

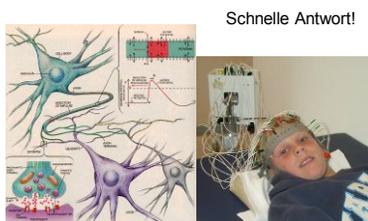
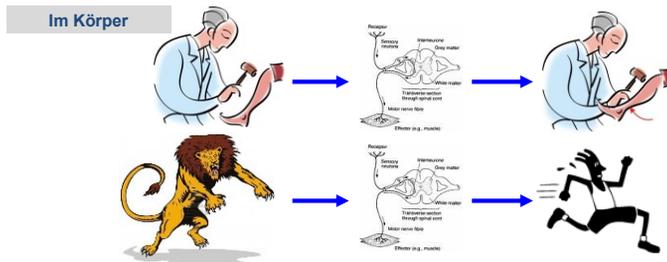
Medizinische Biophysik 2016. 05. 03.

I. Membranpotenzial

1. **Ruhepotenzial**
 - Gleichgewichtspotenzial (Nullstrompotenzial)
 - Transportmodell, Goldman-Hodgkin-Katz-Gleichung
2. **Lokale (elektrotonische) Änderungen des Membranpotenzials**
3. **Aktionspotenzial**
4. **Ausbreitung des Aktionspotenzials**
5. **Anwendungen**
 - Diagnostik: Messung der Biopotenziale (EKG, EEG, ...)
 - Elektrereizung, Reizdauer-Stromstärke-Diagramm (Reizcharakteristik)

II. Anwendungen des elektrischen Stromes in der Therapie

- Galvanisation
- Iontophorese
- Defibrillator
- Herzschrittmacher
- Reizstromtherapie
- HF-Wärmetherapie, Sinusoszillator
- HF-Chirurgie



Schnelle Antwort! →

- Diffusion?
- Wärmeleitung?
- Strömung?
- Elektrischer Strom?**

3

Ergänzung zu den Transportprozessen

+ Informationstransport

Körper ↔ Umwelt

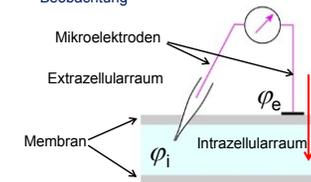


2

I. Membranpotenzial

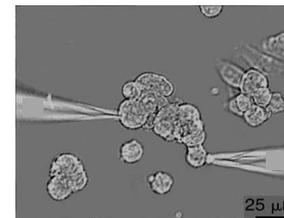
1. Ruhepotenzial

- Beobachtung



$$\Delta\varphi = \varphi_i - \varphi_e < 0$$

Zelle	$\Delta\varphi_m$ (mV)
Tintenfisch-Riesenaxon	-62
Froschmuskel	-92
Rattenmuskel	-92



Bezeichnungen: $\Delta\varphi$, $\Delta\varphi_m$, φ , U , U_m , E , ...

4

Erklärung

Eine andere Beobachtung ist die inhomogene Ionenverteilung:

Zelle	Intrazelluläre Konzentration (mmol/l)			Extrazelluläre Konzentration (mmol/l)		
	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻
Tintenfisch-Riesenaxon	72	345	61	455	10	540
Froschmuskel	20	139	3,8	120	2,5	120
Rattenmuskel	12	180	3,8	150	4,5	110

„Gleichgewichtsmodell“: Wenn Gleichgewicht herrscht, dann müsste das Ruhepotential der Nernst-Gleichung entsprechen (Z. B. für K⁺-Ionen und Tintenfisch-Riesenaxon):

chemische Triebkraft ↑
elektrische Triebkraft ↓

Gleichgewichtspotenzial (Nullstrompotenzial) für K⁺:

$$\Delta\varphi_{eq} = -\frac{RT}{F} \ln \frac{c_i}{c_e} = -\frac{8,31 \cdot 293}{96500} \ln \frac{345}{10} = -0,089 \text{ V} = -89 \text{ mV}$$

Das gemessene Membranpotenzial: $\Delta\varphi_m = -62 \text{ mV}$

⇒ Das Modell stimmt nicht, es gibt kein Gleichgewicht! Ständiger K⁺-Ausstrom!

Zelle	Aus der Nernst-Gleichung: $\Delta\varphi_{eq}$ (mV)			$\Delta\varphi_m$ (mV)
	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	
Tintenfisch-Riesenaxon	+46	-89	-55	-62
Froschmuskel	+45	-101	-87	-92
Rattenmuskel	+64	-93	-85	-92

Es gibt kein Gleichgewicht!
Ständiger K⁺-Ausstrom, Na⁺-Einstrom, und ein wenig Cl⁻-Ausstrom!

- Die Stärke der Stromes hängt
- von der Abweichung zwischen $\Delta\varphi_{eq}$ und $\Delta\varphi_m$
 - von der Permeabilität der Membran für das Ion

Transportmodell Ständige Diffusion von Ionen mit unterschiedlichen Permeabilitäten

⇒ Diffusionspotenzial
⇒ Rücktransport (aktiv)

Goldman-Hodgkin-Katz-Gleichung:

$$\Delta\varphi = -\frac{RT}{F} \ln \frac{p_{Na}c_{Na}^i + p_Kc_K^i + p_{Cl}c_{Cl}^e}{p_{Na}c_{Na}^e + p_Kc_K^e + p_{Cl}c_{Cl}^i}$$

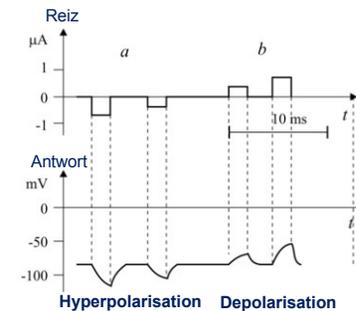
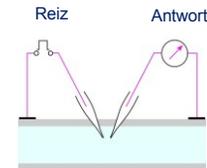
Vereinfachte GHK-Gleichung:

$$\Delta\varphi = -\frac{RT}{F} \ln \frac{pc_{Na}^i + c_K^i}{pc_{Na}^e + c_K^e}$$

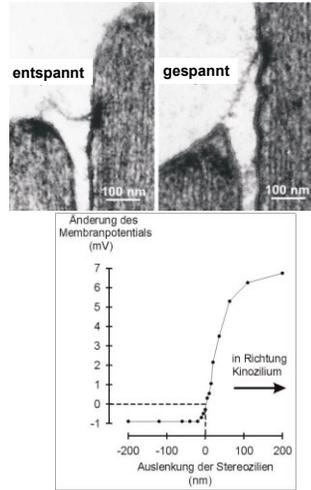
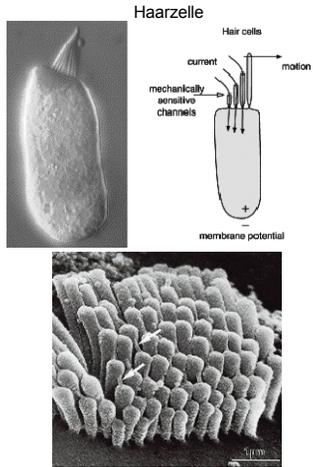
p ist die relative Permeabilität von Na in Bezug auf K.
 $p = \frac{p_{Na}}{p_K}$

	p	φ (gerechnet) (mV)	φ (gemessen) (mV)
Tintenfisch-Riesenaxon	0,04	-63	≈ -62
Froschmuskel	0,01	-91	≈ -92

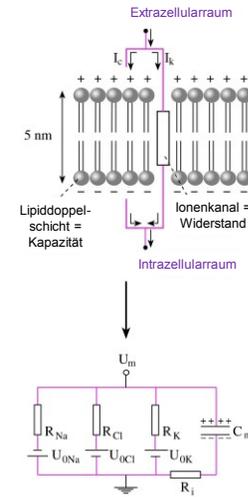
2. Lokale (elektrotonische) Änderungen des Membranpotenzials



Beispiele:

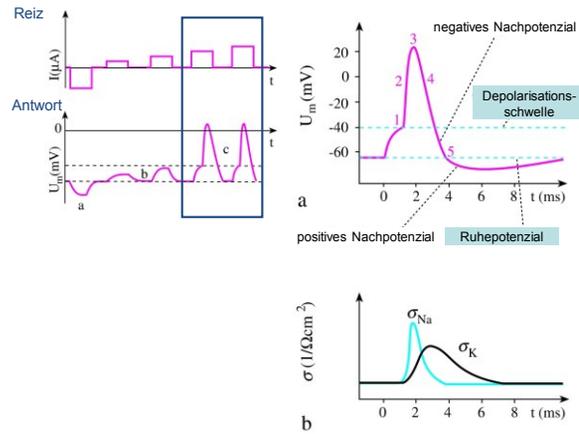


Elektrisches Modell der elektronischen Änderung des Membranpotentials:



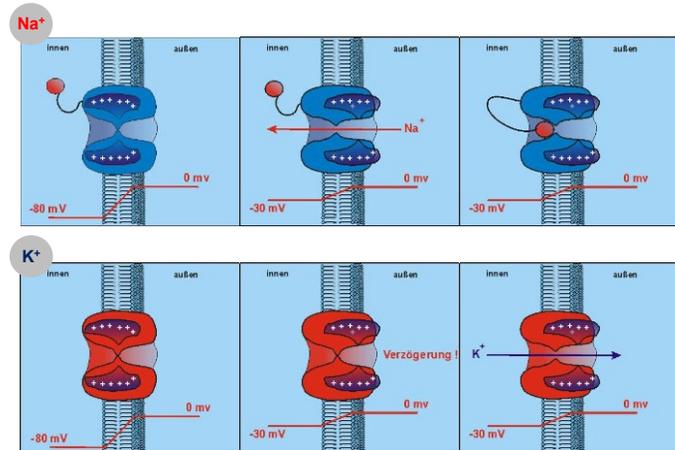
10

3. Aktionspotential



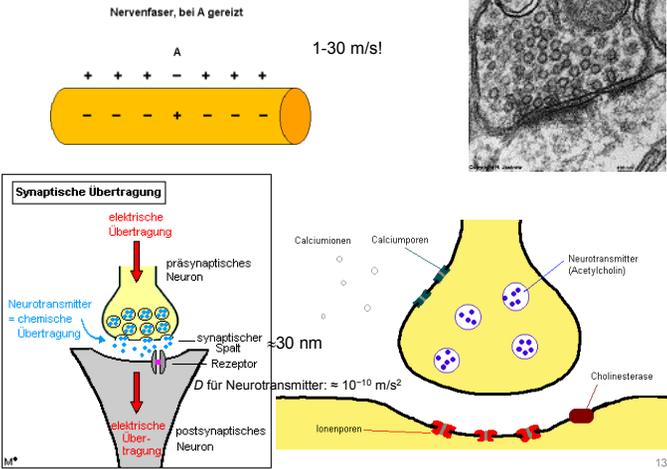
11

Spannungsgesteuerte Ionenkanäle



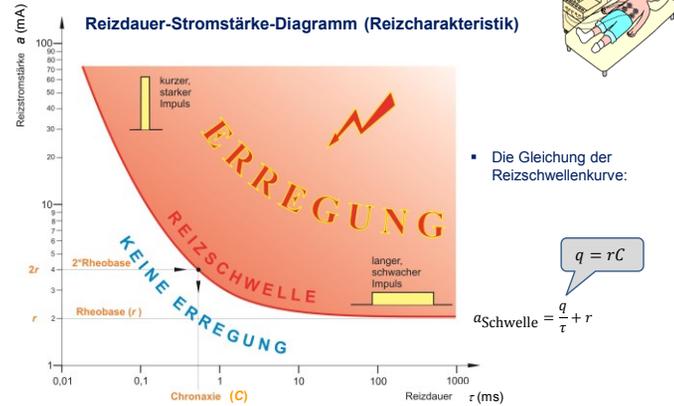
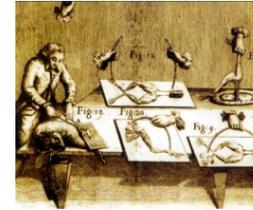
12

4. Ausbreitung des Aktionspotenzials



5. Anwendungen

- Diagnostik: Messung der Biopotenzialen (EKG, EEG, ...)
- Elektroreizung



- **Rheobase (r):** die kleinste Reizstromstärke, die noch Erregung auslösen kann
- **Chronaxie (C):** die zur doppelten Rheobase gehörende Reizdauer

Klinisches Beispiel



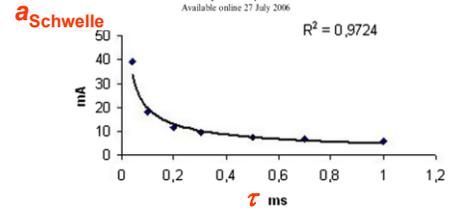
Effects of sex and age on strength-duration properties

Deniz Yerdelen ^{a,*}, Hilmi Uysal ^b, Filiz Koc ^a, Yakup Sarica ^a

^a Department of Neurology, Cukurova University Medical School, Adana, Turkey

^b Ankara Physical Medicine and Rehabilitation Education and Research Hospital of Ministry of Health, Turkey

Accepted 21 May 2006
Available online 27 July 2006



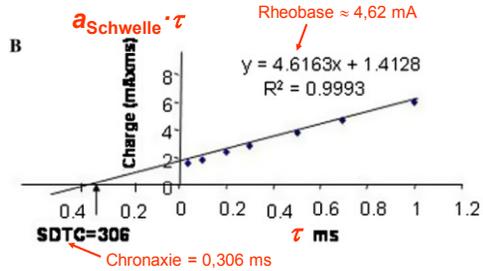


Table 1

Mean values of parameters in men and women

	Men	Women	P
SDTC	396.2 ± 90.3	438.6 ± 114.5	.023
Rheobase	3.5 ± 1.6	2.9 ± 1.4	.023
BMI	25.5 ± 2.9	25.4 ± 4.6	.959
CMAP	18.7 ± 6.8	21.4 ± 8.4	.136
SS at 0.1 ms	16.7 ± 6.2	14.9 ± 6.3	.112
SS at 1 ms	4.9 ± 1.9	4.1 ± 1.8	.028

II. Anwendungen des elektrischen Stromes in der Therapie

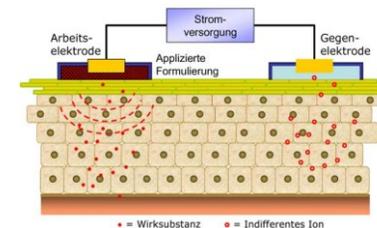
Galvanisation



Gleichstrom, ≈ mA, ≈ 10 min

- Schmerzlinderung
- Durchblutungsförderung

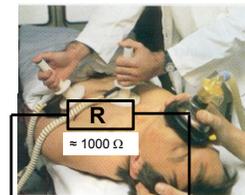
Iontophorese



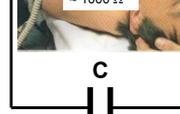
Gleichstrom, ≈ mA, ≈ 10 min

Schnelle Anreicherung des Wirkstoffes gezielt am Krankheitort unter Umgehung des Magen-Darm-Traktes

Defibrillator



R
≈ 1000 Ω



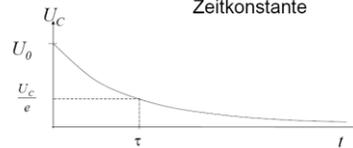
≈ 20 μF, ≈ 5000 V, ≈ 1000 Ω

Zur Erinnerung:

$$U_c = U_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$\tau = RC$$

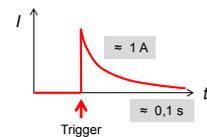
Zeitkonstante



$$I = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

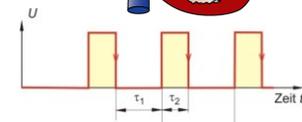
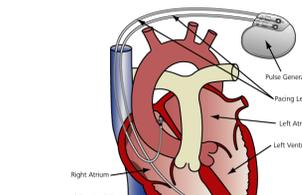
$$I_0 =$$

$$\tau =$$



W =

Herzschrittmacher



$$\text{Periodendauer: } T = \tau_1 + \tau_2$$

$$\text{Tastverhältnis: } \frac{\tau_2}{\tau_1 + \tau_2} \cdot 100\%$$

Rechteckimpulse, ≈ ms, ≈ s, ≈ 1 V, ≈ 200 Ω I =



Astabiler Multivibrator (siehe Praktikumsstoff!)

▪ Reizstromtherapie



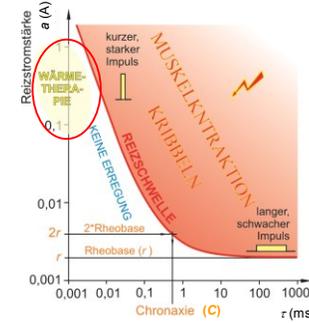
Rechteckimpulse (Einzelimpulse, Serienimpulse)

Astabiler oder monostabiler Multivibrator (siehe Praktikumsstoff!)

▪ HF-Wärmetherapie Wärmewirkung ohne Reizwirkung!

zur genügenden Wärme: $\approx 0,1 A$

$$\alpha_{Schwelle} = \frac{rC}{\tau} + r \Rightarrow \tau = \frac{rC}{\alpha_{Schwelle} - r} = \frac{0,004 \cdot 0,0003}{0,1 - 0,004} = 1,2 \cdot 10^{-5} s = 0,012 ms$$



$1,2 \cdot 10^{-5} s \rightarrow f \geq 10^5 Hz$
 ↓
 Hochfrequenter (HF) Wechselstrom

Siehe Praktikum „Sinusoszillator“!

Erzeugung von hochfrequenten elektromagnetischen Schwingungen:

Wiederholung

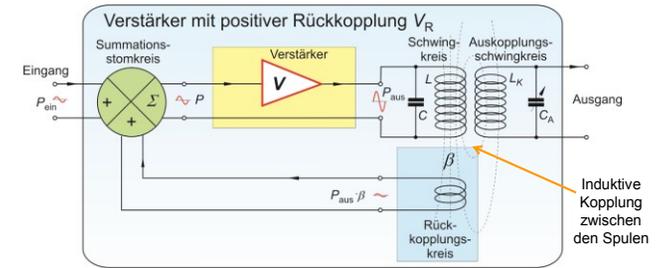
Schwingkreis:
Erzeugung der elektromagnetischen Schwingungen

Eigenfrequenz:
 $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

Gedämpfte Schwingung

Mechanische Analogie: Pendel

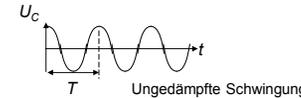
Sinusoszillator



$$V_R = \frac{V_U}{1 - \beta \cdot V_U}$$

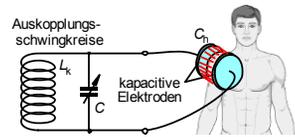
Siehe Praktikum „Sinusoszillator“!

Sinusoszillator, wenn $V_U \beta = 1$, auch ohne Eingangssignal

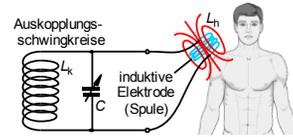


- Kurzwellentherapie (27 MHz)

Kondensatorfeldmethode



Spulenfeldmethode

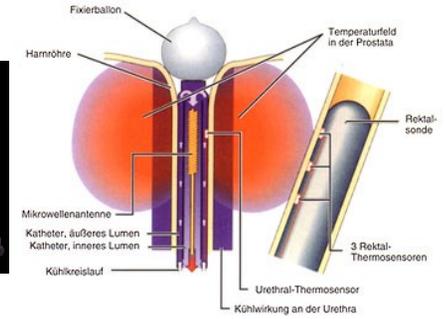


25

- Dezimeterwellentherapie (433 MHz)

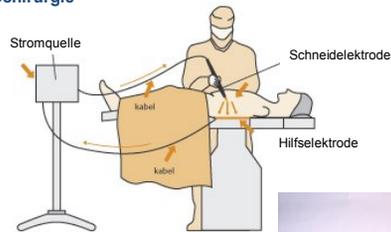
- Mikrowellentherapie (2400 MHz)

Strahlenfeldmethode



26

- HF-Elektrochirurgie



27