

Spis treści

Spis treści	7
Przedmowa	11
Streszczenie: Molekularna teoria biopotencju	13
Summary: Molecular theory of biopotential	15
1. Wstęp	17
2. Podstawy fizyczne zjawisk elektrycznych w organizmach żywych	23
2.1. Pojęcie biopotencjału i jego źródła eksperymentalne	26
2.2. Przewodnictwo a polaryzacja	33
2.2.1. Przewodnictwo	33
2.2.2. Polaryzacja	36
2.3. Historia badań błon biologicznych i rozwój teorii przewodnictwa	38
2.4. Oddziaływanie na granicy komórka–elektrolit	42
3. Klasyczna teoria biopotencjału	51
3.1. Hierarchia modeli biopotencjału	53
3.2. Modele tkanki aktywnej jako źródła biopotencjału	55
3.2.1. Równanie telegrafistów i modele zastępcze tkanki	55
3.2.2. Modele o parametrach skupionych jako zastępcze mo- dele tkanki	57
3.2.3. Model dwudomenowy i jednodomenowy	60
3.3. Źródło zanurzone w objętościowym ośrodku przewodzącym	62
3.3.1. Teoria przewodnika objętościowego	63
3.3.2. Pasywna propagacja biopotencjału, zagadnienie La- place’a	66
3.4. Teorie elektrokardiogramu	68
3.4.1. Dipolowa teoria EKG	69
3.4.2. Czynność elektryczna mięśnia sercowego	71
3.4.3. Wektorowa teoria EKG	74
3.5. Teoria fizyczna i model pomiaru a rzeczywistość	80

4. Molekularna teoria biopotencjału	83
4.1. Dyskusja modelu przewodnika objętościowego	84
4.1.1. Co jest natychmiastowe w przewodnictwie?	88
4.1.2. Przewodnik objętościowy a impedancja	91
4.2. Dyskusja teorii prądów wywołanych	92
5. Źródło biopotencjału i jego oddziaływanie z otoczeniem	95
5.1. Przewodnik w zewnętrznym polu elektrycznym	96
5.1.1. Izolowany przewodnik w obecności nadmiarowego ładunku	96
5.1.2. Wpływ krzywizny powierzchni przewodnika na rozkład ładunku	99
5.1.3. Wpływ otoczenia przewodnika na rozkład ładunku	101
5.2. Dielektryk w zewnętrznym polu elektrycznym	102
5.2.1. Polaryzacja dielektryka. Opis energetyczny	102
5.2.2. Modele dielektryków warstwowych	106
5.3. Molekularna natura biopotencjału i ośrodek aktywny jako jego źródło	111
5.3.1. Serce jako przewodnik otoczony rzeczywistym dielektrykiem	112
5.3.2. Dynamika epikardium: procesy ładowania i ekwilibracji	114
5.3.3. Anatomiczne uwarunkowania procesu ładowania epikardium	115
5.3.4. Fizjologiczne uwarunkowania procesu ładowania epikardium	119
5.4. Analiza ilościowa tkanki roboczej serca jako źródła ładunku	125
6. Propagacja biopotencjału	129
6.1. Polaryzacja elektrolitu pod wpływem ładunku	129
6.2. Polaryzacja dielektryka, klasyczna teoria dyspersji	134
6.2.1. Polaryzacja dielektryka, poziom fizykochemiczny	135
6.2.2. Polaryzacja dielektryka, poziom biologiczny	138
6.2.3. Matematyczny model dyspersji	141
6.3. Polaryzacja jonów elektrolitu pod wpływem ładunku zewnętrznego	145
6.4. Polaryzacja dielektryka rzeczywistego	147
6.4.1. Założenia teorii polaryzacji tkanki	148
6.4.2. Czynniki geometryczne w propagacji biopotencjału	153
6.5. Czasowo-przestrzenna symetria polaryzacji	154

6.6.	Prędkość propagacji biopotencjału	157
6.6.1.	Propagacja biopotencjału jako proces relaksacji	157
6.6.2.	Jak szybki jest sygnał EKG?	158
6.6.3.	EKG jako prekursor Brillouina–Sommerfelda	162
6.6.4.	Wpływ struktury i temperatury ośrodka na widmo impedancji	163
7.	Pomiar biopotencjału	167
7.1.	Co mierzy woltomierz?	167
7.2.	Technika pomiaru biopotencjału	170
7.3.	Konsekwencje teorii molekularnej dla techniki pomiaru bio- potencjału	174
7.3.1.	Model pomiaru w teorii klasycznej i molekularnej	174
7.3.2.	Technika wzmacniaczy operacyjnych a pomiar biopo- tencjałów	177
7.4.	Teorie pomiaru biopotencjału	178
7.5.	Rola ekwilibracji w pomiarach biopotencjału	179
7.6.	Magnetokardiografia – unipolarny pomiar prądu	181
8.	Zastosowania teorii molekularnej	187
8.1.	Molekularna teoria EKG	187
8.1.1.	Synteza potencjałów unipolarnych	191
8.1.2.	Dyskusja z modelem dipolowym	198
8.1.3.	Synteza potencjałów unipolarnych	200
8.1.4.	Przykłady syntezy potencjałów unipolarnych. Model klatki piersiowej.	205
8.2.	Siła jonowa roztworu a bioimpedancja i EKG	208
8.3.	Zmiany EKG pod wpływem wysiłku i zmian otoczenia skóry	212
8.4.	Teoria szumu pozycyjnego elektrody	214
8.5.	Pomiar potencjałów epikardialnych	216
8.6.	Teoria zawału ściany tylnej	217
8.7.	Teoria prądu uszkodzenia	220
8.8.	Teoria sprzężenia ephaptycznego	223
8.9.	Teoria dyspersji α	225
9.	Podsumowanie	227
9.1.	Konsekwencje teorii molekularnej	227
9.2.	Braki teorii molekularnej	228

9.3. Program weryfikacji lub falsyfikacji doświadczalnej	231
9.3.1. Fizyka źródła biopotencjału i jego sprzężenia z tkanką	231
9.3.2. Fizyka propagacji biopotencjału	232
9.3.3. Fizyka pomiaru biopotencjału	234
Bibliografia	237
Skorowidz nazwisk	261
Skorowidz rzeczowy	264