



 Anyagtudomány és Technológia Tanszék 
M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

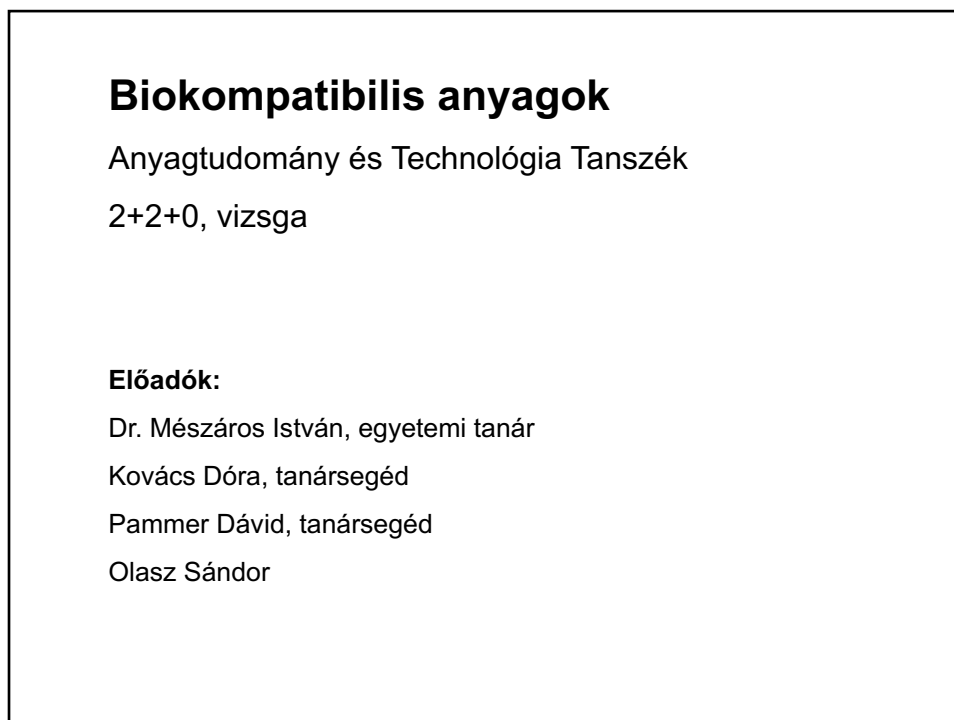
Biokompatibilis anyagok

BMEGEMT MVV1

Dr. Mészáros István Attila
meszaros.istvan.attila@gpk.bme.hu

1

1



Biokompatibilis anyagok

Anyagtudomány és Technológia Tanszék
2+2+0, vizsga

Előadók:
Dr. Mészáros István, egyetemi tanár
Kovács Dóra, tanársegéd
Pammer Dávid, tanársegéd
Olasz Sándor

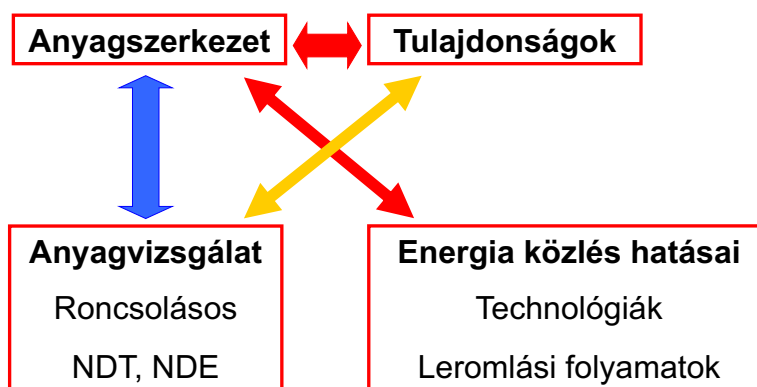
2

Hét	Dátum	Előadás/Labor	Elő
1	09/04	Bevezetés, biokompatibilitás Traumatológiai és ortopédiai implantátumok típusai, problémái	MI 1
2	09/11	Orvostechnikai implantátum és fogászati ötvözetek. Labor: Szakítóvizsgálat (L1)	MI 2
3	09/18	Implantátumok esetén alkalmazott felületmódosító és bevonatoló eljárások Labor: Szilárdságnövelés (L2)	MI 3
4	09/25	Ortopédiai, traumatológiai implantátumok Labor: Szakítóvizsgálat (L1)	OS 1
5	10/02	Orvostechnikai eszközök minőségirányítása, termékengedélyeztetés Labor: Szilárdságnövelés (L2)	OS 2
6	10/09	Endovaskuláris implantátumok. Szentek, áramlásmódosítók típusai, anyagai, gyártástechnológiái Labor: Keménységmérés és állapoténevezők (L1)	KD1
7	10/16	Szívgyógyászati eszközök. Kerámiák. Alaklélező ötvözetek. Labor: Keménységmérés és állapoténevezők (L2)	KD2
8	10/23	Unneptnap	
9	10/30	Fogászati implantátumok Implantátumok méretezési és tervezési szempontjai Labor: Mikroszkópia (L1)	PD 1
10	11/06	Hagyományos és additív gyártástechnológiák Labor: Mikroszkópia (L2)	PD 2
11	11/13	Oszteoszintézis eszközei. Csontpótló anyagok.	KD3
12	11/20	Leromlási folyamatok, implantátum károsodások	KD4
13	11/27	Felület vizsgálati eljárások Szuper-paramágneses anyagok orvostechnikai alkalmazásai	MI 4
14	12/04	Orvostechnikai érdekességek, fejlesztések és anyagaik. Anyagválasztás orvostechnikai eszközökhöz.	KD5

3

3

Anyagtudomány meghatározása, felépítése

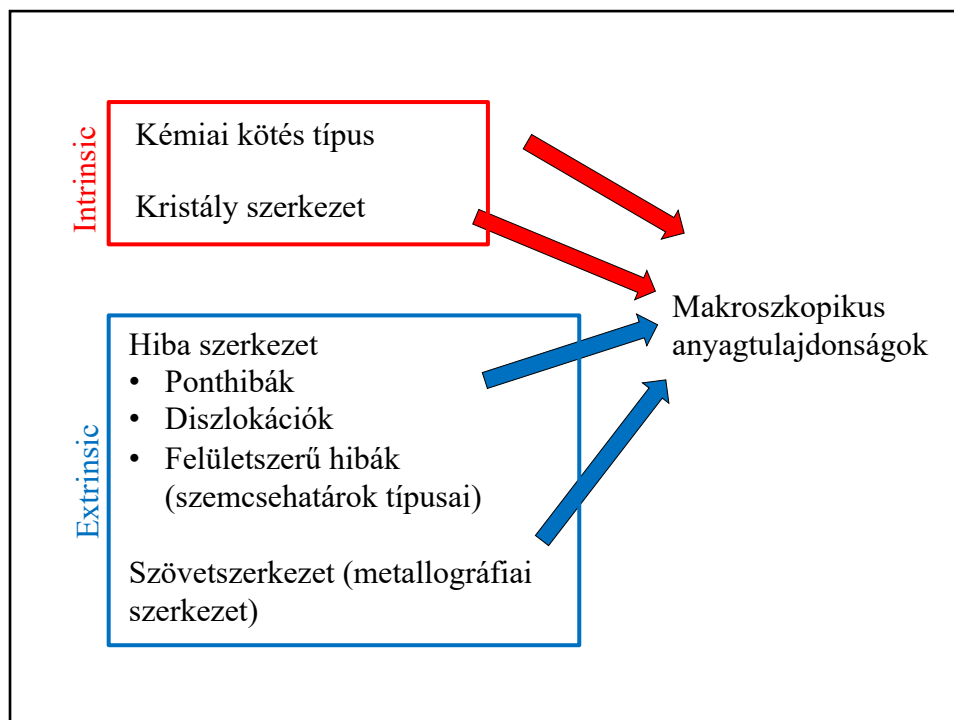


4

Anyagtulajdonságok

- Mechanikai
 - Elektromos
 - Hőfizikai
 - Mágneses
 - Optikai
 - Korróziós
 - Radiológiai
 - ...
- **Intrinsic („szerkezet érzéketlen”, szövet- és hibaszerkezettől független)**
 - **Extrinsic („szerkezet érzékeny”, szövet- és hibaszerkezettől függő)**

5



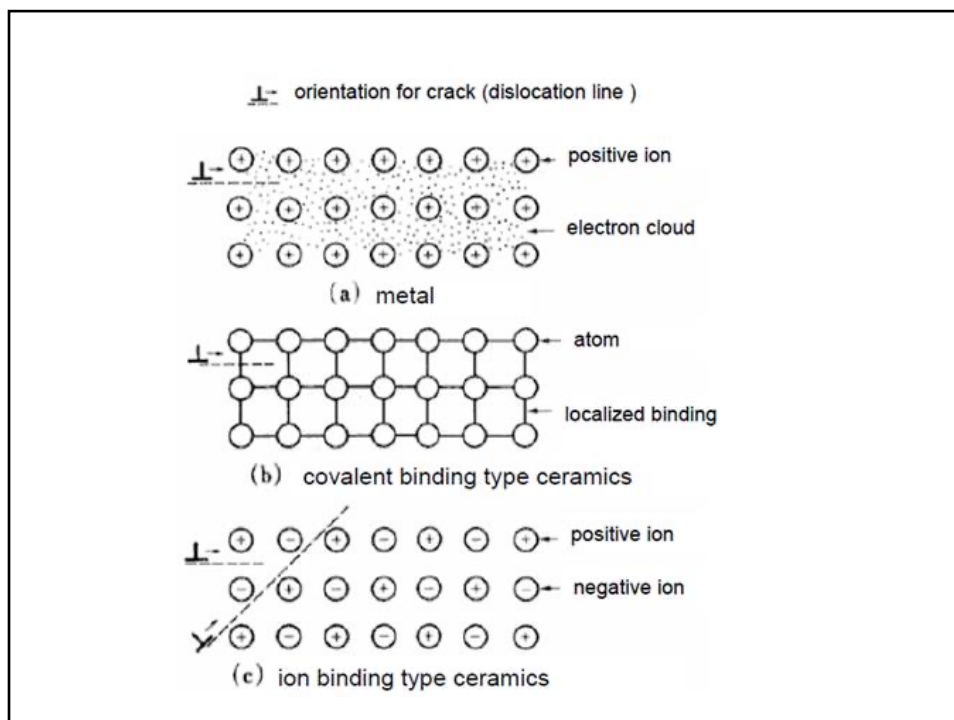
6

Kötéstípusok és tulajdonságok

Elsődleges (erős)

Másodlagos (gyenge) kötések

7



8

Kötési energia

Fémes kötés:	200-400 kJ/mol
Ionos kötés:	400-1200 kJ/mol
Kovalens kötés:	160-1500 kJ/mol
Másodlagos kötések: (Van der Waals)	4-40 kJ/mol

Kötési energia - Tulajdonságok

Olvadáspont
 Rugalmassági modulusz
 Hőtágulási együttható
 Kúszási hőmérséklet
 ...

9

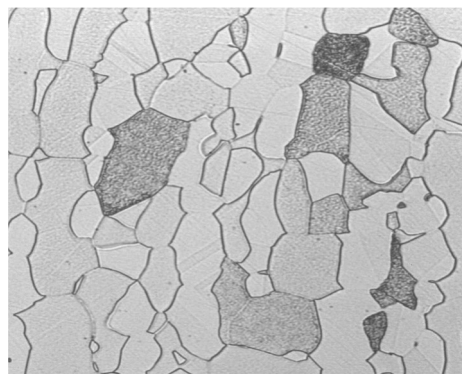
Amorf

Egykristályos

Polikristályos

Rácsállandó: 0,3-0,5 nm

Szemcseméret: 0,1 mm

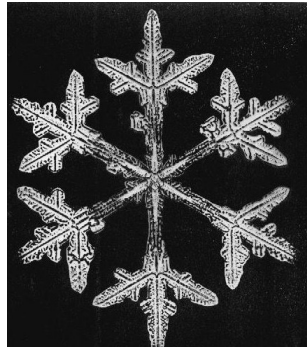


10

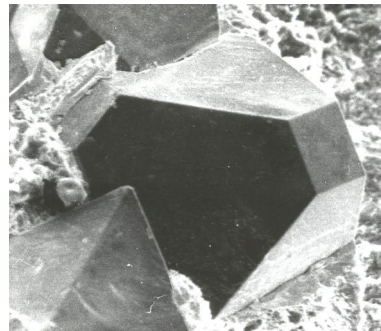
Kristályos szerkezetű anyagok

Rácspontok, ideális rend, periodikus szerkezet
 Rendezettség az atomok között \Rightarrow tulajdonságok
 Szimmetria, síklapok, hasadás, anizotrópia

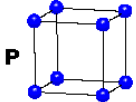
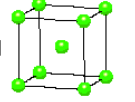
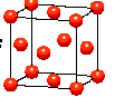
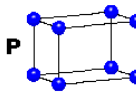
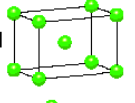
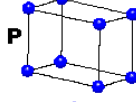
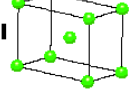
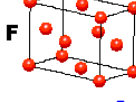
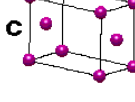
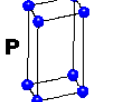
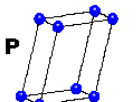
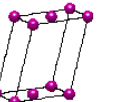
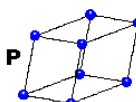
Hatszöges, hópehely



Mesterséges gyémánt BME ATT



11

<p>CUBIC $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$</p>	<p>P </p> <p>I </p> <p>F </p>
<p>TETRAGONAL $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$</p>	<p>P </p> <p>I </p>
<p>ORTHORHOMBIC $a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$</p>	<p>P </p> <p>I </p> <p>F </p> <p>C </p>
<p>HEXAGONAL $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$</p>	<p>P </p>
<p>MONOCLINIC $a \neq b \neq c$ $\alpha = \gamma = 90^\circ$ $\beta \neq 120^\circ$</p>	<p>P </p> <p>C </p>
<p>TRICLINIC $a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$</p>	<p>P </p>

4 Types of Unit Cell
 P = Primitive
 I = Body-Centred
 F = Face-Centred
 C = Side-Centred
 +
 7 Crystal Classes
 \rightarrow 14 Bravais Lattices

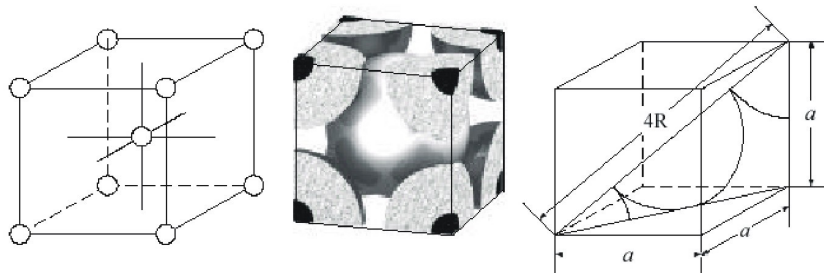
12

Anyagtulajdonságok

- Mechanikai
 - Elektromos
 - Hőfizikai
 - Mágneses
 - Optikai
 - Korroziós
 - Radiológiai
 - ...
- **Intrinsic** („szerkezet érzéketlen”, szövet- és hibaszerkezettől független). **Kizárólag a kémiai összetétel és a kristályrács határozza meg.**
 - **Extrinsic** („szerkezet érzékeny”, szövet- és hibaszerkezettől függő)

13

Térben középpontos köbös

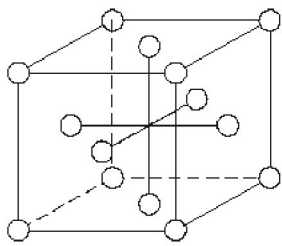


Rácstípus	a) Fémek	Koord. szám	b) Atomátmérő	Atomok száma	Térkitöltés	c) Legnagyobb üres rácshely	Legszorosabb illeszkedések
TKK	Na, K, Cr, Mo, W, β Ti, α Fe	8	$\frac{\sqrt{3}}{2}a$	2	0,68	$0,252a$ $\frac{1}{2} \frac{1}{4} 0$

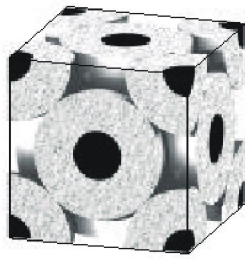
Kismértékű alakíthatóság, oxidációs hajlam, viszonylag kis vezetőképesség, rideg-képlékeny átmenet, kifáradási határ, alakítási ikrek képződésére hajlamos

14

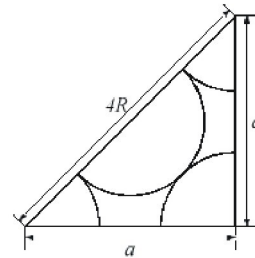
Felületen középpontos köbös



a)



b)



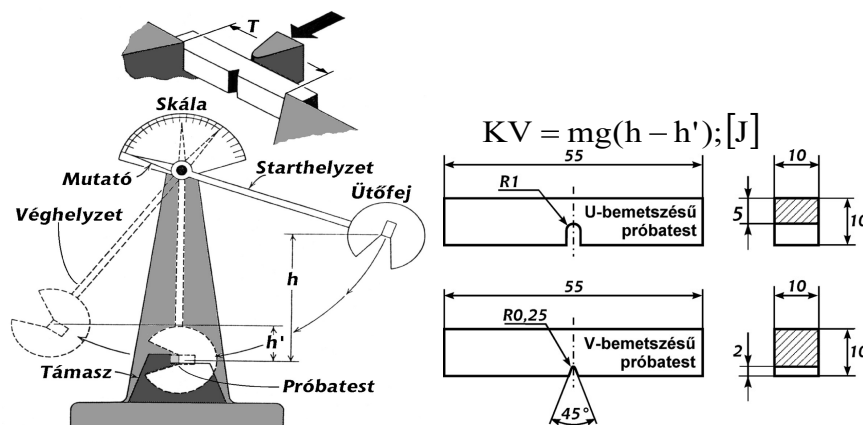
c)

Rácstípus	Fémek	Koord. szám	Atomátmérő	Atomok száma	Térkitöltés	Legnagyobb üres rácshely	Legszorosabb illeszkedések
FKK	Cu, Au, Ag, Pb, Ni, Pt, γ Fe	12	$\frac{\sqrt{2}}{2} a$	4	0,74 Maximális!	0,293 a $\frac{1}{2} 0 0$ $\frac{1}{2} \frac{1}{2} \frac{1}{2}$	{111} <110>

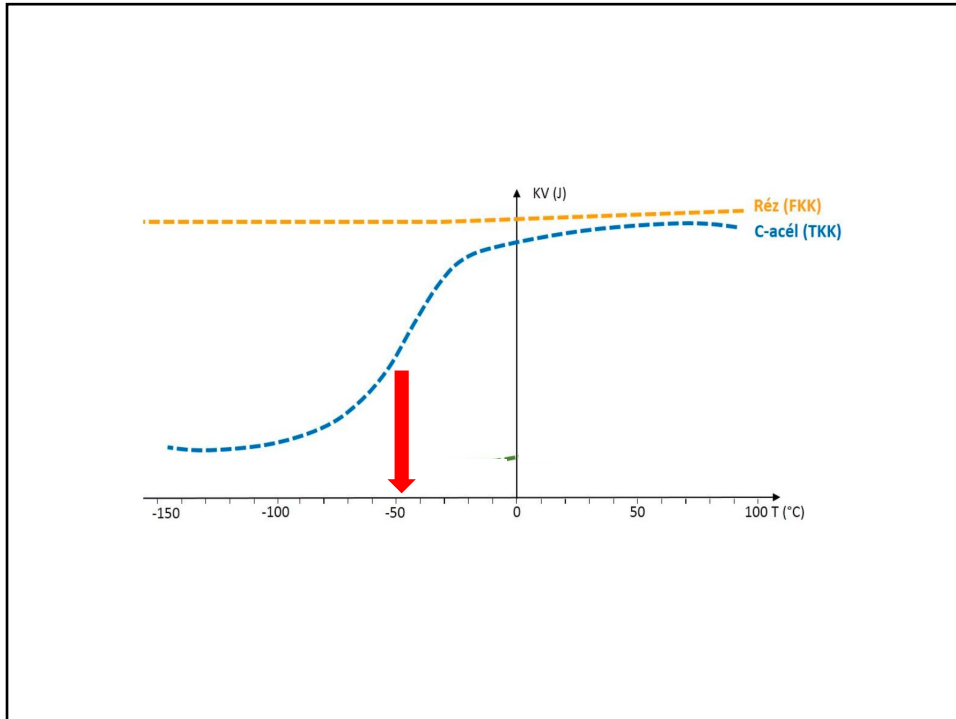
Jól alakítható, kémiaiilag stabil, jó hő- és elektromos vezető, újrakristályosodási ikrek képződésére hajlamos (az alakítás nem hoz létre ikreket az FKK-ban)

15

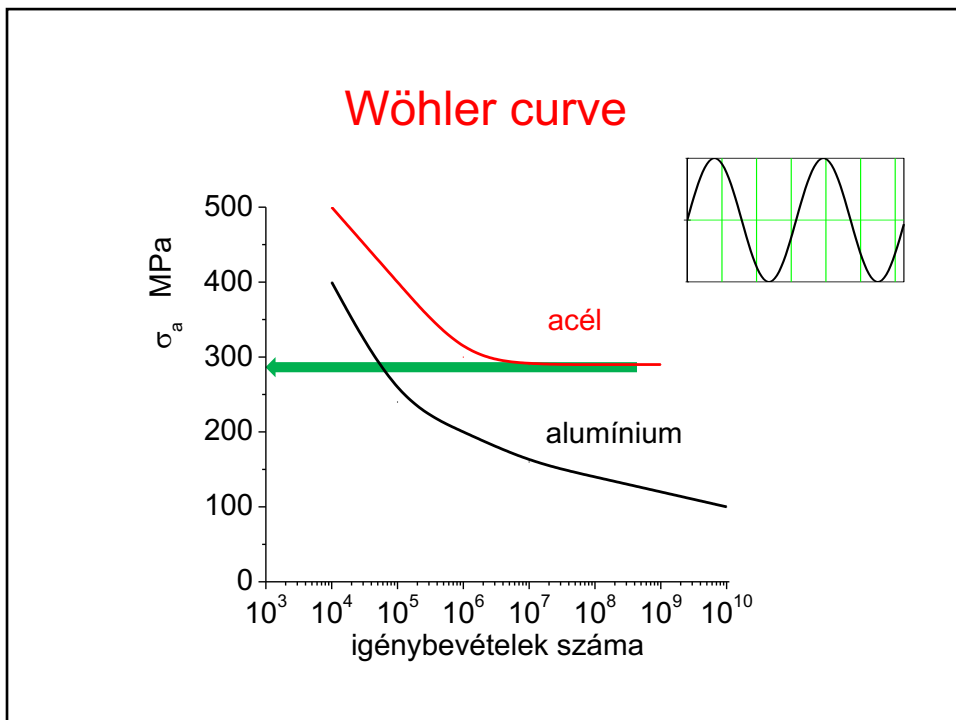
Charpy-féle ütőmunka vizsgálat



16



17

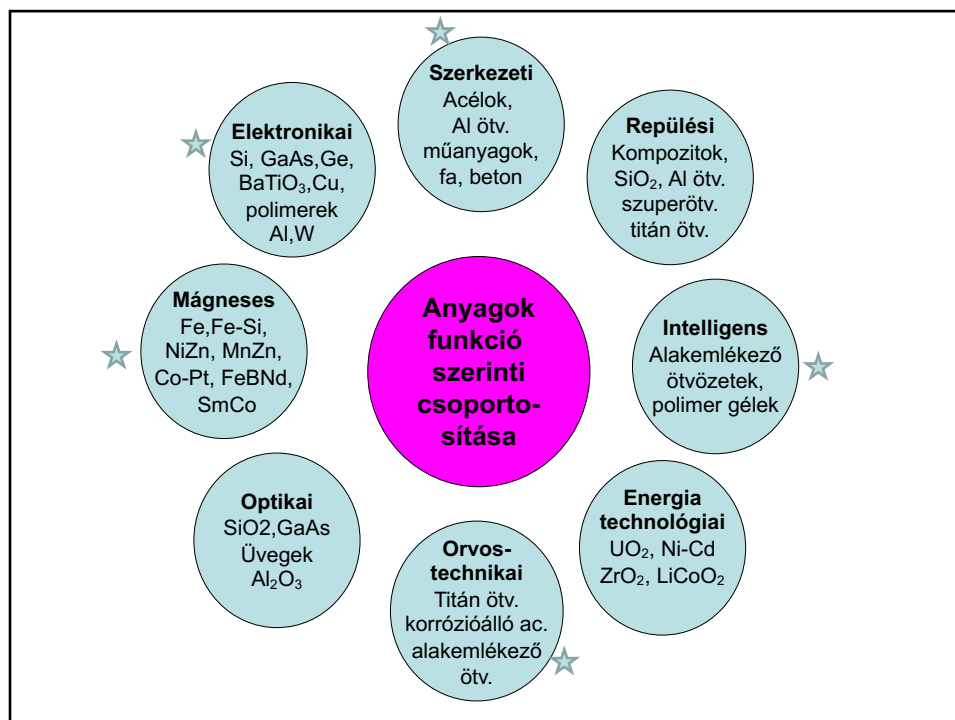


18

Anyagok csoportosítása, anyagtypusok szerint

- Fémek és ötvözetek
- Kerámiák és üvegek
- Polimerek
- Kompozitok (MMC, CMC)

19



20

Idegen anyagok és testnedvek kölsönhatásai, a biokompatibitás problémaköre

21

Biofunktionalitás és biokompatibilitás

Biofunktionalitás alatt azon tulajdonság együttest értjük amely meghatározza, hogy az adott anyag **képes-e betölteni a neki szánt funkciót**, azaz pl. rendelkezik-e a megfelelő mechanikai, mágneses vagy egyéb tulajdonságokkal.

A biokompatibilitás azt fejezi ki, hogy a szervezetbe épített **anyag képes-e hosszú időn keresztül ellátni a funkcióját**, azaz megőrzi-e és milyen mértékben az eredeti -a biofunktionalitáshoz szükséges- tulajdonságait a használat során és eközben milyen hatást gyakorol a szervezet szöveteire. A biofunktionalitás és a biokompatibilitás együttesen határozzák meg az orvosi és fogászati gyakorlat anyagokra vonatkozó **kiválasztási kritériumokat**.

22

Biokompatibilitás

A szervezet minden a szöveteivel kapcsolatba kerülő idegen anyaggal elkerülhetetlenül **kölcsönhatásba lép**. A bioanyag, felületén érintkezik a test szilárd és folyadék halmazállapotú közegeivel, amelyek **kémiailag és biológiailag aktívak** és gyakran a beépített anyag gyors **leromlását** eredményezik. Figyelembe kell azonban venni azt is, hogy a bioanyagok a szervezet -az implantátumhoz közeli ill. attól távoli- szöveteiben **dúsulásokat** ill. másjellegű -pl. élettani- **elváltozásokat okozhatnak**.

A biokompatibilitás elvei és elemei
Kölcsönhatás teljes hiánya?

Williams-féle: biokompatibilitás def.: az anyag azon képessége, hogy adott alkalmazás esetén megfelelő reakciókat váltson ki a fogadó szövetekből.

23

Néhány példa a napjainkban használatos biokompatibilis anyagokra:

Anyagcsalád	Példák
Tiszta fémek	arany, titán, platina
Ötvözetek	Au-Ag, Au-Cu, Pt-Pd, Pt-Rh Ti-6Al-4V, Ti-Al-Nb Co-Cr-Mo, Co-Cr-Ni Fe-Cr-Ni (auszteniites saválló acélok) 316L Biolan Hg-Ag-Sn (amalgám)
Kerámiák	alumíniumoxid Al_2O_3 porcelán ZrO_2 pirolitikus grafit (bevonat, szál) hidroxi-apatit kalcium foszfát bioaktív üvegek
Termoplasztikok	PTFE (teflon) polietilén, poliuretán, PVC, poliészterek polipropilén polimetil metakrilát (PMMA)
Elasztomerek	szilikonok
Kompozitok	dimethacrylate / kvarc karbon szál erősítésű (hőre keményedő, lágyuló)

24

Az anyagok leromlása

Fontos azonban figyelemmel lenni arra is, hogy az anyagok hosszabb-rövidebb idő alatt bekövetkező leromlási folyamatai megváltoztathatják a bioanyag eredeti jellegét ill. **létrejöhetnek nem biokompatibilis termékek is.**

A korrozív környezet

pH értéke 7,4 körüli, stabil, hőmérséklete 37°C konstans testnedvek sótartalma kitűnő elektrolit, elektrokémiai folyamatok hidrolízisét

Testnedvekben jelen lévő szerves molekulák ill. sejtes szerkezetek (protein, fibronectin, albumin, fibrinogén, szabad gyökök) **aktívan katalizálhatják** az anyagok leromlási folyamatait.

Ennek megfelelően megkülönböztethetünk **passzív és aktív korróziós folyamatokat (biodegradáció).**

25

A fémek korróziója

Biológiai környezetben **csak a nemesfémek stabilak.** Az aranyat és a platinát gyakran használják tiszta állapotban és bizonyos ötvözeteket (Au-Ag, Au-Cu, Pt-Pd, Pt-Rh) egyes fogászati alkalmazásokban ill. elektródák anyagaiként. A nemesfémek azonban **magas áruk és gyenge mechanikai tulajdonságaik** miatt csak szűk területen használatosak. A nagy mechanikai igénybevételnek is kitett sebészeti alkalmazásokban **titánt, titán-alumínium-vanádium, kobalt-króm ötvözeteket ill. ausztenites saválló acélokat** használnak.

A fémötvözetek esetén, minden esetben számolni kell **fémionok bekerülésével** a szervezetbe, elsősorban azonban, ez az implantátum körüli szöveteket érinti. E kialakulásában és hatásaiban is komplex folyamatot **metallózis** néven szokták összefoglalni. Különösen lényeges ez, hiszen az ötvözetek aktív, biológiai korróziója -ami proteineket pl. albumint is tartalmazó testnedvekkel érintkezve megy végbe- akár egy **nagyságrenddel is gyorsabb lehet** mint az adott ötvözet passzív, tehát biológiai katalizátorok nélküli korróziója.

26

A beépített anyagok hatása a szervezet távoli részeire ill. egészére

A határfelületi reakciók termékei eljuthatnak a **szervezet távolabbi részeire is**, helyileg **feldúsulhatnak** ill. **komplexeket alkothatnak**. A reakciótermékek szétterjedésében természetesen szerepe van a **diffúciónak**, ami igyekszik a koncentrációgradienst csökkenteni. Fémionok esetén a diffúzió hatása egyértelműen nyomonkövethető. Az oldható termékek a **vérkeringési és a nyirokrendszer** aktív közreműködésével rendkívül gyorsan eljuthatnak a szervezet minden részébe. A reakciótermékek ún. **biotranszformáció** révén átalakulhatnak és részben **kiürülhetnek**. A visszamaradó rész azonban különböző szervekben **feldúsulhat**.

27

A befogadókészség (Host response)

A szervezet idegen anyagokkal szemben tanúsított viselkedése nemcsak az implantátummal kapcsolatba kerülő szövet típusától, az anyag fizikai és kémiai tulajdonságaitól függ, hanem a befogadó személy **általános állapotától** (nem, életkor, általános egészségi állapot, gyógyszerfogyasztás stb.) is. A szövetek válaszreakciói függenek az **implantátumtól való távolságtól** és **változhatnak időben**. Ennek megfelelően meg szokás különböztetni az imlantátum-befogadószövet határfelületén végbemenő ún. **interface reakciókat** és a **távolabb eső szövetek válaszreakcióit**.

28

Az anyagok biokompatibilitását befolyásoló tényezők és a biokompatibilitás javításának lehetőségei

Az anyagok biokompatibilitását sok tényező együttesen határozza meg, a legfontosabb szempontok találhatóak a következő táblázatban.

<p>Az anyag (Anyagtudomány, technológia)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • tömbi anyag kémiai tulajdonságai <ul style="list-style-type: none"> • felület kémiai tulajdonságai • felületi érdesség • felületi energia • felületi töltésállapotok • kémiai stabilitás • kémiai degradáció termékei • degradációs termékek fizikai tulajdonságai
<p>Az eszköz (Gépészeti tervezés)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • méret • alak (geometria) • rugalmassági modulusz, ridegség
<p>A befogadó szövet ill. személy (Nem befolyásolható)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • szövet típusa és elhelyezkedése • életkor • nem • általános egészségi állapot • gyógyszerfogyasztás
<p>A rendszer (Orvostudomány)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • műtéti technika • implantátum-szövet érintkezés • fertőzések