

Spis treści

Przedmowa	17
Część I	
Biomechanika inżynierska – podstawowe problemy i kierunki rozwoju	21
1. Wprowadzenie	22
2. Podstawowe zainteresowania biomechaniki inżynierskiej	25
3. Elementy biomechaniki kręgosłupa	29
3.1. Wprowadzenie	29
3.1.1. Model Stotte'a	31
3.2. Systemy stabilizacji kręgosłupa	36
3.3. Badania stabilizatorów kręgosłupa	40
3.3.1. Odcinek piersiowy kręgosłupa	40
3.3.2. Odcinek lędźwiowy kręgosłupa	40
3.3.3. Badania przyczyn korozji stabilizatorów kręgosłupowych	44
3.3.4. Badania wrywania śrub	48
3.3.5. Badania więzadeł kręgosłupa	50
3.3.6. Wymagania i zadania stawiane implantom kręgosłupowym	52
4. Biomechanika stawu kolanowego i biodrowego	56
4.1. Biomechanika stawu biodrowego	56
4.1.1. Modele obciążeń stawu biodrowego	56
4.1.2. Problemy protezowania stawu biodrowego	60
4.2. Biomechanika stawu kolanowego	62
4.3. Refleksje końcowe	68
Literatura	72
Część II	
Metody numeryczne i doświadczalne w biomechanice	77
1. Wprowadzenie	78
2. Metody analizy numerycznej	82
2.1. Analiza układów biomechanicznych	84

2.1.1.	Modelowanie i analiza biomechaniczna kości długich	85
2.1.2.	Modelowanie i analiza biomechaniczna kręgosłupa	94
2.1.3.	Modelowanie i analiza tkanek miękkich	104
2.2.	Analiza numeryczna procesów biologicznych	107
3.	Metody analizy doświadczalnej	139
3.1.	Metody elastooptyczne	141
3.2.	Zastosowanie metody interferometrii holograficznej	143
3.2.1.	Badania przemieszczeń łuku kręgu	144
3.2.2.	Badania kości udowej	148
3.2.3.	Badania kości żuchwy	150
3.3.	Zastosowanie metody fotografii plamkowej	152
3.3.1.	Analiza przemieszczeń stawu biodrowego	152
3.4.	Zastosowanie tensometrii obrotowej	153
3.4.1.	Analiza odkształceń w kości miednicy	154
3.5.	Elektroniczna interferometria obrazów plamkowych	155
3.5.1.	Doświadczalna analiza przemieszczeń ludzkiej kości miedniczej przy użyciu ESPI	155
3.6.	Badania charakterystyk wytrzymałościowych tkanek	161
3.6.1.	Wyznaczenie właściwości mechanicznych tkanki kostnej	164
3.6.2.	Wyznaczenie właściwości mechanicznych tkanek miękkich	168
3.6.3.	Metody wyznaczania modułu Younga	169
3.6.4.	Podsumowanie	172
	Literatura	173

Część III

Mikromechanika płynów biologicznych	179
1. Płyny biologiczne	180
1.1. Wstęp	180
1.2. Krew. Funkcje i mikrostruktura	181
1.3. Mocz	184
1.4. Ślina	185
1.5. Żółć	186
1.6. Maż stawowa	187
1.7. Ciecz łzowa	188
1.8. Płyn mózgowo-rdzeniowy	189
1.9. Limfa	189

2. Wpływ mikro- i nanostruktury płynów biologicznych na ich własności reologiczne	191
2.1. Wstęp	191
2.2. Podstawowe pojęcia reologiczne	192
2.3. Wpływ mikrostruktury na reologię krwi. Determinanty lepkości	194
2.4. Wpływ mikrostruktury mazi stawowej	199
2.5. Kliniczne znaczenie lepkości i sprężystości płynów biologicznych	202
3. Modelowanie oraz równania konstytutywne wybranych płynów biologicznych	205
3.1. Wstęp	205
3.2. Modelowanie krwi	206
3.3. Równania konstytutywne krwi	207
3.4. Modelowanie mazi stawowej	211
3.5. Aspekt ciekłokrystaliczności mazi stawowej	212
3.6. Równania konstytutywne mazi stawowej	213
3.7. Podsumowanie	214
Literatura	216

Część IV

Modelowanie i analiza zjawisk termicznych	223
1. Wstęp	224
2. Modele matematyczne przepływu ciepła w organizmach żywych (modele przepływu biociepła)	226
2.1. Modele ciągłe	227
2.1.1. Równanie Pennesa	227
2.1.2. Warunki jednoznaczności	231
2.1.3. Modyfikacje równania Pennesa	232
2.1.4. Równanie Cattaneo-Vernotte'a	237
2.1.5. Równanie z dwoma czasami opóźnień	238
2.2. Modele naczyniowe	239
2.2.1. Pojedyncze naczynie krwionośne	241
2.2.2. Rozwiązanie zadania za pomocą metody różnic skończonych	244
2.2.3. Para naczyń krwionośnych	249
2.2.4. Sieć naczyń krwionośnych	255
2.3. Inne modele	258
3. Analiza wrażliwości w przepływie ciepła	262
3.1. Sformułowanie problemu	262

3.2.	Metoda bezpośrednia analizy wrażliwości	264
3.3.	Metoda elementów brzegowych	269
3.4.	Wyniki obliczeń – podejście bezpośrednie analizy wrażliwości	273
3.5.	Metoda sprzężona analizy wrażliwości	282
3.6.	Wyniki obliczeń – podejście sprzężone analizy wrażliwości	285
4.	Modelowanie oddziaływań wysokiej temperatury na tkankę skórną	289
4.1.	Modelowanie oparzeń tkanki skórnej	289
4.1.1.	Opis matematyczny	291
4.1.2.	Metoda elementów brzegowych dla obszarów wielowarstwowych	294
4.1.3.	Analiza wrażliwości	297
4.1.4.	Przykłady obliczeń	303
4.2.	Modelowanie oddziaływania pola elektromagnetycznego na tkankę biologiczną	309
4.2.1.	Model matematyczny	310
4.2.2.	Rozwiązanie zadania za pomocą metody elementów brzegowych	313
4.2.3.	Wyniki obliczeń	319
4.3.	Modelowanie oddziaływań cieplnych lasera na tkankę biologiczną	322
4.3.1.	Opis matematyczny	323
4.3.2.	Metoda różnic skończonych dla równania z dwoma czasami opóźnień	324
4.3.3.	Wyniki obliczeń	326
5.	Modelowanie oddziaływań niskiej temperatury na tkankę biologiczną	328
5.1.	Modelowanie procesu zamrażania tkanki za pomocą kriosondy kulistej	329
5.2.	Modelowanie procesu zamrażania tkanki za pomocą kriosondy walcowej	335
5.2.1.	Model matematyczny	335
5.2.2.	Metoda rozwiązania i przykład obliczeń	336
6.	Metody identyfikacji w przepływie biociepła	344
6.1.	Opis matematyczny przepływu ciepła w tkance zaatakowanej nowotworem	346
6.2.	Zadanie odwrotne i metoda rozwiązania	347
6.3.	Wyniki obliczeń	352
7.	Podsumowanie	354
	Literatura	355

Część V

Problemy dynamiki w biomechanice	363
1. Wstęp	364
1.1. Modelowanie i symulacja układów biomechanicznych	364
1.2. Cele, zakres i zawartość części V	366
2. Podstawy modelowania układów biomechanicznych	369
2.1. Wektory i macierze	369
2.2. Kinematyka i dynamika ciała sztywnego	373
2.3. Układy wieloczłonowe, opis położeń, więzy połączeń	379
2.4. Klasyczne metody generowania równań ruchu układów o strukturze otwartej	386
2.5. Metoda rzutowa generowania równań ruchu	394
3. Modelowanie ciała człowieka	404
3.1. Założenia modeli fizycznych	404
3.2. Identyfikacja masowo-geometryczna członów	407
3.3. Mięśnie i działanie sił mięśniowych	410
3.4. Modele sterowania ruchem	417
3.5. Oddziaływanie z podłożem i otoczeniem	420
4. Budowa modeli matematycznych do symulacji ruchu	424
4.1. Stosowane założenia i uproszczenia	424
4.2. Równania ruchu we współrzędnych absolutnych	426
4.3. Równania ruchu we współrzędnych niezależnych	436
4.4. Wyznaczanie reakcji w stawach	441
5. Problemy symulacji ruchu	446
5.1. Zagadnienia symulacji dynamicznej prostej i odwrotnej	446
5.2. Pomiary kinematyczne i obróbka danych dla zadań symulacji dynamicznej odwrotnej	447
5.3. Wyznaczenie wypadkowych momentów sił mięśniowych w stawach	452
5.4. Problem sterowania nadmiarowego za pomocą sił mięśniowych	456
5.5. Weryfikacja poprawności wyników symulacji dynamicznej odwrotnej	463
5.6. Wrażliwość wyników obliczeń na zmianę założeń modelowych i metod symulacji	469
Literatura	474

Część VI

Optymalizacja w biomechanice	485
1. Wstęp	486
2. Optymalizacja produktów biomedycznych	488
3. Identyfikacja i optymalizacja biomateriałów	492
4. Metody optymalizacji w biomechanice sportu i opisie ruchu	495
5. Optymalizacja w biomechanice kości	499
6. Kość jako struktura optymalna	501
7. Modelowanie procesów funkcjonalnej adaptacji i hipoteza optymalnej reakcji kości	504
Literatura	510

Część VII

Równania konstytutywne i adaptacja funkcjonalna kości	517
Wykaz symboli	518
1. Charakterystyka materiałowa tkanek ludzkich	523
2. Modelowanie funkcjonalnej adaptacji	531
2.1. Zjawisko adaptacyjnej przebudowy kości	531
2.2. Równania kinetyki przemian (równania remodelowania)	549
3. Opis własności konstytutywnych tkanek i biomateriałów	561
3.1. Wstęp	561
3.2. Podstawy do metod formułowania równań konstytutywnych	561
3.3. Równania konstytutywne dla wybranych tkanek	573
3.3.1. Ortotropowy model sprężystości liniowej dla kości korowej i kości gąbczastej	573
3.3.2. Izotropowe modele lepkosprężystości liniowej dla kości korowej	574
3.3.3. Izotropowy model lepkosprężystości liniowej dla kości gąbczastej	577
3.3.4. Izotropowy model hipersprężystości dla tkanki chrzęstnej	578
3.3.5. Ortotropowy model hipersprężystości dla tkanki chrzęstnej	579
3.3.6. Izotropowy model liniowej lepkosprężystości dla mięśni szkieletowych	580
3.3.7. Transwersalnie izotropowy model hipersprężystości dla mięśnia sercowego (myocardium)	581
3.3.8. Ortotropowy model hipersprężystości dla mięśnia sercowego (myocardium)	582
3.3.9. Izotropowy model liniowej lepkosprężystości dla ścięgna	583

3.3.10. Transwersalnie izotropowy model hipersprężystości dla ścięgna	584
3.3.11. Izotropowy model liniowej lepkosprężystości dla więzadeł	585
3.3.12. Anizotropowy model hipersprężystości dla więzadeł	586
3.3.13. Izotropowy model lepkosprężystości nieliniowej dla więzadeł	589
3.3.14. Izotropowy model liniowej lepkosprężystości dla osnowy pierścienia włóknistego	590
3.3.15. Izotropowy model lepkosprężystości nieliniowej dla pierścienia włóknistego	591
3.3.16. Izotropowy model liniowej lepkosprężystości dla jądra miazdżystego	592
3.3.17. Izotropowy model hipersprężystości dla jądra miazdżystego	593
4. Przykłady identyfikacji równań konstytutywnych i symulacji procesów deformacji	595
4.1. Identyfikacja równania konstytutywnego lepkosprężystości liniowej dla kości zbitej	595
4.2. Symulacja długotrwałych skłonów kręgosłupa lędźwiowego	597
4.3. Symulacje procesów deformacji segmentu L4-L5 kręgosłupa lędźwiowego	600
4.4. Symulacja procesu deformacji sztucznego dysku międzykręgowego z elastomerowym rdzeniem	601
Literatura	604

Część VIII

Biomechanika w ortopedii i traumatologii narządu ruchu 615

1. Wprowadzenie	616
2. Leczenie złamań kości długich	622
2.1. Elementy biomechaniczne leczenia	622
2.2. Elementy biologiczne leczenia	623
2.3. Podsumowanie	624
3. Leczenie złamań osteoporotycznych	626
3.1. Kryteria osteoporozy	627
3.2. Złamania w obrębie bliższej nasady i przynasady kości udowej	629
3.2.1. Złamania szyjki kości udowej	629
3.2.2. Złamania masywu krętarzowego kości udowej	632
3.2.3. Złamania kręgosłupa osteoporotycznego	632
3.2.4. Złamnie dalszej nasady kości promieniowej	634

3.3. Złamanie bliższej nasady i przynasady kości ramiennej	635
3.4. Podsumowanie	637
Literatura	639

Część IX

Endoprotezoplastyka – terażniejszość i przyszłość 641

1. Choroba zwyrodnieniowa stawów	642
2. Endoprotezy	644
2.1. Endoproteza stawu biodrowego	652
2.2. Endoprotezoplastyka stawu kolanowego	656
2.3. Podsumowanie	662
Literatura	664

Część X

Biomechanika w stomatologii zachowawczej 667

1. Wprowadzenie	668
2. Podstawy budowy anatomicznej zębów	670
3. Własności wytrzymałościowe struktur anatomicznych zębów	672
4. Badania wytrzymałościowe zębów dla typowych przypadków obciążeń zgryzowych	674
5. Badania tensometryczne rozkładów odkształceń i naprężeń w twardych tkankach zębów w zgryzie prawidłowym	678
5.1. Porównanie zgodności danych doświadczalnych i obliczeń numerycznych	684
6. Modelowanie numeryczne i analiza wytrzymałościowa w biomechanice stomatologicznej	687
6.1. Metody otrzymywania zapisu cyfrowego modeli fizycznych	689
6.2. Oszacowanie błędów oraz zbieżności rozwiązań numerycznych MES	691
7. Hipotezy wyteżeniowe w biomechanice stomatologicznej	696
7.1. Numeryczna analiza porównawcza hipotez wyteżeniowych dla twardych tkanek zębów przednich	697
7.2. Numeryczna analiza porównawcza hipotez wyteżeniowych dla twardych tkanek zębów bocznych	703
8. Wpływ rozkładów pól naprężeń na sposób opracowania ubytków w zębach dla typowych przypadków obciążeń zgryzowych	706
9. Analiza wytrzymałościowa odbudowy korony zęba z uwzględnieniem wpływu warstwy adhezyjnej	715

10. Zastosowanie implantów zębinowych w rekonstrukcji koron zębów ze znaczną utratą tkanek twardych i z zachowaną żywą miazgą	719
10.1. Badania wytrzymałościowe retencji wypełnień wzmacnianych ćwiekami zębinowymi	720
10.2. Analiza numeryczna wzmacniania wypełnień koron zębów implantami zębinowymi	725
11. Zastosowania wkładów koronowo-korzeniowych w rekonstrukcji zębów leczonych endodontycznie	728
11.1. Badania wytrzymałościowe rekonstrukcji koron zębów wzmacnianych wkładami koronowo-korzeniowymi	730
11.2. Numeryczna analiza wytrzymałościowa stosowania implantów korzeniowych w odbudowie koron zębów leczonych endodontycznie	735
12. Wytrzymałościowa analiza numeryczna odbudowy koron zębów bocznych metodami pośrednich wypełnień kompozytowych	740
Literatura	747

Część XI

Roboty i manipulatory w medycynie	753
1. Wprowadzenie do robotyki	754
2. Problemy i perspektywy robotów medycznych	761
3. Roboty chirurgiczne	774
4. Modelowanie i badania biomechaniczne w pracach projektowych robota chirurgicznego	781
5. Robin Heart	788
5.1. Wprowadzenie do rodziny robotów chirurgicznych Robin Heart	788
5.2. Wprowadzenie do mechaniki robotów chirurgicznych Robin Heart	791
5.3. Opis robotów Robin Heart	801
5.4. Sterowanie robotem chirurgicznym	805
5.5. Testy robotów Robin Heart	809
6. Podsumowanie	813
Literatura	824

Skorowidz	827
------------------	------------