

Izbrana poglavja iz

BIOLOGIJE CELICE

z navodili za laboratorijske vaje

Biologija celice za študente enovitega magistrskega študijskega programa
Splošna medicina in Dentalna medicina

Saška Lipovšek
Barbara Dariš
Tanja Vajs





University of Maribor

Faculty of Medicine

Izbrana poglavja iz biologije celice z navodili za laboratorijske vaje

Visokošolski učbenik za študente enovitih magistrskih študijskih programov Splošna
medicina in Dentalna medicina

Avtorice

Saška Lipovšek

Tanja Vajs

Barbara Dariš

Oktober 2026

Naslov <i>Title</i>	Izbrana poglavja iz biologije celice z navodili za laboratorijske vaje <i>Cell Biology With Instructions for Laboratory Work</i>
Podnaslov <i>Subtitle</i>	Visokošolski učbenik za študente enovitih magistrskih študijskih programov Splošna medicina in Dentalna medicina <i>University Textbook for Students of the General Medicine Study Programme and Dental Medicine Study Programme</i>
Avtorice <i>Authors</i>	Saška Lipovšek (Univerza v Mariboru, Medicinska fakulteta) Tanja Vajs (Univerza v Mariboru, Medicinska fakulteta) Barbara Dariš (Univerza v Mariboru, Medicinska fakulteta)
Recenzija <i>Review</i>	Mihael Munda (Univerza v Mariboru, Medicinska fakulteta) Nada Žnidaršič (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta)
Lektoriranje <i>Language editing</i>	Alenka Čuš Patricija Mencigar (Preveksa)
Tehnična urednika <i>Technical editors</i>	Jan Perša (Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba) Marina Bajić (Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba)
Oblikovanje ovitka <i>Cover designer</i>	Jan Perša (Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba)
Grafika na ovitku <i>Cover graphics</i>	Saška Lipovšek
Grafične priloge <i>Graphic material</i>	Vsi viri so lastni, če ni navedeno drugače. Lipovšek, Vajs, Dariš (avtorice), 2026
Založnik <i>Published by</i>	Univerza v Mariboru Univerzitetna založba Slomškov trg 15, 2000 Maribor, Slovenija https://press.um.si , zalozba@um.si
Izdajatelj <i>Issued by</i>	Univerza v Mariboru Medicinska fakulteta Taborska ulica 8, 2000 Maribor, Slovenija https://mf.um.si , dekanat.mf@um.si

Tisk
Printed by Birografika Bori d.o.o

Naklada
Circulation 600 izvodov

Izdano
Published at Maribor, Slovenija, oktober 2026

Dostopno na
Available at <https://press.um.si/index.php/ump/catalog/book/1146>

© Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba
/ University of Maribor, University of Maribor Press

Vse pravice pridržane. Brez pisnega dovoljenja založnika je prepovedano reproduciranje, distribuiranje, predelava ali druga uporaba tega dela ali njegovih delov v kakršnemkoli obsegu ali postopku, vključno s fotokopiranjem, tiskanjem ali shranjevanjem v elektronski obliki. / *All rights reserved. No part of this book may be reprinted or reproduced or utilized in any form or by any electronic, mechanical, or other means, now known or hereafter invented, including photocopying and recording, or in any information storage or retrieval system, without permission in writing from the publisher.*

CIP - Kataložni zapis o publikaciji
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

576.3(075.8)
576.3(075.8)(076.5)

LIPOVŠEK Delakorda, Saška

Izbrana poglavja iz biologije celice z navodili za laboratorijske vaje : visokošolski učbenik za študente enovitih magistrskih študijskih programov Splošna medicina in Dentalna medicina / avtorice Saška Lipovšek, Tanja Vajs, Barbara Dariš ; [izdajatelj] Univerza v Mariboru, Medicinska fakulteta. - Maribor : Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba, 2026

ISBN 978-961-299-204-0
COBISS.SI-ID 293875459

ISBN 978-961-299-204-0 (mehka vezava)

DOI <https://doi.org/10.18690/um.mf.4.2026>

Cena 14,20 EUR

Odgovorna oseba
založnika
For publisher Prof. dr. Dean Korošak,
rektor Univerze v Mariboru

Citiranje
Attribution Lipovšek, S., Vajs, T., Dariš, B. (2026). *Izbrana poglavja iz biologije celice z navodili za laboratorijske vaje: Visokošolski učbenik za študente enovitih magistrskih študijskih programov Splošna medicina in Dentalna medicina*. Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba. doi: 10.18690/um.mf.4.2026



Kazalo

ŠTUDENTKAM IN ŠTUDENTOM.....	1
1 SVETLOBNA MIKROSKOPIJA. PRIPRAVA SVEŽEGA MIKROSKOPSKEGA PREPARATA.....	3
1.1 Ločljivost klasičnih svetlobnih mikroskopov.....	4
1.1.1 Ravninska ločljivost.....	6
1.2 Sestavni deli svetlobnega mikroskopa.....	9
1.3 Navodila za delo s svetlobnim mikroskopom.....	11
1.4 Najpogostejše napake pri mikroskopiranju.....	11
1.5 Vsebina laboratorijske vaje.....	12
1.6 Navodila za laboratorijsko vajo in poročilo.....	12
2 PROKARIOTSKA IN EVKARIOTSKA CELICA. TKIVA. MERJENJE STRUKTUR V SVETLOBNI MIKROSKOPIJI	15
2.1 Prokariotska celica.....	15
2.2 Evkariotska celica.....	17
2.3 Oblike evkariotskih celic.....	20
2.4 Tkiva.....	20
2.4.1 Epiteliji.....	21
2.4.2 Vezivna tkiva.....	22
2.4.3 Mišična tkiva.....	28
2.4.4 Živčna tkiva.....	29
2.5 Merjenje struktur v mikroskopskem preparatu.....	30
2.6 Risanje mikroskopskega preparata.....	31
2.7 Vsebina laboratorijske vaje.....	32
2.8 Navodila za laboratorijsko vajo in poročilo.....	32
3 PRIPRAVA PREPARATOV ZA SVETLOBNO MIKROSKOPIJO (HISTOLOŠKE TEHNIKE).....	37
3.1 Sveži mikroskopski preparati.....	37
3.2 Trajni mikroskopski (histološki) preparati.....	38
3.2.1 Kemijska fiksacija in priprava trajnih histoloških preparatov iz parafinskih rezin.....	38
3.2.2 Fizikalna fiksacija tkiva in priprava trajnih histoloških preparatov iz zamrznjenih tkivnih rezin.....	41
3.3 Vsebina laboratorijske vaje.....	41
3.4 Navodila za laboratorijsko vajo in poročilo.....	42
4 HISTOKEMIJSKE METODE. CELIČNE KULTURE.....	45
4.1 Metoda lokalizacije nukleinskih kislin.....	46
4.1.1 Feulgenova reakcija.....	46
4.2 Metodi lokalizacije ogljikovih hidratov.....	47
4.2.1 Lokalizacija nevtrálnih proteoglikanov in enostavnih polisaharidov z reakcijo PAS.....	47
4.2.2 Lokalizacija kislih proteoglikanov z alcianskim modrilom.....	48
4.3 Metode lokalizacije lipidov.....	49
4.3.1 Osmijev tetroksid.....	49
4.3.2 Barvila Sudan.....	50
4.4 Encimska histokemija.....	50

4.4.1	Dokazovanje kisle fosfataze.....	51
4.4.2	Dokazovanje katalaze.....	52
4.5	Dokazovanje fragmentirane DNA z metodo TUNEL.....	53
4.6	Imunooznačevanje	54
4.7	Celične kulture	56
4.7.1	Pogoji za gojenje evkariotskih celic <i>in vitro</i>	57
4.7.2	Tipi celičnih kultur.....	59
4.7.3	Pomen celičnih kultur v medicini	59
4.8	Vsebina laboratorijske vaje.....	60
4.9	Navodila za laboratorijsko vajo in poročilo	61
5	ELEKTRONSKA MIKROSKOPIJA IN CITOLOŠKE TEHNIKE. ULTRAŠTRUKTURA CELICE.....	65
5.1	Elektronska mikroskopija.....	65
5.1.1	Presevna (transmisijska) elektronska mikroskopija	67
5.1.1.1	Analitska presevna (transmisijska) elektronska mikroskopija.....	68
5.1.1.2	Priprava preparatov za presevno (transmisijsko) elektronsko mikroskopijo.....	73
5.1.1.3	Zamrzovalno lomljenje in jedkanje.....	80
5.1.2	Vrstična elektronska mikroskopija.....	82
5.1.2.1	Priprava preparatov za vrstično elektronsko mikroskopijo	83
5.2	Ultrastruktura celice	84
5.2.1	Biološke membrane.....	84
5.2.1.1	Plazmalema	85
5.2.2	Citosol	88
5.3	Vsebina laboratorijske vaje.....	90
5.4	Navodila za laboratorijsko vajo in poročilo	90
6	CELIČNI ORGANELI. BIOSINTETSKA IN SEKRECIJSKA POT. ENDOCITOZA. AVTOFAGIJA	95
6.1	Celični organeli.....	95
6.1.1	Mitohondrij.....	95
6.1.2	Endoplazemski retikulum	99
6.1.3	Golgijev aparat.....	102
6.1.3.1	Transporti v Golgijevem aparatu	103
6.1.4	Lizosomi.....	105
6.1.5	Peroksisomi	107
6.2	Biosintetska in sekrecijska pot.....	108
6.3	Endocitoza.....	110
6.4	Avtofagija.....	114
6.5	Vsebina laboratorijske vaje.....	118
6.6	Navodila za laboratorijsko vajo in poročilo	119
7	CITOSKELET	125
7.1	Aktinski filamenti.....	125
7.2	Intermediarni filamenti	127
7.3	Mikrotubuli	128
7.3.1	Bički in migetalke.....	131
7.4	Vsebina laboratorijske vaje.....	132
7.5	Navodila za laboratorijsko vajo in poročilo	133
8	ZUNAJCELIČNI MATRIKS.....	137
8.1	Medceličnina.....	137
8.1.1	Proteoglikani.....	137
8.1.2	Nitasti (fibrilarni) proteini	138
8.1.2.1	Kolagen	138
8.1.2.2	Elastin.....	139
8.1.2.3	Fibronektin	139
8.2	Bazalna lamina.....	140
8.3	Vsebina laboratorijske vaje.....	142
8.4	Navodila za laboratorijsko vajo in poročilo	142

9	POVEZANOST STRUKTURE IN FUNKCIJE CELICE	147
9.1	Epitelijske celice.....	148
9.1.1	Endotelijske celice	148
9.1.2	Sekrecijske celice	150
9.1.3	Absorpcijske celice	155
9.1.4	Reabsorpcijske celice.....	157
9.1.5	Površinske celice urotelija	161
9.2	Celice vezivnega tkiva	162
9.2.1	Fibroblasti.....	162
9.3	Mišične celice.....	163
9.3.1	Prečnoprogaste mišične celice skeletnih mišic.....	163
9.3.2	Gladkomišične celice.....	164
9.4	Živčne celice (nevroni)	165
9.4.1	Fotoreceptorske celice	166
9.5	Vsebina laboratorijske vaje.....	168
9.6	Navodila za laboratorijsko delo in poročilo	169
10	JEDRO. KROMOSOMI. CELIČNI CIKEL. CELIČNA SMRT	175
10.1	Jedro.....	175
10.2	Kromosom	177
10.3	Celični cikel.....	178
10.3.1	Celična delitev	179
10.4	Celična smrt.....	180
10.4.1	Apoptoza.....	180
10.4.2	Nekroza	182
10.5	Vsebina laboratorijske vaje.....	183
10.6	Navodilo za laboratorijsko vajo in poročilo.....	184
11	MEJOZA. GAMETOGENEZA.....	189
11.1	Mejoza	189
11.1.1	Prva mejotska delitev	190
11.1.2	Druga mejotska delitev	191
11.1.3	Spolni kromosomi med mejozo	191
11.2	Gametogeneza.....	191
11.2.1	Spermatogeneza	191
11.2.2	Oogeneza	192
11.3	Vsebina laboratorijske vaje.....	194
11.4	Navodila za laboratorijsko vajo in poročilo	195
12	MORFOLOŠKE ZNAČILNOSTI ČLOVEŠKIH SEMENČIC	199
12.1	Vsebina laboratorijske vaje.....	205
12.2	Navodila za laboratorijsko vajo in poročilo	205
13	ZGODNJI EMBRIONALNI RAZVOJ	207
13.1	Oploditev ter prvi in drugi teden razvoja pri sesalcih.....	207
13.2	Zgodnji embrionalni razvoj.....	209
13.2.1	Brazdanje in nastanek blastule.....	210
13.2.2	Vgnezdenje ali implantacija.....	211
13.2.3	Gastrulacija in razvoj kličnih listov (tretji teden razvoja)	212
13.2.4	Nevrulacija: tvorba nevralne cevi.....	213
13.2.4.1	Razvoj ektoderma.....	214
13.2.4.2	Razvoj mezoderma.....	215
13.3	Organogeneza (četrti do osmi teden razvoja)	218
13.4	Embrionalni razvoj do rojstva.....	218
13.4.1	Četrti teden (28.–35. dan).....	218
13.4.2	Peti teden (35.–42. dan)	219
13.4.3	Šesti teden (42.–49. dan).....	219
13.4.4	Sedmi teden (49.–56. dan).....	219

13.4.5	Osmi teden	219
13.4.6	Od devetega tedna do rojstva	219
13.5	Zgodnji embrionalni razvoj pri modelnih organizmih	220
13.5.1	Morski ježek	220
13.5.2	Dvoživke	220
13.5.3	Ptiči	220
13.6	Vsebina laboratorijske vaje	221
13.7	Navodila za laboratorijsko delo in poročilo	221
LITERATURA		225

Študentkam in študentom

Delo »Izbrana poglavja iz biologije celice z navodili za laboratorijske vaje« je visokošolski učbenik za študijski predmet Biologija celice na Medicinski fakulteti Univerze v Mariboru. Namenjen je študentom enovitega magistrskega študijskega programa Splošna medicina in študentom enovitega magistrskega študijskega programa Dentalna medicina.

Pri študijskem predmetu Biologija celice študenti spoznajo zgradbo in delovanje različnih tipov evkariotskih celic ter subceličnih struktur. Učbenik obsega 13 poglavij, v katerih so predstavljene izbrane vsebine. Prvo poglavje je namenjeno temeljni raziskovalni metodi v biologiji celice, to je svetlobna mikroskopija. V drugem poglavju so predstavljene značilnosti prokariotske in evkariotske celice ter različnih vrst tkiv. Sledi poglavje o pripravi tkivnih preparatov za svetlobno mikroskopijo. Histokemijske metode in celične kulture so opisane v četrtem poglavju. Naslednje je namenjeno elektronski mikroskopiji, pripravi tkivnih vzorcev za elektronsko mikroskopijo ter podrobni zgradbi celice (ultrastrukturi). V šestem poglavju so opisani celični organeli, biosintetska sekrecijska pot, endocitoza in avtofagija. Značilnosti citoskeleta so vsebina sedmega poglavja. Vsako tkivo je sestavljeno iz celic in zunajceličnega matriksa (medceličnine), ki pomembno sooblikuje biokemijske, mehanske in fiziološke značilnosti tkiv. Sestava in funkcija zunajceličnega matriksa sta opisani v osmem poglavju. Vsebine biologije celice so zelo kompleksne. Povezanost strukture in funkcije se odraža na vseh hierarhičnih nivojih živega; specifična struktura diferencirane celice omogoča njeno specifično dejavnost – to povezanost zgradbe in dejavnosti na nivoju celice smo predstavili na primerih izbranih tipov celic v devetem poglavju. Iz skupine epitelijskih celic smo opisali podrobno zgradbo endotelijske celice, sekrecijskih celic (čšaaste celice tankega črevesa, eksokrine in endokrine celice trebušne slinavke, hepatociti), absorpcijske celice tankega črevesa, reabsorpcijskih epitelijskih celic proksimalne in distalne cevke nefrona in površinske celice urotelija. Iz skupine celic vezivnih tkiv je predstavljena podrobna zgradba fibroblasta. Prečnoprogasta in gladkomišična celica sta opisani iz skupine mišičnih celic ter fotoreceptorska celica iz skupine živčnih celic. Jedro, kromosomi, celični cikel in celična smrt so opisani v desetem, mejoza in gametogeneza v 11. poglavju. V predzadnjem poglavju obravnavamo morfološke značilnosti človeških semenčic. Glavne značilnosti posameznih stopenj v zgodnjem embrionalnem razvoju so vsebina 13. poglavja. V večini poglavij so vključene mikrografije, na katerih lahko opazujemo podrobno zgradbo celic in celičnih struktur. Vse mikrografije so bile pridobljene s pomočjo transmissijskega elektronskega mikroskopa na Inštitutu za biologijo celice, histologijo in embriologijo Medicinske univerze v Gradcu.

V vsakem poglavju je uvodni del namenjen predstavitvi izbrane vsebine s področja biologije celice, in sledi del, namenjen laboratorijski vaji. Pri vajah študenti opazujejo trajne tkivne preparate in se ob tem seznanjajo tudi z znanstveno-raziskovalnimi metodami proučevanja celic in tkiv. Vsebina laboratorijske vaje je del, kjer so podani vsebinski poudarki laboratorijske vaje, tkivni preparati in praktične naloge, ki jih študenti opravijo med vajo. S krepko pisavo so označena imena tkivnih preparatov, ki jih je potrebno prepoznati na praktičnem preverjanju znanja. V točki z naslovom Navodila za laboratorijsko vajo in poročilo so zapisana navodila za praktično delo študentov, ter tudi za izvajanje vaje in pisanje poročila o laboratorijski vaji.

Med mikroskopiranjem se študenti urijo v natančnem opazovanju tkivnih vzorcev in opažene strukturne značilnosti tkiv in celic povezujejo z njihovimi funkcijami. Pri delu uporabljajo tudi histološke in citološke atlase, kjer poiščejo dodatne fotografije histoloških preparatov in mikrografije tkiv (celic in zunajceličnega matriksa), ob katerih širijo in poglobljajo znanja. Ob praktičnem delu napišejo poročilo o laboratorijski vaji, ki ga ob koncu vaj pregleda vodja vaj. Z nalogami nameravamo študente vzpodbujati k razmišljanju in uporabi znanja. Zgradba celic in tkiv je povezana z njihovimi funkcijami. Specifična zgradba izbranega tipa celice omogoča specifično delovanje te celice. Želimo, da bi študenti razumeli to povezanost zgradbe in delovanja, ki jo lahko prepoznamo tako na nivoju celic kot tudi na nivoju tkiv. Slednje nam omogoča bolj celostno razumevanje delovanja organov in organskih sistemov.

Avtorice se iskreno zahvaljujemo recenzentoma, doc. dr. Nadi Žnidaršič in doc. dr. Mihaelu Mundi, za strokovne predloge, kritične misli ter dragocene usmeritve za izboljšanje besedila.

Študentkam in študentom želimo veliko novih znanj in uspeha pri študiju!

Avtorice



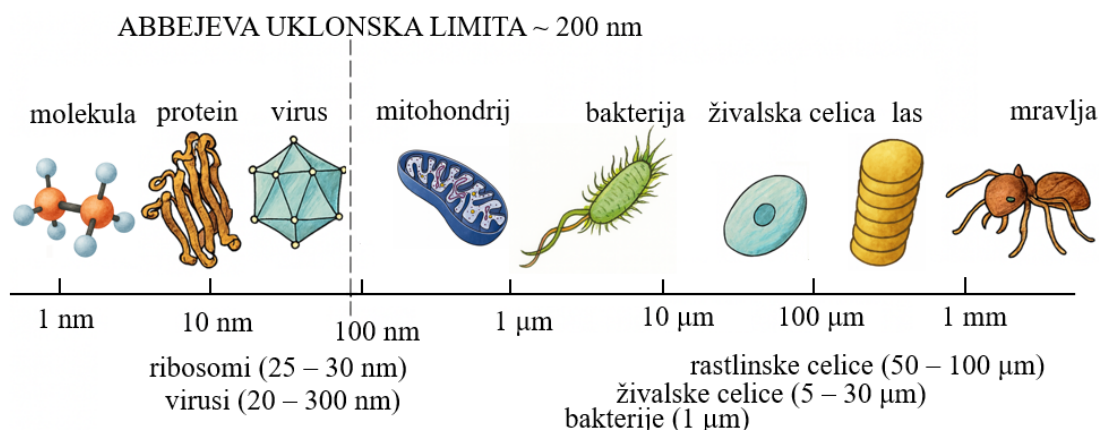
1 Svetlobna mikroskopija.

Priprava svežega mikroskopskega preparata

Biologija celice je veda, ki proučuje zgradbo in delovanje celic. Ker so celice večinoma premajhne, da bi jih opazovali s prostim očesom, se za njihovo proučevanje pogosto uporabljajo mikroskopi. Glede na način, kako nastane slika, ločimo svetlobne, elektronske in druge vrste mikroskopov. **Svetlobni mikroskop** je optična naprava, ki omogoča opazovanje majhnih objektov, saj s prostim očesom ne moremo ločiti dveh točk, oddaljenih manj kot približno 0,1 mm. Prva opazovanja celic je opisal Robert Hooke v delu *Micrographia* leta 1665. Velik napredek v razvoju svetlobnih mikroskopov je bil dosežen v 17. stoletju, ko je Antonie van Leeuwenhoek (1632–1723) razvil več kot 500 preprostih mikroskopov z eno lečo, ki jih je uporabljal za opazovanje različnih bioloških vzorcev. Danes je svetlobni mikroskop nepogrešljiv tehnični pripomoček v celični biologiji, histologiji, mikrobiologiji, patologiji in na drugih področjih, na katerih proučujejo mikroskopsko zgradbo bioloških (na primer rastlinskih in živalskih tkiv) ali nebioloških vzorcev (na primer kamnin, keramike in polimernih materialov).

1.1 Ločljivost klasičnih svetlobnih mikroskopov

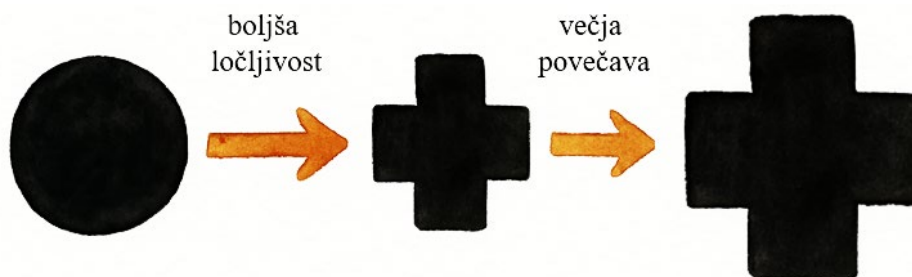
V 19. stoletju je nemški fizik Ernst Karl Abbe izpeljal, da je zaradi uklona svetlobe teoretična ravninska ločljivost (v ravnini xy) svetlobnih mikroskopov omejena z **Abbejevo uklonsko limito**. Ta določa najmanjšo razločljivo razdaljo, ki je odvisna od valovne dolžine svetlobe in numerične aperture objektiva ter pri vidni svetlobi znaša približno 200 nm. To pomeni, da s klasičnim svetlobnim mikroskopom ni mogoče razločiti struktur, manjših od približno 200 nm, kot so manjši virusi, posamezni proteini in druge biomolekule (slika 1.1a).



Slika 1.1a: Abbejeva uklonska limita in velikosti izbranih organizmov ter struktur.

Ločljivost mikroskopa je definirana kot najmanjša razdalja med dvema točkama v vzorcu, ki ju še lahko razločimo kot ločeni točki, pri čemer lahko končno ločljivost slike poslabšajo optične aberacije. **Optične aberacije** so napake optične slike, ki nastanejo zaradi nepopolnosti optičnega sistema, na primer zaradi nepravilnosti leč mikroskopa.

Boljša ločljivost torej pomeni, da na sliki opazovanega vzorca, na primer celice, razločimo več podrobnosti, medtem ko pri večji povečavi sliko vidimo le povečano (podobno kot pri uporabi lupe), ne vidimo pa še več dodatnih podrobnosti (slika 1.1 b).



Slika 1.1b: ločljivost in povečava. Pri boljši ločljivosti vidimo več podrobnosti, pri večji povečavi je slika opazovane strukture povečana.

Literatura

- Acharya, V., Olivero, J. (2018). The kidney as an endocrine organ. *Methodist DeBakey Cardiovascular Journal*, 14(4), 305.
- Alberts, B in sod. (2022). Molecular biology of the cell. Garland science.
- Alexandrov, O. Prehod ravnega vala skozi lečo. Pridobljeno 30. 9. 2025, iz https://sl.wikipedia.org/wiki/Fraunhoferjev_uklon#/media/Slika:Lens_and_wavefronts_rotated.gif.
- Bailey, M. Airy Pattern. Pridobljeno 28. 7. 2025 iz <https://martinbaileyphotography.com/2017/10/26/circle-of-confusion-the-airy-disk-and-diffraction-podcast-594/>.
- Baskin, D. G. (2015). A Historical Perspective on the Identification of Cell Types in Pancreatic Islets of Langerhans by Staining and Histochemical Techniques, *Journal of Histochemistry & Cytochemistry*. 63(8), 543–558.
- Bereiter-Hahn, J. (2005). Mechanics of crawling cells. *Med. Eng. Phys.* 27, 743–753.
- Blaser, H. in sod. (2006). Migration of zebrafish primordial germ cells: a role for myosin contraction and cytoplasmic flow. *Dev. Cell* 11, 613–627.
- Borisy, G. G. in Svitkina, T. M. (2000). Actin machinery: pushing the envelope. *Curr. Opin. Cell Biol.* 12, 104–112.
- Brat, D. J. (2018). Normal brain histopathology. In: Perry, A., Brat, D. J. (Eds.), *Practical surgical neuropathology: a diagnostic approach*. New York: Churchill Livingstone, Elsevier, 19–37.
- Brodusch, N. in sod. (2021). Scanning Electron Microscopy versus Transmission Electron Microscopy for Material Characterization: A Comparative Study on High-Strength Steels, 1–19.
- Capron, A. in sod. (2009). Embryogenesis: Pattern Formation from a Single Cell, *Arabidopsis Book*. 7 (126).
- Cooper G. M. (2019). The Cell: a molecular approach. 8th Ed. New York (NY): Sinauer Associates, Oxford University Press.
- Da Silva Xavier, G. (2018). The cells of the islets of Langerhans. *Journal of clinical medicine*, 7(3), 54.
- Doronin, Yu. K. in sod. (2006). Cleavage of Human Embryos: Options and Diversity, *Acta Naturae*, 8(3), 88–96.
- Dutour-Provenzano G. in Etienne-Manneville S. (2021). Intermediate filaments. *Current Biology* 31, 496–552.
- Dykstra M. J., Reuss L. E. (2003). Biological electron microscopy. New York [etc.]: Kluwer Academic: Plenum.
- Effler, J. C., Kee, Y. S., Berk, J. M., Tran, M. N., Iglesias, P. A. in Robinson, D. N. (2006). Mitosis-specific mechanosensing and contractile-protein redistribution control cell shape. *Curr. Biol.* 16, 1962–1967.
- Eggert, U. S., Mitchison, T. J., Field, C. M. (2006). Animal cytokinesis: from parts list to mechanisms. *Annu. Rev. Biochem.* 75, 543–566.
- El Sayed, S. A., Mukherjee, S. (2023). Physiology, Pancreas. *Treasure Island (FL): StatPearls Publishing*.
- Erdani Kreft M. in sod. (2021). Celična biologija in genetika v medicini. Ljubljana: Medicinska fakulteta, Inštitut za biologijo celice.
- Erman, A., Hudoklin, S., Resnik, N., Romih R., Zupančič, D. (2015). Celična biologija. Ljubljana: Medicinska fakulteta, Inštitut za biologijo celice.
- Flannagan, R. S., Jaumouillé, V. in Grinstein, S. (2012). The cell biology of phagocytosis. *Annual Review of Pathology: Mechanisms of Disease*, 7(1), 61–98.
- Goodhew, P. J., Humphreys, J., Beanland, R. (2001). Electron Microscopy and Analysis, third ed. CRC Press. ISBN: 13: 978-0748409686.
- Gordon, S. (2016). Phagocytosis: an immunobiologic process. *Immunity*, 44(3), 463–475.
- Gould N. R., Torre O. M., Leser J. M., Stains J. P. (2021). The cytoskeleton and connected elements in bone cell mechano-transduction. *Bone* 149, 115971.
- Hayat M. A. (2000). Principles and techniques of electron microscopy. London Cambridge University Press.
- Hecht, E. (1998). Optics, 3rd Ed. Addison Wesley Longman, Inc., New York.

- Inkson, B. J. (2016). Scanning electron microscopy (SEM) and transmission electron microscopy (TEM) for materials characterization. Materials characterization using nondestructive evaluation (NDE) methods. Woodhead Publishing.
- Jezernik, K., Veranič, P., & Sterle, M. (2026). Celična biologija: učbenik za študente Medicinske fakultete. DZS.
- Junqueira, L. C., & Carneiro, J. (2013). Histologie: Zytologie, Histologie und mikroskopische Anatomie des Menschen. Unter Berücksichtigung der Histophysiologie. Springer-Verlag.
- Karp, G. (2015). Cell and molecular biology. Concepts and experiments. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Keren, K. in sod. (2008). Mechanism of shape determination in motile cells. *Nature* 453, 475–480.
- Kohl, H. in Reimer, L. (2008). Transmission electron microscopy. *Transmission Electron Microscopy: Physics of Image Formation*, 36.
- Kunwar, P. S., Siekhaus, D. E. in Lehmann, R. (2006). In vivo migration: a germ cell perspective. *Annu. Rev. Cell. Dev. Biol.* 22, 237–265.
- Lodish, H. F., Berk, A., Kaiser, C. A., Krieger, M., Bretscher, A., Ploegh, H. L., Amon, A., Martin, K. C. (2016). Molecular cell biology (8th Ed.). New York: W. H. Freeman & Company.
- Martin, A. C., Kaschube, M. in Wieschaus, E. F. (2009). Pulsed contractions of an actin-myosin network drive apical constriction. *Nature* 457, 495–499.
- Masters, B. R. (2006). Confocal Microscopy and Multiphoton Excitation Microscopy: The Genesis of Live Cell Imaging (SPIE Press, Washington). MicroscopeWorld, Numerical aperture & objective lenses explained. Pridobljeno 27. 7. 2021 iz <https://www.microscopeworld.com/t-na.aspx>.
- Menkveld, R., Stander, F. S., Kotze, T. J. V., Kruger, T. F., & Zyl, J. A. V. (1990). The evaluation of morphological characteristics of human spermatozoa according to stricter criteria. *Human Reproduction*, 5(5), 586–592.
- Menkveld, R., Franken, D. R., Kruger, T. F., Oehninger, S., & Hodgen, G. D. (1991). Sperm selection capacity of the human zona pellucida. *Molecular reproduction and development*, 30(4), 346–352.
- Mitchison, T. J., Charras, G. T. in Mahadevan, L. (2008). Implications of a poroelastic cytoplasm for the dynamics of animal cell shape. *Semin. Cell Dev. Biol.* 19, 215–223.
- Nagata, S., Suzuki, J., Segawa, K. in Fujii, T. (2016). Exposure of phosphatidylserine on the cell surface. *Cell Death & Differentiation*, 23(6), 952–961.
- Nussbaum R. L. in sod. (2004). Thompson & Thompson Genetics in Medicine. 6th Ed. Philadelphia: Saunders.
- Nwaneshiudu, C. A. in sod. (2013). Introduction to Confocal Microscopy, *J. Investig. Dermatol.* 132(12), 1–5.
- Paluch, E., Sykes, C., Prost, J. in Bornens, M. (2006). Dynamic modes of the cortical actomyosin gel during cell locomotion and division. *Trends Cell Biol.* 16, 5–10.
- Paluch, E. in Heisenberg, C. P. (2009). Biology and physics of cell shape changes in development. *Current Biology*, 19(17), R790–R799.
- Pavelka M., Roth J., (2015). Functional Ultrastructure: Atlas of Tissue Biology and Pathology (3rd Ed.), Wien: Springer Austria.
- Peckham, M. (2011). Histology at a Glance Oxford ; Chichester ; Hoboken : Wiley-Blackwell.
- Pennycook, S. J. (2010). Transmission Electron Microscopy: A Textbook for Materials Science, Williams David B. and Carter C. Barry. Springer, New York, 2009, 932 pages.
- Petrovič, D., Zorc, M. (2012). Histologija. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta, Inštitut za histologijo in embriologijo, 115–123.
- Rabinovitch, M. (1995). Professional and non-professional phagocytes: an introduction. *Trends in cell biology*. 5(3), 85–87.
- Rafelski, S. M. in Theriot, J. A. (2004). Crawling toward a unified model of cell mobility: spatial and temporal regulation of actin dynamics. *Annu. Rev. Biochem.* 73, 209–239.
- Randall, D. J., Burggren, W., French, K., Eckert, R. (2002). *Eckert animal physiology: mechanisms and adaptations* (5th Ed.). New York: W. H. Freeman & Company, 596–613.
- Robinson, D. G., Ehlers, U., Herken, R., Herrmann, B., Mayer, F. in Schürmann, F. W. (2012). Methods of preparation for electron microscopy: an introduction for the biomedical sciences. Springer Science & Business Media.
- Rosales, C. in Uribe-Querol, E. (2017). Phagocytosis: a fundamental process in immunity. *BioMed research international*. 2017(1), 9042851.
- Rossant, J. in Tam, P. P. L. (2018). Exploring early human embryo development, *Science*, 360 (6393), 1075–1076.
- Schwarz N. in Leube R. E. (2023). Plasticity of cytoplasmic intermediate filament architecture determines cellular functions. *Current opinion in Cell Biology*. 85: 102270.
- Sheetz, M. P., Sable, J. E., Döbereiner, H. G. (2006). Continuous membrane-cytoskeleton adhesion requires continuous accommodation to lipid and cytoskeleton dynamics. *Annu. Rev. Biophys. Biomol. Struct.* 35, 417–434.

- Sobotta, J., Welsch U. (2005). Atlas Histologie: Zytologie, Histologie, Mikroskopische Anatomie (7th Ed). München: Elsevier, Urban & Fischer.
- Spence, J. C. (2013). High-resolution electron microscopy. OUP Oxford.
- Strachan, T., Read, A. P. (2019). Human Molecular Genetics. 5th Ed. Boca Raton (Fl). London; New York: CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Stubbs M, Suleyman N. (2015). Cell biology and genetics. 4th Ed. Edinburgh [etc.]: Mosby, cop. 2015.
- Stušek P., Vilhar B. (2011). Biologija človeka in genetika. DZS, Ljubljana.
- Štiblar Martinčič D. (2010). Histologija, Univerzitetni učbenik (Univerza v Mariboru, Medicinska fakulteta, Maribor).
- Štiblar Martinčič, D. (2011). Embriologija človeka: Univerzitetni učbenik. 1. izdaja. Maribor: Medicinska fakulteta.
- Štiblar Martinčič, D., Cvetko E., Cör, A., Marš, T., Finderle, Ž. (2012). Anatomija histologija fiziologija. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta, 21–27.
- Štiblar Martinčič, D., Munda, M. (2019). Histologija: navodila za vaje. Maribor: Univerzitetna založba Univerze v Mariboru.
- Tam, P. P. L., Tama, R. R. B. (1997). Mouse gastrulation: the formation of a mammalian body plan, *Mechanisms of Development*, 68 (1-2), 3–25.
- Tanaka, K., Sutani, A., Uchida, Y., Shimizu, Y., Shimizu, M., Akita, M. (2007). Ciliary ultrastructure in two sisters with Kartagener's syndrome. *Med. Mol. Morphol.*, 40, 34-39.
- Thorn, K. (2021). The confocal microscope. Pridobljeno 28. 7. 2025 iz <https://slidetodoc.com/confocal-microscopy-kurt-thorn-nic-optical-sectioning-and/>.
- Tobias, E. S. in sod. (2000). Essential Medical Genetics. 6th Ed. West Sussex: Wiley-Blackwell.
- Ude, J., Koch, M., (2022). Die Zelle: Atlas der Ultrastruktur; 3. Auflage. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, 21, 213–224.
- Urbančič, I., (2014). Odziv biomembranskih domen na zunanje dražljaje. Doktorska disertacija (Fakulteta za naravoslovje in matematiko Univerze v Mariboru, Maribor).
- Veranič, P., Romih, R. in Pšeničnik, M. (2010). Praktični pouk celične biologije. Tehniška založba Slovenije, Ljubljana.
- Verhoeven, G. J. J. (2007). Did the Digital (R)Evolution Change the Concept of Focal Length?, *AARGnews*, 34, 30–35.
- Vicente, N. B., Diaz Zamboni, J. E., Adur, J. F., Paravani, E. V., Casco, V. H. (2007). Photobleaching correction in fluorescence microscopy images, *J. Phys.* 90, 1–8.
- Volkman, H. (1966). Ernst Abbe and His Work, *Appl. Opt.* 5, 1720–1731.
- William P. Didusch center for Urologic History, Antonie van Leeuwenhoek (1632–1723) - Didusch Museum. Pridobljeno 2. 8. 2025, iz: <https://www.urologichistory.museum/histories/people-in-urology/1/antoni-van-leeuwenhoek>
- Wollman, A. J., Nudd, R., Hedlund, E. G. in Leake, M. C. (2015). From Animaculum to single molecules: 300 years of the light microscope. *Open biology*, 5(4), 150019.
- Wolpert, L. (1992). Gastrulation and the evolution of development, *Development*, Supplement, 7–13.
- Zorc, M., Petrovič, D., Cör, A., Legan, M., Milutinović Živin, A., Štiblar-Martinčič, D., Vraspir-Porenta, O., Zorc-Pleskovič, R. (2012). Histologija: učbenik. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta, Inštitut za histologijo in embriologijo.
- Zorc-Pleskovič, R., Petrovič, D., Milutinović-Živin, A. (2017). Histologija: učbenik in navodila za vaje. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta
- .



IZBRANA POGLAVJA IZ BIOLOGIJE CELICE Z NAVODILI ZA LABORATORIJSKE VAJE: VISOKOŠOLSKI UČBENIK ZA ŠTUDENTE ENOVITIH MAGISTRSKIH ŠTUDIJSKIH PROGRAMOV SPLOŠNA MEDICINA IN DENTALNA MEDICINA

SAŠKA LIPOVŠEK,^{1,2,3} TANJA VAJS,¹

BARBARA DARIŠ¹

¹ Univerza v Mariboru, Medicinska fakulteta, Maribor, Slovenija
saska.lipovsek@um.si, barbara.daris@um.si, tanja.vajs1@um.si

² Univerza v Mariboru, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Maribor, Slovenija
saska.lipovsek@um.si

³ Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Maribor, Slovenija
saska.lipovsek@um.si

Delo je učbenik za predmet Biologija celice za študente študijskih programov Splošna medicina, Dentalna medicina in Farmacija. Obsega trinajst poglavij. Vsako poglavje vsebuje tudi navodila za laboratorijsko vajo. Glavne vsebine poglavij so strukturne in funkcionalne značilnosti človeških celic, metode svetlobne in elektronske mikroskopije, histološke in histokemijske metode za analizo človeških celic, ultrastruktura celice, biosintetska in sekrecijska pot, citoskelet in medceličnina, primeri celic s specifičnimi funkcijami, celično jedro, celična delitev in zgodnji embrionalni razvoj. Zgradba izbranega tipa celice omogoča specifično delovanje te celice. Študenti bi naj razumeli to povezanost zgradbe in delovanja, ki jo lahko prepoznamo na ravni tako celic kot tudi tkiv. Slednje omogoča bolj celostno razumevanje delovanja organov in organskih sistemov.

DOI

[https://doi.org/
10.18690/um.mf.4.2026](https://doi.org/10.18690/um.mf.4.2026)

ISBN

978-961-299-204-0

Ključne besede:

biologija celice,
mikroskopija,
struktura,
funkcija,
celični procesi,
raziskovalne metode

DOI
[https://doi.org/
10.18690/um.mf.4.2026](https://doi.org/10.18690/um.mf.4.2026)

ISBN
978-961-299-204-0

CELL BIOLOGY WITH INSTRUCTIONS FOR LABORATORY WORK: A UNIVERSITY TEXTBOOK FOR STUDENTS OF THE GENERAL MEDICINE STUDY PROGRAMME AND THE DENTAL MEDICINE STUDY PROGRAMME

SAŠKA LIPOVŠEK,^{1,2,3} TANJA VAJS,¹

BARBARA DARIS¹

¹ University of Maribor, Faculty of Medicine, Maribor, Slovenia
saska.lipovsek@um.si, barbara.daris@um.si, tanja.vajs1@um.si

² University of Maribor, Faculty of Chemistry and Chemical Engineering, Maribor, Slovenia
saska.lipovsek@um.si

³ University of Maribor, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Maribor, Slovenia
saska.lipovsek@um.si

Keywords:
cell biology,
microscopy,
structure,
function,
cellular processes,
research methods

The work is a textbook for the subject Cell Biology of General Medicine study programme, Dental Medicine study programme and Pharmacy study programme. It consists of thirteen chapters. Each chapter contains the collection of laboratory exercises. The main topics are structural and functional characteristics of human cells, light microscopy, electron microscopy, histological and histochemical methods for the analysis of human cells, cell ultrastructure, biosynthetic and secretory pathways, cytoskeleton and extracellular matrix, examples of the cells with a specific functions, cell nucleus, cell division and early embryonic development. The structure of the selected cell type enables the specific function of this cell. Students should understand this connection between structure and function, which can be recognized at the level of both cells and tissues. The latter allows for a more comprehensive understanding of the functioning of organs and organ systems.



University of Maribor Press





Univerza v Mariboru

Medicinska fakulteta

