

Spis treści

1. Wprowadzenie	
(Pawlicki G., Gwiazdowska B., Pałko T., Chomicki O.A.)	1
1.1 Fizyka medyczna	1
1.2 Prof. Cezary Pawłowski — twórca fizyki medycznej w Polsce	7
1.3 Organizacje fizyki medycznej i bioinżynierii na świecie . .	9
2. Radiodiagnostyka (Tołwiński J., Pawłowski Z.)	13
2.1 Techniki obrazowania w diagnostyce medycznej [J. Tołwiński]	13
2.1.1 Wprowadzenie	13
2.1.1.1 Wymagania stawiane aparaturze obrazującej	15
2.1.1.2 Klasyfikacja metod obrazowania	17
2.1.1.3 Nośniki informacji w metodach obrazowania stosujących promieniowanie joni- zujące	19
2.1.2 Diagnostyczna aparatura obrazująca	21
2.1.2.1 Rentgenodiagnostyka	21
2.1.2.2 Diagnostyka radioizotopowa	26
2.1.2.3 Ultradźwiękowe metody wizualizacji .	27
2.1.2.4 Tomograficzne metody obrazowania . .	29
2.1.3 Parametry obrazu	35
2.1.3.1 Rozdzielczość	36
2.1.3.2 Funkcja odpowiedzi na źródło punktowe	36
2.1.3.3 Funkcja przenoszenia modulacji	38
2.1.3.4 Szum	41
2.1.3.5 Artefakty	41
2.1.4 Źródła promieniowania X	42
2.1.4.1 Lampy rentgenowskie	42
2.1.4.2 Generatory wysokiego napięcia	46
2.1.4.3 Widmo promieniowania lampy rentge- nowskiej	46
2.1.4.4 Penetracja wiązki promieniowania X .	52
2.1.5 Detektory w diagnostyce rentgenowskiej	54

2.1.5.1	Detektory filmowe	54
2.1.5.2	Ekrany wzmacniające	61
2.1.5.3	Kratki przeciwrozproszeniowe	62
2.1.6	Dawki w diagnostyce rentgenowskiej	64
2.1.6.1	Dawki w diagnostyce konwencjonalnej	64
2.1.6.2	Dawki w tomografii komputerowej	68
2.1.6.3	Dawki w mammografii	69
2.1.7	Obrazowanie cyfrowe w diagnostyce medycznej	72
2.1.7.1	Techniki planarne z detektorem analogowym	72
2.1.7.2	Techniki planarne z detektorem cyfrowym	82
2.1.8	Analiza wykrywalności ognisk	86
2.1.8.1	Jakość obrazu	86
2.1.8.2	Metoda krzywych ROC	89
2.1.8.3	Warunki pomiaru krzywych ROC	94
Bibliografia		96
2.2	Rentgenowska analiza fluorescencyjna w badaniach składu tkanek biologicznych [Z. Pawłowski]	97
2.2.1	Wprowadzenie	97
2.2.2	Zastosowania RAF w medycynie	99
2.2.3	RAF w badaniach <i>in vitro</i>	100
2.2.3.1	Analizy ilościowe składu tkanek	101
2.2.3.2	Analizatory fluorescencji rentgenowskiej do badań <i>in vitro</i>	103
2.2.3.3	Przykłady zastosowań	107
2.2.4	Badania <i>in vivo</i>	110
2.2.4.1	Specyfika i zastosowania badań <i>in vivo</i>	110
2.2.4.2	Czułość analizy i wykrywalność pierwiastków	112
2.2.4.3	Analizatory fluorescencji rtg. do badań <i>in vivo</i>	113
2.2.4.4	Badania <i>in vivo</i> stężeń ołowiu w tkankach kostnych	118
2.2.5	Podsumowanie	121
Bibliografia		121

3. Radioterapia (Kukołowicz P., Scharf W., Morawska-Kaczyńska M., Bulski W.)	125
3.1 Teleradioterapia	125
3.1.1 Wprowadzenie [P. Kukołowicz]	125

3.1.2	Teoretyczne podstawy radioterapii [P. Kukołowicz]	126
3.1.3	Akceleratory radioterapeutyczne [W. Scharf] . . .	133
3.1.3.1	Chronologia rozwoju urządzeń do tele- radioterapii	133
3.1.3.2	Akceleratory do terapii konwencjonalnej	138
3.1.3.3	Akceleratory do terapii hadronowych .	143
3.1.3.4	Akceleratory do terapii borowo-neutro- nowej (BNCT)	146
3.1.3.5	Podsumowanie	148
3.1.4	Metody obliczania rozkładu dawki [P. Kukołowicz]	148
3.1.5	Planowanie leczenia [P. Kukołowicz]	158
3.1.5.1	Zasady planowania leczenia	159
3.1.6	Elektrony w teleradioterapii [M. Morawska-Ka- czyńska]	169
3.1.6.1	Zastosowania terapeutycznych wiązek .	169
3.1.6.2	Charakterystyka rozkładów dawki . . .	169
3.1.6.3	Model matematyczny wiązki	172
3.1.7	Kierunki rozwoju współczesnej radioterapii [W. Bul- ski]	175
3.1.7.1	Wprowadzenie	175
3.1.7.2	Planowanie radioterapii w trzech wy- miarach	175
3.1.7.3	Radiochirurgia	176
3.1.7.4	Tomoterapia i modulacja intensywności	177
3.1.7.5	Odwrotne planowanie leczenia (<i>inverse planning</i>)	179
3.1.7.6	Wyznaczanie obszaru do napromienia- nia i weryfikacja leczenia	180
3.1.7.7	Podsumowanie	181
	Bibliografia	182
3.2	Brachyterapia [W. Bulski]	184
3.2.1	Wstęp	184
3.2.2	Źródła radioaktywne stosowane w brachyterapii .	187
3.2.3	Techniki brachyterapii	191
3.2.4	Planowanie brachyterapii i obliczanie rozkładów dawek	195
3.2.5	Brachyterapia nowotworów gałki ocznej	199
3.2.6	Brachyterapia śródnaczyniowa	203
3.2.7	Podsumowanie	206
	Bibliografia	206

4.	Dozymetria z zastosowaniem komór jonizacyjnych (Dąbrowski R.)	209
4.1	Podstawowe pojęcia	209
4.1.1	Fluencja cząstek	209
4.1.2	Kerma	210
4.1.3	Dawka pochłonięta	211
4.1.4	Związek dawki z fluencją elektronów w warunkach równowagi elektronowej	211
4.1.5	Związek dawki z fluencją elektronów w warunkach braku równowagi elektronowej	214
4.1.6	Średnia energia jonizacji w powietrzu - W^{air}	215
4.1.7	Podstawowe elementy teorii detektora	216
4.2	Kalibracja komór jonizacyjnych	218
4.2.1	Kalibracja w powietrzu	219
4.2.2	Kalibracja w wodzie	221
4.3	Określenie jakości wiązki	224
4.3.1	Wiązki fotonowe	225
4.3.2	Wiązki elektronowe	227
4.4	Perturbacje w komorach cylindrycznych	230
4.4.1	Wiązki fotonowe	230
4.4.1.1	Poprawka p_{wall}	231
4.4.1.2	Poprawka gradientowa - p_{dis}	233
4.4.1.3	Poprawka na centralną elektrodę alu- miniową p_{cel}	234
4.4.1.4	Wpływ nakładki uszczelniającej	235
4.4.2	Wiązki elektronowe	238
4.4.2.1	Poprawka p_{wall}	238
4.4.2.2	Poprawka gradientowa - efektywny punkt pomiarowy	239
4.4.2.3	Poprawka fluencyjna - p_{cav}	239
4.4.2.4	Wpływ nakładki uszczelniającej	242
4.4.2.5	Poprawka na centralną elektrodę alu- miniową p_{cel}	242
4.5	Specyfika zastosowań komór płaskich	242
4.5.1	Perturbacje w komorach płaskich	243
4.5.2	Kalibracja komór płaskich	245
4.5.2.1	Kalibracja w powietrzu w wiązce Co^{60}	245
4.5.2.2	Kalibracja w wodzie w wiązce elektronów	247
4.5.3	Zastosowanie komór płaskich w dozymetrii wiązek fotonowych	248

4.6	Czynniki korekcyjne do wskazań dawkomierza	249
4.6.1	Czynnik korekcyjny na jakość wiązki k_{Q,Q_0}	250
4.6.2	Korekcja na ciśnienie i temperaturę - $k_{T,P}$	251
4.6.3	Korekcja na rekombinacje - k_s	252
4.6.4	Korekcja na efekt polaryzacyjny - k_{pol}	254
4.7	Podsumowanie	256
	Bibliografia	258

5.	Fizyczne aspekty zapewnienia jakości w radiodiagnostyce i radioterapii (Gwiazdowska B.)	263
5.1	Wprowadzenie	263
5.2	Uwierzytelnianie aparatury pomiarowej	266
5.3	Radiodiagnostyka	268
5.3.1	Rentgenodiagnostyka	269
5.3.2	Diagnostyka radioizotopowa	271
5.4	Radioterapia	271
5.4.1	Teleradioterapia	272
5.4.1.1	Wyznaczanie dawki w punkcie referencyjnym	272
5.4.1.2	Pomiary rozkładu dawki promieniowania	272
5.4.1.3	Lokalizacja guza	273
5.4.1.4	Planowanie napromieniania	274
5.4.1.5	Specyfikacja dawki w objętości tarczowej	275
5.4.1.6	Realizacja napromieniania	275
5.4.1.7	Kontrola realizacji napromieniania	276
5.4.2	Brachyterapia	276
5.4.2.1	Kalibracja źródeł przez użytkownika	276
5.4.2.2	Lokalizacja i rekonstrukcja	277
5.4.2.3	Komputerowe planowanie brachyterapii	277
5.4.2.4	Specyfikacja dawki w objętości tarczowej	277
5.4.2.5	Realizacja napromieniania	278
5.5	Audit	278
5.5.1	Przykład w zakresie radiodiagnostyki	278
5.5.2	Przykład w zakresie radioterapii	278
5.6	Akredytacja i certyfikacja	279
	Bibliografia	280

6. Medycyna nuklearna (Królicki L., Andrysiak R., Teresińska A., Wasilewska-Radwańska M.)	283
6.1 Medycyna nuklearna, narzędzie współczesnego postępowania diagnostycznego i leczniczego [L. Królicki, R. Andrysiak]	283
6.1.1 Wprowadzenie	283
6.1.2 Techniki diagnostyczne	285
6.1.2.1 Diagnostyka stanów zapalnych	285
6.1.2.2 Podejrzenie zapalenia kości	287
6.1.2.3 Podejrzenie zapalenia tkanek miękkich	288
6.1.2.4 Gorączki nieznanego pochodzenia	289
6.1.3 Badania ośrodkowego układu nerwowego	290
6.1.3.1 Badanie czynności bariery krew-mózg	291
6.1.3.2 Kliniczne zastosowania badania przepływu krwi w mózgu	293
6.1.3.3 Zespoły ośpiewne	293
6.1.3.4 Padaczka ogniskowa	293
6.1.3.5 Choroby naczyniowe mózgu	294
6.1.3.6 Śmierć mózgowa	294
6.1.3.7 Zmiany pourazowe	295
6.1.3.8 Układ receptorowy dla benzodiazepin	295
6.1.3.9 Receptory dopaminergiczne	296
6.1.4 Metody radioizotopowe w diagnostyce procesów nowotworowych	297
6.1.5 Terapia radioizotopowa	300
Bibliografia	305
6.2 Nowe rozwiązania techniczne w medycynie nuklearnej [A. Teresińska]	308
6.2.1 Wprowadzenie	308
6.2.2 Gammakamery wielogłowicowe	308
6.2.3 Emisyjna tomografia pozytonowa (PET). Przykład zastosowania klinicznego - diagnostyka kardiologiczna	309
6.2.4 Gammakamery SPECT i znaczniki pozytonowe	313
6.2.5 Tomograficzne bramkowane badania perfuzji mięśnia sercowego (GSPECT - ang. <i>Gated Single - Photon Emission Computed Tomography</i>)	315
6.2.6 Podsumowanie	316
Bibliografia	317
6.3 Metoda radioimmunodetekcji [M. Wasilewska-Radwańska]	319
6.3.1 Wprowadzenie	319

6.3.2	Przenośna sonda gamma Modelo-2	320
6.3.3	Wykorzystanie metody radioimmunodetekcji do śródooperacyjnej kontroli nowotworów	322
6.3.4	Przykłady zastosowań klinicznych metody RIGS	324
6.3.5	Podsumowanie	325
Bibliografia		325

7. Sterylizacja radiacyjna przeszczepów tkankowych

(Dziedzic-Gocławska A., Stachowicz W.)		329
7.1	Bankowanie tkanek [A. Dziedzic-Gocławska]	329
7.2	Ryzyko przeniesienia zakażeń od dawców tkanek do poten- cjalnych biorców allogenicznych przeszczepów tkankowych [A. Dziedzic-Gocławska]	331
7.3	Sterylizacja radiacyjna przeszczepów tkankowych [A. Dziedzic-Gocławska]	332
7.3.1	Działanie biologiczne promieniowania jonizującego	333
7.3.2	Mikrobiologiczne aspekty sterylizacji radiacyjnej	334
7.3.3	Sterylizacja radiacyjna przeszczepów tkankowych w Polsce	338
7.4	Wpływ sterylizacji radiacyjnej na właściwości fizyko-che- miczne i biologiczne przeszczepów tkankowych [A. Dze- dzic-Gocławska	338
7.4.1	Zastosowanie spektrometrii elektronowego rezo- nansu paramagnetycznego (EPR) w badaniach ste- rylizowanych radiacyjnie przeszczepów kostnych	339
7.4.2	Wpływ metod konserwacji i warunków sterylizacji radiacyjnej na właściwości osteoindukcyjne prze- szczepów kostnych	340
7.4.3	Wpływ metod konserwacji i warunków sterylizacji radiacyjnej na rozpuszczalność <i>in vitro</i> kolagenu kości oraz na wytrzymałość mechaniczną tkanki kostnej	343
Bibliografia		347
7.5	Technika sterylizacji radiacyjnej przeszczepów tkankowych [W. Stachowicz]	349
7.5.1	Charakterystyka źródełpromieniowania jonizują- cego stosowanych do sterylizacji przeszczepów tkankowych	350
7.5.2	Mechanizm oddziaływania promieniowania joni- zującego	353

7.5.3	Pomiar i kontrola dawki w procesie sterylizacji radiacyjnej	357
7.5.4	Technika napromieniowania przeszczepów tkankowych	360
Bibliografia		362

8.	Bierne właściwości elektryczne tkanek i ich wykorzystanie w medycynie (Pałko T., Galwas B., Pawlicki G.)	363
8.1	Wprowadzenie	363
8.2	Wielkości elektryczne tkanek	365
8.2.1	Przewodność	365
8.2.2	Przenikalność elektryczna i parametry dla prądu zmiennego	365
8.2.3	Efekty polaryzacji	367
8.2.4	Rozproszenia przewodności oraz przenikalności elektrycznej i relaksacje	368
8.2.5	Impedancja i obwody zastępcze	369
8.2.6	Parametry elektryczne tkanki dla częstotliwości mikrofalowych	373
8.3	Metody pomiaru impedancji dla częstotliwości akustycznych i radiowych	374
8.3.1	Metody dwuelektrodowe	375
8.3.2	Metoda cztero elektrodowa prądowa	376
8.4	Mikrofalowe metody pomiaru przenikalności elektrycznej	377
8.4.1	Metody odbiciowe z linią współosiową	377
8.4.1.1	Metoda obwodu zastępczego	379
8.4.1.2	Metody oparte o rozwiązanie równań pola EM	380
8.4.2	Metody rezonatorowe	380
8.5	Wykorzystanie pomiarów impedancji i przenikalności elektrycznej w medycynie	382
8.5.1	Reografia impedancyjna	382
8.5.1.1	Reokardiografia	385
8.5.1.2	Reoangiografia kończynowa	390
8.5.1.3	Reoencefalografia	391
8.5.1.4	Inne zastosowania reografii	392
8.5.2	Spektrometria impedancyjna	392
8.5.3	Dielektrometria	395
8.5.4	Diatermia	395

8.6	Podsumowanie	397
	Bibliografia	398

9. Ochrona radiologiczna

	(Golnik N., Wasilewska-Radwańska M.)	401
9.1	Ochrona radiologiczna w praktyce medycznej - podstawowe wielkości i zasady [N. Golnik]	401
9.1.1	Model oddziaływania promieniowania na organizm człowieka	401
9.1.2	System wielkości i jednostek stosowany w ochronie radiologicznej	403
9.1.3	Wielkości robocze	409
9.1.4	Dawki graniczne	410
9.1.5	Uzasadnienie i optymalizacja narażeń medycznych	412
9.1.6	Poziomy wskaźnikowe przy badaniach radiologicznych	414
9.1.7	Zasady ochrony radiologicznej i poziomy wskaźnikowe w medycynie nuklearnej	419
	Bibliografia	420
9.2	Wewnętrzne narażenie radiacyjne [M. Wasilewska-Radwańska]	422
9.2.1	Wprowadzenie	422
9.2.2	Podstawowe pojęcia stosowane przy obliczaniu dawki	422
9.2.3	Przykłady obliczania średniej dawki pochłoniętej MIRD	425
	Bibliografia	427

10. Promieniowanie elektromagnetyczne niejonizujące

	(Szmigielski S., Sobiczewska E., Kubacki R., Cysewska-Sobusiak A., Kuliński W., Misztela A., Frank-Piskorska A., Tłustochowicz W., Graczyk A.)	429
10.1	Pola elektromagnetyczne (0-300 GHz) - efekty biologiczne, ryzyko zdrowotne i zasady ochrony [S. Szmigielski, E. Sobiczewska, R. Kubacki]	429
10.1.1	Wprowadzenie	429
10.1.2	Narażenie ludności i pracowników na pola EM	435
10.1.3	Efekty biologiczne pól EM	439
10.1.4	Ryzyko zdrowotne pól EM	442

10.1.5	Ochrona pracowników i ludności przed działaniem pól EM	447
Bibliografia		451
10.2	Promieniowanie optyczne w diagnostyce nieinwazyjnej [A. Cysewska-Sobusiak]	453
10.2.1	Wstęp	453
10.2.2	Specyfika biofizycznej struktury obiektu	454
10.2.3	Cechy propagacji promieniowania optycznego w obiekcie biologicznym	455
10.2.4	Pożądane i niepożądane rodzaje efektów interakcji światło-tkanki	459
Bibliografia		463
10.3	Zastosowanie zmiennego pola magnetycznego niskiej częstotliwości w profilaktyce osteoporozy u chorych leczonych przewlekle kortykosteroidami [W. Kuliński, A. Misztela, A. Frank-Piskorska]	465
10.3.1	Materiał i metoda	468
10.3.2	Wyniki i omówienie	469
10.3.3	Wnioski	469
Bibliografia		470
10.4	Fotodynamiczna metoda w zastosowaniach onkologicznych [A. Graczyk]	471
10.4.1	Rys historyczny	472
10.4.2	Fotochemiczne podstawy fotodynamicznej metody diagnozy (PDD) i terapii (PDT)	473
10.4.3	Tlen singletowy jako czynnik cytotoksyczny PDT	476
10.4.4	Proces utleniania w reakcji fotodynamicznej	477
10.4.5	Fotosensybilizatory	478
10.4.5.1	Fotofizyka fotosensybilizatorów	478
10.4.5.2	Lokalizacja fotosensybilizatorów	479
10.4.5.3	Najważniejsze fotosensybilizatory stosowane w praktyce klinicznej	479
10.4.5.4	Fotosensybilizatory amfifilowe. Wpływ amfifilowości, agregacji i oddziaływania z proteinami na aktywność fotodynamiczną fotosensybilizatorów porfirynowych	485
10.4.5.5	Własności farmakologiczne fotouczulaczy	487
10.4.6	Biologiczne mechanizmy działania PDT	490
10.4.6.1	Zamykanie naczyń i powstawanie stanów zapalnych	490

10.4.6.2	Uszkodzenia lizosomalne	493
10.4.6.3	Uszkodzenia mitochondrialne	494
10.4.6.4	Uszkodzenie membran	496
10.4.7	Mechanizmy śmierci komórki	497
10.4.7.1	Nekroza i apoptoza	497
10.4.7.2	Apoptoza kontrolowana mitochondrialnie	498
10.4.7.3	Rola PT_{pore} (Permeability Transition)	499
10.4.7.4	Rola cytochromu c i innych białek w apoptozie	500
10.4.8	Wpływ PDT na układ immunologiczny	500
10.4.8.1	Aktywność przeciwnowotworowa nie-limfoidalnych komórek zapalnych	501
10.4.9	Zastosowania kliniczne PDT	504
Bibliografia		504

11. Zjawiska elektromagnetyczne w diagnostyce i tomografia MR (Dunajski Z., Walecki J., Tarasów E.)

11.1	Pola elektryczne i magnetyczne generowane przez tkanki żywe [Z. Dunajski]	511
11.1.1	Pola elektryczne i magnetyczne wywołane prądami jonowymi	512
11.1.1.1	Pole magnetyczne	512
11.1.1.2	Dipol prądowy	513
11.1.1.3	Pola elektromagnetyczne w przestrzeni	514
11.1.1.4	Pole elektryczne i magnetyczne w nieskończonym, jednorodnym ośrodku przewodzącym	516
11.1.1.5	Pola elektryczne i magnetyczne w ośrodku niejednorodnym	520
11.1.1.6	Pola magnetyczne mózgu	527
Bibliografia		530
11.2	Podstawy fizyczne rezonansu magnetycznego [J. Walecki, E. Tarasów]	531
11.2.1	Pole magnetyczne, spiny, precesja	531
11.2.2	Relaksacja podłużna i poprzeczna	532
11.2.2.1	Akwizycja i rekonstrukcja obrazu	534
11.2.2.2	Sekwencje spinowe	535
11.2.2.3	Sekwencja zaniku inwersji (<i>inversion recovery</i> - IR)	536

11.2.2.4	Sekwencje echa gradientowego (<i>gradient echo</i> - GE)	537
11.2.2.5	Szybkie techniki rejestracji obrazu	538
11.2.3	Środki kontrastowe w badaniach MR	538
	Bibliografia	542
11.3	Kliniczne wskazania do badań MR [J. Walecki, E. Tarasów]	543
11.4	Angiografia rezonansu magnetycznego (MRA) [J. Walecki, E. Tarasów]	548
11.4.1	Fizyczne podstawy MRA	548
11.4.2	Angiografia czasu przepływu (MRA TOF)	549
11.4.3	Angiografia kontrastu fazowego (MRA PC)	551
11.4.4	Angiografia rezonansu magnetycznego wzmocniona kontrastem (CE 3D MR)	552
11.4.5	Kliniczne zastosowania MRA	553
	Bibliografia	555
11.5	Różnicowanie funkcjonalne tkanek [J. Walecki, E. Tarasów]	556
11.5.1	Spektroskopia rezonansu magnetycznego (MRS)	556
11.5.2	Metody dyfuzyjne	562
11.5.3	Techniki perfuzyjne	564
11.5.4	Mapowanie ośrodków korowych	565
	Bibliografia	565

12. Fizykoterapia (Kuliński W., Misztela A., Kantor I.)	567
12.1 Fizykoterapia [W. Kuliński]	567
12.1.1 Światłolecznictwo	567
12.1.1.1 Promieniowanie nadfioletowe	568
12.1.1.2 Promieniowanie widzialne	574
12.1.1.3 Promieniowanie podczerwone (IR)	575
12.1.2 Laseroterapia	575
12.1.3 Elektroterapia	579
12.1.4 Galwanizacja	580
12.1.5 Jonoforeza	580
12.1.6 Kąpiele elektryczno-wodne	581
12.1.7 Prądy impulsowe małej częstotliwości	581
12.1.8 Prądy diadynamiczne (dd)	582
12.1.9 Prądy impulsowe średniej częstotliwości	583
12.1.10 Prądy wielkiej częstotliwości	585
12.1.11 Pola magnetyczne małej częstotliwości	586
12.1.12 Ultradźwięki	587
Bibliografia	588

12.2	Zastosowanie zmiennego pola magnetycznego niskiej czę- stotliwości w terapii zapaleń zatok przynosowych [W. Ku- liński, A. Misztela, I. Kantor]	591
12.2.1	Wstęp	591
12.2.2	Materiał i metodyka badań	593
12.2.3	Wyniki badań	594
12.2.4	Omówienie	594
12.2.5	Wnioski	595
	Bibliografia	595