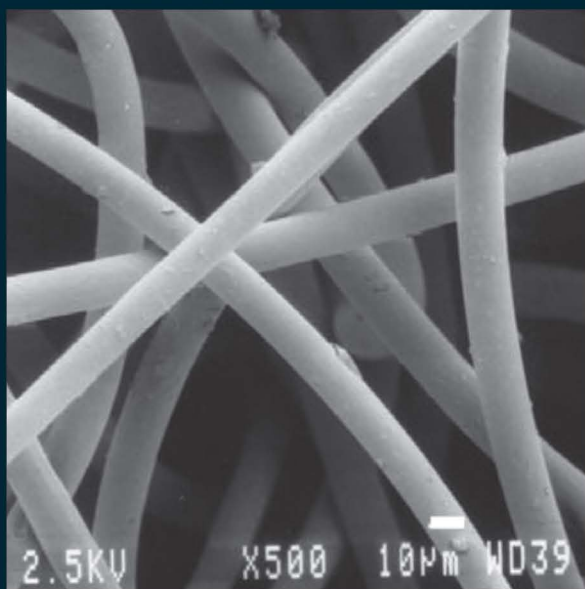
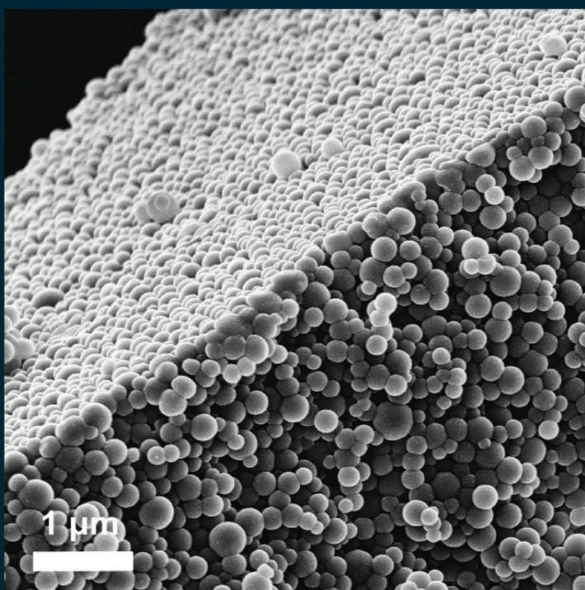


BIOMATERIJALI



Igor Balać
Branko Bugarski
Irena Ćosić
Miroslav Dramićanin
Drago Đorđević
Nenad Filipović
Nenad Ignjatović
Đorđe Janačković
Miloš Kojić
Verica Manojlović
Zoran Marković
Bojana Obradović
Ivana Pajić-Lijaković
Miodrag Pavlović
Milenko Plavšić
Dejan Raković
Vladimir Ranković
Boban Stojanović
Vladimir Trajković
Dragan Uskoković
Petar Uskoković
Dejan Veljković
Ivo Vlastelica
Gordana Vunjak-Novaković

UREDNICI

Dejan Raković
Dragan Uskoković

BEOGRAD 2010

BIOMATERIJALI

INSTITUT TEHNIČKIH NAUKA
SRPSKE AKADEMIJE NAUKA I UMETNOSTI
DRUŠTVO ZA ISTRAŽIVANJE MATERIJALA

BIOMATERIJALI

Urednici
Dejan Raković
Dragan Uskoković

Beograd, 2010

Grupa autora
BIOMATERIJALI

Urednici
PROF. DR DEJAN RAKOVIĆ
PROF. DR DRAGAN USKOKOVIĆ

prvo izdanje

Izdavači

INSTITUT TEHNIČKIH NAUKA SRPSKE AKADEMIJE NAUKA I UMETNOSTI
Knez Mihailova 35/IV, Beograd
<http://www.itn.sanu.ac.rs>

DRUŠTVO ZA ISTRAŽIVANJE MATERIJALA
<http://www.mrs-serbia.org.rs>

Za izdavače
PROF. DR DRAGAN USKOKOVIĆ

Recenzenti
PROF. DR ĐURO KORUGA
PROF. DR MIODRAG ZLATANOVIĆ

Tehnički urednik
ŽELJKO HRČEK

Izdavač se zahvaljuje Zavodu za izdavanje udžbenika i nastavnih sredstava za finansijsku pomoć prilikom štampanja ove knjige

Copyright © 2010 INSTITUT TEHNIČKIH NAUKA SRPSKE AKADEMIJE NAUKA I UMETNOSTI

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

66.017/.018(075.8)
615.46(075.8)

BIOMATERIJALI / [Igor Balać ... et al.]; urednici Dejan Raković, Dragan Uskoković. -
Beograd: Institut tehničkih nauka Srpske akademije nauka i umetnosti:
Društvo za istraživanje materijala, 2010 (Beograd: Draslar partner). -
868 str.: ilustr.; 28 cm

Podaci o autorima preuzeti sa korica. – Tiraž 500. - Ispitna teorijska pitanja: str. 865-868.
- Ispitna test pitanja: str. 841-864. - Bibliografija uz svako poglavlje.

ISBN 978-86-80321-23-3

1. Балаћ, Игор, 1971 - [аутор]
а) Биомедицински материјали б) Наука о материјалима
COBISS.SR-ID 173688332

SADRŽAJ

PREDGOVOR	11
1. UVOD	13
1.1 Biomaterijali.....	14
1.2 Problemi nauke o biomaterijalima	18
1.3 Pitanja za rekapitulaciju.....	22
1.4 Literatura	23

I

OSNOVNI BIOMEDICINSKI KONCEPTI I REAKCIJE ORGANIZMA NA BIOMATERIJALE

2. ĆELIJE I TKIVA.....	27
2.1 Ćelije.....	28
2.2 Tkiva.....	52
2.3 Pitanja za rekapitulaciju.....	64
2.4 Literatura	64
3. INTERAKCIJE ĆELIJA I TKIVA SA BIOMATERIJALIMA.....	67
3.1 Interakcije ćelija sa biomaterijalima	69
3.2 Interakcije tkiva sa biomaterijalima	78
3.3 Pitanja za rekapitulaciju.....	92
3.4 Literatura	93
4. PROCESI ZAPALJENJA I ZARASTANJA.....	97
4.1 Procesi zapaljenja.....	99
4.2 Procesi zarastanja	111
4.3 Pitanja za rekapitulaciju.....	121
4.4 Literatura	121
5. IMUNOLOŠKE REAKCIJE NA BIOMATERIJALE.....	123
5.1 Urođeni (prirodni) i stečeni (adaptivni) imunitet	125
5.2 Primarni i sekundarni imunski odgovor	140

5.3 Kontrola imunskog odgovora.....	141
5.4 Poremećaji imunskog odgovora.....	143
5.5 Pitanja za rekapitulaciju.....	163
5.6 Literatura	163
6. KOAGULACIJA KRVI	167
6.1 Mehanizmi koagulacije krvi.....	169
6.2 Kontrolni mehanizmi koagulacije krvi.....	179
6.3 Pitanja za rekapitulaciju.....	185
6.4 Literatura	185
7. SISTEMSKA TOKSIČNOST I HIPERSENZITIVNOST, TUMOROGENEZA, INFEKCIJE	188
7.1 Sistemska toksičnost i hipersenzitivnost.....	188
7.2 Tumorigeneza.....	197
7.3 Infekcije	206
7.4 Pitanja za rekapitulaciju.....	215
7.5 Literatura	216
8. BIOLOŠKA KARAKTERIZACIJA BIOMATERIJALA.....	221
8.1 In vitro procena kompatibilnosti tkiva	222
8.2 In vivo određivanje kompatibilnosti tkiva	229
8.3 Testiranje interakcija materijala u krvi	240
8.4 Životinjski modeli	252
8.5 Pitanja za rekapitulaciju	254
8.6 Literatura	255
9. DEGRADACIJA BIOMATERIJALA U BIOLOŠKOM OKRUŽENJU	261
9.1 Hemijska i biohemijska degradacija polimera.....	262
9.2 Razgrađujući uticaj biološke sredine na metale i keramiku	277
9.3 Mehaničko raspadanje u biološkoj sredini	287
9.4 Patološka kalcifikacija biomaterijala	293
9.5 Pitanja za rekapitulaciju.....	305
9.6 Literatura	305

II

**STRUKTURA, FIZIČKO-MEHANIČKA KARAKTERIZACIJA I
MODELIRANJE BIOMATERIJALA I TKIVA**

10. ELEKTRONSKA I PROSTORNA STRUKTURA BIOMATERIJALA.....	311
10.1 Hemijske veze i svojstva biomaterijala	311
10.2 Nadmolekularne kristalne strukture i nesavršenosti.....	314
10.3 Nadmolekularne nekristalne strukture	318
10.4 Hibridizacija atomskih orbitala i strukturne forme ugljenika.....	321
10.5 Molekularne i nadmolekularne strukture biopolimera	323
10.6 Pitanja za rekapitulaciju	333
10.7 Literatura	333

11. FIZIČKA KARAKTERIZACIJA BIOMATERIJALA	335
11.1 Metode karakterizacije molekulske težine biomaterijala	335
11.2 Difrakcione metode karakterizacije biomaterijala.....	336
11.3 Mikroskopske metode karakterizacije biomaterijala	338
11.4 Spektroskopske metode karakterizacije biomaterijala.....	341
11.5 Pitanja za rekapitulaciju	350
11.6 Literatura	351
12. MEHANIČKA KARAKTERIZACIJA BIOMATERIJALA	352
12.1 Mehanička ispitivanja sa razaranjem.....	352
12.2 Mehanička ispitivanja bez razaranja	364
12.3 Uporedne mehaničke karakteristike biomaterijala.....	368
12.4 Pitanja za rekapitulaciju	369
12.5 Literatura	370
13. MODELIRANJE BIOMATERIJALA I TKIVA	371
13.1 Osnove mehanike neprekidnih sredina	371
13.2 Jednačine mehanike kontinuuma	371
13.3 Princip virtualnog rada i konstitutivne relacije.....	377
13.4 Jednačine konačnih elemenata	381
13.5 Bioimplantati kod kostiju.....	384
13.6 Modeliranje bioloških membrana	387
13.7 Modeliranje mišića.....	397
13.8 Pitanja za rekapitulaciju	400
13.9 Literatura	401
14. MODELIRANJE KRVOTOKA, DISAJNIH ORGANA I HRSKAVICE	403
14.1 Osnovne jednačine laminarnog strujanja fluida	403
14.2 Jednačine konačnih elemenata	406
14.3 Solid–fluid interakcija.....	409
14.4 Strujanje krvi kroz arterije	413
14.5 Modeliranje stenta, interakcija sa krvotokom arterija	417
14.6 Modeliranje strujanja vazduha u respiratornom sistemu.....	424
14.7 Modeliranje hrskavice	427
14.8 Pitanja za rekapitulaciju	433
14.9 Literatura	434
15. MODELIRANJE MIKROMECHANIKE KOD ČESTIČNO KOMPOZITNIH BIOMATERIJALA	438
15.1 Mikromehanika čestičnih kompozita.....	438
15.2 Poluempirijske, numeričke i analitičke metode proračuna.....	440
15.3 Numerički model kompozita	443
15.4 Poređenja numeričkih i eksperimentalnih rezultata	459
15.5 Pitanja za rekapitulaciju	461
15.6 Literatura	462

16. NANOMEHANIČKA KARAKTERIZACIJA BIOMATERIJALA.....	464
16.1 Osnove metode nanoindentacije.....	465
16.2 Eksperimentalni rezultati nanoindentacije.....	468
16.3 Numerička simulacija metode nanoindentacije.....	469
16.4 Pitanja za rekapitulaciju	479
16.5 Literatura	479

III SAVREMENI BIOMATERIJALI I TEHNOLOGIJE

17. METALNI BIOMATERIJALI	483
17.1 Inženjering mehaničkih karakteristika metala.....	483
17.2 Glavni predstavnici metalnih biomaterijala.....	500
17.3 Korozija metalnih implantata	507
17.4 Tehnologija metalnih implantata.....	510
17.5 Pitanja za rekapitulaciju	511
17.6 Literatura	512
18. KERAMIČKI BIOMATERIJALI	513
18.1 Keramički inženjering.....	514
18.2 Struktura kosti i zuba.....	520
18.3 Glavni predstavnici keramičkih biomaterijala	528
18.4 Kalcijum-fosfatni cementi	546
18.5 Bioaktivne prevlake.....	552
18.6 Skafoldi.....	557
18.7 Pitanja za rekapitulaciju	558
18.8 Literatura	559
19. POLIMERNI MOLEKULI I BIOMATERIJALI.....	567
19.1 Polimerni inženjering	568
19.2 Osnovni pojmovi	573
19.3 Sinteza polimera	579
19.4 Struktura i svojstva polimernih molekula	582
19.5 Struktura i svojstva polimernih materijala	588
19.6 Dobijanje i dizajniranje polimernih materijala i proizvoda	599
19.7 Primena polimera za biomaterijale	600
19.8 Pitanja za rekapitulaciju	601
19.9 Literatura	601
20. KOMPOZITNI BIOMATERIJALI	604
20.1 Glavni predstavnici kompozitnih biomaterijala.....	605
20.2 Injektibilni kompozitni biomaterijali za rekonstrukciju koštanog tkiva.....	620
20.3 Modaliteti povećanja efikasnosti kompozitnih biomaterijala.....	625
20.4 Pitanja za rekapitulaciju	626
20.5 Literatura	627

21. BIODEGRADABILNI POLIMERI	630
21.1 Biodegradabilni polimeri zasnovani na laktidu (glikolidu)	631
21.2 Fizička svojstva	638
21.3 Pakovanje bioresorbilnih polimera i sterilizacija	639
21.4 Degradacija bioresorbilnih polimera	642
21.5 Primena bioresorbilnih polimera u nanobiotehnologiji	643
21.6 Pitanja za rekapitulaciju	653
21.7 Literatura	654
22. BIODERIVATIVNI POLIMERI I HIDROGELOVI.....	656
22.1 Bioderivativni materijali na bazi kolagena	657
22.2 Bioderivativni materijali na bazi alginata	660
22.3 Inženjering bioderivativnih materijala	663
22.4 Sastav i struktura sintetskih hidrogelova.....	666
22.5 Termodinamički i reološki osnovi primene biomaterijala u formi hidrogelova	669
22.6 Proizvodnja bioderivativnih materijala	675
22.7 Dizajniranje i proizvodnja implantata iz bioderivativnih materijala	677
22.8 Pitanja za rekapitulaciju	679
22.9 Literatura	679
23. MEKOTKIVNI IMPLANTATI	683
23.1 Mekotkivni implantati interagujući sa krvlju	684
23.2 Mekotkivni implantati neinteragujući sa krvlju	690
23.3 Pitanja za rekapitulaciju	695
23.4 Literatura	696
24. ČVRSTOTKIVNI IMPLANTATI.....	697
24.1 Rekonstrukcija kostiju i zglobni implantati	697
24.2 Stomatološki implantati: odnos svojstava materijala i biofunkcionalnih svojstava	717
24.3 Pitanja za rekapitulaciju	723
24.4 Literatura	723

IV

PERSPEKTIVE BIOMATERIJALA I TEHNOLOGIJA

25. TEHNOLOGIJA IMOBILIZACIJE ĆELIJA: PRAKTIČNI ASPEKTI	727
25.1 Metode imobilizacije ćelija	727
25.2 Modeliranje procesa u česticama sa imobilisanim ćelijama	731
25.3 Ekstruzione tehnike.....	734
25.4 Pitanja za rekapitulaciju	737
25.5 Literatura	738
26. BIOINŽENJERSTVO TKIVA: STANJE I PERSPEKTIVE.....	740
26.1 Osnovni pojmovi	740
26.2 Ćelijska kultura	742

26.3 In vitro kultivacija tkiva	744
26.4 Integracija tkivnih ekvivalenata u živi organizam.....	754
26.5 Pitanja za rekapitulaciju	755
26.6 Literatura	756
27. NANOMEDICINA: STANJE I PERSPEKTIVE	762
27.1 Nanočestice u medicinskoj dijagnostici	762
27.2 Nanočestice kao nosioci lekova	763
27.3 Mehanizmi uklanjanja nanočestica iz organizma i mogućnost ciljane isporuke lekova.....	764
27.4 Usmeravanje nanočestica.....	766
27.5 Toksičnost nanočestica	769
27.6 Budućnost nanomedicine	770
27.7 Dodatak I: Primeri upotrebe nanočestica	770
27.8 Dodatak II: Definicije nekih nanočestica sa primenom nanovlakana	771
27.9 Pitanja za rekapitulaciju	774
27.10 Literatura.....	775
28. KVANTNA MEDICINA: STANJE I PERSPEKTIVE	778
28.1 Makroskopski kvantni efekti u biofizici i kvantno-holističke psihosomatske implikacije	778
28.2 Dodatak: Bioinformacione osnove kvantne medicine i kvantno-holografske informatike	782
28.3 Pitanja za rekapitulaciju	795
28.4 Literatura	796
ZADACI SA REŠENJIMA	803
ISPITNA TEST PITANJA.....	841
ISPITNA TEORIJSKA PITANJA	865