

FORMALNO OBRAZOVANJE ZDRAVSTVENIH RADNIKA IZ BIOFIZIKE I MEDICINSKE FIZIKE U REPUBLICI SRBIJI I OKRUŽENJU*Jovan Stanković¹, Zoran Mirkov^{1,2}, Kata Dabić-Stanković^{3,4,5}, Danijela Trokić⁴, Nina Đukanović^{1,5}*¹Fakultet zdravstvenih studija, Univerzitet „Bijeljina”, Bijeljina, Republika Srpska, BiH²Institut za medicinu rada „Dr Dragomir Karajović“, Beograd, Srbija³Univerzitet u Banjoj Luci, Medicinski fakultet, Banja Luka, Republika Srpska, BiH⁴IMC Affidea Banja Luka, Banja Luka, Republika Srpska, BiH⁵Visoka medicinska škola strukovnih studija „Milutin Milanković”, Beograd, Srbija**THE HEALTH WORKERS FORMAL EDUCATION IN THE FIELD OF BIOPHYSICS AND MEDICAL PHYSICS IN THE REPUBLIC OF SERBIA AND THE REGION***Jovan Stanković¹, Zoran Mirkov^{1,2}, Kata Dabić-Stanković^{3,4,5}, Danijela Trokić⁴, Nina Đukanović^{1,5}*¹Bijeljina University, Faculty of Health Studies, Bijeljina, R. Srpska, BiH²Serbian Institute of Occupational Health „Dr Dragomir Karajović”, Belgrade, Serbia³University of Banja Luka, Faculty of Medicine, Banja Luka, R. Srpska, BiH⁴IMC Affidea Banja Luka, Banja Luka, R. Srpska, BiH⁵High Medical College of Professional Studies “Milutin Milanković”, Belgrade, Serbia**Sažetak**

Savremena medicina podrazumeva primenu sofisticiranih dijagnostičkih i terapijskih postupaka koji su bazirani na otkrićima iz drugih naučnih oblasti (biologija, hemija, fizička hemija, fizika, matematika, statistika, informatika i dr.), što je čini multidisciplinarnom. Sve ove naučne oblasti mogu se objediniti u jednu oblast - biofiziku. Biofizika je fizika žive prirode, na svim nivoima: molekularnom, ćelijskom i nadćelijskom. Savremena biofizika se bavi: ispitivanjem strukture i funkcionisanja bioloških sistema, analizom podataka (iz bioloških/medicinskih eksperimenata), formiranjem modela, neuronaukom, bioinženjeringom, robotikom, medicinskim imidžingom i drugim medicinskim aplikacijama, te dejstvom fizičkih i fizičko-hemijskih agenasa na biološke sisteme/ljude, kao i odgovorom sistema na dejstvo tih agenasa. U okviru strukovnih studija iz oblasti medicine (zdravstvene studije), posle reforme obrazovanja, zadržali su se neki oblici nastave iz predmeta biofizika, medicinska fizika i fizika ljudskog organizma što omogućuje slušaocima da steknu osnovna znanja i shvate značaj ove naučne oblasti, posebno kada je reč o primeni savremenih dijagnostičkih i terapijskih metoda, koje pored neospornog benefita za pacijenta mogu imati i određena neželjena dejstva kako na pacijente, tako i na zaposlene medicinske radnike i okolinu.

Ključne reči: biofizika, medicinska fizika, teranostika, radiomika, nastava, reforma obrazovanja

Abstract

The modern medicine involves the application of sophisticated diagnostic and therapeutic procedures that are based on discoveries from other scientific fields (biology, chemistry, physical chemistry, physics, mathematics, statistics, informatics, etc.) which makes it multidisciplinary. All these scientific fields can be united in one field biophysics, the physics of living nature at all levels: molecular, cellular and supracellular. Contemporary biophysics deals with examination of the structure and functioning of biological systems, data analysis (from biological/medical experiments), model formation, neuroscience, bioengineering, robotics, medical imaging and other medical applications, and the effect of physical and physicochemical agents on biological systems/people as well as the response of the system to the action of those agents. Within the applied studies in the field of medicine (health studies), after the educational reform, some forms of teaching in the subjects of Biophysics, Medical Physics and Physics of the Human Body have been retained, which enables students to acquire basic knowledge and understand the importance of this scientific field, especially when it comes to the application of modern diagnostic and therapeutic methods, which, in addition to the benefits for the patient, can have certain unwanted effects on patients, as well as medical workers and the environment.

Key words: biophysics, medical physics, theranostics, radiomics, teaching, educational reform

Uvod

Anatomija, histologija, fiziologija i farmakologija su teorijske osnove medicine. Pored teorijskih i klasično-praktičnih aspekata, savremena medicina podrazumeva i primenu sofisticiranih dijagnostičkih i terapijskih postupaka koji su bazirani na otkrićima iz drugih naučnih oblasti (biologija, hemija, fizička hemija, fizika, matematika, statistika i informatika), što je čini multidisciplinarnom. Ova multidisciplinarnost doprinela je stvaranju jedne nove oblasti nauke koja je nazvana biofizika u medicini, a koja je neraskidivo povezana sa fiziologijom¹. Potvrda ove multidisciplinarnosti leži i u činjenici da se biološki sistemi, pa samim tim i čovek, ponašaju u skladu sa zakonitostima prirodnih nauka. Sa druge strane Šredinger u svom tekstu („*What is Life? The Physical Aspect of the Living Cell*”)² konstatuje da će „živa materija, uticati na otkrivanje novih zakonitosti fizike, za koje još i ne znamo da postoje; te da će se njihovim otkrivanjem zaokružiti naša naučna znanja”^{3,4}.

Mnoga otkrića iz oblasti fizike, hemije i biologije (molekularne biologije i genetike), koja su našla direktnu primenu u medicini, posredno ili neposredno, zaslužila su Nobelovu nagradu (npr. X-zračenje, radioaktivnost, nuklearna magnetska rezonancija, kompjuterski asistirana tomografija, DNK kristalografija, akcioni potencijali nerava ...). Kako medicina predstavlja „umetnost lečenja“, a medicinska fizika čini njen integralni deo, medicina je neizostavno multidisciplinarna, što podrazumeva i potrebu za usvajanjem osnovnih i proširenih znanja iz biofizike i na svim akademskim nivoima.⁵

Veliki broj dijagnostičkih pretraga baziran je na biofizičkim principima. Tako na primer, u savremeni medicinski imidžing uveden je pojam RADIOMIKA koji pored klasične analize medicinske slike (radiografija, CT, MRI, ultrazvuk, nuklearna medicina ...) obuhvata i njenu kvantifikaciju primenom određenih matematičkih algoritama čime se omogućuje izdvajanje izabranih/karakterističnih

nih obeležja. Dodatnom primenom veštačke inteligencije (*Artificial Intelligence -AI*) omogućuje se i objektivizacija na nivou slika-dijagnoza, što podiže kvalitet dijagnostičkog postupka [1,2], jer zaista: „ljudsko oko ne vidi sve; mnogo informacija u dijagnostičkoj slici se ne koristi; fenotip odražava genotip”⁶.

Često dijagnostički i terapijski postupci mogu biti povezani, pa je uveden novi pojam: TERANOSTIKA, koji obuhvata specifični oblik dijagnostičkog postupka koji je praćen adekvatnim terapijskim postupkom sa istim vektorom (farmakom, molekulom...), ali i različitim agansom, u kratkom vremenu posle dijagnostičkog postupka.[3] Najočigledniji primeri za to su: primena radioizotopa (¹³¹I) u dijagnostici i lečenju, tj. isti vektor, ali mnogo veće aktivnosti u terapijske svrhe, zatim (⁶⁸Ga, ^{99m}Tc i ¹¹¹In) u dijagnostici koji se zamenjuju sa (⁹⁰Y i ¹⁷⁷Lu), tj. različiti vektor i agens, a koji zahvaljujući emisiji beta čestica terapijski deluju na izabrane organe i tkiva, te uvođenje feromagnetnih nanopartikula u vektore pogodne za MRI ili u terapiji tumora hipertermijom. Istovremeno, primena određenih algoritama veštačke inteligencije i mašinsko učenje omogućava i određivanje najpovoljnije doze leka, kao i načina njegove primene [4,5].

Očigledno je da su radiomika i teranostika bazirane i na medicinskoj fizici, te da pored savesne i razumne upotrebe sadašnjih najboljih naučnih dokaza u donošenju odluka o lečenju svakoga pojedinog bolesnika, one predstavljaju osnovu medicine zasnovane na dokazima (*Evidence Based Medicine*).

Posebna oblast medicinske fizike koja se bavi pitanjima korišćenja po ljudsko zdravlje štetnih agenasa (npr. jonizujuće zračenje, drugi genotoksični agensi ...) jeste zdravstvena fizika.

Sve ovo, a i još mnogo drugih primera, ukazuje na značaj obrazovanja zdravstvenih radnika iz biofizike i medicinske fizike.

Cilj

Cilj ovog kratkog preglednog članka je da direktno ukaže na značaj izučavanja biofizike na višim nivoima obrazovanja medicinskih radnika svih disciplina/ekspertiza (osnovne akademske i strukovne studije – I nivo/ciklus i posle diplomске (master) studije – II nivo/ciklus), posebno imajući u vidu sadašnje stanje u oblasti medicinske edukacije u našoj zemlji i bližem okruženju.⁷

¹ U dvanaestom izdanju udžbenika: *Textbook of Medical Physiology, Guyton A and Hall J* za obojicu stoji: „*Professor and Chair Department of Physiology and Biophysics*“.

² E. Schrödinger, Cambridge, 1944.

³ slobodan prevod i interpretacija autora ovog teksta

⁴ Npr.: nanomedicina, tradicionalna medicina, alternativna medicina, ... (prim. Autora)

⁵ Autori u ovom članku ukazuju na sličnost između biofizike u medicini i medicinske fizike, pa i same biofizike, dok eventualne razlike, zbog specifičnosti oblasti primene, smatraju zanemarljivim. Neki drugi autori potenciraju razlike, iako su one vezane za oblasti istraživanja i primene.

⁶ Radiomička hipoteza

⁷ na srpskom i drugim srodnim jezicima

Kratak osvrt na istoriju biofizike

Proučavanje živih organizama na različitim nivoima organizovanosti predmet je bioloških nauka, ipak pri tome se koristi univerzalni pristup koji pored osnovnih fizičkih zakonitosti podrazumeva i primenu određenih matematičkih rešenja. Matematičar, statističar i eugenetičar Karl Pearson smatra se ocem biofizike, a sam termin biološka fizika (ili biofizika) uveo je 1892.god. u svom delu „*The Grammar of Science*”.⁸ Godine 1961., na Međunarodnom biofizičkom kongresu, biofizika postaje samostalna disciplina.

Biofizika je fizika žive prirode, na svim nivoima: molekularnom, ćelijskom i nadćelijskom, uključujući i biosferu u celini (glavne oblasti biofizike: biofizička mehanika-biomehanika, molekularna biofizika, termodinamika bioloških sistema, biofizika ćelije i organizma, biofizika životne sredine, biomedicinski i ekološki inženjering, medicinska fizika, radiološka fizika, kvantna informatika i informaciona biofizika i tehnike⁹ u biofizici). Ona je zasnovana na teorijskoj biologiji, a korišćenjem zakona fizike i metodologije prirodnih nauka [6] ona predstavlja interdisciplinarnu nauku. Savremena biofizika se bavi: ispitivanjem strukture i funkcionisanja bioloških sistema, analizom podataka (iz bioloških/medicinskih eksperimenata) formiranjem modela, neuronaukom, bioinženjeringom (biomaterijali, nano materijali u biologiji, genetika, ...); robotikom (veštački udovi, senzori, ...), medicinskim imidžingom i drugim medicinskim aplikacijama. Biofizika proučava i dejstvo fizičkih i fizičko-hemijskih agenasa na biološke sisteme/ljude (mehanička sila, električna struja, nejonizujuća i jonizujuća zračenja ...) kao i odgovor biološkog sistema/čoveka na dejstvo tih agenasa, pa je tako direktno povezana sa medicinskom fizikom (biomehanika, bioelektricitet, radiobiologija ...).[7]

Očigledno je da su biofizička istraživanja od fundamentalnog značaja, ali i da imaju izuzetno značajnu praktičnu implementaciju u medicini.

Stanje edukacije iz biofizike u medicini u Republici Srbiji

Na Medicinskom fakultetu u Beogradu počeci biofizike, na rudimentarnom nivou, datiraju još od 1935.god. Ipak, izučavanje biofizike kao samostalne discipline/predmeta na Medicinskom fakultetu

⁸ Pogledati: <https://archive.org/details/grammarofscience-00pearsoft/page/20/mode/2up> (str.328; zadnji put pristupljeno 09.09.2024.god.)

⁹ instrumentalne i merenja

u Beogradu započeto je školske 1976/77.god.[8] Na žalost, uključivanjem u Evropski visokoškolski prostor (2003. god.) i prilagođavanjem studijskih planova i programa Evropskom sistemu prenosa i akumulacije bodova (ECTS) na integrisanim akademskim studijama, na svim medicinskim fakultetima u Republici Srbiji, ukinut je predmet biofizika koji se slušao na I godini studija. Na dodiplomskom nivou, neki elementi biofizike inkorporirani su fakultativno u okviru drugih predmeta: fiziologija (Biofizika u medicinskoj fiziologiji), radiologija (Biofizika u medicinskoj fiziologiji), nuklearna medicina (Biofizičke osnove primene dijagnostičkih i terapijskih procedura u nuklearnoj medicini), oftalmologija, fizijatrija ...

Kada je reč o poslediplomskom nivou zdravstvenih studija (II nivo) zadržala se nastava iz pojedinih oblasti biofizike u okviru specifične ekspertize/specijalizacije. Takođe, u okviru nastavnog programa na doktorskim studijama (III nivo/ciklus) u Centru za multidisciplinarnu studije Univerziteta u Beogradu posebno se izučava biofizika, najčešće u okviru biomedicinske oblasti/nauka.¹⁰

Za razliku od studija na medicinskim fakultetima u Republici Srbiji i okruženju, u okviru strukovnih studija iz oblasti medicine (zdravstvene studije) i posle reforme obrazovanja, zadržali su se neki oblici nastave iz predmeta Biofizika, Medicinska fizika, Fizika ljudskog organizma [9]..., što omogućuje polaznicima/slušaoциma/studentima da steknu osnovna znanja i shvate značaj ove naučne oblasti, posebno kada je reč o primeni savremenih dijagnostičkih i terapijskih metoda, koje pored neospornog benefita za pacijenta mogu imati i određena neželjena dejstva kako na pacijente, tako i na zaposlene medicinske radnike i okolinu (npr. u: radiologiji, radijacionoj onkologiji, nuklearnoj medicini, zaštiti od jonizujućeg zračenja, ...). U tom smislu osnovna znanja iz odgovarajuće oblasti biofizike/medicinske fizike predstavljaju uslov „*sine qua non*“.

Umesto zaključka

Program kursa biofizike/medicinske fizike, na medicinskim/zdravstvenim studijama, morao bi da utvrdi i proširi osnovna znanja iz fizike, hemije i biologije koja su polaznici kursa slušali na prethodnim nivoima učenja (srednja škola) kao osnovu za sticanje drugih specifičnih medicinskih znanja kojima bi slušalac kursa trebalo da ovlada. Jedan dobar i u praksi potvrđen primer integralnog programa Biofizike u medicini, na našim prostorima, je obrazlo-

¹⁰ zvanje: Doktor nauka - Biofizika

žen i prikazan u udžbeniku: Simonović i sar. 1997 (odjeljak Uvod)[7].¹¹

Biofizika je oblast koja se brzo razvija i igra ključnu ulogu u našem razumevanju ne samo bioloških sistema (čoveka i njegove dobrobiti/zdravlja), već i populacije, eko-sistema, bioma i biosfere što neosporno utiče¹² na razvoj novih tehnologija i pristupa za rešavanje velikih izazova sa kojima se suočava medicina.

Literatura

1. van Timmeren JE, Cester D, Tanadini-Lang S, et al. Radiomics in medical imaging—"how-to" guide and critical reflection. *Insights Imaging*. 2020;11:91. doi:10.1186/s13244-020-00887-2.
2. Dabić-Stanković K, Rajković K, Aćimović M, et al. Quantitative analysis of two-dimensional manually segmented transrectal ultrasound axial images in planning of high-dose-rate brachytherapy for prostate cancer. *Vojnosanit Pregl*. 2017;74(5):420-427.
3. Setia A, Kumar Mehata A, Vikas, et al. Theranostic magnetic nanoparticles: Synthesis, properties, toxicity, and emerging trends for biomedical applications. *J Drug Deliv Sci Technol*. 2023;81:104295.
4. Rajković K, Dabić-Stanković K, Stanković J, et al. Modelling and optimisation of treatment parameters in high-dose-rate mono-brachytherapy for localized prostate carcinoma using a multilayer artificial neural network and a genetic algorithm: Pilot study. *Comput Biol Med*. 2020;121:103736. doi:10.1016/j.compbiomed.2020.104045.
5. Dabić-Stanković K, Rajković K, Stanković J, et al. High-dose-rate brachytherapy monotherapy in patients with localized prostate cancer: Dose modelling and optimization using computer algorithms. *Clin Oncol*. 2024;36(5):378-389.
6. Raković D. *Osnovi biofizike*. 3rd ed. Beograd: Internacionalni anti-stres centar (IASC); Institut za eksperimentalnu fonetiku i patologiju govora (IEFPG); 2008.
7. Simonović J, Vuković J, Ristanović D, Radovanović R, Popov D. *Biofizika u medicini*. Beograd: Medicinska knjiga-Medicinske komunikacije; 1997.
8. Vuković J, Bek-Uzarov Đ, Stanković J, et al. *Fizika u medicini*. In: *Primenjena fizika u Srbiji*. Srpska akademija nauka i umetnosti, knj. SIV, Odeljenje za matematiku, fiziku i geonauke knj. 2/2. Beograd: Srpska akademija nauka i umetnosti; 2003.
9. Stanković S. *Fizika ljudskog organizma*. Novi Sad: Prirodno-matematički fakultet u Novom Sadu; 2005.

¹¹ U zavisnosti od posebnosti u okviru oblasti izučavanja, mogući su i nešto drugačiji pristupi u koncipiranju programa (prim. autora)

¹² i utičeće

Korespondent / Corresponding author: Jovan Stanković, E-mail: jovs60@gmail.com