

Kurs 6: Nerv-Muskel-Herz

Arbeitsgruppe D6:

Clara Dees

Susanne Duncker

Anja Hartmann

Kristin Hofmann

Protokoll:

Einleitung:

Bei uns Menschen wird wie bei vielen anderen höher organisierten Organismen die Flüssigkeitsbewegung durch die Tätigkeit einer rhythmisch pulsierenden Hohlmuskelpumpe, unseres Herzens, erzeugt. Zum näheren Aufbau siehe Skript S.76ff. Das Herz spielt eine tragende Rolle in unserem Körper. Um seine Funktion und Tätigkeit besser kennen zu lernen, haben wir uns im heutigen Kurs damit eingehend beschäftigt. Des weiteren untersuchten wir die Erregbarkeit von Nervenzellen mit Hilfe einer selektiv permeablen Membran und den Achillessehnenreflex beim Menschen.

Bei unserem ersten Versuch arbeiteten wir mit einem 1,1-wertigen Elektrolyten als vereinfachtes Modell für die komplex funktionierenden Membranen in unserem Körper.

Beim zweiten Experiment untersuchten wir die Reflexantwort in Abhängigkeit von der Stärke, der Geschwindigkeit und den Reizparametern.

Bei unserem letzten Versuch konnten wir aufgrund der EKG- und Blutdruckwerte Rückschlüsse auf die Funktion des Herzmuskels der einzelnen Probanden ziehen.

Material und Methoden:

1.Experiment:

Bei diesem Versuch wurden mit Hilfe von Elektroden die Membranpotentiale bei unterschiedlichen Konzentrationsgefällen gemessen.

In unserem Körper haben wir semipermeable Membrane, d.h. Membrane mit unterschiedlicher Durchlässigkeit für spezielle Ionen. Im Außenmedium befinden sich viel Chlorid-Ionen und Natrium-Ionen, wenig Kalium-Ionen. Im Innenmedium dagegen viel Kalium-Ionen und Anionen, wenig Chlorid und Natrium-Ionen.

Die Ionen streben nach Konzentrationsausgleich, d.h. sie möchten durch die Membran hindurch diffundieren. Da die Membran aber semipermeabel ist, ist dies nur wenigen möglich. Kalium-Ionen können die Membran sehr gut passieren, Chlorid-Ionen schon weniger gut, Natrium-Ionen nur sehr schlecht und Anionen überhaupt nicht. Dies ist vor allem durch die Größe der einzelnen Ionen begründet, die in wässriger Lösung im hydratisierten Zustand vorliegen. So sind beispielsweise hydratisierte Kalium-Ionen kleiner als hydratisierte Natrium-Ionen.

Diese ungleiche Verteilung der Ionen und die Semipermeabilität der Membran sind Gründe für die Entstehung eines Ruhepotentials, das bei einem Wert von ca.-60mV liegt.

In unserem Versuch haben wir den ganzen Zusammenhang vereinfacht dargestellt, indem wir nur mit einem 1,1-wertigen Elektrolyt (KCL) gearbeitet haben. Unsere Membran war selektiv permeabel für Kalium-Ionen. Durch Diffusion dieser nach außen, bedingt durch den osmotischen Druck, baute sich ein elektrische Feld auf, welches wir dann als Ruhpotential messen konnten. Der Nettostromfuß der Kalium-Ionen beträgt jedoch Null, da für jede positive Ladung, die nach außen getragen wird auch wieder eine in die Zelle einfließen muss.

In die mit A gekennzeichnete Ussing- Kammer wurden stets 90ml einer 0,1molaren KCl- Lösungen gefüllt. Die eingefüllten Lösungen in Kammer B variierten (siehe dazu Tabelle im Skript, S.70 oben). Dabei ist darauf zu achten, dass die Lösungen gleichzeitig in die Kammern gefüllt werden. Bei der Durchführung wurde zunächst das Asymmetriepotential (in mV) der beiden Elektroden in einem Gefäß mit 0,1 M KCl gemessen. Es kommt durch ungleiches Arbeiten der Elektroden und durch unterschiedliches Alter dieser zustande. Das Asymmetriepotential bewegte sich zwischen 0,2 und 0,7 mV.

Als nächstes wurden die Elektroden in die dafür vorgesehenen Öffnungen an der Oberseite der Ussing- Kammern gesteckt. Nach einer Wartezeit von etwa 5 Minuten konnten wir nun das Membranpotential für dieses Verhältnis am Voltmeter ablesen. Dieser Vorgang wurde für jedes Kombinationspaar 3x wiederholt und schließlich der Mittelwert gebildet (siehe dazu beigelegte Tabelle).

Beim ersten Versuch hatte man ein Verhältnis von 1:10, beim zweiten von 1:20 und beim dritten von 1:100. Dementsprechend nimmt auch das Membranpotential relativ proportional dazu zu.

Auswertung:

Berechnung der theoretischen Membranpotentiale mit Hilfe der Nernstschen Gleichung:

$$E_M = - \frac{R \cdot T}{F} \cdot \log a_1/a_2$$

R= ideale Gaskonstante (8,314 J/Kmol)

T= Temperatur in Kelvin

F= Faraday-Konstante (96500 C/mol)

a= Aktivität ($a = A \cdot c$), wobei die Werte für A aus der Tabelle auf S.71 des Skript zu entnehmen sind.

Daraus ergeben sich nun folgende Werte:

1.Kombination:

$$a_1 = 0,771 \cdot 0,1 = 0,0771$$

$$a_2 = 0,902 \cdot 0,01 = 9,02 \cdot 10^{-3}$$

$$E_M = -8,314 \text{ J/Kmol} \cdot 296,15 \text{ K} / 96500 \text{ C/mol} \cdot \log 0,0771 / 9,02 \cdot 10^{-3}$$

$$E_M = \underline{-53,94 \text{ mV}}$$

(gemessen: -54,56mV)

2.Kombination:

$$a_1 = 0,0771$$

$$a_2 = 0,005 \cdot 0,927 = 4,635 \cdot 10^{-3}$$

$$E_M = -8,314 \text{ J/Kmol} \cdot 296,15 \text{ K} / 96500 \text{ C/mol} \log 0,0771 / 4,635 \cdot 10^{-3}$$

$$E_M = \underline{-70,82 \text{ mV}}$$

(gemessen: 70,66mV)

3.Kombination:

$$a_1 = 0,0771$$

$$a_2 = 0,001 \cdot 0,965 = 9,65 \cdot 10^{-4}$$

$$E_M = -8,314 \text{ J/Kmol} \cdot 296,15 \text{ K} / 96500 \text{ C/mol} \log 0,0771 / 9,65 \cdot 10^{-4}$$

$$E_M = \underline{-110,31 \text{ mV}}$$

(gemessen: 106,1mV)

Fehlerdiskussion:

Mögliche Ursachen für die Abweichungen der gemessenen Werte von den theoretisch berechneten Werte können sein:

- Verdünnungsfehler bei der Erstellung der 0,1M KCl-Lösung
- Messfehler
- Ablesefehler am Voltmeter
- Flüssigkeiten nicht zeitgleich eingefüllt
- Elektroden können altersbedingt ungenau gearbeitet haben
- Defekte an der künstlichen Membran
- Verunreinigungen durch Restbestände nach nicht vollständigem Reinigen der Elektroden, Trichter, Messzylinder und Ussing-Kammern mit entionisiertem Wasser

2.Experiment:

Bei unserem zweiten Experiment untersuchten wir den Achillessehnenreflex beim Menschen. Hierbei handelt es sich um einen monosynaptischen Eigenreflex, da Rezeptor und Effektor im gleichen Organ liegen. Durch beklopfen der Achillessehne mit einem Reflexhammer kommt es zu einer passiven Dehnung des Wadenmuskels (Musculus gastrocnemius), was dann wiederum zu einer Abwinklung des Fußes durch Streckung führt.

Um den genauen Verlauf der Reaktion auf das Ozilloskop übertragen zu können, legten wir bei unserem Probanden zwei Ableiteelektroden am Unterschenkel an, die dann über einen Verstärker am Ozilloskop verbunden waren.

Auswertung:

Proband	Zeit (ms)	Länge (unterer Lendenwirbel bis zur Achillessehne)	Geschwindigkeit
Anja	28	88cm · 2	628,57 m/s

Je schneller nacheinander nun der auftreffende Reiz (Schlag auf die Achillessehne) ausgelöst wird, desto leichter wird der Schwellenwert überschritten und ein Aktionspotential ausgelöst.

Dieser Prozess lässt sich auch durch die Begriffe der Summation und der Bahnung

erklären:

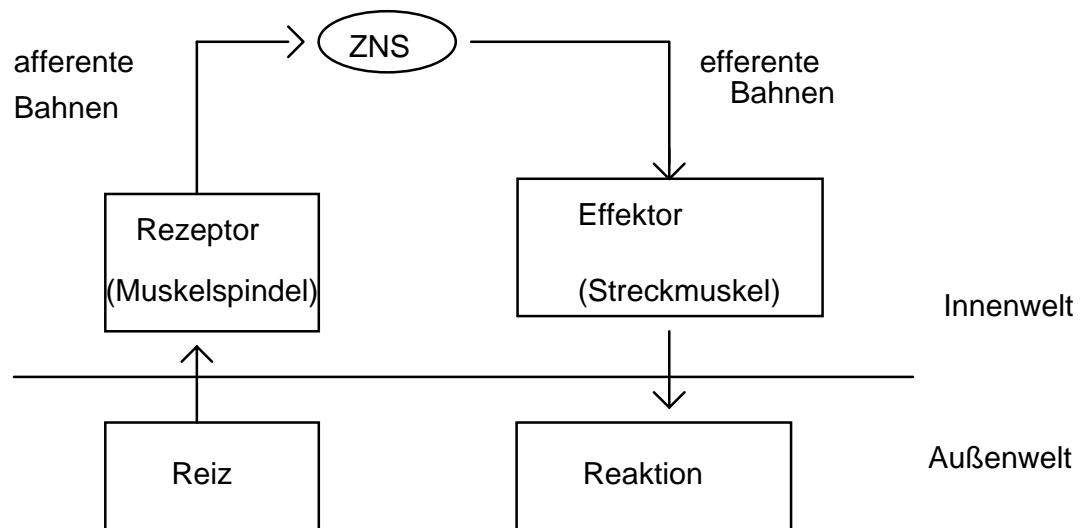
- Summation:

Mehrere Reize folgen direkt aufeinander. Die Folge davon ist, dass sich die Depolarisationen summieren.

-Bahnungseffekt:

Dieser Effekt tritt ein, wenn durch Aufsummation ein gewisser Schwellenwert überschritten wird. Ein Aktionspotential wird ausgelöst. Dieses ist dann nicht mehr durch die Einzeleffekte erklärbar.

Der Reflexbogen des Achillessehnenreflexes:



Ablauf des Reflexes:

Beim Schlag auf die Achillessehne werden die Muskelspindeln des Musculus gastrocnemius gedehnt. In den Muskelspindeln befinden sich Sensoren (Sinneszellen), die diese Dehnung registrieren. Dort wird der Reiz in Erregung umgewandelt (ein Aktionspotential wird ausgelöst) und anschließend über eine afferente sensorische Nervenfaser bis in die graue Substanz (schmetterlingsförmig) des Rückenmarks (ZNS) geleitet. Hier befinden sich die Zellkörper von Motoneuronen und Interneuronen. Die graue Substanz ist umgeben von der weißen Substanz, in der sich die Axone der sensorischen Neurone und Motoneurone befinden. Die Zellkörper der afferenten Neurone liegen im Spinalganglion außerhalb des Rückenmarks.

Die Umschaltung auf die efferenten motorischen Bahnen erfolgt über eine Synapse. Über diese Nervenfasern läuft die Erregung dann zum Streckmuskel zurück, der sich daraufhin kontrahiert und somit zur Streckung des Fußes führt.

Dies geschieht aber nur, wenn das Signal stark genug ist, so dass das Motoneuron ein Aktionspotential generiert. Ansonsten bleibt eine Reaktion aus.

Je stärker nun dieser Reiz ausgeübt wird, desto schneller kommt es zu einer messbaren Reaktion am Oszilloskop, dem Auslösen eines Aktionspotentials und

somit auch schneller zur gewünschten Reaktion des Probanden.

3.Experiment:

Zunächst wurde bei allen Gruppenmitglieder der Blutdruck gemessen. Dies geschah mit Hilfe des Prinzips nach Riva-Rocci. Dabei wird dem Probanden eine Manschette um den rechten Arm gelegt. Mit Hilfe einer Pumpe wird ein Druck auf der Manschette erzeugt, so dass der Blutfluss stoppt. Zur weiteren Durchführung nach Riva-Rocci siehe Skript S. 77ff.

Des weiteren erstellten wir noch ein EKG von drei Probanden. Vorgehensweise dazu siehe Skript S. 78ff.

Messergebnisse der Blutdruckmessung:

Proband	systolischer Wert	diastolischer Wert
Anja	140	90
Clara	110	75
Susanne	120	75
Kristin	130	90

Der systolische Wert leitet sich von der Systole (Kontraktion des Herzens) ab. Als diastolischen Wert bezeichnet man den das Minimum beschreibenden Wert. Er leitet sich von der Diastole (Erschlaffung des Herzens) ab. Zusammen dienen diese beiden Werte zur Definition der Blutdruckwerte.

Der systolische Druck beschreibt das Maximum der Druckpulskurve und liegt idealerweise bei ca. 120; der diastolische bei ca. 80.

Betrachten wir nun im Hinblick darauf unsere Messergebnisse, so lässt sich sagen, dass Anja einen relativ hohen Blutdruck hat. Dadurch kommt es zu einer stärkeren Belastung der Blutgefäße. Der Blutdruck von Kristin ist leicht erhöht und die Werte von Clara und Susanne liegen nahe dem Idealwert.

Auswertung der EKG-Ergebnisse:

Die Anzahl der Herzschläge pro Minute bezeichnet man als Herzfrequenz. Sie wurde einmal in Ruhe und einmal bei Belastung gemessen. Bei allen Probanden erhöhte sie sich je nach Konditionsgrad des Einzelnen mehr oder weniger stark. So stieg die Frequenz bei Anja um einen Wert von 80 Schlägen pro Minute an, bei Clara jedoch nur um einen Wert von 21. Bei Susanne um einen Wert von 40. Daraus kann man nun ableiten, dass Clara am besten trainiert ist.

Normalerweise liegt die Herzfrequenz eines gesunden Menschen durchschnittlich bei einem Wert von etwa 70 Schlägen/Minute. Jedoch variiert diese Zahl laut neueren wissenschaftlichen Erkenntnissen alle paar Sekunden um bis zu 20 Schläge pro Minute und im Laufe eines Tages sogar um bis zu 100 Schlägen pro Minute.

Der Schrittmacher des Herzens ist der Sinusknoten, auch als Automatiezentrum bezeichnet. Er bestimmt das Tempo des Herzschlages durch Aussenden elektrischer

Impulse. Diese gelangen zu den Vorhöfen und veranlassen diese zur Kontraktion. Dieses Signal ist mit dem Signal des AV-Knoten (Atroventrikular-Knoten) im EKG zur P-Welle zusammengefasst. Am AV-Knoten kommt das Signal zur Kontraktion jedoch etwas verspätet an, um den Vorhöfen die Möglichkeit zu geben, sich vollständig in die Ventrikel zu entleeren. Allgemein gesehen beschreibt die P-Welle das Aktionspotential in den Vorhöfen des Herzens.

Der Reiz wird nun über spezielle Muskelfasern (HIS- Bündel und Purkinje-Fasern) bis zur Herzspitze weitergeleitet. Diesen Vorgang sieht man auf dem EKG als Darstellung der PQ-Strecke. Die Dauer dieser Phase wird auch als Überleitungszeit bezeichnet. Wenn sich das Signal von dort ausgehend über den gesamten Ventrikel ausbreitet, so ist dies als Ausschlag auf dem EKG sichtbar. Man bezeichnet dies auch als QRS-Gruppe. Es kommt zu einer kräftigen Kontraktion beider Ventrikel, was wir dann als Herzschlag wahrnehmen können. Durch diese Kontraktion wird das Blut in die Arterien getrieben. Als ST-Strecke definiert man den Bereich kurz nach der Depolarisation der Herzkammer. Zu diesem Zeitpunkt sind alle Teile der Herzkammer gleichmäßig depolarisiert. Die T-Welle beschreibt den Zustand der Repolarisation der Kammern. Der wellenartige Verlauf kommt dadurch zustande, dass die Erregung nicht gleichzeitig wieder erlischt.

Werte der Probanden:

Anja	Ruhe	Belastung	Normwert	Folgerung
Herzfrequenz	120/min	200/min	ca.70/min	
P-Welle	0,1s	0,12	<0,1s	leicht erhöht
PQ-Strecke	0,024s	0,02s		
QRS-Gruppe	0,066s	0,060s	<0,1s	
ST-Strecke	0,12s	0,1s		
T-Welle	0,146s	0,1s		
PQ-Intervall	0,124s	0,14s	<0,2s	erfüllt
QT-Intervall	0,33s	0,26s	0,32-0,39s	fast erfüllt

Wie zu erwarten war, steigt die Herzfrequenz bei Belastung an. Die Dauer für die Depolarisation der Vorhöfe liegt etwas über der Norm aber noch im Rahmen, da das PQ- Intervall den gegebenen Normwert nicht überschreitet.

Das Auslösen des Aktionspotential in den Herzkammern erfolgt zeitlich innerhalb der Idealzeit. Das QT-Intervall liegt bei Belastung jedoch etwas unter der Norm.

Daraus lässt sich nun schließen, dass die Depolarisation etwas zu langsam erfolgt.

Dies kann möglicherweise daran liegen, dass der Proband keine größeren Anstrengungen gewohnt ist oder es könnte auch an der abweichenden Frequenz liegen, da das QT-Intervall frequenzabhängig ist.

Im Allgemeinen lässt sich sagen, dass Anja ein sehr starkes Herz hat, das bei Belastung mit den entsprechenden Auswirkungen reagiert. Die Dauer der T-Welle sinkt beispielsweise mit steigender Belastung, um rascher für eine neue

Depolarisation bereit zu sein.

Clara	Ruhe	Belastung	Normwert	Folgerung
Herzfrequenz	115/min	136/min	ca.70/min	
P-Welle	0,11s	0,1s	<0,1s	leicht erhöht
PQ-Strecke	0,064s	0,080s		
QRS-Gruppe	0,076s	0,062s	<0,1s	erfüllt
ST-Strecke	0,02s	0,1s		
T-Welle	0,36s	0,22s		gut verkürzt
PQ-Intervall	0,174s	0,18s	<0,2s	erfüllt
QT-Intervall	0,45s	0,38s	0,32-0,39s	erhöht

Auch hier steigt die Herzfrequenz erwartungsgemäß. Bei Belastung wird die Repolarisationsphase stark verkürzt. Dadurch kann schneller wieder ein Aktionspotential ausgelöst werden, was eine bessere Sauerstoffversorgung des Organismus zur Folge hat.

Der Wert für das QT-Intervall ist in Ruhe etwas erhöht. Dies ist möglicherweise ein Anzeichen dafür, dass der entsprechende Proband gut trainiert ist, denn der Wert bei Belastung liegt sehr schön innerhalb der Normwerte.

Daher lässt sich im allgemeinen sagen, dass Clara ein sehr gut trainiertes Herz hat, das es gewohnt ist, auf Belastungen entsprechend zu reagieren.

Susanne	Ruhe	Belastung	Normwert	Folgerung
Herzfrequenz	115/min	155/min	ca.70/min	
P-Welle	0,060s	0,1s	<0,1s	erfüllt
PQ-Strecke	0,064s	0,040s		
QRS-Gruppe	0,11s	0,080s	<0,1s	etwas erhöht
ST-Strecke	0,054s	0,060s		
T-Welle	0,22s	0,164s		
PQ-Intervall	0,124s	0,14s	<0,2s	erfüllt
QT-Intervall	0,38s	0,30s	0,32-0,39s	erfüllt

Bei Susanne liegen alle Werte relativ nahe den Idealwerten. Bei Belastung reagiert ihr Herz durch Absenken der benötigten Zeit für die Depolarisation der Herzkammer, um somit dem Körper schneller Sauerstoff zuliefern zu können.

Auch hier kann man im allgemeinen sagen, dass man ein gesundes Herz untersucht hat, das in der Lage ist, sich den gegebenen Situationen gut anzupassen und dem Körper immer den nötigen Sauerstoff zuliefern kann.