

Herzdynamik und erregbare Systeme

Florian Posdziech

Vortrag im Studentenseminar "Physik in der Biologie"
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

25. Juli 2006

Übersicht

- 1 Das Herz**
 - Anatomie
 - Erregungsleitungssystem
- 2 Erregbare Systeme**
 - Aktionspotenzial
 - Hodgkin-Huxley Modell
 - Fitzhugh-Nagumo Modell
- 3 Herzzellen**
 - Herzzellmodelle
 - EKG

Blutstrom

Das Herz

Anatomie

Erregungsleitungssystem

Erregbare Systeme

Aktionspotenzial

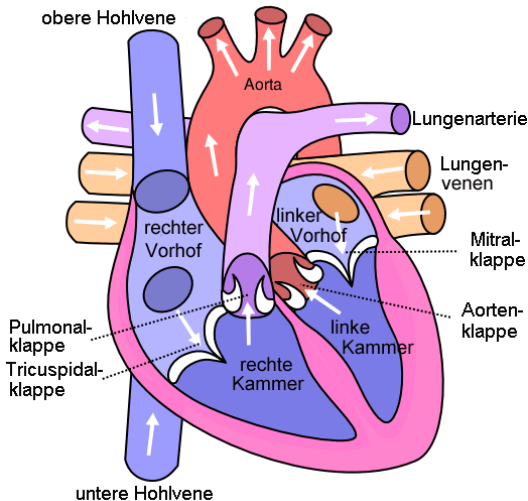
Hodgkin-Huxley
Modell

Fitzhugh-Nagumo
Modell

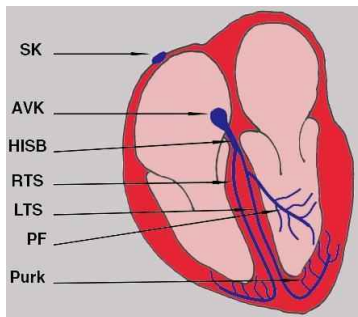
Herzzellen

Herzzellmodelle

EKG



Erregungsleitungssystem



Teile des Erregungsleitungssystems

- Sinusknoten, 60-80/min
- AV-Knoten, 40-50/min
- His-Bündel, 20-30/min
- Tawara-Schenkel
- Purkinje-Fasern
- Herzmuskelfasern der Arbeitsmuskulatur

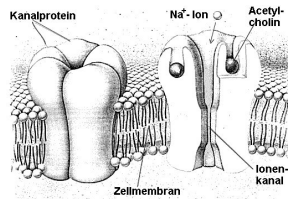
Herzzellen

Zwei Funktionen

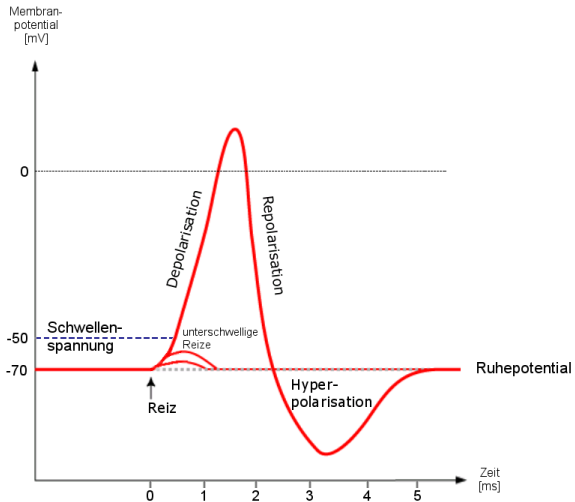
- 1 elektrisch erregbar
 - Aktionspotenziale können propagieren
- 2 zur Kontraktion fähig
 - Aktionspotenziale regen Kontraktion an

Erregbare Zellen

- Potenzialdifferenz innen/außen
- negatives Ruhepotenzial
- Reiz
 - klein → Relaxation
 - groß genug
→ Depolarisation, Overshoot
„Aktionspotenzial“
- Ionenströme durch Ionenkanäle
- Beispiele
 - Streichholz
 - Graswiese (Recovery)



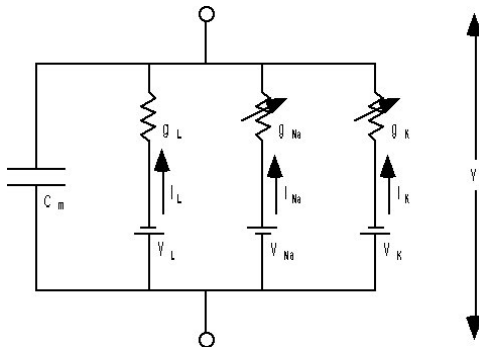
Aktionspotenzial



Hodgkin-Huxley-Modell

- Alan Lloyd Hodgkin und Andrew Fielding Huxley, 1952
- Simulation von Neuronen
- Aktionspotenzial im Tintenfischriesenaxon
- wichtigstes Modell der Physiologie

Ionenströme



$$C_m \cdot \frac{dV}{dt} = -I_K - I_{Na} - I_{leak} + I_{ext}$$

$$I_K = g_K \cdot (V - V_K)$$

$$I_{Na} = g_{Na} \cdot (V - V_{Na})$$

$$I_{leak} = g_{leak} \cdot (V - V_{leak})$$

Hodgkin-Huxley-Modell

$$C_m \frac{dV}{dt} = -\bar{g}_K n^4 (V - V_K) - \bar{g}_{Na} m^3 h (V - V_{Na}) - g_{leak} (V - V_{leak}) + I_{ext}$$

$$\frac{dn}{dt} = \alpha_n(V) \cdot (1 - n) - \beta_n(V) \cdot n$$

$$\frac{dm}{dt} = \alpha_m(V) \cdot (1 - m) - \beta_m(V) \cdot m$$

$$\frac{dh}{dt} = \alpha_h(V) \cdot (1 - h) - \beta_h(V) \cdot h$$

Fitzhugh-Nagumo Modell

Das Herz

Anatomie

Erregungsleitungssystem

Erregbare
Systeme

Aktionspotenzial

Hodgkin-Huxley
ModellFitzhugh-Nagumo
Modell

Herzzellen

Herzzellmodelle

EKG

$$\begin{aligned}\dot{v} &= v(a - v)(v - 1) - w + I_{ext} \\ \dot{w} &= \varepsilon(v - \gamma w)\end{aligned}$$

- $v = 0$: Ruhepotenzial
 - $v = a$: Schwellwert
 - $v = 1$: alle Natriumkanäle offen
 - w : Blockingmechanismus
-
- Vereinfachtes Hodgkin-Huxley-Modell
 - bringt Mechanismus auf den Punkt
 - wie HH räumlich formulierbar → Signalweiterleitung

Fitzhugh-Nagumo Modell

Das Herz

Anatomie

Erregungsleitungssystem

Erregbare
Systeme

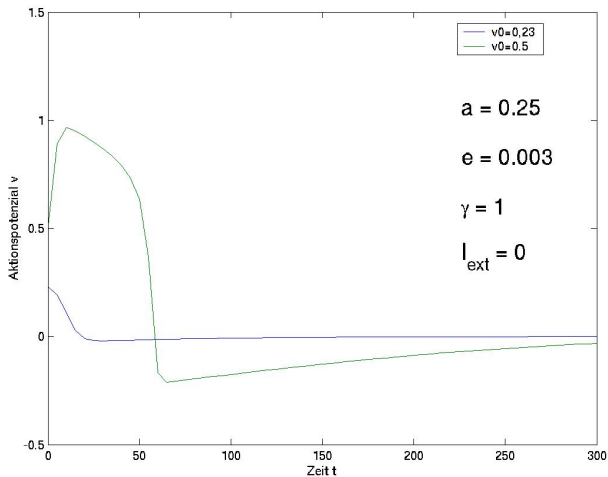
Aktionspotenzial

Hodgkin-Huxley
Modell**Fitzhugh-Nagumo
Modell**

Herzzellen

Herzellmodelle

EKG



$$I_{ext} = 0$$

Fitzhugh-Nagumo Modell

Das Herz

Anatomie

Erregungsleitungssystem

Erregbare
Systeme

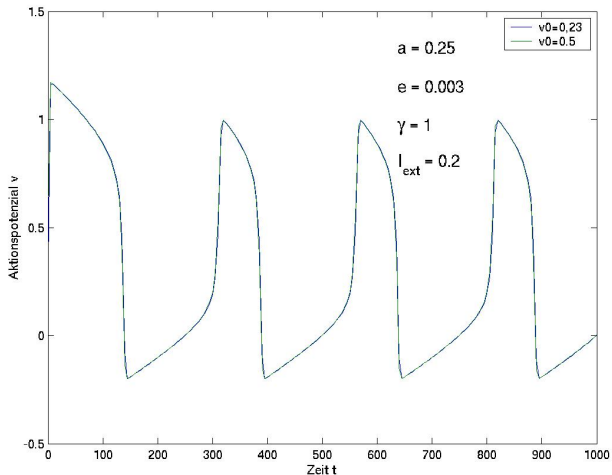
Aktionspotenzial

Hodgkin-Huxley
ModellFitzhugh-Nagumo
Modell

Herzzellen

Herzellmodelle

EKG



$$I_{ext} = 0,2$$

Herzzellen

Verschiedene Herzzelltypen

→ verschiedene Aktionspotenziale

- Knotenzellen (SA, AV)
 - Taktgeber
 - AV: Signalweiterleitung Vorhof → Herzkammern
 - kurzes, scharfes AP
- Purkinje-Fasern
 - schnelle Weiterleitung
 - Aktivierung der Herzmuskelzellen
 - längeres AP-Plateau
- Herzmuskelzellen
 - erregbar
 - kontraktile
 - langes AP-Plateau

Grundlage aller Modelle für Herzzellen: **Hodgkin-Huxley-Modell**

Noble-Modell für Purkinje-Fasern

$$C_m \frac{dV}{dt} = -g_{Na} (V - V_{Na}) - (g_{K_1} + g_{K_2}) (V - V_K) + I_{ext}$$

$$g_{K_2} = 1,2n^4$$

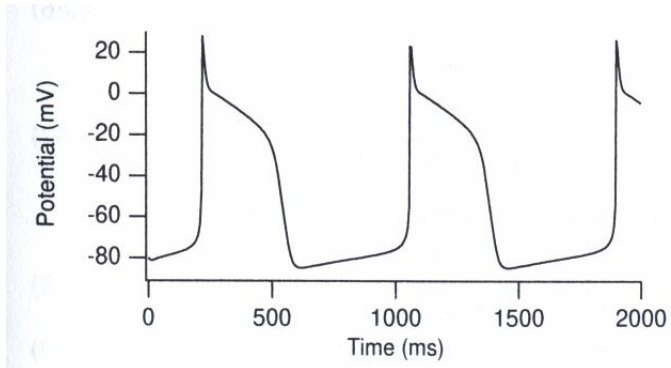
$$g_{K_1} = 1,2 \exp - \frac{V + 90}{50} + 0,015 \exp \frac{V + 90}{60}$$

$$g_{Na} = 400m^3h + 0,14$$

Die Zeitabhängigkeiten für m , n und h haben alle HH-Form:

$$\frac{dw}{dt} = \alpha_w (1 - w) - \beta_w w$$

Aktionspotenzial für Purkinje-Fasern



YNI-Modell (Yanagihara et al.)

Das Herz

Anatomie

Erregungsleitungssystem

Erregbare
Systeme

Aktionspotenzial

Hodgkin-Huxley
Modell

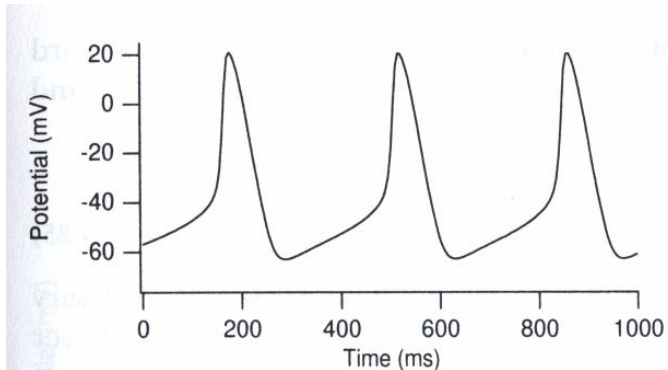
Fitzhugh-Nagumo
Modell

Herzzellen

Herzmodell

EKG

Aktionspotenzial für Sinusknoten



Beeler-Reuter-Gleichungen

Das Herz

Anatomie

Erregungsleitungssystem

Erregbare
Systeme

Aktionspotenzial

Hodgkin-Huxley
Modell

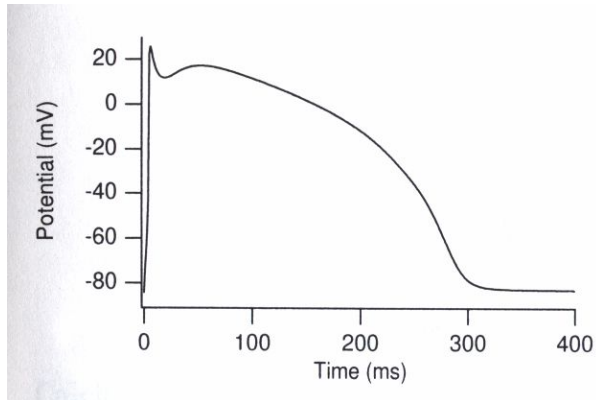
Fitzhugh-Nagumo
Modell

Herzzellen

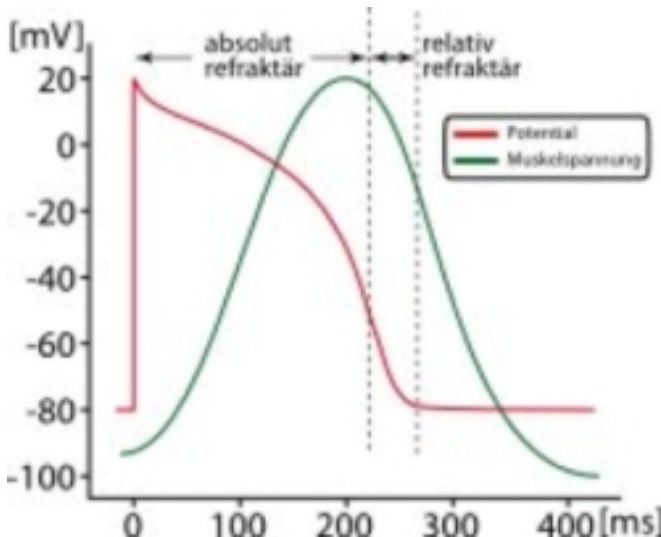
Herzellmodelle

EKG

Aktionspotenzial für Herzmuskelzellen



Muskelreiz



Elektrokardiogramm

Das Herz

Anatomie

Erregungsleitungssystem

Erregbare Systeme

Aktionspotenzial

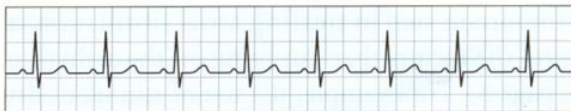
Hodgkin-Huxley
Modell

Fitzhugh-Nagumo
Modell

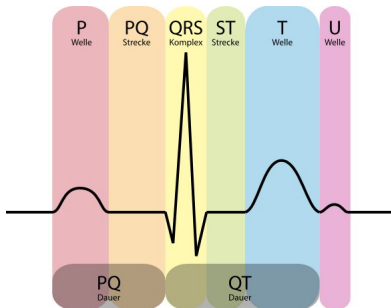
Herzzellen

Herzzellmodelle

EKG



ECG tracing of a normal heart rhythm.



Signalausbreitung

Das Herz

Anatomie

Erregungsleitungssystem

Erregbare Systeme

Aktionspotenzial

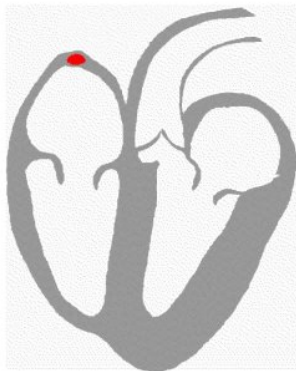
Hodgkin-Huxley
Modell

Fitzhugh-Nagumo
Modell

Herzzellen

Herzzellmodelle

EKG



Signalausbreitung

Das Herz

Anatomie

Erregungsleitungssystem

Erregbare Systeme

Aktionspotenzial

Hodgkin-Huxley

Modell

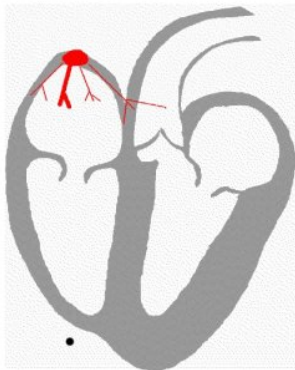
Fitzhugh-Nagumo

Modell

Herzzellen

Herzzellmodelle

EKG



Signalausbreitung

Das Herz

Anatomie

Erregungsleitungssystem

Erregbare Systeme

Aktionspotenzial

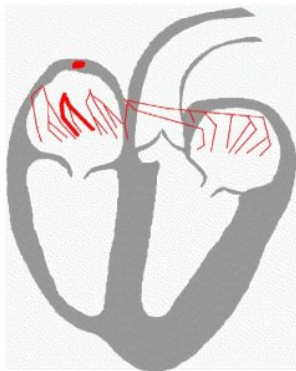
Hodgkin-Huxley
Modell

Fitzhugh-Nagumo
Modell

Herzzellen

Herzzellmodelle

EKG



Signalausbreitung

Das Herz

Anatomie

Erregungsleitungssystem

Erregbare Systeme

Aktionspotenzial

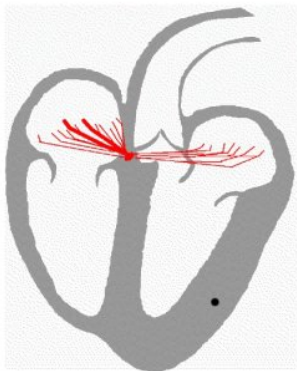
Hodgkin-Huxley
Modell

Fitzhugh-Nagumo
Modell

Herzzellen

Herzzellmodelle

EKG



Signalausbreitung

Das Herz

Anatomie

Erregungsleitungssystem

Erregbare Systeme

Aktionspotenzial

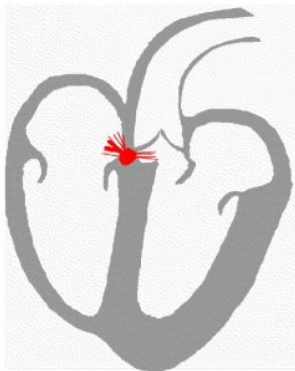
Hodgkin-Huxley
Modell

Fitzhugh-Nagumo
Modell

Herzzellen

Herzzellmodelle

EKG



Signalausbreitung

Das Herz

Anatomie

Erregungsleitungssystem

Erregbare Systeme

Aktionspotenzial

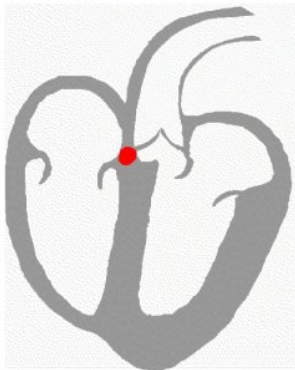
Hodgkin-Huxley
Modell

Fitzhugh-Nagumo
Modell

Herzzellen

Herzzellmodelle

EKG



Signalausbreitung

Das Herz

Anatomie

Erregungsleitungssystem

Erregbare Systeme

Aktionspotenzial

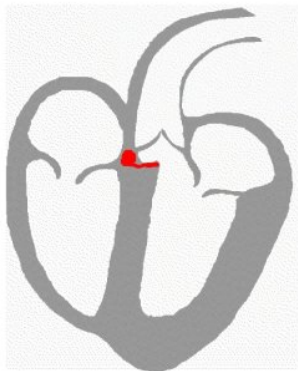
Hodgkin-Huxley
Modell

Fitzhugh-Nagumo
Modell

Herzzellen

Herzellmodelle

EKG



Signalausbreitung

Das Herz

Anatomie

Erregungsleitungssystem

Erregbare Systeme

Aktionspotenzial

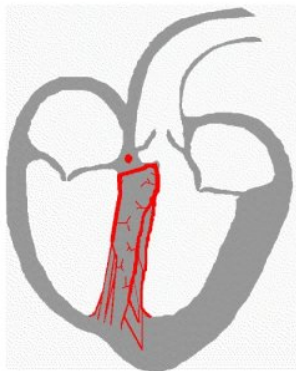
Hodgkin-Huxley
Modell

Fitzhugh-Nagumo
Modell

Herzzellen

Herzzellmodelle

EKG



Signalausbreitung

Das Herz

Anatomie

Erregungsleitungssystem

Erregbare Systeme

Aktionspotenzial

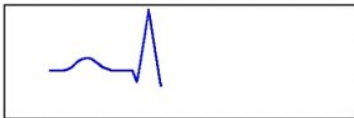
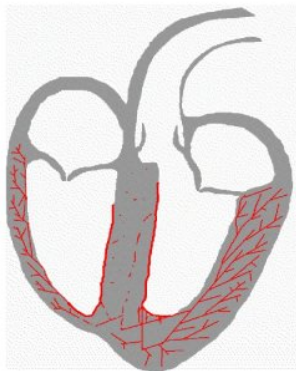
Hodgkin-Huxley
Modell

Fitzhugh-Nagumo
Modell

Herzzellen

Herzzellmodelle

EKG



Signalausbreitung

Das Herz

Anatomie

Erregungsleitungssystem

Erregbare Systeme

Aktionspotenzial

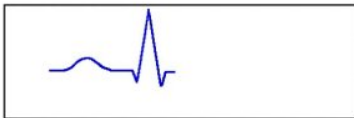
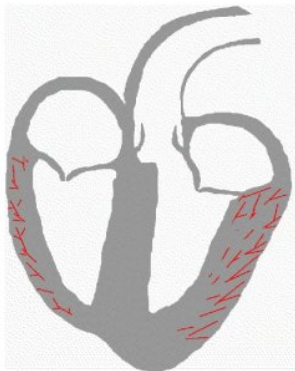
Hodgkin-Huxley
Modell

Fitzhugh-Nagumo
Modell

Herzzellen

Herzzellmodelle

EKG



Signalausbreitung

Das Herz

Anatomie

Erregungsleitungssystem

Erregbare Systeme

Aktionspotenzial

Hodgkin-Huxley
Modell

Fitzhugh-Nagumo
Modell

Herzzellen

Herzzellmodelle

EKG



Signalausbreitung

Das Herz

Anatomie

Erregungsleitungssystem

Erregbare Systeme

Aktionspotenzial

Hodgkin-Huxley
Modell

Fitzhugh-Nagumo
Modell

Herzzellen

Herzzellmodelle

EKG



Signalausbreitung

Das Herz

Anatomie

Erregungsleitungssystem

Erregbare Systeme

Aktionspotenzial

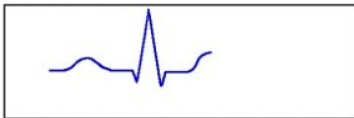
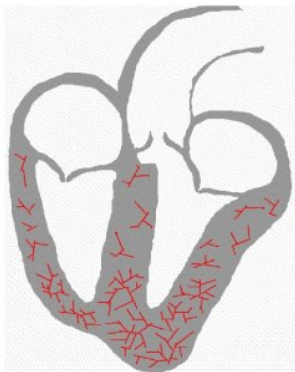
Hodgkin-Huxley
Modell

Fitzhugh-Nagumo
Modell

Herzzellen

Herzzellmodelle

EKG



Signalausbreitung

Das Herz

Anatomie

Erregungsleitungssystem

Erregbare Systeme

Aktionspotenzial

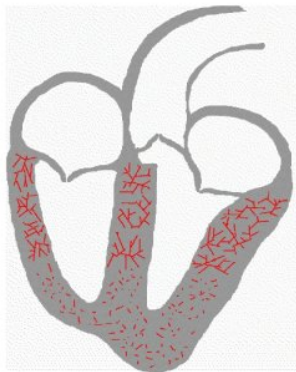
Hodgkin-Huxley
Modell

Fitzhugh-Nagumo
Modell

Herzzellen

Herzzellmodelle

EKG



Signalausbreitung

Das Herz

Anatomie

Erregungsleitungssystem

Erregbare Systeme

Aktionspotenzial

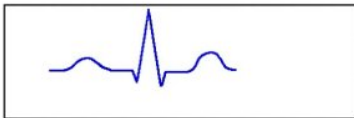
Hodgkin-Huxley
Modell

Fitzhugh-Nagumo
Modell

Herzzellen

Herzzellmodelle

EKG



Signalausbreitung

Das Herz

Anatomie

Erregungsleitungssystem

Erregbare Systeme

Aktionspotenzial

Hodgkin-Huxley
Modell

Fitzhugh-Nagumo
Modell

Herzzellen

Herzzellmodelle

EKG



Signalausbreitung

Das Herz

Anatomie

Erregungsleitungssystem

Erregbare Systeme

Aktionspotenzial

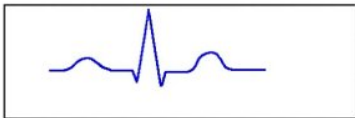
Hodgkin-Huxley
Modell

Fitzhugh-Nagumo
Modell

Herzzellen

Herzzellmodelle

EKG



Das Herz

Anatomie

Erregungsleitungssystem

Erregbare
Systeme

Aktionspotenzial

Hodgkin-Huxley
Modell

Fitzhugh-Nagumo
Modell

Herzzellen

Herzzellmodelle

EKG

Ende