

# Procesarea biomaterialelor metalice



**SUPPORT DE CURS PENTRU UZUL  
STUDENTILOR**

**ŞEF LUCRĂRI DR. ING. BĂLŢATU MĂDĂLINA SIMONA**

# Procesarea biomaterialelor metalice



- 1.1. SCURT ISTORIC PRIVIND EVOLUȚIA  
UTILIZĂRII BIOMATERIALELOR ÎN MEDICINĂ**
- 1.2. CLASIFICAREA BIOMATERIALELOR**
- 1.3. CERINȚELE MINIME ALE  
BIOMATERIALELOR ÎN APLICAȚIILE MEDICALE**

## 1.1. Scurt istoric privind evoluția utilizării biomaterialelor în medicină



Utilizarea dispozitivelor artificiale în medicina umană își găsește începuturile cu câteva mii de ani în urmă, însă succese importante din punct de vedere clinic au fost obținute doar în ultimul secol.



Deget din lemn descoperit la o mumie egipteană

## 1.1. Scurt istoric privind evoluția utilizării biomaterialelor în medicină

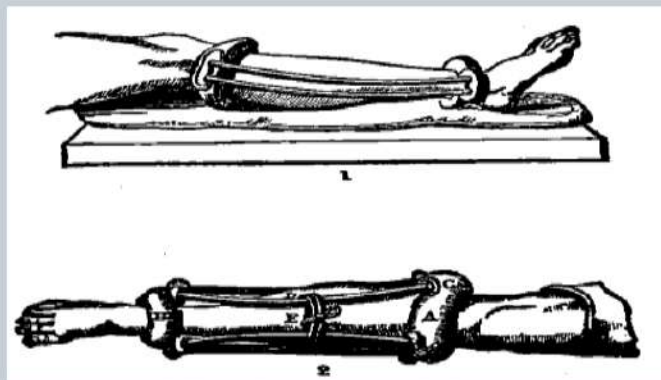


Utilizarea dispozitivelor artificiale în medicina umană își găsește începuturile cu câteva mii de ani în urmă, însă succese importante din punct de vedere clinic au fost obținute doar în ultimul secol.



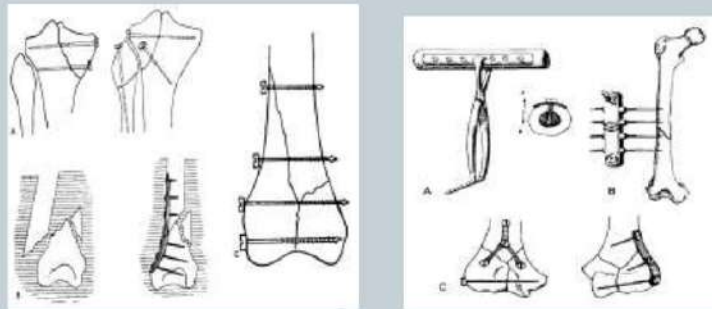
Deget din lemn descoperit la o mumie egipteană

## 1.1. Scurt istoric privind evoluția utilizării biomaterialelor în medicină

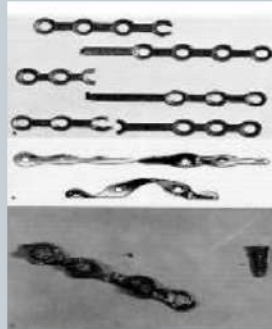


Dispozitiv de fixare externă (Hippocrates)

## 1.1. Scurt istoric privind evoluția utilizării biomaterialelor în medicină



Metode de fixare a fracturilor, A.Lambotte



Imagini ale unor „plăci Lane” studiate de către Sherman

# Istoricul evoluției implanturilor dentare



An	Eveniment	Nume
1875	Primul implant dentar sterilizat	Younger
1885	Primul implant din porțelan	Weiser
1888	Prima utilizare a platinei ca material de implant	Lewis
1891	Primul implant tip șurub	Hartmann
1937	Primul implant subperiostal total	Muller
1938	Primul implant șurub lamă din vitallium	Frații Strock
1960	Implant Bränemark (tip șurub, din titan) Introducerea noțiunii de osteointegrare	Bränemark
1967	Implant lamă din titan	Linkow
1970	Implant cu lamă dublă	Herkovits
1973	Prima utilizare a aluminei și a zirconiei	Sandhaus
1974	Implant ac tip tripod	Scialom
1974	Implant ac tip nail road	Pruin
1980	Implant I.M.Z. (intramobile cylinder implant system)	Koch
1980	Implant Tübingen	Schulte
1980	Implant tip „stift ancorat”	Brinkermann

# Evoluția utilizării biomaterialelor în medicină



Implanturi de generația I și implanturi lamă, din Cr-Co, executate de dr. Ovidiu Mărgineanu



Trusă realizată de dr. Ovidiu Mărgineanu

# Clasificarea biomaterialelor



<b>Biomateriale sintetice</b>	Biomateriale metalice Biomateriale ceramice Biomateriale pe bază de polimeri de sinteză Biomateriale compozite de sinteză
<b>Biomateriale de origine biologică</b>	Vegetală: Lemn, schelet de alge Animală: Derivate ale țesuturilor alogenice sau xenogenice(dinți, oase, cartilagii, colagen, fibrilogen, coajă de ou, sidex coral)
<b>Biomateriale compozite mixte</b>	Biomateriale de origine biologică asociate cu biomateriale sintetice

# Principalele tipuri de biomateriale



<b><i>Biomateriale metalice</i></b>	
Metale pure	Au, Ag, Pt, Ti, Ta
Aliaje	Oțeluri inoxidabile Pe bază de titan (Ti-Al-V, Ti-Al-Fe, Ti-Al-Nb) Pe bază de cobalt (Co-Cr-Mo, Co-Cr) Amalgame dentare Cu memoria formei (Ni-Ti)
Aliaje biodegradabile	Pe bază de fier Pe bază de magneziu
<b><i>Biomateriale ceramice</i></b>	
Ceramice bioinerte	Pe bază de oxizi ( $Al_2O_3$ , $ZrO_2$ ) Pe bază de carburi și nitruți (TiC, TiN) Variante ale carbonatului (vitros, pirolitic)
Ceramice bioactive	Pe bază de fosfat de calciu (hidroxiapatita) Pe bază de alte săruri ale calciului (carbonați, sulfati, aluminați)
<b><i>Biomateriale pe bază de polimeri de sinteză</i></b>	
Elastomeri	Siliconi, poliuretani
Materiale plastice	Termodurificabile (rășini epoxi, triazine) Termoplastice (polietilena)
Bioresorbabile	Acid poliglicolic, acid polilactic
<b><i>Biomateriale compozite de sinteză</i></b>	
Tip organo-organice	
Tip mineralo-minerale	
Tip organo-minerale	

# Avantajele și dezavantajele claselor de biomateriale



Clasa de biomateriale	Avantaje	Dezavantaje
<b>Metalice</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Rezistență la tracțiune</li><li>• Rezistență la uzură</li><li>• Duritate</li><li>• Rigiditate</li><li>• Rezistență la șoc</li><li>• Rezistență la torsiune</li><li>• Elasticitate</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Lipsa unei compatibilități complete cu mediul fiziologic</li><li>• Nepotrivirea proprietăților mecanice cu proprietățile sistemului locomotor</li><li>• Susceptibilitate la coroziune sub tensiune</li></ul>
<b>Ceramice</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Compatibile cu sistemul osos</li><li>• Rezistență la coroziune</li><li>• Rezistență la compresiune</li><li>• Rezistență la uzură</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Lipsa unei bune rezistențe la întindere, la șoc și la torsiune</li><li>• Dificil de fabricat în forme complicate</li><li>• Lipsa rezilienței</li><li>• Sensibilitate la fisurare</li></ul>
<b>Polimerice</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Reziliență bună</li><li>• Ușor de fabricat în forme complicate</li><li>• Elasticitate</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Rezistență la tracțiune și la indoire slabă</li><li>• Rată de fluaj mare</li><li>• Deformabil în timp</li></ul>
<b>Compozite</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Compatibilitate cu sistemele umane</li><li>• Bune proprietăți mecanice</li><li>• Ușor de modelat</li><li>• Rezistență la uzură</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Lipsa rezilienței</li><li>• Dificil de fabricat</li></ul>

# Clasificarea biomaterialelor din punct de vedere al interacțiunii cu mediul uman



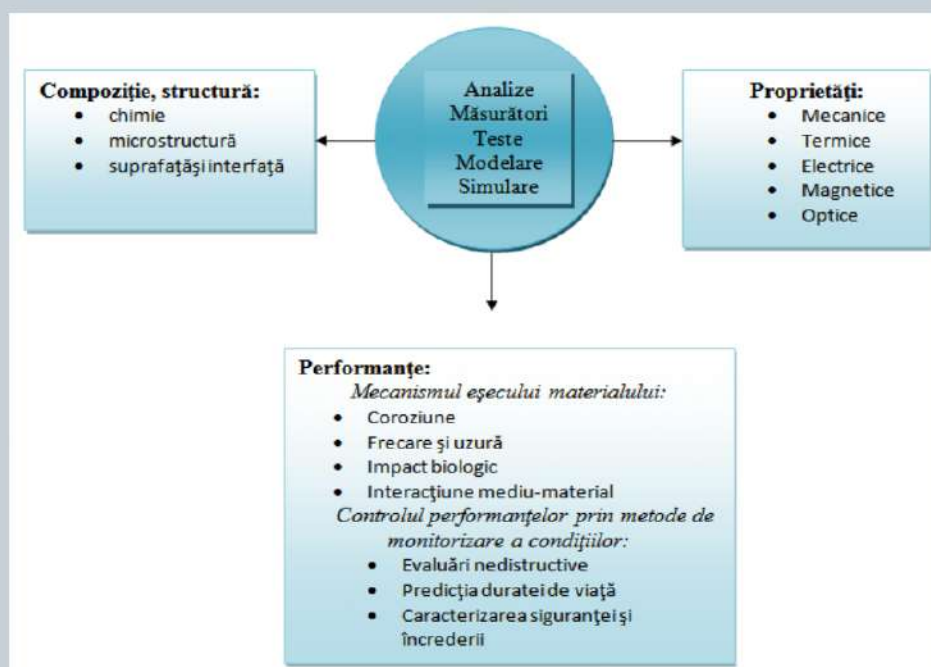
Activitate biodinamică	Compoziție chimică	Caracteristici de material
<b>Biotolerant</b>	aur, aliaje, crom-cobalt, oțeluri, zirconiu, niobiu	- nu sunt neapărat rejectate; - încapsulare fibroasă;
<b>Bioinert</b>	titan, comercial pur, tantal, aliaje de titan, oxid aluminiu, oxid zirconiu	- permit apozitia osului în vecinătate și osteogeneză de contact;
<b>Bioactiv</b>	hidroxiapatita, fluorapatită, carbon vitros sau pirolitic, sticlă bioactivă	- permit formarea osului pe suprafața lor și osteogeneza adezivă;
<b>Bioresorbabile</b>	fosfat tri- și tetra- calcic	- biomateriale de inginerie tisulară, cu design specific pentru a mima un răspuns biologic specific, optimizând vindecarea și regenerarea tisulară în mediu; - combinații între categorii de materiale cu activitate chimică și biodinamică, în funcție de scopul terapeutic și tipul de țesut gazdă.

# Cerințele minime ale biomaterialelor în aplicațiile medicale



<b>Factori</b>	<b>Economic</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• costuri legate de materia primă</li> <li>• costuri legate de procesare</li> </ul>
	<b>Mecanic</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• rezistența la tracțiune</li> <li>• rezistența la compresie</li> <li>• rezistența la rupere</li> <li>• rezistența la șoc</li> <li>• rezistența la oboseală</li> </ul>
	<b>Electric</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• rezistența electric</li> <li>• compatibilitate electromecanică</li> </ul>
	<b>Mediu (chimic)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• umiditate</li> <li>• capacitate de reciclare</li> <li>• poluare</li> <li>• rezistența la coroziune</li> </ul>
	<b>Siguranță (biologic)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• contaminare toxică</li> <li>• interacțiune toxică</li> <li>• biocompatibilitate cu țesutul uman</li> </ul>
	<b>Termic</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• expansiune termică</li> <li>• stabilitate termică</li> </ul>
	<b>Suprafața</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• uzare</li> <li>• frecare</li> <li>• fisurare</li> </ul>
	<b>Estetic</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• aspect economic</li> <li>• culoare</li> <li>• ergonomie</li> <li>• claritate vizuală</li> </ul>
	<b>Performanță</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• atingerea scopului urmărit</li> <li>• satisfacția utilizatorilor</li> </ul>
	<b>Cercetare</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• utilizări viitoare</li> <li>• gradul de nouitate</li> </ul>

# Metode de caracterizare a materialelor



# BIOMATERIALE METALICE



- **Biomateriale metalice**

Biomaterialele metalice reprezintă cea mai utilizată clasă de materiale pentru realizarea implanturilor, protezelor și instrumentarului medical, deoarece prezintă foarte bune proprietăți mecanice, sunt rezistente la coroziune și au o biocompatibilitate acceptabilă.

# Biomateriale metalice



## Biomateriale metalice

**Oțeluri  
inoxidabile**



Aliaje pe bază  
de CoCr



Aliaje pe bază de  
Ti

Alte  
materiale  
speciale



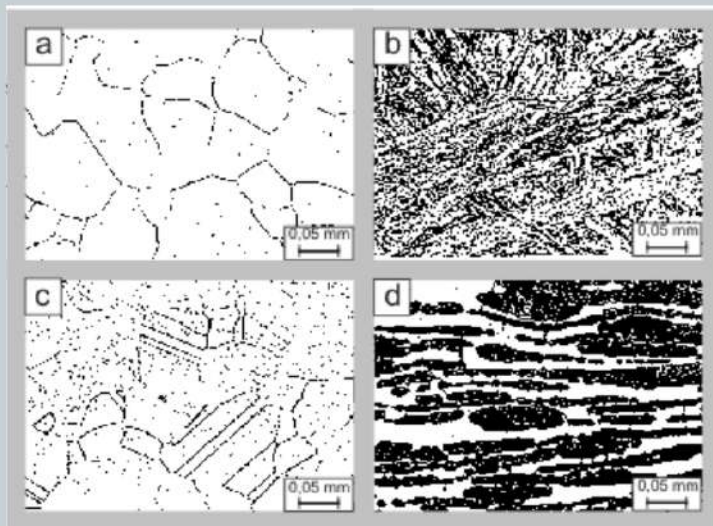
# Oțeluri inoxidabile



Categorii de oțeluri inoxidabile utilizate în aplicațiile medicale

Tipul de material	Aplicații	Exemple
Oțel inoxidabil martensitic	Instrumente dentare și chirurgicale	Freze dentare, dalte dentare, chiurete, sârme dentare
Oțel inoxidabil feritic	Instrumente chirurgicale	Bolț de ghidare și închizătoare.
Oțel inoxidabil austenitic	Echipamente medicale neimplantabile Implanturi de scurtă durată Implanturi de înlocuire a șoldului	Bolț de ghidare, ace hipodermice, sterilizator cu abur

# Oțeluri inoxidabile



Exemple tipice de structuri de oțeluri inoxidabile: a) oțel cu structură feritică, b) oțel cu structură martensitică, c) oțel cu structură austenitică, d) oțel cu structură austenito-feritică

# Oțeluri inoxidabile



Clasificarea oțeluri inoxidabile în funcție de structura metalografică

Clasa de oțeluri inoxidabile	Conținutul mediu al principalelor elemente de aliere		
	C	Cr	Ni
Martensitice	>0,15	12-14	-
	0,2-0,4	13-15	-
	0,6-1,2	15-18	-
	>1,2	16-18	≥ 1,5
Ferito-martensice	0.09-0,14	12-14	-
Feritice	≤0,8	13-15	-
	≤0,15	16-18	-
	≤0,25	>20	-
Ferito-austenitice	≤0,10	26	5
Austenitice	≤0,15	12-26	7-25

# Oțeluri inoxidabile



Structura oțelurilor inoxidabile în funcție de raportul  $E_{Cr}/E_{Ni}$

$E_{Cr}/E_{Ni}$	STRUCTURA							
	<i>F</i>	<i>M</i>	<i>A</i>	<i>F+M</i>	<i>M+F</i>	<i>A+F</i>	<i>A+M</i>	<i>A+M+F</i>
<i>0,04÷1,6</i>								
<i>0,1÷2</i>								
<i>0,1÷8</i>								
<i>1,6÷4</i>								
<i>2÷12</i>								
<i>4÷13</i>								
<i>4÷18</i>								
<i>4÷25</i>								

# Oțeluri inoxidabile



Dispozitive de fixare realizate din oțel inoxidabil 316L

# Oțeluri inoxidabile



Compoziția chimică a unor oțelurile inoxidabile austenitice utilizate ca biomateriale

Denumire ASTM	Denumire comercială (norme AISI)	Compoziție chimică (%)	Observații
F55(bară, sârmă) F56(tabla, bandă) F138(bară, sârmă) F139 (tablă, bandă)	316LVM 316L 316L 316L	60-65 Fe 17,00-19,00 Cr 12,00-14,00 Ni 2,00-3,00 Mo max 2,0 Mn max 0,5 Cu max 0,03 C max 0,1 N max 0,025 P max 0,75 Si max 0,01 S	- pentru F55 și F56 se specifică o valoare de max. 0,03 P și max. 0,03S - pentru F13 și F139 se specifică o valoare de max.0,010 S - LVM = topire în vid scăzut
F745	316L tumat	60-69 Fe 17,00-19,00 Cr 11,00-14,00 Ni 2,00-3,00 Mo max 0,06 C max 2,0 Mn max 0,045 P max 1,00 Si max 0,030 S	

# Biomateriale metalice



## Biomateriale metalice

Oțeluri  
inoxidabile



**Aliaje pe  
bază de CoCr**



Aliaje pe bază de  
Ti

Alte  
materiale  
speciale



# Aliaje pe bază de cobalt



a.



b.



c.



d.

Domeniile medicale ale aliajelor pe bază de cobalt: a. proteză parțială, b. valvă cardiacă, c. tijă ortopedică, d. articulații pentru proteze de șold

# Aliaje pe bază de cobalt



## Principalele aliaje de tip Co-Cr utilizate ca biomateriale

Elemente	Co Cr Mo turnat F76	Co Ni Cr Mo forjat F562	Co Cr W Ni forjat F90	Co Ni Cr Mo W Fe forjat F563
Cr	27-30	19 – 21	19 – 21	18 – 22
Mo	5-7	9-10,5	-	3 – 4
Ni	max 2,5	33-37	9-11	15-25
Fe	max 0,75	max 1	max 3	4-6
C	max 0,35	max 0,025	0,05 – 0.15	max 0,05
Si	max 1	max 0,15	max 1	max 0,50
Mn	max 1	max 0,15	max 2	max 1
W	-	-	14 – 16	3-4
P	-	max 0,015	-	-
S	-	max 0,010	-	max 0,010
Ti	-	max 1	-	0,5 – 3,5

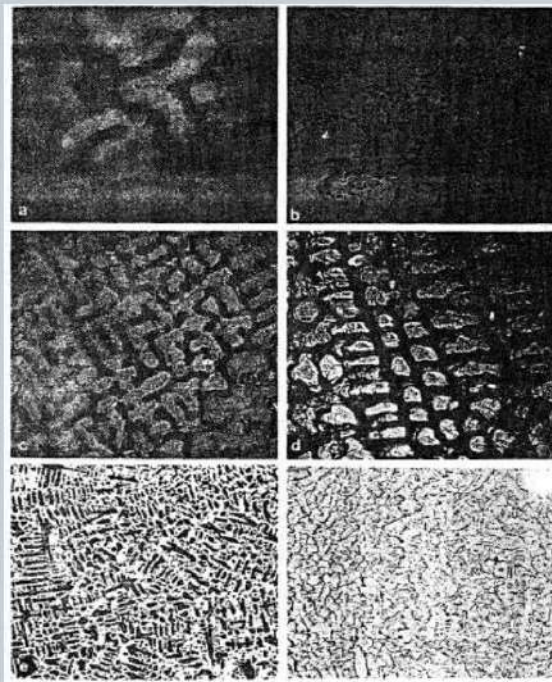
# Aliaje pe bază de cobalt



## Proprietățile mecanice ale aliajelor Ni-Cr și Co-Cr

Aliaj Ni-Cr	Limita de curgere remanentă	Rezistența la tracțiune	Alungire la rupere	HV 10
dentanem	575	670	18	200-210
elite	390	490	9	280
forte	338	510	19	194
Kuwata GF	-	638	4	315-365HV
NE-bond	412	858	7-15	225HB
Neptune	-	570	10	220HV
NP2	-	-	-	180HV
RexiliumIII	510	1070	5	(240)
			9-12	200-215HV
resistaIP	360	660	40	234HV
unitbound	488	-	5-15	235-245HB
Wiron S	790	883	-	380-360HB
Wiron 88	360	-	15	200-205
Odyssey	500	932	10	240HV
Ultratek	567	957	16	270HV
NCM alpha	550	725	5	220HV
Remanium CS	540	540	15	210
supranium	310	520	35	185-200
Aliaj Co-cr	Limita de curgere remanentă	Rezistență la tracțiune	Alungire la rupere	HV 10
Bondiloy	520	700	15>6	300HV
Dentalit C	>550	-	15	Max.380 HV
Dentitan	>370	>550	7	285/300
Novarcx	645	760/788	7	260HV
Remanium C	630	725	13	357
vi-comp	564	705	11	340HV
	370	-	>6	260
Alldent brilliant	>530	-	>6	280HB
Genesis	431	790	9	290HV
Unitbond2000	>550		>6	Max.330

# Aliaje pe bază de cobalt



Microstructura unor aliaje pentru proteze fixe: a. Ni-Cr cu Be;  
b. Ni-Cr-Al și Be; c. Ni-Cr-Mo; d. Ni-Cr-Mo; e. Co-Cr; f. Co-Cr

# Aliaje pe bază de cobalt



Materialul	Denumirea ASTM	Denumirea comercială	Compoziție (%)	Observații
Co-Cr-Mo	F75	Vitalium Haynes Stellite 21 Protasul-2 Micrograin- Zimaloy	58,9-69,5 Co 27,0-30,0 Cr 5,0-7,0 Mo max 1,0 Mn max 1,0 Si max 1,0 Ni max 0,7 Fe max 0,5 C	- Vitalium este marca înregistrată a firmei Howmedica - Haynes Stellite 21 (HS 21) este marca firmei Cabot Corp. - Protasul 2 este marca firmei Sulzer AG, Elveția - Zimaloy este marca firmei Zimmer, SUA
Co-Cr-Mo	F799	Co-Cr-Mo forjat Co-Cr-Mo termomecanic FHS	58,0-59,0 Co 26,0-30,0 Cr 5,0-7,0 Mo max 1,0 Mn max 1,0 Si max 1,0 Ni max 1,5 Fe max 0,35 C max 0,5 N	- FHS= rezistență ridicată prin forjare
Co-Cr-W-Ni	F90	Haynes Stellite 25	45,5-56,2 Co 19,0-21,0 Cr 14-16 W 9,0-11,0 Ni max 3,00 Fe 1,00-2,00 Mn 0,05-0,15 C max 0,04 P max 0,40 Si max 0,03 S	- Haynes Stellite 25 (HS25) este marca firmei Cabot Corp.
Co-Ni-Cr-Mo-Ti	F562	MP 35 N Biophase Protasul-10	29-38,8 Co 33,0-37 Ni 19,0-21,0 Cr 9,0-10,5 Mo max 1,0 Ti max 0,15 Si max 0,010 S max 1,0 Fe max 0,15 Mn	- MP35 N este marcă a firmei SPS Technologies. - Biophase este marcă a companiei Richards Medical - Protasul 10 este marca companiei Sulzer, AG Elveția

# Biomateriale metalice



## Biomateriale metalice

Oțeluri  
inoxidabile



Aliaje pe bază  
de CoCr

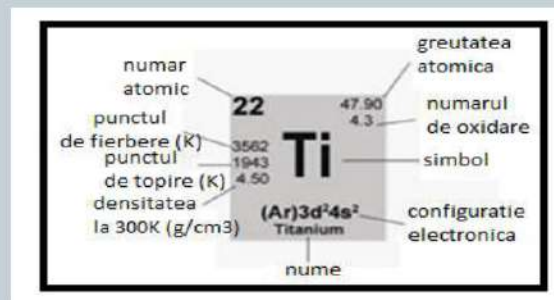


**Aliaje pe  
bază de Ti**

Alte  
materiale  
speciale

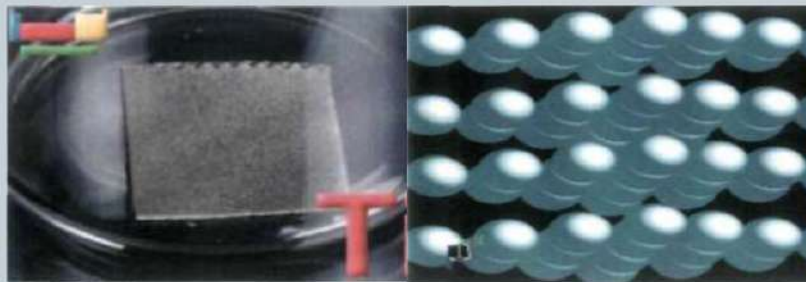


# Aliaje pe bază de titan



Elementul chimic titan

# Aliaje pe bază de titan



a)

b)

a) Titan, b) forma structurii cristaline

# Aliaje pe bază de titan



## Proprietățile fizice ale titanului

Proprietate	Caracteristică/ Valoare
<i>Culoare în stare compactă</i>	Alb-argintie
<i>Densitate la 25°C (<math>\alpha</math>-Ti)</i>	4,51g/cm <sup>3</sup>
<i>Densitate la 900°C (<math>\beta</math>-Ti)</i>	4,33g/cm <sup>3</sup>
<i>Temperatura de topire</i>	1668°C
<i>Coefficientul de dilatare termică</i>	9,1x10 <sup>-6</sup> /K
<i>Căldura specifică la 25°C</i>	0,523 J/g.K
<i>Conductibilitate termică la 25°C</i>	17-22 W/mK
<i>Tensiunea superficială la 1600°C</i>	1,7 N/m
<i>Modul de elasticitate la 25°C</i>	108 GN/m <sup>2</sup>
<i>Rezistența la tracțiune</i>	450 MPa înainte de turnare, respectiv 850 MPa, după turnare
<i>Limita de întindere</i>	100-200 N/m <sup>2</sup> ; 15-20%
<i>Duritate</i>	160-190 HB, 80-105 HV

# Aliaje pe bază de titan



a.



b.

Principalele minereuri din care este extras titanul: a. Rutil (TiO<sub>2</sub>), b. Ilmenit (FeTiO<sub>3</sub>)

# Aliaje pe bază de titan



## Aplicații ale titanului și a aliajelor sale

Domeniu de utilizare	Utilizări specifice
<i>Industria aerospațială</i>	- cadre și panouri de fuselaj, structuri de rezistență, dispozitive de frânare, suporturi de montare a motoarelor, pereți de foc etc; - reactoare, discuri și palete de compresor, lagăre, conducte de aer fierbinte; - carcase de motoare la rachete, rezervoare de combustibil;
<i>Industria chimică</i>	- rezervoare de depozitare, pompe, agitatoare, coloane, malaxoare, supape, reactoare presurizate, filtre, conducte, schimbătoare de căldură;
<i>Industria energetică</i>	- condensatoare, sisteme de răcire, conducte, palete de turbină, containere pentru deșeuri nucleare, schimbătoare de căldură;
<i>Industria de construcții navale</i>	- schimbătoare de căldură, condensatoare, conducte și instalații, pompe, componente radar, submarine (Rusia), valve tip bilă pentru submarine (S.U.A.);
<i>Aplicații biomedicale</i>	- articulații artificiale (coxo-femorale, genunchi, scapulohumerale) trusă de osteosinteză, valvule cardiace, dispozitive pace-maker, instrumentar, proteze, implante, aparate auditive, separatoare centrifugale de mare viteză, pompe de insulină etc;
<i>Foraje la adâncime</i>	- conducte și instalații, articulații puternic solicitate, cabluri;
<i>Industria construcțiilor de automobile</i>	- supape, arcuri de supape, bare de torsiune, subansamble de suspensie, amortizoare, fuzete, eșapamente, articulații cu nucă;
<i>Industria alimentară</i>	- rezervoare, schimbătoare de căldură, componente pentru mașini de împachetat;
<i>Industria hârtiei</i>	- turnuri de albire, conducte și instalații, pompe;
<i>Construcții</i>	- armături, dispozitive de protecție catodică;
<i>Industria bunurilor de larg consum</i>	- ceasuri, bijuterii, rame de ochelari, cadre de bicicletă, echipament pentru cățărări (camproane pentru gheață, cârlige, carabine etc.), potcoave, arme de tir, clopote, căști de protecție, veste anti-glont, foarfeci, stilouri etc;
<i>Transporturi</i>	- material rulant pentru trenuri de mare viteză.

# Aliaje pe bază de titan



a.



b.



c.



d.



e.

Diferite forme de producere a titanului și a aliajelor acestuia: a. bandă, b. bară, c.sârmă, d. tablă, e. țeavă

# Aliaje pe bază de titan



Gradele de puritate ale titanului “comercial pur”,  
conform normelor DIN și ASTM

Tip	N <sub>max</sub>	Fe <sub>max</sub>	O <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	H <sub>max</sub>	Ti
Grad 1	0,03	0,20	0,18	0,10	0,015	restul
Grad 2	0,03	0,30	0,25	0,10	0,015	restul
Grad 3	0,05	0,30	0,35	0,10	0,015	restul
Grad 4	0,05	0,50	0,40	0,10	0,015	restul

# Aliaje pe bază de titan



Proprietățile mecanice ale titanului de diferite grade  
în comparație cu titanul turnat

Tip Ti	Rezistența la tracțiune (MPa)	Limita de întindere (MPa)	Duritate Vickers HV 10
Ti grad 1	290-410	180	126
Ti grad 2	390-540	250	158
Ti grad 3	460-590	320	179
Ti grad 4	540-740	390	211

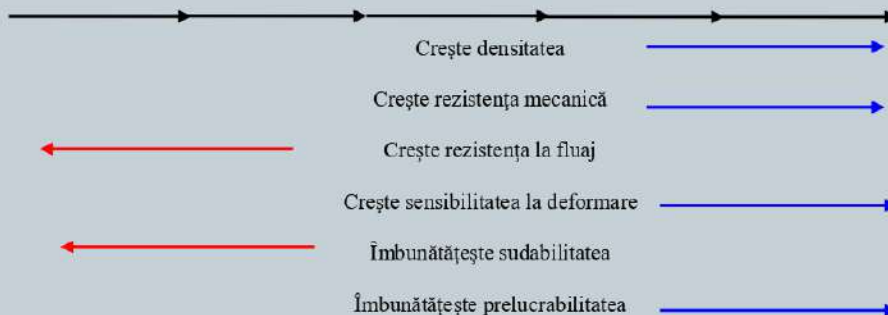
# Aliaje pe bază de titan



Creșterea cantității de elemente stabilizatoare  $\alpha$ , promovează faza  $\alpha$ .

Aliaje cu structură $\alpha$	Aliaje cu structură aproape de $\alpha$	Aliaje cu structură $\alpha+\beta$	Aliaje cu structură aproape de $\beta$	Aliaje cu structură $\beta$
C.P.Ti Ti-5Al-2.5Sn	Ti-5Al-2Zr-1Mo-0.2Si Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo	Ti-6Al-4V Ti-6Al-7Nb	Ti-21Nb-6Zr-15Ta Ti-8Mn	Ti-13Nb-13Zr Ti-15Mo

Creșterea cantității de elemente stabilizatoare  $\beta$ , promovează faza  $\beta$ .



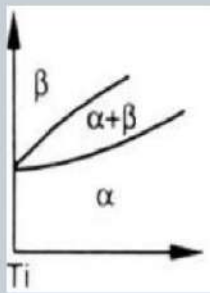
Efectul elementelor de aliere asupra structurii și proprietăților titanului și clasificare aliajelor de titan

# Aliaje pe bază de titan

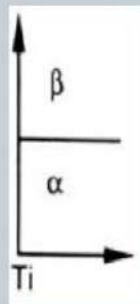


<i>Proprietăți</i>	<i><math>\alpha</math></i>	<i><math>\alpha + \beta</math></i>	<i><math>\beta</math></i>
<i>Densitate</i>	+	+	-
<i>Rezistență</i>	-	+	+
<i>Ductilitate</i>	-/+	+	+/-
<i>Tenacitate la rupere</i>	+	-/+	+/-
<i>Rezistență la fluaj</i>	+	+/-	-
<i>Comportament la coroziune</i>	++	+	+/-
<i>Comportament la oxidare</i>	++	+/-	-
<i>Sudabilitate</i>	+	+/-	-
<i>Deformare plastică la rece</i>	--	-	-/+

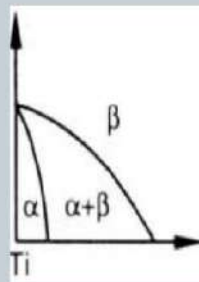
# Aliaje pe bază de titan



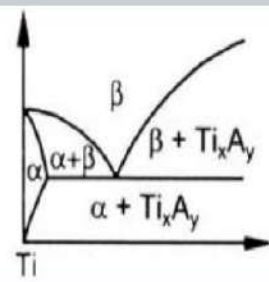
a. Stabilizator  $\alpha$



b. Neutru



$\beta$  izomorf



$\beta$  eutectoid

c. Stabilizator  $\beta$

# Aliaje pe bază de titan



O bară de cristal de titan produsă prin reacție cu iodul

# Aliaje pe bază de titan



<i>Topirea cu arc</i>		<i>Topirea cu fascicul de electroni</i>	
<i>Avantaje</i>	<i>Dezavantaje</i>	<i>Avantaje</i>	<i>Dezavantaje</i>
Contaminare foarte redusă	Rafinare limitată	Preparare puțin costisitoare a încărcăturii	Aliere limitată
Posibilități extinse de aliere	Preparare costisitoare a încărcăturii	Eliminarea incluziunilor de mare densitate	Pierderi de material prin evaporare și împrăscare
Lingouri de mari dimensiuni	Lingouri numai cu secțiuni transversale circulare	Lingouri cu secțiuni transversale de forme diferite	Cost foarte ridicat al instalațiilor
Consum scăzut de energie		Productivitate ridicată	Cost foarte ridicat al instalațiilor
Topire eficientă economic		Consum scăzut de energie	

## Biomateriale ceramice



Materialele ceramice sunt substanțe anorganice care pot fi simple elemente nemetalice (C, S, B) sau compuși definiți de tip  $M_xN_y$  formați dintr-un metal și un nemetal din jumătatea dreaptă a tabelului periodic al elementelor (O, F, Cl, S, C, N).

Din punct de vedere structural, materialele ceramice pot fi:

- cristaline, având structură cristalină;
- amorfe rigide, respectiv în stare sticloasă sau vitroasă.

# Biomateriale ceramice



Materiale ceramice obținute prin metalurgia pulberilor și punctele lor de topire

Material		Temperatura de topire (°C)
Ceramice oxidice speciale	SiO <sub>2</sub>	1710
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2050
	ZrO <sub>2</sub>	2675
Carburi interstițiale	VC	2560
	TiC	3140
	ZrC	3530
	TaC	3880
Nitruri interstițiale	TiN	2900
	ZrN	2980
	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	1900
Boruri ceramice	TiB <sub>2</sub>	2900
	ZrB <sub>2</sub>	3000

## Biomateriale ceramice



- **Alumina** este folosită, atât la realizarea componentelor protezelor articulare endoosoase, cât și a implanturilor dentare, deoarece prezintă o rezistență excelentă la coroziune, o bună biocompatibilitate și o rezistență mare la uzură.
- **Zirconia** este un biomaterial ceramic pe bază de zirconiu întărit printr-un procedeu de fabricație termică și fizică. Rezistența sa a fost accentuată, în special printr-o tehnică de aranjare regulată a cristalelor, având ca liant materiale corespunzătoare. Perfect biocompatibil și dotat cu calități fizice excelente, zirconiumul este bine adaptat pentru aplicațiile biomedicale.

## Biomateriale ceramice



Principalele cerințe solicitate de la aceste biomateriale sunt:

- asigurarea rolului lor pentru o perioadă adecvată de timp;
- produșii de dizolvare trebuie să fie ușor metabolizați de organism;
- resorbția nu trebuie să împiedice creșterea țesutului sănătos.

# Biomateriale ceramice



Materialele ceramice îndeplinesc patru cerințe fundamentale pentru integrarea în țesuturi (osteointegrare):

- forță și duritate suficiente la solicitările biofuncționale de încărcare (dar mai mici decât la titan);
- prezintă compatibilitatea chimică și sunt rezistente la coroziune;
- sunt bioreactive la interfață și la distanță de țesutul gazdă;
- răspuns tisular favorabil din partea țesutului gazdă [9].



**Figura 3.1.** a. Materiale ceramice pe suport de titan (înalt biocompatibile și estetice),  
b. după restaurare metalo-ceramică [4]

## Biomateriale polimerice



Polimerii sunt cele mai folosite materiale în cadrul aplicațiilor medicale. Aceste materiale pot fi folosite în realizarea de dispozitive cardiovasculare (grefe vasculare, valve artificiale ale inimii), implanturi mamare, lentile de contact, lentile intraoculare, învelișuri pentru medicamente, ațe chirurgicale, adezivi și substituenți pentru sânge.

## Biomateriale polimerice



Printre aplicațiile previzibile ale materialelor polimerice sunt și cele în care sunt impuse cerințe precise precum:

- flexibilitate,
- compatibilitate cu celulele sanguine,
- nefavorizarea formării trombozelor.

# Biomateriale polimerice



## Caracteristicile categoriilor de polimeri

Rigiditate	Condiții (după turnare)	Caracteristici	Exemple
<b>Termorigizi</b>			
Rigizi	Fixat după turnare în formă, nu poate fi înmuiat prin încălzire	Structura datorată formării legăturilor dintre lanțurile de molecule, după formare forma este păstrată, există câteva variații produse prin amestecarea reactanților la temperatura ambiantă	Silicon Epoxy Melamină Bakelită Uree formaldehidă Fenol formaldehidă Poliuretan Poliester nesaturat
<b>Termoplastici</b>			
Acoperă domeniul de la rigid la flexibil; variază cu tipul,	Poate fi încălzit și returnat rapid	Devine fluid la încălzire, poate necesita presiune; după ce căldura este îndepărtată, nu mai rămâne fluid; întăritori ca talcul, fibrele de sticlă sunt adăugați pentru creșterea densității și a rezistenței	PVC; PVA; PTFE Poliетенă Poliamide Acetal PTO modificat Nitrát celulozic Policarbonat Polipropilenă Polisulfon Poliuretan Polistiren ABS; PVF; CTFE
<b>Elastomeri</b>			
Flexibili	Se înmoaie la încălzire	Au caracteristici și ale plasticelor și elastomerilor, pot fi procesați pe instalații clasice	Cauciuc nitrilic Cauciuc butadienic Cauciuc acrilic Cauciuc uretanic Etilen-propilenă

# Biomateriale polimerice



Tipuri de polimeri folosiți în medicina și aplicabilitatea acestora

<i>Aplicabilitate</i>	<i>Tipuri de polimeri</i>
Ureche artificială	acril, polietilena, silicon, clorura de polivinil (PVC)
Aplicații dentare	acril, polietilena de masă moleculară foarte ridicată (UHMWPE), epoxi
Proteze faciale	acril, poliuretan (PUR), PVC
Tuburi traheale	acril, silicon, nylon
Inima și componente cardiace	poliester, silicon, PVC
Peacemaker cardiac	polietilena, acetal
Organe interne	poliester, polialdehida, PVC
Segmente de esofag	polietilena, polipropilena (PP), PVC
Vase de sânge	PVC, poliester
Suturi biodegradabile	PUR
Segmente gastrointestinale	silicon, PVC, nylon
Endoproteze articulare	silicon, UHMWPE
Oase și articulații	acril, nylon, silicon, PUR, PP, UHMPE

## Biomateriale polimerice



Factorii ce accelerează fenomenul de degradare a polimerilor sunt:

- factorul hidrofilic;
- factorul de cristalinitate;
- factorul de mărime.

# Biomateriale polimerice



Cele mai importante proprietăți mecanice ale biomaterialelor polimerice

<b>Polimeri</b>	<b>Rezistența la rupere <math>\sigma</math> [MPa]</b>	<b>Modulul lui Young E [GPa]</b>
Polietilena (PE)	35	0,88
Poliuretan (PU)	35	0,02
Politetrafluoretilena (PTFE)	27,5	0,5
Poliacetal (PA)	67	2,1
Polimetilmetracrilat (PMMA)	59	2,55
Polietilena tereptalat (PET)	61	2,85
Polietereterketonă (PEEK)	110	3,3
Silicon cauciucat (SR)	7,6	0,008
Polisulfonat (PS)	75	2,65

# Biomateriale polimerice



## Proprietățile fizice ale poliglicoidelor și polilactidelor

Polimer	Punctul de topire [°C]	Alungirea [%]	Degradarea [luni]
PGA	225-230	15-20	6-12
LPLA	173-178	5-10	24
DLPLA	Amorfa	3-10	12-16
85/15 DLPLG	Amorfa	3-10	5-6
75/25 DLPLG	Amorfa	3-10	4-5
65/35 DLPLG	Amorfa	3-10	3-4
50/50 DLPLG	Amorfa	3-10	1-2

# Biomateriale compozite



Materialele compozite au fost utilizate din cele mai vechi timpuri, ca de exemplu cărămizile alcătuite din argilă și paie sau împletiturile.

În general, materialele compozite sunt amestecuri de două sau mai multe componente, ale căror proprietăți se completează reciproc, rezultând un material cu proprietăți superioare.

Din punct de vedere tehnic, noțiunea de materiale compozite se referă la materialele care posedă anumite proprietăți:

- sunt create artificial, prin combinarea voită și rațională a diferitelor componente;
- reprezintă o combinație a cel puțin două materiale deosebite din punct de vedere chimic, între care există o suprafață de separație distinctă;
- prezintă proprietăți pe care nici un component luat separat nu le poate avea.

# Biomateriale compozite



## Proprietățile mecanice ale țesuturilor dure

Țesuturi dure	Modulul de elasticitate E [GPa]	Rezistența de rupere la tracțiune $\sigma$ [MPa]
Țesut osos cortical (direcție longitudinală)	17,7	133
Țesut osos cortical (direcție transversală)	12,8	52
Țesut osos calcinos	0,4	7,4
Smalțul	84,3	10
Dentina	11	39,3

# Biomateriale compozite



## Proprietățile mecanice ale țesuturilor moi

Țesuturi moi	Modulul de elasticitate E [GPa]	Rezistența de rupere la tracțiune $\sigma$ [MPa]
Cartilajul articular	10,5	27,5
Fibrocartilajul	159,1	10,4
Ligamentul	303	29,5
Tendonul	401,5	46,5
Pielea	0,1 - 0,2	7,6
Țesut arterial (direcție longitudinală)	-	0,1
Țesut arterial (direcție transversală)	-	1,1

## Biomateriale compozite



Câteva exemple de utilizare a sistemelor compozite sunt:

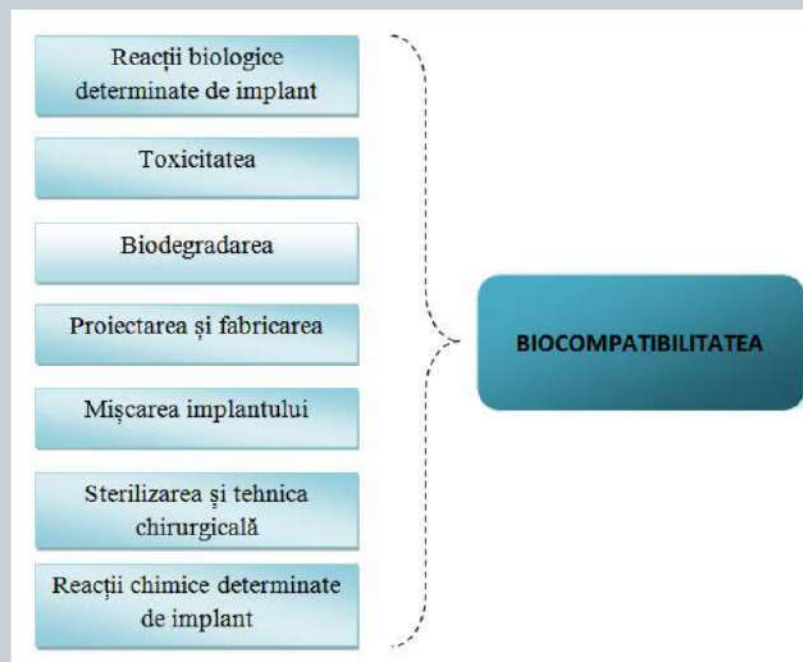
- compozite dentare;
- sistemul metal-ceramică și/sau sticlă (de exemplu titan-alumină);
- sistemul apatită-acid polilactic;
- sistemul carbon-acid polilactic;
- sistemul fibre de fosfat de calciu-acid polilactic

# Biocompatibilitatea



Atunci când un material este ales să interacționeze cu corpul, primul criteriu important de examinat este cel al biocompatibilității. Biocompatibilitatea unui material se poate defini dacă acesta produce doar reacții dorite sau tolerate la nivelul unui organism viu [1].

# Biocompatibilitatea



# Biocompatibilitatea



<b>Teste</b> <i>in vitro</i>	citotoxicitate – celule de cultură
	hemoliza-sânge uman sau animal
	mutagenitate – celule umane sau de la alte mamifere, bacteria
<b>Teste</b> <i>in vivo</i>	toxicitate sistemică acută – șoarece
	sensibilitate – cobia
	pirogenitate – iepure
	iritație intracutanată – iepure
	implant intramuscular – iepure
	hemocompatibilitate – șobolan, câine,...
	implant pe termen lung – șobolan, porcine,...

# Biocompatibilitatea



Principalele mecanisme de interacție dintre biomateriale și mediul biologic sunt cauzate de:

- a) Influența biomaterialului asupra mediului biologic
- b) Influența mediului biologic asupra implantului, deci a biomaterialului

# Biocompatibilitatea



## (A). Teste de evaluare inițială

### 1. Citotoxicitate

Prin utilizarea tehnicilor de cultură celulară, aceste teste determină liza (moartea) celulară, inhibiția creșterii celulare și alte efecte asupra celulelor provocate de dispozitivele, materialele și/sau extractele lor.

### 2. Sensibilizare

Aceste teste evaluează pe un model corespunzător, probabilitatea sensibilizării la contactul cu materialele, dispozitivele și/sau extractele lor. Aceste teste sunt adecvate, căci o expunere sau un contact chiar și în cantități minime de substanță potențial extractibilă, poate să conducă la reacții de sensibilizare sau alergice.

### 3. Potențial iritant

Aceste teste evaluează potențialul iritant al dispozitivelor, materialelor și/sau extractele lor, utilizând zone corespunzătoare sau țesuturi de implantare ca pielea, ochiul și mucoasele, pe un model adecvat.

Testul (testele) realizat(e) trebuie să adapteze zona de aplicare (piele, ochi, mucoasă) și durata expunerii cu scopul de a determina efectele iritante ale dispozitivelor, materialelor și substanțelor potențial extractibile.

### 4. Reactivitate intracutanată

Aceste teste evaluează reacția locală a țesutului la extracte cu dispozitiv. Ele sunt aplicabile atunci când determinarea potențialului iritant prin testări cutanate sau pe mucoase sunt neadecvate (de exemplu, pentru dispozitivele cu acces la circuitul sanguin). De asemenea, aceste teste pot fi utile atunci când substanțele extractibile sunt hidrofobe.

# Biocompatibilitatea



<b>5. Toxicitate sistemică (acută)</b>	Aceste teste evaluează pe un model animal potențialele efecte dăunătoare datorate expunerii unice sau multiple, într-un timp mai mic de 24 h, a dispozitivelor, materialelor și/sau al extractelor lor. Ele sunt adecvate atunci când contactul antrenează o absorbție posibilă de substanță extractibilă toxică și produsele de degradare. Testele de pirogenicitate sunt incluse pentru a detecta pirogenicitatea extractelor, dispozitivelor sau materialelor. O singură testare nu poate diferenția pirogenicitatea indusă de către material, datorită contaminării cu endotoxine.
<b>6. Toxicitate subcronică (subacută)</b>	Aceste teste determină efectele unei expuneri simple sau multiple a dispozitivelor, materialelor și/sau extractelor lor pe o perioadă de timp de cel puțin 24 h, la cel mult 10% din durata de viață a animalului de experiență (de exemplu, până la 90 zile).
<b>7. Genotoxicitate</b>	Aceste teste utilizează culturi de celule de mamifere sau nemamifere, sau altfel de tehnici pentru a determina mutațiile genetice, modificări ale numărului și structurii cromozomiale precum și alte efecte toxice asupra ADN-ului sau genelor, provocate de către dispozitivele, materialelor și/sau extractele lor.
<b>8. Implantare</b>	Aceste teste evaluează efectele patologice locale asupra țesuturilor vii, atât la nivel macroscopic cât și microscopic, ale unui eșantion de material sau produs finit plasat sau implantat într-o zonă de implantare sau un țesut corespunzător pentru aplicația prevăzută. Se convine ca aceste teste să fie adaptate zonei și duratei de implantare. Pentru un material, aceste teste sunt echivalente celor de toxicitate subacută, dacă se studiază și efectele sistemice.
<b>9. Hemocompatibilitate</b>	Aceste teste evaluează, pe un model sau sistem corespunzător, efectele dispozitivelor sau materialelor în contact cu sângele, asupra sângelui sau componentelor sanguine. Testele specifice de hemocompatibilitate pot fi, de asemenea, imaginat pentru a simula geometria, condițiile de contact și dinamica fluidelor, în dispozitivul sau materialul supus aplicațiilor clinice. Testele de hemoliză determină gradul de liză a globulelor roșii și eliberarea hemoglobinei provocată de către dispozitiv, materiale și/sau extractelor in vitro.

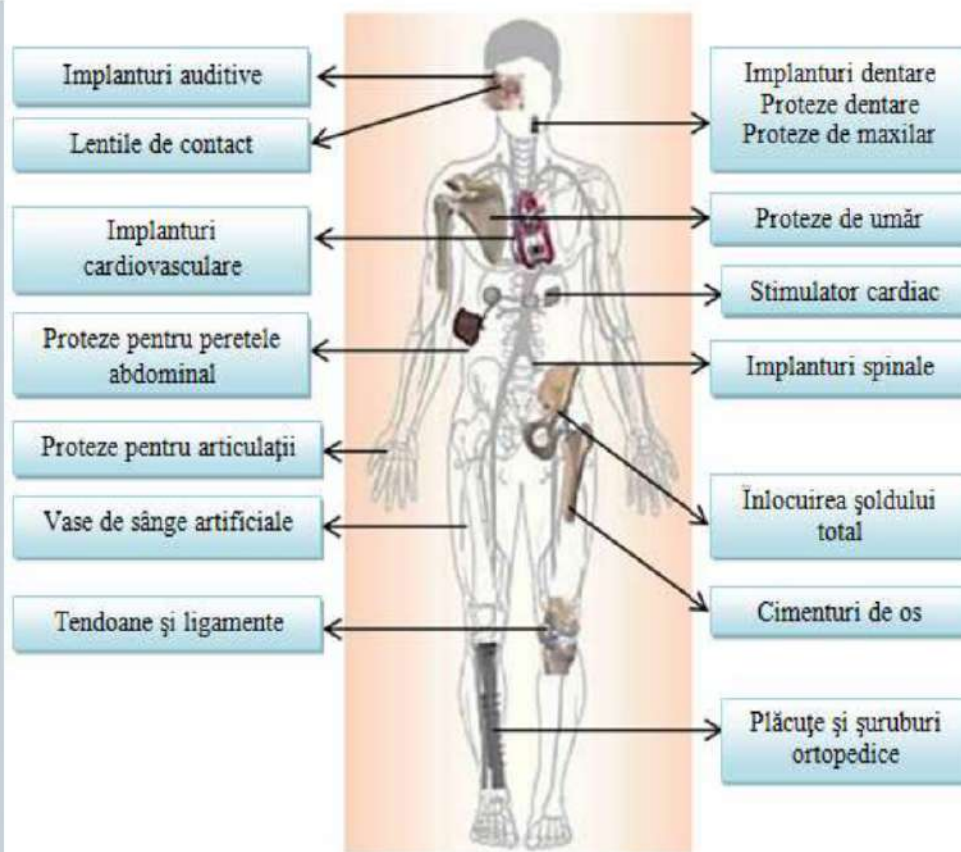
# Biocompatibilitatea



## (B) Teste de evaluare complementare

<b>1. Toxicitate cronică</b>	Aceste teste determină efectele unei sau mai multor expuneri ale dispozitivelor, materialelor și/sau extractelor lor pe durata unei perioade de cel puțin 10% din durata de viață a animalului de experiență (de exemplu, peste 90 de zile pentru un șobolan). Se convine ca aceste teste să fie adaptate zonei de aplicare și duratei de expunere.
<b>2. Carcinogenitate</b>	Aceste teste determină potențialul oncogen al dispozitivelor, materialelor și/sau extractelor lor, în urma unei sau mai multor expuneri sau contacte pe o perioadă de timp acoperind toată viața animalului supus testării. Aceste teste pot fi concepute în scopul examinării toxicității cronice și caracterul oncogen în cursul unui experiment. Testele de carcinogenitate nu sunt în general efectuate decât dacă există rezultate care converg și care provin din alte surse. Se convine ca aceste teste să fie adaptate zonei de aplicare și duratei de expunere.
<b>3. Toxicitatea asupra producerii și dezvoltării (creșterii)</b>	Aceste teste evaluează efectele potențiale ale dispozitivelor, materialelor și/sau extractelor lor asupra funcției de reproducere, dezvoltării embrionare (teratogenitate) și dezvoltarea prenatală și postnatală precoce. Testele de toxicitate sau testele biologice asupra reproducerii și creșterii nu sunt în general efectuate decât în cazul unde dispozitivul are o posibilitate de impact asupra capacității de reproducere a subiectului. Trebuie să se țină seama de locul de aplicare a dispozitivului.
<b>4. Biodegradare</b>	Atunci când există posibilitatea de degradare și/sau resorbție, aceste teste pot pune în evidență procesele de absorbție, distribuție, biotransformare și eliminare a substanțelor extractabile și produsele de degradare a dispozitivelor, materialelor și/sau extractelor lor.

# Aplicații ale biomaterialelor



Biomateriale	Exemple de implanturi	Tip de implant
<b>Metalice</b>		
Oțeluri inoxidabile austenitice	Plăci osoase, șuruburi, tije, sârme, dispozitive intramedulare, endoproteze	Ortopedic
Titan și aliaje de titan		
Aliaj Co-Cr		
Aliaje dentare		
Aliaje cu memoria formei		
Aliaje neferoase (tantal, niobiu, zirconiu)	Valve de inimă, filtre cardiovasculare	Cardiovascular
<b>Polimerice</b>	Proteze faciale; nas, ureche, sân și alte țesuturi moi artificiale	Plastic
Polietilenă	Implanturi și proteze dentare	Dentar
Nylon		
Silicon	Componente ale endoprotezelor, ciment osos	Ortopedic
Teflon		
Polipropilenă	Inimi artificiale, vase de sânge	Cardiovascular
Acid polilactic	Lentile intraoculare	Oftalmologice
Acid poliglicolic		
Polimetacrilat de metil		
Poliuretan	Suturi biodegradabile, segmente gastrointestinale	Reconstructiv
<b>Ceramice</b>	Componente ale endoprotezelor	Ortopedic
Alumină	Implanturi dentare	Dentar
Sticle ceramice		
Porțelan		
Carbon (grafit)		
Hidroxiapatită		
<b>Compozite</b>	Endoproteze	Ortopedic
Carbon pirolitic-fibre de carbon	Implanturi dentare	Dentar
Alumină-titan		
Compozite dentare	Valve de inimă	Cardiovascular
Fosfat de calciu-acid polilactic		

## Aplicații ale biomaterialelor

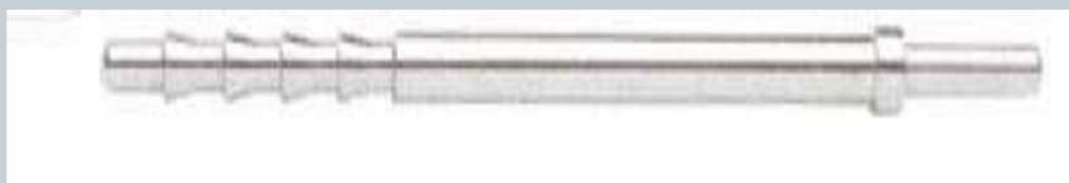
Element	Oțel inoxidabil 316 L	Aliajul Co-Cr-Mo	Titan	Aliaj Ti-6Al-4V
C	0,03%	0,035%	0,010%	5,5-6,5%
Co	-	ponderat	-	0,08%
Cr	17-20%	26-30%	-	-
Fe	ponderat	0,75%	0,3-0,5%	-
H	-	-	0,0125-0,015%	0,25%
Mo	2-4%	5-7%	-	0,0125%
Mn	2%	1%	-	-
N	-	0,25%	0,03-0,05%	-
Ni	12-14%	1%	-	0,05%
O	-	-	0,18-0,40%	-
P	0,03%	-	-	0,13%
S	0,03%	-	-	-
Si	0,75	1%	-	-
Ti	-	-	ponderat	-
V	-	-	-	ponderat
W	-	-	-	3,5-4,5%

# Dispozitive metalice de fixare internă



Plăci de fixare

# Dispozitive metalice de fixare internă



Tija Harrington

# Dispozitive metalice de fixare internă



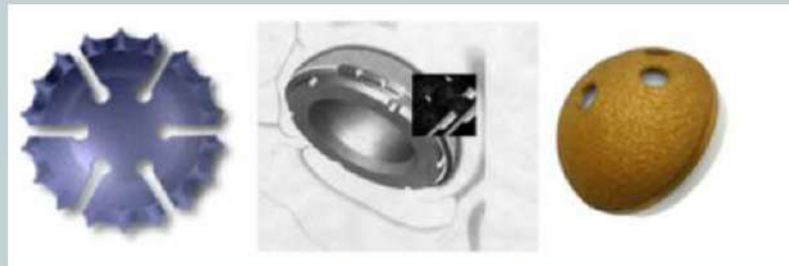
Proteză de disc intervertebral tip Hedman

# Proteză de șold



Tije protetice monobloc [32]

# Proteză de șold



Cupa acetabulară

# Proteză articulară de genunchi



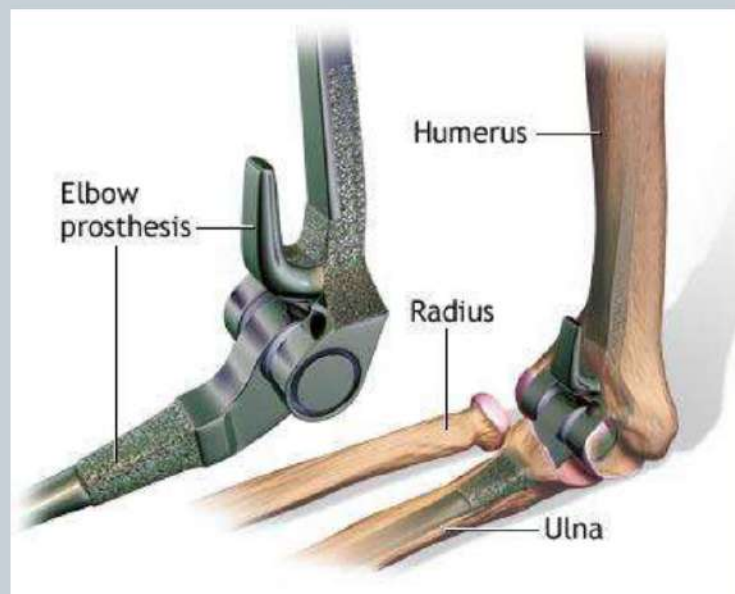
Proteză articulară de genunchi

# Proteză articulară de gleznă



Proteză articulară de gleznă

# Proteză articulară de cot



Proteză articulară de cot

# Protezele articulare de umăr



Proteză articulară de umăr

# Proteze articulare ale falangelor mâinii



Proteze articulare ale falangelor

# Proteze cardiovasculare



Valvă cardiacă

# Proteze cardiovasculare



Stimulator cardiac