25
Tabuľka 3.: Typy živicových cementov. ^[31]	33

ZOZNAM SKRATIEK

SB-Super-Bond C&B

PV-Panavia F

RX-Rely X Unicem

PA-Pseudomonas aeruginosa

SEM-skenovacia elektronová mikroskopia

PLA-polylaktid

NP-nanočastice

ÚVOD

Medzi najrýchlejšie sa rozvíjajúce vedné obory v súčasnosti patrí medicína. Je to zapríčinené z dôvodu neustále rastúcich nárokov pacientov, výskytom nových chorôb, ktoré začali trápiť modernú civilizáciu a samozrejme tým, že sa neustále predlžuje doba prežitia človeka. Vzhľadom na to, že dnešný človek žije v priemere až o 40 rokov viac ako žil v minulosti, je nutné, aby medicína dokázala s čo najvyššou funkčnosťou nahradiť nadmerne opotrebované organické časti tela syntetickými.

Jedným z najčastejšie používaných keramických materiálov je oxid hlinitý (Al_2O_3), teda korund. Patrí medzi moderné keramiky a je jeden z najvýkonnejších materiálov súčasnosti. Tento vysoko nevodivý keramický materiál sa môže vyskytovať v niekoľkých kryštálografických modifikáciách. Tie sú ďalej popísané v kapitole 2.1.

Korund sa používa v rôznych úrovniach čistoty a vyznačuje sa vlastnosťami, ktoré určujú jeho použitie práve v medicínálnych aplikáciách.

Týmito vlastnosťami sú: veľmi dobrá elektrická izolácia, extrémne vysoká mechanická pevnosť, veľmi vysoká pevnosť v tlaku, vysoká tvrdosť, nízka tepelná vodivosť, vysoká odolnosť proti korózii a opotrebovaniu, dobré klzné vlastnosti, nízka hustota, prevádzková teplota bez mechanického zaťaženia 1000 až 1500 ° C. Z chemického hľadiska je inertný a biokompatibilný s potravinami a tkanivami. O vlastnostiach korundu pojednáva kapitola 2.2.

Vďaka týmto úžasným vlastnostiam sa korund ako keramický materiál využíva nielen pre medicínálne aplikácie ako sú implantáty, zubné protézy ale aj sa používa v zdravotníckych zariadeniach a prístrojoch. O čom pojednáva celá kapitola 4.

Existujú, ale aj iné aplikácie pokročilej korundovej keramiky: vysokovýkonné tvárniace nástroje, substráty a rezistorové jadrá v elektronickom priemysle, dlaždice na ochranu proti opotrebovaniu, v balistike, vlákna v textilnom inžinierstve, tesniace a regulačné disky pre vodovodné kohútiky a ventily, tepelné drezy pre osvetľovacie systémy, ochranné trubice v tepelných procesoch alebo nosičoch katalyzátorov pre chemický priemysel.

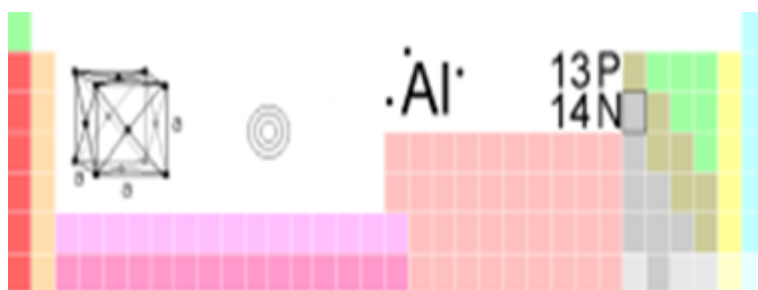
V dnešnej dobe sa čoraz viac firiem zameriava na distribúciu korundových produktov pre medicínálne aplikácie, priemyselné aplikácie, ale aj na potreby bežného života. Medzi spoločnosťami, ktoré distribuujú keramické materiály vyrobené z oxidu hlinitého (Al_2O_3) patrí

spoločnosť CeramTec. Je to medzinárodný výrobca a dodávateľ technickej keramiky. Táto keramika sa nazýva Ceram Experts a ponúka široké portfólio s viac ako 10 000 rôznymi výrobkami, komponentami a dielmi vyrobenými z rôznych druhov keramických materiálov. Tieto materiály sa používajú s dlhou tradíciou a využívajú sa v širokej škále aplikácií. CeramTec mimo produkcie Ceram Experts zameriava svoju výrobu aj na BioloX, čo je pokročilá keramika, ktorá vyrába všetky časti keramických implantátov. Podporuje výskum v dlhovekosti, biokompatibility a odolnosti voči opotrebovaniu. CeramTec pomáha pacientom, práve svojou pokročilou keramikou zachovať kvalitu života.

Okrem iného sa korund, vyznačuje aj pozoruhodnými antibakteriálnymi účinkami. Tejto skutočnosti sa využíva nielen v medicínálnych aplikáciách, ale aj v priemysle. O baktericídnych účinkoch Al_2O_3 pojednáva kapitola 5.

1. Hliník

V periodickej sústave prvkov sa hliník nachádza v 13. skupine a v 3. perióde a jeho značka je Al (viz obrázok č.1).^[1] Elektrónová konfigurácia valenčnej sféry je $ns^2 np^1$. Hliník tvorí najmä kovalentné zlúčeniny. Atóm Al v porovnaní s atómom bóru je priestorovo väčší, to znamená, že má nižšiu ionizačnú energiu, čiže ak tvorí väzby s elektronegativejšími prvkami (napr. fluór) už má iónový charakter. Chémia tohto prvku sa odvíja od toho, že tvorí kovalentné zlúčeniny v ktorých má hliník koordinačné číslo 4 (sp^3 hybridizácia) alebo 6 (sp^3d^2). Pretože má hliník nízku elektronegativitu jeho kovalentné väzby sú najčastejšie silne polárne. Nájdeme ho v zlúčeninách najmä s oxidačným číslom 3, zriedkavo 1 (v oxidačnom stave 1 sa vyskytuje v AlCl). Z pohľadu fyzikálnych a chemických vlastností je hliník považovaný za kov.^[2]



Obrázok 1.: Umiestnenie hliníka v periodickej sústave prvkov.^[1]

1.1. Výskyt

Hliník zaraďujeme medzi najrozšírenejšie prvky zemskej kôry. Tvorí súčasť ďalších zlúčenín.^[3] Je nájdený hlavne ako hlinitokremičitany (to sú živice, slídy, zeolity alebo hlina). Nachádza sa v mineráloch ako sú: bauxit (je to zmes $AlO(OH)$, SiO_2 , Fe_2O_3 , MnO_2), kryolit ($Na_3[AlF_6]$) a korund ($\alpha-Al_2O_3$).^[2] Zlúčeniny Al sa vyskytujú v zemskej kôre zo 7,4 %.^[3]

1.2. Vlastnosti

Striebrolesklý, mäkký (dá sa krájať nožom), ľahký, kujný kov, ktorý vďaka pokrývaniu vrstvičkou oxidu na vzduchu je stály. Obdobne je stály aj voči H_2O . Dochádza k tvorbe kontinuálnej vrstvy hydroxidu na vonkajšej (lícnej) časti. Vďaka napr. amalgamácií dôjde k zániku tejto vrstvy a reakcia s vodou sa začne uskutočňovať. Vykazuje slabé paramagnetické vlastnosti. Dobre vedie elektrickú aj tepelnú energiu a kryštalizuje

v kockovej sústave. Jeho kryštalická mriežka je plošne centrovaná. ^[2,4] Surový hliník (viz obrázok č. 2) vynikajúco vzdoruje niektorým chemickým vplyvom a pôsobeniu poveternosti. Tiež sa vyznačuje pozoruhodnými optickými vlastnosťami (napr.: vynikajúcou odrazovou schopnosťou pre vlnenia všetkých vlnových dĺžok). Je veľmi dobre poddajný za vyšších aj nižších teplôt a je vynikajúco zvariteľný. Čistý hliník sa vyznačuje iba veľmi malou pevnosťou a medzou priťažnosti (tieto vlastnosti v podstate negatívne ovplyvňujú použitie hliníka ako konštrukčného materiálu). ^[5]



Obrázok 2.: Surový hliník. ^[6]

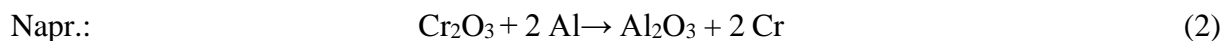
1.3. Reaktivita

Hliník je charakteristický vysokou afinitou k O₂, čo vychádza z veličín zlučovacej enthalpie. Zahriatím na vzduchu hliník zhorí až na oxid hlinitý (1):

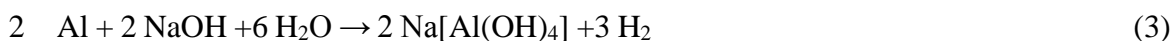


$\Delta H = -1960 \text{ kJ}$

Čoho sa zužitkováva v praxi ako aluminotermia (metóda pri ktorej kovy vznikajú z ich oxidov).



Okrem toho hliník podlieha reakciám aj s inými prvkami, pričom sa tvoria príslušné zlúčeniny (halogenidy, sírany, nitridy, fosfidy či karbidy). V HCl vďaka ochranej vrstve oxidu sa rozpúšťa najskôr veľmi pomaly, po vymiznutí danej vrstvy sa rozpúšťanie zrýchľuje. V H₂SO₄ je jeho rozpúšťanie ešte pomalšie a koncentrovaná HNO₃ hliník úspešne pasivuje. So zásaditými roztokmi hydroxidov hliník reaguje za vzniku hydroxohlinitanov a zároveň sa uvoľní vodík: ^[2]



1.4. Výroba

Nasledujúce výroby, ktoré budú uvedené sú uskutočniteľné v laboratórnych podmienkach.

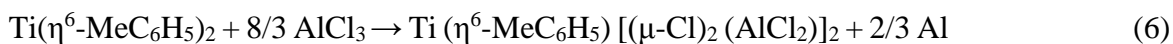
Prvá syntéza hliníka, ktorá vychádza z chloridu hlinitého, má najvyšší výťažok, a to 100 %, je jednokroková (4). Bol aplikovaný vodík bez použitia rozpúšťadla. Ďalšou látkou, ktorá pri reakcii vzniká je HCl. Postup reakcie bol taký, že chlorid hlinitý vo forme prášku bol umiestnený v trubici z kremeňa. Skúmavka bola odvzdušnená a premytá Ar, následne bola zvýšená teplota prúdom Ar/H₂ na 90 °C. Reakcia prebiehala počas nasledujúcich 20 minút. Po uplynutí uvedenej časovej doby bola skúmavka schladená. ^[7]



Druhá príprava prebieha pri teplote 150 °C a vysokom tlaku 3 bary, trvá 1 h a východnou látkou je trimethylaluminium-hydrid (5). Dochádza k usadeniu a k následnému odstráneniu tekutiny nad sedimentom, produkt sa prepláchnie n-pentánom a vysuší (vákuovo), získava sa vo forme nanočastíc. ^[8]



Tretia príprava (6) hliníka vychádza z bis(toluen)titánium a chloridu hlinitého, pri laboratórnej teplote 20 °C po 18 h miešania. Táto reakcia vykazuje výťažok 85 %. Ako vedľajší produkt vzniká komplex Ti-Al. ^[9]



Priemyselne sa hliník získava elektrolýzou taveniny bauxitu a kryolitu. Kvôli zníženiu teploty topenia sa pridáva ešte fluorid vápenatý (CaF₂). Na katóde ktorá je vytvorená z grafitu a má tvar vane sa vylučuje roztavený hliník a na anóde je vyvíjaný kyslík. Ten zreaguje s uhlíkom elektródy na oxid uhličitý. ^[10]

1.5. Zliatiny hliníka

Vyznačujú sa širokým použitím v praxi. Vznikajú na základe zmien mechanických vlastností čistého hliníku legovaním (prímes iných prvkov k čistému hliníku). Predstavujú zaujímavé vlastnosti ako sú: ľahkosť, pevnosť, ľahká tvarovateľnosť a chemickú odolnosť. Vznikli hlavne kvôli zlepšeniu mechanických vlastností ako sú: pevnosť a medza priet'ážnosti a zároveň zníženiu ťažnosti. Vďaka týmto posunom najmä mechanických vlastností sa tieto zliatiny hliníka môžu použiť ako konštrukčný materiál pre letecký a automobilový priemysel.

Ďalej je ich použitie významné v elektronike, potravinárstve (alobal), v stavebníctve (porézny betón).

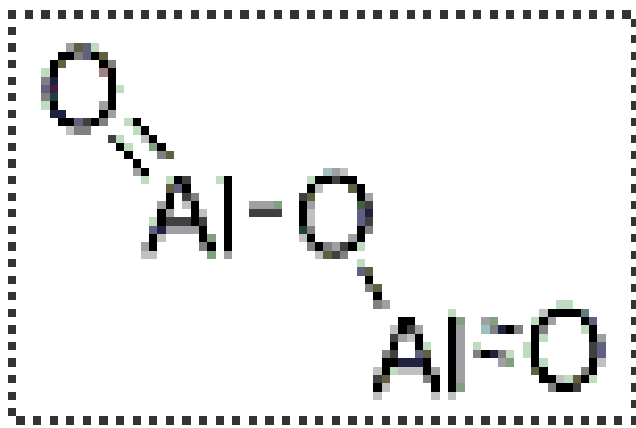
Významné sú aj organokovové zlúčeniny, ktoré sa podieľajú na organických syntézach ako katalyzátory. ^[2,4]

2. Al₂O₃

Najvýznamnejšou zlúčeninou hliníka je oxid hlinitý (Al₂O₃). Kryštalický Al₂O₃ sa nazýva korund. Jeho molekulová štruktúra sa nachádza na obrázku č. 3. Je mimoriadne tvrdý a chemicky odolný. Využíva sa na výrobu laserov, geologických vrtačných sústav, kovoobrábacích strojov a v medicínálnych aplikáciach. ^[1]

Priemyselne sa vyrába ako polykryštalický a monokryštalický. Jeho kryštalická mriežka je hexagonálna. Patrí medzi najstabilnejšie oxidy. Pri porovnaní s inými keramickými materiálmi vykazuje najnižšiu hodnotu voľnej enthalpie a najmenšiu vzdialenosť atómových jadier, to znamená, že má najvyššiu väzbovú energiu. Z toho potom vychádzajú jeho vynikajúce mechanické, chemické a elektrické vlastnosti. Jeho vlastnosti ďalej závisia na vysokej čistote, hustote a jemnom zrne. Vysoká čistota je dôležitá pre mechanickú pevnosť Al₂O₃, pretože s rôznymi prímiesami sa mechanická pevnosť znižuje. Vysoká hustota ovplyvňuje výskyt pórov, ktoré znižujú pevnosť a zvyšujú drsnosť povrchu. ^[11]

Al₂O₃ teda zaradíme medzi oxidovú keramiku. Je považovaný za biologicky aktívny materiál, pretože výskumy ukázali, že má s kostným tkanivom rovnakú chemickú konštitúciu, a že po určitej dobe môže nastať rast nového tkaniva. ^[12] So živými tkanivami nevyvoláva žiadne zápalové reakcie. Z tohto materiálu sa zhotovujú najmä zubné implantáty, kĺby a kostné náhrady. ^[13]



Obrázok 3.: Molekulová štruktúra oxidu hlinitého. ^[14]

2.1. Výskyt a modifikácie Al₂O₃

Oxid hlinitý je látka, ktorá sa vo vode nerozpúšťa a nachádza sa v niekoľkých modifikáciách kryštálovej štruktúry.

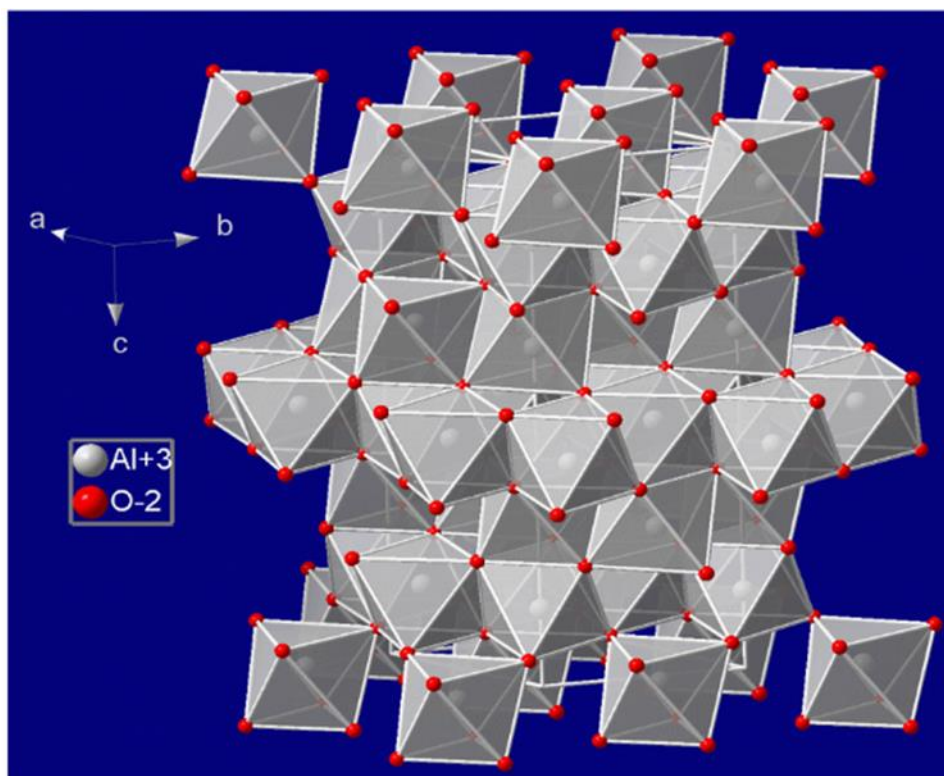
A to najmä v **modifikáciách γ -a α** :

- **γ -modifikácia:**

Táto modifikácia je kocková (kubická) a tvorí tzv. spinelovú štruktúru. Nevýhodu tejto stavby je veľké množstvo defektov. Inak má vzhľad mikrokryštalického prášku, ktorý vykazuje vyššiu reaktivitu ako α -modifikácia. Je rozpustná v kyselinách pričom vznikajú soli. Naopak v zásaditých roztokoch hydroxidov vznikajú hydroxohlinitany. Prejavuje sa významnými sorpčnými vlastnosťami. Pôsobením teploty 847 °C dochádza ku štruktúrnej premene γ -Al₂O₃ na α -Al₂O₃. Príprava γ -Al₂O₃ prebieha dehydratáciou hydrátov oxidu hlinitého pri 450 °C.

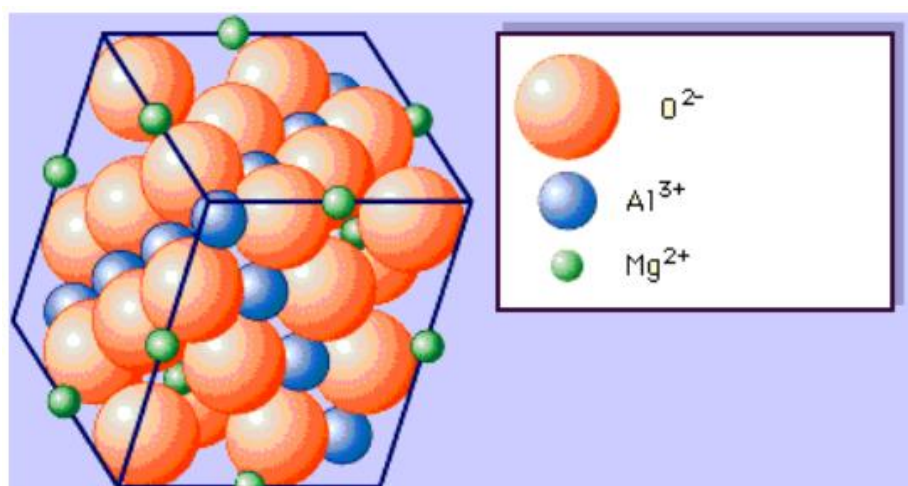
- **α -modifikácia:**

Vyskytuje sa v prírode v podobe minerálu korundu. Patrí medzi tvrdé (podľa Mohsovej stupnice vykazuje stupeň 9), chemicky skoro nereaktívne, biele, kryštalické látky. Zaujímavosťou α -modifikácie Al₂O₃ (viz obrázok č. 4) je že anióny O²⁻ tvoria najužšie hexagonálne rozmiestnenie, v ktorých sú vtiesnené dutinky vykazujúce tvar oktaedra. 66,6 % týchto dutiniek zaberajú katióny Al³⁺. Môže sa stať (je to veľmi časté), že v tejto štruktúre sa nachádzajú aj iné cudzie ióny (napr.: Fe³⁺, Cr³⁺...) v takomto prípade sa tvoria tzv. drahokamy, ktoré sú rôzne sfarbené: červený rubín alebo modrý, či biely safír.



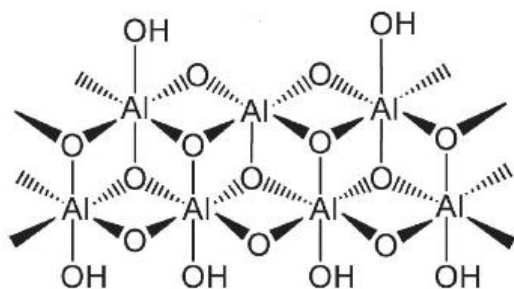
Obrázok 4.: Kryštalická štruktúra α - Al_2O_3 . ^[15]

Ďalej oxid hlinitý tvorí s inými oxidmi kovov, ktoré majú oxidačné číslo 2 tzv. podvojnú oxidy $\text{M}^{2+}\text{Al}_2\text{O}_3$, ktoré sú známe ako spinely. Sú pomenované podľa minerálu, ktorý sa nazýva spinel, teda oxid horečnatohlinitý (viz obrázok č. 5).



Obrázok 5.: Štruktúra spinelu MgAl_2O_4 . ^[15]

Taktiež sú významné hydráty oxidu hlinitého, ktoré môžu mať zloženie nestále alebo naopak presne definované. V prírode sa môžu tiež nachádzať ako α -či γ -modifikácia. Medzi najznámejšie patrí oxid-hydroxid hlinitý $\text{AlO}(\text{OH})$, ktorý sa vyskytuje ako α -modifikácia a nazýva sa diaspor alebo naopak sa môže vyskytovať ako γ -modifikácia a vtedy sa nazýva bohmit (viz obrázok č. 6).



Obrázok 6.: Štruktúra bohmitu ($\gamma\text{-AlO}(\text{OH})$). [15]

Oxid-hydroxid hlinitý sa pripravuje zavádzaním NH_3 do vriaceho roztoku Al^{3+} soli. Do tejto skupiny hydrátov oxidu hlinitého zaradíme aj hydroxid hlinitý $\text{Al}(\text{OH})_3$. Tiež v prírode vykazujú dve modifikačné štruktúry.

V modifikačnej štruktúre α - sa nazýva bayerit, v druhej modifikácii, a to γ - sa nazýva hydrargilit alebo gibbsit [11]. Hydroxid hlinitý sa pripravuje zavádzaním CO_2 do roztoku hlinitanov.

Spoločnou vlastnosťou týchto modifikačných foriem je, že s výnimkou bayeritu sa všetky vyskytujú ako súčasť bauxitu. [2]

2.2. Vlastnosti Al_2O_3

Vlastnosti delíme na mechanické a fyzikálne (viz obrázok č. 7). [16] Vlastnosti Al_2O_3 tiež môžu byť rozdelené podľa spôsobu použitia na dve skupiny. Vlastnosti zamerané na priemysel a vlastnosti dôležité pre aplikácie v medicíne. Prírodný korund vo svojej chemickej štruktúre obsahuje aj nečistoty. Tieto znečistenia ovplyvňujú farebnosť. Tá sa obmieňa a mení v závislosti na druhu a prítomnosti daných nečistôt. Zaradíme ho medzi takzvané alochromatické minerály. [17]

Mechanické	
Youngov modul pružnosti	340 - 400 GPa
Pevnosť v ťahu	350 - 580 MPa
Pevnosť v tlaku	690 - 5500 MPa
Poissonovo číslo	0,23 - 0,25
Lomová húževnatosť	3,3 - 4,8 MPa.m ^{1/2}
Tvrdosť - Vickers	12 - 20 GPa

Fyzikálne	
Teplota tavenia	2000 - 2090 °C
Teplotný súčiniteľ rozťažnosti	7 - 8.10 ⁻⁶ .K ⁻¹
Max. prevádzková teplota	1750 °C
Disociačná teplota	-
Teplná vodivosť	26-39 W/m.K
Merný odpor	>10 ¹⁴ Ω.cm
Merné teplo	880 J/kg.K

Obrázok 7.: Mechanické a fyzikálne vlastnosti Al₂O₃. [16]

2.2.1. Vlastnosti Al₂O₃ zamerané na priemysel

Oxid hlinitý sa vyznačuje výnimočnými vlastnosťami a tvorí najpodstatnejšiu časť oxidov keramických materiálov. Tvorí stavebný kameň pre mnoho odvetví priemyslu. Vykazuje vysokú teplotu topenia (2072 °C) [18] a varu 2977 °C. Medzi ďalšie fyzikálne vlastnosti patrí špecifická záťaž, ktorá má hodnotu 4,0 pri 20 °C vzhľadom na vodu pri 4 °C. [19] Al₂O₃ vykazuje chemickú inertnosť a chemickú stálosť. Na základe rozmanitosti vlastností Al₂O₃ sa tento materiál na báze korundu dá využívať v rôznych oblastiach (tab. 1). [15]

Tabuľka 1.: Obory použitia korundovej keramiky. ^[15]

Vlastnosť	Oblasť použitia
Odolnosť voči oteru	Prievleky pre ťahanie drátov, Vodiče vlákien
Tvrdosť, húževnatosť	Brúsne prostriedky, Rezná keramika
Korózna stálosť	Časti pre čerpadlá kyselín a lúhov, Tégliky/gule pre guľové mlyny, Rezné nástroje, Sodíkové výbojky
Žiaruvzdornosť	Taviace kelímky, Ochranné púzdra pre termočlánky
Veľký elektrický odpor	Izolátory (zapaľovacie sviečky), Tenké doštičky pre integrované obvody
Znášanlivosť so živým tkanivom	Materiály pre endoprotézy

Pevnosť, tvrdosť a vysoká mechanická odolnosť voči oderom korundu patrí medzi najvyššie medzi oxidmi. Práve týchto vlastností sa využíva pri výrobe súčiastok a nástrojov, ktoré sú podrobené vysokým tlakom a každodennému používaniu. Oxid hlinitý mimo iného vykazuje tiež vysoký elektrický odpor, čo sa využíva v elektronickom priemysle a práve vďaka tejto vlastnosti sa dá oxid hlinitý používať aj v intaktnej forme. Ďalej spolu s titánom, či chrómom vytvára vzácne kamene, drahokamy, ako sú safír alebo rubín, čo sa s obľubou využíva nielen v klenotníctve, ale aj v laserových technológiách. Okrem iného, o využití oxidu hlinitého pre rôzne aplikácie rozhoduje aj forma v akej sa Al_2O_3 nachádza (tab. 2).^[20]

Tabuľka 2.: Využitie Al₂O₃ v rôznych formách. ^[20]

Monokryštalický Al₂O₃	Práškový Al₂O₃	Tenké vrstvy Al₂O₃	Vlákná z Al₂O₃	Al₂O₃ ako zložka
Katalyzátory, Izolátory, Zložky pecí, Drahokamy, Nástroje na rezanie, Ložiská, Sviečky do zapalovania, Lasery.	Katalyzátorové pelety, Brúsivo.	Ochranné vrstvy hliníka a jeho zliatin, Biokeramika, Kondenzátory, Tranzistory.	Ochrana proti požiaru, Izolátory tepla.	Zložky porcelánu, Sklá, Veľmi odolné sklá, Keramika, Izolátory.

2.2.2. Vlastnosti dôležité pre využitie v medicínnych aplikáciách

Na vlastnosti Al₂O₃, ktoré súvisia s jeho použitím v medicínnych materiáloch sa môžeme pozeráť z niekoľkých hľadísk.

Prvým hľadiskom je biologická aktivita, ktorá zahŕňa: alternatívu pripojenia zapuzdreného tkaniva, škodlivosť a iné účinky na telo. Bolo dokázané, že keramické materiály tvorené práve korundom sú biologicky stále, čiže biologicky inertné na pôsobenie s ľudskými tkanivami, dobre odolávajú opotrebovaniu, sú pevné a mechanicky odolné.

Druhým hľadiskom je takzvaná vysoká biologická zlučiteľnosť, ktorá je známa ako ochranná vrstvička vytvorená hlavne vlastnosťou akou je zmáčateľnosť povrchu oxidu hlinitého. Túto ochrannú vrstvičku tvorí hydratovaná vrstva, ktorá sa vytvorí na povrchu a je schopná pohltiť práve na svojej vrchnej strane vodu.

Ďalším hľadiskom, ktorý sa musí pri použití v medicíne zohľadňovať je čistota látok. Tento aspekt spôsobuje v technologickej výrobe korundových materiálov značné nepríjemnosti, pretože vstupný materiál pre výrobu korundovej keramiky má problematickú čistotu. ^[21]

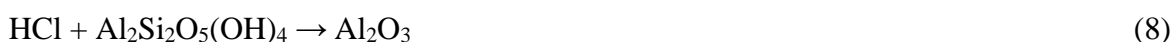
2.3. Výroba Al₂O₃

α -Al₂O₃, teda korund je najčastejšie pripravený buď dehydratáciou hydratovaných oxidov hlinitých pri veľmi vysokých teplotách až 1000 °C alebo horením Al v kyslíku. Ďalšie uvedené syntézy Al₂O₃ sú využiteľné iba pre laboratórnu prax.

Prvá výroba Al₂O₃, vychádza z hydroxidu hlinitého, má najvyšší výťažok, a to 97 %. Je jedнокroková (7). Po 2 h ohrevu spolu s 27 % roztokom hydroxidu sodného vzniká Al₂O₃. Spolu s ním ako vedľajšia látka vzniká Na₂O. [22]



Pri druhej príprave (8), reagujú ako reaktanty metakaolin a HCl v kvapalnej forme. Vzniká oxid hlinitý, ktorého výťažok je 88 %. [23]



Tretia príprava (9) oxidu hlinitého vychádza z dusičnanu hlinitého a hydroxidu amonného vo vodnom prostredí. [24]



2.3.1. Bayerov proces:

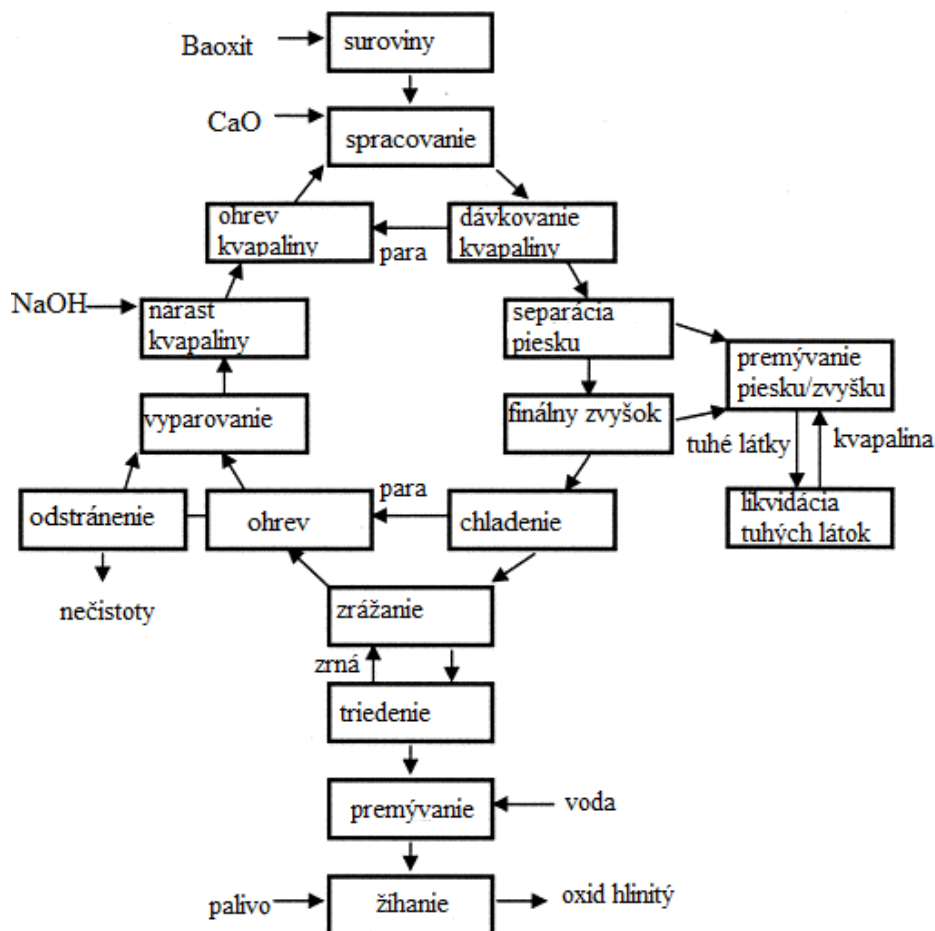
Bol vyvinutý v roku 1888 Jozefom Bayerom, po ktorom je aj pomenovaný. Jozef Bayer následne tento proces patentoval. Dá sa s určitosťou povedať, že práve spomínaný Bayerov proces položil základné kamene k priemyselnému spracovaniu oxidu hlinitého a následne hliníka. Tento proces je postavený na spracovávaní bauxitu, ktorý sa najskôr nadrví a následne podrobí reakcii s koncentrovaným hydroxidom sodným, ktorý je žieravý. Celý tento mechanizmus prebieha pôsobením vysokých teplôt do 250 °C. Vďaka týmto skoro extrémnym podmienkam dochádza k roztopeniu častí rudy, ktorá obsahuje hliník. (10) Množstvo z rudy, ktoré nepodľahlo rozpusteniu sa nazýva takzvané červené bahno alebo v priemysle, rafinácie oxidu hlinitého. Táto časť spracovania je zložená najmä z: oxidov železa, kremeňa, hlinitokremičitanov sodných, uhličitanu vápenatého a hlinitanu vápenatého a oxidu titaničitého, ktorý sa tu nachádza v stopových množstvách a k jeho odstráneniu pristupujeme jednoducho usadením a následnou filtráciou. Po separácii pevnej fázy od kvapalnej celý roztok

vystavíme chladeniu (11) a dôjde k vyzrážaniu hydroxidu hlinitého. Následne dochádza pomocou vyšších teplôt k vyžihaniu a získaniu oxidu hlinitého (12).



Ďalej sa Bayerov proces vyznačuje tým, že je zacyklený (obr.8), to znamená, že každá organická časť, ktorá do tohto procesu vstupuje sa kumuluje práve s každým cyklom procesu. V tomto momente dochádza k ustáleniu rovnováhy vďaka procesným vstupným a výstupným prúdmi. [25]

Obrázok 8.: Bayerov proces. [25]



3. Vývoj Al₂O₃ pre použitie v medicínálnych materiáloch

3.1. História

V minulosti bol v lekárstve ale najmä v stomatológii ako jediný keramický materiál veľmi preferovaný porcelán, ktorý mal veľmi logické použitie s ohľadom na vlastnosti, a to hlavne na pozitívne kozmetické. Nanešťastie sa s postupom času ukázalo, že parametre zo zameraním na chemicko-fyzikálne vlastnosti ako sú najmä tvrdosť a odolnosť sú nedostačujúce a nespĺňajú požiadavky dnešnej doby. Preto sa z porcelánu upustilo a bol nahradený keramickým materiálom na základe oxidu hlinitého a polykryštálmi korundu. Tie sú z hľadiska použitia v implantátoch rozumnejšie, už z dôvodu vyššie spomínanej odolnosti a taktiež omnoho vyššieho chemického zaťaženia. ^[21] Korund, teda oxid hlinitý je keramický materiál, ktorý je historicky najstaršou syntetickou hmotou používanou v lekárstve. Jednalo sa o rôzne zmesi, kde tvoril korund významnú časť. Samostatný Al₂O₃ sa začal používať až neskôr. Popularita keramiky a teda aj oxidu hlinitého pretrvala až do dnešných čias. ^[26]

3.2. Súčasnosť

Keramika na báze korundu o zložení v akom sa dnes aplikuje do tela pacienta je používaná od začiatku 70. rokov 20. storočia. Keramika je materiál, ktorý obsahuje 85 % Al₂O₃. ^[27] Patrí medzi základné keramické substancie v súčasnej klinickej aplikácii. ^[28] Dnes práve medicína je hlavné odvetvie pre najprogressívnejšie použitie keramiky. V súčasnosti keramické materiály významne obohacujú eventuality, ktoré sa dajú použiť pre nové, moderné liečenie pacientov, a to hlavne v odvetviach pre choroby ortopedické, dentálne a maxilofaciálne komplikácie. V súčasnej dobe predstavuje obrovskú výzvu pre celú vedeckú obec, ktorá sa zaoberá daným odvetvím vývoj a výskum syntetickej kosti. Tento vedecký pokrok so sebou nesie množstvo nových alternatív ako je použitie keramických materiálov v kompenzačnej a renovačnej chirurgii, neurochirurgii a zubnom lekárstve. ^[21] Čo je zapríčinené veľmi vhodnými chemickými vlastnosťami ako sú: chemická inercia, biotická zlučiteľnosť, vysoká odolnosť voči hrdzavosti a odreniu, odolnosť voči vysokému tlaku a vysoká tvrdosť. Samozrejme musí keramika ako aj iný medicínálny materiál spĺňať požiadavky pre vysokú chemickú čistotu a musí mať výdrž v tele pacienta desiatky rokov. Vďaka týmto veľmi pozitívnym vlastnostiam môže mať keramika a teda aj korund veľmi širokú oblasť použitia práve v medicínálnych aplikáciách. Tieto medicínálne materiály zahŕňajú aplikáciu internú aj externú vzhľadom na telo pacienta. Ďalej sa dajú použiť rôzne, ako súčasť lekárskeho zariadenia, nástrojov ale aj ako liečivá a podpora liečby. ^[21,28]

4. Aplikácia Al₂O₃ v medicínálnych materiáloch

4.1. Zubná medicína

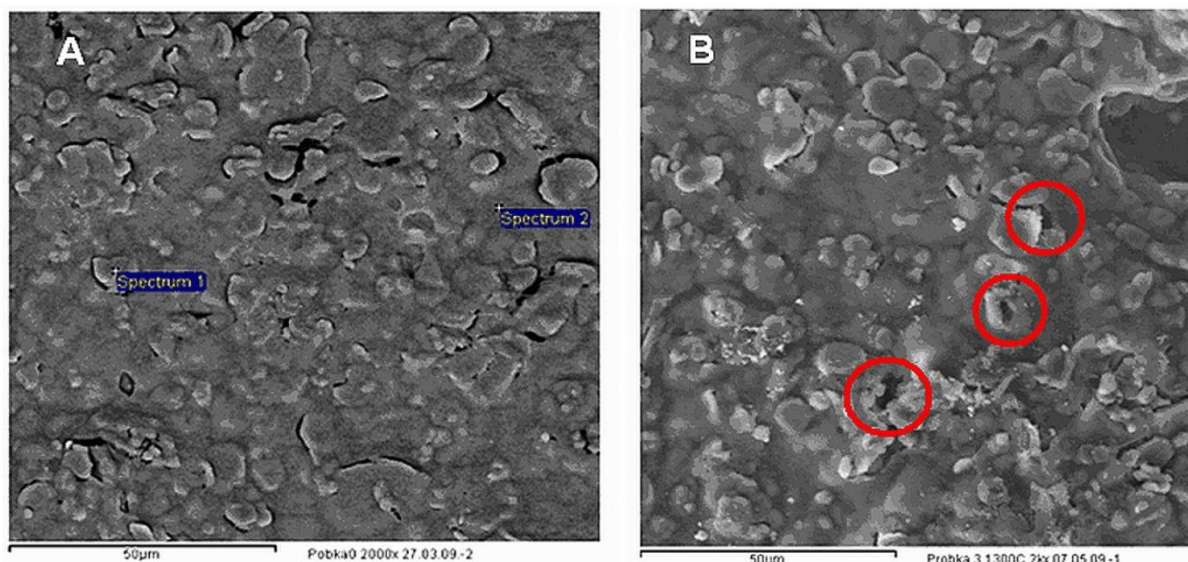
4.1.1. Implantáty

Na implantáty sa v novodobých výskumoch mimo iného kladie dôraz na elektrické vlastnosti. Tie sa prejavujú pri styku implantátu a tkaniva. A zároveň aj na elektrokinetický potenciál, u ktorého boli pozorované zmeny spôsobované rôznymi úpravami vonkajšieho vzhľadu implantátu. Hlavným kritériom pri tomto vývoji bolo zvýšiť odolnosť implantátu voči bakteriálnym infekciám k tomu sa využívalo kovových koloidov, ktoré sa rôznymi chemickými alebo fyzikálnymi metódami aplikovali práve na povrch implantátu.

Využitie takto upravených implantátov je široké. Okrem zubného lekárstva sa tieto implantáty využijú aj na rany spôsobené arteriosklerotickým skeletom, na liečenie chronických a bakteriálnych zápalov, ako aj na chirurgickú rekonštrukciu kostry. Z biologického hľadiska je dôležité, aby proti implantátu nepôsobil imunitný systém, to znamená, že musí ísť o takú chemickú štruktúru, ktorá dokáže simulovať živočíšne tkanivo a zároveň potlačiť funkciu imunitného systému, aby nedošlo k negatívnej odpovede organizmu.

Významnú úlohu v minulosti ako antiseptikum hralo striebro a jeho chemické modifikácie, kde mieru jeho antibakteriálnych účinkov určuje jeho chemická štruktúra. V súčasnosti je jeho použitie obmedzené. Dnes hlavnú pozornosť, čo sa týka vlastností, ale aj použitia na seba preberajú implantáty vyrobené z korundu.

Korundové implantáty majú výbornú biomechanickú kompatibilitu s kosťou. Tejto skutočnosti je využívané v chirurgii kostí. Konkrétne sú implantáty tvorené korundom využívané ako antibiotický nosič. Moderný výskum dokázal spojiť antiseptický charakter koloidného striebra a keramických materiálov. Došlo k modifikácií povrchu korundových implantátov koloidným striebrom, ktorý vznikol metódou explózie strieborného drôtu, čím sa dokázal zvýšiť bakteriostatický charakter korundových implantátov. Do výskumu boli vyselektované implantáty s minimálnou pórovitosťou korundu a keramiky (Obrázok 9.).^[27]



Obrázok 9.: Názorná ukážka vrchnej vrstvy korundového implantátu, SEM časť A: korundová keramika, časť B: korundová keramika po úprave povrchu koloidným roztokom striebra-červené kruhy označujú miesta pôsobenia strieborných zhlukov molekúl. [27]

Po tejto korekcii boli vzorky implantátov vložené do tela pokusným zvieratám, a to králikom a potkanom Wistar. Výskum v živých organizmoch objavil, že implantáty so strieborným povrchom nevykazujú patologickú otravu v blízkosti živočíšnych tkanív a kostí. Napriek tomu pri širšom použití daných implantátov bude musieť, byť zohľadnená interakcia implantátu nielen na živočíšnu kosť a tkanivo, ale aj pôsobenie na kvapaliny v tele. [29]

4.1.2. Zubné protézy

Zubné protézy z keramického materiálu na báze oxidu hlinitého patria medzi takzvané multi-jednotkové protézy. Do tejto skupiny zaraďujeme predné troj-jednotkové zubné náhrady tvorené sklom infiltrovaným oxidom hlinitým. Tieto náhrady na základe korundu boli preskúmané z niekoľkých hľadísk.

Vždy bola sledovaná výdrž tohto druhu protéz. Táto výdrž, teda živostnosť takýchto protéz vyšla ako suma pozorovaní. V každom výskume boli sledované tri hľadiská: samotný vzhľad umelého zubu a životnosť zubnej protézy po piatich a desiatich rokoch. Výsledky štúdií sa javia viac než uspokojivé. So samotným vzhľadom umelého zubu bolo spokojných 62 % pacientov. Miera životnosti teda prežitia náhradnej protézy bola 93 % po piatich rokoch a 83 % po desiatich rokoch. Čo znamená, že posun v protézách vyrobených na báze korundu, teda Al_2O_3 je veľmi významný. Splňa najvyššie požiadavky pacientov a zároveň aj lekárov.

Pre aplikáciu dentálnych náhrad do ústnej dutiny je dôležité neustále zvyšovať mieru životnosti týchto protéz. Jednou z metód, do ktorej sa vkladali pomerne veľké nádeje vzhľadom na jej úspešnosť pri použitíach sklo-keramických koruniek bolo leptanie a lepenie živicovým cementom. Nanešťastie, pri použití tohto postupu v protézach na báze Al_2O_3 , sa vytvorili len veľmi slabé väzby, pretože hrubosť, ktorá sa leptaním a lepením vykázala, bola nevyhovujúca. V súčasnosti metóda leptania a lepenia živicovým cementom je univerzálna. Dá sa použiť vo všeobecnosti so všetkými druhmi keramických materiálov, pretože živicový cement obsahuje špecifické molekuly slúžiace na priľnavosť. Trvanlivosť tohto chemického spojenia medzi živicovým cementom a spodnou časťou protézy z keramického materiálu, nie je úplne preukázateľná a ani na trvalo doriešená. Je potrebné ďalšie testovanie. ^[30] Medzi čiastočné zubné protézy zaraďujeme aj zubné korunky. Čiastočné preto, pretože nenahrádzajú celý chrup ale iba jeden samostatný zub-konkrétne časť zuby, ktorá sa nazýva korunka. Korunka je viditeľná časť zuby, teda tá časť, ktorou mechanicky spracovávajú potravu v ústach alebo, ktorú vidíme pri úsmeve. U zdravého jedinca je zubná korunka pokrytá a teda chránená zubnou sklovinou. V prípadoch, v ktorých je zubná korunka poškodená, napríklad pri úraze alebo zubným kazom veľkých rozmerov ju musíme nahradiť syntetickou náhradou (viz obrázok č. 10). ^[31]



Obrázok 10.: Výmena poškodenej naturálnej korunky syntetickou. ^[31]

V súčasnej dobe pacienti kladú vysoké nároky na estetický vzhľad umelého chrupu, zuby alebo korunky. Túto podmienku výborne spĺňajú náhrady tvorené korundom. Čiže korund sa stal výbornou voľbou aj pre vytvorenie umelej korunky. Ich využitie je v prednej ale aj zadnej oblasti ústnej dutiny. Okrem vzhľadu, má vysokú biokompatibilitu so zubným tkanivom

a tiež zlepšené fyzikálne vlastnosti. Nevýhodou koruniek na základe korundu je že tento materiál je neodolný a jemný, keď sa nachádza pod ťahovým a torzným napätím. Dôležitým aspektom je aj vysoký mechanický tlak pri spracovaní potravy. Ako aj pri umelých zubných protézach vyrobených na báze Al_2O_3 sa tu využíva metódy leptania a lepenia živicovým cementom, ktorá fixuje zubnú náhradu na mieste určenia, zvyšuje odolnosť proti zlomeniu výplní a oporného zubu a súčasne zabraňuje nadmernej citlivosti zubu po zákroku, čo je veľmi dôležité aj pri použití koruniek tvorených korundom. Nanešťastie, sú dôkazy, že lepidlá cementácia nie vždy dosahuje perspektívny klinický úspech korundovej zadnej korunky. Už vykonané štúdie zatiaľ neporovnali ani vplyv chemických činidiel na vlastnosti takýchto koruniek. Pri použití tejto metódy v korunkách musíme zohľadniť tri aspekty (2 rozhrania a 1 medzivrstva):

- 1.) rozhranie zub-cement,
- 2.) keramicko-cementové spojenie,
- 3.) samostatná cementová vrstva.

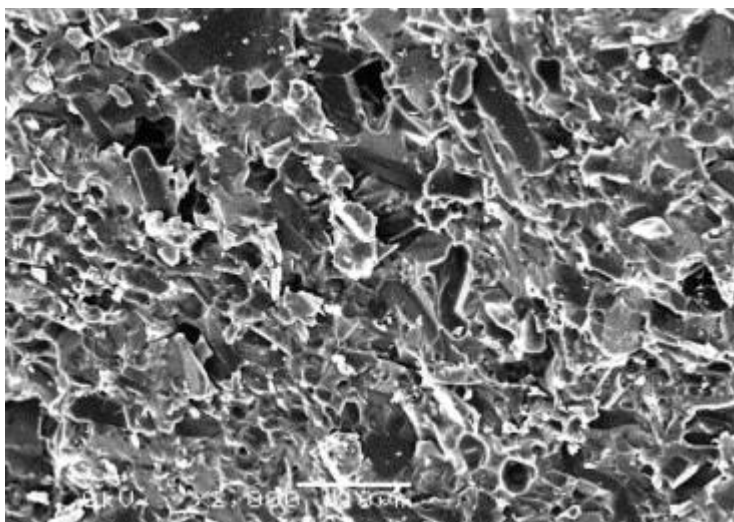
Živicový cement je vlastnosťami veľmi podobný dentínu a zubnej sklovine. Vo výskume boli použité tri typy cementu:

- a) Super-bond C&B
- b) Panavia F
- c) Rely X Unicem

Tabuľka 3.: Typy živcových cementov. [32]

Skupina	Cement	Hlavná zložka	Keramický náter	Výrobca
SB	Super-bond C&B	Živica 4-META/MMB TBB, dlhé ohybné reťaze s vysokou molekulovou hmotnosťou	Porcelánová vložka M	Sun Medical, Shiga, Japan
PV	Panavia F	Anorganické plnivo tvorené jemným sklom a oxidom kremičitým (78%), dimethylakryláty KF, iniciátor	Clearfil SE Bond, aktivátor porcelánu	Kuraray Medical, Tokyo, Japan
RX	Rely X Unicem	Anorganické plnidlo tvorené jemným sklom a oxidom kremičitým (72%), dimetakryláty KF, metakrylátový ester kyseliny fosforečnej	Rely X keramický náter	3M ESPE, Seefeld, Germany

Vo výskumoch sa vyhodnocovala téza, že pevnosť lomu je rovnaká pre všetky cementy s umelým zaťažením a bez neho. Testovaním bolo dokázané, že to nie je pravda. Pevnosť lomu v korunkách, ktoré sú cementované živcovým cementom je ovplyvnená na základe použitia druhu cementu a cyklickým termomechanickým zaťažením.

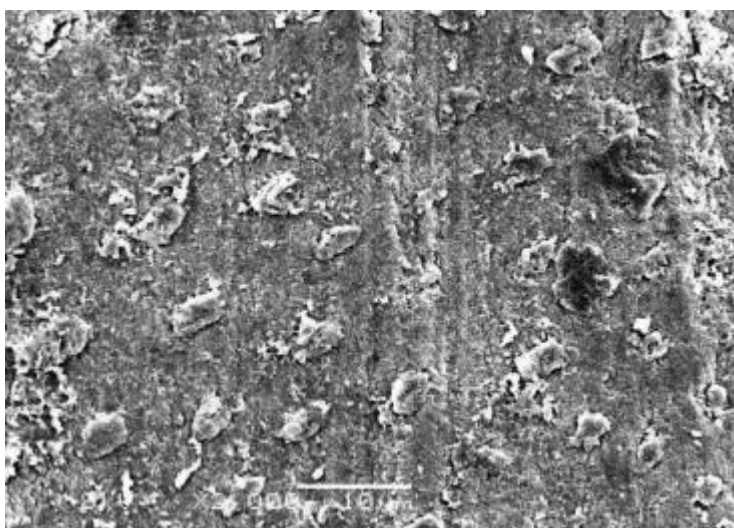


Obrázok 11.: Zlomenina vrchnej časti skupiny SB s únavovým zaťažením, snímka naskenovaná zo SEM (pôvodné zväčšenie x 2000). V tomto type cementu došlo k poškodeniu iba na strane cementu, pričom povrch zlomeniny bol drsný. ^[32]

Pri cemente typu SB nie je možné zmerať tlakové a priemerné pevnosti v ťahu, pretože vykazuje nízky modul pružnosti. Skupina SB taktiež vykazovala najvyššie hodnoty pevnosti lomu bez únavového zaťaženia. Avšak tento rozdiel oproti ostatným dvom druhom cementu nebol veľký, a teda ani rozhodujúci.



Obrázok 12.: Zlomenina vrchnej časti skupiny PV s únavovým zaťažením, snímka naskenovaná z SEM (pôvodné zväčšenie x 2000). Táto zlomenina sa vytvorila medzi dentínom a živicovým cementom. Vrchná časť zlomeniny bola majoritne hladká. [32]



Obrázok 13.: Zlomenina vrchnej časti skupiny RX s únavovým zaťažením, snímka naskenovaná zo SEM (pôvodné zväčšenie x 2000). Zlomenina bola vytvorená medzi hybridnou vrstvou a živicovým cementom, pričom vrchná časť je väčšinou hladká. [32]

Cementy RX a PV sa vyznačujú vysokou odolnosťou v tlaku a priemernou pevnosťou v ťahu.

Všetky tri typy cementov nepodliehajú fyziologickým okluzívnym silám, a tak zvyšujú mieru prežitia v korunkách vyrobených z korundového materiálu. Nanešťastie, táto štúdia prebiehala in vitro. To znamená, že v klinickej praxi nebude porovnanie štúdie úplne odpovedať reálnym situáciám. ^[32]

4.2. Očná medicína

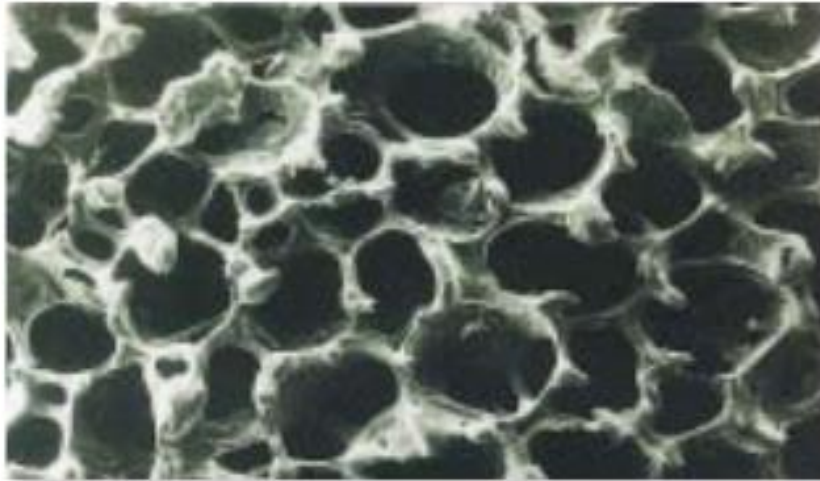
4.2.1. Porézny orbitálny implantát

Biokeramický orbitálny implantát (viz. obrázok 14. a 15.) vyrobený z oxidu hlinitého predstavuje novú generáciu poréznych implantátov. Obsahuje systém veľmi pravidelných pórov. Po stránke štruktúrálnej je silný a odolný, nezahŕňa v sebe kontamináty. Zosilnenie implantátu až do stredu prebieha do štyroch týždňov po implantácii. ^[33] Vyznačuje sa veľmi dobrými vlastnosťami a má tiež lepšiu biokompatibilitu. Nie je rozpustný v telesných tekutinách, takže neuvolňuje zložky do telesného obehu. Vďaka proteínovému povlaku, ktorý sa vytvorí na povrchu hneď po vložení implantátu do tela zabraňuje, aby implantát bol rozpoznávaný ako cudzie teleso, a teda nemôže, byť napadnutý vlastným imunitným systémom.

Tento porézny orbitálny implantát sa používa v očnom lekárstve. Používa sa ako náhrada v očnej objímke po enukleácii a vypitvaní. Na rozdiel od iných obdobných implantátov jeho výroba je ekologickejšia a lacnejšia. Má okrúhly tvar a viaceré otvory. Po vložení do očnej objímky sa do neho rozrastie tkanivo a implantát sa neskôr dá zavádzať. Po chirurgickom vložení implantátu do tkaniva pacienta neboli vykázané tak závažné pooperačné komplikácie ako u iných typov implantátov. Vloženie implantátu do tela pacienta, ale nie je vôbec jednoduché. Najskôr sa odstráni oko a svaly sú izolované. Potom je implantát zabalený buď do očného bielka darcu, do darcovej fascie alebo absorbčnej siete. Svaly sú zavesené na takto upravený implantát a tkanivo je potom šité. ^[34]



Obrázok 14.: Biokeramický orbitálny implantát tvorený Al₂O₃. ^[34]



Obrázok 15.: Biokeramický implantát vyrobený z Al₂O₃, pohľad zo SEM. ^[34]

4.3. Ortopedická medicína-endoprotézy

4.3.1. Rozdelenie endoprotéz

Medzi najčastejšie ortopedické operácie zaraďujeme implantáciu endoprotéz. Tento druh operácie patrí do oboru Aloplastika. Endoprotézy delíme na totálne a čiastočné. Totálne endoprotézy nahradzujú obe dotykové časti kĺbu. Čiastočné endoprotézy nahradzujú povrch iba jeden. Endoprotézy môžeme rozdeliť aj podľa spôsobu fixácie na cementované a necementované. Cementované endoprotézy sú používané dlhšie a narozdiel od necementovaných endoprotéz sú upevnené pomocou kostného cementu, zatiaľ čo

necementované endoprotézy sú fixované rovno ku kosti. Cementované endoprotézy sa tiež líšia od necementovaných endoprotéz dobou prvého zaťaženia, ktorá v ich prípade začína od druhého pooperačného týždňa, záťaž necementovaných endoprotéz prebieha až počas prvých troch mesiacov po operácií. ^[35] Na endoprotézy sú kladené určité požiadavky, ktoré vychádzajú z toho, že pri implantácii endoprotéz dochádza k výmene prírodného kĺbu za kĺb umelý. Táto výmena má za dôsledok, že dochádza k narušeniu niektorých nitrokĺbných relácií. Tým pádom tieto požiadavky na umelý kĺb zabezpečujú, aby dané narušenie neprekročilo rámec biochemickej a biologickej únosnosti. Súčasne je nutné prihliadať k tomu že do prostredia živých tkanív je implantovaný „cudzí“, z hľadiska biologického mŕtvý materiál. Biologické požiadavky na endoprotézy je možné zhrnúť do niekoľkých základných skupín. Prvou skupinou sú požiadavky tvarové, ktoré zahŕňajú vyplnenie priestoru v mäkkých tkanivách a rozloženie tlakovej sily na kontaktných plochách komponent endoprotéz. Ďalšou skupinou sú požiadavky z hľadiska statického namáhania. Tieto požiadavky zahŕňajú pevnosť a pružnosť. Poslednou skupinou sú požiadavky z hľadiska dynamického namáhania. Tie zahŕňajú únavovú pevnosť a odolnosť voči oderu. ^[36]

4.3.2. Gul'ové hlavy

Gul'ové hlavy (viz. obrázok 16.) tvoria súčasť náhrady bedrovej endoprotézy. Náhrada bedrového kĺbu patrí dnes k najrozšírenejším. Ročne je v Českej republike implantovaných viac ako 10 000 totálnych endoprotéz. Keďže je bedrový kĺb veľmi dôležitý a zaťažovaný kĺb v ľudskom tele, je na neho upieraná väčšia pozornosť a jeho vývoj išiel oproti ostatným náhradám rýchlejšie dopredu. Totálnu endoprotézu bedrového kĺbu vyrábajú skoro všetci výrobcovia zaoberajúci sa endoprotézami, a preto je tu veľká škála implantátov. ^[37] Jedná sa o náhradu krčku hlavice vrátane acetabuly. Tieto ortopedické pomôcky sa vyznačujú najnižšou mierou opotrebenia. Vykazujú vynikajúcu biologickú kompatibilitu pevného materiálu a častíc a majú vysokú stabilitu in vivo. Ďalej sa vyznačujú tvrdosťou materiálu, ktorá je priam diamantová. To znamená, že spĺňajú najvyššie požiadavky na vysokú odolnosť voči opotrebovaniu a v tele pacienta sú schopné vydržať desiatky rokov. Všetky tieto pozitívne vlastnosti tohto keramického materiálu vychádzajú z predpokladu, že tieto gul'ové hlavy sú vyrábané z korundu, teda Al_2O_3 . ^[38] Gul'ové hlavy sa využívajú v medicíne ako implantáty bedrového kĺbu. Výstelka pohára zaisťuje maximálne mazacie a kĺzacie vlastnosti a minimálne opotrebovanie a vynikajúcu funkčnosť. S týmito kĺzacími vlastnosťami je spojená hladkosť povrchu, ktorá je vytvorená precízne vykonaným finálnym leštením. Extrémne stabilná keramická väzba prakticky vylučuje akúkoľvek možnosť plastickej deforáciemácie.

Materiál veľmi dobre odoláva mechanickému namáhaniu bez zlomeniny a nábehu na praskanie. Práve na tento aspekt odolávania zlomeniu a praskaniu má hlavný efekt výrazná tvrdosť stavebného materiálu, teda Al_2O_3 . Vynikajúce vlastnosti materiálu umožňujú geometriu komponentov, ktoré neboli možné s predchádzajúcou keramikou. Podložky s tenšou hrúbkou steny sú stále schopné ponúkať vyššiu stabilitu a bezpečnosť, pretože dovoľujú užitie keramických ložísk s keramikou vo väčších priemeroch. V súčasnosti sa stále viac kladie dôraz na používanie keramiky aj v iných oblastiach ako je bedrový kĺb. Dnes sa už táto keramika zavádza aj do ramennej artroplastiky, čím sa rozširuje klinická aplikácia použitia týchto materiálov. Avšak, do budúcnosti sa uvažuje o aplikáciach, ktoré budú zamerané na použitie ako je chrbtica, malé kĺby a zubné výrobky. Tieto možné aplikácie sú však predmetom neustáleho bádania, výskumu a ďalšieho vývoja. [39]



Obrázok 16.: BIOLOX® delta Gul'ové hlavice-endoprotézy bedrového kĺbu, tzv. rúžová keramika. [38]

4.3.3. Keramické vložky

Keramické vložky patria medzi súčasť endoprotéz bedrového kĺbu. Sú vyrobené z korundovej keramiky. Vykazujú najnižšiu mieru opotrebenia in vitro a in vivo. Vďaka svojej veľkosti, tvaru a chemickému zloženiu udržiavajú svoje biologické reakcie čo najnižšie. Výrazne nižší osteolytický potenciál keramických výrobkov na opotrebenie znamená klinickú výhodu pre keramické opotrebenie párov. Výsledky sú vynikajúce a boli podrobne dokázané počas dlhého obdobia. Tieto ortopedické vložky majú rovnaké vlastnosti akými sa vyznačujú gul'ové hlavy. Za dané vlastnosti môže materiál, z ktorého sú keramické vložky vyrobené. Okrem iného

vykazujú významnú pevnosť, odolnosť a biokompatibilitu. Vložky z tohoto keramického materiálu delíme na: ^[40]

a) Monoblokové keramické vložky:

Monoblokové keramické vložky (viz. obrázok 17.) sú endoprotézy vyrobené z jedného kusu ^[27] a patria medzi najmodernejšie materiály, vďaka ktorým môžeme optimalizovať priemerný pomer medzi keramickou hlavou a acetabulou. Tento fakt umožňuje liečbu aj malých acetabulí s pomerne veľkými keramickými hlavami. Tým pádom dochádza k zvýšenému rozsahu pohybu a zlepšeniu stability. Toto bolo doteraz možné iba vďaka kovovým párom. Extra postup sa používa na stlačenie keramickej vložky s monoblokovým pohárom do kovového acetabulárneho plášťa, tým sa zabráni komplikáciám pri operatívnom vložení keramickej vložky. ^[41]



Obrázok 17.: Monoblokové keramické vložky. ^[41]

b) Modulové keramické vložky:

Modulové keramické vložky (viz. obrázok 18.) ich driek je zložený z viacerých častí, kedy hlavica je nasadená na kričke drieku. Najčastejšie sa jedná o Morseho kužel. ^[27] Táto konštrukcia slúži na dlhodobú fixáciu vložky v kovovom acetabulárnom plášti. Daná fixácia je umožnená pomocou kuželovej fixácie keramických vložiek priamo do kovovej acetabulárnej štruktúry. Výhodou je, že výber uhla umožňuje chirurgovi uvoľniť fixáciu vložky z keramického materiálu, čo umožňuje uľahčenie daného chirurgického zákroku. ^[42]



Obrázok 18.: Modulové keramické vložky. ^[42]

4.3.4. Komponenty kolenného kĺbu

Kolenný kĺb sa zaraďuje medzi najzložitejšie kĺby ľudského tela. Je to nosný kĺb dolnej končatiny. Koleno umožňuje tri rotačné a tri translačné pohyby, pričom základným pohybom je rotácia. Tento pohyb je kombináciou valivého a kĺzavého pohybu. Je druhou najčastejšou totálnou implantáciou. ^[43] V súčasnosti sa počet operácií nahradenia kolenného kĺbu vykonávaných každý rok neustále zvyšuje. Vzhľadom na rýchly vývoj medicíny a medicínálnych prípravkov a zariadení sa očakávaná dĺžka života svetovej populácie neustále zvyšuje. Dnes je vyššia ako kedykoľvek predtým, preto sa zvýšila aj požiadavka väčšej mobility a zlepšenia kvality života po výmene kolena. Výskyt náhrady kolena u mladých a aktívnych pacientov sa tiež zvyšuje, a preto musia byť náhradné kolena schopné ponúknuť dlhšiu životnosť implantátu. Okrem toho musíme vziať do úvahy nežiaduce aspekty po chirurgickom zákroku ako sú infekcie, opotrebovanie polyetylénu, uvoľňovanie implantátov a alergia na kov. Tieto aspekty patria medzi najväčšie problémy artroplastiky kolena. Aseptické uvoľňovanie je prevládajúcim mechanizmom zlyhania a revízie, nasleduje nestabilita, infekcia, opotrebenie polyetylénu, artrofibróza a nespavosť. ^[44]

Z tohto dôvodu je výber materiálu implantátu taký dôležitý, najmä pokiaľ ide o vlastnosti opotrebovania a biologické vlastnosti vybraných materiálov. Kolenné endoprotézy poskytujú obrovský pokrok v chirurgii na výmenu kolena. V celkovej artroplastike kolena keramika odhalila vynikajúce experimentálne údaje týkajúce sa nízkej miery opotrebovania, ako aj sľubných výsledkov prvej klinickej aplikácie. ^[45] Keramické implantáty vyrobené z korundu (Al_2O_3) sú sľubným riešením pre pacientov s alergiami na kovové implantáty. ^[46] Vysoko výkonná keramika je biokompatibilná a bioinertná. ^[47] Keramický materiál nevyvoláva žiadne známe alergické reakcie. Prípadové správy o náhradách bedrových a kolenných kĺbov

opísali významné zlepšenie symptómov a znížené hladiny iónov kovov pri revízii s použitím keramických zložiek na riešenie nežiaducich reakcií na zložky kovových implantátov. [48] Korundová keramika je extrémne stabilná a dobre znášaná tkanivami. [49] Z tohto dôvodu sa keramické komponenty používajú aj pri artropláze kolena. [46] Veľmi tvrdý a hladký povrch minimalizuje opotrebovanie polyetylénu. [47] Vedecké články naznačujú, že keramika, by mohla, byť lepšia, pokiaľ ide o dosiahnutie najmenších možných mier infekcie. [50] Tieto štúdie porovnávali keramiku s kovmi a polymérmí. Analýza založená na informáciách z rôznych nemocničných a národných registrov potvrdila potenciál keramiky na zníženie rizika revízie v dôsledku infekcie. [51] Je dôležité pochopiť, že kolenné implantáty (viz. obrázok 19.) bez kovu sa vyznačujú vynikajúcim biologickým správaním. Nevykazujú žiadne známe riziko alergií, nedochádza k uvoľneniu kovových iónov. Taktiež nie je známa žiadna patogénna reakcia na keramické častice a tým pádom je znížené riziko infekcie. Dochádza k nižšiemu opotrebovaniu, k vysokej odolnosti voči tvrdosti a poškrabaniu. Tieto všetky pozitívne vlastnosti dokazuje 5 úspešných rokov v klinickom použití. [52]



Obrázok 19.: Komponenty kolenného kĺbu. [52]

4.3.5. Členkový kĺb

V súčasnosti je endoprotéza členkového kĺbu v štádiu výskumu a vývoja. Medzi hlavné dôvody patrí zložitosť a námaha členkového kĺbu. Doposiaľ nebola vyrobená totálna endoprotéza, ktorá by bola svojimi výsledkami porovnateľná alebo lepšia ako artrodéza. Z týchto príčin sa v súčasnej liečbe využíva artrodéza, teda chirurgické znehybnenie kĺbu. [37]

4.3.6. Ramenné komponenty

Ramenný kĺb (viz. obrázok 20.) je menej často a menej výraznejšie postihnutý rôznymi degeneratívnymi procesmi než je tomu u kĺbov dolných končatín. Aj keď je tento kĺb dôležitý pre možnosť sebaobsluhy, býva vzhľadom k menšiemu zaťaženiu menšie obmedzenie hybnosti pacientom tolerované a tým nie je potreba tak skoršej implantácie endoprotézy ako v prípade nosných kĺbov. Je treťou najčastejšou endoprotézou. Endoprotéza je väčšinou implantovaná z dôvodu zlomeniny konca kosti paže, artritídy vyvolanej reumou alebo artrózy. ^[37] Keramika je vhodná aj v nových alternatívach ako je aplikácia v ramennom kĺbe. Vhodná je z rovnakých dôvodov ako predošlé aplikácie komponentov kĺbov, čo vychádza z vlastností výrobného materiálu Al_2O_3 . Hlavné je, že moderná vysokovýkonná keramika je biologicky kompatibilná a bioinertná a nevyvoláva žiadne negatívne alergické reakcie. S implantátmi na báze Al_2O_3 začína nová éra artroplastiky ramien. Nanešťastie, tieto ramenné implantáty sú pod neustálym výskumom a vývojom a zatiaľ nie sú schválené žiadnym orgánom. ^[53]



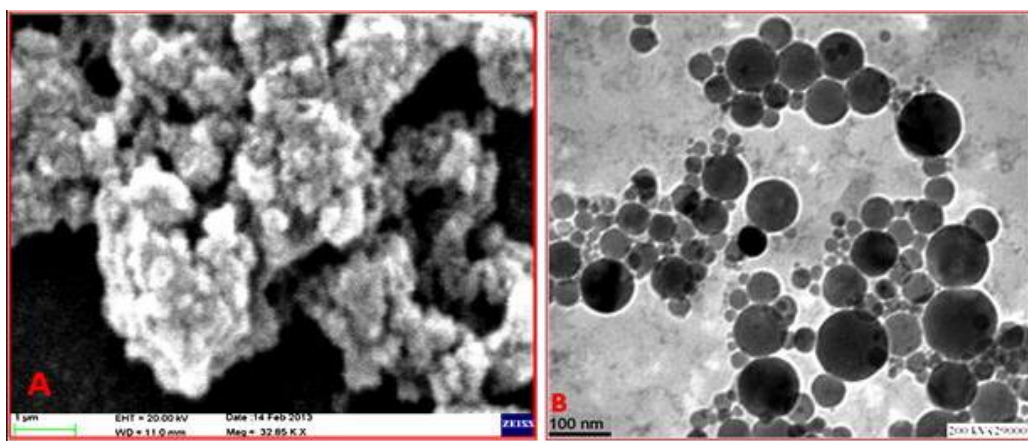
Obrázok 20.: Komponenty ramenného kĺbu. ^[53]

5. Al_2O_3 a jeho antibakteriálne účinky

5.1. Al_2O_3 ako baktericídne liečivá

Obrovská prevaha beta-laktamáz s rozšíreným spektrom a metallo beta-laktamáz medzi baktériami *Pseudomonas aeruginosa* sa stala kritickým problémom, ktorý predstavoval veľkú terapeutickú výzvu. Vzhľadom na objavenie nanočastíc ako antibiotík novej generácie a nedostačujúcej informovanosti o antibakteriálnej aktivite nanočastíc Al_2O_3 vedcov došli k vyšetreniu zelenej syntézy nanočastíc oxidu hlinitého ($\text{NP-Al}_2\text{O}_3$) použitím listových

extraktov citrónovej trávy a jej antibakteriálnej aktivity proti spektru beta-laktamáz klinických izolátorov PA z metallo beta-laktamáz. Syntetizované Al_2O_3 -NP boli charakterizované SEM, elektrónovou mikroskopiou s prenosom s vysokým rozlíšením, mikroskopiou atómovej sily, röntgenovou difrakciou, potenciálom Zeta a technikami rozdielneho rozptylu svetla. Došlo sa k zisteniam, že minimálna inhibičná koncentrácia Al_2O_3 -NP je v rozmedzí 1 600 až 3 200 $\mu\text{g} / \text{ml}$. To znamená, že liečba v koncentráciách $>2000 \mu\text{g} / \text{ml}$ vedie k úplnej inhibícii rastu β -laktamáz s rozšíreným spektrom a izolátov metallo- β -laktamáz. Analýza SEM (viz. obrázok 21.) odhalila zoskúpenia nanočastíc pripojených k povrchu bakteriálnych buniek, čo spôsobuje štrukturálne deformácie v ošetrovaných bunkách. Analýza prenosu elektrónovej mikroskopie s vysokým rozlíšením potvrdila, že nanočastice prešli cez bunkovú membránu, aby sa stali intracelulárnymi. Vzájomná reakcia nanočastíc s bunkovou membránou nakoniec spôsobila stratu integrity membrány, najpravdepodobnejšie v dôsledku intracelulárneho oxidačného stresu. Záznamy naznačujú, že syntetizované Al_2O_3 -NP môžu, byť použité ako účinné baktericidné činidlo proti β -laktamázam s rozšíreným spektrom, β -laktamázam s nerozšíreným spektrom a kmeňom PA z metallo β -laktamázy. Závěry objasnili klinický význam Al_2O_3 -NP pri vývoji účinného antibakteriálneho terapeutického režimu proti bakteriálnym infekciám odolným voči viacerým liečivám. Využitie výťažku z listov citrónovej trávy na syntézu Al_2O_3 -NP je ekonomicky efektívna, nevykazuje toxicitu, je ekologická a jeho silná antibakteriálna aktivita proti kmeňom PA odolným voči viacerým liečivám ponúka kompatibilitu pre farmaceutické a iné biomedicínske aplikácie. [54]



Obrázok 21.: A) SEM obraz Al_2O_3 -NP, B) zobrazuje HR-TEM obraz Al_2O_3 -NP [54]

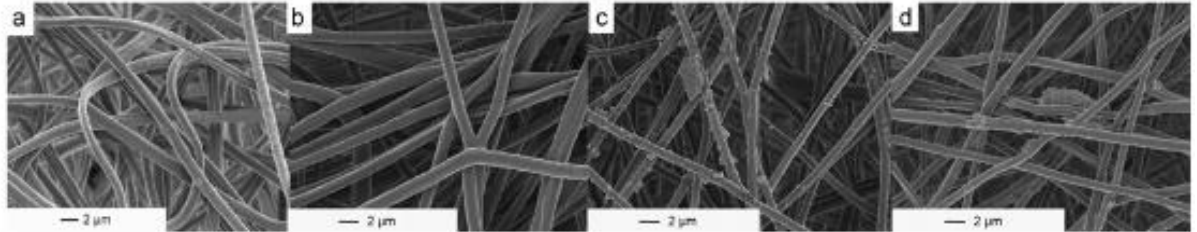
5.2. Sterilizačné, klimatizačné zariadenia, zariadenia operačných sálov, nemocničný nábytok

Navrhovanie komplexov operačných sálov je dôležitým faktorom, ktorý si kladie za hlavný cieľ priniesť prospech pacientovi. Tento faktor je zložený z niekoľkých hľadísk ako sú: bezpečnosť, pohodlie a hospodárnosť, ktoré usmerňujú plánovanie moderného komplexu operačných sálov, bez ohľadu na rozlohu, množstvo alebo špecializáciu. Komplex operačných sálov je zložený z niekoľkých zón:

- a) Ochranná zóna
- b) Čistá zóna
- c) Aseptická zóna
- d) Zóna zneškodňovania ^[55]

V poslednom desaťročí sa obrovská časť výskumu vlákien zameriavala na možné biomedicínske použitie týchto materiálov. Tieto vlákna sú vyrobené „electrospinningom“. Oblasť „electrospinningu“ na seba vzala obrovskú pozornosť, pokiaľ ide o výrobu bioinžinierskych materiálov. Tento mechanizmus výroby má veľkú dôležitosť pri výrobe vlákien. Hlavným dôvodom je, že umožňuje výrobu vlákien s priemerom od niekoľkých nanometrov do 1 mm. Takto vyrobené vlákna, môžeme aplikovať v rôznych oblastiach, ako je aerosolová filtrácia, dodávka liekov a génov a aj v iných ďalších. Mnoho biokompatibilných a biologicky resorbovateľných polymérov sa môže odstrediť vďaka procesu elektrostatického zvlákňovania. Avšak, negatívnym dopadom je, že mnohé zariadenia môžu často spôsobiť bakteriálne infekcie. To znamená, že proces infekcií predstavuje vážnu výzvu v procese tkanivového inžinierstva. Tento problém sa rieši inkorporáciou anorganických častíc. Je možné využiť rôzne anorganické látky ako napríklad hydroxyapatit alebo striebro. V súčasnosti vedci objavili nové použitie striebra, a to nanoprášok $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Ag}$ (viz. obrázok 22.), ktorý má schopnosť zabiť veľkú škálu kmeňov gram-pozitívnych a gram-negatívnych baktérií a kmeňov húb. Ďalšou výhodou tohoto komplexu oxidu hlinitého so striebrom nad antibiotikami je to, že mikroorganizmy sa nemôžu stať imúnne proti nanočasticiam, zatiaľ čo sú si schopné vytvárať imunitu proti antibiotikám. Nanoprášok $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Ag}$ je biokompatibilný a vykazuje dobré baktericídne a fungicídne vlastnosti. Tiež má významnú biologickú schopnosť, kostné väzby a nie je toxický. Zníženie rozmerov zrna zlepšilo jeho tvrdosť a odolnosť proti opotrebovaniu, a tým aj jeho pevnosť. Nanešťastie, väčšina z metód syntézy nanočastí oxidu hlinitého, ktoré sú

opísané v literatúre je obmedzená z hľadiska merania a vyhodnocovania. Ďalším problémom je proces zhlukovania molekúl, ktorý sa vyskytuje počas kalcinácie a vedie k tvorbe nežiaducich nečistôt. Avšak s prihliadnutím na vysokú biokompatibilitu a schopnosť rozložiť sa v priebehu časového obdobia bol tento komplex predmetom obrovského záujmu a stal sa široko užívaný v biomedicíne, napr. v tkanivových oporách a implantátoch. [56]



Obrázok 22.: Vzorové snímky zo SEM. A) čistý PLA, B) PLA s 5 % Al₂O₃, C) PLA s 25 % Al₂O₃, D) PLA s 50 % Al₂O₃. [56]

ZÁVER

Medicína ako vedný obor v súčasnosti zaznamenáva najväčší progres v celej svojej histórii. Tento progres je zapríčinený viacerými faktormi. Medzi hlavné faktory patria požiadavky, ktoré sú v dnešnej dobe kladené na medicínu zo strany pacientov a technický progres materiálov, ktoré sa využívajú v medicínálnych aplikáciách.

Návrh a výber biomateriálov závisí od zamýšľanej lekárskej aplikácie. Vývoj nových biomateriálov je interdisciplinárne úsilie a často si vyžaduje spoločné úsilie medzi vedcami, technickými inžiniermi, biomedicínskymi inžiniermi, patológmi a klinikmi. Aby bol implantát dlhší čas bez odmietnutia, mal by mať nasledujúce atribúty: dobré mechanické vlastnosti, vysokú biokompatibilitu, vysokú odolnosť proti korózii a opotrebovaniu a dobrú osseointegráciu.

Jedným z keramických materiálov, ktorý sa začal používať v medicínálnych aplikáciách je korund, teda Al_2O_3 . Keramika na báze Al_2O_3 sa vo veľkej miere začala používať v zubnom lekárstve kvôli svojej schopnosti imitovať optické vlastnosti skloviny a dentínu a jej biokompatibilitu a chemickej odolnosti. Neskôr vďaka svojim neuveriteľným vlastnostiam sa rozšírila do všetkých oblastí medicíny, a to hlavne vo forme implantátov v očnej a ortopedickej medicíne.

Dnes sú okrem iného známe aj baktericídne účinky Al_2O_3 . Tieto účinky sú využívané ako liečivá s antibakteriálnym účinkom namiesto antibiotík. Ďalej sa tento fakt využíva pri implantácií implantátov, ale aj pri použití korundu v lekárskech zariadeniach ako sú sterilizačné, klimatizačné zariadenia, zariadenia operačných sálov a nemocničný nábytok.

Okrem týchto možností lekárskeho aplikácií sa využíva aj korund, ktorý tvorí komplex so striebrom. Pre komplexné posúdenie korundovej keramiky infiltrovanej koloidným striebrom a možností jej klinickej aplikácie bola vykonaná analýza vplyvu koloidných častíc striebra na životné procesy v tkanivách na molekulárnej úrovni a dlhodobá štúdia účinku koloidného striebra ako modifikátor korundovej keramiky. Avšak na posúdenie vhodnosti korundovej keramiky infiltrovanej koloidným striebrom na aplikáciu kostí implantátov by sa mala ďalej skúmať interakcia implantátu, tkaniva a telovej tekutiny. Treba určiť typ kompozitných interakcií s kostným tkanivom-osteoindukčným alebo osteokonkrazným. Táto interakcia závisí od tvaru a veľkosti poréznej látky v keramike.

Vďaka týmto veľmi pozitívnym vlastnostiam je Al_2O_3 naozaj všestranne použiteľný v medicínálnych aplikáciach. Je to keramický materiál, ktorý má neuveriteľný potenciál aj v budúcnosti. Už dnes sa s ním počíta na mnohé aplikácie ktoré úzko súvisia s vývojom syntetickej kosti. Uvažuje sa, že by to bolo vhodné liečivo na popáleniny a taktiež sa mnohí vedci a výskumníci zhodujú, že materiály na báze korundu, by mohli, byť využívané ako náhrady celkových častí tela napríklad po amputácií alebo vážnom zranení, či úraze. Nanešťastie, sú takto rozsiahle korundové náhrady zatiaľ ďalekou hudbou budúcnosti. A sú úzko späté s vývojom a progresom robotiky.

POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] ZAORAL, Zdeněk. Al, Ge, Sn a Pb ve výuce chemie na vysoké, střední a základní škole. Brno, **2009**. Bakalářská práce.
- [2] KAŠPÁREK, CSc., Doc. RNDr. František, PASTOREK, CSc., Prof. RNDr. Richard, ŠINDELÁŘ, CSc., RNDr. Zdeněk a BREZINA, CSc., Doc. RNDr. František. *Anorganická chemie*. 2. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého, Přírodovědecká fakulta, **2001**, s. 197-218. ISBN 80-244-0311-0.
- [3] NOVÁKOVÁ, Michaela. Syntéza Al-Ge slitiny pomocí laserové ablace a rozkladu plynného reaktantu. **2014**.
- [4] Aluminum. Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry. 6th ed. Germany: Wiley-VCH Verlag & Co.KgaA, **2011**, s. 483-515. ISBN 978-3-527-32943-4.
- [5] CHVOJKA, Ing. Jiří a BRZOBOHATÝ, Ing. Miroslav. Zpracování a použití hliníku a jeho slitin. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, **1961**.
- [6] TÁBORSKÁ K.: *Hliník, olovo*. Seminární práce, Pdf MU, Brno, **2008**.
- [7] ZHENG, Jie, SUN, Bo, YANG, Rong, SONG, Xubo, LI, Xingguo a PU, Yikang. Metal Al Produced by H₂ Plasma Reduction of AlCl₃: A Thermodynamic and Kinetic Study on the Plasma Chemistry. *Journal of Physical Chemistry B*. **2008**, 112(40), s. 12748–12752. ISSN 1520-6106.
- [8] COKOJA, Mirza, JAGIRDAR, Balaji R., PARALA, Harish, BIRKNER, Alexandre a FISCHER, Roland A. Organometallic Access to Intermetallic θ -CuE₂ (E = Al, Ga) and Cu_{1-x}Al_x Phases. *European Journal of Inorganic Chemistry*. **2008**, 2008(21), s. 3330–3339. ISSN 1434-1948.
- [9] CALDERAZZO, Fausto, ENGLERT, Ulli, PAMPALONI, Guido a VOLPE, Manuel. Redox reactions with bis(η^6 -arene) derivatives of early transition metals. *Journal of Organometallic Chemistry*. **2005**, 690(14), s. 3321–3332. ISSN 0022-328X.
- [10] WILKENING, Siegfried. *Process for producing aluminum by molten salt electrolysis*. U.S. Patent No 4,919,771, **1990**.

- [11] NEDOMA J., ZVÁROVÁ J. a kol.: Biomechanika lidského skeletu a umělých náhrad jeho částí. Karolinum, Praha, **2006**. ISBN 80-246-1227-5.
- [12] PELIKÁNOVÁ, Zuzana. Využití anorganických materiálů v bioaplikacích. Brno, **2011**. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice.
- [13] KRATOCHVÍL, Bohumil, ŠVORČÍK, Václav, VOJTĚCH, Dalibor. Úvod do studia materiálů, 49, vydání 1, VŠCHT Praha, **2005**
- [14] Corundum (CAS No. 1302-74-5). Guidechem.com [online]. Guidechem s.r.o., ©2010-2017 [cit. 2017-06-30]. Dostupné z <http://www.guidechem.com/reference/dic-277523.html>
- [15] PODHORSKÝ, Ján. *Studium reakcí EtAlCl₂ s alkoholy a fenoly*. Brno, **2011**. Bakalářská práce.
- [16] Oxid hliníka (korund-Al₂O₃). Matnet.sav.sk [online]. MatNet Slovakia, ©2006 [cit. 2017-06-30]. Dostupné z <http://www.matnet.sav.sk/data/files/811.pdf>
- [17] TIPPAWAN, U., CHULAPAKORN, T., BOOTKUL, D., PANGKASON, C. a INTARASIRI, S. Investigation on modification of ion implanted natural corundum by UV-Vis-NIR spectroscopy. *Surface and Coatings Technology*. **2016**, 306, s. 358-363. ISSN 02578972.
- [18] PATNAIK, Pradyot. Handbook of inorganic chemicals. New York: McGraw-Hill, **2003**, xv, 1086, [1] p. ISBN 00-704-9439-8.
- [19] GANGOLLI, S. The dictionary of substances and their effects. 3rd ed. /. Cambridge, UK: Royal Society of Chemistry, **2005**. ISBN 978-0-85404-803-8.
- [20] SHACKELFORD, James F. (ed.) a R. DOREMUS (ed.). Ceramic and glass materials: structure, properties and processing. New York, N.Y.: Springer, **2008**, xii, 201 s. ISBN 978-0-387-73361-6.
- [21] LUKIN, E. S., TARASOVA, S. V. a KOROLEV, A. V. Glass and Ceramics [online]. 58(3/4), s. 105-107 [cit. 2017-05-16]. DOI: 10.1023/A:1010999432041. ISSN 03617610. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1023/A:1010999432041>

- [22] SIEMENS AG [DE]. Method and arrangement for measuring the jitter of pulse signals in digital transmission systems. Inventors: REHM HANS DIPL-ING. EP0025477 (A2). 25. 3. 1981.
- [23] HARRASOWITZ, B. Chemiker-Zeitung. **1927**, 51, s. 1009. ISSN 0009-2894.
- [24] UOP LLC [US]. Selective xylenes isomerization and ethylbenzene conversion. Inventors: Sanjay B. SHARMA a Sergey V. GUREVICH. US6355853 (B1). 12. 3. 2002.
- [25] HIND, Andrew R., BHARGAVA, Suresh K., GROCCOTT, Stephen C. The surface chemistry of Bayer process solids. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. **1999**, 144(1-3), s. 359-374. ISSN 0927-7757.
- [26] VLASOV, A. S. a KARABANOVA, T. A. Ceramics and medicine (Review). *Glass and Ceramics* [online]. 1993, 50(9-10), s. 398-401 [cit. 2017-05-16]. DOI: 10.1007/BF00683586. ISSN 0361-7610. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/BF00683586>
- [27] ŘEHÁK, Kamil. *VÝVOJ ENDOPROTÉZ*. Brno, **2008**. Bakalářská práce.
- [28] CAVALU, Simona, BANICA, Florin, SIMON, Viorica, AKIN, Ipek a GOLLER, Gultekin. Surface Modification of Alumina/ Zirconia Ceramics Upon Different Fluoride-Based Treatments. *International Journal of Applied Ceramic Technology*. **2014**, 11(2), s. 402-411. ISSN 1546542x.
- [29] ZBOROMIRSKA-WNUKIEWICZ, Beata, WNUKIEWICZ, Witold, KOGUT, Krzysztof, WNUKIEWICZ, Jan, RUTOWSKI, Roman, GOSK, Jerzy a KASPRZYK, Krzysztof. Implant materials modified by colloids. *Materials Science-Poland*. **2016**, 34(1), s. 33-37. ISSN 2083-134X.
- [30] KELLY, J. Robert. Dental ceramics: current thinking and trends. *Dental Clinics of North America*. **2004**, 48(2), s. 513-530. ISSN 00118532.
- [31] Zubné korunky. Čo všetko o nich vieme? Nechcemkazy.sk [online]. Nechcemkazy.sk [cit. 2017-06-23]. Dostupné z <http://www.nechcemkazy.sk/zubne-korunky-co-vsetko-o-nich-vieme>
- [32] KOMINE, Futoshi, TOMIC, Milos, GERDS, Thomas a STRUB, Jörg R. Influence of different adhesive resin cements on the fracture strength of aluminum oxide ceramic posterior crowns. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. **2004**, 92(4), s. 359-364. ISSN 00223913.

- [33] JORDAN, David R., MAWN, Louise A., BROWNSTEIN, Seymour, MCEACHREN, Todd M., GILBERG, Steven M., HILL, Vivian, GRAHOVAC, Steve Z. a ADENIS, J.-P. The bioceramic orbital implant: a new generation of porous implants. *Ophthalmic Plastic & Reconstructive Surgery*. **2000**, 16(5), s. 347-355.
- [34] CHARTERS, Lynda. Aluminum oxide orbital implant has better biocompatibility. *Ophthalmology Times. Oculoplastics special report*, **2001**.
- [35] SOSNA, A., VAVŘÍK, P., KRBEC, M., POKORNÝ, D., a kol. Základy ortopedie, 1.vyd. Praha: Nakladatelství Triton, **2001**. s. 175. ISBN 80-7254-202-8.
- [36] KOZÁKOVÁ, Denisa. Materiály kostních náhrad-rešerše.
- [37] DUNGL, P. a kolektiv. Ortopedie, 1.vyd. Praha: Grada Publishing, a.s., **2005**. s. 1280. ISBN 80-247-0550-8.
- [38] BIOLOX® Ball Heads-vysoká variabilita použitia. Ceramtec.com [online], CeramTec Czech Republic s.r.o., ©2017 [cit. 2017-06-20] Dostupné z <https://www.ceramtec.com/biolox/ball-heads/>
- [39] BIOLOX®Delta Scientific Information and Performance Data. Ceramtec.com [online], CeramTec Czech Republic s.r.o., ©2017 [cit. 2017-06-20] Dostupné z https://www.ceramtec.com/files/mt_biolox_delta_en.pdf
- [40] BIOLOX® Cup Inserts. Ceramtec.com [online], CeramTec Czech Republic s.r.o., ©2017 [cit. 2017-06-20] Dostupné z <https://www.ceramtec.com/biolox/cup-inserts/>
- [41] BIOLOX® Monoblock Cup Inserts. Ceramtec.com [online], CeramTec Czech Republic s.r.o., ©2017 [cit. 2017-06-20] Dostupné z <https://www.ceramtec.com/biolox/cup-inserts/monoblock/>
- [42] BIOLOX® Modular Cup Inserts. Ceramtec.com [online], CeramTec Czech Republic s.r.o., ©2017 [cit. 2017-06-20] Dostupné z <https://www.ceramtec.com/biolox/cup-inserts/modular/>
- [43] JANÍČEK, P. a kolektiv. Ortopedie, 2.vyd. Brno: Masarykova univerzita, **2007**, s. 124. ISBN 978-80-210-4426-6.

- [44] LOMBARDI JR, A. V., BEREND, K. R. a ADAMS, J. B. Why knee replacements fail in 2013: patient, surgeon, or implant? *The Bone & Joint Journal*, **2014**, 96(11), s. 101-104. ISSN 2049-4394.
- [45] Zietz, C., Bergschmidt, P., Lange, R, Mittelmeier, W., Bader, R. Third-body abrasive wear of tibial polyethylene inserts combined with metallic and ceramic femoral components in a knee simulator study. *Int J Artif Organs*, **2013**, 36(1), s. 47-55.
- [46] BERGSCHMIDT, P., BADER, R., GANZER, D., HAUZEUR, Ch., LOHMANN, Ch., KRÜGER, A., RÜTHER, W., TIGANI, D., RANI, N., ESTEVE, J. L., PRATS, F. L., ZORZI, C., MADONNA, V., RIGOTTI, S., BENAZZO, F., ROSSI, S. M. P., MITTELMEIER, W. 15 -year clinical and radiological outcomes of a prospective international multi-centre study on a ceramic femoral component in total knee arthroplasty. Deutscher Kongress für Orthopädie und Unfallchirurgie (DKOU 2014). Berlin, 28.-31.10.2014. Düsseldorf: German Medical Science GMS Publishing House; 2014. DocPO22-945
- [47] BAL, B. S., GREENBERG, D. D., ALETO, T. J. Primary Total Knee Replacement with a Zirconia Ceramic Femoral Component. *Bioceramics and Alternative Bearings in Joint Arthroplasty Ceramics in Orthopaedics*. **2005**, s. 183-190.
- [48] ALGARNI, A. D., HUK, O. L., PELMUS, M. Metallosis-induced Iliopsoas Bursal Cyst Causing Venous Obstruction and Lower-limb Swelling After Metal-on-metal THA. *Orthopedics*. **2012**, 35(12), s. 1066-1069.
- [49] OONISHI, H. M.D., PHD, KIM, S.-C., KYOMOTO, M., IWAMOTO, M., UENO, M. Comparison of In-Vivo Wear between Polyethylene Inserts articulating against Ceramic and Cobalt-Chrome Femoral Components in Total Knee Prostheses. *Bioceramics and Alternative Bearings in Joint Arthroplasty Ceramics in Orthopaedics*. **2007**, s. 149-159.
- [50] TREBSE, R., LEVASIC, V., MILOSEVIC, I., KOVAC, S. Does the bearing type influence the incidence of periprosthetic infections of the hip? *CeraNews*. **2014**, s. 12-14.
- [51] STREICHER, R., PORPORATI, A., LETO, A. News on ceramic – wear, corrosion and infection. *Poster JHS*, **2014**.
- [52] BIOLOX®delta for Knee Replacement Surgery –The Metal-Free Knee Arthroplasty. Ceramtec.com [online], CeramTec Czech Republic s.r.o., ©2017 [cit. 2017-06-20] Dostupné z <https://www.ceramtec.com/biolox/knee-joint-components/>

[53] BIOLOX®delta for Shoulder Arthroplasty –The Material Makes the Difference. Ceramtec.com [online], CeramTec Czech Republic s.r.o., ©2017 [cit. 2017-06-20] Dostupné z <https://www.ceramtec.com/biolox/shoulder-joint-components/>

[54] ANSARI, Mohammad A., KHAN, Haris M., ALZOHAIY, Mohammad, JALAL, Mohammad, ALI, Syed G., PAL, Ruchita a MUSARRAT, Javed. Green synthesis of Al₂O₃ nanoparticles and their bactericidal potential against clinical isolates of multi-drug resistant *Pseudomonas aeruginosa*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. **2015**, 31(1), s. 153-164. ISSN 0959-3993.

[55] HARSOOR, S.S. a BHASKAR, S. Bala. Designing an ideal operating room complex. *Indian Journal of Anaesthesia*. **2007**, 51(3), s. 193-199.

[56] KURTYCZ, P., KARWOWSKA, E., CIACH, T., OLSZYNA, A. a KUNICKI, A. Biodegradable Polylactide (PLA) Fiber Mats Containing Al₂O₃-Ag Nanopowder Prepared by Electrospinning Technique-Antibacterial Properties. *Springer Science & Business Media*. **2013**, 14(8), s. 1248-1253. ISSN 12299197.