

UNIVERZITA PARDUBICE
FAKULTA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ

**VYUŽITÍ ANORGANICKÝCH MATERIÁLŮ
V BIOAPLIKACÍCH**

Zuzana Pelikánová

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2011

Zde bude vloženo oficiální zadání práce

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Padubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 20. 6. 2011

Zuzana Pelikánová

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala vedoucí bakalářské práce, Ing. Pavle Honcové, Ph.D., za rady, připomínky a návrhy týkající se bakalářské práce. Dále bych ráda vyjádřila poděkování své rodině za trpělivost a podporu při studiu, jak finanční tak morální a příteli a jeho rodině za trpělivost a podporu.

ANOTACE

Tato práce je zaměřena na využití anorganických materiálů v bioaplikacích. Nejprve jsou představeny samotné biomateriály, následuje jejich klasifikace, poté je část práce soustředěna na prvek uhlík, jeho představení a využití jeho modifikací v bioaplikacích. Další úsek bakalářské práce je věnován nanomateriálům a jejich bioaplikací a v poslední řadě je pozornost věnována kovovým materiálům ve stomatologii.

KLÍČOVÁ SLOVA

Biomateriály, bioaplikace, uhlík a jeho formy, nanomateriály, stomatologické kovové materiály

TITLE

The bio-applications of inorganic materials

ANNOTATION

This work is focused on the use of inorganic materials in bio - applications. First, biomaterials are introduced themselves, followed by their classification, then part of the work focused on the element carbon, its performances and its modifications in the use of bio - applications. The next section of the work is devoted to nanomaterials and bio - applications and finally, attention is paid to the metal materials in dentistry.

KEYWORDS

Biomaterials, bio - applications, carbon, and its forms, nanomaterials, metallic dental materials

OBSAH

| | |
|--|----|
| ÚVOD | 10 |
| 1. BIOMATERIÁLY | 11 |
| 1.1 PŘEDSTAVENÍ BIOMATERIÁLŮ | 11 |
| 1.2 BIOFUNKČNOST BIOMATERIÁLŮ | 12 |
| 1.3 BIODOKOMPATIBILITA BIOMATERIÁLŮ | 12 |
| 1.4 VYUŽITÍ BIOMATERIÁLŮ | 14 |
| 2. KLASIFIKACE ANORGANICKÝCH MATERIÁLŮ | 14 |
| 2.1 KOVY | 14 |
| 2.1.1 KOROZE KOVOVÝCH IMPLANTÁTŮ | 15 |
| 2.2 POLYMERY | 15 |
| 2.3 KERAMIKA | 16 |
| 2.4 KOMPOZITY | 16 |
| 3. UHLÍK | 17 |
| 3.1 OBECNÉ INFORMACE | 17 |
| 3.2 ALOTROPICKÉ MODIFIKACE UHLÍKU | 18 |
| 3.2.1 GRAFIT | 18 |
| 3.2.2 DIAMANT | 20 |
| 3.3 NOVĚ OBJEVENÉ FORMY UHLÍKU | 21 |
| 3.3.1 FULLERENY | 21 |
| 3.3.2 UHLÍKOVÁ NANOPĚNA | 21 |
| 3.4 JINÉ FORMY UHLÍKU A JEJICH VYUŽITÍ V BIOAPLIKACÍCH | 22 |
| 3.4.1 PYROLYTICKÝ UHLÍK | 22 |
| 3.4.1.1 ORTOPEDICKÉ IMPLANTÁTY Z PYROLYTICKÉHO UHLÍKU | 23 |
| 3.4.2 UHLÍKOVÉ VRSTVY | 23 |

| | |
|---|----|
| 3.4.2.1 UHLÍKOVÉ VRSTVY V MEDICÍNĚ | 24 |
| 3.4.2.2 DIAMOND-LIKE CARBONS (DLC) | 24 |
| 3.4.3 UHLÍKOVÁ VLÁKNA | 28 |
| 4. NANOMATERIÁLY | 29 |
| 4.1 POLYMERNÍ NANOVLÁKNA | 29 |
| 4.2 UHLÍKOVÉ NANOTRUBICE | 29 |
| 4.2.1 POTENCIÁLNÍ VYUŽITÍ NANOTRUBIC V BIOTECHNOLOGII A NANOMEDICÍNĚ | 30 |
| 4.3 APLIKACE NANOBIOTECHNOLOGIE | 31 |
| 4.3.1 CÍLENÁ DOPRAVA LÉKŮ DO ORGANISMU | 31 |
| 4.3.2 DIAGNOSTIKA A TERAPIE RAKOVINY | 31 |
| 4.3.3 KOVOVÉ NANOSVALY | 32 |
| 5. STOMATOLOGICKÉ KOVOVÉ MATERIÁLY | 33 |
| 5.1 HISTORIE A SOUČASNOST | 33 |
| 5.2 DENTÁLNÍ AMALGÁM | 33 |
| 5.3 ZLATO A JEHO SLITINY | 34 |
| 5.4 KOBALT | 35 |
| 5.4.1 KOMERČNĚ VYRÁBĚNÉ SLITINY NA BÁZI Co | 36 |
| 5.4.1.1 VITALLIUM 2000 | 36 |
| 5.4.1.2 VITALLIUM 2000 PLUS | 37 |
| 5.4.1.3 ORALIUM | 37 |
| 5.4.1.4 ORALIUM CERAMIC | 37 |
| 5.4.1.5.CoCrMo slitiny <i>remanium</i> ® | 38 |
| 5.4.1.5.1 Slitiny <i>remanium</i> ® pro skeletové náhrady | 38 |
| 5.4.1.5.2 Slitiny <i>remanium</i> ® pro korunky a můstky | 39 |
| 5.5 TITAN | 40 |

| | |
|-----------------|----|
| ZÁVĚR..... | 41 |
| LITERATURA..... | 42 |

ÚVOD

Biomateriály jsou materiály (syntetické a přírodní; kovové, anorganické, kompozitní a polymerní; tuhé, gely...), které se používají v medicínských aplikacích obvykle v kontaktu s biologickými systémy. Biomateriály představují vědní oblast, která má už téměř půl století progresivní růst, která je interdisciplinární a využívá poznatky z medicíny, biologie, chemie, materiálové vědy a inženýrství. Oblast aplikací biomateriálů v medicíně je velmi široká a zahrnuje pomocné implantační materiály, systémy dávkování léčiv, až po tkáňové inženýrství.

Biomateriál je definován jako látka používaná na protézy nebo v lékařských přístrojích a nářadí, která je určena pro kontakt s živou tkání při zamýšlené aplikaci a pro předpokládaný časový úsek. V ČR se provádí ročně cca 10 000 operací. Problémem je životnost náhrad, která je díky nižší chemické odolnosti a vysoké elastické tuhosti jen 5 - 20 let. Reoperací je již přes 10%. Vyvíjejí se jak bioinertní či bioaktivní materiály, tak materiály, které se vstřebávají. [4]

Použití biomateriálů pro regeneraci, upravení nebo nahrazení tkání a dalších částí lidského těla patří v současné době mezi intenzivně se rozvíjející oblasti biomedicínského výzkumu. Potřeba vhodného biomateriálu se stává aktuální neustálým rozvojem znalostí a technologií. Cílem vývoje biomateriálů je poskytnout podpůrný materiál, který by co nejdokonaleji nahradil požadovanou část a nezpůsobil by nežádoucí imunologické reakce organismu. Používané materiály jsou syntetického nebo přírodního původu.

1. BIOMATERIÁLY

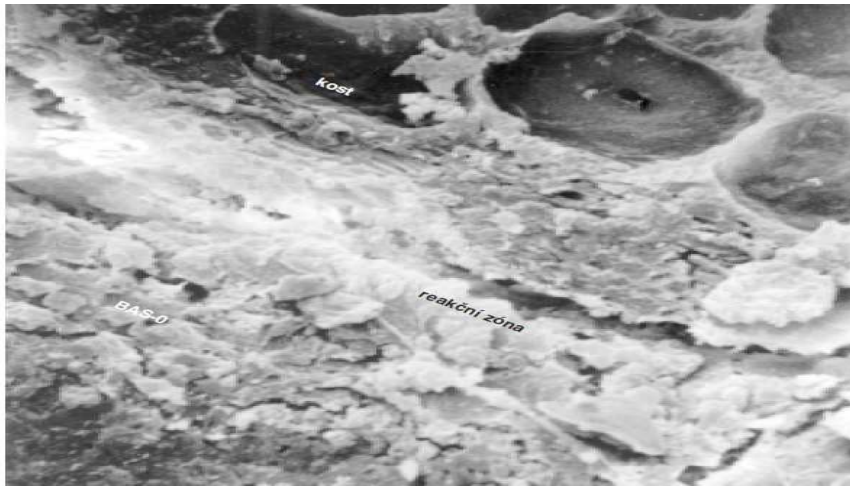
1.1 PŘEDSTAVENÍ BIOMATERIÁLŮ

Biomateriály jsou novými druhy materiálů splňující požadavky jak z hlediska medicínského, tak z hlediska inženýrského. [1] Účinek biomateriálů na zdraví je bezprostřední. Je považováno za důležité analyzovat tuto oblast nejen z hlediska a pro potřeby medicíny, ale také pro jiné oblasti materiálů kde je nutná nebo vítaná co nejlepší snášenlivost materiálů a živých organismů. [2] Z dnešního ohledu jsou biomateriály zařazovány mezi kovy, plasty a keramiku, nověji i kompozity. [1] Obecně termínem bio - materiál označujeme látku, která vytváří objekt, jež je schopen nahrazovat některou původní část živého těla.

Když se část nějakého stroje porouchá, opotřebí nebo se stane nepoužitelnou, provede se obvykle náprava nebo výměna pomocí nové, náhradní součástky schopné plnit původní funkci. Tento postup lze uplatnit i v oblasti lidského těla. V tomto případě by měla být zcela jasná a transparentní kritéria biokompatibility materiálů s organismem, které je třeba vzít v potaz při náhradě orgánů. Je třeba si uvědomovat i různé aspekty, jež jsou spojeny s konkrétní bio - funkcí, tedy se schopností materiálu plnit určitou funkci v přímém (např. implantáty) nebo nepřímém (např. kapiláry při mimotělním oběhu) spojení s živým organismem. Ukázka srůstu kosti s implantátem je uvedena na obr. 1.

V medicínských aplikacích je chování biomateriálů charakterizováno zpravidla dvěma skupinami charakteristik[2]:

- Biofunkčnost biomateriálů
- Biokompatibilita biomateriálů.



Obr. 1.: Detail srůstu kostní tkáně s implantátem [3]

1.2 BIOFUNKČNOST BIOMATERIÁLŮ

Biofunkčnost udává schopnost zařízení provádět náležitou a určenou funkci. Biofunkčnost může být posuzována ve vztahu k souboru vlastností, umožňující zařízení vykonávat určitou funkci. Aby bylo možné určit parametry biofunkčnosti, je nezbytné popsat důvody pro použití biomateriálů. Je však obtížné stručně vymežit důvody pro použití biomateriálů, protože se velmi liší jedna aplikace od druhé.

Biomateriály mohou být buď zcela implantovány do těla, implantovány částečně v těle, ale s pronikáním povrchovým epitelem (např. kůže) tak, že část zařízení je vně těla, umístěné do dutiny těla, ale ne pod epiteliální povrch (např. zubní protéza, nitroděložní tělísko nebo kontaktní čočky) nebo umístěné vně těla s některými způsoby přístupu k vnitřní tkáni, stejně jako v mimotělním zařízení připojená k cévnímu systému. Může existovat několik způsobů, jak použité materiály a zařízení mohou splnit požadované cíle.

1.3 BIODOPATIBILITA BIOMATERIÁLŮ

Biodopatibilita určuje slučitelnost materiálu s tělem. Biodopatibilita znamená úplnou absenci interakce mezi materiálem a organismem nebo tkání.

Seznam konkrétních materiálů uvedený v Tabulce 1, používaných v současné době, je z velké části založen na vnímání potřeby využít materiály, jež kromě plnění požadované funkce, jsou zcela inertní uvnitř těla, a tím nezpůsobují žádné škodlivé účinky v tkáni. [2]

Tab. 1.: Přehled používaných materiálů a jejich využití [2]

| Skupina materiálů | Výkon |
|----------------------------------|-------------------------------|
| Čisté kovy | Elektrická vodivost |
| | Estetika (v zubním lékařství) |
| | Strukturální-ortopedie |
| Slitiny | Strukturální-ortopedie |
| | Strukturální-zubní |
| | Srdečních chlopní |
| Inertní keramika | Artikulující povrchy |
| | Strukturální-zubní |
| Bioaktivní keramika a sklo | Strukturální-ortopedie |
| Uhlíky | Regenerace tkání |
| Termoplasty | Ovládání průtoku krve |
| | Propustnost světla |
| | Membrány podávání léků |
| Elastomery | Srdečních chlopní |
| | Ovládání průtoku krve |
| Kompozity | Strukturální-ortopedie |
| | Regenerace tkání |
| | Strukturální-zubní |
| Biologicky odvoditelné materiály | Regenerace tkání |
| | Ovládání průtoku krve |

1.4 VYUŽITÍ BIOMATERIÁLŮ

Uměle vyrobené materiály s širokým rozsahem vlastností jsou v klinické praxi již delší dobu používány pro náhrady poškozené, nemocné či nevyvinuté části skeletu, pro náhrady chybějících částí těla, pro korekci vrozených a patologických deformací a traumatických poškození. Dosavadní zkušenosti ukazují, že neustálý výzkum a vývoj biomateriálů přináší těm, kteří je potřebují, velký užitek. Především skeletální či dentální implantáty z kovových i nekovových (zejména keramických) materiálů jsou v současné době poměrně široce aplikovány. Výzkum biomateriálů zahrnuje řadu dalších oblastí, např. materiály na prsní implantáty, umělé srdeční chlopně, náhrady tepen, očních čoček, náhrady kůže, umělé svaly atd. [4]

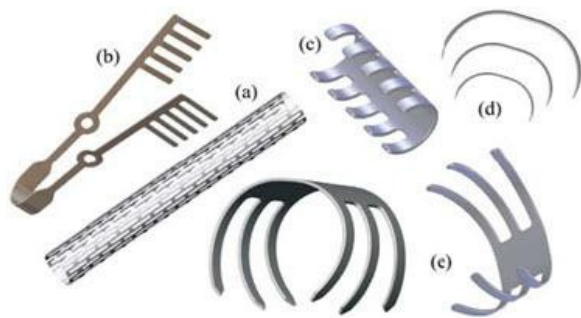
2. KLASIFIKACE ANORGANICKÝCH MATERIÁLŮ

2.1 KOVY

Vyznačují se dobrými mechanickými vlastnostmi a z tohoto důvodu jsou řazeny mezi nejrozšířenější implantátový materiál. Vznikají jen obavy ze vzniku elektrochemické koroze. Z ocelí je sem řazena austenitická korozivzdorná ocel (u nás Poldi AKV ULTRA 2), pro nástřiky se hodí ocel 11523 mikrolegovaná. Dále sem jsou řazeny slitiny kobaltu, titanu (u nás Poldi T90), slitiny titanu a niklu na dráty používané v ortopedii, chirurgii, dentální chirurgii. [1] Ukázky bioaplikací kovových materiálů jsou na obr. 2 a 3.



Obr. 2.: Dentální aplikace Ni - Ti, drátky zubních rovnátek [5]



Obr. 3.: Příklady aplikace Ni - Ti v oblasti chirurgie a ortopedie (stenty, fixace zlomenin kostí, fixace páteře) [6]

2.1.1 KOROZE KOVOVÝCH IMPLANTÁTŮ

Lidské tělo je velmi agresivním korozním prostředím, ale existují obecná pravidla, díky kterým lze nebezpečí koroze snížit. [7]

Minimalizace koroze:

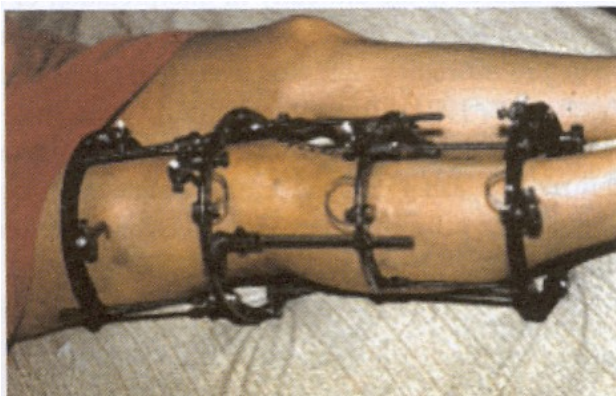
- Používat vhodné kovy
- Zabránit implantaci různých typů kovů do stejné oblasti
- Při výrobě používat na části stejnou tavbu téže varianty dané slitiny
- Při konstrukci minimalizovat dutiny a štěrby
- Při operaci zabránit přenosu kovu z nástroje na implantát nebo tkáň
- Připustit a uznat, že kov, který odolává korozi v jednom tělesném prostředí, může korodovat v jiné části těla

2.2 POLYMERY

Vykazují z pevnostních vlastností podstatně nižší hodnoty. Výsledky výzkumů dokazují, že v živé tkáni se ještě zhoršují. Mezi používané plasty se řadí zejména[1]:

- Polyetylen (kyčelní kloub, kyčelní jamka, vlákna)
- Epoxidová pryskyřice a uhlíková vlákna
- Porézní polysulfon

Ukázka využití polymerního materiálu je na obr 4.



Obr. 4.: Vnější fixátor zlomeniny[8]

2.3 KERAMIKA

Je pokládána za bioaktivní materiál, jelikož výzkumy ukázaly, že má s kostním tkanivem stejnou chemickou konstituci a že po určité době může nastat růst nové tkáně.

Mezi perspektivní keramické materiály se řadí[1]:

- oxidická (Al_2O_3) keramika
- nitridická (Si_3N_4) keramika

Bioinertní keramika je založena na bázi oxidů α - Al_2O_3 , ZrO_2 , Y_2O_3 a TiO_2 , které s živou tkání nevyvolávají zánětlivé reakce. Z těchto materiálů se zhotovují zejména zubní implantáty, klouby a kostní náhrady. Zubní korunky se vyrábí ze zubního porcelánu. [9]

2.4 KOMPOZITY

Jsou nejnovějším typem biomateriálů (biokompozity). Jádrem kompozitu vyhovuje velmi dobře požadovaným mechanickým vlastnostem, zejména pevnostním. Povlak se skládá z bioaktivní anorganické nebo bioinertní keramiky. Ukázky využití kompozitů jsou na obr. 5,6 a 7.

Př[1].: Slitina kobaltu (Co+Cr+Ni) + nitrid titanu (TiN) – kolenní kloub

Slitina kobaltu (Co+Cr+Ni) + hydroxylapatit – kyčelní kloub



Obr. 5.: Náhrada kyčelního kloubu [10]

Obr. 6.: Náhrada loketního kloubu [11]

Obr. 7.: Náhrada ramenního kloubu [11]

3. UHLÍK

3.1 OBECNÉ INFORMACE

Uhlík je základním prvkem organické chemie a biologických procesů, kterým jsme vděční za existenci života na naší planetě. V přírodě se uhlík vyskytuje zejména v karbonátových usazeninách, naftě a uhlí a to jako směs grafitu a amorfní formy uhlíku. Jsou známy dvě krystalické formy uhlíku: diamant a grafit - tuha. [12]

Uhlík nám dává:

- nejpevnější vlákna
- nejlepší mazadlo (lubrikant) – grafit
- nejpevnější a nejtvrdší materiál – diamant
- nejlepší absorbent plynů – aktivní uhlí
- nejlepší heliovou bariéru – skelný uhlík
- nové objevy jako je molekula fullerenu, nanotrubičky, nanopěny

Nejnovější objevy [13]:

1985 objev fullerenů

1991 objev uhlíkových nanotrubiček

1993 výroba nanotrubiček ve velkém

1995 uhlíkové anody pro lithiové dobíjecí články

2001 monokrystaly z uhlíkových nanotrubiček

2002 použití diamantu na polovodičové součástky

2002 připravena uhlíková nanopěna

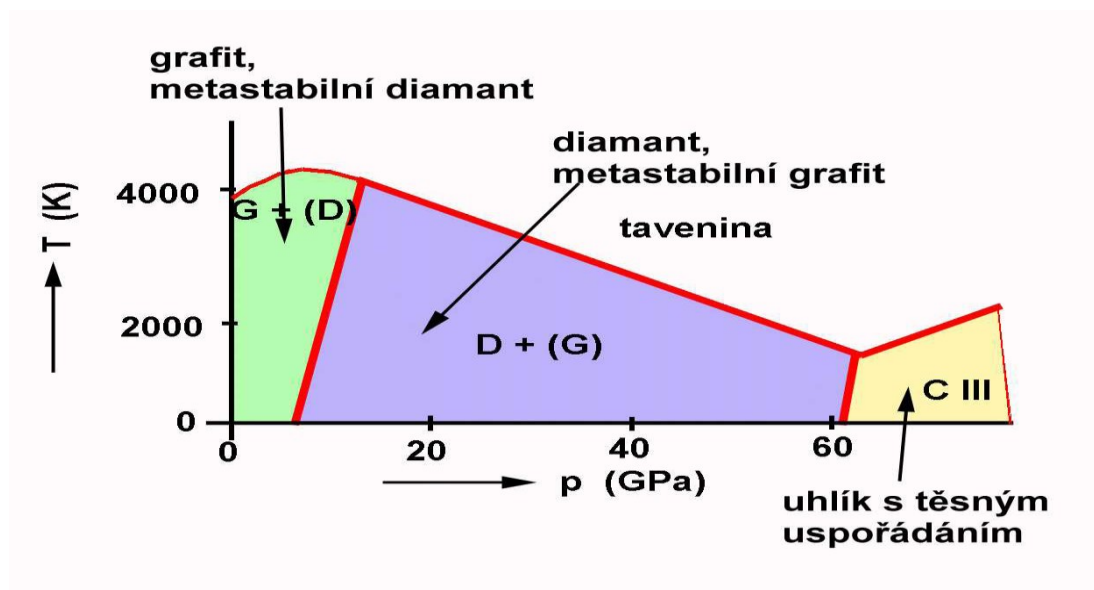
2003 použití fullerenů v medicíně

2003 tranzistor z uhlíkových nanotrubiček

2004 vlákno v žárovce z uhlíkových nanotrubiček

3.2. ALOTROPICKÉ MODIFIKACE UHLÍKU

Mezi nejznámější modifikace uhlíku patří grafit a diamant. Pomocí laserového paprsku je však možno získat další modifikaci, jde o tzv. fullereny, které jsou tvořeny uhlíkovými molekulami, například C60, ale vyskytují se i molekuly s vyšším počtem atomů uhlíku například až C960. [14] Jednotlivé modifikace popisuje stavový diagram uhlíku na obr. 8.



Obr. 8.: Stavový diagram uhlíku [15]

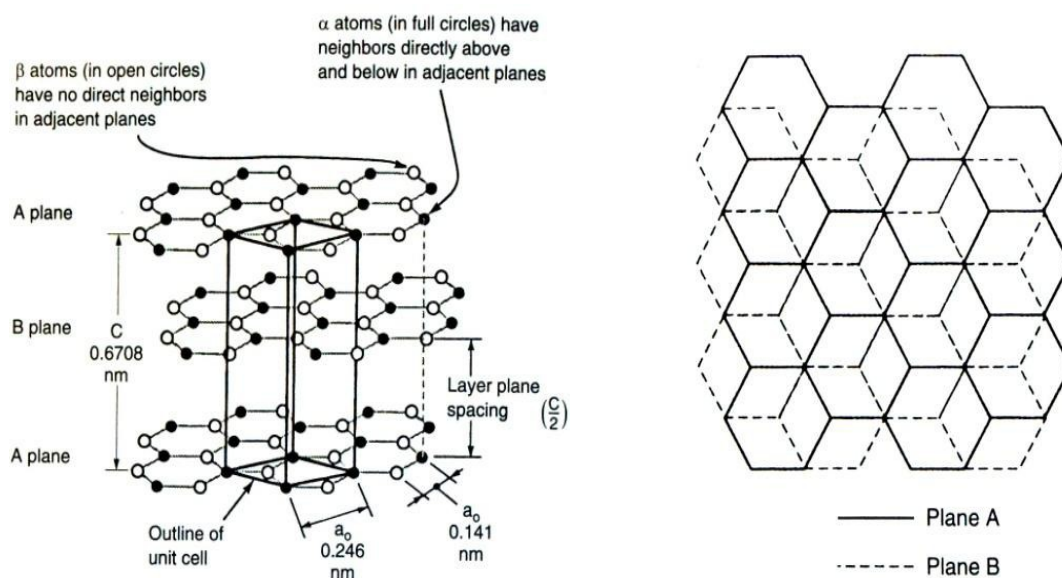
3.2.1. GRAFIT



Obr. 9.: Přírodní grafit [16]

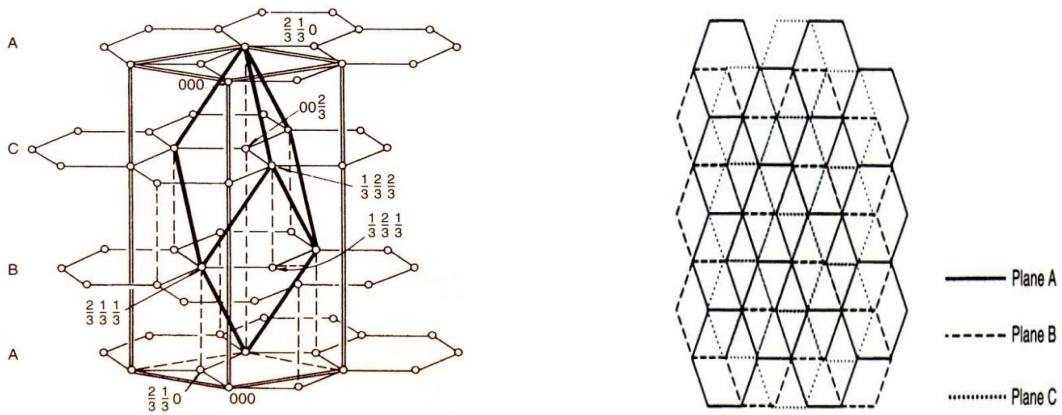
Grafit (obr. 9) se za běžných podmínek vyskytuje jako stabilní forma uhlíku (na rozdíl od ostatních modifikací). Je složen z vrstev hexagonálně uspořádaných atomů uhlíku (uspořádání je patrné na obr. 10 a 11). Jednotlivé atomy uhlíku jsou od sebe vzdáleny 0,142 nm a vytváří jednu obrovskou rovinnou molekulu, v níž jsou k sobě atomy poutány silnými kovalentními vazbami.

Jednotlivé, 0,335 nm vzdálené, „grafenové“ vrstvy jsou k sobě poutány mnohem slabšími silami, které jsou srovnatelné s Van der Waalsovými. Toto uspořádání je důvodem velmi značné anizotropie vlastností grafitu, která se týká nejen mechanických vlastností, ale také například tepelné a elektrické vodivosti. Skládání jednotlivých vrstev rovnoběžně na sebe probíhá za tvorby dvou podobných krystalových mřížek – hexagonální (obr. 10 a obr. 11) a romboedrické (obr. 12 a obr. 13). Hexagonální grafit se vyskytuje častěji. Romboedrický grafit se vždy vyskytuje spolu s hexagonálním, a po ohřátí na 2500°C se jeho mřížka přemění na hexagonální. [14,17,18]



Obr. 10.: Uspořádání grafenových vrstev v hexagonální mřížce (plane – rovina, outline of unit cell – obrys elementární buňky, layer plane spacing – meziorovinná vzdálenost, β atoms (in open circles) have... - β atomy (bílá kolečka) nemají žádné přímé sousedy v přilehlých rovinách, α atoms (in full circles) have... - α atomy (černá kolečka) mají sousedy přímo nad a pod sebou v přilehlých rovinách) [17]

Obr. 11.: Pohled shora na uspořádání grafenových vrstev v hexagonální mřížce grafitu (Plane – rovina) [17]



Obr. 12.: Uspořádání grafenových vrstev v romboedrické mřížce [19]

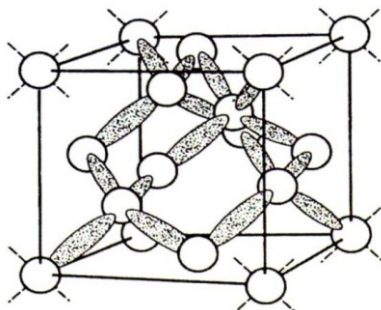
Obr. 13.: Pohled shora na uspořádání grafenových vrstev v romboedrické mřížce grafitu (Plane – rovina) [17]

3.2.2. DIAMANT

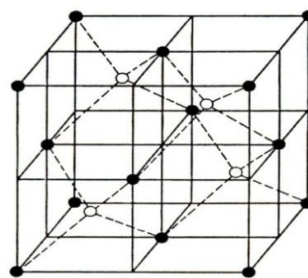


Atomy uhlíku jsou v diamantu (obr. 14) propojeny s ostatními atomy silnými kovalentními vazbami, s nimiž vytváří atomový krystal nebo obrovskou molekulu. Hybridizované orbitály atomu uhlíku mohou utvořit pravidelný tetraedr s délkou vazby

Obr. 14.: Diamant [15] 0,154 nm. Každý takto vzniklý čtyřstěn se poté může spojit s čtyřmi dalšími čtyřstěny a vytvořit tak velmi stabilní strukturu, vyznačující se svou vysokou specifickou hmotností $3,515 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Kubická struktura diamantu s opakováním vrstev ABCABC je nejběžnější, u níž na základní buňku připadá 8 atomů. Uspořádání vazeb a umístění jednotlivých atomů v kubické mřížce diamantu je zobrazeno na obr. 15 a obr. 16. [14,17,18]



Obr. 15.: Kovalentní vazby v diamantu [17]

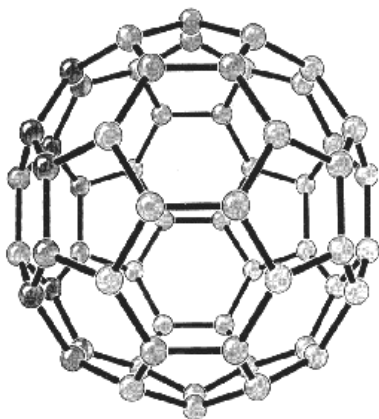


Obr. 16.: Uspořádání atomů uhlíku v kubické mřížce diamantu [14]

3.3 NOVĚ OBJEVENÉ FORMY UHLÍKU

3.3.1 FULLERENY

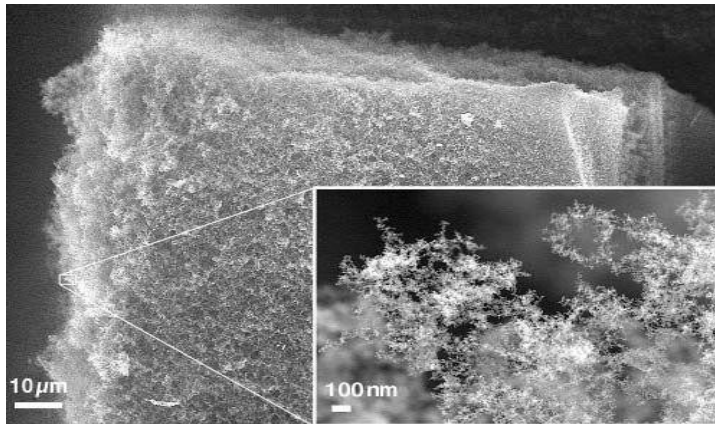
Fullereny jsou uzavřené klecové struktury uhlíku. V roce 1985 byl při zkoumání meteoritů objeven jeden z nejvýznamnějších fullerenů, fulleren C₆₀. Fulleren C₆₀ (obr. 17) se skládá ze šedesáti symetricky uspořádaných atomů uhlíku. Plochy tohoto fullerenu jsou jak pětiúhelníkové, tak i šestiúhelníkové. Fullereny jsou často tvarem srovnávány s fotbalovými míči v nanorozměrech. Bylo zjištěno, že některé fullereny mohou snížit koncentraci volných radikálů nebo mohou vykazovat výraznou antibakteriální aktivitu [20,21]. Název fulleren nebo buckminsterfulleren souvisí se jménem architekta R. Buckminster Fullera, který se proslavil stavbami, které se nápadně podobají molekulám C_n. [13]



Obr. 17.: Molekula fullerenu s 60 atomy uhlíku [22]

3.3.2 UHLÍKOVÁ NANOPĚNA

Uhlíková nanopěna představuje vzájemně pospojovanou síť uhlíkových trubiček dlouhých asi 5 nm, která byla připravena vystavením uhlíkového terčiku působení vysoce výkonného pulzního laserového systému v argonové atmosféře. Jedná se o velmi lehký materiál, s hustotou jen 2 – 10 mg·cm⁻³, jehož struktura je patrná z obr. 18. Jako jediný uhlíkový materiál vykazuje paramagnetické chování na rozdíl od ostatních, které jsou diamagnetické. Uhlíková nanopěna se využívá zejména v medicínské diagnostice, nebo při léčbě rakoviny. [23 - 25]

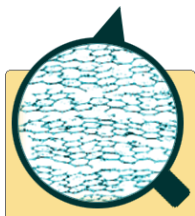


Obr. 18.: SEM (Scanning Electron Microscope – rastrovací elektronový mikroskop) snímek uhlíkové nanopěny [24]

3.4 JINÉ FORMY UHLÍKU A JEJICH VYUŽITÍ V BIOAPLIKACÍCH

3.4.1. PYROLYTICKÝ UHLÍK

Pyrolytický uhlík se liší od pyrolytického grafitu v tom, že jeho sousední vrstvy se skládají z hexagonálně uspořádaných atomů, jsou malé a nejsou seřazeny s ohledem na další vrstvy. Tato dvou - dimenzionální struktura je označována jako turbostatická. (obr. 19) Vzhledem k síle meziatomových vazeb ve vrstvách a slabému propojení mezi vrstvami, jsou vlastnosti jednotlivých krystalitů anizotropní. Vzhledem k seskupení a náhodnému rozmístění krystalitů, se anizotropie celkově projevuje jako izotropie. (obr. 20) [26]



Obr. 19.: Turbostatické molekulové složení u pyrolytického uhlíku [27]

Obr. 20.: Uhlíková izotropní molekulární struktura [27]

3.4.1.1 ORTOPEDICKÉ IMPLANTÁTY Z PYROLYTICKÉHO UHLÍKU

Implantáty z pyrolytického uhlíku nejsou nijak mechanicky ani chemicky fixovány ke kosti. Jsou stabilizovány press - kováním do dřevného kanálu, anatomicky tvarovanou stonkou. Po počátečním vložení dochází k apozičnímu růstu kostí kolem protetického stonku, kdy se stabilizuje mechanicky okolní kortikální kost. Ke konečné stabilizaci implantátu dochází 6 - 24 měsíců po operaci, díky soustavnému apozičnímu růstu kostí. [28] Ukázka implantátu z pyrolytického uhlíku je na obr. 21.



Obr. 21.: Metakarpální implantát [28]

3.4.2 UHLÍKOVÉ VRSTVY

Uhlíkové vrstvy obsahují šest atomů uhlíku o elektronové konfiguraci s sp^3 . Byly objeveny poměrně nedávno, v roce 1981. Podobně jako ostatní uhlíkové povlaky jsou tyto vrstvy tvořené pomocí iontů, elektronů a fotonů a jsou označovány za specifické modifikace uhlíku. Modifikace uhlíku, jež jsou získávány pomocí plazmy, jsou charakteristické širokým rozsahem různého objemu atomů uhlíku s elektronovou konfigurací vazby typu s sp^3 , prokazující zároveň specifické fyzikální vlastnosti, např. malý součinitel tření, odolnost proti otěru nebo odolnost proti křehkému lomu [29].

Neustále probíhají pokusy o zdokonalení metod jejich nanášení, jak CVD (Chemical Vapor Deposition) tak i PVD (Physical Vapor Deposition). [30]

3.4.2.1 UHLÍKOVÉ VRSTVY V MEDICÍNĚ

Vlastnosti uhlíkových vrstev velmi záleží na způsobu vytváření a především na parametrech procesu. Zvolíme-li si je dobře, můžeme získat například vrstvy předcházející dosedání krevních destiček na povrch kardiochirurgických implantátů (chlopně, stent) [31]. Je také možno vytvořit uhlíkové vrstvy, na něž velmi dobře přiléhají kostní buňky a to je důležité pro trvalé spojení mezi kostí a implantátem (dřík endoprotézy, umělého zubu...) [32]. U mnoha implantátů je nutno vytvořit třecí spoj. V těchto aplikacích použití tradičních materiálů způsobuje opotřebení třecích elementů, mezi nimiž vzniká vůle, a jsou ovlivněny pohybové činnosti a do lidského organismu se dostávají produkty opotřebení. Těmto problémům je možno předejít použitím implantátů pokrytými uhlíkovými vrstvami, které se vyznačují vysokou tvrdostí a odolností proti opotřebení třením. [33]

Uhlíkové vrstvy mají také vysokou odolnost proti korozi. Předchází uvolňování iontů kovů z povrchu ocelového implantátu, čímž snižují riziko metalozy, choroby spojené s citlivostními reakcemi organismu. Ocelové implantáty se většinou skládají z materiálů, které obsahují např. nikl, chrom, molybden. Především nikl vykazuje alergenní působení a v organismu může vyvolat řadu nepříznivých reakcí (zpomalovat procesy hojení a v mezních případech může dojít až k odmítnutí implantátu) [34]

3.4.2.2 DIAMOND - LIKE CARBONS (DLC)

Diamantu podobný uhlík DLC (diamid – like carbon) je směsí amorfního nebo superdrobnokrystalického uhlíku, která obsahuje vazby ssp^2 a ssp^1 a převažují vazby $s sp^3$. Poměr jednotlivých fází v DLC vrstvách je následující: diamant (ssp^3) cca 68%, grafit (ssp^2) cca 30%, karbidy (ssp^1) cca 2% [30].

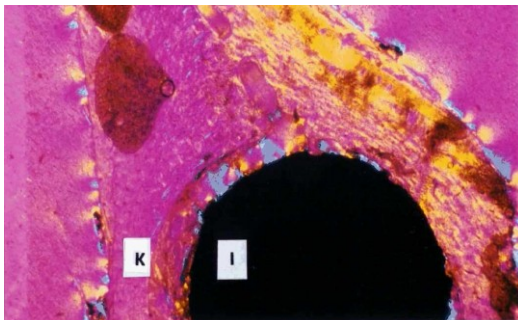
Diamantu podobný uhlík (DLC) se v posledních letech prokázal jako potenciální materiál díky své vysoké tvrdosti, nízkému třecímu koeficientu, odolnosti proti korozi, chemické inertnosti, vysokému elektrickému odporu, vysokému indexu lomu a vynikající hebkosti. Všechny tyto vlastnosti odpovídají kritériím biomateriálů použitelných v ortopedii, kardiiovaskulární aplikaci, zubním lékařství a u kontaktních čoček. [35]

PROTÉZY POKRYTÉ VRSTVOU DLC

Laserem byly vytvářeny DLC vrstvy pro pokrytí holenního implantátu, umělých srdečních chlopní, T - profily, anatomické štíty a textilní cévní náhrady.

Náhrada kostí

Byla zkoumána osteointegrace DLC vrstev na implantátech in vivo. DLC vrstvy byly vloženy na válcové titanové implantáty (průměr 2 mm a délka 10 mm). Pokryté a nepokryté implantáty (referenční titanové a safírové) byly voperovány do stehenních kostí krysy (obr. 22). Po šesti týdnech byly implantáty vyoperovány a byla sledována osteointegrace (podíl plochy implantátů, jež srostla s kostní tkání). Poměr mezi integrovanou a neintegrovanou částí implantátu se pohyboval u implantátů pokrytých DLC v rozmezí od 56% do 67%. U nepokrytých titanových a safírových to bylo 45% - 57% a 29% - 37% [36].



Obr. 22.: Titanová válcová protéza, pokrytá DLC a voperovaná do stehenní kosti krysy [37]

Gradientní DLC vrstvy- DLC je vhodné aplikovat např. na náhrady kyčelních kloubů, přičemž kluzná, kulová část je pokryta DLC vrstvou a část, která vrostle do kosti, je pokryta hydroxyapatitovou vrstvou (HA vrstvou). Tlustší DLC vrstvy mají malou přilnavost ke kovovému implantátu. Tento nedostatek je možno zlepšit vhodnou přípravou implantátu (chemické čištění, radiofrekvenční výboje) nebo gradientními vrstvami, kdy se složení vrstvy mění od kovové (blíže k implantátu) do DLC (povrch vrstvy). [38] Ukázka implantátu pokrytého vrstvou DLC je uvedena na obr. 23



Obr. 23.: Implantáty pokryté vrstvou DLC [39]

Umělé srdeční chlopně

Umělé srdeční chlopně jsou vyrobeny z kovového materiálu a jsou složeny z těchto součástí - kroužek o průměru 3 cm, dvě křídélka a fixační nýtky (obr. 24). Nepokrytý kovový implantát není nejvhodnější pro použití v lidském těle. Je žádoucí pokrýt kovové chlopně vhodnou ochrannou vrstvou, jako je materiál DLC. Ochranné vrstvy pro aplikaci v chlopních by měly vykazovat tyto vlastnosti - malá degradace vůči únavě a opotřebování, netoxičnost, nekarcinogenita, nereaktivnost s okolním prostředím, nesmí korodovat, odlupovat se, podněcovat srážlivost krve, musí vykazovat velkou hustotu, tvrdost, pružnost, malý otěr, nesmáčivost, hladký povrch, atd. [38]



Obr. 24.: Umělé srdeční chlopně pokryté DLC [37]

T - cévní profily

T - cévní profily jsou zhotoveny z velmi hustě tkaného materiálu ve tvaru T. Pro zabezpečení pokrytí i uvnitř trubiček jsou trubičky vyztuženy drátkem.

Textilní cévní implantáty

Výhodou tohoto PLD (pulzní laserová depozice) pokrytí, oproti jiným depozičním metodám, je depozice DLC vrstvy za pokojové teploty implantátu. Cévní trubice je pokryta DLC vrstvou z vnější i vnitřní strany. S vyvinutým systémem je možno pokrývat cévní náhrady rovnoměrnou vrstvou DLC až do délky 60 cm. Přípravují se DLC vrstvy s vyšším a nižším poměrem sp^2/sp^3 (grafitických/diamantových) vazeb. Poměr sp^2/sp^3 se stanovuje pomocí Ramanovy spektroskopie, XPS a spektroskopie Augerových elektronů. [38] In vivo se cévy testují s vyšším obsahem sp^3 vazeb a vrstvy spíše grafitické o tloušťce DLC vrstvy 20 nm a 200 nm. Pokryté a nepokryté protézy byly voperovány do arteria karotis osmi ovcí. Za 100 dní byly protézy vyjmuty. Z vizuálního a makroskopického hlediska lze posoudit, že nejlepší průchodnost krve byla u protéz pokrytých vrstvou DLC o tloušťce 20 nm a vyšším obsahem sp^3 vazeb. [40,41] Ukázka textilního cévního implantátu je na obr. 25.



Obr. 25.: Textilní cévní implantát pokrytý tenkou vrstvou diamantu podobného uhlíku [41]

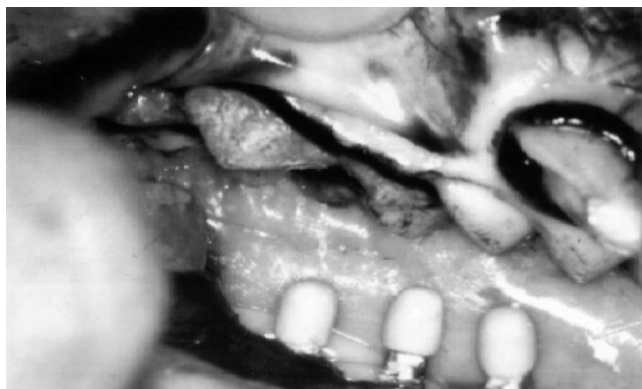
Zubní protézy pokryté vrstvou HA

Byla zkoumána vhodnost použití PLD pro pokrytí zubních protéz tenkou vrstvou HA. Pokryté a nepokryté implantáty byly voperovány do zubní čelisti miniprasátek. Horní části implantátů byly zaslepeny (nezatížená osteointegrace, pokus bez zubní korunky). V pokusu in vivo byla aplikována dvouletá miniprasátka a bylo zavedeno celkem 16 válcových implantátů s vrstvou HA. Po 16 týdnech hojení byly čelisti vyjmuty a v okolí protéz nařezány na tenké segmenty. Mikroskopickým vyšetřením byla potvrzena přítomnost nově vytvořené kosti kolem všech implantátů.

Plocha kontaktu kosti s implantátem se pohybovala u titanových implantátů okolo 75,5 % a u implantátů pokrytých HA okolo 73,3 %. Dále byla zkoumána in vivo osteointegrace 24 pokrytých zubních implantátů a 4 nepokrytých implantátů z Ti_6Al_4V v zatíženém režimu.

K experimentu byla použita 4 miniprasátka. Po 16 týdnech nezatížené osteointegrace byly na implantáty aplikovány metalokeramické korunky.

Příklad sanice s implantáty a našroubovanými korunkami je na obr. 26. Po roce byly čelisti vyjmuty a kolem pokrytých implantátů byla nalezena nově vzrostlá kost bez nežádoucích fibrózních tkání. U nepokrytých titanových implantátů bylo fibrózní spojení objeveno. Plocha kontaktu kost-implantát byla pro nepokryté implantáty 62,5% a u implantátů pokrytých HA vrstvou 77,5%. [42].



Obr. 26.: Fotografie sanice s implantáty pro stadium zatížené osteointegrace [42]

3.4.3 UHLÍKOVÁ VLÁKNA

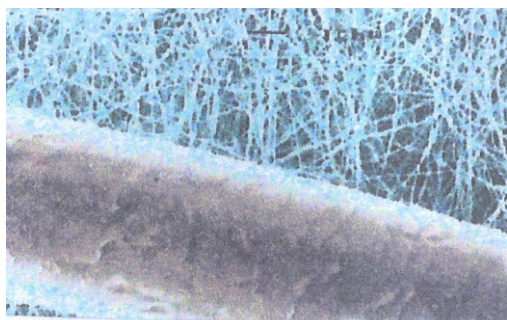
Uhlíková vlákna se používají především k výrobě kompozitů, ale mají také uplatnění jako samostatný materiál. Vlákna na bázi PAN (polyakrylonitrilu) s oxidovaným povrchem jsou nehořlavá, proto zastupují v mnoha oblastech azbest, ale mají také jiná uplatnění díky své zdravotní nezávadnosti. Surová uhlíková vlákna je možno využít v „aktivní“ podobě. Pak se jedná o analogii aktivního uhlí, nacházející uplatnění jako součásti filtrů, ať už v plynových maskách, klimatizační technice nebo v medicíně pro čištění krve. Surová uhlíková vlákna mají i další aplikace v medicíně (především grafitická vlákna s vysokým modulem - mají lepší biokompatibilitu) jako náhrady šlach a vaziv nebo jako základ kostních náhrad. [14]

4. NANOMATERIÁLY

4.1 POLYMERNÍ NANOVLÁKNA

Jako polymerní nanovlákná jsou označovány vlákna s průměrem menším než 1 μm . Vlákna se vyrábí způsobem zvaným electrospinning. [43] Téměř 25 let se polymerní mikrovlákná vyrábějí pro filtrační a jiné účely. [44] Až v posledních letech se tloušťka polymerních nanovláken přiblížila nanometrické škále (40 – 200 nm).

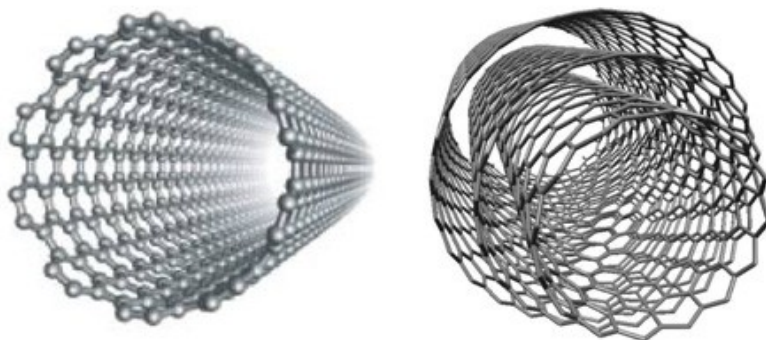
Electrospinning je proces využívající elektrostatické síly (elektrického pole) za účelem rozbití zavěšené kapky polymerního roztoku na tenká vlákna, která jsou poté přeměněna na substrát. Vyrobená vlákna, v porovnání s lidským vlasem, jsou znázorněna na obr. 27. V České republice byl nedávno objeven způsob plynulé výroby tkaniny z polymerních nanovláken, vhodných pro uplatnění v lékařství, např. jako krycí a obvazový materiál, ve tkáňovém inženýrství (jako nosiče buněk), při cílené dopravě léků a ve filtračních systémech (jako inteligentní filtry s připojenými protilátkami nebo antibakteriální filtry) [45]



Obr. 27.: Tloušťka vláken 20 – 200 nm (v popředí lidský vlas) [45]

4.2 UHLÍKOVÉ NANOTRUBICE

Jakožto čtvrtá alotropická forma uhlíku jsou uhlíkové nanotrubičky molekuly, sestávající pouze z atomů uhlíku. Lze je považovat za protažené fullereny. Fyzikální vlastnosti, tzn. mechanické, elektronické, tepelné a optické, jsou u uhlíkových nanotrubic o hodně lepší než u obvykle používaných materiálů. [46] Rozdělení uhlíkových nanotrubic dle počtu stěn je na obr 28.



Obr. 28.: Dělení uhlíkových nanotrubic podle počtu stěn: a) Jednostěnné; b) Mnohostěnné, [47]

4.2.1 POTENCIÁLNÍ VYUŽITÍ NANOTRUBIC V BIOTECHNOLOGII A NANOMEDICÍNĚ

Použití uhlíkových nanotrubic v bioaplikacích bylo zkoumáno již od doby, kdy byly objeveny. Jeden z hlavních cílů byl vývoj biosenzorů a bioreaktorů založených na uhlíkových nanotrubicích. Tento výzkum byl podporován experimentálními důkazy, že biologické objekty jako proteiny a enzymy mohou být rozptýleny buď v duté kavitě, nebo na povrchu nanotrubic. [48]

Nedávno byly posíleny naděje na použití uhlíkových nanotrubic jako vynikajících materiálů pro biosenzory (biočipy), když byla úspěšně vyrobena různá elektroanalytická zařízení s nanotrubicemi, kdy tato zařízení byla modifikována biomolekulami. Tato prototypová zařízení, často připravena jako uspořádané soubory tranzistorů s jednou nanotubicí, našla uplatnění pro svou účinnou elektrickou komunikaci a slibnou citlivost, v takových aplikacích, jako jsou rozpoznání antigenů [49], reakce katalyzované enzymy [50] a DNA hybridizace. [51] Předběžné výsledky uvádí, že uhlíkové nanotrubice mohou sloužit jako elektromechanické aktuátory pro umělé svaly. [52] Uhlíkové nanotrubice se po funkcionalizaci vhodnými bioaktivními molekulami mohou využívat jako substráty pro neuronální růst (neuritů, axonů). [53] Je zkoumáno použití uhlíkových nanotrubic jako multifunkčních biologických transportérů, které mohou být použity při selektivní destrukci rakovinných buněk. [54] Specifické je využití fluorescenčních vlastností uhlíkových nanotrubic. Je možné, že uhlíkové nanotrubice najdou své potenciální využití v lékařství při léčbě rakoviny a v biosenzorech na bázi fluorescence.

I přestože je třeba dokončit dlouhodobé výzkumy týkající se toxicity a biodistribuce ještě předtím, než budeme moci použít uhlíkové nanotrubičky při lékařských testech, fluorescenční vlastnosti naznačují, že uhlíkové nanotrubičky by mohly být využity jako zobrazovací markery při laboratorním výzkumu *in vitro*, a to především v případech, kdy se objevuje problém s vyhasínáním, toxicitou a znehodnocováním běžněji používaných markerů. Protože uhlíkové nanotrubičky fluoreskují na jediné světelné vlnové délce, je mimo jiné možné přizpůsobit různé velikosti nanotrubic a jejich elektrické vlastnosti na míru specifickým účelům, a tím i provést diagnózu četných nemocí v jediném testu. [55]

4.3 APLIKACE NANOBIOLOGIE

4.3.1. CÍLENÁ DOPRAVA LÉKŮ DO ORGANISMU

Nanobio - a bionanotechnologie poskytuje nová řešení pro cílenou dodávku léčiv do organismu a jejich uvolňování. Jako nosiče léků lze použít různé druhy nanostrukturních materiálů (nanoprášky, nanopouzdra, fullereny, nanotrubičky, kvantové tečky, nanoporézní materiály apod.). Je možné využívat také nanosystémy jako např. pumpy a ventily, NEMS zařízení, soubory „nanojehel“. [56]

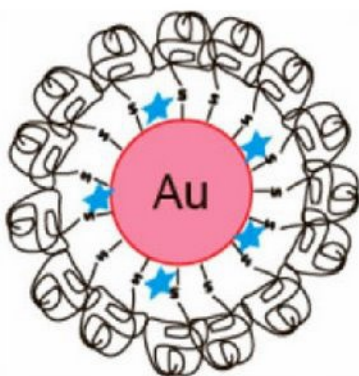
Nanotechnologické postupy lze uplatnit také při výrobě koloidních roztoků vitamínů, minerálů, potravinových doplňků a léků ve sprejové formě. Spreje umožňují snadnou aplikaci na sliznici dutiny ústní a přitom dosahují vysoké účinnosti. [57]

4.3.2 DIAGNOSTIKA A TERAPIE RAKOVINY

Asi největší naděje se směrem k nanobio – a bionanotechnologii vkládají k možné léčbě rakoviny. Rakovina je onemocnění vyvolané zhoubným nádorem, pro něž je charakteristický nekontrolovaný růst s ničením okolních tkání, zakládání metastáz s celkovým působením na organismus. Jedná se o jedno z nejvážnějších onemocnění na světě. [56] Proto je cílem výzkumů umožnit včas rozpoznat toto onemocnění (tj. vyvíjet nové, citlivé diagnostické systémy) a úspěšně ho léčit.

Konkrétní nanotechnologické využití v léčbě rakoviny je např. aplikace křemíkových kuliček o rozměru 110 nm, potažených 10 nm vrstvičkou zlata k likvidaci nádorů pomocí lokálního ohřevu.

Postup léčby je následující: Protilátky, které se mohou uchytit pouze na nádorových buňkách, se naváží na povrch nanokuliček. Díky tomu jsou nanokuličky schopné samy se orientovat na cíl. Nanokuličky se tedy vpraví k nádoru a poté jsou ozářeny laserovým paprskem (o vlnové délce z oblasti blízké infračervené části spektra). Tím dochází k jejich prudkému ohřátí (na teplotu 55°C) a následnému zničení nádorových buněk uvolněným teplem. Zlaté nanokuličky se zatím testují pouze laboratorně (*in vitro* na lidských nádorových buňkách a *in vivo* na myších, kterým byl uměle voperován nádor). Je možné, vzhledem k pozitivním výsledkům, že by v budoucnu mohly být používány k léčbě nádorových onemocnění člověka. [57] Ukázka zlaté nanokuličky je na obr. 29.



Obr. 29.: Zlatá nanokulička s povrchem modifikovaným protilátkou. [59]

4.3.3 KOVOVÉ „NANOSVALY“

Z miniaturních částíček platiny lze pomocí nanotechnologie vyrobit vysoce výkonné kovové „nanosvaly“. Jejich účinek spočívá na základě vložení malého elektrického náboje (pouze několik voltů), který ohýbá platinový drátek, zkonstruovaný sendvičovým skládáním platinových atomů. Platinový nanosval má hmotnost pouhý jeden gram, i přesto může zvedat až 140 gramů! Navíc pracuje naprosto nehlukně a hladce. Nanosvaly by se daly využít nejen v lékařství, umožňující náhradu poškozených svalů a orgánů (už se objevily první praktické možnosti jejich využití jako penilní náhrady pro muže, kteří nejsou schopni erekce), ale i v mnoha dalších oborech, například u elektronických přístrojů, hraček či videokamer. Díky svým miniaturním rozměrům, malé hmotnosti a schopnosti vyvíjet velké množství energie by mohly najít uplatnění i v robotice. [60]

5. STOMATOLOGICKÉ KOVOVÉ MATERIÁLY

5.1 HISTORIE A SOUČASNOST

Historicky nejstarší kovový materiál používaný v souvislosti s náhradami nebo ošetřením zubů, je zlato, které je známo již několik tisíciletí. I přesto byla po staletí nejvíce používaným materiálem pro řešení stomatologických problémů ocel a to ve formě kleští, pomocí nichž byly zuby extrahovány. Náhrady chrupu vytvořené z různých materiálů, počínaje dřevem, přes hroší a lidské zuby, až po zlato se objevují na počátku novověku.

Na konci devatenáctého století se do stadia patentové ochrany dostala řešení, která jsou užívána i v současnosti. Jedná se např. o patent na zlatou korunku (1873) nebo platinovou korunku pokrytou porcelánem (1885). Ve stejné době proběhl také základní metalurgický výzkum materiálu pro dentální amalgám a byl položen základ všem jeho pozdějším variantám. [61]

V současné stomatologii se využívají různé kovy a jejich slitiny. Masově využívaným materiálem na kovové bázi je právě zmiňovaný dentální amalgám. Protetika využívá především zlato a jeho slitiny, titan a jeho slitiny, slitiny niklu a kobaltu. Podobně jako v chirurgii se v ortodoncii uplatňují korozivzdorné oceli. V současnosti se prosazuje hlavně titan, který má uplatnění zejména v implantologii.

5.2 DENTÁLNÍ AMALGÁM

Dentální amalgámy se dlouhodobě používají jako výplň kavit po odstranění zubního kazu. Amalgámy obsahují přibližně 50% rtuti, až 35% stříbra, 15% mědi a 15% cínu (poměr jednotlivých prvků závisí na konkrétním materiálu). Ke konci devatenáctého století bylo využíváno poměrně široké spektrum slitin (stříbrný amalgám, zlatý amalgám). [62] Výzkum slitin AgSnCu a jejich amalgámů byl realizován na přelomu 19. a 20. století. Rok 1963 je významným mezníkem, kdy byl prášek slitiny klasického amalgámu pozměněn přidávkou lobulárních částic eutektika AgCu. [63] Touto úpravou došlo nejen ke změně vlastností, ale vzniklý materiál se liší i fázovým složením. Tak byl dán základ současným amalgámům s vyšším obsahem Cu. Další vývoj se soustředil na úpravu složení vedoucí ke snížení rychlosti uvolňování rtuti. Při styku s ústním prostředím se elektrochemicky projevují zejména cín a měď. [64]



Obr. 30.: Amalgámová výplň [65]

Kvalitní výplň z amalgámu je mechanicky odolná a trvanlivá. Amalgám se dobře zpracovává, je velmi pevný, má antibakteriální účinky a při tuhnutí v kavitě se mírně rozpíná, čímž utěsní její okraje a zabrání průniku bakterií zubního kazu. V případě rozsáhlých poškození zubů, nelze zvolit jiného výplňového materiálu než amalgám, neboť jedině ten je na rozsáhlé opravy zubů dostatečně pevný. Další možnou variantou v takovém případě je mnohem nákladnější zubní náhrada v podobě tzv. inleje nebo zubní korunky.

Amalgám je především vhodný tam, kde jiné výplňové materiály selhávají – při nutnosti rozsáhlých výplní a dostaveb zubu a v ústech se zvýšenou kazivostí zubů nebo s nedostatečnou zubní hygienou.

Nevýhodou amalgámů je zejména jeho kovový vzhled a při rozsáhlých výplních zbarvení zubů do tmavošeda. Jako každý kov podléhá korozi, v důsledku čehož se zhoršuje kvalita jeho povrchu a těsnící funkce amalgámové výplně. (obr. 30) [65]

5.3 ZLATO A JEHO SLITINY

Zlato a jeho slitiny jsou podle ISO norem rozděleny do dvou skupin – na ušlechtilé slitiny s minimálním obsahem 75% zlata a platinových kovů [65] a poloušlechtilé slitiny obsahující 25 - 75% zlata a platinových kovů. [66] Zlato bylo prvním kovem, jež se v dávnověku používalo k opravám chrupu. Jeho vlastnosti, jež byly po staletí prověřovány, se ukázaly jako vhodné. Pro vylepšení některých nežádoucích vlastností zlata, zejména pro velkou měkkost, byly postupně vyvinuty speciální dentální zlaté slitiny, které dnes mají díky tradici uplatnění v moderním zubním lékařství. Ukázka konstrukce můstku ze zlaté slitiny je na obr. 31.

Rozlišujeme:

- Zlaté slitiny určené pro překrytí (odborně fasetování) dentálními plasty. Tyto drahokovové slitiny jsou složeny v průměru z 50% zlata, 20% stříbra, 12% mědi a určitého množství paladia
- Zlaté slitiny určené pro napalování dentální keramiky, které by měly být odolné vůči vysokým teplotám, jsou složeny z 70 – 80% zlata, 11 - 18% platiny a malého množství paladia a zinku

Slitiny s vysokým obsahem zlata mají výhodu, že nevyvolávají alergické reakce. Nevýhodou je nemalá cena a poměrně velká hmotnost. [67]



Obr. 31.: Konstrukce můstku ze zlaté slitiny [67]

5.4 KOBALT

V roce 1922 se objevily materiály na bázi kobaltu jako levnější alternativa slitin zlata. Avšak problémy s dostupností kobaltu bránily jejich masovému rozšíření. Rudniny, z nichž se vyrábí kobalt, se nachází jen na několika nalezištích na světě (největší v Africe a na Kubě). V důsledku tohoto problému byla ovlivněna jak cena, tak dostupnost kobaltu. [68] Slitiny na bázi Co se používají pro lékařské aplikace zejména pro své dobré mechanické vlastnosti, vhodnou technologii výroby a zpracovatelnost, korozivzdornost a biokompatibilitu.

Zásadní uplatnění Co - Cr slitiny nachází v oblasti dentálních aplikací a také jako materiál součástí kloubních náhrad. Spolu s chromniklovými patří chromkobaltové slitiny mezi nejvíce využívané slitiny v moderním zubním lékařství. Zejména chromkobaltové slitiny se z technologického i zdravotního hlediska ukázaly jako velmi univerzální a dnes už takřka zcela nahrazují dříve používané slitiny s obsahem stříbra. Chromkobaltové slitiny nevykazují žádné nežádoucí účinky, tudíž je lze v současnosti považovat za jeden z nejlepších dentálních materiálů. Další velkou výhodou je nízká hmotnost a cenová dostupnost, přičemž cena za gram se pohybuje v řádu desítek korun [67].

5.4.1 KOMERČNĚ VYRÁBĚNÉ SLITINY NA BÁZI Co

5.4.1.1 VITALLIUM 2000



Nové Vitallium 2000 tradičně vyráběné společností Austenal je používanou slitinou tohoto druhu, splňující požadavky vyšší úrovně kvality a estetiky. Složení slitiny je navrženo k zachování „legendární síly“ Vitallia. Vitallium 2000 je s důvěrou používáno zubními lékaři jako standardní materiál, zvláště pro částečné snímatelné náhrady. Logo slitiny Vitallium 2000 na obr. 32 a ukázka aplikace na náhradu je na obr. 33.

Obr. 32.: Logo Vitallia 2000 [69]

Výhodné vlastnosti slitiny:

- pevnost v tahu více než 885 MPa poskytuje slitině extrémní odolnost proti porušení lomem;
- mez kluzu nad 600 MPa zabraňuje vzniku trvalé deformace;
- hodnota prodloužení 9% je přibližně srovnatelná jako u zlata;
- nižší tvrdost minimalizuje otěr a obrušování protějšších zubů
- biokompatibilita, žádné alergické reakce;
- hladký povrch si zachovává vysoký lesk a je odolný proti plaku;
- menší a lehčí konstrukce s vyšší životností, estetický design částečné snímatelné náhrady zajišťuje pohodlí a kladné přijetí pacientem [69,70].



Obr. 33.: Aplikace Vitallia 2000 na snímatelné náhrady [70].

5.4.1.2 VITALLIUM 2000 PLUS

Zavedením Vitallia 2000 Plus, Austenal zvýšil standard slitin tohoto druhu na ještě vyšší úroveň. Tato slitina nabízí takové fyzikální a mechanické vlastnosti, které ještě dosud u chromkobaltových slitin nebyly dosaženy. Vitallium 2000 Plus vkládá do přípravy řízené přidávání dusíku, což má za následek nárůst pevnosti v tahu. Společně s dvojnásobným prodloužením, oproti normálnímu Vitalliu, může slitina nabídnout pacientům skutečně výborný náhradní chrup.

Slitina dále nabízí:

- mimořádnou pevnost a odolnost proti lomu, která umožňuje ještě menší, lehčí a jemnější konstrukce;
- možnost dosažení čistšího, hladšího povrchu s odolností proti plaku a to spolu se zachováním vysokého lesku [71].

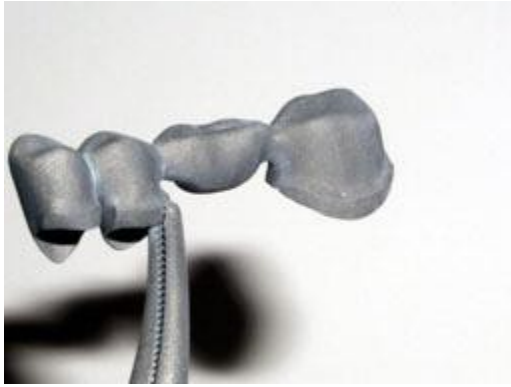
5.4.1.3 ORALIUM

Oralium je chrom - kobaltová dentální slitina českého původu (Safina a. s.) s velmi vysokou pevností. Používá se především v konstrukci snímatelných náhrad. Slitina je charakterizována velmi dobrou korozní odolností a biokompatibilitou. Neobsahuje nikl, ani jiné zdraví škodlivé prvky (Be) [72].

5.4.1.4 ORALIUM Ceramic

Oralium Ceramic je dentální slitina na bázi kobaltu, která má podobné chemické složení a příbuzné vlastnosti jako slitina Oralium. Slitiny se liší v jejich použití, Oralium Ceramic je určena pro kovokeramické práce. Spojení této slitiny s téměř všemi běžnými keramickými materiály i ostatními fazetovacími materiály na bázi plastů a kompozitu je umožněno díky koeficientu tepelné roztažnosti. Neobsahuje alergenní nikl ani toxické beryllium [73].

Vzhled kovové konstrukce můstku před a po nanesení metalokeramiky je zachycen na obr. 34 a 35.



Obr. 34 Kovová (chromkobaltová) konstrukce můstku povrchově upravená pro napalování metalokeramiky [67]



Obr. 35 Hotová korunka z metalokeramiky [67]

5.4.1.5 CoCrMo slitiny *remanium*®

Slitiny *remanium*® jsou vyráběny kontinuálním litím, kde je dosaženo homogenní struktury a optimalizovaných fyzikálních vlastností. Slitiny neobsahují z hlediska medicíny nebezpečné přísady (neobsahují beryllium, galium, indium, kadmium, nikl ani železo). Především nepřítomnost niklu umožňuje aplikaci u pacientů alergických na tuto látku. Slitiny jsou výhodné z hlediska odolnosti vůči prostředí dutiny ústní a šetrnosti ke tkáním [74].

Výrobce, firma Dentaurum uvádí na trh slitiny *remanium*® dle aplikace:

- slitiny *remanium*® pro skeletové náhrady
(*remanium* GM 380+ , *remanium*® GM 800+, *remanium*® GM 900)
- slitiny *remanium*® pro korunky a můstky
(*remanium*® star, *remanium*® 2000+, *remanium*® 2001)

5.4.1.5.1 Slitiny *remanium*® pro skeletové náhrady

Mechanické vlastnosti těchto slitin umožňují jemné, tuhé a pružné konstrukce odolné proti lomu. Vysoké hodnoty modulu pružnosti zajišťují především stabilitu konstrukcí. Hodnoty pevností jednotlivých slitin splňují požadavky různých konstrukcí náhrad. Díky tomu jsou slitiny univerzálně použitelné v celém rozsahu skeletových náhrad a kombinované techniky (viz. obr. 3)

Dentálně - technické vlastnosti slitin:

- vysoké elastické parametry (pružnost) při zachování vysoké tvrdosti, tzv. aktivovatelnost (vysoké hodnoty tažnosti);
- po tavení následuje tzv. lití v momentě zrcadlení (zamezení přehřívání);
- opracování a leštění (vysokého lesku dosahováno pomocí elektrolytického leštění);
- vynikající možnosti svařování laserem (LOM = „Laser Optimized Material“) [74].



Obr. 36.: Využití slitin *remanium*® pro samostatné korunky a můstky, samostatné skeletové náhrady nebo kombinované práce [74]

5.4.1.5.2 Slitiny *remanium*® pro korunky a můstky

Slitiny *remanium*® pro korunky a můstky slouží jako napalovací slitiny, tedy slitiny pod keramiku. Vysoká odolnost proti korozi je srovnatelná jako u slitin s obsahem zlata. Při přípravě je tavenina řídká, čistá a plynule tekutá bez bublin, což snižuje možnost výskytu dutin v odlitku. Nízký koeficient tepelné roztažnosti slitiny umožňuje vysoce pevné spojení s dále nanášenou napalovací keramikou. V souvislosti s napalováním je další vhodnou vlastností slitiny její vyšší tepelná stabilita. Dosáhnout vyšší efektivity a menší náročnosti prováděných prací usnadňují nižší hodnoty tvrdosti. V neposlední řadě je velmi důležitý estetický vzhled. Konečný produkt má perfektní estetickou podobu splňující nejvyšší nároky, díky vynikajícím vlastnostem pro fazetování. Možné příklady využití slitin pro korunky a můstky jsou znázorněny rovněž na obr. 36.

Pro slitiny remanium® pro korunky a můstky jsou charakteristické vlastnosti:

- slitiny s nižšími hodnotami tvrdosti přináší extrémně dobrou opracovatelnost (frézování, leštění), vynikající schopnost svařování laserem umožněná minimálním obsahem uhlíku;
- výborné tavení a tečení materiálu umožňuje vyšší efektivitu pracovního procesu;
- slitiny jsou vhodné jak k vysokofrekvenčnímu odlévání, tak i pro tavení v neutrální zóně plamene (při tavení neprská);
- přijatelné ekonomické nároky spojené s dobrou biologickou snášenlivostí;
- použitelnost zcela univerzální (korunky a můstky, dvouplášťové korunky, suprakonstrukce na implantátech, adhezivní můstky, sekundární části skeletových náhrad - kombinované práce) [74].

5.5 TITAN

Titan se jako biomateriál pro medicínské a dentální náhrady začal používat od druhé poloviny 60. let minulého století ve formě technicky (komerčně) čistého titanu cpTi nebo titanových slitin. V současnosti je Ti upřednostňován pro tyto aplikace před ostatními materiály, jako jsou slitiny nerezavějících ocelí a kobaltové slitiny. Výsadního postavení získal Ti především díky své vynikající biokompatibilitě. Prvotního zájmu se těšily především slitiny Ti, přičemž snahou bylo využít jejich vysoké pevnosti. Typickým představitelem materiálu této generace je slitina Ti-6Al-4V. Technicky čistý Ti je stále upřednostňovaným materiálem dentálních aplikací. (obr. 37). Požadavkem jeho vývoje je zachování nízké hodnoty modulu pružnosti a další zvýšení mechanických vlastností s použitím pouze biologicky vhodných prvků. [75].



Obr. 37Přehled různých konstrukčních řešení dentálních implantátů:

a) základní kuželový tvar a proměnné tvarování závitu zaručuje vynikající stabilitu implantátu, b) různý úhel sklonu abutmentu (horní část implantátu určená k fixaci protetické práce) pro přesné umístění korunky (náhrady) [76], c) fixace abutmentu šroubem [77]

ZÁVĚR

Anorganické materiály mají v medicíně nezastupitelnou úlohu. Poslouží tam, kde je třeba nahradit poškozené a chybějící části těla, provést korekci vrozených či patologických deformací a traumatických poškození. Pro tyto účely je k dispozici široká škála materiálů, přičemž největší a nejvíce využívanou skupinou jsou kovové materiály. Biomateriály uplatňující se především v chirurgii, ortopedii, jakožto skeletální náhrady, náhrady kloubů a srdečních chlopní, mají v dnešní době velmi široké využití, zejména u lidí v pokročilejším věku, kteří mají klouby již opotřebované nebo také u sportovců, kteří své klouby namáhají. V dentální chirurgii jsou biomateriály také nepostradatelné, ať už k výrobě zubních korunek a můstků nebo jako amalgámová výplň, lidově řečeno plomba, kterou z nás určitě každý zná

Velký pokrok zaznamenaly materiály využívané v nanomedicíně, zejména se velká pozornost věnuje nanokuličkám uplatňovaným v diagnostice a terapii rakoviny.

Problematika studia biomateriálů je velmi zajímavá. Uplatnění nejmodernějších technologií přináší další zvýšení popularity a není tedy překvapením, že biomateriály tvoří vysoce perspektivní skupinu materiálů s jistou budoucností.

LITERATURA

- [1] www.strojnilyceum.wz.cz/maturita/tep/tep3.pdf
- [2] S. Katuščák, Environmentálna kvalita materiálov a výrobkov, EL&T, s. r. o., Bratislava, 2002, ISBN 80-88812-18-6 Dostupné z: www.e-wpp.com/download/doc/enviro_ver06.doc
- [3] Karel Urban, Zdeněk Strnad: Bioaktivní sklokeramika nahrazující kost: neživé náhrady srůstající s živou tkání. Vesmír. 79, 2000, 130. Dostupné z: www.cts.cuni.cz/vesmir
- [4] Vladimír Šída, Materiály pro biomedicínské aplikace, [cit. 2002 – 07 - 15] Dostupné z: http://technik.ihned.cz/c4-10015300-11264460-800000_d-materialy-pro-biomedicinske-aplikace
- [5] DkImages/discover/health and beauty. [cit. 2010 – 05 - 05] Dostupné z: <http://www.dkimages.com/discover/home/health-and-beauty/human-body/Skeletal-System/Skull/Teeth/index.html>
- [6] Applications of Shape Memory Alloys in the medical field. [cit. 2010 - 05 - 05] dostupný z: <http://www.keytometals.com/page.aspx?ID=CheckArticle&site=ktn&NM=212>
- [7] Jaroslav Koutský, Biomateriály, 9, Fakulta strojní, Vydavatelství Západočeské univerzity, 1997
- [8] S. Ramakrishna, Zheng - Ming Juang, G., V. Kumar, A., W. Batchelor, J. Mayer: An Introduction to Biocomposites, Dostupné z: www.fbmi.cvut.cz/e/biomaterialy/157.doc
- [9] Bohumil Kratochvíl, Václav Švorčík, Dalibor Vojtěch, Úvod do studia materiálů, 49, vydání 1, VŠCHT Praha, 2005
- [10] <http://www.endoimplant.cz/kycel.htm>
- [11] www.sulzer.orthopedics.cz
- [12] Bohumil Kratochvíl, Václav Švorčík, Dalibor Vojtěch: Úvod do studia materiálů. 1.vyd., Vysoká škola chemicko - technologická v Praze, Praha 2005, 111
- [13] Z. Weiss, Nanostruktura fullerenů, fulleritů a fulleridů, Chemické listy 98, 2004, 487

- [14] Peter Morgan, Carbon fibers and their composites, Boca Raton, Florida: Taylor & Francis Group, 2005.
- [15] Karel Daďourek, Uhlík a jeho modifikace, Nekomové materiály, Technická univerzita v Liberci, 2008 Dostupné z:
http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_magistri/NEkM/NEkM%20Dad/6uhlik.pdf
- [16] <http://web.natur.cuni.cz/ugmnz/mineral/mineral/grafit.html>
- [17] Pierson, H. O. Handbook of Carbon, Graphite, Diamond and Fullerenes: Properties, Processing and Applications. Park Ridge NJ: Noyes Publications, 1993. 419 p. digitální kopie dostupná také z: <http://www.scribd.com/doc/8968836/HOPierson-Handbook-of-Carbon-Graphite-Diamond-and-Fullerenes>
- [18] André Legendre, Uhlíkové materiály: Od černé keramiky k uhlíkovým vláknům. Praha: Informatorium. 2001. 173 s.
- [19] Reynolds, WN. The Physical Properties of Graphite. Elsevier. 1968
- [20] Mathias Schulenburg: Nanotechnologie. Inovace pro zítřejší svět. Lucemburk: Úřad pro úřední tisky Evropských společenství, 2007
- [21] Tasilo Prnka, Karel Šperlink: Bionanotechnologie, Nanobiotechnologie, Nanomedicína. Ostrava: Repronis Ostrava, 2006
- [22] University of Konstanz. Project A7: Deposition of clusters on surface . 2007 [cit. 20.5. 2010]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.unikonstanz.de/FuF/Physik/SFB513/abstracts/A7.html.en>
- [23] Jan Grégr. Povrchové vlastnosti uhlíkových vláken. Říjen 2004, [cit. 2010 – 04 - 10]. Dostupné z:
http://centrum.tul.cz/centrum/centrum/3Aplikace/3.1_zaverecne_zpravy/%5B3.1.09%5D.pdf
- [24] Martin Žáček. Pátá forma uhlíku – nanopěna s feromagnetickými vlastnostmi. Aldebaran bulletin [online]. 2004, roč. 2, č. 5 [cit. 2010 – 04 - 16]. Dostupné z:
http://www.aldebaran.cz/bulletin/2004_25_uhl.html

[25] A. V. Rode, E. G. Gamaly, A. G. Christy, J. G. Fitz Gerald, S. T. Hyde, Ellimans, R. G. Luther-Davies, B., A. I. Veinger, J. Androulakis, J. Giapintzakis, Unconventional magnetism in all - carbon nanofoam. *Physical Review B* [online]. Aug 17, 2004

[cit. 2010 – 04 - 22]. Dostupné z: http://laserspark.anu.edu.au/Pubs/rode_04_unconventional.pdf

[26] M. Hassler, S. Ramboud, C. Real, BioProfile, Bílá kniha: "Lékařské aplikace uhlíkatých materiálů" Dostupné z : <http://www.pyrocarbon.com/material.php>

[27] <http://www.pyrocarbon.com/material.php>

[28] R. Beckenbaugh, J. Klawitter, S. Cook. Dopisy redakci týkající se věstníku chirurgie ruky, díl 3 - A, číslo 1, leden 2006

[29] S. Aisenberg, R. Chabot: Ion - beam deposition of thin films of diamondlike carbon. *J. Appl. Phys.*, 42 (1971), 2953

[30] W. Jacob, W. Moller, *Appl. Phys. Let* 63 (1993), 1771

[31] W. Okrój, M. Kamińska, L. Klimek, W. Szymański, B. Walkowiak: Blood platelets in contact with nanocrystalline diamond surfaces. *Diamond & Related Materials* 15 (2006), 1535

[32] S. E. Rodil, R. Olivares, H. Arzate: Properties of carbon films and their biocompatibility using in - vitro tests. *Diamond and Related Materials* 12 (2003), 931

[33] G. Dearnaley, J. H. Arps: Biomedical applications of diamondlike carbon (DLC) coatings: A review. *Surface & Coatings Technology* 200 (2005), 2518

[34] K. Mitura, P. Niedzielski, G. Bartosz, J. Moll, B. Walkowiak, Z. Pawłowska, P. Louda, M. Kieć-Świerczyńska, S. Mitura: Interactions between carbon coatings and tissue. *Surface & Coatings Technology* 201 (2006), 2117

[35] Li DJ, Cui FZ, Gu HQ. Studies of diamid - like carbon films coated on PMMA by ion beam assisted deposition. *Appl Surf Sci*; 137, 1999, 30

- [36] M. Jelínek, T. Dostálová, C. Fotakis, V. Studnička, L. Jastrabík, V. Havránek, C. Grivas, V. Hnatowicz, J. Kadlec, A. Patentaki, V. Peřina, *Int. J. Laser Physics*, Vol.5, 1996, 143
- [37] Tomáš Kocourek, Miroslav Jelínek: Laserová depozice tenkých vrstev, Dostupné z: http://www.vakspol.cz/lsvt06/kocourek_lsvt06.pdf
- [38] C. Popov, W. Kulish, S. Bliznakov, B. Mednikarov, G. Spasov, J. Pirov, M. Jelínek, T. Kocourek, J. Zemek, *Appl. Phys. A* 89, 2007, 209
- [39] www.prospon.cz
- [40] M. Jelínek, J. Podlaha, T. Kocourek, V. Žížková, 4th European Biomedical Conference, Antwerpy 2008. Proc. In print
- [41] T. Kocourek, M. Jelínek, V. Vorlíček, J. Zemek, T. Janča, V. Žížková, J. Podlaha, C. Popov, *Appl. Phys.*, 2007, A – DOI 10.1 – 4728 - 3
- [42] T. Dostálová, M. Jelínek, L. Himmlová, C. Grivas, *Proc. SPIE Vol.359*, 1999, 81
- [43] T. Grafe, K. Graham, „Polymeric Nanofibers and Nanofiber Webs: A New Class of Nanowovens“, *INTC 2002 – Int. Nanowovens Technical Conf.*, Atlanta, GA, Sept. 2002.
- [44] www.donaldson.com
- [45] www.nanospider.cz
- [46] S. Iijima, „Helical Mikrotubules of Graphite Carbon“, *Nature*, 354, 1991, 56.
- [47] Nano - C [online]. Westwood: Nano - C, c2001 - 2006 [cit. 2008 – 03 - 13]. Dostupné z: <http://www.nano-c.com>
- [48] Davis J. J. et al „The Immobilisation of Proteins in Carbon Nanotubes“, *Inorganica Chimica Acta*, 272, 1998, 261
- [49] Chen R. J. et al „Noncovalent Functionalization of Carbon Nanotubes for Highly Specific Electronic Biosensors“, *PNAS*, 100, 2003, 4984
- [50] Gooding J.J. et al: „Protein Chemistry Using Aligned Carbon Nanotube Array“, *J. Am. Chem. Soc.*, 125, 2003, 9006

- [51] Li J. et al „Carbon Nanotube Nanoelectrode Array for Ultrasensitive DNA Detection“, Nano Lett., 3, 2003, 597
- [52] Baughman R. H. et al „Carbon Nanotube Actuator“, Science, 284, 1999, 1340
- [53] Mattson M. P. et al „Molecular Functionalization of Carbon Nanotubes and Use as Substrates for Neuronal Growth“, J. Molecular Neuroscience“, 14, 2000, 175
- [54] Kam N. W. S. „Carbon Nanotubes as Multifunctional Biological Transporters and Near-infrared Agents for Selective Cancer Cell Destruction“, PNAS, 102, 2005, 11600
- [55] Bachilo S.M. et al „Structure - assigned Optical Spectra of Single Carbon Nanotubes“, Science, 298, 2002. 2361. O'Connell M.J. et al „ Band Gap Fluorescence from Individual Single - walled Carbon Nanotubes“, Science, 297, 2002, 593
- [56] www.nanotechnologie.cz.
- [57] R. Kubínek a V. Stránská, Úvod do problematiky nanotechnologií. [Citace: 15. Červenec 2008.] Dostupné z: <http://exfyz.upol.cz/didaktika/oprlz/nanotechnologie.pdf>
- [58] T. Prnka, K. Šterlink: Bionanotechnologie, Nanobiotechnologie, Nanomedicína. Repronis, Ostrava 2006.
- [59] R. Kubínek, Nanotechnologie a jejich aplikace [Citace: 13. Prosinec 2010.] Dostupné z: http://fyzika.upol.cz/cs/system/files/download/vujtek/granty/nano_aplikace.pdf
- [60] P. Přeučil, Platinové svaly pro supermana. 21. STOLETÍ: Revue objevů, vědy, techniky a lidí. 18. Srpen 2003. [Citace: 18. Červenec 2008.] Dostupné z: <http://www.21stoleti.cz/view.php?cisloclanku=2003081822>
- [61] W. V. Youdelis: J. Esthet. Dent. 4, 61 (1992)
- [62] L. Novák, V. Půža, M. Červinka, J. Kolářová, Česká stomatologie 96,80 (1996)
- [63] D.B.K. Innes, W. V. Youdelis: J. Can. Dent. Assoc. 29, 587 (1963)
- [64] ČSN EN ISO 1562, Dentální zlaté slitiny slévárenské

- [65] David Mondok, Zubní kaz a výplně, StomaTip 2/2004 Dostupné z: <http://www.i-zuby.cz/zubni-kaz-a-vyplne/amalgam---nejsledovanejsi-kauza-dentalniho-sveta/>
- [66] ČSN EN ISO 8891, Dentální slitiny slévárenské s obsahem ušlechtilých kovů od 25% do méně než 75%
- [67] David Mondok, Zubní náhrady, StomaTip 4/2004 Dostupné z: <http://www.i-zuby.cz/zubni-nahrady/kov-pro-vase-nove-zuby/>
- [68] ČSN EN ISO 6871 - 1, Dentální neušlechtilé slitiny slévárenské - Část 1: Kobaltové slitiny
- [69] Zen's Dental Lab. [online]. [cit. 2010 – 05 - 05]. Dostupné z: <http://www.zensdentallab.com/Vitallium2000.htm>
- [70] Vitallium 2000. [online]. [cit. 2010 – 01 - 05]. Dostupné z: austenal.dentsply.com/vit_2000.shtml
- [71] Vitallium 2000 Plus. [online]. [cit. 2010 – 01 - 05]. Dostupné z: austenal.dentsply.com/vit_2000plus.shtml
- [72] Oralium. [online]. [cit. 2010 – 05 - 05]. Dostupné z: <http://www.safina.cz/Download/Oralium%20CJ%2013.pdf>
- [73] Oralium Ceramic. [online]. [cit. 2010 – 05 - 05]. Dostupné z: <http://www.safina.cz/Download/Oralium%20Ceramic%20CJ%2014.pdf>
- [74] Dentaforum: Zubní technika. [online]. Katalog 2005 [cit. 2010 – 05 - 05]. Dostupné z: www.rodpraha.cz/download.asp?id=2
- [75] J. Petruželka, L. Dluhoš, D. Hrušák, J. Sochová, Nanostrukturní titan - nový materiál pro dentální implantáty. Čes. Stomat., roč. 106, 2006, č. 3, 72
- [76] BEGO, Products. [online]. [cit. 2010 – 05 - 05]. Dostupné z: <http://www.bego-implantology.com/22.0.html?&L=2>
- [77] Straumann, Monotype implantát s 8° kónusem. [online]. [cit. 2010 – 05 - 05]. Dostupné z: <http://www.straumann.cz/produkty-a-sluzby/chirurgie/implantaty/>