

Leoš Navrátil, Jozef Rosina a kolektiv

Medicínská biofyzika

2., zcela přepracované a doplněné vydání





**FAKULTA
BIOMEDICÍNSKÉHO
INŽENÝRSTVÍ
ČVUT V PRAZE**

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

Posláním Fakulty biomedicínského inženýrství ČVUT je vychovávat interdisciplinárně vzdělané odborníky, kteří budou schopni aplikovat teoretické znalosti a praktické dovednosti ve zdravotnické praxi a výzkumu. Fakulta navazuje na nejlepší tradice špičkové technické univerzity v konstrukci a vývoji zdravotnických technologií a připravuje vedle biomedicínských inženýrů i zdravotnické specialisty a pracovníky bezpečnostních oborů. Naplňuje tak historické poslání ČVUT pěstovat vědecké obory a vědecký přístup ve výuce v jejich univerzalitě, tj. všeobecné znalosti. Jedním ze tří směrů výuky je proto i výchova fyzioterapeutů, radiologických asistentů, zdravotnických záchranářů, zdravotních laborantů, optiků a optometristů. Studium jednotlivých směrů je podle zaměření nabízeno v bakalářském, magisterském i doktorském stupni.



Kontakt:
Fakulta biomedicínského
inženýrství ČVUT
nám. Sítňá 3105
272 01 Kladno

www.fbmi.cvut.cz



Upozornění pro čtenáře a uživatele této knihy

Všechna práva vyhrazena. Žádná část této tištěné či elektronické knihy nesmí být reprodukována a šířena v papírové, elektronické či jiné podobě bez předchozího písemného souhlasu nakladatele. Neoprávněné užití této knihy bude trestně stíháno.

**Prof. MUDr. Leoš Navrátil, CSc., MBA, dr. h. c.,
prof. MUDr. Jozef Rosina, Ph.D., MBA, a kolektiv**

MEDICÍNSKÁ BIOFYZIKA

2. zcela přepracované a doplněné vydání

Kolektiv autorů:

MUDr. Robert Bajgar, Ph.D., prof. MUDr. Ivan Dylevský, DrSc., doc. Ing. Josef Hanuš, CSc.,
prof. MUDr. Ján Jakuš, Ph.D., doc. MUDr. et Ing. Viera Jakušová, Ph.D., MPH,
MUDr. Petr Kolář, Ph.D., prof. RNDr. Hana Kolářová, CSc., MUDr. Jiří Kubeš, Ph.D.,
doc. MUDr. Ján Lešták, CSc., MSc., FEBO, MBA, LLA, DBA, FAOG, MUDr. Miroslav Malay,
Ph.D., MUDr. Vladimír Mašín, Ph.D., prof. MUDr. Leoš Navrátil, CSc., MBA, dr. h. c.,
doc. Ing. František Podzimek, CSc., prof. MUDr. Jozef Rosina, Ph.D., MBA,
doc. RNDr. Ján Sabo, CSc. mim. prof., doc. MUDr. Richard Salzman, Ph.D., prof. MUDr. Ivo Stárek,
CSc., Mgr. Jaromír Vachutka, Ph.D., doc. RNDr. Karel Volenec, CSc.

Recenzent:

Prof. Ing. Miloslav Rakovič, DrSc.

Vydání odborné knihy schválila Vědecká redakce nakladatelství Grada Publishing, a.s.

© Grada Publishing, a.s., 2019

Cover Photo © depositphotos.com 2019

Vydala Grada Publishing, a.s.

U Průhonu 22, Praha 7

jako svou 7159. publikaci

Odpovědný redaktor Mgr. Luděk Neužil

Sazba a zlom Ing. Vladimír Meško

Počet stran 432

2. vydání, Praha 2019

Vytiskly Tiskárny Havlíčkův Brod, a.s.

Názvy produktů, firem apod. použité v knize mohou být ochrannými známkami nebo registrovanými ochrannými známkami příslušných vlastníků, což není zvláštním způsobem vyznačeno.

Postupy a příklady v této knize, rovněž tak informace o lécích, jejich formách, dávkování a aplikaci jsou sestaveny s nejlepším vědomím autorů. Z jejich praktického uplatnění ale nevyplývají pro autory ani pro nakladatelství žádné právní důsledky.

ISBN 978-80-271-2701-6 (ePub)

ISBN 978-80-271-2700-9 (pdf)

ISBN 978-80-271-0209-9 (print)

Autorský kolektiv

Editori



prof. MUDr. Leoš Navrátil, CSc., MBA, dr. h. c.
vedoucí katedry zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva Fakul-
ty biomedicínského inženýrství Českého vysokého učení technického
v Praze



prof. MUDr. Jozef Rosina, Ph.D., MBA
profesor biomedicínského inženýrství, proděkan Fakulty biomedicínského
inženýrství Českého vysokého učení technického v Praze a přednos-
ta Ústavu lékařské biofyziky a lékařské informatiky 3. lékařské fakulty
Univerzity Karlovy v Praze

Kolektiv spoluautorů



MUDr. Robert Bajgar, Ph.D.
odborný asistent a zástupce přednostky Ústavu lékařské biofyziky,
vědecký pracovník Ústavu molekulární a translační medicíny Lékařské
fakulty Univerzity Palackého v Olomouci



prof. MUDr. Ivan Dylevský, DrSc.
profesor anatomie, histologie a embryologie, děkan Fakulty
biomedicínského inženýrství Českého vysokého učení technického
v Praze a emeritní přednosta Anatomického ústavu 2. lékařské fakulty
Univerzity Karlovy



doc. Ing. Josef Hanuš, CSc.
docent lékařské biofyziky, proděkan Lékařské fakulty UK v Hradci
Králové, přednosta Ústavu lékařské biofyziky Lékařské fakulty UK
v Hradci Králové



prof. MUDr. Ján Jakuš, Ph.D.
inauguroval v roce 2001 na 1. lékařské fakultě Univerzity Karlovy v Praze
v oboru patofyziologie, od roku 2007 vedoucí Ústavu lékařské biofyziky
Jesseniovy lékařské fakulty Univerzity Komenského v Martině



doc. MUDr. et Ing. Viera Jakušová, Ph.D., MPH
docentka Ústavu veřejného zdravotnictví při Jesseniově lékařské fakultě
Univerzity Komenského v Martině



MUDr. Petr Kolář, Ph.D.

lékař Rehabilitačního oddělení Fakultní nemocnice v Olomouci, odborný garant a lékař rehabilitačního centra Elpis, odborný asistent Ústavu fyzioterapie Fakulty zdravotních věd Univerzity Palackého v Olomouci



prof. RNDr. Hana Kolářová, CSc.

profesorka v oboru lékařská biofyzika na Lékařské fakultě Univerzity Palackého v Olomouci, přednostka Ústavu lékařské biofyziky, proděkanka pro studium na Lékařské fakultě Univerzity Palackého v Olomouci



MUDr. Jiří Kubeš, Ph.D.

vedoucí lékař Proton Therapy Center Czech, lektor katedry radiační onkologie IPVZ a katedry onkologie 1. LF UK



doc. MUDr. Ján Lešták, CSc., MSc., FEBO, MBA, LLA, DBA, FAOG

docent katedry zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva Fakulty biomedicínského inženýrství Českého vysokého učení technického v Praze, přednosta Oční kliniky JL a Kliniky JL v Praze



MUDr. Miroslav Malay, Ph.D.

zástupce vedoucího katedry fyzioterapie Fakulty zdravotnictví Trenčianské univerzity Alexandra Dubčeka v Trenčíně, vedoucí lékař Fyziatricko-rehabilitačního oddělení Polikliniky ministerstva obrany Slovenské republiky v Trenčíně detašovaného pracoviště Ústřední vojenské nemocnice Slovenského národního povstání v Ružomberoku



MUDr. Vladimír Mašín, Ph.D.

odborný asistent Ústavu lékařské biofyziky Lékařské fakulty Univerzity Karlovy v Hradci Králové



doc. Ing. František Podzimek, CSc.

docent katedry zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva Fakulty biomedicínského inženýrství Českého vysokého učení technického v Praze



doc. RNDr. Ján Sabo, CSc. mim. prof.

přednosta Ústavu lekárskej a klinickej biofyziky Univerzity Pavla Jozefa Šafárika v Košicích



doc. MUDr. Richard Salzman, Ph.D.

přednosta Otolaryngologické kliniky Lékařské fakulty Univerzity Palackého v Olomouci



prof. MUDr. Ivo Stárek, CSc.

profesor otorinolaryngologie a chirurgie hlavy a krku na Otolaryngologické klinice Lékařské fakulty Univerzity Palackého v Olomouci



Mgr. Jaromír Vachutka, Ph.D.

odborný asistent Ústavu lékařské biofyziky Lékařské fakulty Univerzity Palackého v Olomouci



doc. RNDr. Karel Volenec, CSc.

docent radiobiologie, externí pracovník při řešení vědeckých úkolů a při výuce na katedře biofyziky Lékařské fakulty Univerzity Karlovy v Hradci Králové a na VŠCHT v Praze, jednatel společnosti ELLA-CS

Obsah

Autorský kolektiv	5
Předmluva	19
Předmluva ke 2. vydání	21
1 Stavba hmoty, molekulová biofyzika	23
1.1 Stavba hmoty	23
1.2 Stavba atomu	24
1.2.1 Atomové jádro	24
1.2.2 Elektronový obal	25
1.3 Stavba molekul	26
1.3.1 Druhy vazeb	26
1.3.1.1 Iontová vazba	26
1.3.1.2 Kovalentní vazba	27
1.3.1.3 Kovová vazba	27
1.3.1.4 Vazba mezi polárními molekulami	27
1.3.2 Voda.	29
1.3.3 Adheze a koheze	30
1.3.4 Disperzní systémy	33
1.3.5 Transport látek v disperzním prostředí	34
1.3.5.1 Sedimentace	34
1.3.5.2 Difuze	34
1.3.5.3 Dialýza	35
1.3.5.4 Osmóza	35
1.3.6 Transport látek přes buněčnou membránu	36
1.3.6.1 Pasivní transport.	36
1.3.6.2 Aktivní transport	37
1.3.6.3 Transport makromolekul	38
1.4 Distribuce látek v organismu	38
1.4.1 Rovnováha tělesných tekutin a distribuce iontů v organismu	40
2 Bioenergetika a tepelná technika v lékařství, hypertermie, termoterapie	45
2.1 Teplo, teplota, základy termodynamiky	45
2.1.1 První věta termodynamická	46
2.1.2 Druhá věta termodynamická	46
2.1.3 Entropie.	47
2.2 Tepelná pohoda organismu	48
2.2.1 Energie v organismu, její přeměna a akumulace	48
2.2.2 Produkce tepla v organismu	48
2.2.3 Způsoby odvádění tepla z organismu	49
2.2.3.1 Vyzářování.	49
2.2.3.2 Vedení	49
2.2.3.3 Proudění	50
2.2.3.4 Vypařování vody.	50
2.3 Regulace teploty v organismu	51
2.4 Měření teploty (termometrie)	52
2.4.1 Teploměry založené na délkové či objemové roztažnosti kapalin a pevných látek – teploměry rtuťové, lihové a bimetalové	52

2.4.2	Kovové odporové teploměry	52
2.4.3	Termočláňková termometrie	53
2.4.4	Termistorová termometrie	54
2.4.4.1	Speciální termometrie	54
2.5	Využití tepelné energie v lékařství	54
2.5.1	Hypertermie – využití v klinické praxi	54
2.5.1.1	Mechanismus účinku	55
2.6	Fyzikální základy kryoterapie, kryochirurgie a význam místního zmrazení tkáně	55
2.6.1	Pozitivní termoterapie	57

3 Základy biomechaniky a kineziologie 59

3.1	Historické vymezení biomechaniky	59
3.1.1	Biomechanika člověka	60
3.2	Analýza pohybu – mechanika pohybu	60
3.2.1	Gravitace a těžiště	60
3.2.2	Páka	62
3.2.3	Svaly	64
3.3	Biomechanické vlastnosti tkání	65
3.3.1	Funkční anatomie a biomechanika vaziva	66
3.3.1.1	Fibroblasty	66
3.3.1.2	Kolagenní vlákna	66
3.3.1.3	Elastická vlákna	67
3.3.1.4	Retikulární vlákna	68
3.3.1.5	Amorfni mezibuněčná hmota	69
3.3.1.6	Kolagenní vazivo	69
3.3.2	Funkční anatomie a biomechanika chrupavek	70
3.3.2.1	Hyalinní chrupavka	71
3.3.2.2	Elastická chrupavka	71
3.3.2.3	Vazivová chrupavka	71
3.3.3	Funkční anatomie a biomechanika kostní tkáně	72
3.3.4	Funkční anatomie a biomechanika kostních spojů	74
3.3.4.1	Vazivové spoje	74
3.3.4.2	Chrupavčité spoje	74
3.3.4.3	Kostěné spoje	75
3.4	Biomechanika krevního oběhu	78
3.4.1	Srdce	78
3.4.1.1	Srdeční sval	81
3.4.2	Cévy	81
3.4.2.1	Koronární oběh	82
3.4.2.2	Tepny (arterie) a kapiláry	82
3.4.2.3	Lymfatické cévy	83
3.4.2.4	Žíly (věny)	83
3.4.2.5	Rychlost proudění krve v tepnách	83
3.4.2.7	Objem krve ve velkých cévách	84
3.4.2.8	Arteriální a žilní tlak	84
3.4.2.9	Ortostáza	85
3.4.2.10	Měření tepenného krevního tlaku	86
3.4.3	Krev	87
3.4.3.1	Krevní plazma	88
3.4.3.2	Krevní elementy	88
3.4.3.3	Smykové napětí a rychlost	89

3.5	Biomechanika dýchání	90
3.5.1	Mechanika dýchání	91
3.5.2	Plicní objemy a kapacita plic	93
3.5.3	Viskoelastické vlastnosti plic a hrudní stěny	94
3.5.4	Výměna dýchacích plynů	96
3.5.5	Vliv přetlaku na organismus	98
3.5.6	Vliv přetlaku a podtlaku na organismus	98
3.5.7	Umělá ventilace plic	99
3.6	Mechanické a tepelné vlastnosti zubů a jejich náhrad	100
3.6.1	Mechanické namáhání v tlaku a tahu	100
3.6.2	Zátěžová křivka pro normálové napětí (strain stress curve)	103
3.6.3	Deformace ve smyku	104
3.6.4	Deformace pevných látek – shrnutí	105
3.7	Účinky mechanických sil na organismus	106
3.7.1	Gravitace	106
3.7.2	Negativní účinky mechanické energie	107
3.8	Léčebné využití mechanické energie	108
3.8.1	Léčebný tělocvik	108
3.8.3	Mechanoterapie	109
3.8.4	Lymfodrenáž	110
3.8.5	Přístrojová masáž	110
3.8.6	Masáž proudem vody	110
3.9	Kineziologie páteře	110
3.9.1	Nosné komponenty segmentu	111
3.9.2	Hydrodynamické komponenty segmentu	111
3.9.3	Kinetické komponenty páteře	112

4 Biofyzika elektrických projevů a účinků elektrické energie, diagnostické a terapeutické metody využívající elektrické energie 115

4.1	Elektrický proud	115
4.1.1	Pasivní elektrické vlastnosti	115
4.1.2	Aktivní elektrické projevy	116
4.1.3	Transportní mechanismy	117
4.2	Membránové potenciály	117
4.2.1	Klidový membránový potenciál	117
4.2.2	Akční potenciál	118
4.3	Účinky elektrického proudu na organismus	122
4.4	Využití akčních potenciálů v diagnostice	124
4.4.1	Elektrokardiografie	125
4.4.1.1	Převodní systém	125
4.4.1.2	Snímání elektrické srdeční aktivity	126
4.4.2	Elektrodiagnostika v neurologii a rehabilitaci	132
4.4.3	Diagnostické využití střídavého proudu	134
4.4.4	Kapacitní pletysmografie	134
4.5	Léčebné využití elektrického proudu	134
4.5.1	Stejnosměrný galvanický proud	135
4.5.1.1	Iontoforéza	136
4.5.1.2	Galvanizace	136
4.5.2	Nízkofrekvenční proudy	136
4.5.2.1	Diadynamické proudy	137
4.5.2.2	Träbertovy proudy	138

4.5.2.3	Alternativní proudy	138
4.5.2.4	Středněfrekvenční proudy	142
4.5.2.5	Distanční elektroterapie	144
4.5.2.6	Vysokofrekvenční elektroterapie	145
4.6	Interakce magnetických polí s tkáněmi	147
4.6.1	Elektromagnetické pole	148
4.6.2	Magnetické vlastnosti látek.	150
4.6.3	Mechanismy interakcí elektromagnetických polí s živou hmotou.	151
4.6.3.1	Interakce stacionárních magnetických polí s živou hmotou	151
4.6.3.2	Interakce elektromagnetických polí s živou hmotou	153
4.6.4	Magnetoterapie	155
5	Optika a biofyzika vidění	157
5.1	Vlastnosti záření	157
5.1.1	Spektrum elektromagnetického záření	157
5.1.2	Světlo	157
5.1.3	Šíření světla	158
5.1.3.1	Disperze světla	159
5.1.4	Kvantová optika.	160
5.1.5	Vlnová optika	161
5.1.5.1	Interference světla – skládání vlnění	161
5.1.5.2	Ohyb světla	161
5.1.5.3	Polarizace světla	162
5.1.6	Paprsková optika	162
5.1.6.1	Zobrazení čočkami	162
5.2	Zdroje a detektory záření	163
5.2.1	Žárovky	163
5.2.2	Luminiscenční zdroje záření	163
5.2.3	Výbojky	164
5.2.4	Lasery	164
5.2.4.1	Pevnolátkové lasery	166
5.2.4.2	Polovodičové lasery	167
5.2.4.3	Plynové lasery	168
5.2.4.4	Kapalinové lasery	169
5.2.4.5	Plazmové rentgenové lasery	169
5.2.4.6	Lasery s volnými elektrony	170
5.2.5	Detektory záření	170
5.3	Optické metody a přístrojová technika	172
5.3.1	Mikroskopické metody	172
5.3.1.1	Světelná mikroskopie	172
5.3.1.2	Zobrazovací metody ve světelné mikroskopii	176
5.3.1.3	Elektronová mikroskopie	180
5.3.1.4	Mikroskopie atomárních sil	182
5.3.2	Metody optické spektroskopie	183
5.3.2.1	Spektrofotometrie	183
5.3.2.2	Spektrofluorimetrie	184
5.3.2.3	Laserová spektroskopie	185
5.3.3	Polarimetrie	185
5.3.4	Nefelometrie a turbidimetrie	186
5.3.5	Refraktometrie	186
5.3.6	Endoskopie	187

5.4	Oko a oční vady	187
5.4.1	Optický systém oka	188
5.4.1.1	Zraková ostrost	189
5.4.1.2	Refrakční vady oka	190
5.4.1.3	Korekce refrakčních vad	191
5.4.2	Tvorba obrazu	192
5.4.2.1	Adaptace oka na intenzitu světla	192
5.4.2.2	Funkce tyčinek	193
5.4.2.3	Funkce čípků	194
5.5	Fototerapie	194
5.5.1	Laser	195
5.5.1.1	Mechanismus a využití neinvazivní laseroterapie	195
5.5.1.2	Mechanismus a využití invazivní laseroterapie	196
6	Akustika	199
6.1	Základní pojmy	199
6.1.1	Zvuk	199
6.1.2	Rychlost šíření zvukové vlny	200
6.1.3	Akustická výchylka, akustická rychlost, akustický tlak	200
6.1.4	Efektivní akustická rychlost a efektivní akustický tlak	202
6.1.5	Akustická impedance	202
6.1.6	Vlastnosti zvuku	203
6.1.6.1	Barva zvuku	203
6.1.6.2	Výška zvuku	204
6.1.6.3	Hladina intenzity zvuku	204
6.2	Fyziologická akustika	206
6.2.1	Hladina hlasitosti	208
6.2.2	Hlasitost	208
6.2.3	Rezonance	208
6.3	Řeč, funkce hrtanu	209
6.4	Sluchový orgán	211
6.4.1	Zevní ucho	211
6.4.2	Střední ucho	212
6.4.3	Vnitřní ucho	213
6.4.4	Sluchová dráha	215
6.4.4.1	Elektrické projevy při podráždění sluchového orgánu	215
6.5	Poruchy sluchu	216
6.5.1	Převodní nedoslýchavost (hypacusis conductiva)	216
6.5.2	Percepční nedoslýchavost (hypacusis perceptiva, hypacusis sensoneuralis)	216
6.5.3	Směšená nedoslýchavost (hypacusis mixta)	217
6.6	Vyšetření sluchu	217
6.6.1	Subjektivní audiometrické metody	217
6.6.1.1	Vyšetření hlasitou řečí a šepotem	217
6.6.1.2	Vyšetření ladičkami	218
6.6.1.3	Tónová audiometrie	219
6.6.1.4	Slovní audiometrie	220
6.6.2	Objektivní audiometrické metody	220
6.6.2.1	Impedanční audiometrie	220
6.6.2.2	Otoakustické emise	223
6.6.2.3	Akusticky evokované potenciály	224

6.7	Hluk jako noxa	225
6.8	Klinické obory využívající akustiku	226
6.9	Infrazvuk	227
6.10	Ultrazvuk	227
6.10.1	Generování ultrazvuku v lékařství	227
6.10.2	Biologické účinky ultrazvuku	228
6.10.3	Principy diagnostického užití ultrazvuku	230
6.10.4	Principy terapeutického užití ultrazvuku	230
7	Vlastnosti a interakce ionizujícího záření	235
7.1	Objev záření X	235
7.2	Objev radioaktivity	237
7.3	Popis radioaktivity	239
7.4	Typy radioaktivní přeměny	241
7.4.1	Přeměna α	242
7.4.2	Přeměna β^+ , β^- , elektronový záchyt	243
7.4.3	Přeměna γ	246
7.5	Zdroje ionizujícího záření	247
7.5.1	Přírodní zdroje ionizujícího záření	247
7.5.1.1	Kosmické záření a kosmogenní radionuklidy	247
7.5.1.2	Přírodní radionuklidy (terestriální) v zemské kůře	247
7.5.2	Umělé zdroje ionizujícího záření	248
7.5.2.1	RTG přístroje	248
7.5.2.2	Brzdné záření	252
7.5.2.3	Charakteristické záření	253
7.6	Interakce ionizujícího záření s hmotou	254
7.6.1	Interakce přímo ionizujícího záření	255
7.6.2	Interakce nepřímo ionizujícího záření	257
7.7	Dozimetrie ionizujícího záření	262
7.7.1	Veličiny charakterizující zdroje ionizujícího záření	262
7.7.2	Veličiny popisující pole ionizujícího záření v prostoru	263
7.7.3	Veličiny popisující interakce ionizujícího záření s látkou	263
7.7.4	Veličiny dozimetrie ionizujícího záření	266
7.7.5	Veličiny používané v radiační ochraně	267
7.8	Detekce ionizujícího záření	272
7.8.1	Ionizační detektory	273
7.8.1.1	Ionizační komory	274
7.8.1.2	Proporcionální počítače	275
7.8.1.3	Geigerovy-Müllerovy počítače	275
7.8.2	Scintilační detektory	275
7.8.3	Dozimetrie pevnou fází	276
7.8.4	Fotografická metoda detekce	277
7.9	Cíle a principy radiační ochrany	277
7.9.1	Limity pro ozáření	278
7.9.2	Ochrana před vnějším ionizujícím zářením	281
7.9.3	Ochrana před vnitřní kontaminací	282
8	Zobrazovací metody	285
8.1	Radiodiagnostika	285
8.1.1	Fyzikální principy RTG vyšetřovacích metod	285
8.1.2	Skioskopie	286

8.1.3	Skiografie	287
8.1.4	Snímkování ze štítu	288
8.1.5	Kymografie	288
8.1.6	Angiografická vyšetření	288
8.1.7	Vyšetření kontrastní látkou	289
8.1.7.1	Negativní kontrastní látky	289
8.1.7.2	Pozitivní kontrastní látky	289
8.1.8	Výpočetní tomografie	290
8.1.8.1	Součásti CT	291
8.2	Ultrazvukové zobrazovací metody	292
8.2.1	Fyzikální vlastnosti ultrazvuku	292
8.2.2	Fyzikální podstata zobrazování ultrazvukem	294
8.2.2.1	Odraz ultrazvuku na rozhraní a jeho interpretace	294
8.2.2.2	Ultrazvukové metody zobrazení struktury	296
8.2.2.3	Ultrazvukové metody zobrazení rychlosti toku krve – dopplerovské metody	298
8.3	Magnetická rezonance	299
8.3.1	Magnetické vlastnosti jádra	299
8.3.1.1	Rekonstrukce obrazu magnetické rezonance	302
8.3.2	MR angiografie	304
8.3.3	Kontrastní látky	304
8.3.4	Funkční magnetická rezonance	304
8.3.5	Přístrojové vybavení	305
8.3.6	Využití magnetické rezonance	306
8.4	Nukleární medicína	306
8.4.1	Základní pojmy	306
8.4.2	Vyšetřovací metody využívající radionuklidy	309
8.4.3	Fyzikální principy používání radiofarmak	309
8.4.4	Přístroje pro osobní a ochrannou dozimetrii	313
8.4.5	Přístroje pro měření radioaktivity látek	314
8.4.6	Přístroje pro měření radioaktivity v organismu	317
8.4.7	Jednokanálová a vícekanálová souprava pro zevní detekci	317
8.4.8	Celotělové detekční systémy	319
8.4.9	Scintigrafické zobrazovací systémy	319
8.4.10	Tomografické scintigrafické systémy	322
8.5	Denzitometrie	324
8.5.1	Metody využívající ionizující záření	325
8.5.2	Metody nepoužívající ionizující záření	325
8.5.3	Vyhodnocení výsledků měření podle WHO	326
8.6	Termografie	326
8.6.1	Bezkontaktní termografie	326
8.6.2	Kontaktní termografie	328
9	Základy radioterapie	331
9.1	Základní pojmy v radioterapii a v radiobiologii	331
9.1.1	Biofyzikální základy radioterapie	331
9.1.2	Radiobiologické základy radioterapie	331
9.1.3	Metodika léčby zářením	333
9.1.4	Klinické problémy radioterapie.	333
9.2	Ozařovače využívané v radioterapii	334
9.2.1	Kobaltové a cesiové ozařovače, gama nůž	334

9.2.2	Betatron	335
9.2.3	Lineární urychlovač	336
9.2.4	Cyklotron	337
9.3	RTG terapie	339
9.4	Intervenční radiologie	340
10	Neionizující záření	343
10.1	Neionizující elektromagnetické záření	43
10.1.1	Účinky neionizujícího záření na živý organismus	344
10.1.2	Účinky viditelného světla	345
10.2	Ultrafialové světlo	45
10.2.1	Biologické účinky ultrafialového záření	347
10.2.2	Účinky na oko	347
10.3	Infračervené světlo	348
10.3.1	Infračervené záření	348
10.4	Radiofrekvenční záření	49
10.4.1	Elektromagnetická pole v radiofrekvenční oblasti	349
11	Fyzikální děje ve stomatologii	351
11.1	Specializovaná stomatologická technika v ordinaci	351
11.1.1	Zubní vrtačka	351
11.1.1.1	Elektromotorický násadec	351
11.1.1.2	Násadce se vzduchovým motorkem	352
11.1.1.3	Turbínové násadce s přímým pohonem	352
11.1.1.4	Preparační laser	353
11.1.1.5	Trysková nekontaktní abraze k bezbolestné preparaci tvrdých zubních tkání	353
11.1.2	Rotační nástroje	353
11.2	Specializovaná stomatologická technika v laboratoři	355
11.2.1	Mikromotor	355
11.2.2	Licí přístroje	355
11.2.3	Pískovač	356
11.2.4	Bruska a leštička	356
11.2.5	Dentální pila	357
11.2.6	Vibrátor	357
11.2.7	Fletcherova pistole	357
11.2.8	Přístroj na elektrolytické leštění odlitků (galvanická leštička)	357
11.2.9	Zařízení na sváření elektrickým obloukem	358
11.2.10	Ohřívací (předeřivací) pec	358
11.2.11	Sušicí pec	359
11.2.12	Přetlakový polymerátor	359
11.2.13	Tepelně tlakový polymerátor	359
11.2.14	Lis na kyvety	359
11.3	Lékařská technika využívaná ve stomatologické ordinaci	359
11.3.1	Amalgamátoři	360
11.3.2	Kompresory	360
11.3.3	Nástěnná a stojanová zubní svítidla	360
11.3.4	Sterilizátory	361
11.3.4.1	Horkovzdušný sterilizátor	361
11.3.4.2	Autokláv	361
11.3.4.3	Sterilizace ionizujícím zářením	361

11.3.5	Ultrazvukové čističky	362
11.3.6	Polymerační lampa	362
11.3.7	Metoda laserové fluorescence	362
11.4	Rentgenová technika ve stomatologii	363
11.4.1	Klasický rentgenový přístroj	363
11.4.2	Rentgenové diagnostické techniky používané ve stomatologii	365
11.4.2.1	Panorální radiografie	365
11.4.2.2	Free focus radiography.	365
11.4.2.3	Rotační tomografie, ortopantomograf (panoramatická tomografie)	365
11.4.2.4	Počítačová tomografie	367
11.4.2.5	Tuned Aperture Computed Tomography	367
11.4.2.6	Počítačová tomografie s kuželovým paprskem	367
11.4.2.7	Metoda CEREC	368
11.4.2.8	CAD/CAM CEREC	369
11.4.3	Rentgenové filmy využívané ve stomatologii	369
11.4.4	Digitální zobrazovací systémy	369
11.4.4.1	Elektronické senzory.	370
11.4.4.2	Paměťové fólie	370
11.4.5	Kontrastní látky a jejich využití ve stomatologii	370
11.4.6	Digitální subtrakční radiografie	370
11.4.7	Xerografie.	371
11.4.8	Další zobrazovací techniky používané ve stomatologii	371
11.4.9	Intraorální kamera	371
11.5	Fyzikální podstata materiálů využívaných ve stomatologii	372
11.5.1	Otiskovací hmoty.	372
11.5.1.1	Hmoty složené, kompozitní	372
11.5.1.2	Otiskovací gutaperča	372
11.5.1.3	Reverzibilní hydrokoloidní hmoty	373
11.5.1.4	Vosky	373
11.5.2	Zatmelovací hmoty	373
11.5.3	Broušící a leštící hmoty.	373
11.5.4	Hmoty používané ke zhotovování náhrad a jejich zpracování	373
11.5.4.1	Kovy	374
11.5.4.2	Kaučuk, umělé pryskyřice	375
11.5.4.3	Stomatologické porcelány	375
11.5.5	Teplotní roztažnost pevných látek	376
11.5.6	Tepelná vodivost pevných látek	377
11.6	Elektrochemická koroze kovů v ústní dutině a jiné elektrogalyvanické jevy	378
11.7	Extrakční kleště a páky	379
11.8	Fyzikální principy obrábění využívané ve stomatologii	381
11.8.1	Vrtání a broušení	381
11.8.2	Leštění	382
11.8.3	Frézování	382
11.9	Zubní náhrady	382
11.9.1	Mechanismus působení zvykacího svalstva	382
11.9.2	Fyzikální požadavky na sestavení umělého chrupu	384
12	Fyzikální vlastnosti nových materiálů	385
12.1	Obecná charakteristika biomateriálů	385
12.2	Materiály s tvarovou pamětí	386
12.2.1	Tvarová paměť	386

12.2.2	Tvarová paměť nitanolu	386
12.2.3	Pseudoelastická (superelastická) nitanolu	387
12.2.4	Použití nitanolu v medicíně	388
12.2.4.1	Zubní lékařství	388
12.2.4.2	Ortopedie	388
12.2.4.3	Chirurgie	389
12.2.4.4	Miniinvazivní chirurgie	390
12.3	Biodegradabilní materiály	391
12.3.1	Obecná charakteristika biodegradabilních materiálů	391
12.3.2	Příklady použití biodegradabilních materiálů	393
12.3.2.1	Spojovací a fixační prvky	393
12.3.2.2	Biodegradabilní výztuže (stenty)	394
12.3.2.3	Scaffolds	395
12.4	Nanomateriály	396
12.4.1	Úvod	396
12.4.1.1	Základní vlastnosti nanomateriálů a jejich fyzikální podstata	396
12.4.1.2	Principy výroby nanomateriálů	398
12.4.2	Využití nanomateriálů v diagnostice	398
12.4.2.1	Zobrazovací metody	398
12.4.2.2	Laboratorní a molekulární diagnostika	399
12.4.3	Využití nanomateriálů v terapii	399
12.4.3.1	Cílená farmakoterapie	399
12.4.3.2	Multifunkční nanočástice	400
12.4.3.3	Nanomatrice	400
12.4.4	Zdravotní rizika spojená s nanomateriály	401
13	Supplementum	403
13.1	Fyzikální veličiny a jejich jednotky	403
13.2	Zákonné jednotky	404
13.3	ČSN ISO 80000-1	404
13.4	Mezinárodní soustava veličin	404
13.5	Mezinárodní soustava jednotek	405
13.5.1	Základní jednotky	405
13.5.2	Odvozené jednotky	406
13.6	Násobné a dílčí jednotky	406
13.7	Vedlejší jednotky	408
	Seznam zkratk	415
	Rejstřík	419
	Souhrn	429
	Summary	431

Předmluva

Je mi ctí, že jsem byl požádán, abych napsal předmluvu k učebnici, která má pro vzdělání lékaře význam naprosto zásadní. Moje pocity jsou přitom smíšené, protože mé neznalosti současné fyziky a biofyziky jsou hluboké. Na druhé straně jsou má úcta i obdiv k tomuto oboru upřímné a nesmírné a to bych se chtěl pokusit vyjádřit.

Je nutné, aby se lékař seznámil od základu se vznikem a vlastnostmi živé hmoty, poznal základní funkce živého organismu i podstatu a způsoby kvantifikace normálních a patologických dějů. To mu teprve dovolí dospět k optimálním závěrům léčebným.

Nad tímto malým světem biofyziky v medicínské aplikaci se klene smělá kopule fyziky z pohledu sociologie. Zde sehraává fyzika roli Prométhea, který dal lidstvu první energii pro přežití a který ho naučí v budoucnu obrovské množství energie nejen najeďnou uvolňovat, jak to již lidé dovedou, ale také stráždat a uvolňovat ji podle potřeby. Fyzika a biofyzika jsou patrně jedinou nadějí lidstva na přežití za podmínek, které ho v dalším vývoji Země a vesmíru čekají.

Dovolte mi nyní dotknout se mých konkrétních zkušeností z oblasti medicínské fyziky, která je jistě součástí biofyziky, a i když třeba malou, tak rozhodně nevyznamnou. Již základní metody klinického vyšetřování jsou založeny na fyzikálních principech. Mám na mysli perkusi (poklep), auskultaci (poslech) a její zdokonalenou podobu fonokardiografii, elektrokardiografii a další.

O to více se fyzika a biofyzika zasloužily o rozvoj mé vlastní disciplíny – diagnostického zobrazování. Podrobily si zde mnoho druhů vlnění: ultrazvukové, paprsky X, magnetické, radiofrekvenční, infračervené, laser a další, a dovedly je k dokonalému zobrazení anatomických poměrů i fyziologických a patofyziologických dynamických dějů. Nejde jen o děje mechanické, ale také o pochody fyzikálně chemické a biochemické, jako je spektroskopie v oblasti zájmu v živém organismu.

Na příkladu moderní kardiologie lze názorně ukázat, co přinesla biofyzika diagnostice a léčbě chorob srdce. Ultrazvuk dokáže zobrazit detailní anatomii srdce v pohybu jednotlivých struktur, s pomocí Dopplerova jevu dovede nepřímou změřit tlakový spád mezi dutinami navzájem a mezi dutinami a velkými cévami a tak kvantifikovat například závažnost zúžení aortální chlopně. Proudění cévami je možné měřit elektromagneticky nebo dopplerovským ultrazvukem, ale nejpřesnější metodou, která dovede neinvazivně vyšetřit a kvantifikovat hemodynamické poměry, je magnetická rezonance. Katetrizace dovolí přímo změřit tlaky v jednotlivých oddělech a zaznamenat je plynulou křivkou. Umožní současně odebrat vzorky krve ke stanovení jejího nasycení kyslíkem a tím odhalit a kvantifikovat zkraty. Indikátorové diluční křivky dovolí stanovit srdeční výdej a kvantifikovat zkraty a regurgitace. Co se jen zde uplatní základních zákonů z oblasti hydrodynamiky, optiky, elektřiky a elektroniky!

Největší význam nukleární medicíny je dán tím, že je zatím vedoucí metodou v zobrazování biochemických a imunologických pochodů v živém organismu. Na tomto poli je velkým příslibem magnetická rezonance pro svou vyšší prostorovou rozlišovací schopnost.

Prostorové zobrazování začalo fotografickou a rentgenografickou stereografií a stereoskopií. Dnes pokračuje 3D rekonstrukcí obrazu pomocí počítače. Základem pro tuto rekonstrukci jsou mnohovrstevná spirální vyšetření výpočetní tomografií nebo vyšetření magnetickou rezonancí.

Tím výčet přínosu biofyziky v moderní medicíně dnes nekončí. Nejde totiž jen o proces diagnostický, ale také o indikaci, tj. volbu optimálního způsobu léčby či prevence. Příkladem budiž intervenční radiologie, která vděčí za svůj vznik a pokrok opět uplatnění fyzikálních zákonů. Dalším příkladem může být využití termální paměti některých slitin kovů (nitinol) k vytvoření nitrožilně zavedeného drátu, který se vlivem tělesné teploty změní v komplikovanou pletěň v horním úseku dolní duté žíly. Tato pletěň se stává účinným filtrem k zachycení trombotických embolů. Pletěň byla přetvarována za teploty blízké teplotě těla a vyrovnána za chladu v rovný drát. Po návratu do teplého prostředí těla se její původně jí udělený tvar obnoví. Na postupu je též aplikace fyzikálních pochodů v lokální léčbě: léčivem potažené cévní výztuže (steny), ničení nádorových ložisek ultrazvukem, radiofrekvencí, laserem, kryoterapií a jinými fyzikálními metodami. Způsob zavádění katétrů je sice dnes již velmi dokonalý, ale bude ještě obohacen možnostmi jejich magnetické navigace. Tato nikoliv nová myšlenka došla plné realizace až po vyvinutí nových, plochých zesilovačů, kterým nehrozí nebezpečí poškození silným magnetismem.

Dost ale s vděkuplným uváděním příkladů významu biofyziky pro medicínu a její další vývoj. Ten se totiž rýsuje zcela zřetelně a tak je nutno si uvědomit, co musí dnešní student medicíny a mladý lékař obsáhnout, aby tyto vývojové trendy včas zachytil a mohl pomoci posunout hranice našeho medicínského vědění a umění do dalších oblastí. Dnes půjde především o řešení problémů metabolických, onkologických, virologických a genetických, zítra jistě o řadu dalších. Bude nutné studovat vedle vlastních klinických oborů především fyziku, biofyziku, chemii, biochemii, imunologii a genetikou. Jedním z informačních zdrojů se jistě stane i tato učebnice.

Hradec Králové, 1. září 2005

prof. MUDr. Leo Steinhart, DrSc.

profesor radiologie,

dlouholetý přednosta radiologické kliniky FN a katedry radiologie LF UK,

dlouholetý proděkan této fakulty, čestný člen její Vědecké rady

a emeritní profesor LF UK v Hradci Králové

a čestný člen Evropské společnosti pro radiační kardiologii